

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ОЛИЙ ТАЪЛИМ ТИЗИМИ ПЕДАГОГ ВА РАЎБАР КАДРЛАРИНИ
ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШНИ
ТАШКИЛ ЭТИШ БОШ ИЛМИЙ - МЕТОДИК МАРКАЗИ**

**МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ПЕДАГОГ КАДРЛАРНИ ҚАЙТА
ТАЙЁРЛАШ ВА УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ ТАРМОҚ
(МИНТАҚАВИЙ) МАРКАЗИ**

**“ЗАМОНАВИЙ МАТЕРИАЛШУНОСЛИК ВА
НАНОФИЗИКА” МОДУЛИ БЎЙИЧА**

Ў Қ У В – У С Л У Б И Й М А Ж М У А

Тузувчи:

А.А. Холмуминов

Тошкент – 2017

МУНДАРИЖА

I. ИШЧИ ДАСТУР	3
II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТРЕФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.....	11
III. НАЗАРИЙ МАЪЛУМОТЛАР	16
IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ	159
V. КЕЙСЛАР БАНКИ.....	174
VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ	176
VII. ГЛОССАРИЙ.....	178
VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	189

I. ИШЧИ ДАСТУР

Кириш

Дастур Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида”ги ПФ-4732-сонли, 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли Фармонлари, шунингдек 2017 йил 20 апрелдаги “Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чоратадбирлари тўғрисида”ги ПҚ–2909-сонли қарорида белгиланган устивор вазифалар мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади. .

Жамият тараққиёти нафақат мамлакат иқтисодий салоҳиятининг юксаклиги билан, балки бу салоҳият ҳар бир инсоннинг камол топиши ва уйғун ривожланишига қанчалик йўналтирилганлиги, инновацияларни тадбиқ этилганлиги билан ҳам ўлчанади. Демак, таълим тизими самарадорлигини ошириш, педагогларни замонавий билим ҳамда амалий кўникма ва малакалар билан қуроллантириш, чет эл илғор тажрибаларини ўрганиш ва таълим амалиётига тадбиқ этиш бугунги куннинг долзарб вазифасидир. “Замонавий материалшунослик ва нанофизика” модули айнан мана шу йўналишдаги масалаларни ҳал этишга қаратилган.

Мазкур модулни амалга оширишда соҳага оид илғор илм-фан ютуқлари ва юқори технологик жараёнлар моҳиятларини назарга олиш, уларга таянган ҳолда маъруза, амалий машғулотларини ташкил этиш, етакчи илм-фан ва ишлаб чиқариш муассасарида олиб борилаётган устувор ва истиқболли йўналишлардаги илмий ва амалий тадқиқотлар билан танишиш муҳим аҳамият касб этади.

Модулнинг мақсади ва вазифалари

“Замонавий материалшунослик ва нанофизика” **модулининг мақсади:** педагог кадрларни қайта тайёрлаш ва малака ошириш курси тингловчиларини табиий фанларнинг металл, нометалл, керамика, полимерлар, композитлар физикаси ва нанофизикаси соҳалари ҳамда замонавий материалшунослик ривожланиш омиллари ҳақидаги билимларини такомиллаштириш, бу борада республикамиз ва хорижий етакчи илмий марказлар эришаётган асосий ютуқлар, замонавий илмий йўналишлар ва тадқиқотлар усуллари билан таништириш ҳамда уларни амалий қўллаш юзасидан кўникма ва малакаларга эга бўлишига эриштиришдан иборатдир.

Модулнинг вазифалари:

- табиий фанларнинг металл, керамика, полимерлар, композитлар физикаси ва нанофизика соҳалари, уларнинг замонавий материалшуносликдаги илмий ва амалий моҳияти, ривожланиш тенденцияси, истиқболли илмий-тадқиқот йўналишлари ҳақидаги асосий билимларни ўргатиш;

- замонавий материашунослик ва нанофизика соҳасида ҳамда унинг устувор йўналишида республикамиз ва хорижий илмий марказлар эришаётган ютуқлар, долзарб тадқиқотлар, шунингдек, бу борадаги илмий адабиётлар ҳақидаги таҳлилий маълумотлар билан таништириш;

- замонавий материашунослик ва нанофизика йўналишида замонавий талаблар асосида машғулотларни ташкил этиш ва ўтказиш мезонларини ўзлаштириш, шунингдек, ўқитиш жараёнида илм-фан ютуқлари, янги усуллар ва ускуналардан фойдаланиш ҳамда илғор инновацион технологияларни қўллаш олишни ўргатиш;

Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблар

“Замонавий материашунослик ва нанофизика” модул курсини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида:

Тингловчи:

- замонавий материалшуносликда металллар, керамика, табиий ва синтетик полимерлар физикаси, композитлар ва нанофизиканинг умумий ва ўзига хос жиҳатлари, уларнинг тадқиқот объектлари, предметлари ҳамда материалшунослик йўналишидаги принципал ўрни ҳақидаги асосий билимларга эга бўлиши;

Тингловчи:

- табиий фанлар соҳасида ўқув машғулотларида янги педагогик технологиялар ва илғор тажрибалардан фойдаланиш, машғулотларнинг ўзлаштирилишини таҳлил қилиш, юқори савияларга эришишга ижодкорона ёндашиш каби амалий кўникма ва малакаларни эгаллаши;

Тингловчи:

- маъруза, амалиёт ва мустақил таълим машғулотларини бир бирига мутаносиб тарзда ташкил этиш, машғулотлар жараёнида кузатиладиган ижобий ҳолатларни тақдирлаш ва салбий иллатларни бартараф этиш, ўзлаштиришни таҳлил этиш, баҳолаш ва умумлаштириш компетенциялари эгаллаши лозим.

Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар

“Замонавий материашунослик ва нанофизика” модулини ўқитиш маъруза ва амалий машғулотлар шаклида олиб борилади.

Модулни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий усуллари, ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилади, жумладан:

- амалий машғулотларни олиб боришда лаборатория тажрибалари, экспресс-сўровлар, тест сўровлари, ақлий хужум, гуруҳли фикрлаш, коллоквиум, тадқиқотлар асбоб-ускуналари ва қурилмаларидан, етакчи илмий муассасалар имкониятларидан фойдаланиш, шунингдек, бошқа интерактив таълим усулларини қўллаш тавсия этилади.

Модулнинг ўқув режадаги бошқа модуллар билан боғлиқлиги ва

узвийлиги

“Замонавий материашунослик ва нанофизика” модули мазмуни ўқув режадаги “Юқори энергиялар физикаси ва астрофизикасининг замонавий ҳолати” ва “Амалий оптика, спектроскопия, лазер физикаси, фотоника” модули билан боғланган ҳолда табиий фанлар соҳасида педагог кадрларнинг касбий педагогик тайёргарлиги ва малакасини оширишга хизмат қилади.

Модулнинг олий таълимдаги ўрни

Модулни ўзлаштириш орқали тингловчилар “Замонавий материашунослик ва нанофизика” асосларини ўрганиш, уларни таҳлил этиш, амалда қўллаш ва баҳолашга доир касбий компетентлик ва малакасига эга бўладилар. Модул бўйича фанларни ўзлаштириш олий ўқув юртларида замонавий материалшунослик ва нанофизика соҳаларида таълим олаётган бакалавриатура ва магистратура талабалари учун махсус фанларни ўқитишни ташкил этишда муҳим аҳамиятга эга бўлади. Шунингдек, модул доирасида ўзлаштирилган билимлар мазкур фан соҳалари бўйича илмий тадқиқотлар олиб боришда амалий асос бўлиб хизмат қилади.

“Замонавий материашунослик ва нанофизика” Модул бўйича соатлар тақсимоти

№	Модул мавзулари	Тингловчининг ўқув юкلامаси, соат					
		Ҳаммаси	Аудитория ўқув юкلامаси				Мустақил таълим
			Жами	жумладан			
				Назарий	Амалий машғулот	қўчма машғулот	
1	Материалшунослик физикаси асослари ва замонавий материаллар шакллантиришнинг физик омиллари ҳамда устувор йўналишлари.	6	4	2	2	-	2
2	Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар, улар асосидаги замонавий материаллар физикаси, илмий ва амалий аҳамиятлари ҳамда истиқболлари.	6	6	2	2	2	-
3	Композицион материаллар, таркиби, тузилиши, турлари, ҳолатлари, тизимлари, морфологиялари, махсус физик ҳоссалари.	6	6	2	4	-	-
4	Нанофизика асослари, илмий-тадқиқот объектлари ва предмети, наноматериаллар яратилишидаги устуворлиги.	6	4	2	2	-	2

5	Наноструктуралар, нанотизимлар ва нанокомпозитлар шаклланиши, ноёб физик хоссалари ва амалий истиқболлари.	6	6	2	2	2	-
Жами		30	26	10	12	4	4

НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-мавзу: Материалшунослик физикаси асослари ва замонавий материаллар шакллантиришнинг физик омиллари ҳамда устувор йўналишлари

Материалшунослик физикасининг предмети, материаллар таснифи, каттиқ ва суюқ ҳолатлари, таркиби, тузилиши ва муҳим физик хоссалари, хом-ашёлари, шакллантирилишининг физик омиллари ва имкониятлари. Металлар, нometаллар, керамика, полимерлар, композитлар физикаси ва нанофизикасининг устувор соҳалари ва йўналишлари ҳақидаги асосий тушунчалар.

2-мавзу: Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар, улар асосидаги замонавий материаллар физикаси, илмий ва амалий ҳамда истиқболлари.

Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар асосидаги материаллар турлари ва таснифлари. Материалларнинг аморф-кристалл ҳолатлари, фазавий диаграммалари, механик, термик, оптик, электрофизик, физик-кимёвий ва биофизик хоссалари. Уларнинг замонавий материаллар яратишда қўлланиши имкониятлари, физик омиллари ва технологиялари ҳамда илмий тадқиқотлар ва уларнинг истиқболлари.

3-мавзу: Композицион материаллар, таркиби, тузилиши, турлари, ҳолатлари, тизимлари, морфологиялари, махсус физик хоссалари

Композицион материаллар таркиби, турлари ва асосий хоссалари ҳамда амалий қўлланиш соҳалари. Композицион материаллар яратишнинг физик омиллари. Метал, керамик, полимер композитлар, уларнинг физик ҳолатлари ва тавсифлари. Композит тизимлар морфологияси ва унга хос махсус ва ноёб хоссалари. Замонавий материалшуносликда композитлар физикасининг ўрни ва устуворлиги.

4-мавзу: Нанофизика асослари, илмий-тадқиқот объектлари ва предмети, наноматериаллар яратилишидаги устуворлиги

Нанофизика предмети, нанообъектлар, нанодисперс тизимлар, наноструктуралар ва наноматериаллар шаклланиши, уларнинг махсус ва ноёб физик хоссалари. Наноматериалшунослик асослари, унда фундаментал ва амалий фанлар, технологиялар ва ишлаб чиқаришнинг ҳамжиҳатлиги. Меттал, керамика, полимерлар, композитлар асосида наноматериаллар шакллантириш имкониятлари. Нанообъектлар ва уларнинг наноматериаллар яратишдаги роли ва устуворлиги.

5-мавзу: Наноструктуралар, нанотизимлар ва нанокомпозитлар шаклланиши, ноёб физик хоссалари ва амалий истиқболлари

Нанофизика ва нанотехнологиялар узвийлиги ҳамда устувор илмий-тадқиқот соҳалари ва йўналишлари. Нанофизиканинг классик ва замонавий табиий фанлар ривожланиши, янги илм-фан ва ишлаб чиқариш соҳаларининг очилиши борасидаги етакчилиги, аҳамияти ва равнақи. Нанодисперс тизимлар, наномеханика, наноэлектроника, металл ва яримўтказгичли наножиҳозлар, оптик наносенсорлар, наноқатламли қуёш элементлари,

нанопленкалар, нанотолалар, наносорбентлар, нанотрубкалар, наногеллар, нанокомплекслар, нанокомпозитлар ва ш.к.

АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-амалий машғулот

Материалшунослик физикаси асослари ва замонавий материаллар шакллантиришнинг физик омиллари ҳамда устувор йўналишлари

Металл ионларини полимер макроионлари билан металл-комплекслар ҳосил қилишини, уларнинг оқувчанлигини, яъни қовушоқлигини ўзгаришини гидродинамик усулда назорат қилиш орқали тадқиқот қилишни ўзлаштириш. Маълумки, эритмада металл-комплекслар каби янги фаза ҳосил бўлса, унда ички ишқалиш, яъни қовушоқлик ўзгаради. Бундай ўзгаришни энг оддий гидродинамик усулда, яъни, вискозиметрия ёрдамида назорат қилиш самаралидир. Ушбу машғулотда айнан шу усулнинг имкониятлари ўзлаштирилади.

2-амалий машғулот

Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар, улар асосидаги замонавий материаллар физикаси, илмий ва амалий ҳамда истиқболлари.

Амалий жиҳатдан кенг қўлланиб келинаётган полиэтилен гранулалар ва полиэтилентерефталат толалар асосида термомеханик пресслаш усулида қатламли материаллар шакллантириш принципларини ўзлаштириш. Олинган қатламли материалларнинг сифатини ушбу термопластлар асосида ишлаб чиқарилаётган ва автомобил созиқда амалий қўлланиб келинаётган шу каби қатламли материаллар билан қиёсий таққослаш.

3-амалий машғулот

Композицион материаллар, таркиби, тузилиши, турлари, ҳолатлари, тизимлари, морфологиялари, махсус физик ҳоссалари

Шаффоф полиэтилен пленканинг деформацион чўзишда руй берадиган механо-анизотропик ўзгаришларини, поляризация-оптик усулда назорат қилишни ўзлаштириш. Қўш нур синиши кўрсаткичини қайд этиш орқали пленканинг деформацион ўзгаришдаги ориентация факторини аниқлаш. Оптик ва механик анизотропиялар ўзаро боғлиқлигини таҳлил қилиш.

4-амалий машғулот

Нанофизика асослари, илмий-тадқиқот объектлари ва предмети, наноматериаллар яратилишидаги устуворлиги

Сорбцион усул принципи сув буғларини материал таркибига диффузион кириб боришини назорат қилишга асосланган бўлиб, унинг ёрдамида сорбцион жараён кинетикаси, материалдаги ғобакларнинг ўлчамлари, солиштирма сирти ва ҳажми каби кўрсаткичлар аниқланади. Амалий машғулотда ушбу параметрларни амалий аниқлашнинг асосий принциплари ўзлаштирилади.

5-амалий машғулот

Наноструктуралар, нанотизимлар ва нанокөмпозитлар шаклланиши, ноёб физик хоссалари ва амалий истиқболлари

Нанотолали нотўқима материаллар ғобакларининг нанодапазонда бўлиши, улар асосида нанофилтрлар тайёрлаш имкониятини беради. Бундай материаллар муҳим икки жиҳати билан бошқа филтрлардан фарқланади: биринчидан, наноўлчамли заррачаларни филтрлайди, иккинчидан, нанотолаларнинг сиртий фаоллиги ҳисобига ғоваклар филтрланаётган моддаларни селектив тарзда ушлаб қолиш имкониятига эга бўлади. Ушбу жараёнлар машғулотда амалий ўзлаштирилади.

Яримўтказгичли металлоксидлар асосида шакллантирилган наноқатлам-ли материалларнинг солиштирма электр ўтказувчанлигини тўрт зондли усулда аниқлашнинг принциптал жиҳатлари ўзлаштирилади. Тажрибалар махсус йиғилган қурилмада ўтказилади ва тадқиқот натижалари асосида наноматериалнинг электр ўтказувчанлик қобилияти баҳоланади.

КЎЧМА МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

Кўчма машғулотлар модул соҳаси бўйича етакчи олий таълим кафедралари ва илмий-тадқиқот муассасалари лабораториялари ҳамда ишлаб чиқариш корхоналари бўлимларида ташкил этилади. Мазкур машғулотлар соҳага оид долзарб мавзуларда тажриба-синов ва лаборатория машғулотлари ҳамда танишув амалиёти шаклларида олиб борилади. Шунингдек, таъкидланган муассасалар ва корхоналар етакчи мутахассислари томонидан республика ва хорижий илмий марказларда соҳа йўналишида амалга оширилаётган илғор илмий ва амалий тадқиқотлар бўйича таҳлилий шарҳлар берилиши масқадга мувофиқдир.

Кўчма машғулотлар учун куйидаги мавзулар тавсия этилади:

1-амалий машғулот (кўчма)

Нанотолалар шакллантиришнинг электроспиннинг усули

Юқори кучланиш таъсирида фильерадан (анод) чиқаётган эритмани экранга (катод) тортилиши туфайли эритувчини буғланиб кетиши ва макромолекуляр занжирларни бир бирига ориентацион ўралиб қалинлиги наноўлчамларда бўлган толалар, яъни нанотолалар шакллантирилади. Ушбу амалий машғулотда мазкур жараён амалга оширишнинг принципциал жиҳатлари ўзлаштирилади.

2-амалий машғулот (кўчма)

Нанодисперс тизимларнинг реологик хоссалари

Нанодисперс тизимлар, яъни таркибида наноўлчамли заррачалари бўлган концентранган эритма ёки гелнинг оқишида деформационн ўзгаришларини, яъни реологик тавсифлари, жумладан, эффектив қовушоқлиги ва қовушоқ оқувчанлигининг фаоллик энергияларини аниқлашнинг принциплари ўзлаштирилади. Ушбу амалиёт тадқиқоти “Реотест-2” қурилмасида ёки махсус йиғилган “Реометр” қурилмасида ўтказилади.

МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ

Тингловчи мустақил ишни модулни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- ўқув, илмий адабиётлардан ва меъёрий ҳужжатлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи дастурлар билан ишлаш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш;
- фанга оид статистик маълумотларни ўрганиш, уларни таҳлил қилиш

ЎҚИТИШ ШАКЛЛАРИ

Мазкур модул бўйича қуйидаги ўқитиш шаклларида фойдаланилади:

- маърузалар, амалий машғулотлар (замонавий материалшунослик ва нанофизика асосларини ўзлаштириш, бу соҳадаги билимларни амалий қўллаш малакасини эгаллаш, материалшунослик ва нанотехнологиялар ривожланишида физиканинг ўрнини англаш, ўзлаштирилган билимларни узлуксиз равишда синаб ва мустаҳкамлаб бориш);
- амалий тажрибалар ва уларни муҳокамалари (материалшунослик ва нанофизикага оид амалий тажрибалар ўтказиш, натижаларни муҳокама этиш, замонавий материаллар таснифларини англаш, физик хусусиятлари ҳақидаги назарий ва амалий билимларни ўқув ва илмий тадқиқотларда қўллай олиш малакасига эгаллаш);
- ўзлаштирилган билимларни таҳлил этиш ва мустаҳкамлаш (маърузалар ва амалий машғулотлар бўйича ўзлаштирилган билимларни замонавий материалшунослик ва нанофизика нуқтаи назаридан таҳлил қилиш, зарур ҳолларда кўшимча адабиётлар материаллари билан бойитиш, чуқурлаштириш ва янада мукамаллаштириб бориш кўникмасини эгаллаш).

ЖОРИЙ НАЗОРАТ(АССИСМЕНТ)НИ БАҲОЛАШ МЕЗОНИ

Жорий назорат(ассисмент)ни баҳолаш Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш Тармоқ (минтақавий) марказида тасдиқланган шакллари ва мезонлари асосида амалга оширади.

Ушбу модулнинг жорий назорат(ассисмент)га ажратилган максимал балл-**0,8 балл**.

II. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТРЕФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ

“SWOT-таҳлил” методи.

Методнинг мақсади: мавжуд назарий билимлар ва амалий тажрибаларни таҳлил қилиш, таққослаш орқали муаммони ҳал этиш йўлларни топишга, билимларни мустаҳкамлаш, такрорлаш, баҳолашга, мустақил, танқидий фикрлашни, ностандарт тафаккурни шакллантиришга хизмат қилади.

S – (strength)	• кучли томонлари
W – (weakness)	• заиф, кучсиз томонлари
O – (opportunity)	• имкониятлари
T – (threat)	• тўсиқлар

Намуна: Замонавий материалшуносликнинг SWOT таҳлилини ушбу жадвалга туширинг.

S	Замонавий материалшуносликнинг кучли томонлари	Материалшунослик фанлари ва муҳандислигининг ҳамкорлиги
W	Замонавий материалшуносликнинг кучсиз томонлари	Замонавий материаллар яратишнинг ноёб хом-ашёлар ва янги технологияларга эҳтиёжининг юқори эканлиги
O	Замонавий материалшуносликнинг имкониятлари (ички)	Инновацион ишлаб чиқаришнинг кенг қўлланиши ва самарадорлиги
T	Тўсиқлар (ташқи)	Замонавий материалларни ишлаб чиқаришда қўшимча харажатлар пайдо бўлиши

Хулосалаш (Резюме, Веер) методи

Методнинг мақсади: Бу метод мураккаб, кўп тармоқли, мумкин қадар, муаммоли характеридаги мавзуларни ўрганишга қаратилган. Методнинг моҳияти шундан иборатки, бунда мавзунинг турли тармоқлари бўйича бир хил ахборот берилади ва айтилган пайтда, уларнинг ҳар бири алоҳида аспектларда муҳокама этилади. Масалан, муаммо ижобий ва салбий томонлари, афзаллик, фазилат ва камчиликлари, фойда ва зарарлари бўйича ўрганилади. Бу интерфаол метод танқидий, таҳлилий, аниқ мантикий фикрлашни муваффақиятли ривожлантиришга ҳамда ўқувчиларнинг мустақил ғоялари, фикрларини ёзма ва оғзаки шаклда тизимли баён этиш, ҳимоя қилишга имконият яратади. “Хулосалаш” методидан маъруза машғулотларида индивидуал ва жуфтликлардаги иш шаклида, амалий ва семинар машғулотларида кичик гуруҳлардаги иш шаклида мавзу юзасидан билимларни мустаҳкамлаш, таҳлили қилиш ва таққослаш мақсадида фойдаланиш мумкин.

Методни амалга ошириш тартиби:



тренер-ўқитувчи иштирокчиларни 5-6 кишидан иборат кичик гуруҳларга ажратади;



тренинг мақсади, шартлари ва тартиби билан иштирокчиларни таништиргач, ҳар бир гуруҳга умумий муаммони таҳлил қилиниши зарур бўлган қисмлари туширилган тарқатма материалларни



ҳар бир гуруҳ ўзига берилган муаммони аниқлашга таҳлил қилиб, ўз мулоҳазаларини тавсия этилаётган схема бўйича тарқатмага ёзма баён қилади;



навбатдаги босқичда барча гуруҳлар ўз тақдимотларини ўтказадилар. Шундан сўнг, тренер томонидан таҳлиллар умумлаштирилади, зарурий ахборотлар билан тўлдирилади мавзу

Намуна:

Материаллар қиёсий таҳлили					
Металл		Керамика		Полимер	
афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги	афзаллиги	камчилиги
Мустаҳкам, каттик, электр-иссиқликни	Оғир, юқори ҳароратда қайта	Юқори ҳароратларга чидамли,	Мўрт, оғир, нафис	Енгил, паст ҳароратларда қайта ишла-	Юқори ҳароратлар ва кучли

яхши ўтказди	ишланади, занглайди	хом-ашё захираси катта		нади, захира-си катта	механик таъсирларга чидамсиз
<p>Хулоса: Барча материаллар ҳам ўзининг афзаллиги ва камчилиги билан бир бирдан жиддий фарқланади. Лекин, уларнинг комплекс тарзда амалий қўлланиши камчиликлари бартараф этилишига ва афзалликларини янада оширишга имкон беради.</p>					

“Кейс-стади” методи

«Кейс-стади» - инглизча сўз бўлиб, («case» – аниқ вазият, ходиса, «study» – ўрганмоқ, таҳлил қилмоқ) аниқ вазиятларни ўрганиш, таҳлил қилиш асосида ўқитишни амалга оширишга қаратилган метод ҳисобланади. Мазкур метод дастлаб 1921 йил Гарвард университетиде амалий вазиятлардан иқтисодий бошқарув фанларини ўрганишда фойдаланиш тартибида қўлланилган. Кейсда очик ахборотлардан ёки аниқ воқеа-ходисадан вазият сифатида таҳлил учун фойдаланиш мумкин. Кейс харакатлари ўз ичига қуйидагиларни қамраб олади: Ким (Who), Қачон (When), Қаерда (Where), Нима учун (Why), Қандай/Қанақа (How), Нима-натижа (What).

“Кейс методи” ни амалга ошириш босқичлари

Иш босқичлари	Фаолият шакли ва мазмуни
1-босқич: Кейс ва унинг ахборот таъминоти билан таништириш	<ul style="list-style-type: none">✓ якка тартибдаги аудио-визуал иш;✓ кейс билан танишиш(матнли, аудио ёки медиа шаклда);✓ ахборотни умумлаштириш;✓ ахборот таҳлили;✓ муаммоларни аниқлаш
2-босқич: Кейсни аниқлаштириш ва ўқув топшириғни белгилаш	<ul style="list-style-type: none">✓ индивидуал ва гуруҳда ишлаш;✓ муаммоларни долзарблик иерархиясини аниқлаш;✓ асосий муаммоли вазиятни белгилаш
3-босқич: Кейсдаги асосий муаммони таҳлил этиш орқали ўқув топшириғининг ечимини излаш, ҳал этиш йўллари ишлаб чиқиш	<ul style="list-style-type: none">✓ индивидуал ва гуруҳда ишлаш;✓ муқобил ечим йўллари ишлаб чиқиш;✓ ҳар бир ечимнинг имкониятлари ва тўсиқларни таҳлил қилиш;✓ муқобил ечимларни танлаш
4-босқич: Кейс ечимини ечимини шакллантириш ва асослаш, тақдимот.	<ul style="list-style-type: none">✓ якка ва гуруҳда ишлаш;✓ муқобил вариантларни амалда қўллаш имкониятларини асослаш;✓ ижодий-лойиҳа тақдимотини тайёрлаш;✓ якуний хулоса ва вазият ечимининг амалий аспектларини ёритиш

Кейс. Композит материал шакллантириш учун компонентлар танланди.

Уларни суюқ фазага ўтказиб аралаштиришда суюқланиш ҳарорати ҳархилги бўйича муаммо келиб чиқди. Композит олиш учун янгица илмий ёндашиш талаб этилмоқда.

Кейсни бажариш босқчилари ва топшириқлар:

- Кейсдаги муаммони келтириб чиқарган асосий сабабларни белгиланг (индивидуал ва кичик гуруҳда).
- Мобил иловани ишга тушириш учун бажариладагина ишлар кетма-кетлигини белгиланг (жуфтликлардаги иш).

III. НАЗАРИЙ МАЪЛУМОТЛАР

1-мавзу: Материалшунослик физикаси асослари ва замонавий материаллар шаклантиришнинг физик омиллари ҳамда устувор йўналишлари

Режа

1. Материалшунослик физикасининг предмети, материаллар таснифи, шаклантирилишининг физик омиллари ва имкониятлари;
2. Металл ва керамик материаллар ҳамда уларнинг физик тавсифлари;
3. Полимер ва композит материаллар ҳамда уларнинг физикаси тавсифлари;
4. Ақлли ва электроник материаллар ва ўларнинг қўлланиши;
5. Наноматериаллар ва уларнинг ўзига хос ноёб хоссалари.
6. Материалшунослик физикасининг асосий йўналишлари

Таянч иборалар: *замонавий материалшунослик, материалшунослик турлари ва йўналишлари, металл, керамик, полимер, композит, ақлли, электроник материаллар, наноматериаллар, махсус ва ноёб материаллар.*

1. Материалшунослик физикасининг предмети, материаллар таснифи, шаклантирилишининг физик омиллари ва имкониятлари

Материалшунослик - бир қатор фан соҳаларини ўзида бирлаштирган, материалларнинг хоссаларини ўзгаришини ҳам қаттиқ, ҳам суюқ ҳолатларда турли факторларга боғлиқ ўрганади. Шу боис материалшунослик - металл, нометалл, керамик, органик бирикмалар ва полимерлар асосидаги материалларнинг хосса ва хусусиятлари ҳамда уларнинг олиниш, структуравий шаклланиш, ўзаро таъсирлашиш, бирикиш ва парчаланиш қонуниятлари ҳақидаги фандир ¹. Умумий ҳолда мазкур фан материаллар тузилиши, хоссалари ва улардаги жараёнларни ўрганишга йўналтирилган бўлиб, у материаллар муҳандислиги билан узвий боғлиқдир. Чунки материаллар муҳандислигининг асосини фундаментал ва амалий билимлар белгилайди ҳамда уларга таянган ҳолда иқтисодиёт эҳтиёжлари учун зарур бўлган маҳсулотлар ишлаб чиқарилади.

Маълумки, материаллар асосини ер юзидаги элементлар ва бирикмалар

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

ташқил этади¹. 1-жадвалда бу ҳақда маълумотлар берилган. Келажакда уларнинг сафи янги кашф этилган космик элементлар билан бойитилади.

Table 1.1 The most common elements in planet earth's crust and atmosphere by weight percentage and volume

Element	Weight percentage of the earth's crust
Oxygen (O)	46.60
Silicon (Si)	27.72
Aluminum (Al)	8.13
Iron (Fe)	5.00
Calcium (Ca)	3.63
Sodium (Na)	2.83
Potassium (K)	2.70
Magnesium (Mg)	2.09
Total	98.70
Gas	Percent of dry air by volume
Nitrogen (N ₂)	78.08
Oxygen (O ₂)	20.95
Argon (Ar)	0.93
Carbon dioxide (CO ₂)	0.03

1-жадвал. Ер қобиғи ва атмосферада тарқалган элементлар [1]

Элементлар	Ер қобиғидаги массавий фоизи, %
Кислород (O)	46,60
Кремний (Si)	27,72
Алюминий (Al)	8,13
Темир (Fe)	5,00
Кальций (Ca)	3,63
Натрий (Na)	2,83
Калий (K)	2,70
Магний (Mg)	2,09
Жами	98,70
Газлар	Қуруқ ҳаво ҳажмидаги фоизи, %
Азот (N ₂)	78,08
Кислород (O ₂)	20,95
Аргон (Ar)	0,93
Карбонат ангидрид (CO ₂)	0,03
Жами	99,99

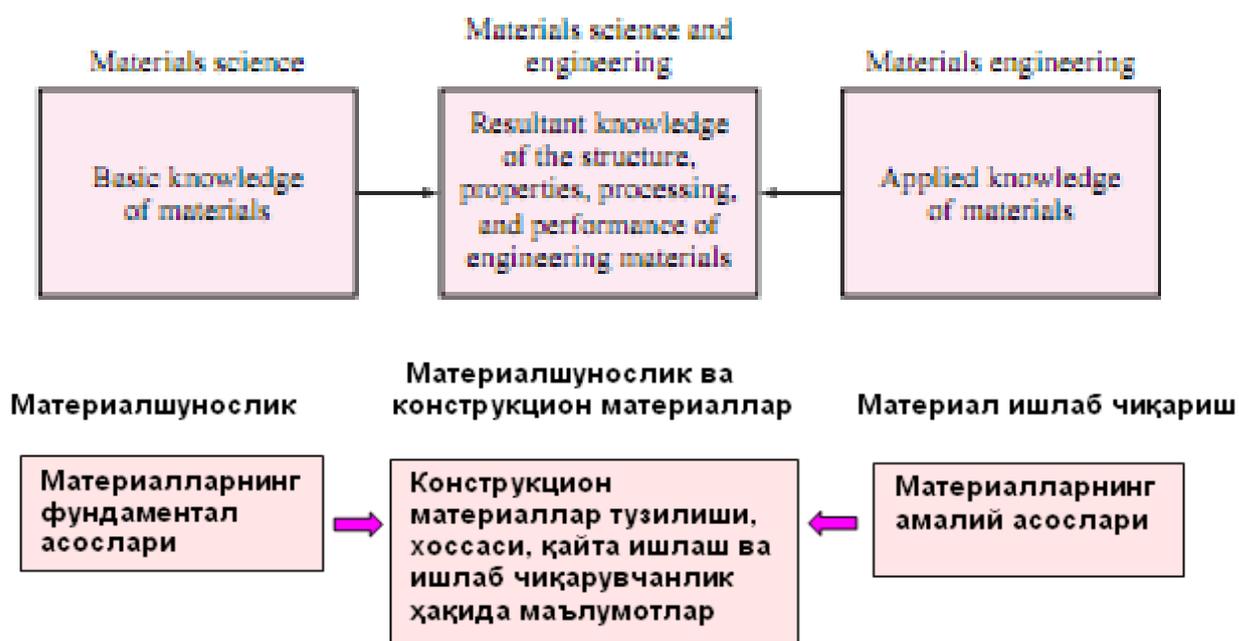
Ушбу элементлар ва бирикмалар асосида турли хил материаллар табиий ва синтетик жараёнлар воситасида шакллантирилади. Бу соҳада янгидан янги

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

материаллар яратиш борасида узлуксиз равишда изланишлар олиб борилади. Жумладан, машинасозлик соҳаси учун юқори ҳароратларга чидамли, ўта мустаҳкам материаллар яратиш долзарб бўлса, электротехникада эса шу каби янги материалларни яратилиши юқори ҳароратларда самарали ишлайдиган электроника қурилмалари ва асбоблари ишлаб чиқариш йўналтирилгандир.

Авиасозликда материалларнинг ўта мустаҳкамлиги ва енгиллиги устувордир. Кимёвий технология ва материаллар муҳандислигида устуворлик жиҳат коррозияга чидамли маҳсулотларни яратишга қаратилган бўлади. Турли саноат тармоқлари ақлли материаллар ва қурилмалар ҳамда микроэлектрон тизимлар яратиш ва уларни ноёб хоссаларни аниқлашда сенсорлар ва активаторлар сифатида амалий қўллаш борасида фаолият юритади. Ҳозирда материалшуносликда яна бир долзарб йўналиш сифатида наноматериаллар бўлиб, уларни яратиш ва амалий қўллаш бўйича дунёнинг бир қатор етакчи мамлакатларида илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда. Кимёвий ва механик хоссалари билан наноматериаллар бир қатор афзалликларга эга эканлигини, айниқса, тиббиёт ва электроника соҳасида ўзига хос ноёб хусусиятларни намоён қилиши, уларга бўлган талабни янада ошириб юбормоқда.

Замонавий материалларни ишлаб чиқариш материалшунослик ва конструкцион материалларни умумлаштирган соҳасини вужудга келтиради ҳамда уларни таркибий моҳияти қуйидаги чизма орқали тушунтирилади ¹



¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

Бунга асосан, материалларнинг фундаментал ва амалий асослари мажмуаси конструкцион материаллар тузилиши, хоссаси, қайта ишлаш ва ишлаб чиқарувчанлик ҳақидаги маълумотлар базасини вужудга келтиради. Улар асосида тузилган ушбу диаграммада материаллар фанлари ва техниканинг қандай қилиб фундаментал фанлардан муҳандислик фанларига томон билимлар кўпригини шакллантириши намоён этилган¹.

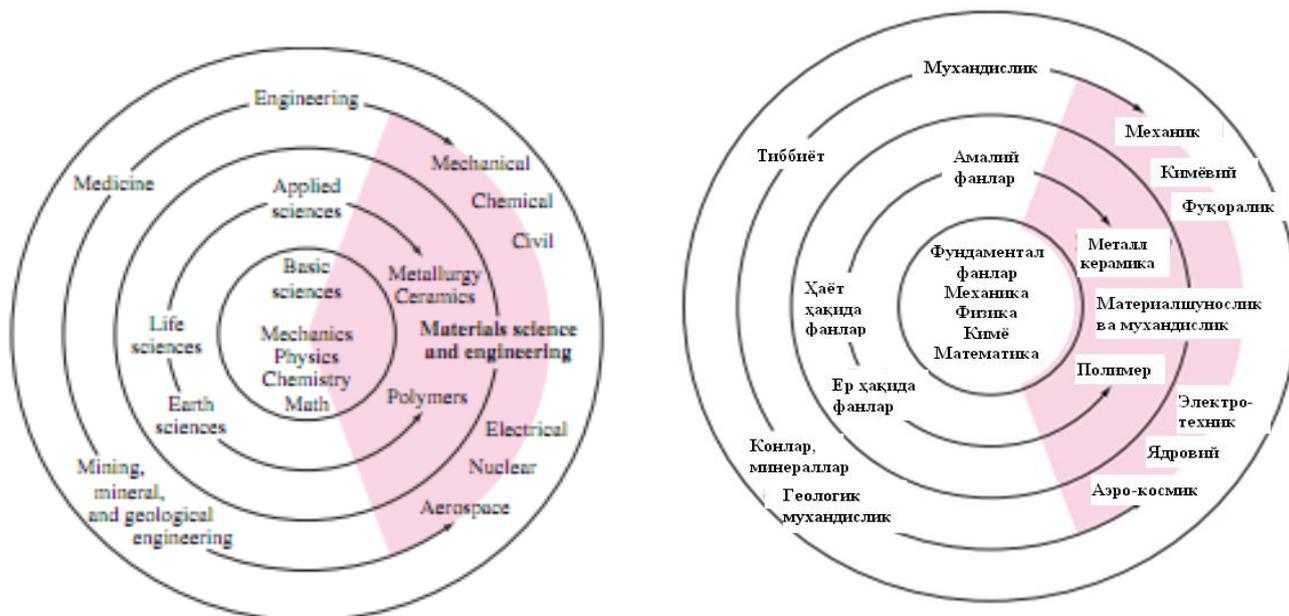


Диаграмма учта ҳалқа ва улар орасида фанлар йўналиниш тартиби ифодаловчи ёйсимон стрелкалардан иборатдир. Марказий ҳалқада фундаментал фанлар, ўрта ҳалқада материалшунослик ва сиртки ҳалқада муҳандислик ифодаланган.

Материалшунослик ва муҳандисликка бевосита боғлиқ бўлган фанлар пушти рангдаги сектор кўринишида келтирилган. Бу сектор мазмунан билимлар кўприги деб эътироф этилган. Материалшунослик ва муҳандисликка энг яқин соҳалар бу металллар, керамика ва полимерлардир. Бунга бугунги кунда жадал ривожланиб келаётган наноматериаллар киради.

Материаллар турлари. Замонавий материаллар ўзларнинг моҳиятига қараб учта асосий яъни фундаментал синфларга ажратилади: *металл материаллар; полимер материаллар; керамик материаллар*. Уларнинг муҳим жиҳатлари механик, электрик ва физик хоссаларидир. Ушбу асосий уч синф муҳандисликда муҳим бўлган яна иккита амалий синфлар бўлинади: *композит материаллар ва электроник материаллар*. Замонавий материаллар

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

синфига яна иккита гуруҳга оид материаллар, яъни “ақлли” материаллар ва наноматериаллар киради. Таъкидланган материаллар ҳақида тўхталамиз.

2. Металл ва керамик материаллар ҳамда уларнинг физик тавсифлари

а) Металл материаллар. Ушбу материаллар ноорганик моддалар бўлиб, улар бир ёки бир нечта металл элементлар тузилган бўлади ва улар таркибига нометалл бирикмалар ҳам кириши мумкин. Металл материаллар таркибини ташкил этувчи асосий элементлар темир, мис, алюминий, никель, титан ва шу қабила ҳисобланади. Нометалл элементлардан углерод, азот, кислород ва қабила металл материаллар таркибида учрайди.

Одатда, металллар кристалл тузилишда бўлиб, уларнинг атомлари тартибли жойлашган бўлади. Шу боис металллар энг асосий ва энг яхши иссиқлик ва электр ўтказувчан материаллар ҳисобланади. Металллар ва улар асосидаги шакллантириладиган қотишмалар одатда икки синфга бўлинади: - биринчи гуруҳ *темерли металллар* ва улар асосидаги *қотишмалар* бўлиб, таркибида темирнинг катта фоизи, жумладан, пўлат ёки чўён мавжуд бўлади: - иккинчи гуруҳ, *рангли металллар* ва улар асосидаги *қотишмалар* бўлиб, улар таркибида темир деярли бўлмайди. Рангли металлларга алюминий, мис, рух, титан, никель қабила киради¹.

Қотишмаларни тайёрлашда кимёвий ёндашиш ва турли композитлар шаклланиши ўта долзарбдир. Компонентларни тўғри танланиши супер қотишмалар тайёрлашга имкон беради. Масалан, никель асосли, темир-никель-кобалт асосли супер қотишмалар юқори босимларда ишлайдиган аэроавтик турбо двигателларида қўлланилади (1-расм). Металл қотишмалар



асосида материаллар ишлаб чиқаришда металлларнинг кимёвий табиати ва композицион структуралар ташкил этиш қобилияти инобатга олинган ҳолда, улардан махсус кукунлар тайёрланиб ҳом-ашёлар сифатида қўлланилади.

1-расм. Металл қотишмадан ясалган турбо двигатель сурати

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

Бундай ёндашиш кам энергия сарфлаган ва вақтдан ютган ҳолда махсус ва ноёб тузилиш ва хоссали материаллар ва улар асосидаги маҳсулотлар яратиш имкониятларини беради.

б) *Керамик материаллар.* Ушбу гуруҳ материаллари ноорганик материаллар тоифасига киради ҳамда уларнинг таркибида металл ва нометалл элементлар ўзаро кимёвий бириккан ҳолда шаклланган бўлади. Керамик материаллар кристалл, аморф ёки уларнинг аралашмалари асосида шаклланади. Кўпчилик керамик материаллар юқори мустаҳкамликка эга, юқори иссиқлик таъсирига чидамли, аммо синувчанлик тенденциясига эга бўлади^{1,2}. Керамик материалларнинг афзаллиги, уларнинг енгиллиги, юқори мустаҳкамлик ва қаттиқликка эга бўлиши, яхши иссиқликка чидамли ва емирилишга бардошлиги намоён бўлади (3 ва 4-расм).



3-расм. Керамик материаллар асосидаги жиҳозлар [1].



4-расм. Титан ва карбонитрид асосдаги керамикадан ишлаб чиқарилган юқори самарали шарикли подшипник .

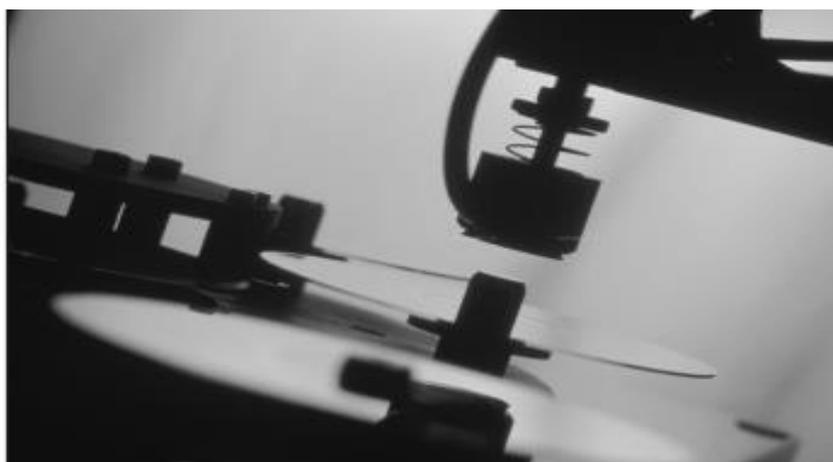
¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

Керамик материалларнинг қўлланиши, ҳақиқатан, чекламаган бўлиб, улар аэро-космонавтикадан тортиб то оддий метал материалларгача, тиббий-биологик дан автомобилсозликкача, бир қатор махсус ва ноёб индустрия соҳаларида ўз ўрнини топган^{1 2}. Керамик шиша материалларда иккита камчилик кузатилади: - биринчидан улар қайта анча мураккаб, иккинчидан мўрт ва металлларга нисбатан ишқаланишдаги емирилиши анча кичикдир. Умуман олганда, керамик материаллар ҳам ишлаб чиқаришда ўзининг салмоқли ўрни билан эътироф этилади.

3. Полимер ва композит материаллар ҳамда уларнинг физикаси тавсифлари

а) Полимер материаллар. Кўпчилик полимерлар чизикли ёки тўрсимон молекуляр тузилишга эга бўлиб, одатда органик (углерод тутган) бирикмалар асосида синтез қилинган бўлади. Устмолекуляр тузилиши бўйича полимер материаллар аморф-кристалл ҳолатда бўлади ва кристалл қисмлари аморф занжирлар билан бириккади. Полимер материалларнинг мустаҳкамлиги ва эластиклиги кенг масштабда ўзгаради. Кўпчилик полимер материалларнинг электр ўтказувчанлиги жуда кичикдир ёки умуман электр токини ўтказмайди ҳамда диэлектрик хоссасини намоён қилади. Шу боис бир қатор полимерлар электр изоляторлар сифатида кенг қўлланади^{1,2}. Аммо, полимерга хос физик табиат, улардан рақамли видео дисклар ишлаб чиқариш имкониятини беради (2-расм).



2-расм. Поликарбон пластик видео дисклар [1].

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

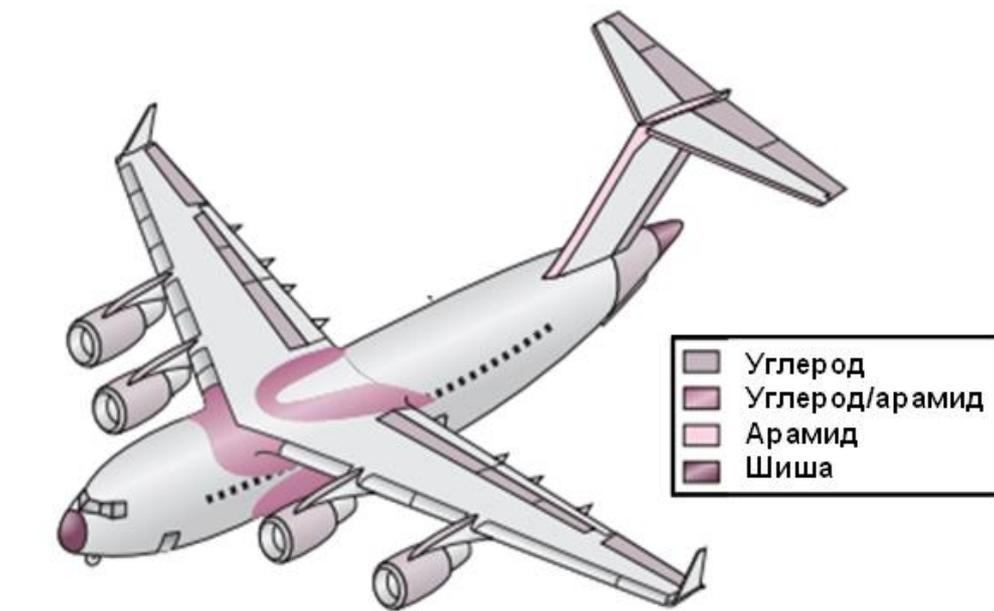
² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

Ҳозирда полимер материалларнинг қўлланиши металлардан кам эмас ва унинг захираси метал ресурсларига қараганда анча каттадир. Полимерлар кимё, физика, биология ва технологиялар соҳасларида кенг қўлланилмоқда. Айниқса, полимерларга хос эластомерлик ўта ноёб хоссалардандир. Полимер аралашмалар асосида машинасозлик, спорт анжомлари, турли туман маиший ва техника учун жиҳозлар тайёрланади. Полимерлар толалар кийим кечак ва турли техник материаллар яратишда кенг қўлланилади. Полимерлардан буюмлар ва жиҳозлар ишлаб чиқариш, уларнинг эритмалари ёки суюлтмалари асосида амалга оширилади. Полимерлар массасини энгиллиги ва металларга нисбатан паст ҳароратларда (100 – 250 °С) суюқланиши уларни қайта ишлаш технологиялари учун катта афзаллик беради.

б) Композит материаллар. Композитлар икки ёки ундан ортиқ таркиб материаллари (фазавий ёки уч томонлама) қўшилиб шаклланган, улардан бири асос (матрица) бўлган янги материалдир. Ҳосил қилинган композит одатда таркибини ташкил этган компонентлар хоссаларидан ўзгача яхшироқ ва мукамалроқ хоссаларга эга бўлади. Кўпчилик композит материаллар танланган тўлдирувчи ёки армирловчи материаллар асосида қўшилувчан смола боғламловчи восита махсус хоссали ёки хоҳланган тавсифли материаллар олиш имконини беради. Композитлар кўп турларда бўлинади. Энг катта миқдорларда ишлаб чиқариладиган композитлар турига толали ёки заррачалар тўлдирувчи сифатида матрица ҳажмида бўлган материаллар киради. Бундай матрицалар сифатида металлардан алюминий, керамикадан алюминий оксиди, полимерлардан эпоксид смола кенг қўлланилади. Шу боис композитлар турлари қўлланилган матрицага нисбатан *металл матрицали композит (ММК)*, *керамик матрицали композит (КМК)*, *полимер матрицали композит (ПМК)* деб юритилади ^{1,2}. Толали ёки заррачали тўлдирувчилар ҳам асосий уч синфдан ихтиёрий биридан танланиши мумкин. Бу синфларни углерод, шиша, арамид, карбид силикони ва бошқа шу каби материаллар ташкил этади. 4-расмда углерод тола – эпоксид смола асосидаги композит материалларнинг СУ-17 транспорт самолётининг қайси қисмларида қўллан^{1,2}илганлиги рангли тасвирланган. Ушбу қаноилари узунлиги 165 фут бўлган СУ-17 самолётга 15000 фунт замонавий композит материаллар қўлланилган.

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.



4-расм. СУ-17 транспорт самолёти.

Композицион материаллар бир қатор соҳаларда, айниқса, аэро-космонавтика, автомобилсозлик, турмуш эҳтиёжида, спорт жиҳозлари ишлаб чиқаришда кўплаб металл компонентлар алмаштирмоқда.

Замонавий композит материалларнинг муҳандислик амалиётида кенг қўлланадиган икки улуғвор тури деб шишатолали-армировчи материал тўлдирувчи ва полистирол ёки эпоскид смола матрица сифатида ишлатилган композит ва шунингдек, углерод толалар тўлдирувчи сифатида эпоскид смоллага қўшилган композитлар эътироф этилади.

Умуман олганда, композит материаллар замонавий материалшунослик ва ишлаб чиқаришларда асосий соҳа ва йўналишлардан ҳисобланади. Уларга бўлган эҳтиёжлар ниҳоятда юқори бўлиб, унда замонавий материалшунослик физикаси бирламчи восита ва асосий фан сифатида қўлланилади.

4. Ақлли ва электроник материаллар ва уларнинг қўлланиши

а) Электроник материаллар. Ушбу тур материаллари салмоғи ҳажмдор материаллар ишлаб чиқаришда асосийлардан бўлмаса, аммо улар замонавий муҳандислик технологиялари ўта муҳим материаллар тури ҳисобланади ^{1,2}.

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

Электроник материаллар яратишда энг муҳим элементлар бири тоза кремний бўлиб, унинг турли хил модификацион ўзгаришлар электрофизик ва технологик тавсифлари ўзгартириш ҳамда ундан турли мақсадларда фойдаланиш мумкин [1]. Масалан, унинг асосида ҳозирда ниҳоятда кенг қўлланилаётган кичик ҳажмли микросхемалар ишлаб чиқарилмоқда (5-расм).



5-расм. Замонавий микропроцессор чипида электроник материаллар

6-расм. Робототехникада электроник материаллар қўлланиши

Бундай материал ва маҳсулотлар жуда кенг соҳаларда, жумладан, сунъий йўлдошлар, замонавий компьютер техникаси, ҳисоблаш машиналари, рақамли индикаторлар ва соатлар, робототехника каби тармоқларни асосий элементлари ва таянч деталлари ёки жиҳозлари ҳисобланади (6-расм). Кремний асосли яримўтказгичлар ҳозирда умумий электротехника ва электроника, шунингдек, замонавий наноэлектроникада асосий электроник материал сифатида қўлланилмоқда. Айниқса, куёш элементлари яратишда у асосий элемент ва ресурс ҳисобланади.

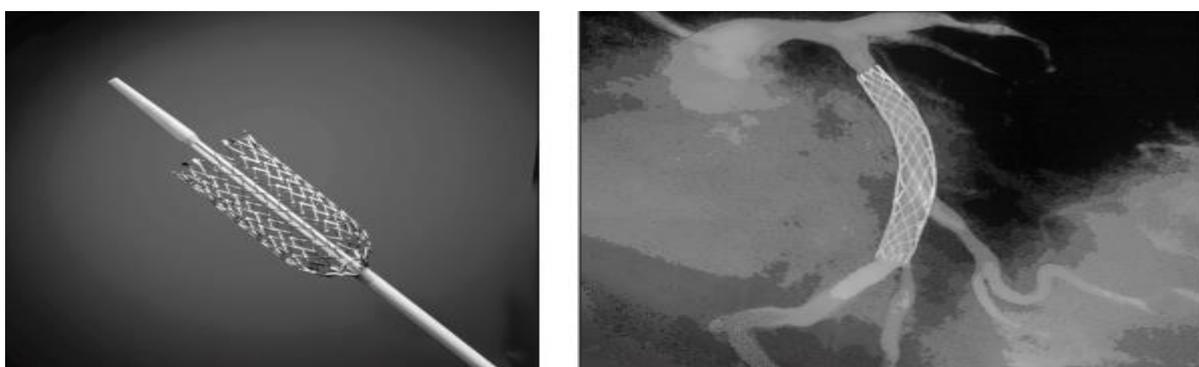
б) Ақлли материаллар. Айрим материаллар кўп йиллар мобайнида амалий қўлланиб келинади ва улар ташқи муҳит (ҳарорат, механик кучланиш, ёруғлик, намлик, электр ва магнит майдонлар) таъсирида ўзининг муҳим (механик, электрик ва бошқа) хоссаларини, тузилиши ва функциясини ўзгартириш қобилиятига эга бўлади. Бундай материаллар умумий ҳолда “*ақлли*” материаллар деб юритилади^{1,2}. Ақлли материаллар ёки тизимлар, кўп ҳолларда сенсорлар ёки активаторлар сифатида қўлланилади. Сенсорлар

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

мухитнинг ўзгаришини сезувчи воситалар бўлса, активаторлар эса ўзига хос функционал хоссани ёки уни намоён қилишни амалга ошириш учун хизмат қилади. Масалан, айрим ақлли материаллар ҳарорат, ёруғлик, электр майдон таъсирлари ўзгарганда рангини ўзгартиради ёки бошқа ранг ҳосил қилади.

Бир қатор технологик муҳим бўлган ақлли материаллар активатор функциясида *шаклини хотирасида сақловчи қотишма* ёки *пъезоэлектрик* керамик жиҳозлар сифатида қўлланилади. Айниқса, биотиббиёт соҳасида шаклини хотирасида сақловчи қотишмалардан деворлари бўшашиб қолган артерияларни мустаҳкамлиги оширувчи девор сифатида ёки торайиб қолган артерияларни кенгайтирувчи восита сифатида фойдаланилади (7-расм)..



а

б

7-расм. Шаклини хотирасида сақловчи қотишманинг торайган артерияни кенгайтирувчи (а) ва артериянинг деворларини мустаҳкамлиги оширувчи (б) сифатида қўлланиши.

Бунда никель-титан ёки мис-рух-алюминий асосидаги қотишмалар қўлланилади ва зангламайдиган симлар ёрдамида артерияга киритилади ^{1,2}. Пъезоэлектрик материаллардан ясалган акваторлар механик кучларнинг таъсири остида электр майдонини ҳосил қилади. Аксинча, электр майдони ўзгариши айрим материалларда механик ҳодисалар ёки ўзгаришларни вужудга келишига сабаб бўлади. Булар электр ва механик кучлар асосида тебранувчан материалларни яратишга имкон беради. Бундай принциплар асосида микроэлектромеханик тизимлар (МЭМ) ёки микромашиналар ишлаб чиқариш имконияти мавжуд

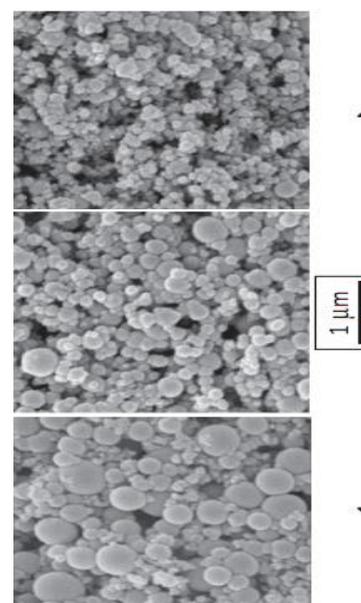
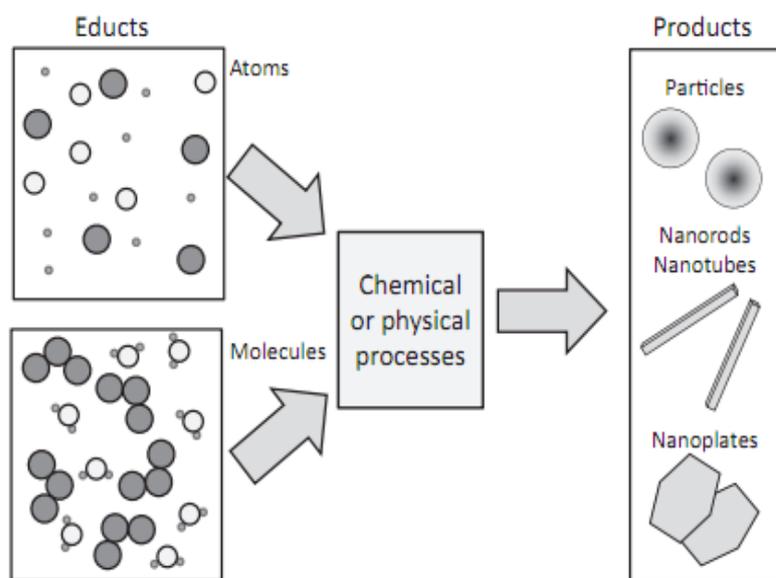
5. Наноматериаллар ва уларнинг ўзига хос ноёб хоссалари.

¹ Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.

² William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

Наноматериаллар. Замоनावий материалларнинг ушбу тури асосан ўлчами, яъни масшабини (заррачалар диаметри, қирралари ўлчами, қатлам қалинлиги) 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) дан кичиклиги ва физик, физик-кимёвий хоссаларни юқори савия, самара ва кўрсаткичларда намоён қилиши билан анъанавий материаллардан кескин фарқ қилади. Наноматериаллар шартли равишда бўлинган бир қатор турлари мавжуд бўлиб, уларнинг асосий вакиллари нанометалл, нанополимер, нанокерамик, наноэлектроник ва нанокомпозит деб юритилади. Бу борада ўлчами 100 нм дан кичик бўлган керамик кукунлар, металл заррачалар, полимер пленкалар, электроник ўтказгичлар ўзининг наноматериаллар ёки наноструктурали материаллар сифатидаги табиатини намоён қилган.

Наноматериаллар шаклланиш принциплари ва улар асосида олинадиган турли шаклли маҳсулотлар 8-9- расмда ифодаланган ^{2,3}.



8-расм. Наноматериаллар шакллантириш

9-расм. Нанозаррачалар

6. Материалшунослик физикасининг асосий йўналишлари

Материалшунослик физикасини тадқиқот объектларининг табиатини инобатга олган ҳолда шартли тарзда қуйидаги йўналишга ажратиш мумкин.

^{2,3} William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

³ Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.



Замонавий материаллар ишлаб чиқаришнинг физикага боғлиқ қуйидаги ривожлашинида қуйидаги анбана кузатилмоқда:

- металл (пўлат) ва қотишма материаллар улуши камаймоқда, полимерлар, композитлар, керамик ва биоматериаллар улуши ошмоқда.
- космановтика, самолётсозлик, автомобилсозлик, тиббиёт, тўқимачилик ва енгил саноат, қишлоқ хўжалиги, компьютер технологиялари ва ҳ.к. устуворликка эга бўлмоқда. Уларнинг моҳияти қуйидагичадир:

Космик материалунослик - космик фазода қўллаш учун яроқли материалларнинг яратиш ва тадқиқот қилиш.

Нанотехнология - ўлчами нанометрли тартибда бўлган материаллар ва конструкцияларни яратиш ва тадқиқот қилиш.

Кристаллография - кристаллар физикасини ўрганиш, кристаллар дефектларини аниқлаш ва ҳ.к.

Металлургия (металишунослик) - металлларнинг хоссаларини ўрганиш.

Керамика - золяция, электроника, яримўтказгичлар учун керамик материаллар яратиш ва тадқиқот қилиш, шунингдек, композицион керамик материаллар ишлаб чиқиш ва уларнинг физик хоссаларини ўрганиш^{2,3,4}.

Биоматериаллар - инсон танасига имплатат сифатида қўлласа бўладиган

^{2,3} William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

³ Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

материалларни тадқиқот қилиш.

Полимер ва композицион материаллар - абийй ва синтетик полимер асосидаги махсус хоссали материаллар, полимерлар асосида композитларни яратиш ва тадқиқот қилиш.

Полимер композитлар қуйидаги асосий гуруҳларга бўлинади:

- қатламли пластиклар ёки текстолитлар. Биринчи тўлдирувчи толасимон материал қўлланади;
- қуйма ёки прессланган композитлар. Композит қирқилган толалар, хом иплар, пишиқ иплар билан тўлдирилади;
- ориентирланган армирланган пластиклар. Бунда шиша ёки синтетик толалар, иплар, жгутлар бир бирига параллел этиб жойлаштирилади ҳамда улар устига боғламчи қуйилади;
- шишапластиклар. Композит шиша толалар ёки каноп толалар (газмоллар) асосида паст ҳароратларда пресслаш орқали шакллантирилади.

Материалшунослик асосини белгиловчи ва унинг ривожланишида таянч бўладиган фанлар бўлимлари қуйидаги кетма-кетликда таъкидланган:

МАТЕРИАЛШУНОСЛИК ТАЯНАДИГАН ФАНЛАР БЎЛИМЛАРИ

- **Термодинамика** — материаллар барқарорлиги, фазаларини ўзгариши ва фазавий диаграммалари тузиш каби бирламчи вазифалар ўрганилади.
- **Термик таҳлил (термогравитометрия)** — материаллар хоссаларини ҳарорат таъсири остида ўзгаришини, турли газлар таъсирида ҳам ўзгариши ўрганилади.
- **Кинетика** — модаларнинг фазавий ҳолатини ўзгариши, структурасини термик парчаланиши и диффузиясини ўрганилади.
- **Қаттиқ жисмлар кимёси** — қаттиқ фазада кузатиладиган кимёвий жараёнлар ўрганилади..
- **Қаттиқ жисм физикаси** — қаттиқ материалларда, масалан, яримўтказгичлар ва ўтаўтказувчан материалларда квант эффе́ктларини ўрганилади.
- **Полимерлар физикаси** — макромолекулалар асосидаги материалларнинг структураси ва физик хоссалари ўрганилади.
- **Композитлар физикаси** — матрица ва тўлдирувчи асосида шаклланган материаллар тузилиши ва физик хоссалари ўрганилади.
- **Наноматериаллар физикаси, кимёси ва технологияси** — наноўлчамли материалларнинг олиниши, тузилиши ва хоссалари физика, кимё ва технологияларнинг алоҳида бўлими сифатида ўрганилади.

Замонавий материалшуносликнинг бирламчи вазифалари қуйидагичадир:

“Мустаҳкамликнинг физик асослари”

“Нурланишнинг материал ёки модда билан ўзаро таъсирланиши”

“Қаттиқ жисмлар радиацион физикаси”

“Материалшуносликда моделлаштириш”

“Материалларни компьютерли лойиҳалашнинг физик асослари”

Материал хоссаси - бу материалнинг ташқи факторлар таъсирига маълум даражада ёки шаклда сезгирлик намоён қилиш қобилиятидир. Одатда бу хоссалар 4 гуруҳга бўлинади:

- *механик*;
- *физик*;
- *кимёвий*;
- *технологик*.

Материалшуносликда алоҳида яна бир хосса эътироф этилади, бу - физик-кимёвий хоссалардир.

Механик хоссалар материалларни ташқи кучлар (механик, деформацион), иссиқлик ва бошқа таъсирларига мавжуд структурасини парчаламасдан қаршилик кўрсата олиш қобилиятини ифодалайди.

Механик хоссалар - пластик ва мустаҳкамлик хоссаларга ажратилади.

Пластик хосса - материалнинг массаси ўзгармаган ҳолда шакли ва ўлчамининг ўзгаришини ифодаловчи деформацияланиш қобилиятини тавсифлайди.

Деформациянинг асосий турлари – чўзиш, сиқиш, силжиш, буралиш ва қайрилишдир. Улар қайтар ва қайтмас ҳамда қолдиқ деформациялар бўлиши мумкин. Қайтар деформация ташқи таъсир олиб ташланганса тўлиқлигича бартараф бўлади.

Эгилувчан деформация - бу қайтар деформация бўлиб, ташқи таъсир олиб танланса дарҳол тўлиқлигича бартараф бўлади, эластик деформация эса бартараф бўлиши учун маълум вақт талаб этади.

Пластик деформация - бу қайтмас деформация бўлиб, ташқи таъсирлар туфайли вужудга келади ва таъсирлар олиб ташланса ҳам сақланиб қолади^{2,3,4}

Мустаҳкамлик хоссаси - бу материалнинг маълум шароит ва

^{2,3,4} William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

3. Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners*. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

4. Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS*, 2012, - P.169

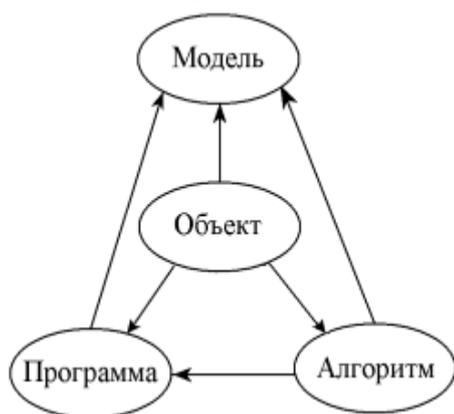
чегараларда механик, иссиқлик ва бошқа таъсирлар натижасида вужудга келадиган ички кучланиш ва деформациясига парчаланмасдан қаршилик кўрсатиш қобилиятини ифодалайди.

Механик хоссалар стандартлар талабларига мувофиқ механик синовлар ўтказиш орқали аниқланади.

Механик синовлар:

- статик; - динамик; - судралувчанлик; - чарчовлик; - емирилувчанлик.

Пластик деформация ташқи таъсирлар остида ўзоқ вақт мобайнида секин ошиб борадиган ва қолдиқ деформациясини вужудга келтирмайдиган бўлса, у судралувчанлик дейилади.



Материалшунослик моделлаштириши куйидагича бўлади (10-расм).

10-расм. Материалшуносликда моделлаштириш асословчи чизма

Материалшунослик объектга нисбатан шартли равишда учта асосий тармоққа йўналтирилади, яъни: “Модель”, “Программа”, “Алгоритм”. Унда алгоритмда моделга тўғридан тўғри йўналтирилган тарзда ёки программа орқали йўналтирилган ҳолатда иш юритилади. Бу мантиқий боғланиш материаллар моделлаштириш самарали ҳисобланади.

Умуман олганда материалларнинг *структура (structure)* ва *хоссалари (properties)* иккита ўта муҳим жиҳатга, яъни материалшунослик ва муҳандисликка таянган ҳолда *қайта ишлаш (processing)* ва *қўлланиш (performance)* га боғлиқ бўлади^{2,4} ва куйидагича эътироф этилади (11-расм):

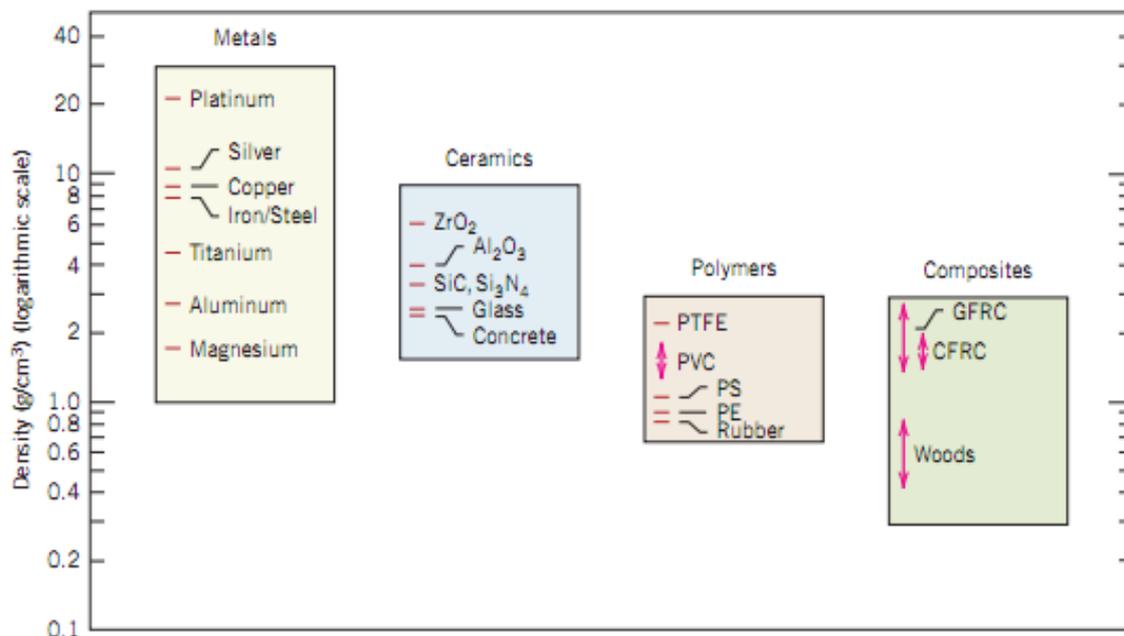


11-расм. Материалшунослик ва муҳандисликнинг тўрт ташкилий асослари ва уларнинг ўзаро кетма-кетлиги.

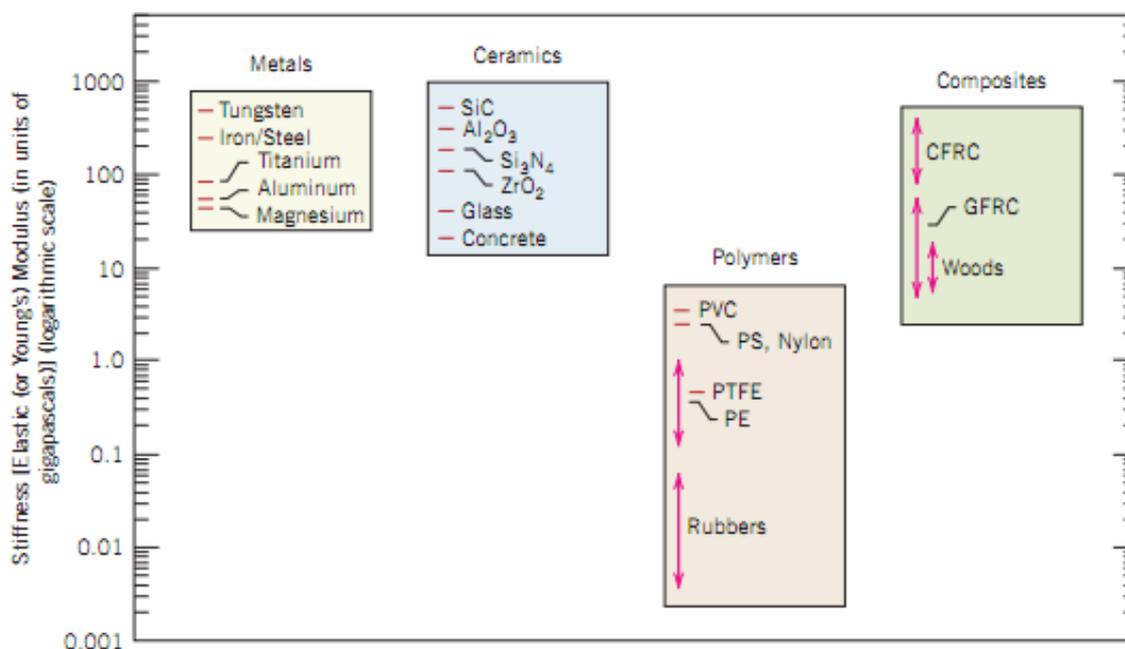
^{2,4} William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

4. Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS,* 2012, - P.169

Кейинги гистограммаларда ²турли металллар, керамикалар, полимерлар ва композитларнинг хона ҳароратида зичлиги, каттиқлиги, мустаҳкамлиги, ёрилишга барқарорлиги ва электр ўтказувчанлиги қиёсий таққосланган (12-17 –расм).

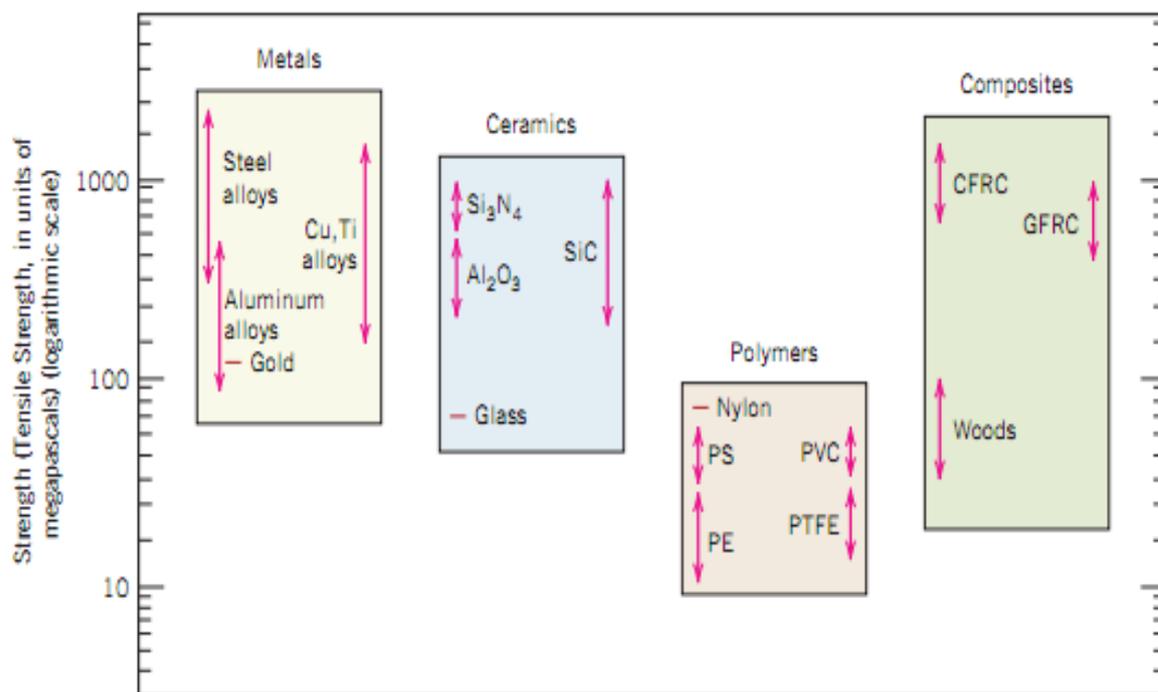


12-расм. Турли материалларнинг хона ҳароратида зичлигини кўрсаткичлари

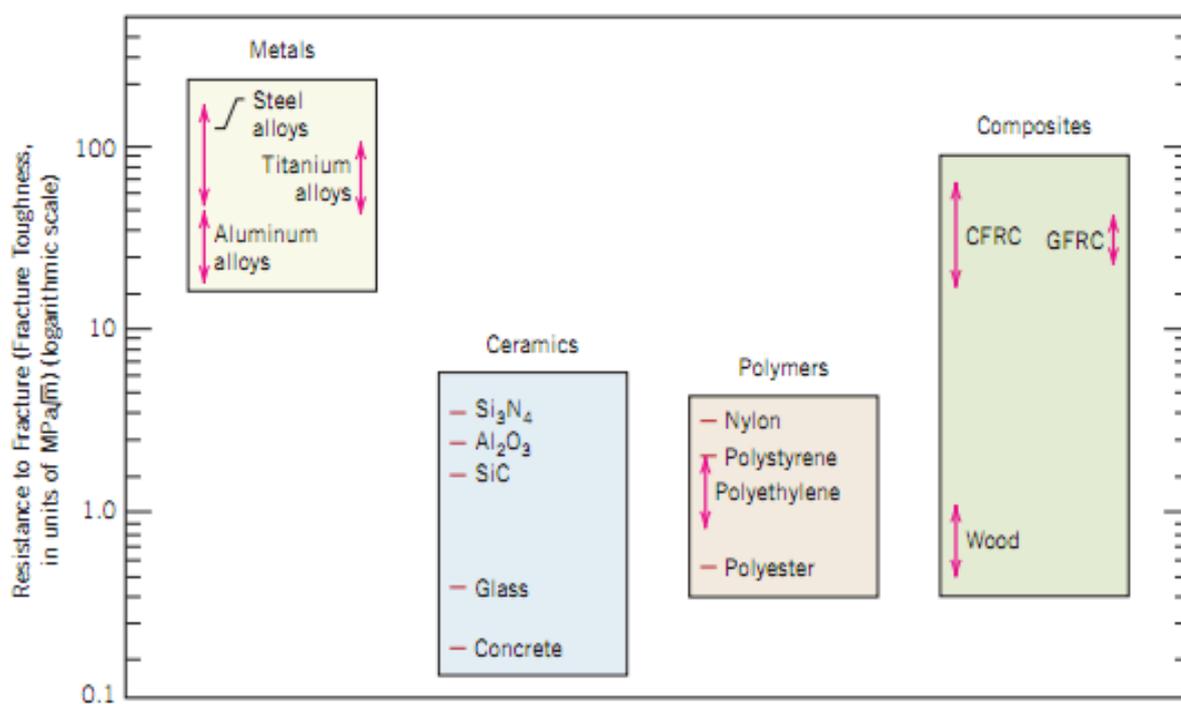


13-расм. Турли материалларнинг хона ҳароратида каттиқлигини кўрсаткичлари

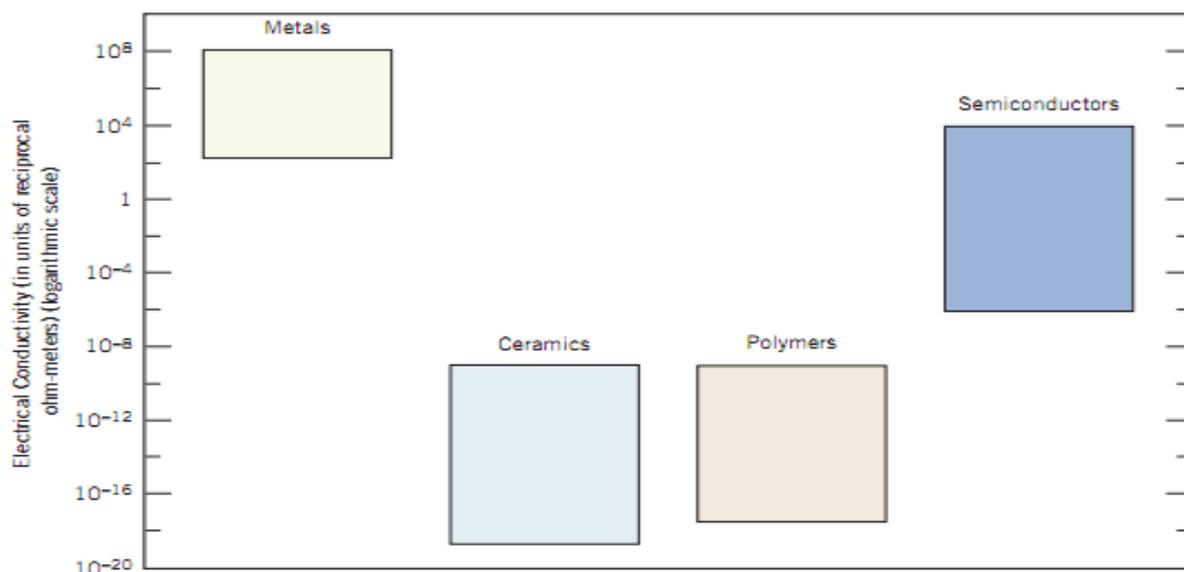
²² Dieter William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.



14-расм. Турли материалларнинг хона ҳароратида мустаҳкамлигини кўрсатгичлари



15-расм. Турли материалларнинг хона ҳароратида ёрилишга барқарорлигини кўрсатгичлари



16-расм. Турли материалларнинг хона ҳароратида ёрилишга барқарорлигини кўрсатгичлари

Материалшуносликка илмий ёндашиш ва муҳандислик физикасининг имкониятларидан кенг фойдаланиш бир ҳил маҳсулотларни турли ҳил материаллардан ишлаб чиқариш мумкин. Бу 17-20- расмларда акс этган.



17-расм. Металл жиҳозлар



18-расм. Керамик жиҳозлар



19-расм. Полимер жиҳозлар



20-расм. Электроник материаллар

Шунингдек, аксинча бир материалдан бошқа турдаги материаллар асосида ясаладиган маҳсулотлар ишлаб чиқиш имконияти ҳам мавжуд бўлиб, бундай материалларни яратиш замонавий материалшунослик физикаси асосий вазифаларидан ҳисобланади.

Назорат саволлар:

1. Материалшунослик нима ҳақидаги фан?
3. Материалшунослик предмети нима?
4. Наноматериалшунослик нима?
5. Замонавий материалшунослик нималарни ўз ичига олади?
6. Металл ва керамик материаллар таркибига нималардан иборот?
7. Металл нанозаррачаларни барқарорлаштиришда нима учун керак?
8. Қандай материаллар “ақлли” материаллар деб юритилади?
9. Композитлар деганда нимани тушинасиз ва улар нима учун шаклантирилади?
10. Полимер материаллар бошқа материалларда қандай жиҳатлари билан фарқланади?
11. Электроник матерималлар қандай принципал жиҳатлар эга бўлиши керак бўлади?
12. Керамик материаллар асосини нималар ташкил этади?

Фойдаланилган адабиётлар

1. Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.
2. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
5. www.nanometer.ru/
6. www.mitht.ru/e-library
7. www.crism-prometey.ru
8. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech_ Uni_ Berlin

2-мавзу: Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар, улар асосидаги замонавий материаллар физикаси, илмий ва амалий ҳамда истиқболлари.

Режа

1. Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар асосидаги материаллар турлари ва таснифлари.
2. Материалларнинг аморф-кристалл ҳолатлари, фазавий диаграммалари, механик, термик, оптик, электрофизик, физик-кимёвий ва биофизик хоссалари.
3. Замонавий материаллар яратишда таркибни танлаш ва қўлланиши имкониятлари.
4. Материалшуносликда физик омиллар ва технологиялар ҳамда комплекс илмий тадқиқотлар ва уларнинг истиқболлари.

Таянч иборалар: *металлар, нометаллар, қуйи молекуляр бирикмалар, юқори молекуляр бирикмалар, кристалл ва аморф ҳолатлар, фазавий диаграммалар, материалларда физик жараёнлар.*

- 2.1. Металлар, қуйи ва юқори молекуляр бирикмалар асосидаги материаллар турлари ва таснифлари.

Материаллар анъанавий тарзда асосий учта йирик гуруҳга, яъни металллар, керамикалар ва полимерларга бўлинади ¹.

Металл материаллар металл хом-ашёлардар, жумладан, титан, темир, мис, никель, алюминий каби ёки уларнинг бир қатор қотишмалар, бронзалар асосида шаклланади.

Керамик материаллар порсилан, силикон (кремний), карбит, шиша ва синтетик бирикмалар, жумладан, цирконий кабилар асосида шаклланади.

Полимерлар умуман олганда углерод, водород, кислород ва шу сингари табиатда кенг тарқалган бир қатор элементлар асосида синтез қилинган макромолекула бўлиб, улар асосида турли хил материаллар олинади. Масалан, полиэтилен, полипрополен, поливинилхлорид, полиэтиленоксид,

¹ Dieter William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

полиэтилентерефталат, полиамид каби кўплаб синтетик ва целлюлоза, пектин, фиброин, кератин, коллаген, ДНК и РНК каби табиий полимерлар замонавий материалларни ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади.

Буларга қўшимча, яна иккита гуруҳ бўлиб, улар композитлар ва биоматериаллар деб юритилади. Композитлар ўта муҳим материаллардан бўлиб, улар таркибига турли тўлдирувчилар киритилиши ҳисобига турли туман хоссали материаллар олиш имконини беради. Бундай материалларнинг айримлари таркибидаги компонентларни танланишига асосланиб ва ноёб хоссаларни намоён қилишига қараб баъзида супер муҳандислик материаллари ҳам деб юритилади. Масалан, шиша толалар шундай керимик материалдир.

Биоматериаллар – табиий хоссаларни ўзида сақланган материаллар бўлиб, улар аҳамий аҳамияти ва қўлланиши бўйича ўта муҳим ҳисобланади. Улар гуруҳига, ёғоч, пахта, ипак, жун каби табиий шароитда синтез бўлган улкан макромолекуляр бирикмалар киради. Табиий полимерлардан сунъий полимер материаллар олиш имконияти, улардан ноёб ёки махсус хоссали материаллар яратиш имкониятини беради ².

Авалом бор, металл, керамик ва полимер бирикмалар учун муҳим бўлган бир қатор жиҳатлар бор. Улар икки асосий фактор орқали ифодаланади: - кимёвий боғлар ҳосил қилиб бирикиш; - қаттиқ фазада оддий микроструктуравий бирикма ҳосил қилиш.

Кейингиси анча мураккаб тавсифли бўлиб, ҳар бир компопонентнинг қай даражада материалда жойлашганлигига боғлиқ тарзда материалнинг хоссаси намоён бўлади. Кўпчилик керамик материаллар таркибида метал тутиш имкониятига эга бўлади, масалан, керамик ўта ўтказувчан материаллар шундай таркибга эга.

Бир қатор полимерлар металллардан юқори даражада кўпроқ электрон ўтказувчанликни намоён қилади ҳамда улар ёрутиш батериялари ва электрон асбоблар ва қурилмалар ясашда қўлланилади.

Металлар. Умуман олганда металллар элементлар даврий системанинг катта қисмини ташкил этади. Бу қуйидаги 1-жадвалда кўрсатилган. Металлнинг ташқи электрон конфигурациясини ўзгартириш орқали, яъни турли туман конфигурациясидан бирини ўзгартириш билан металл

² Dieter William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

структураси шаклини ва даврий системада эътироф этилган хоссасини ўзгартиш мумкин¹.

Натижада металл элемент уч структурадан бирини эгаллайди. Ушбу фактнинг намоён бўлиши ташқи металл электронларнинг кристалл структураси бўйича кўзгатилиши ва ядрога қолдиқ бўлиб қолиши, умуман олганда, тахминан қонинарли амалга ошади.

Қотишмалар, яъни икки ва ундан ортиқ элементлар асосида шаклланган материал бўлиб, структуранинг турли хиллиги эришишига имкон беради. Қотишманинг икки асосий жиҳатларини таъкидлаб ўтиш жоиздир².

1-жадвал. Металлларнинг даврий системадаги жойлашиш тартиби

Li A2 0.3509	Be A3 α 0.2286 с 0.3585											B	C
Na A2 0.4291	Mg A3 α 0.3209 с 0.5211											Al A1 0.4050	Si
K A2 0.5321	Ca A1 0.5588	Sc A3 α 0.3309 с 0.5268	Ti A3 α 0.2951 с 0.5686	V A2 0.3024	Cr A2 0.3885	Mn	Fe A2 0.2867	Co	Ni A1 0.3524	Cu A1 0.3615	Zn A3 α 0.2665 с 0.4947	Ga	Ge
Rb A2 0.5705	Sr A1 0.6084	Y A3 α 0.3648 с 0.5732	Zr A3 α 0.3232 с 0.5148	Nb A2 0.3300	Mo A2 0.3147	Tc A3 α 0.2738 с 0.4393	Ru A3 α 0.2706 с 0.4282	Rh A1 0.3803	Pd A1 0.3890	Ag A1 0.4086	Cd A3 α 0.2979 с 0.5620	In 0.1663	Sn
Cs A2 0.6141	Ba A2 0.5023	La	Hf A3 α 0.3195 с 0.5051	Ta A2 0.3303	W A2 0.3165	Re A3 α 0.2761 с 0.4458	Os A3 α 0.2734 с 0.4392	Ir A1 0.3839	Pt A1 0.3924	Au A1 0.4078	Hg	Tl A3 α 0.3457 с 0.5525	Pb A1 0.4950

Тўлдирилган қотишмалар структураси кўп ҳолларда оддий металлникига ўхшаш бўлади, аммо бир нечта металл атомлари фаол ёки тавсифли атомлар жойлашиши бўйича тақсимланган бўлади. Агар қотишмага бир типдаги атом

¹ . William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

2. Richard J. D. Tilley *Understanding solids : the science of materials.* -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.

киритилса, металл атомлари орасига жойлашади. Улар биргаликда физик хоссаларни намоён қилади. Аммо металллар орасига диффузион тарзда кирган атомлар ва металл (она) ўртасида ўзаро таъсирлашиш амалга ошиши муҳимдир. Одатда, бундай ҳолларда металл боғлар ҳосил бўлади, аммо, водород боғлар ва ион боғларни шаклланиши тақиқланмаган. Бундай материаллар бир жиҳатдан композитларга ўхшаш бўлади.

Таркиби соф металллар кристалл структуралардан учтасидан бирини бирини эгаллайли: А1 – мис структураси (кубик); А2 – вольфрам структураси (ҳажмий марказлашган кубик); А3 – магний структураси (гексагональ). Ҳозирда бундай структураларнинг кўпчилигини турлари аниқланган, уларнинг айрими 2-жадвалда тавсифларига биноан келтирилган.

2-жадвал, Металларнинг турли хил кристалл структуралари ¹

Li A2 0.3509	Be A3 a 0.2286 c 0.3585											B	C
Na A2 0.4291	Mg A3 a 0.3209 c 0.5211											Al A1 0.4050	Si
K A2 0.5321	Ca A1 0.5588	Sc A3 a 0.3309 c 0.5268	Ti A3 a 0.2951 c 0.5686	V A2 0.3024	Cr A2 0.3885	Mn	Fe A2 0.2867	Co	Ni A1 0.3524	Cu A1 0.3615	Zn A3 a 0.2665 c 0.4947	Ga	Ge
Rb A2 0.5705	Sr A1 0.6084	Y A3 a 0.3648 c 0.5732	Zr A3 a 0.3232 c 0.5148	Nb A2 0.3300	Mo A2 0.3147	Tc A3 a 0.2738 c 0.4393	Ru A3 a 0.2706 c 0.4282	Rh A1 0.3803	Pd A1 0.3890	Ag A1 0.4086	Cd A3 a 0.2979 c 0.5620	In 0.1663	Sn
Cs A2 0.6141	Ba A2 0.5023	La	Hf A3 a 0.3195 c 0.5051	Ta A2 0.3303	W A2 0.3165	Re A3 a 0.2761 c 0.4458	Os A3 a 0.2734 c 0.4392	Ir A1 0.3839	Pt A1 0.3924	Au A1 0.4078	Hg	Tl A3 a 0.3457 c 0.5525	Pb A1 0.4950

Металларнинг структуралари турли шаклларда бўлиши “аллотропия” дейилади. Уларда ҳароратнинг ошиши билан кузатиладиган айрим ўзгаришлар 3-жадвалда тавсифланган.

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

3-жадвал. Металларнинг аллотропик структуралари

Element	Room-temperature structure	High-temperature structure	Transition temperature/ °C
Ca	A1	A2	445
Sr	A1	A2	527
Sc	A3	A2	1337
Ti	A3	A2	883
Zr	A3	A2	868
Hf	A3	A2	1742
Y	A3	A2	1481
Fe	A2	A1	912
Co	(A3)	A1	435

Айниқса, кўпчилик гексагональ (АВАВ) ёки кубик (АВСАВС) структуралардан шаклланган материаллар ўта зич жойлашган структуралар эга ҳисобланади. Улар бири кобальт металли бўлиб, у ўзининг юқори зичликка эга бўлиши намоён этади. Ҳарорат 435 оС пастга кескин тушса, кобальт структураси кристалл ячейканинг А, В, С сиртлари бўйлаб атомлари тартибсиз жойлашади. Бундай структуравий шаклланиш А3 структурага пастроқ ҳароратларда изчил “ киздириб юмшатиш”, яъни “отжиг” орқали ўтказилиши мумкин. Бунда материалнинг физик хоссаси А1 ва А2 структураларникига қараганда анча юқорироқ бўлишига эришилади. Аксинча, А3 структурадан А1 структурага ҳароратни ошириш орқали ҳам ўтиш мумкин бўлади¹.

Қотишманинг қаттиқ эритмаси. Қотишмалар муҳим хоссаларидан бири, уларнинг компонентларига, яъни соф металлларига нисбатан юқори тавсифлар ва хоссаларга эга бўлишидир. Кўпчилик қотишмалар ноодатий ва мураккаб структураларга эга бўлади ва улардан иккита турини таъкидлаб ўтиш жоиздир.

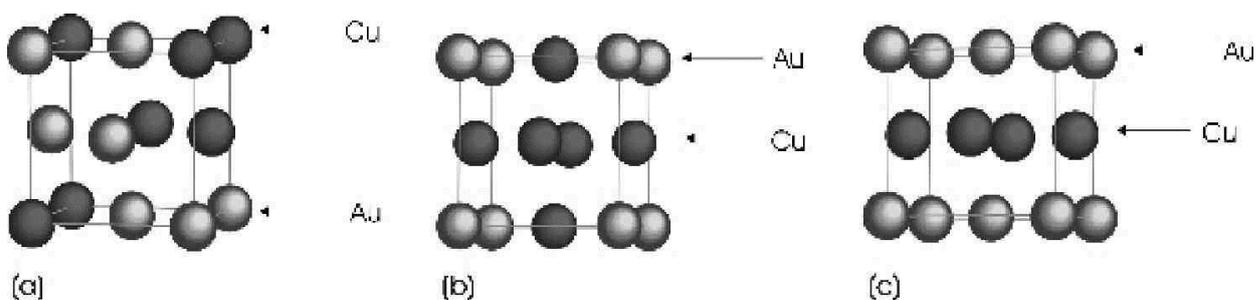
Биринчиси, қотишмага металл тўлдирувчи бўлиб киритилган ҳолат ва иккинчиси металл структурани ташкил этган элементлар орасига киритилган ҳолат. Биринчи ҳолатда киритилган металл қотишмадаги бошқа бир

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

металлга ўхшаш жойлашади ва хоссани намоён қилади.

Иккинчи, ҳолатда эса ўта кичик металл атомлари кристалл структурадаги атомлар орасидаги бўшлиқларга сингиб жойлашади ҳамда мураккаб хоссаларни намоён бўлишига сабаб бўлади. Ушбу икки хил структурада ташқи атомлар худди тўлдирувчилар сингари металл структурасига киритилган бўлиб, металл структура матрица сингари улар тутиб туради. Шу боис қотишма ноёб ва махсус физик хоссаларни намоён қилиши кузатилади.

Тадқиқотлар шундай эффектлар кузатилади, улар айрим шаклланишни таҳлил этишни тақазо этади^{1,2,3}. Масалан, мис-никель ёки мис-олтин асосидаги тўлдириш принципи асосида шакллантирилган қотишма қаттиқ эритма кўринишида бўлиши керак, аммо, атомлар қаттиқ эритмада силжишни амалга оширади ва янги тартибланган қаттиқ фазали эритма ҳосил бўлади. Бу ҳолат деярли барча қотишма тизимларида, айниқса, “отжиг” жараёни нисбатан пастрой ҳароратларда амалга оширилган қаттиқ эритмаларда яққол кузатилади. Масалан, мис-олтин қотишмани суюқланиш ҳарорати 890 °C дан то 410 °C гача интервалда қиздириб, кейин катта тезликда совитилса, унда мис ва олтин атомлари А1 структура тугунлари бўйича тассоддий, яъни тартибланмаган тарзда тақсимланиб жойлашади (1а-расм). Шундай бўлсада,



1-расм. Кубик кристалл структура: а - тартибланмаган CuAu;
б – тартибланган Cu₃Au; с –тартибланган CuAu.

^{1,2,3} 1. William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

2. Richard J. D. Tilley *Understanding solids : the science of materials.* -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.

3. Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH &Co.KGaa, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

қотишмани 400 °С маълум муддат қиздирилса мис ва олтин атомлари силжиб янги позицияларга ўтиб жойлашади. Бунда тартибланиш қотишманинг таркибига боғлиқ бўлади ва икки хил тўйинишга эга структура шаклланиши кузатилади: Cu_3Au ва CuAu . Мис билан тўйинган Cu_3Au структура 1б – расмда тасвирланган. Бунда олтин атомлари кубук элементар ячейканинг бурчакларида ва мис атомлари марказда жойлашган бўлади. Бошқа бири, яъни CuAu асосидаги тартибланган қотишма структурасида бир хил миқдорда атомлар иштирок этади (1с-расм) ва улар мис ва олтин кетма-кетлигида жойлашишган бўлади.

Металл шишалар. Агар иссиқлик таъсирида суюлтирилган металллар тахминан 10^{-5} - 10^6 К /с тезликда совитилса, металллар нокристалл ҳолатга ўтиши мумкин. Бундай усулда нокристалл металл материалларни олиниши илк бора $\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$ аралашмасида амалга оширилган. Бунинг натижасида қотирилган металл шиша кўринишида бўлган ва металл шишалар олиш имкониятлари кўрсатиб берган. Қуйидаги 4-жадвалда бир қатор металл шишаларнинг таркиби ва муҳим хоссалари ҳақида маълумот берилган^{1,4}.

4-жадвал. Силикат шишалар муҳим тавсифлари [3]

Table 6.3 Some silicate glasses

Name	Typical composition	Important property	Principal uses
Soda glass	15 % Na_2O : 85 % SiO_2	Cheap	Window glazing
Soda-lime glass	72 % SiO_2 : 14 % Na_2O : 14 % CaO	Cheap	Window glazing
Borosilicate (Pyrex [®])	80 % SiO_2 : 13 % B_2O_3 : 7 % Na_2O	Low coefficient of expansion	Cooking ware, laboratory ware
Crown glass	9 % Na_2O : 11 % K_2O : 5 % CaO : 75 % SiO_2	Low refractive index	Optical components
Flint glass	45 % PbO : 55 % SiO_2	High refractive index	Optical components, 'crystal' glass
Lead glass	Up to 80 % PbO : SiO_2	Absorbs radiation	Radiation shielding
Silica	100 % SiO_2	Very low coefficient of thermal expansion	Optical components, laboratory ware, optical fibre

^{1,4} William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Inc. 2007. – P. 975.

⁴ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS,* 2012, - P.169.

Бундан мураккаброқ тизимларда тадқиқотлар олиб бориш шишасимон металл материаллар шакллантириш принциплари очишга имкон берган ва бундай жараёнлар ҳатто совитиш тезлиги 10 К/с гача тушилиб олиб борилган. Бундай усулда олинадиган материаллар ўзининг юпқалиги билан амалий қизиқиш ўйғотган, масалан, уларни амалий қўллаш махсус кўзойнак ва оптик жиҳозлар, магнетик пластинкалар яратиш қўл келган^{1,5}.

GLASS 167

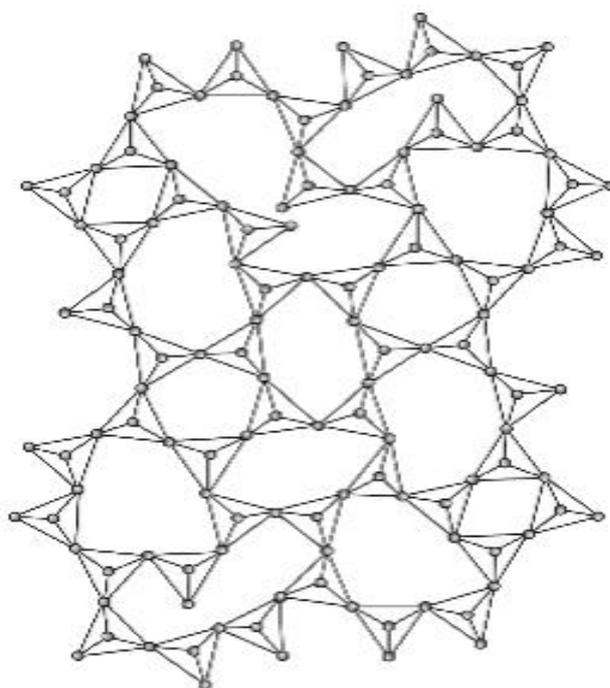


Figure 6.16 The random network structure of corner-linked $[\text{SiO}_4]$ tetrahedra in a silicate glass

2-расм. Силикат шишада (SiO_4) бурчакли тикилиши асосида шаклланган тетраэдрнинг тўрсимон структураси

Одатда, барча материалларнинг хоссалари, уларнинг ички элементларнинг ўзаро таъсирлашиш боғларини қай тарзда ташкил

1. William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

⁵. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid *Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications* Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>

этилганлиги ва микроструктураларига кўп жиҳатдан боғлиқ бўлади. Металлларнинг асосий ўзига хос хусусиятлари уларнинг яхши электр ва иссиқлик ўтказувчанлигидир. Металл материалларда металл боғлари мавжудлиги, уларда жуда кичик ташқи кучлар, яъни электр кучланиши ёки иссиқлик таъсирида эркин электронларни металл бўйлаб ҳаракатланишига имкон беради. Шунини алоҳида, таъкидлаш жоизки, металлларда электр ўтказувчанлик миқдори уларнинг иссиқлик ўтказувчанлик муаммоси билан жиддий боғлангандир. Бундай боғлиқлик Wiedemann– Franz қонуни бўйича қуйидагича эътироф этилади:

иссиқлик ўтказувчанлик (thermal conductivity)	$3Tk^2$
электр ўтказувчанлик (electrical conductivity)	$\frac{1}{4} e^2$

бу ерда k - Больцман доимийси; T - мутоқ ҳарорат, e – электрон заряди.

Металлларнинг ёруғлик ва иссиқликка нисбатан юқори қайтарувчанлик қобилияти улардаги эркин электронга боғлиқдир. Металл сиртига ёруғлик фотонлари таъсир этганда, Ферми сатҳи атрофидаги эркин электронлар фотонни ютиши мумкин, чунки улар атрофида жуда кўп энергетик бўш ҳолатлар мавжуддир. Шунингдек, электрон осонгина қайта қуйи сатҳга ўз жойига ўтиши ва фотонлар эса қайта нурланиши мумкин. Буни аниқ тарзда амалга ошириши Ферми сиртининг аниқ шаклини ва Ферми сиртида энергия сатҳларини сонига боғлиқ бўлади.

Керамикалар. Ушбу материаллар асосини ноорганик бирикмалар ташкил этади ва улар юқори ҳароратларда кимёвий реакциялар орқали шакллантирилади. Кўпчилик керамикалар асосан оксидлар, аммо, кремний, азот, оксинитридлар, гибридлар ва бошқа ноорганик бирикмалар асосида ҳам шаклланган бўлади (5-жадвал). Керамикалар кимёвий инерт материаллар ҳисобланади. Улар қаттиқ, иссиққа чидамли ва электр изоляторлик хоссаларига эга материаллардир. Анъанавий керамик материаллар силикат асосидадир. Аммо, кейинги даврларда таркибни модификация қилиш орқали муҳим хоссали керамиклар яратилмоқда, жумладан, механик мустаҳкам, электрокерамик материаллар, электроника учун махсус керамикалар, шиша керамикалар ва бошқаларни ишлаб чиқаришга эътибор қаратилмоқда¹.

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

5-жадвал. Керамикалар асосини ташкил этадиган кремний структуралари

Table 6.2 A summary of silicate structures

Structure	Formula	Mohs Hardness	Examples
Isolated silicate groups:			
Monomer	$[\text{SiO}_4]^{4-}$	8–5	Mg_2SiO_4 , forsterite, (<i>olivines</i>) $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$, uvarovite, (<i>garnets</i>)
Dimer	$[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$	5	$\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, thortveitite
Three-ring	$[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$	7–4	$\text{BaTi}(\text{Si}_3\text{O}_9)$, benitoite
Four-ring	$[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$	7–4	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{BO}_3)(\text{Si}_4\text{O}_{12})(\text{OH})$, axinite
Six-ring	$[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$	6–4	$\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$, beryl $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$, tourmaline
Chains:			
Single	$[\text{SiO}_3]^{2-}$	7–4	MgSiO_3 , enstatite, (<i>pyroxenes</i>)
Double	$[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$	5	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, tremolite, (<i>amphiboles</i>)
Sheets:			
Single silicate layer	$[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$	3–1	$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
Double silicate layer	$[\text{SiO}_2]$	3–1	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (half Si replaced by Al)
Single silicate plus single hydroxide layer	$[\text{Si}_2\text{O}_5]$ plus hydroxide	3–1	$\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$, kaolinite, (<i>clays</i>) $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{SiO}_5$, chrysotile, (<i>clays</i>)
Single silicate plus double hydroxide layer	$[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ plus hydroxide	3–1	$\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$, pyrophyllite, (<i>clays</i>) $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$, talc, (<i>clays</i>)
Single silicate plus double hydroxide	$[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$	3–1	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}$, muscovite, (<i>micas</i>) $\text{KMg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}$, phlogopite, (<i>micas</i>)
Networks:			
Silicate	$[\text{SiO}_2]$	8	SiO_2 , quartz
Aluminosilicate	$[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8]$	7–5	KAlSi_3O_8 , <i>feldspars</i>

Шиша керамиклар кристалланмаган, яъни аморф ҳолтдаги материал ҳисобланади. Анъанавий керамик материаллар одатий мақсадлар, идишлар, декоратив жиҳозлар, плита-тагликлар, изоляторлар сифатида ишлатилса, янги илмий асосланиб ва муҳандислик принципларига таяниб ишлаб чиқарилаётган керамик материаллар, айниқса, уларнинг таркибини металл ёки полимерлар бойитилган бўлса, ноёб ва махсус хоссали материаллар сифатида юқори технологик материаллар сифатида қўлланилмоқда.

Керамик материаллар қўлланиш турлари қуйдагиларни ўз ичига олади:

- металл компонентнинг сиртини қоплаш учун қаттиқ материал (титан нитрид (TiN), вольфрам карбид (WC));
- инерт юқори ҳароратларга чидамли компонентли материал (валиклар, ички ёнув цилиндрлар, шпинделлар ва ҳ.к.);
- юқори тезликда кесувчи-ўткир жиҳозлар, абразивлар (алюминий оксид Al_2O_3 , кремний карбид SiC ва диамонд).

Электркерамикалар ўта-юқори-соф материаллар бўлиб, улар ноёб электроник хоссаларга эга бўлади. Ҳатто, супер ўтказувчан материаллар улар асосида тайёрланади. Электркерамикалар фаол элементлар шаклида газ сенсорлари, ҳарорат сенсорлари, батериялар ва ғовакли ячейкалар учун самарали ишлайдиган материал ҳисобланади. Шу сингари керамик магнитлар мавжуд бўлаб, улар одатда кўпчилик моторларда кенг қўлланади. Керамикалар, шунингдек, ёруғлик флуоресцентлар ва компьютер дисплейлари деталлари сифатида қўлланиши билан ҳам машҳурдир.

Шиша керамикалар. Ушбу тур материаллари каттиқ фазали бўлиб, уларнинг асосининг катта қисмини кристалл фаза ташкил этади. Умуман олганда шиша керамика композит материал бўлиб, унинг керамик асоси кристалл фазани ва шиша қисми аморф фазани ташкил этади. Компонентлар танлаш ва уларни комбинацион жойлаштириш натижасида юқори ҳароратларга чидайдиган ва юқори механик тавсифлар ва кўрсаткичларга эга материал олиш мумкин^{1,4}. Бунда шишанинг микроструктураси ўта муҳим

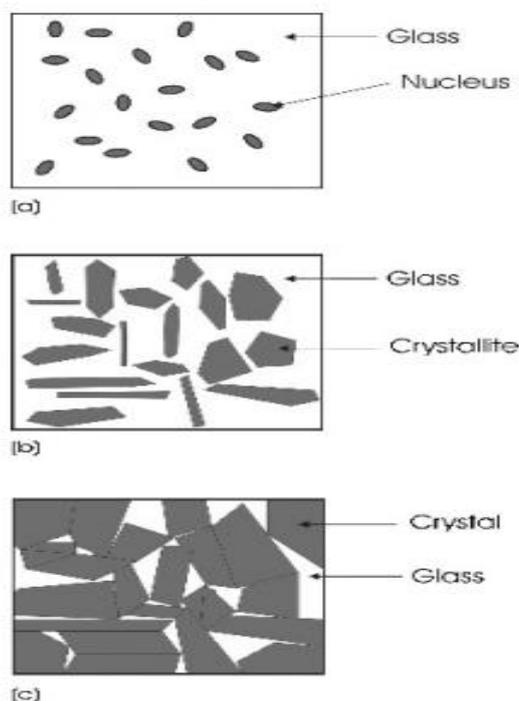


Figure 6.19 Nucleation (part a) and growth (parts b and c) in a glass ceramic

бўлиб, унинг қай даражада шаклланган бўлиши кеерамиканинг хоссаларини юқори кўрсаткичларда ёки маълум бир мақсадларга мўлжалланган материал сифатида шакллантиришга имкон беради. Масалан, бу ҳақда 3-расмга қаранг.

3-расм. Шиша керамиканинг таркибий тавсифлари

^{1,4} William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

4. Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS,* 2012, - P.169.

Тавсирдаги структурани вужудга келишида шакллантириш жараёнининг ҳар бири босқичининг роли муҳим бўлиб, уларни жиддий назорат қилиш лозим бўлади. Бунда икки жараён амалга ошиши, яъни компонентларнинг суюқ – оқувчан ҳолатда ва фазадан қаттиқ (оқмайдиған) фазага ўтиши назарда тутилаяпти. Биринчиси бунда керамик компонент кристалланиши ҳисобига амалга ошса, иккинчиси шиша фазани аморф ҳолат қаттиқ фазага айланишидир. Бунда компонентлар суюқ фазада араланиши ва уларнинг оқувчанлиги, яъни етарли даражада қовушоқликка эга бўлиши талаб этилади. Одатда, керамик компонентнинг кристалланиш ҳарорати билан шишанинг қотиш ҳарорати маълум даражада фарқланади. Бунга боғлиқ тарзда материалнинг шаклланишини ўзгариши табиийдир.

Яна иккита фактор шиша керамикалар олинишида муҳим саналади. Булар материални шакллантиришда суюлтма ва микроструктураларнинг араланиш факторларидир. Одатда, суюқ фазали шишада керамик компонент кристалл фазасини шаклланади ва буни назорат қилиш зарур бўлади. Чунки, кристалланиш ва шишаланиш ҳароратлари бир бирига боғлиқ бўлади ҳамда кристалланиш жараёни ҳажмни ўзгариши билан амалга ошади.

Баъзи шиша керамикалар, масалан, микроструктурали қўшимчалар асосида бўлса, улар ультрагранит материаллар ҳисобланади ва юқори ҳароратли кварц асосида шаклланиши ва бунда юқори физик тавсифларга эга бўлиши кузатилади³. Масалан, 4-расмда унинг тузилиши тавсирланган.

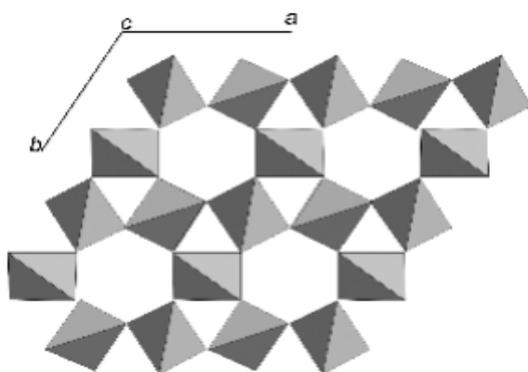


Figure 5.30 The structure of the high-temperature form of SiO_2 , β -quartz, drawn as corner-shared tetrahedra projected down the hexagonal c axis (normal to the plane of the page). This projection obscures the fact that the tetrahedra form three-dimensional spirals, not rings

4-расм. Юқори ҳароратга чидамли SiO_2 ва β -кварц асосидаги шиша керамика

³ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Шунингдек, ушбу гуруҳга оид бир қатор материаллар кейинги йиллар амалга кенг қўлланмоқда. Масалан, перовскит асосли материаллар қуёш элементлари яратишда асосий элемент эътироф этилмоқда (5-расм).

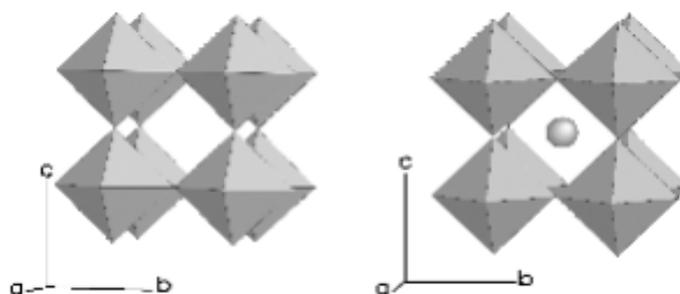


Figure 5.32 (a) The cubic ReO_3 structure represented as corner-shared ReO_6 octahedra; (b) the idealised cubic perovskite ABO_3 structure. The framework is identical to that in part (a) and consists of corner-shared BO_6 octahedra, containing an A cation in the central cage site (note $B \neq$ boron)

5-расм. Перовскит структурасини ифодаланган чизма [1].

Ушбу структуралар ўзининг ноёблиги билан улар асосида шакллантирилган материалларда, жумладан, шиша керамикаларда ҳам муҳим тавсифларни номён қилади. Ҳозирда перовскит асосида наноқатламли қуёш элементлари шакллантирилган бўлиб, уларнинг қуёш ёруғлигини электр токига айлантириш кўрсагичлари кремний асосли материалларникидан юқрироқ эканлиги аниқланган.

Юқори молекуляр бирикмалар - полимерлар. Ҳозирда иқтисодиётда, турмуш эҳтиёжари ва саноат ишлаб чиқаришида энг кўп қўлланаётган материаллардан бири бу юқори молекуляр бирикмалар, яъни полимерлар асосидаги материаллардир. Полимерлар табиий ва синтетик шароитда синтез бўлади^{1,4}. Табиий полимерлар гуруҳига ДНК, РНК, полисахаридлар (целлюлоза, хитин, хитозан, пектин, крахмал ва ҳ.к.), оксиллар (фиброин,

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.

4. Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology* & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

кератин, коллаген, желатин, альбумин, инсулин ва ҳ.к), каучуклар каби бирикмалар кирса, синтетик полимерлар гуруҳига полиэтилен (ПЭ), полиэтиленоксид (ПЭО), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), полакрилонитрил (ПАН), полистирол (ПС), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полиамид (ПА) каби бир қатор юқори молекуляр бирикмалар киради [4].

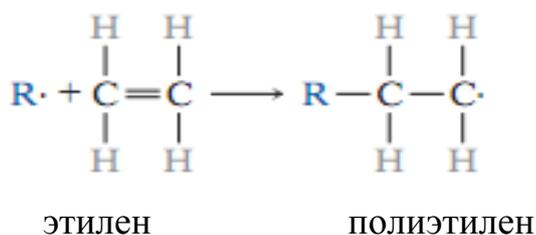
Табиий полимерлар асосан ўсимлик ва тирик жонзотлар организмда синтез бўлади ва бундай синтезлар организмдаги махсус кодлар воситасида амалга ошади. Бундан йўл билан организмлар ўзига зарурий бўлган биоматериалларни шакллантиради. Бу жараёнлар организм тириклигида организмнинг табиий хотираси асосида бошқариш принципи бўйича деярли доимий равишда давом этади. Биоматериаллар биринчи навбатда организм учун керакли материаллар бўлса, иккинчи навбатда инсоният учун, турмуш ва саноат, умуман барча ишлаб чиқариш соҳалари учун муҳим хом-ашё ва озук манбаи бўлган материаллардир.

Шуни таъкидлаш жоизки, табиий полимерларни қайта ишлаш орқали сунъий материаллар олинади. Бу материаллар айрим хоссалари бўйича табиий полимерлар афзалликка эга бўлиши ҳам мумкин. Масалан, табиий оксил коллагендан озук-овқат ва енгил саноат учун ўта зарур бўлган желатин оксили олинади. Бу ўз хоссасига кўра желатиндан анча фарқли ва муҳим жиҳатлари билан бир қатор афзалликларни намоён қилади.

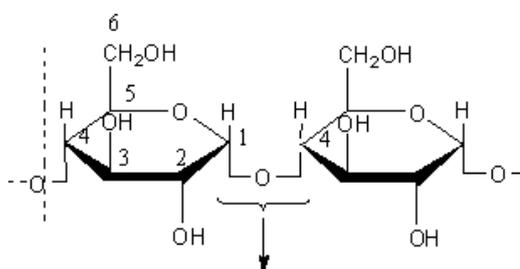
Синтетик полимерлар бевосита кимёвий синтез йўли билан олинади. Бунда хом-ашё сифатида газ ва нефть маҳсулотлари, махсус органик ва ноорганик бирикмалар, минераллар ва металллар кенг қўлланилади. Полимерлар кимёвий синтези ҳам ўз моҳиятига кўра асосий икки гуруҳга ажратилади, яъни радикал *полимерланиши* ва *поликонденсация*. Албатта, поликонденсация механизми табиий синтезда ҳам асосий ҳисобланади.

Полимерлар ичида энг оддий тузилишга эга бўлган бу синтетик полиэтилен (ПЭ) бўлса, энг мураккаб тузилишга эга бўлганлари бу оксиллар ва ДНК, РНК лардир.

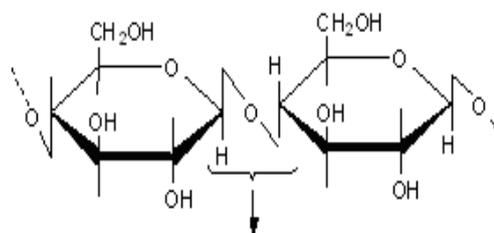
Ушбу чизмада этилендан полиэтилен синтез бўлишини ифодаланган



Полисахаридларда элементар звенолар бирикиш тартиби ва улардаги атомларни жойлашганлик ҳолатига боғлиқ равишда макромолекулалар турли тавсифларга эга бўлади. Одатда полисахаридлар ўсимликлар (крахмал, целлюлоза, лигнин, пектин кабилар) ва ҳайвонлар (хитин, глюкоамин кабилар) организмларини ташкил этувчи макромолекуляр бирикмалар ҳисобланади. Масалан, α -Д-глюкопираноза (амилоза) звеноларни поликонденсацион реакциясида α -(1,4)-глюкозид боғи ҳосил қилиб бирикса *крахмал* ёки β -(1,4)-глюкозид боғини ҳосил қилса *целлюлоза* синтез бўлади ^{4,6}:



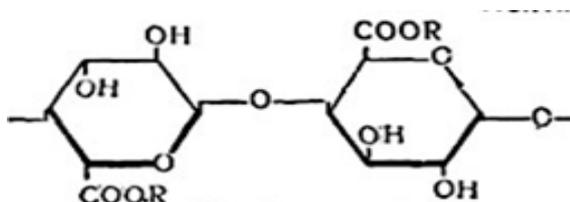
α -(1,4)-глюкозид боғи - крахмал



β -(1,4)-глюкозид боғи - целлюлоза

Краxмал селлюлозадан фарқли α -(1,6)-глюкозид боғи бўйича ҳам бирикиши ва тармоқланган занжирлар ҳосил қилиши ҳам мумкин. Крахмал молекулалари компакт жойлашсада, улар орасида водород боғлари деярли ҳосил бўлмайди ва шу боис осон эрийди. Селлюлоза фақат чизиқли занжирга эга бўлади ва одатда молекулалари ипсимон шаклда жойланган ва улар орасида кучли водород боғлари мавжуд бўлади ҳамда сувда эримайди.

Пектин полисахариди галактурон кислоталари асосида синтез бўлади ва яхши эрийди

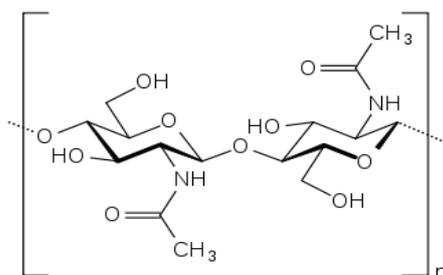


бу ерда $R = CH_3$ ёки H каби функционал элементлар.

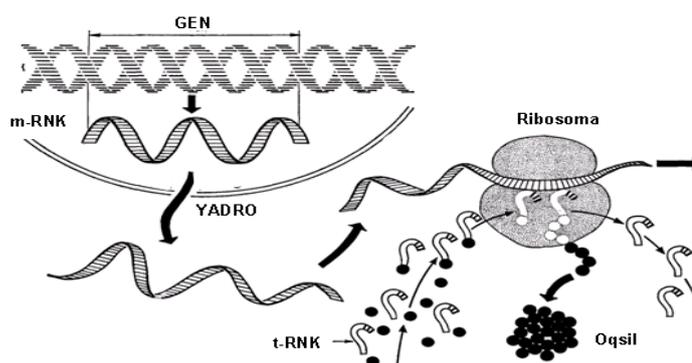
^{4,6} Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS*, 2012, - P.169.

⁶ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS*, 2012, - P.169.

Хитин, яъни ҳайвонот оламида организмни ҳимояловчи қобиғи вазифасини ўтовчи полисахариднинг молекулалари Н-ацетилглюкозамин звеноларни β-(1,4)-глюкозид боғлари ҳосил қилиши асосида синтез бўлади. Хитин молекуласидаги атомлар ва функционал гуруҳларнинг жойлашиши унга физик мустаҳкамликни беради ва шу боис уни эритиш айрим тузлар ва кислоталар муҳитида амалга оширилиши мумкин:



Оқсиллар синтези кўп босқичли мураккаб жараён бўлиб, махсус органелла – рибосомаларда синтез бўладиган оқсилнинг тузилиши ҳақидаги маълумот акс этган генетик кодлар асосида рўй беради. Бундай маълумот аминокислоталар қандай тартибда оқсил молекуласини ташкил этиши, яъни *бирламчи тузилиши* ҳақида бўлади ва ДНК молекуласининг маълум бир қисмида, яъни хромосомасида кодлаштирилган бўлиб, ген деб юритилади. Бу маълумот оқсил синтез бўлишидан олдин ДНК дан м-РНК (маълумотли РНК) га кўчирилади ва рибосомага ўтказилади. Одатда аминокислоталар тўғридан тўғри синтезга киришишлари учун етарлича фаол бўлишмайди ва уларни фаоллаштириш учун аденоинтрифосфат (АТФ) ферменти энергия беради^{4,6}.

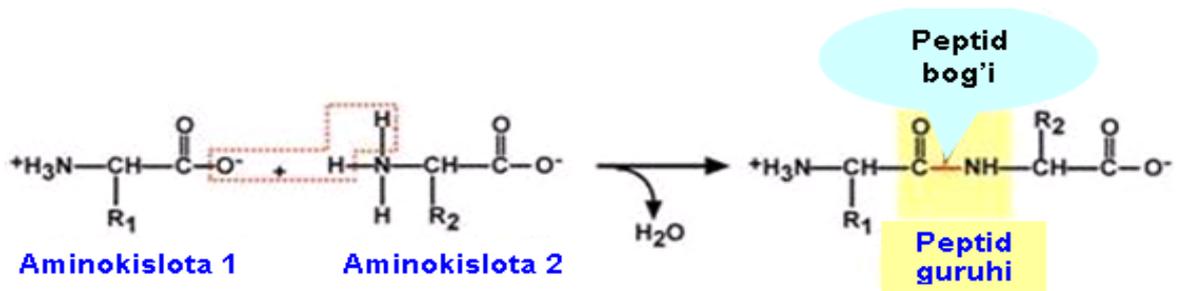


Натижада мавжуд 20 хил аминокислоталар турли хил комбинатсион тартибда

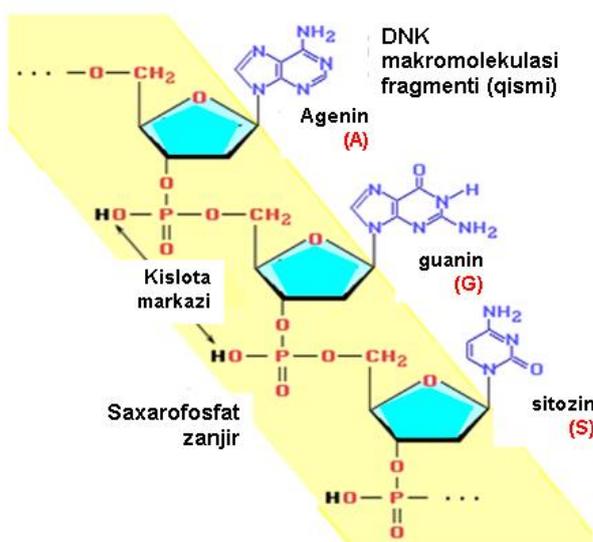
⁴ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.*

⁶ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.*

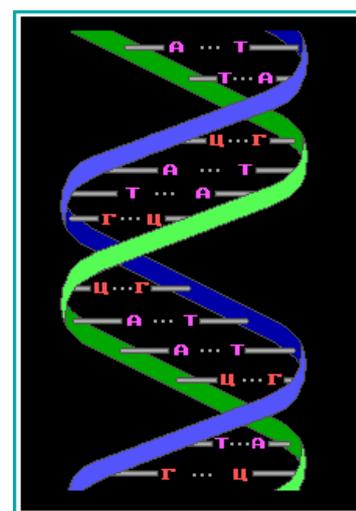
учтадан бўлиб бирикади ва синтез учун қобилиятли бўлган *61* хил триплет ҳосил қилади. Ҳар бир триплетни т-РНК (транспорт-РНК) кетма-кет равишда рибосомага олиб киради ва м-РНК га генетик код бўйича бирикиши олиб боради. Агар триплет таркиби генетик кодга мос келса, ундан олдин келган триплетга аминокислалар орқали конденсатсион тарзда, яъни битта сув молекуласи ажратиб чиқариб, *пептид боғи* ҳосил қилиб кимёвий бирикади ва улар оксил молекуласининг асосини ташкил этади, яъни:



Асоси *сахарофосфат* занжирлар бўлган элементар звеноси *рибоза* ёки *дезоксирибоза* моносахаридларидан иборат полинуклеотидлар *рибонуклеин кислоталар* (РНК) ёки *дезоксирибонуклеин кислоталар* (ДНК) га бўлинади. Поликонденсатсия реакцияси туфайли РНК занжирида *рибоза* қолдиқлари ва ДНК занжирида эса *2-дезоксирибоза* қолдиқлари бириккан бўлади ва улар *нуклеотид* звенолар ҳам дейилади.



ДНК нинг бирламчи тузилиши



ДНК нинг иккиламчи тузилиши

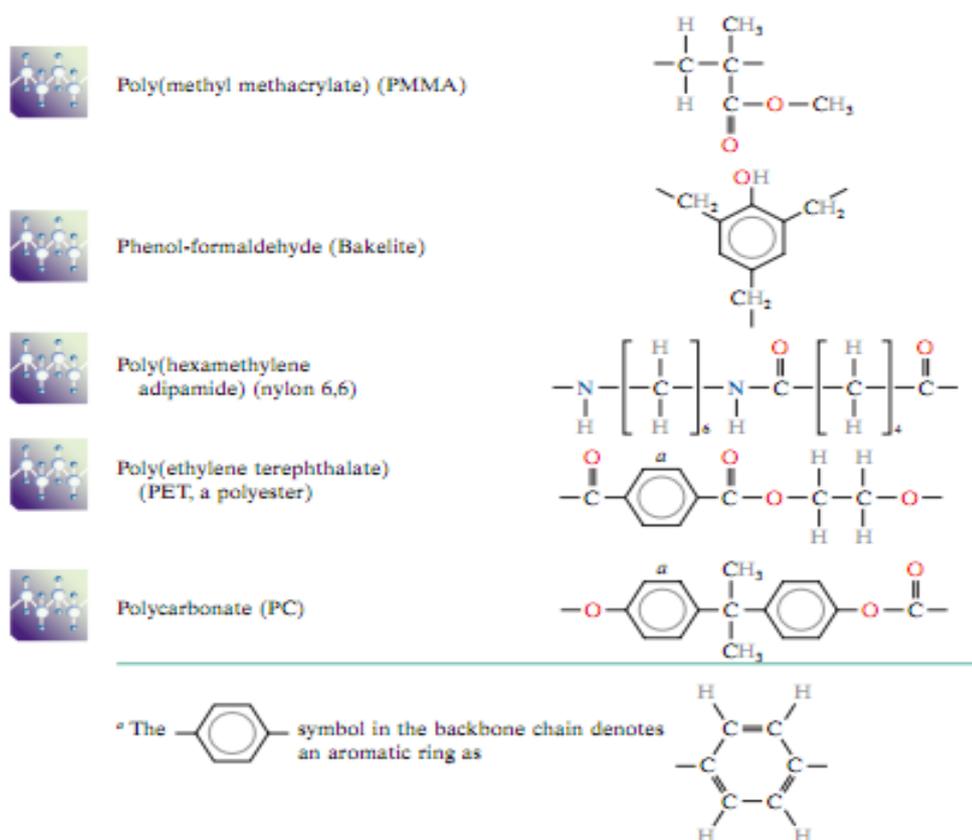
РНК макромолекуласи нуклеотид зеноси таркибига *аденин, гуанин, ситомин* ва *уратсил* каби молекуляр бирикмалар киради. ДНК макромолекуласи нуклеотид зеносида *уратсил* ўрнига *тимин* иштирок этади. ДНК макромолекуласи массаси $50 \cdot 10^7$ гача бўлиб, асосан хужайранинг ядросида, РНК макромолекуласи массаси 10^4 гача бўлиб, асосан хужайраларни рибосомалари ва противоплазмалари таркибида бўлади. ДНК ва РНК макромолекулалари *бирламчи* ва *иккиламчи* тузилишларга эга бўлади. ДНК ва РНК бирламчи тузилиши занжирларнинг нуклеотид таркиби ва нуклеотид зеноларнинг кетма-кетлигини англатади. ДНК нинг иккиламчи тузилиши эса иккита параллел (тармоқланмаган) нуклеотид занжирларнинг умумий ўқ атрофида ўралиши натижада ҳосил бўлган икки спирални ягона тизими кўринишида кўплаб водород боғлари асосида шаклланган бўлади.

Табиий ва синтетик полимерлар асосидаги материаллар ўзининг бир қатор физик хоссалари билан бошқа материаллардан фарқ қилади ва яққол афзалликларга эгадир. Замонавий материалшуносликда анъанавий кенг кўламда қўлланиб келатган полимерлар қуйидаги 6-жадвалда келтирилган.

6-жадвал. Материалшуносликда кенг қўлланадиган полимерлар

Table 14.3 A Listing of Repeat Units for 10 of the More Common Polymeric Materials

Polymer	Repeat Unit
 Polyethylene (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
 Poly(vinyl chloride) (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$
 Polytetrafluoroethylene (PTFE)	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$
 Polypropylene (PP)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
 Polystyrene (PS)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$



Полимерлар синтези пайтида термодинамик сабабларга кўра уларнинг молекуляр массалари турлича бўлиб қолади. Унинг термодинамик ва аналитик усулларда ўртача сонли (M_n) ва гидродинамик усулларда ўрта массали (M_w) молекуляр массалари аниқланади. Қуйидаги 7-8 – жадвалларда бу ҳақда маълумотлар берилган^{4,6}.

7-жадвал. Ўртача сонли молекуляр массани (M_n) аниқланиши

Table 14.4a Data Used for Number-Average Molecular Weight Computations in Example Problem 14.1

Molecular Weight Range (g/mol)	Mean M_i (g/mol)	x_i	$x_i M_i$
5,000–10,000	7,500	0.05	375
10,000–15,000	12,500	0.16	2000
15,000–20,000	17,500	0.22	3850
20,000–25,000	22,500	0.27	6075
25,000–30,000	27,500	0.20	5500
30,000–35,000	32,500	0.08	2600
35,000–40,000	37,500	0.02	750
			$\overline{M}_n = 21,150$

^{4,6} Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

⁶ Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

8-жадвал. Ўртача массали молекуляр массани (M_w) аниқланиши

Table 14.4b Data Used for Weight-Average Molecular Weight Computations in Example Problem 14.1

Molecular Weight Range (g/mol)	Mean M_i (g/mol)	w_i	$w_i M_i$
5,000–10,000	7,500	0.02	150
10,000–15,000	12,500	0.10	1250
15,000–20,000	17,500	0.18	3150
20,000–25,000	22,500	0.29	6525
25,000–30,000	27,500	0.26	7150
30,000–35,000	32,500	0.13	4225
35,000–40,000	37,500	0.02	750
			$\bar{M}_w = 23,200$

Ўртача массали молекуляр массани ўртача сонли молекуляр массага нисбати полимер молекулаларининг полидисперслигини ифодалайди. Ушбу жадваллардан $(M_w)/(M_n) = 23200/21150 = 1,1$ га тенгдир. Бу ҳол полимерни тор полидисперс эканлигидан далолат беради. Чунки $(M_w)/(M_n) = 1,1 - 2,5$ бўлса тор полидисперс, агар $3 < (M_w)/(M_n) < 5$ ўртача полидисперс ва $6 < (M_w)/(M_n)$ бўлса кенг полидисперс ҳисобланади^{4,6}.

Полимерларнинг молекуляр массалари, конфигурациялари ва конформациясига тарзда геометрик шакллари қуйдаги кўринишларда бўлиши мумкин (6-расм).

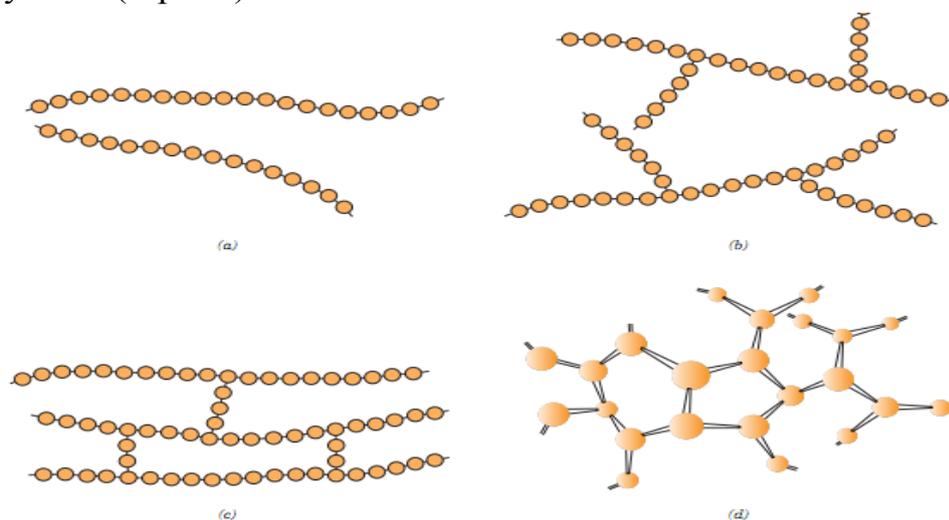


Figure 14.7 Schematic representations of (a) linear, (b) branched, (c) crosslinked, and (d) network (three-dimensional) molecular structures. Circles designate individual repeat units.

⁴ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.*

⁶ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.*

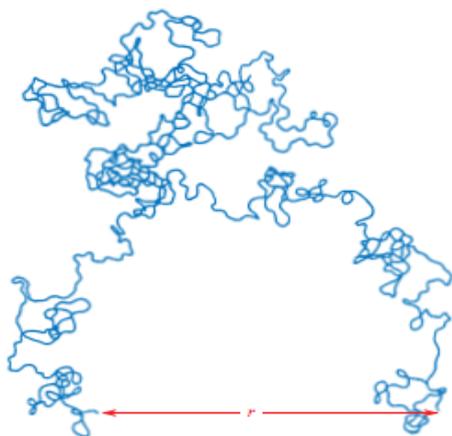


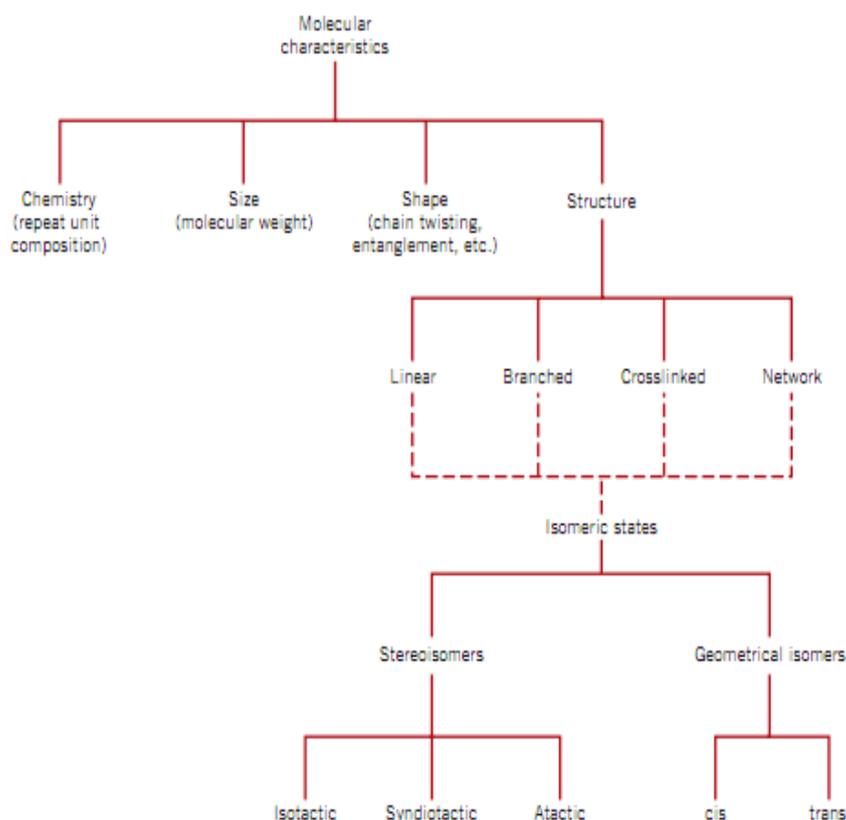
Figure 14.6 Schematic representation of a single polymer chain molecule that has numerous random kinks and coils produced by chain bond rotations. (From L. R. G. Treloar, *The Physics of Rubber Elasticity*, 2nd edition, Oxford University Press, Oxford, 1958, p. 47.)

6-расм. Полимерлар тузилишининг шакллари

Буларга боғлиқ тарзда полимерларнинг структуралари бўйича классификацияси қуйидаги кўринишда бўлади (8-расм).

8-расм. Полимерларнинг структуравий классицифакицияси^{4,6}

Figure 14.8
Classification scheme for the characteristics of polymer molecules.



⁴ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology* & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

⁶ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology* & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

Полимерлар устмолекуляр тузилишлари қуйидаги шаклларда бўлади (9-расм)

Figure 14.11
Electron micrograph
of a polyethylene
single crystal.
20,000 \times . [From
A. Keller, R. H.
Doremus, B. W.
Roberts, and
D. Turnbull
(Editors), *Growth
and Perfection of
Crystals*. General
Electric Company
and John Wiley &
Sons, Inc., 1958,
p. 498.]

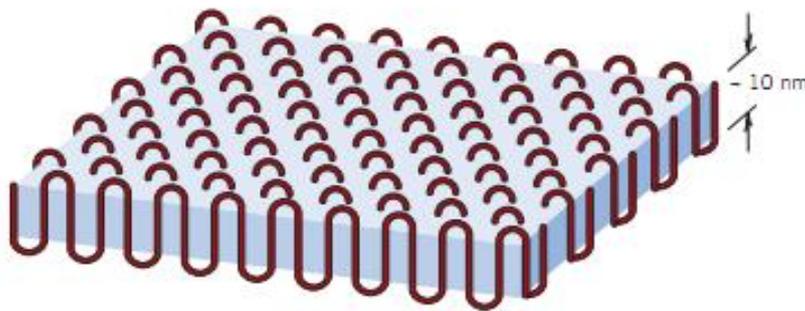
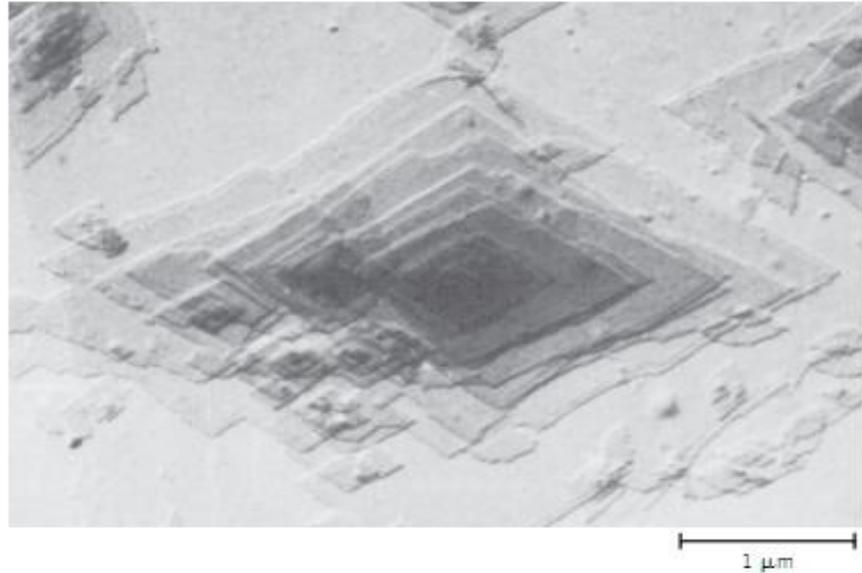
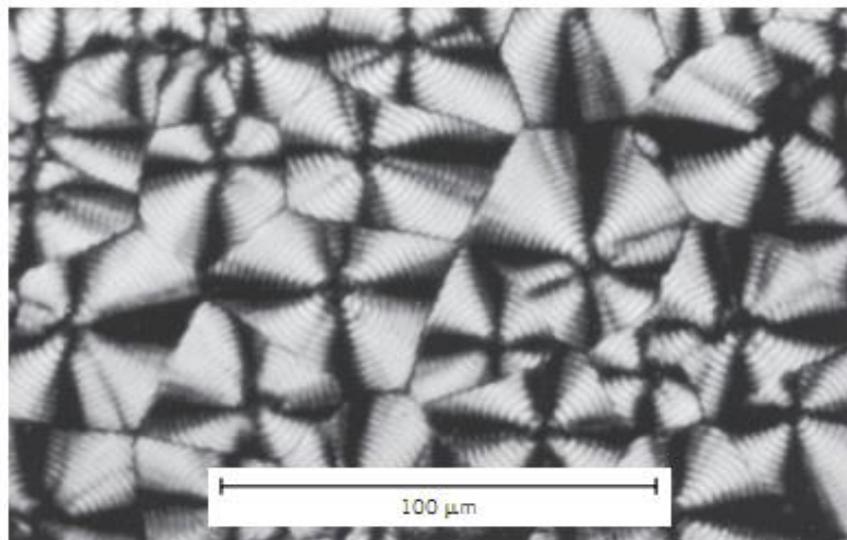


Figure 14.12 The
chain-folded
structure for a plate-
shaped polymer
crystallite.

Figure 14.14 A
transmission
photomicrograph
(using cross-polarized
light) showing the
spherulite structure
of polyethylene.
Linear boundaries
form between
adjacent spherulites,
and within each
spherulite appears a
Maltese cross. 525 \times .
(Courtesy F. P. Price,
General Electric
Company.)



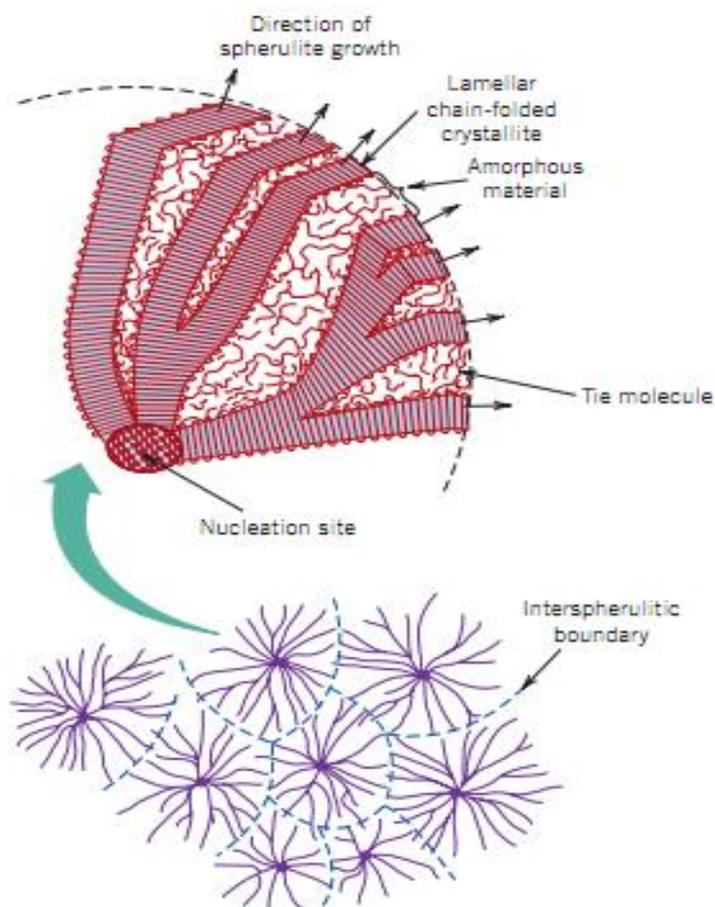


Figure 14.13 Schematic representation of the detailed structure of a spherulite.

Полимер материалларнинг механик хоссалари унга берилган кучланиш ва унинг деформацион ўзгариши термомеханик диаграммаси бўйича баҳоланади [1]. Бу махсус намуналар узиш машинасида синалади (10-расм).

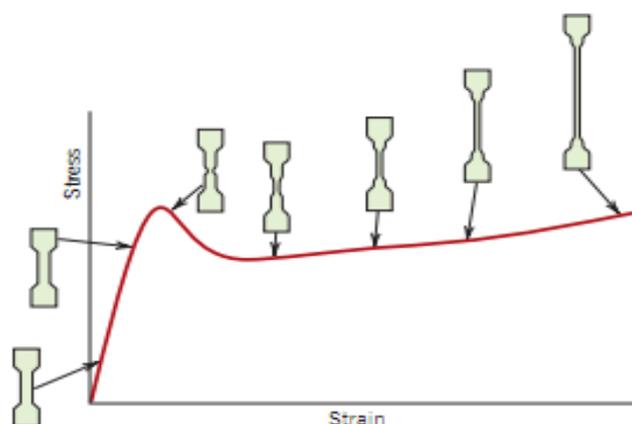


Figure 15.4 Schematic tensile stress-strain curve for a semicrystalline polymer. Specimen contours at several stages of deformation are included. (From Jerold M. Schultz, *Polymer Materials Science*, copyright © 1974, p. 488. Reprinted by permission of Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.)

10-расм. Полимер материалларнинг термомеханик диаграммаси

Полимерларнинг ноёб физик хоссали материаллар ҳисобланади.

Назорат саволлари

1. Металлар на нометемалл материаллар турлари нималардар иборат?
2. Металларнинг асосий хусусиятлари ва материалшуносликдаги роли?
3. Материалларнинг аморф-кристалл ҳолатлари деганда нимани тушунаси?
4. Фазавий диаграммалар ва улар материалшуносликда нимани ифодалайди?
5. Керамика материалларнинг ютуқ томонлари нималарда акс этади?
6. Керамика ва металл аралашмалари асосида нималар шаклланади?
7. Полимерлар асосида қандай хоссали материаллар шакллантириш мумкин?
8. Металл ва металл қотишмалар қандай афзалликларга эга?
9. Электр ўтказувчанликда металлар, керамика ва полимерлар имкониятлари?
10. Шишалар ва уларнинг материалларини хоссалари қандай ўзгартирилади?
11. Термопластлар нима ва улар турига нималар киради?
12. Полимерларнинг тузилиши ва хоссаларининг ўзига хос жиҳатлари нима?

Фойдаланилган адабиётлар

1. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.
2. Richard J. D. Tilley Understanding solids : the science of materials. -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
5. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
6. www.mitht.ru/e-library
7. www.crism-prometey.ru
8. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech._Uni._Berlin

3-мавзу: Композицион материаллар, таркиби, тузилиши, турлари, ҳолатлари, тизимлари, морфологиялари, махсус физик хоссалари

Режа

1. Композицион материаллар таркиби, турлари ва асосий хоссалари ҳамда композицион материаллар яратишнинг физик омиллари
2. Метал, керамик, полимер композитлар, уларнинг физик параметрлари ва тавсифлари.
3. Композит тизимлар морфологияси ва унга хос махсус ва ноёб хоссалари.
4. Замонавий материалшуносликда композитлар физикасининг ўрни ва устуворлиги ҳамда амалий қўлланиши.

Таянч иборалар: *Композицион материаллар, композитлар, металл композитлар, керамик композитлар, полимер композитлар, морфология, махсус ва ноёб хоссалар.*

Кўпчилик замонавий технологиялар маҳсулотлар ишлаб чиқаришда унинг хоссалари яхшилаш ва орзонлаштириш, иқтисодий ва экологик талаблардан, айниқса, ноёб ва махсус тавсифли маҳсулотларга эҳтиёж бўлганда, шубҳасиз, қўллаётган материалнинг хоссаларини мақсадли танлашга, уларни таркибини ўзининг мақсадига мувофиқ этиб ўзгартиришга ҳаракат қилади. Шу йўналишдаги интилишлар тарихан хом-ашё материаллардан икки хил тарзда фойдаланишга олиб келган: таркиби бир хил элементдан иборат бўлган асосий материал; -таркиби икки ва ундан ортиқ элементдан ёки компонентдан иборат бўлган, яъни уларнинг комбинацияси асосида шаклланган композицион материал, яъни композит. Асосий материал, масалан, металл, керамика, полимер кабилар бўлса, композитлар эса уларнинг аралашмалари асосида шаклланган бўлади¹².

Умуман олганда композитлар матрица ва тўлдирувчидан иборат бўлади, яъни компонентлар бири матрица сифатида бошқа тўлдирувчи компонентларни ўз ҳажмида тутиб турган ҳолда шаклланган бўлади. Бунда матрицанинг физик хоссалари тўлдирувчи ҳисобига ўзгаради ва натижада янги хоссали материал пайдо бўлади. Тўлдирувчи композитнинг хоссасини

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

² Richard J. D. Tilley *Understanding solids : the science of materials.* -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.

хам ижобий, ҳам сальбий томонга ўзгартириши мумкин. Бунга тўлдирувчи танлашда алоҳида эътибор берилади. Композитлар, яъни камида икки компонентли материаллар ўта узоқ тарихга эга бўлиб, иносониятнинг материалларга эҳтиёжи пайдо бўлган даврлардаёқ уни кашф эта бошлаган.

Ҳозирда эса бундай материаллар улкан ҳажмлар ишлаб чиқарилмоқда ҳамда ниҳоятда кўп ва кенг қўлланилмоқда. Композитлар одатда мультифазали материал ҳисобланади. Улардаги компонентларнинг нисбати, аввалом бор, компонентларнинг хусусий хоссалари ва композитда қандай хоссаларни намоён қила олиш қобилиятига қараб белгиланади. Одатда, тўлдирувчи компонентнинг миқдори матрица миқдоридан уч мартадан камроқ этиб танланади^{1,2,3}.

Маълумки, кўпчилик компонентлар матрица ёки тўлдирувчи сифатида танланиши мумкин ва бундай компонентлар сирасига металл қотишмалар, керамикалар ва полимерлар кирази ва материалшуносликда муҳим (1-расм).

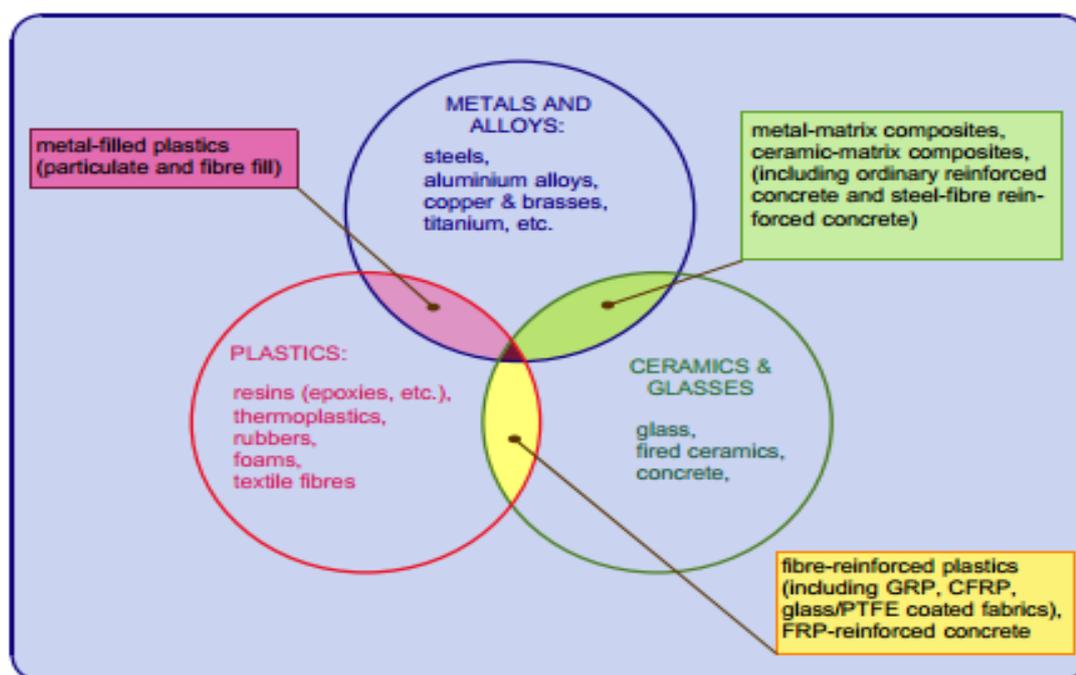


Figure 1.1. Relationships between classes of engineering materials, showing the evolution of composites

1-расм. Материаллар турлар ва уларнинг ўзаро боғлиқлиги

1 William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

3. Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Масалан, перлит пўлати таркиби бир бири билан ўзаро такрорланиб келадиган феррет ва цемент асосидаги микроструктураларидан иборат бўлади (2-расм). Шунингдек, табиатда ҳам кўплаб бундай композитлар мавжуд. Масалан, ёғочнинг мустаҳкамлиги ва эгилувчанлигини таъминловчи биополимер -целлюлоза толалари ўзига нисбатан қаттиқ бўлган лигнин биополимери туган ҳолда композит хоссасини намоён қилади. Шунингдек, суяк ҳам композит ҳисобланади, у таркибини юмшоқ оқсил коллаген ва қаттиқ, мўрт минераль апатит ташкил этади ^{1,3}.

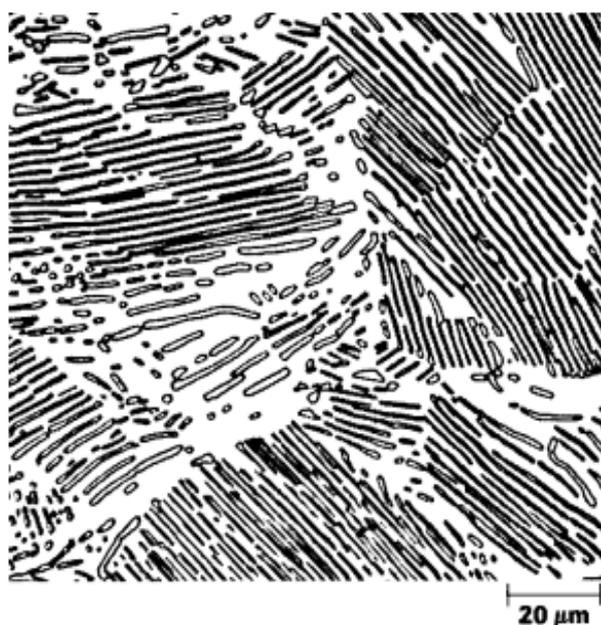


Figure 9.27 Photomicrograph of a eutectoid steel showing the pearlite microstructure consisting of alternating layers of α ferrite (the light phase) and Fe_3C (thin layers most of which appear dark). 500 \times . (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, 9th edition, Vol. 9, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

2-расм. Перлит пўлати асосидаги композитнинг кўриниши

Демак, композитнинг кўп фазали материал эканлиги инобатга олсак, унда комнонентларга ҳам маълум талаблар қуйилади. Аввалом бор, улар кимёвий бир бирига ўхшаш бўлмаллиги лозим, аксинча улар алоҳида фазалар ҳосил қилмаслиги мумкин. Кўпчилик металл қотишма ва керамикалар бундай таърифга мос келмаслиги кузатилади, чунки улар табиатан бир хиллик жиҳатлари, яъни ноорганик элементлар эканлиги улар орасида кимёвий реакциялар амалга ошишига олиб келиши сабаб бўлади ва унинг натижасида фазаларга бўлган талаб бажарилмайди.

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

³ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners*. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Композицион материалларни ишлаб чиқаришда илмий тадқиқотчи олимлар ва инженерлар янги авлод экстраординар материаллар, яъни ноёб ва махсус композитлар яратишда металллар, керамика ва полимерларни амалий қўллаш бўйича деярли бир хил тассавурга эга эканлиги кузатилади. Бу боис улар ҳамкорлигида механик тавсифлари яхшиланган, жумладан, қаттиқлиги, мустаҳкамлиги оширилган ва атроф муҳит ҳарорати ва иссиқлик таъсирига чидамли композитлар яратиш тенденциялари амал қилиб келмоқда.

Кўпчилик композитлар материалга бўлган талабдан келиб чиққан ҳолда фақат икки фазалидир, яъни матрица ва тўлдирувчидан иборатдир. Матрица узлуксиз бўлиб, бошқа фазанинг узлукли элементлари ўраб туради (3-расм).

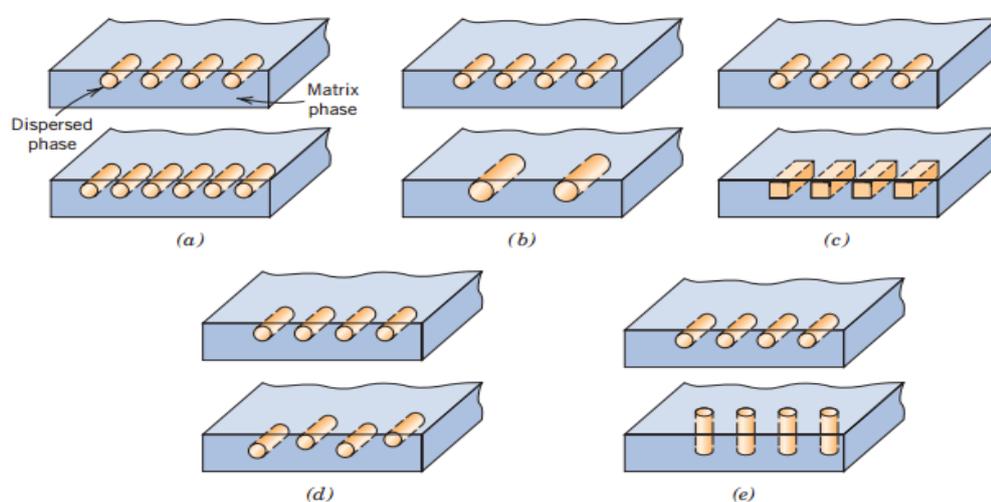


Figure 16.1 Schematic representations of the various geometrical and spatial characteristics of particles of the dispersed phase that may influence the properties of composites: (a) concentration, (b) size, (c) shape, (d) distribution, and (e) orientation. (From Richard A. Flinn and Paul K. Trojan, *Engineering Materials and Their Applications*, 4th edition. Copyright © 1990 by John Wiley & Sons, Inc. Adapted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

3-расм. Матрицага киритилган тўлдирувчи, яъни диспер геометрик шаклнинг турли комбинацияларда жойлашиш чизмаси

Бунда композитнинг хоссаси таркибий фазалар хоссалари, нисбий миқдорлари ва тўлдирувчи дисперс фазанинг геометрик шаклини функцияси сифатида ифодаланади. Дисперс геометрик фаза тўлдирувчи заррачанинг шакли ва ўлчами, тақсимланиш тартиби ва ориентацион ҳолатига боғлиқдир^{1,4}.

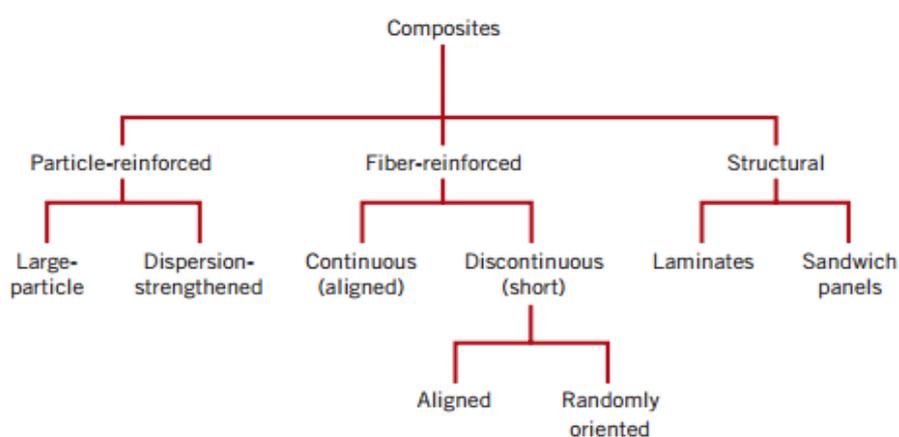
Композицион материаллар таснифи, яъни классификациясининг оддий чизмаси 4-расмда ифодаланган. Бунга биноан композитлар учта асосий

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons.
⁴ Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology* & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

бўлимлардан иборат бўлади: - армирловчи заррачалар қўлланилган; - армирловчи толалар қўлланилган; - структураланган.

Бунда армирловчи заррачалар ўлчами барча геометрик йўналишлар бўйича бир хил, а армирловчи толаларда эса геометрик ўлчам тола йўналишлари бўйлаб ҳар хил бўлади. Структуравий композитларда композицион материал ва бир жинсли материал комбинацияси шаклланади. 4-расмда армирловчи заррачалар йирик заррачали ва дисперсион-мустаҳкамланган композитлар қуйи гуруҳларга бўлинган. Уларнинг фарқи армирлаш ёки мустаҳкамлаш механизмига асослангандир.

Figure 16.2 A classification scheme for the various composite types discussed in this chapter.



4-расм. Композитлар классификациясининг чизмаси

Йирик заррачалар билан армирланганда матрица ва заррачалар ўртасида атом ёки молекуляр даражада таъсирлашиш эмас, балки матрица билан заррача ўртасида таъсирлашлар назарда тутилади ва бундай қарашлар тўлиқ (сплошной) муҳит учун ўринлидир. Ушбу заррачалар фазаси матрица фазасидан оғирроқ бўлади Бунинг натижасида иккала ҳолда ҳам заррачалар матрицани механик ҳаракатига ёки хусусий силжиш тўсқинлик қилади. Бундай ҳолда композитга ташқи кучланиш белса матрица кучланишнинг бир қисмин армирловчи заррачаларга беради. Композитнинг кучайтирилганлик даражаси ёки механик хоссаларини яхшиланиши матрица ва заррача ўртасидаги боғларнинг қанчалик кучли эканлигига боғлиқ бўлади ⁵.

Йирик заррачали композитлар учала типдаги материаллар металл,

⁵ . S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>

керамика ва полимерлар билан бирга ишлатилиши мумкин. Керметлар металл-керамик композитлардан биридир. Бундай композитлар энг кўп тарқалгани цементланган карбид бўлиб, у керамиканинг ўта қийин суюқладиган заррачаларидан иборат бўлади. Масалан, вольфрам карбид (WC) ёки вольфрам титан (TiC) йирик заррачалари, улар учун матрица сифатида одатда кобальт ёки никель қўлланилади. Бу композитлар қирқувчи воситалар, абразивлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. Таҳлиллар ҳозирча, ҳеч бир материал металл-керамика композити каби юқори кўрсаткичлар намоён қилолмагани кўрсатмоқда. Бундай композитларда заррачалар фазасининг улуши 90 % ҳам юқори бўлиши мумкин. Шу тоифадаги материаллардан биринг чизмаси 5-расмда ифодаланган⁴.

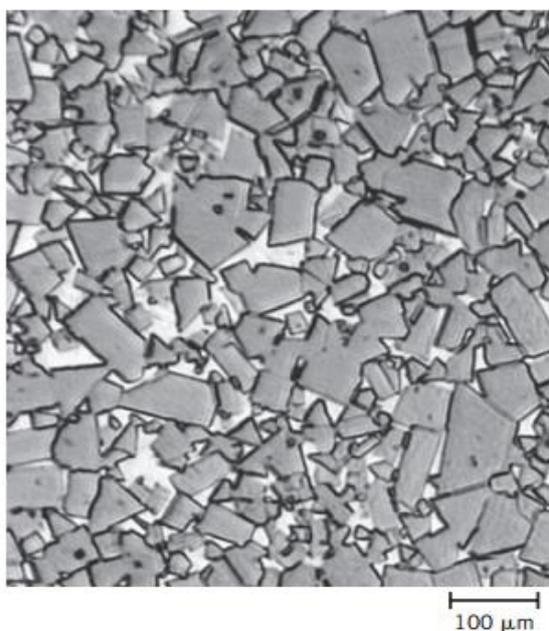


Figure 16.4 Photomicrograph of a WC–Co cemented carbide. Light areas are the cobalt matrix; dark regions, the particles of tungsten carbide. 100×. (Courtesy of Carboloy Systems Department, General Electric Company.)

5-расм. Цементлашган карбид WC-Co микрофотографияси: - оқ ранг кобальт матрица; - қора ранг вольфрам-карбид.

Маълумки, кўпчилик эластомерлар ва пластиклар турли заррачалар билан армирланган бўлади. Аммо, шундай тўлдирувчи ҳам борки, у углерод асосли бўлиб қурум (сажа) деб юритилади. Бу тўлдирувчи газ ва нефь, ҳатто нефть қолдиқларини ёндирилганда ҳосил бўладиган майда заррадир. Уни

⁴. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>

резиналарга қўшилиши, ҳосил бўлган композитнинг кескин механик хоссалари яхшилайди. Масалан, автомобил шишаларга 15-30 % гача сажани қўшилиши, шиналарнинг узоқ муддат механик кучланиш таъсири остида хизмат қилишини таъминлайди. Сажа заррачаларига нисбатан қуйидаги талаблар мавжуд, уларнинг диаметри 20-50 нм бўлиш ва уларнинг матрица ҳажмида тўлиқ тақсимланлигига эришилган бўлиши лозим (6-расм).

Керамик композитларнинг бир түри бу бетонлардир. Бетонлар йирик заррачалар асосида цемент ва тошлар асосида шаклланиши маълум. Буларда иккала фаза ҳам бир бирига диспергирланади, яъни аралашган бўлади.

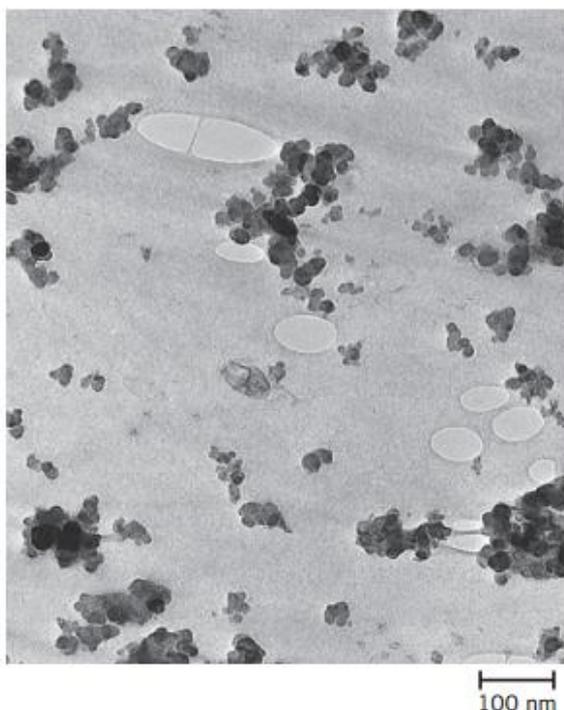


Figure 16.5 Electron micrograph showing the spherical reinforcing carbon black particles in a synthetic rubber tire tread compound. The areas resembling water marks are tiny air pockets in the rubber. 80,000 \times . (Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Company.)

6-расм. Синтетик каучук ва сажа (курум) асосидаги композит электрон микроскопик тасвири.

Дисперс-мустаҳкамланган композитлар. Металл ва металл қотишмалар жуда қаттиқ ва инерт материаллар заррачаларнинг жуда кичик ҳажмий фоизда қўшилиши билан ниҳоятда юқори кўрсаткичларда кучайтирилиши мумкин. Дисперс фаза металл ёки нометалл, оксид материаллардан бўлиши мумкин. Кучайтириш механизми заррачаларнинг ўзаро таъсирлашиши ва матрицада дислокацияси ҳамда дисперсион қотишини ўз ичига олади. Кучайтириш эффекти ҳарорат юқори бўлганда ҳам узоқ муддат сақланади. Бунинг учун дисперс фаза матрица билан таъсирлашмайдиган бўлиши лозим. Айрим қотишмаларга мустаҳкамлик

оширилганлиги иссиқлик таъсирида йўқолишади. Бунга сабаб, композитда қолдиқ ҳосил бўлиши ёки қолдиқни эриши бўлиши мумкин.

Никель асосли қотишмаларнинг иссиқликка чидамлилиги 3 % ҳажмда торий оксид қўшиш орқали жиддий оширилади. Бундай материаллар торий –дисперсион (TD) композит ҳам деб юритилади. Бундай эффект алюминий-алюминий оксид тизимида ҳам кузатилади.

Армировчи толали композитлар. Технологик жиҳатдан энг муҳим композицион материаллардан бири дисперсион фаза сифатида армировчи толалар қўлланилган композитлардир. Бундай композитлар одатда юқори мустаҳкамликка эга ёки қаттиқликка эга бўлиб, уларнинг ушбу тавсифлари компонентларнинг ўлчами ва шакли ва миқдорига боғлиқ бўлади. Мазкур тавсифлар ўзига хос мустаҳкамлик ва модул параметрлари оқали ифодаланади. Армировчи толалар ишлатилган композитлар толалар узунлигига қараб гуруҳларга ажратилади. Бу ҳақда 4-расмда таъкидланган.

Армировчи толали композитларнинг механик тавсифлари нафақат толанинг узунлигига, балки матрицадаги толаларга бериладиган ташқи кучланишнинг қай даражада эканлигига ҳам боғлиқдир. Кучланиш таъсир этиш коэффициентини қанчалик даражада толалар ва матрица ўртасидаги боғларга яқинлиги ҳам муҳимдир. Чунки толанинг сиртида унинг матрица билан боғланиш энергияси мавжуд бўлиб, айнан, ўша соҳага кучланишнинг таъсири яққол намоён бўлади ва бу жараён 7-расмда ифодаланган.

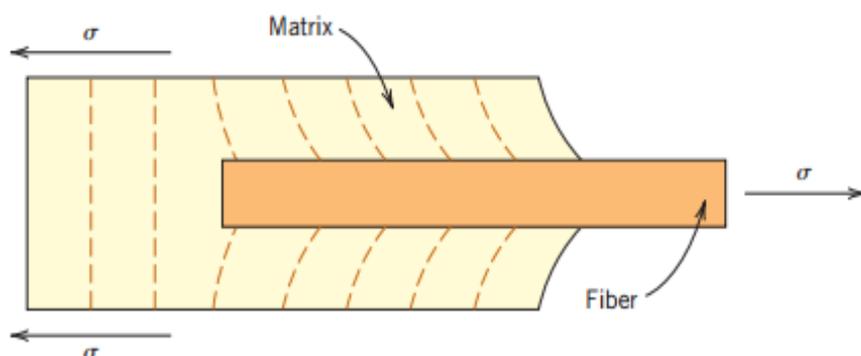


Figure 16.6 The deformation pattern in the matrix surrounding a fiber that is subjected to an applied tensile load.

7-расм. Армировчи толали композитнинг ташқи кучланиш таъсирида деформацияланишида “матрица-тола” фазалар чегарасидаги ўзгаришлар

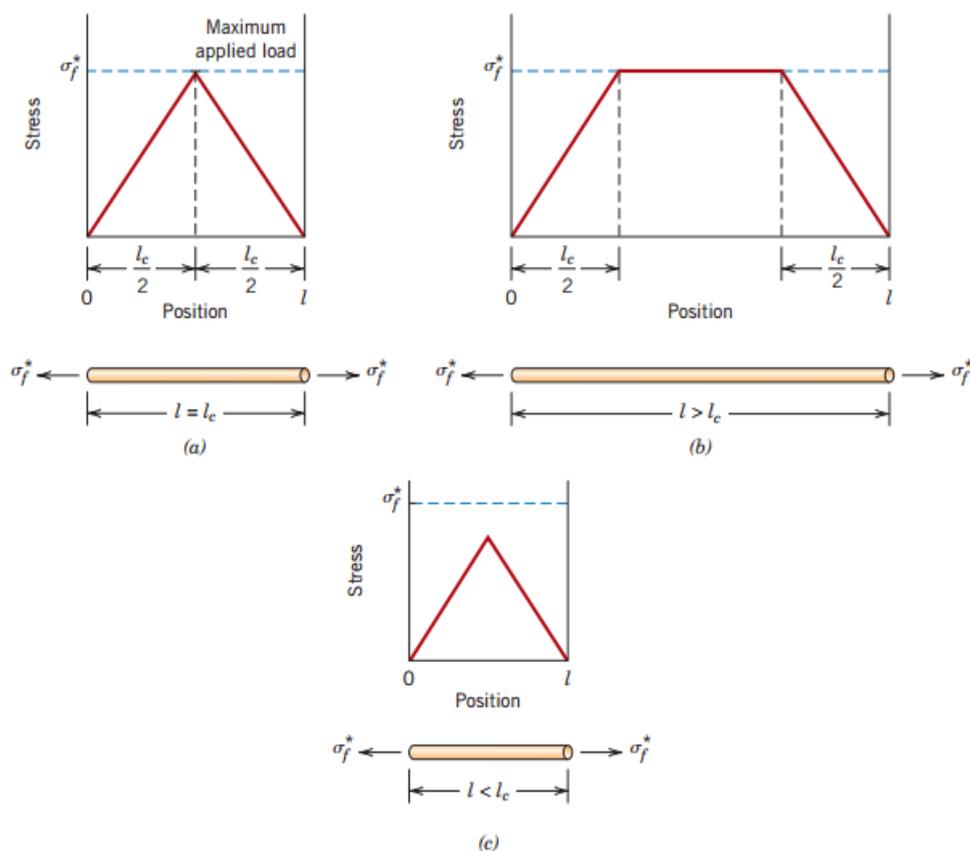
Шуни таъкидлаш жоизки, маълум даражада толанинг критик узунлигига (l_c) эътибор бериш лозим, чунки бу параметр композитнинг самарали тарзда

мустваҳкамлигини оширишга хизмат қилади. Ушбу критик (l_c) параметр толанинг диаметрига (d), унинг анчалик чузилганлигига (σ) ва матрица-тола боғланишинг мустваҳкамлигига (τ) боғлиқ аниқланади.

$$l_c = d\sigma/2\tau$$

Ушбу формулага биноан композитга кучланиш берилганда, унинг кучланиш – ҳолати боғланиш графиклари 8-расмда ифодаланган. 8а-расмда кучланиш толаларнинг ўқиға йўналтирилган ҳолатда ўзгариш тавсирланган. Толанинг узунлигини узайиши 8а-расмда ифодаланган. 8с –расм толанинг кучланиш профилига боғлиқлиги акс эттирилган. Ушбу тавсирлардан толанинг узлуксиз бўлиши муҳим эканлиги кузатиладиган ¹.

Figure 16.7
Stress–position profiles when fiber length l (a) is equal to the critical length l_c , (b) is greater than the critical length, and (c) is less than the critical length for a fiber-reinforced composite that is subjected to a tensile stress equal to the fiber tensile strength σ_f^* .



8-расм. Композитда толанинг ташқи кучланиш таъсирида деформацион ўзгаришларини ифодаланиши

¹ William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

Толаларнинг жойлашиши ва бир бирига нисбатан ориентацияланган бўлиши, толанинг концентрацияси ва матрица ҳажмида тақсимланган бўлиши армирловчи толали композитнинг мустаҳкамлик ва бошқа физик тавсифлари жиддий таъсир этади. Ориентация бунда икки жиҳат билан ифодаланади: 1 – толаларнинг маълум бир йўналишда параллел ориентацияланиши, 2 – ихтиёрий ёки тасоддифий жойлашиши. Бу ҳолда 9-расмда ифодаланган.

Толаларнинг одатий росталаниши 9а-расмда, ориентирланга ҳолат 8в-расмда ва тасоддифий ҳолати 9с-расмда ифодаланган. Бу ҳолатлардан иккитаси, 9а ва 9в-расмлардаги ҳолатлар композитнинг толаларнинг тартибланиши ва ориентацияси ҳисобига анизотропик хоссаларни намоён қилишига сабаб бўлади. 9с-расмдаги ҳолатда, яъни толаларнинг тартибсиз ҳолатда эканлиги композитнинг изотроп материал эканлиги таъминлайди.

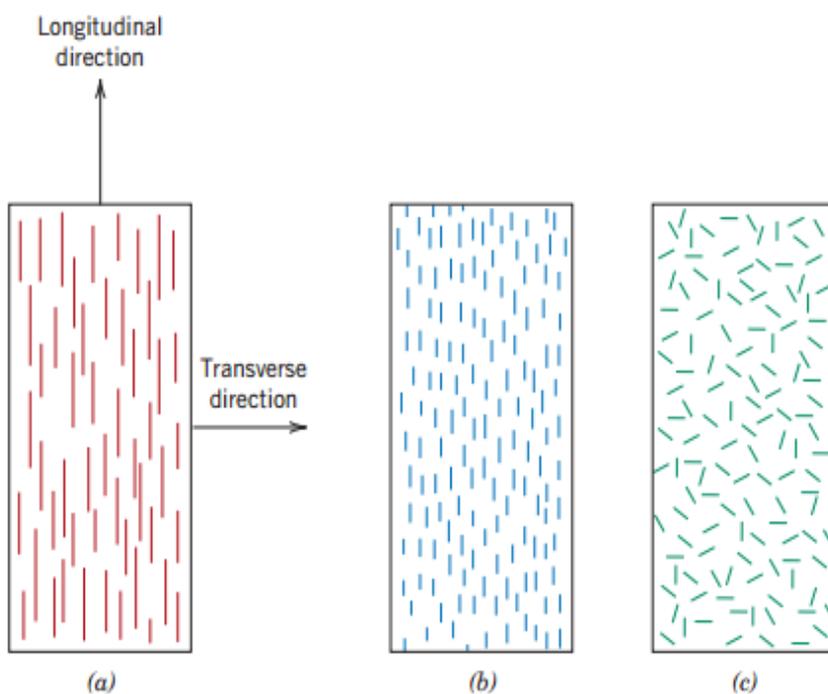


Figure 16.8 Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

9-расм. Композитда толаларнинг деформацияланиши.

Шунга боғлиқ тарзда ушбу композитлар анизотропик физик хоссаларни намоён қилади. Масалан, композитни толаларнинг ориентацион йўналиши бўйлаб механик мустаҳкамлиги юқори бўлади. Толаларга ориентациясига

нисбатан перпендикуляр йўналишда эса мустаҳкамлик анча кичик кўрсагичларга эга бўлади. Толалар тартибсиз бўлганда композит материал изотропик хоссага эга бўлади. Бунда ташқи куч қайси йўналишда берилишдан қатъий назар механик хоссаларнинг табиати ва параметрлари жиддий фарқланмайди (10-расм).

16.5 Influence of Fiber Orientation and Concentration • 637

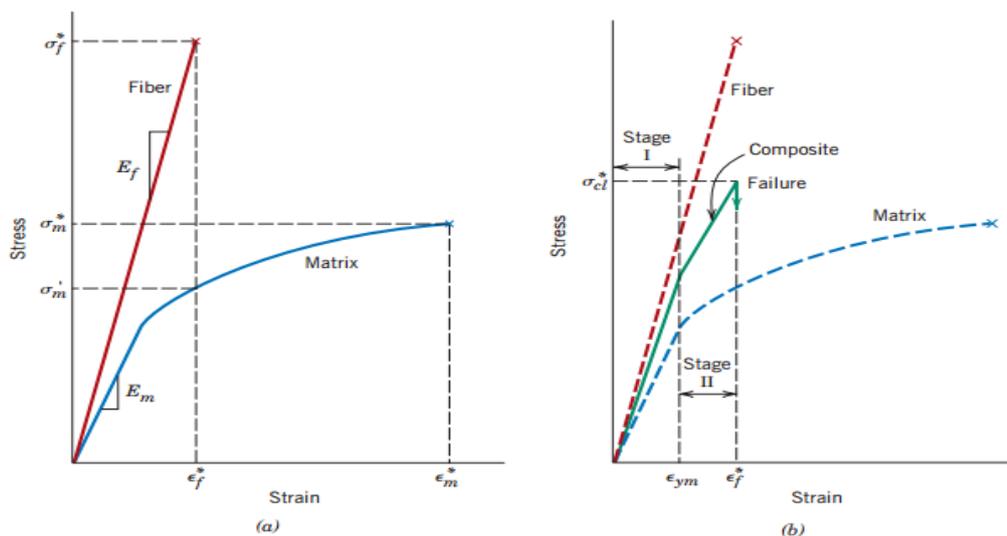


Figure 16.9 (a) Schematic stress–strain curves for brittle fiber and ductile matrix materials. Fracture stresses and strains for both materials are noted. (b) Schematic stress–strain curve for an aligned fiber–reinforced composite that is exposed to a uniaxial stress applied in the direction of alignment; curves for the fiber and matrix materials shown in part (a) are also superimposed.

10-расм. Толалар ориентацияси ва концентрациясини композит механик хоссасига таъсири

Толалар билан шакллантирилган композитнинг структуравий ва физик тавсифлари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал. Толали композитларнинг физик тавсифлари

Table 16.1 Typical Longitudinal and Transverse Tensile Strengths for Three Unidirectional Fiber–Reinforced Composites. The Fiber Content for Each Is Approximately 50 Vol%

Material	Longitudinal Tensile Strength (MPa)	Transverse Tensile Strength (MPa)
Glass–polyester	700	20
Carbon (high modulus)–epoxy	1000	35
Kevlar–epoxy	1200	20

Армирловчи толалар диаметрлари ва тавсифларига биноан учта синфга бўлинади: туклар, ип-толалар, симлар.

Туклар нисбатан анча ингичка якка толалар бўлиб, кристалл структурага эга бўлади. Узунлигини диаметрига нисбати жуда катта миқдорлар билан тавсифланади (2-жадвал).

2-жадвал. Таркибида турли хил толали тўлдирувчилар бўлган материалларнинг тавсифлари³

646 • Chapter 16 / Composites

Table 16.4 Characteristics of Several Fiber-Reinforcement Materials

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Strength</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Strength</i> (GPa)	<i>Modulus of Elasticity</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Modulus</i> (GPa)
Whiskers					
Graphite	2.2	20 (3)	9.1	700 (100)	318
Silicon nitride	3.2	5–7 (0.75–1.0)	1.56–2.2	350–380 (50–55)	109–118
Aluminum oxide	4.0	10–20 (1–3)	2.5–5.0	700–1500 (100–220)	175–375
Silicon carbide	3.2	20 (3)	6.25	480 (70)	150
Fibers					
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon ^a	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1
Boron	2.57	3.6 (0.52)	1.40	400 (60)	156
Silicon carbide	3.0	3.9 (0.57)	1.30	400 (60)	133
UHMWPE (Spectra 900)	0.97	2.6 (0.38)	2.68	117 (17)	121
Metallic Wires					
High-strength steel	7.9	2.39 (0.35)	0.30	210 (30)	26.6
Molybdenum	10.2	2.2 (0.32)	0.22	324 (47)	31.8
Tungsten	19.3	2.89 (0.42)	0.15	407 (59)	21.1

^a The term *carbon* instead of *graphite* is used to denote these fibers, because they are composed of crystalline graphite regions, and also of noncrystalline material and areas of crystal misalignment.

3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Ип-толалар, одатда толалар деб эътироф этиладиган материаллар аморф-кристалл ёки аморф ҳолатда бўлади. Диаметри унча катта бўлмайди. Асосан полимерлар ёки керамикалардан тайёрланади. Масалан, полимер арамид толалар, шишатоалалар, углерод толалар, бор толалар, алюминий оксид ва кремний карбид толалар бунга мисол бўлади. 2-жадвалда булар ҳақда маълумотлар берилган.

Ингичка симлар нисбатан катта диаметрга эга бўлади. Буларнинг асосий вакиллари пўлат, мис, молибден, вольфрам, алюминий, никель симлардир. Композитларда симлар, масалан, автомобил шиналарида радиаль пўлат арматура сифатида қўлланилади, шунингдек, ракеталар қобиклари ўрашда, шлангларнинг юқори босимга чидамани ошириш учун уларнинг таркибига киритилади, жумладан, юқори вакуумли ёки босимли шлангларда бундай қўлланиш амалга оширилади. Бу ҳада ҳамда 2-расмда маълумот берилган.

Кейинги 3-жадвалда армирловчи толалар билан шакллантирилган композитларнинг физик тавсифлари. Бундай толалар сифатида шишали ва карбонли толалар танланган. Уларнинг ўзига хос жиҳатлари акс эттирилган.

3-жадвал. Шиша ва карбон асосли толала билан шакллантирилган композитларнинг айрим физи ва структурвай тавсифлари.

<i>Composite</i>	<i>Fiber Type</i>	<i>Vol. Fraction Fibers</i>	<i>Fiber Strength (MPa)</i>	<i>Ave. Fiber Length (mm)</i>	<i>Critical Length (mm)</i>
A	glass	0.20	3.5×10^3	8	0.70
B	glass	0.35	3.5×10^3	12	0.75
C	carbon	0.40	5.5×10^3	8	0.40
D	carbon	0.30	5.5×10^3	8	0.50

Композитларни шакллантиришда арамидли толалар қўлланиши, уларни юқори мустаҳкамлик ва юқори модулга эга материалларга айланиши асос бўлади. Бундай арамидлар полимер асосли бўлиб, уларнинг айримлари номи полипарафелин, терефталамид толалар деб юрилади. Аслида, уларнинг номи Кевлар ва Номекс ҳам аталган. Уларнинг тасвири, яъни кимёций формуласи 11-расмда ифодаланган. Кевлар ўта мустаҳкам полимер материал бўлиб, унинг асосида ниҳоятда мутаҳкам хоссали материаллар тайёрланади. Жумладан, мотор тасмалари, ҳайдовчи ва пассажирлар учун ҳимояланиш тасмалари, парашутлар учун материаллар, улкан кемалар учун боғламловчи тасмалар ва шу каби ўта мустаҳкамлар тола асосли ёки толали материаллар.

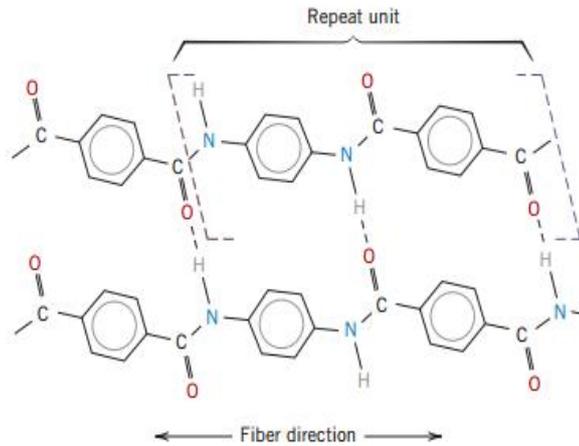


Figure 16.10 Schematic representation of repeat unit and chain structures for aramid (Kevlar) fibers. Chain alignment with the fiber direction and hydrogen bonds that form between adjacent chains are also shown. [From F. R. Jones (Editor), *Handbook of Polymer-Fibre Composites*. Copyright © 1994 by Addison-Wesley Longman. Reprinted with permission.]

11-расм. Кевлар молекулалари ва уларнинг ўзаро боғланиш графиклари.¹

Таркибида шиша, углерод, арамид толалар бўлган эпоксид матрицали композитларнинг айрим муҳим тавсифлари 4-жадвалда келтирилган.

4-расм. Турли тола компонентли композитларнинг тавсифлари

/ Composites

Table 16.5 Properties of Continuous and Aligned Glass, Carbon, and Aramid Fiber-Reinforced Epoxy-Matrix Composites in Longitudinal and Transverse Directions. In All Cases the Fiber Volume Fraction Is 0.60

Property	Glass (E-glass)	Carbon (High Strength)	Aramid (Kevlar 49)
Specific gravity	2.1	1.6	1.4
Tensile modulus			
Longitudinal [GPa (10^6 psi)]	45 (6.5)	145 (21)	76 (11)
Transverse [GPa (10^6 psi)]	12 (1.8)	10 (1.5)	5.5 (0.8)
Tensile strength			
Longitudinal [MPa (ksi)]	1020 (150)	1240 (180)	1380 (200)
Transverse [MPa (ksi)]	40 (5.8)	41 (6)	30 (4.3)
Ultimate tensile strain			
Longitudinal	2.3	0.9	1.8
Transverse	0.4	0.4	0.5

Жадвалдан шиша, углерод ва арамид асосли композитларнинг юқори

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons. Inc. 2010– P. 1000

физик тавсифларга эга эканлиги кўриниб турибди. Булар ичида углеродли толалар муҳим жихатлари билан фарқланади. Лекин кевлар толанинг кўрсаткичлари нисбатан анча муҳим бўлиб, бундай толаларнинг амалий аҳамияти ниҳоятда салмоқлидир.

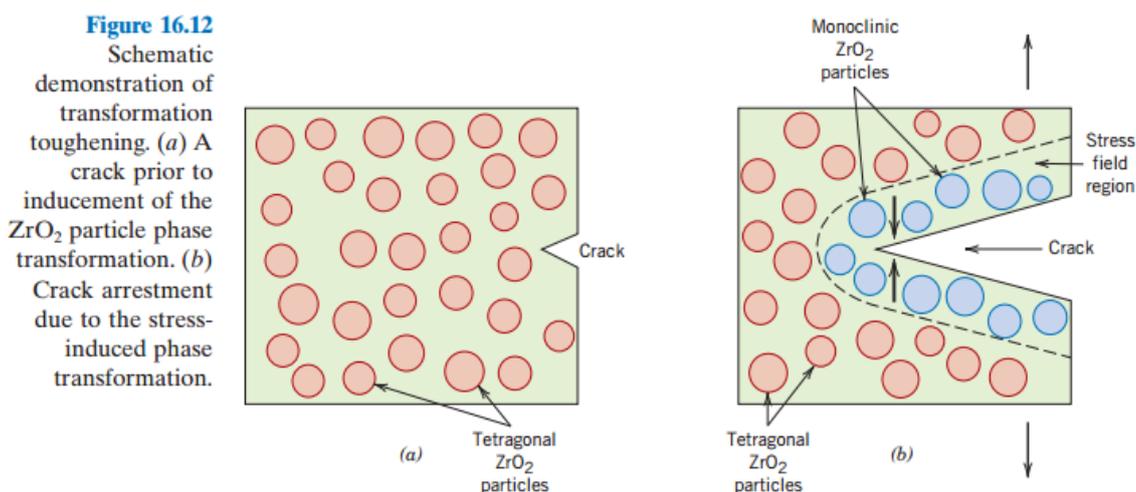
Композитлар ичида металл-матрицали композитларни ўрни бекиёсдир. Уларнинг айримларининг физик тавсифлари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвал. Айрим толали металл-матрицали композитларнинг тавсифлари.

Table 16.9 Properties of Several Metal-Matrix Composites Reinforced with Continuous and Aligned Fibers

<i>Fiber</i>	<i>Matrix</i>	<i>Fiber Content (vol%)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Longitudinal Tensile Modulus (GPa)</i>	<i>Longitudinal Tensile Strength (MPa)</i>
Carbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	—	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	—	120	340
Carbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

Шунингдек, толали керамик-матрицали композитлар мавжуд бўлиб, уларнинг айрим тавсифлари 11-расмда ифодаланган.



11-расм. Керамик-матрицали композитларнинг физик тавсифлари

Ноёб хоссали материаллар яна бир тури углерод-углерод композитлар бўлиб, улар ракета моторлари, фрикцион машиналар, аэрокемалар ва юқори тавсифли автомобиллар каби соҳаларда кенг қўлланади. Уларнинг муҳим

хоссалари ҳақидаги айрим маълумотлар б-жадвалда келтирилган.

б-жадвал. Углерод-углерод асосли композитлар тавсифлари

Table 16.10 Room Temperature Fracture Strengths and Fracture Toughnesses for Various SiC Whisker Contents in Al_2O_3

<i>Whisker Content (vol%)</i>	<i>Fracture Strength (MPa)</i>	<i>Fracture Toughness ($MPa\sqrt{m}$)</i>
0	—	4.5
10	455 ± 55	7.1
20	655 ± 135	7.5–9.0
40	850 ± 130	6.0

Асосий жараёнлар бири толали композитларнинг шаклланишидир. Бу жараёнлар бири қуйидаги 12- расмдаги чизмада ифодаланган³

658 • Chapter 16 / Composites

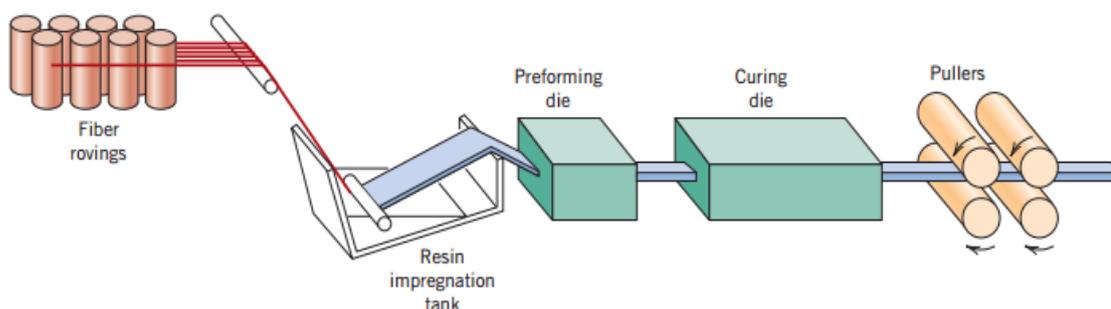


Figure 16.13 Schematic diagram showing the pultrusion process.

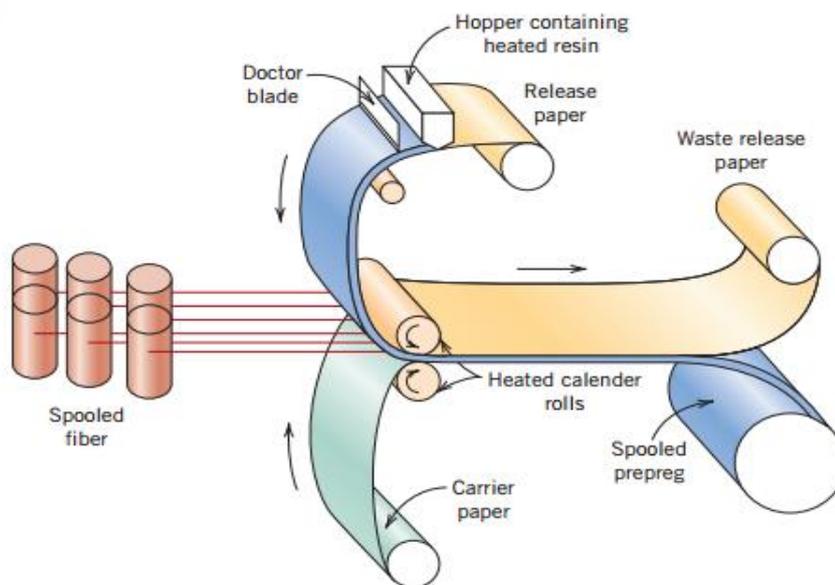
12-Толали композитлар шакллантиришнинг принципиал чизмаси

Полимерлар асосидаги композитларни шакллантириш календерлаш усули қўлланиши, пленкасимон материаллар олиш имконини беради. Бунда механик чузиш ва иссиқлик таъсирида термик қайта ишлаш принциплари қўлланилади. Бундай усул аралаш компонентли материаллар, махсус хоссали композитлар олинади. Бунинг принципиал чизмаси 12-расмда ифодаланган.

3

3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Figure 16.14
Schematic diagram illustrating the production of prepreg tape using a thermoset polymer.



12-расм. Каландер принциплари асосида композитлар шаклланиши

Материалларнинг яна бир тури ламинар композитлардир. Уларнинг шаклланиши икки ва ундан ортиқ сиртларни, яъни платиналарни, ёки панелларни юқори механик кучланиш остида пресслаш орқали ҳосил қилинади. Бунга хом-ашё сифатида ёғоч платиналар ва толали пластиналарни қўллаш мумкин. Бунда қатламли материал шаклланади (13-расм).

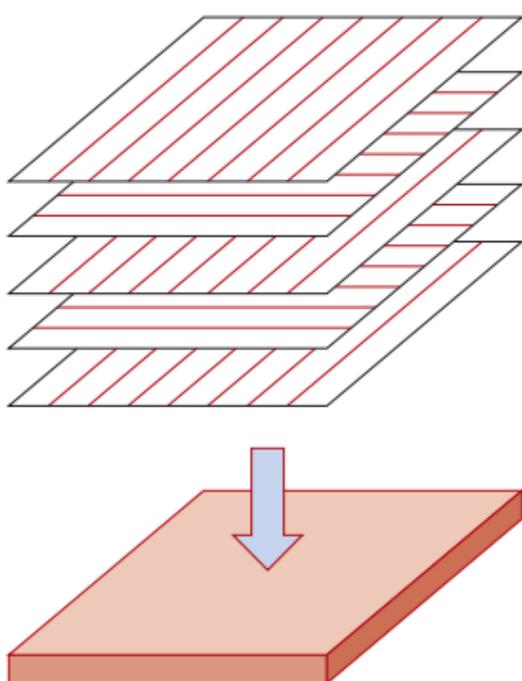


Figure 16.16 The stacking of successive oriented fiber-reinforced layers for a laminar composite.

13-расм. Ламинар композитлар шаклланиш принципи

Қатламли, яъни сандвич типдаги композитлар шаклантриш одатда шиша асосли композицион материаллар олиш имконини беради. Сандвич панеллари икки ёки ундан ортиқ лист ёки пластиналар асосида шакланади. Бундай композитларнинг умумий кўриниши 14- ва 15-расмда ифодаланган.

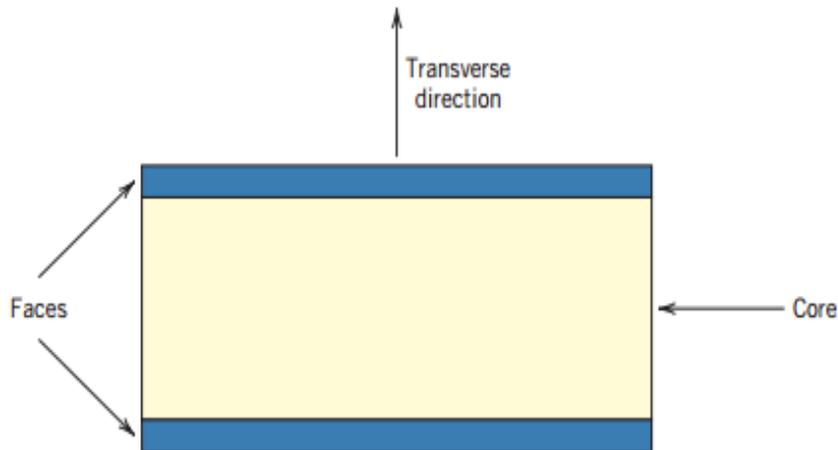


Figure 16.17 Schematic diagram showing the cross section of a sandwich panel.

14-расм. Сандвич композит чизмаси.

662 • Chapter 16 / Composites

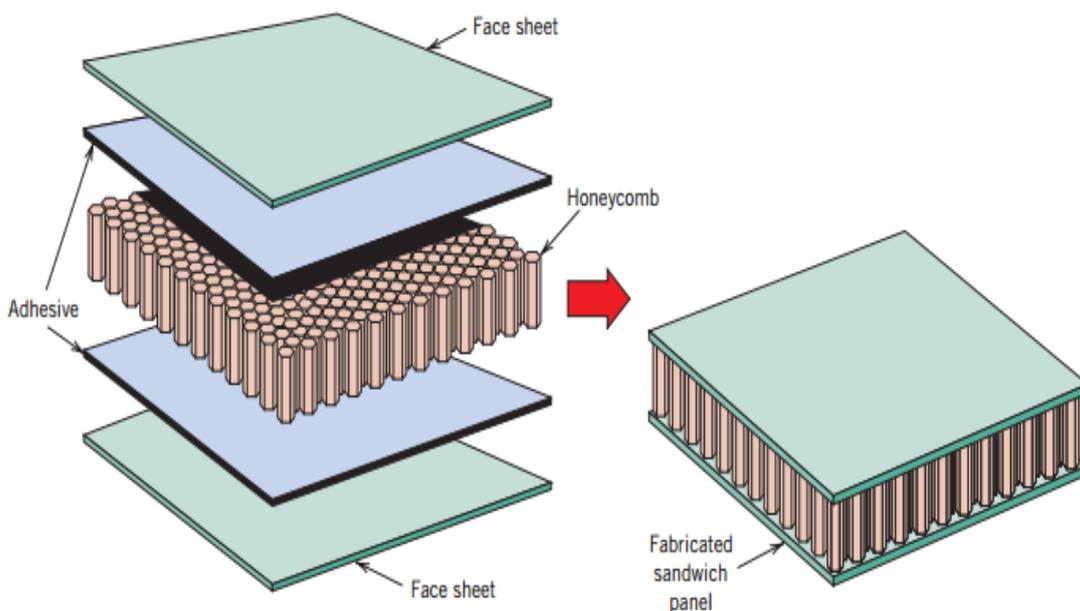
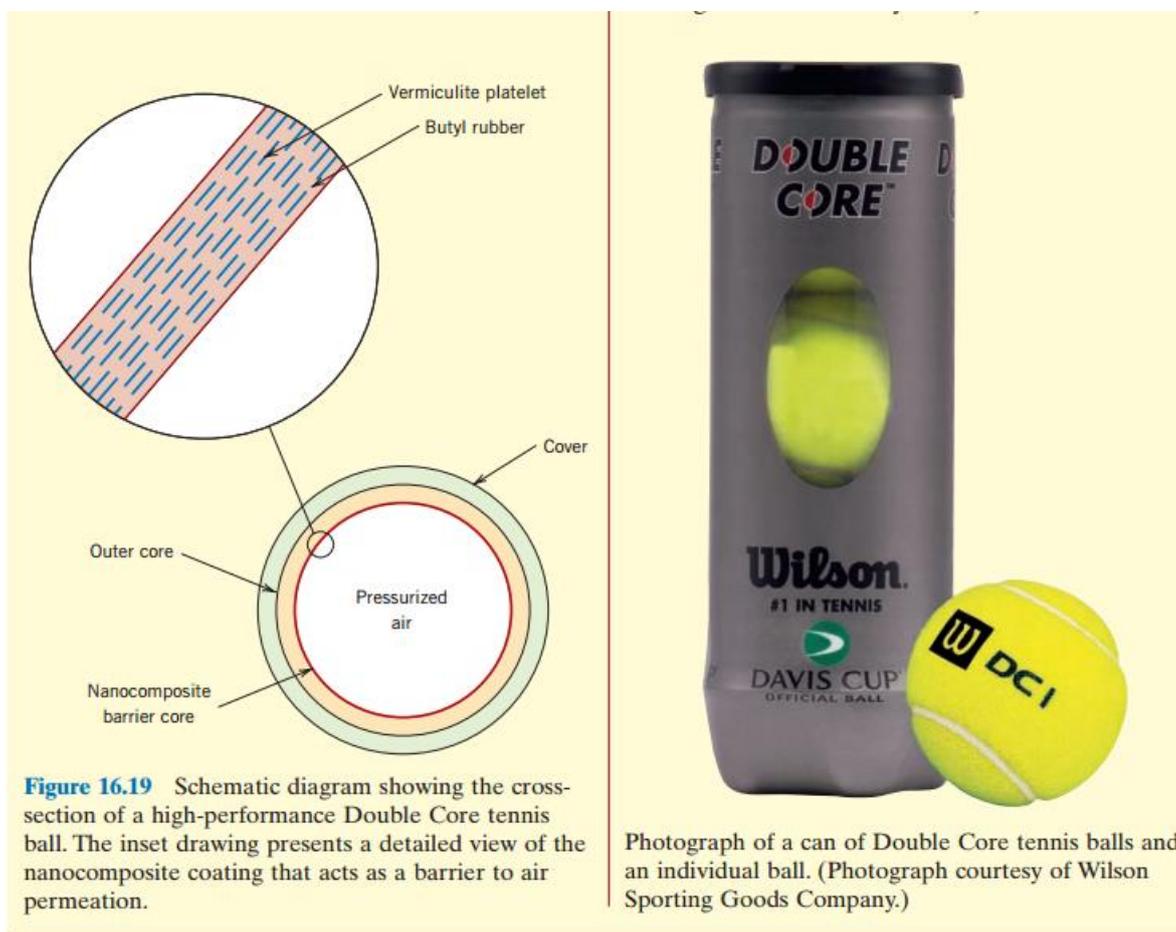


Figure 16.18 Schematic diagram showing the construction of a honeycomb core sandwich panel. (Reprinted with permission from *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, *Composites*,

15-расм. Сандвич композитлар панелларининг тавсирлари

Мураккаю компонентли ва кескин физик тахсирлага бар бералиган киомпозитлардан бири теннис тўпидпр (16-расм). Унинг таркибида бирқатор



16-расм. Теннис шарикнинг тузилиши ва композицион таркиби

функционал элементлар шарсимон қобиқ қилиб, маълум бир кетма-кетликда шакллантирилган. Муҳим қисми ички қобиғи бўлиб, у нанокомпозит материалдир. Нанокомпозитда вермикулит толалари ва винил резинаси мавжуддир. Сирти қобиқ билан қопланган.

Шундай қилиб ушбу мавзу диорасида турли композит материалларнинг принципал жиҳатлари қараб чиқилди ва уларнинг физик ва амалий тавсифлари таҳлил қилинди. Замонавий материал шунослик талабларига биноан композитларнинг қай даражада мукамаллик бўлиши, уларнинг ниҳоятда кенг ва салмоқли соҳа эканлиги ривожланиши улкан тарихдан бошланиб, ҳозирда уларга бўлган эҳтиёжнинг яна юқори ва иқтисодиётнинг барча соҳаларида уларга бўлган талабнинг кундан кунга ошиб бораётганлиги таъкиблаб этилга ва унга изоҳлар ва мисоллар келтирилган.

Назоарт саволлари

1. Композицион материал ва композитлар нима?
2. Композитлар асосий турлари ва йўналишлари нималардан иборат?
3. Табiiй композитлар қандай мисоллар келтира оласиз?
4. Сунъий ва синтетик композицион материаллар қандай шаклланади?
5. Композитлар яратишнинг қандай физик омиллари мавжуд?
6. Керамик, металл ва полимер композитларнинг принципиал фарқлари?
7. Қотишмалар ва композитлар қандай фарқланади?
8. Композитлар фазалараро чегаралар нимани англатади?
9. Композитларда компонентлараро боғлар қай даражада бўлади?
10. Композитлар морфологиси ва хоссалари қандай боғлиққа эга?
11. Композитларда матрицанинг роли нимадан иборат?
12. Армирлаш нимани англатади ва композитларда роли қандай?
13. Толали армирлашда толаларнинг қандай турлари мавжуд?
14. Композитларда ноёб хоссалар қандай бошқарилади?
15. Аралашма ва композитлар бири биридан қандай фарқланади?

Фойдаланилган адабиётлар

1. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000.
2. Richard J. D. Tilley Understanding solids : the science of materials. -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GbH &Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
5. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
6. www.mitht.ru/e-library
7. www.crisp-prometey.ru
8. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech. Uni. Berlin

4-мавзу: Нанозифика асослари, илмий-тадқиқот объектлари ва предмети, наноматериаллар яратилишидаги устуворлиги

Режа

1. Нанозифика предмети, нанообъектлар, наноструктуралар ва нанодисперс тизимлар шаклланиш принциплари
2. Наноматериалшунослик асослари, унда фундаментал ва амалий фанлар ҳамда технологиялар ва ишлаб чиқаришнинг ҳамжиҳатлиги.
3. Металл, керамика, полимерлар, композитлар асосида наноматериаллар шакллантириш имкониятлари.
4. Нанозификанинг нанообъектлар ва наноматериаллар яратишдаги роли ва устуворлиги.

Таянч иборалар: *нанообъектлар, нанодисперс тизимлар, наноўлчамли материаллар шаклланиши, нанометаллар, нанозаррачалар, наноструктуралар, нанокомпозитлар.*

1. Нанозифика предмети, нанообъектлар, наноструктуралар ва нанодисперс тизимлар шаклланиш принциплари

“Нанотехнология” сўзининг ўзида 2 та атамани “нано” ва “технология” терминларини кўрамир. Аввал иккинчи тушунчани аниқлаш лозим ¹.

Энциклопедик луғатда “технология” сўзи қуйидагича тавсифланган: у юнонча “течне” – “санъат”, “маҳорат” ва “билиш” + “логос” – “фан” қўшма сўз бўлиб, бирор бир маҳсулот ишлаб чиқаришдаги ишлов бериш, тайёрлашни, ҳолати хоссасини, шаклини ўзгартириш жараёнларининг умумлашган услубини билдиради.

Технологиянинг вазифаси – табиат қонунларидан инсон манфаати учун фойдаланишдир. “Машинасозлик технологияси”, “сувни кимёвий тозалаш технологияси”, “ахборот технологиялар” ва бошқалар мавжуд.

Кўриниб турибдики, технологиялар бошланғич хом ашёнинг табиатига кўра бир-биридан ажралиб туради. Метал (темир) тузилмалар ва

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

информатсия (маълумот) орасидаги кучли фарқланишлар уларга ишлов бериш ва ўзгартириш услубларидаги фарқларни белгилаб беради¹

Технологияларни санаб ўтганимизда “юқори технологиялар” деган тушунчани эсга олмаслик мумкин эмас. Юқори технологиялар деб нисбатан яқинда пайдо бўлган, ҳамма жойда тарқалиб улгурмаган самарали бўлган технологияларни тушунишга ўрганиб қолганмиз. Бу технологиялар асосан микроэлектроника соҳасига оид бўлиб, асбоб-ускуналарнинг жуда кичик ўлчами билан боғлиқ.

Минглаб йиллар аввал ота-боболаримиз триллионта атомларга эга бўлган тошларни олиб, улардан миллиард, триллионта атомларга эга бўлган қатламларини йўниб, камон ўқларининг ўткир учларини тайёрлашган. Улар кийин бўлган ишларни жуда усталик билан бажаришган. Ўша узоқ вақтларда тошларни бундай йўниш усулини ўйлаб топган одам уни юқори технология деб атаганда хато қилмаган бўларди. Масалан, 15-20 йил аввал уяли телефонларни “ҳигҳ-теч” турдаги ускуналар деб ҳисобланган. Ҳозирда эса “мобил телефони” билан ҳеч кимни ҳайрон қолдира олмайсан.

Шунинг учун ҳам жамият ривожланиши босқичида унга оид барча илғор технологияларни “юқори технологиялар” деб аташ жоиз бўлса керак.

Энди “нанотехнология” тушунчасининг ўзига таъриф берамиз.

Нано қўшимчаси (юнон “наннос” – “митти”) у ёки бу бирликнинг, бизнинг ҳолатда метрнинг, миллиарддан бир (10^{-9}) бўлагини (нанометр-нм)ни англатади. Атомлар ва жуда майда молекулалар 1 нанометр тартибдаги ўлчамга эга.

Ингичка сочнинг ўндан бир қалинлиги ўлчамидаги таркибловчили замонавий микросхемалар чакмоқ тош йўнувчилар стандартларида кичкина деб ҳисобланади, аммо триллионлаб атомларга эга транзисторларнинг ҳар бири ва микрочиплар ҳамон оддий кўз билан кўрилади.

Тошга қўлда ишлов беришдан бошлаб то кремнийли чиплар тайёрлашгача кузатиш мумкин бўлган технологиялар атом ва молекулаларнинг катта бирикмаларидан ташкил топган хом-ашёдан фойдаланади. Бу йўналишни “балк-технология” (инг. “булк” – тўп-тўп, тўпланган) деб аташ мумкин.

Нанотехнология ҳар бир атом ва молекулалар билан жуда аниқлик билан ишлаши лозим. У дунёни биз хаёлимизга келтираолмайдиган даражада

¹ William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2010– P. 1000

ўзгартириб юбориши мумкин.

Атом – (грек. “атомос” – “бўлинмас”) – кимёвий элементнинг жуда майда заррачаси бўлиб, бошқа атомлар билан бирлашиб мураккаб бирикмаларни – молекулаларни ҳосил қила олади [2].

Еътибор берсангиз “атом” сўзининг сўзма-сўз таржима қилиниши нотўғридир ва ҳақиқатдан атом зарядланган ядро ва манфий зарядланган электронлардан ташкил топган. Аммо бу сўзни қадимги грек файласуфи Демокрит ўйлаб топган ва ҳамма ундан фойдаланишга ўрганиб қолган.

Нанотехнология – *бу маълум атомар тузилишли маҳсулотларни, уларнинг атом ва молекулаларини жойлаштириш йўли билан ишлаб чиқариш усуллари йиғиндисидир.*

Нанотехнологияга берилган бундай таърифга кўра табиий савол туғилади: материалларни атом ва молекулалар даражасида манипулятсиялашимиз (бу ерда ишлашимиз) мумкинми? Бизнинг бармоқларимиз наномасштаб учун жуда ҳам катталиқ қилади-ку. Бу савол замонавий нано фанининг жумбоғи бўлса керак. Бу жумбоқни ечишнинг энг чиройли йўлини эрик Дрекслер ўзининг “Яратиш (барпо этиш, вужудга келтириш) машиналари” китобида таклиф қилди. Атомлар билан ишлаш учун у махсус наномашиналарни ёки **ассемблерларни** яратди.

Уларни кўз олдимизга келтириш учун аввало молекулалар қандай тузилганлигини расм орқали кўришимиз лозим бўлади. Бунинг учун биз атомларни мунчоқлар кўринишида чизамиз, молекулаларни эса сим орқали бир-бирига боғланган мунчоқлар гуруҳи деб кўрсатамиз. Атомлар юмалок шаклга эга (шарларга ўхшаш), молекуляр боғланишлари – сим бўлаклари бўлмаса-да, биз кўз олдимизга келтирган модел бизга бу боғланишлар узилиши ва қайта тикланиши мумкин эканлигини кўрсатади.

Наномашиналар атом ва молекулаларни ушлаб олишни билиши ва уларни хоҳлаган тартибда бир-бирига боғлай олиши лозим. Шунини таъкидлаш лозимки, бундай машиналар табиатда минглаб йиллардан буён муваффақият билан ишлаб келмоқда. Мисол тариқасида рибосомалар томонидан оксилни синтез қилиш механизмини келтириш мумкин.

Нанотехнологиялардан фойдаланишнинг имкониятлари битмас-туганмасдир: саратон хужайраларини нобуд қилувчи ва зарарланган тўқима ва аъзоларни тикловчи организмда “яшовчи” нанокомпьютерлардан тортиб, то атроф муҳитни ифлослантормайдиган автомобиль двигателлари бўлган асбоб, қурилмаларни яратиш келажаги мавжуд.

Нанотехнологиялар қуйидаги принципаал жиҳатларга эга бўлтб, уни амалга оширишда 1-расмда келтирилган кетма-кетлик устувордир [1].

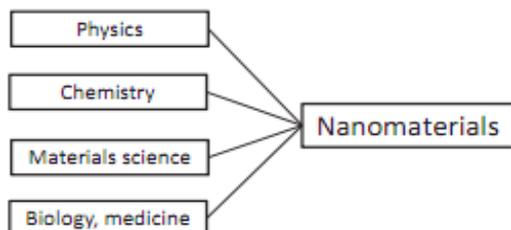


Figure 1.1 To understand and apply nanomaterials, besides knowledge on materials science, a basic understanding of physics and chemistry is necessary. As many applications are connected to biology and medicine; knowledge in these fields are also of advantage.

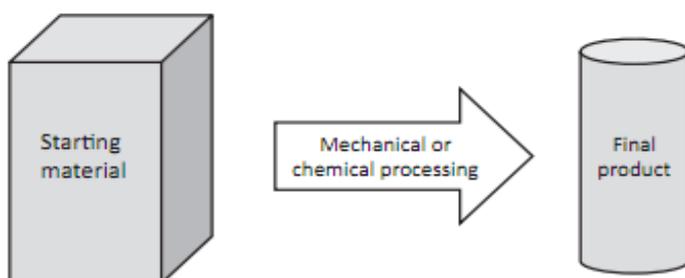


Figure 1.2 Conventional goods are produced by top-down processes, which start from bulk material. Using mechanical or chemical processes, the intended product is obtained.

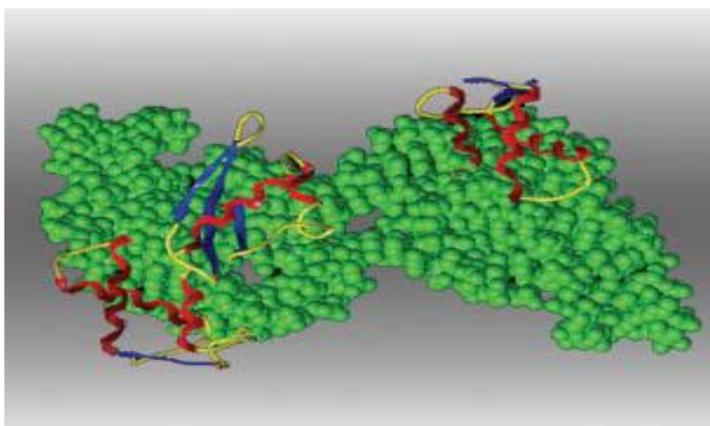
1-расм. Нанотехнология асослари ¹

Оқсиллар – барча ҳужайраларнинг ҳаёт фаолиятини таъминловчи зарурий таркибий қисмидир. Оқсилларнинг организмдаги (танадаги) роли хилма - хилдир. Танамиздаги барча ҳаётий жараёнларда унинг ўсиши ва кўпайишини бошқаришда иштирок этадиган оқсиллар – гормонлар ажралиб туради. Ёруғлик сезувчи махсус, оқсил – родопсин ҳисобига кўзимиз тўр пардасида тасвир пайдо бўлади. Актин ва миозин оқсиллари ҳисобига мушакларимиз қисқаради ва бўшашади, бунинг натижасида биз ҳаракат қила оламиз. Организмдаги барча кимёвий жараёнлар махсус оқсиллар – ферментлар иштирокида кечади. Уларсиз овқат хазм қилиш, нафас олиш, моддалар алмашуви, қон ивиши ва бошқалар содир бўлмайди. Оқсиллар ҳимоя функциясини ҳам бажаришади, организмга касаллик келтириб чиқарувчи бактериялар ёки захарлар тушса, улар иммуноглобулин оқсилларини ишлаб чиқаради ва зарарли таъсирларни йўқ қилади.

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

Оқсиллар ва улар фаолияти функцияларининг хилма-хиллиги билан танишганимизда, ўсимлик ва ҳайвонот оламининг барча оқсиллари – мутлак инерт оқсиллардан то биологик фаол бўлган оқсилларгача – пептидли боғ деб аталадиган кимёвий боғлардан тузилган бўлиб, улар ягона стандарт занжирлар - **аминокислоталар** занжиридан ташкил топганини кўрамиз. Ташқаридан оқсил молекуласи ипдаги шодаларнинг кетма-кет жойлашишига ўхшайди ва унда шодалар ролини аминокислоталар молекулалари бажаради. Кўп оқсиллар таркибида бундай “шодалар” ўртача 300-500 та бўлади.

Табиатда барча аминокислоталар 20 та турда бўлади, уларни махсус “кимёвий алифбе”нинг йигирмата “ҳарфи” га ўхшатиш мумкинки, бу “ҳарф” лардан оқсиллар -300-500 ҳарфдан иборат “сўзлар” тузилган бўлади. Бундай йигирма ҳарф ёрдамида жуда кўп узун сўзлар ёзиш мумкин. Агар сўздаги ҳарфлардан биргинасини алмаштирилса ёки кўчирилса, сўз янги маънога эга бўлади, 500 рамзли сўзда имконий комбинатсиялар сони 20500 та бўлади.



а

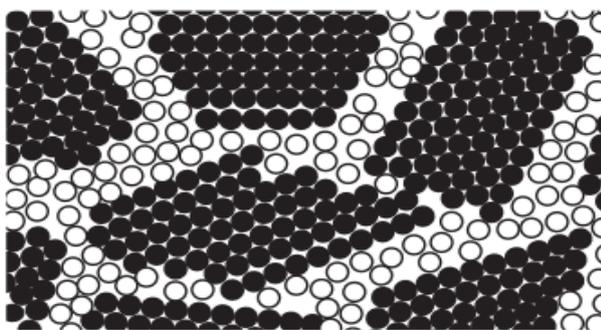


Figure 3.2 Nanocrystalline material. The full circles represent atoms in the crystallized phase, whereas the open circles represent atoms at the grain boundary.

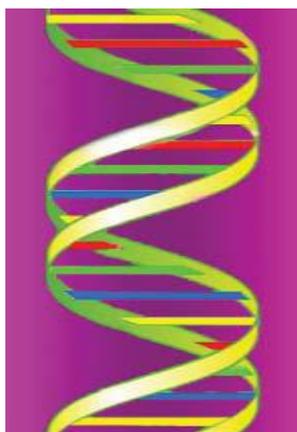
б

2-расм. Оқсилнинг тузилиши (а) ва нанокристалл материал (б)

Ҳар бир оксил занжири *фақат шу оксилгагина* хос бўлган, фақат маълум бир сондаги ва аминокислоталар комбинатсиясидан курилган кетма-кетликдаги у ёки бу оксилга ҳарактерли бўлган аминокислоталар ягона комбинатсиясигина уларнинг кимёвий ва биологик хоссаларини белгилаб беради. Бир дона аминокислота занжирининг ўрни ўзгартирилиши, алмаштирилиши ёки йўқотилиши оксил молекулалари хоссаларининг тубдан ўзгаришига олиб келади. Бундан келиб чиқиб, алоҳида оксилни синтез қилишда унинг тузилишидаги аминокислоталар занжирлари кетма-кетлиги ҳақида тўлиқ маълумотга эга бўлиш керак экан. Табиатда бундай маълумот махсус ташувчи – ДНК молекуласида сақланади, унда организмда мавжуд бўлган барча оксиллар тузилиши ҳақида маълумот бўлади ¹.

Бир оксилдаги аминокислоталар кетма-кетлиги ҳақидаги маълумотлар жойлашган ДНК молекуласининг бир бўлаги *ген* деб аталади. Шунинг учун ДНК даги маълумотни генетик маълумот дейилади. Ген эса ирсий материалнинг бирлиги ҳисобланади. ДНКда бир неча юзгача генлар бўлади.

ДНК молекуласи (дизоксирибонуклеин кислота) бири иккинчиси атрофига ўралган спиралсимон иккита ипдан иборат. Бундай қўш спиралнинг эни тахминан 2 нм бўлади. Узунлиги эса ундан 10 минг марта кўп – бир неча юз минг нанометрдир. Ирсий маълумотни ташувчи ДНК қўш спиралини топгани учун 1962 йилда олимлар Уотсон ва Крик Нобел мукофотига сазовор бўлдилар.



а

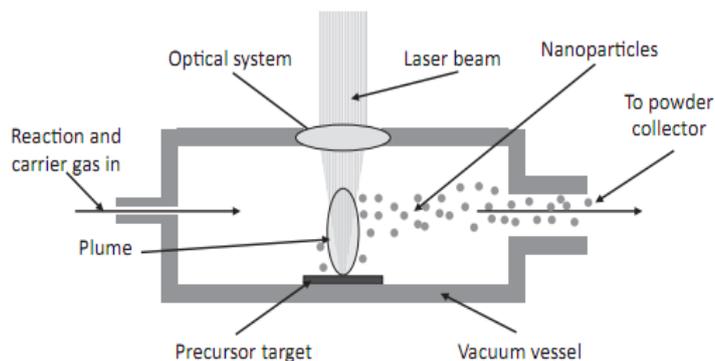


Figure 4.11 Schematic drawing of the experimental setup for nanoparticle synthesis applying laser ablation. The pulsed laser beam is focused at the surface of the precursor target that may be a metal or an oxide. The high-intensity laser beam causes a plume, a supersonic jet of evaporated

material, which is ejected perpendicular to the target surface, expanding into the gas space above the target. The particles formed by condensation in the plume are transported with the carrier gas to the powder collector.

б

3-расм. ДНК тузилиши (а) ва нанозаррачалар олиш қурилмаси (б)

¹. Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

ДНК иплари эса нуклеотидлар занжиридан ташкил топган, **нуклеотидлар** – органик материаллар бўлиб, бир-бири билан боғлиқ 3 та молекула: азотли асос, 5 углеродли шакар (пентоза) ва фосфор кислотаси қолдиғидан иборат бўлади. Нуклеотидларни азотли асосларнинг таркибига кирувчи 4 типи (тури): *аденин* (А), *гуанин* (Г), *цитозин* ва (Т) *тимин* номи билан номланган. Нуклеотидлар 4 турининг ДНК занжирида жойлашиш тартиби жуда муҳимдир - у оксиллардаги аминокислоталар тартибини, яъни уларнинг тузилишини белгилайди.

ДНКда оксил тузилиши дастурлаштирилганини тушуниш учун Морзе алифбосини эслаш кифоя, унда алифбонинг барча ҳарфлари, тиниш белгилари ва сонлар қисқа (нуқта) ва узун (тире) сигналлар комбинатсиясида белгиланади. ДНКда ҳам худди шундай шифр мавжуд экан. Худди Морзе алифбосида ҳар бир ҳарфга нуқталар ва тиреларнинг муайян кетма-кетлиги мос келтирилганидек, ДНК кодида нуклеотидларнинг маълум кетма-кетликда келиши оксил молекуласидаги маълум бир аминокислотага мос келар экан. ДНК кодини билиш – бу ҳар бир аминокислотага мос бўлган нуклеотидлар кетма-кетлигини билиш демакдир.

2. Наноматериалшунослик асослари, унда фундаментал ва амалий фанлар ҳамда технологиялар ва ишлаб чиқаришнинг ҳамжиҳатлиги.

Барча имконий сон, ҳарф ва тиниш белгиларини кодлаштириш учун бизга 2 та рамзни билиш кифоя қилар экан. Битта аминокислотани кодлаштириш учун эса биргаликда 3 нуклеотид ўзи етарли бўлади (4 та нуклеотиддан 64 та комбинатсия ҳосил қилиш мумкин, ҳар бирида 3 тадан нуклеотид бор: $4^3=64$). Бундай бирикмалар **триплет** ёки **кодон** деб аталади.

ДНК коди *бир қийматга эга* (1 триплет 1 тадан ошмаган аминокислотани шифрлайди) ва универсалликка эга, (яъни Ерда барча яшовчи ва ўсувчи – бактериялар, замбуруғлар, донлилар, чумоли, қурбақа, от, инсон – айна бир триплетлар айна бир аминокислоталарни шифрлайди). Ҳозирги вақтда ДНК коди бутунлай ошкорланган, яъни ҳар бир аминокислота учун кодловчи триплет аниқлаб қўйилган. Ўқувчига яна бир марта эслатамизки, ДНК кетма-кетлигида фақат бир нуклеотидни алмаштириш ёки четлатиш синтезловчи оксиллар тузилишини бузади. Генетик код тилга ўхшагани учун бунга яққол мисол қилиб ҳарфли триплетлардан тузилган қуйидаги иборани келтириш мумкин:

Бу иборада тиниш белгилари бўлмаса ҳам унинг маъноси ва мантиқи бизга тушinarли, иборадаги биринчи ҳарфни олиб ташласак ва уни яна триплетлар билан ўқисак, унда ҳеч қандай маъносиз нарса келиб чиқади:

Худди шундай генетик маъносиз нарса гендан бир нуклеотид тушиб қолганда ҳам пайдо бўлади. Бундай бузилган гендан ўтган оқсил организмда жиддий *генетик касалликларни* келтириб чиқариши мумкин (Даун касаллиги, қандли диабет, мушак дистрофияси ва бошқалар). ДНК информатсион матритсасидаги бундай хато шу оқсилни синтезлаш вақтида қайтараливеради. Худди китоб ёки газета нашр этириляётганда, матритсадаги хато қайтарилвергани каби.

Барча оқсиллар синтези учун матритса бўлган ДНК молекуласининг ўзи синтезлаш жараёнида иштирок этмайди. У фақатгина генетик маълумотларни ташувчидир.

Оқсил синтезида унинг тузилиши ҳақидаги маълумот аввал ДНКдан *рибосома* молекуласига – оқсил ишлаб чиқарувчи ўзига хос фабрикага етказилади. Бундай маълумотларни кўчириш *ташувчи* информатсион РНК (т-РНК, т-рибонуклеин кислотаси) молекуласи ёрдамида амалга оширилади, у ДНКнинг бир қисмининг аниқ нушаси, ойнадаги аксидир. И-РНК эса ДНК молекуласи бир ипи билан комплементар бўлган бир занжирли спирал.

ДНКдан РНКга генетик маълумотларни нусхалаш жараёни *транскрипсия* (лотин “транссриптио” – кўчириб ёзиш) деб аталади. Кўчириб ёзиш жараёнида махсус фермент – полимераза ДНК бўйлаб ҳаракатланиб кетма-кет равишда унинг нуклеотидларини ўқийди ва комплементарлик принципи бўйича И-РНК занжирини ҳосил қилади, яъни ДНК дан у ёки бу ген “чизма” сини олади.

Ҳар бир гендан хоҳлаган сондаги РНК нусхаларини олиш мумкин. Шундай қилиб, оқсил синтези жараёнида И-РНК перфокарта ролини бажаради, унга аниқ бир оқсил қурилиши “дастури” ёзилган бўлади.

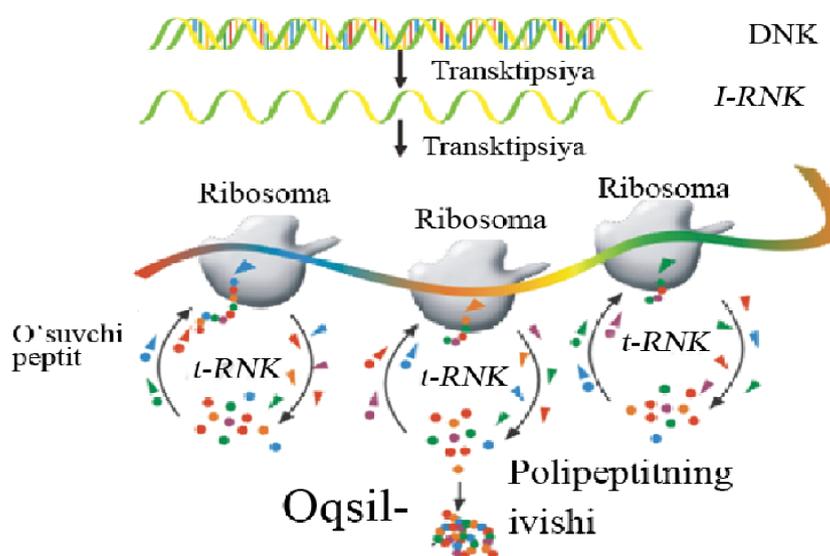
Перфокарта – эски ҳисоблаш машиналарида дастур ёзиш учун маълум бир жойларида ёруғлик нури ўтиши учун тешикчалар қилиб қўйилган қаттиқ қозғоз бўлаги ёки тасмаси.

И-РНК молекуласи унга ёзилган дастур билан рибосома томон йўналади, у ерда оқсил синтезланади. У томонга яна оқсил қуриладиган материаллар – аминокислоталар оқими ҳам йўналади. Аминокислота рибосомага мустақил эмас, балки ҳаракатланувчи *транспорт* РНК (т-РНК) ёрдамида ўтади. Бу молекулалар турли аминокислоталар ичидан “ўзининг”

аминокислотасини ажрата олади, ўзига кўшиб рибосомага олиб боради.

Рибосомаларда оқсил синтезини *транслятсия* (лотин. “транслатио” - узатиш) деб аталади.

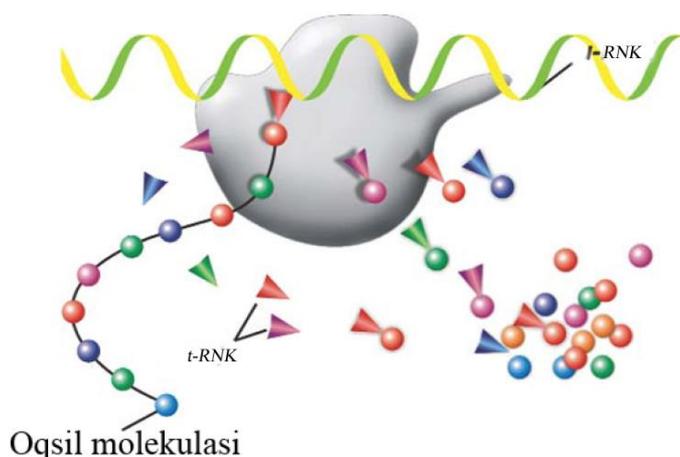
Оқсил молекуласи қурилиши давомида рибосома и-РНК бўйлаб “ўрмалайди” ва шу и-РНКга дастурлаштирилган оқсилни синтезлайди. И-РНК бўйлаб рибосома қанча узоққа кўчиб борса, оқсил молекуласининг шунча катта қисми “йиғилган” бўлади. И-РНК тасмасида, конвеердагига ўхшаб, бир вақтнинг ўзида бир оқсилнинг ўзини бир неча рибосомалар томонидан йиғиш давом этаверади (4-расм). Рибосома и-РНКнинг охирига етганида синтез тугайди.



4-расм. Рибосома оқсилнинг синтез жараёни

Энди рибосоманинг ишлаш механизмига тўхталиб ўтайлик. Расмга мурожаат қиламиз. Рибосома и-РНК бўйлаб бир текисда ҳаракатланмайди, тўхтаб-тўхтаб “қадамма-қадам”, триплет кетидан триплет тарзда ҳаракатланади. Рибосоманинг и-РНК билан тегишган ҳар қадамида унга уланган аминокислотали т-РНКнинг молекуласи “сузиб” келади. Олдин айтилганидек, ҳар бир т-РНК фақат “ўз” аминокислотасини танийди ва уни оқсил қуриладиган жойга келтириш учун бирлаштириб олади. Бу унда муайян аминокислотага мос триплет борлиги туфайли содир бўлади. Агар т-РНКнинг кодли триплети айна пайтда рибосомада бўлган и-РНК триплетига комплементар бўлиб чиқса, унда аминокислота т-РНКдан ажралиб чиқади ва оқсилнинг қуриладиган занжирига бирикади (оқсил молекуласига яна бир

“мунчоқ” қўшилади).



5-расм. Рибосома оқсилни синтез қилмоқда

Сўнгра, оқид т-РНҚ рибосомадан атроф муҳитга чиқариб ташланади. Бу ерда у аминокислотанинг янги молекуласини тутиб олади ва ишлаётган рибосомаларнинг хоҳлаганига олиб боради. Бизнинг рибосома эса и-РНҚ бўйлаб олдинга кейинги “қадам”ни бир триплет қадар қўяди. Аста-секинлик билан рибосома и-РНҚ триплет кетидан триплет ҳаракатланади ва бирин кетин оқсил занжири кўпайиб боради.

И-РНҚнинг бутун узунлиги бўйича ўтиб бўлиб, рибосома тайёр оқсил билан ундан “тушиб” қолади. Сўнгра, оқсил молекуласи хужайранинг шу турдаги оқсил зарур бўлган томонига йўналади, рибосома эса бошқа ихтиёрий и-РНҚ томон йўналади (рибосома ҳар қандай оқсилни синтезлай олади; оқсил ҳарактери фақат и-РНҚ матритсасига боғлиқ бўлади).

Шундай қилиб, рибосомалар оқсил ва РНКдан қурилган наномашиналар мураккаб молекулалар қурилишга дастурлаштирилиши мумкинлигини, яъни улар хоҳланган молекуляр тузилмалар ишлаб чиқариш учун табиий ассемблерлар (атомлар йиғувчи) бўлишини тасдиқлади^{2,3}

Ген инженерлари ҳозир биологик табиий материаллар: аминокислоталар, оқсиллар, ДНК молекулалари ва бошқалардан фойдаланиб, биринчи экспериментал сунъий наномашиналар қуришга ҳаракат қилишмоқда. Аммо, биологиксимон наномашиналар – бу органикадир ва

2. Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.

3. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.

уларнинг имкониятлари чегараланган бўлади. Улар юқори температура ва босимда барқарорликни йўқотади ёки бузилиб кетади, нурланишлардан таъсирланади, қаттиқ материалларга ишлов бера олмайдилар, кимёвий агрессив муҳитларда ишлай олмайдилар. Шунинг учун ҳам инсониятнинг балк-технологияда яратган кўплаб ишланмаларидан воз кечиш тўғри бўлмайди. Ғилдиракдан компютергача – буларнинг ҳаммаси табиат “ўйлаб топмаганлардир”.

3. Металл, керамика, полимерлар, композитлар асосида наноматериаллар шакллантириш имкониятлари.

Биологиксимон тузилишларсиз айрим атом ва молекулалардан фойдаланиш қийин бўлади. Шунинг учун наномашина – ассемблерлар тирик ва техник системалар синтездан иборат бўлиши лозим. Дрекслер ассемблерга куйидагича таъриф беради:

Ассемблер – бу ўз-ўзини репликатсиялаш(кўпайтириш) хоссасига эга бўлган молекуляр машинадир, у амалда ҳар қандай молекуляр тузилишни ёки қурилмани содда кимёвий қурилиш блокларидан қуриши учун дастурланиши мумкин.

Ассемблернинг асосий вазифаси – бу атом ва молекулаларни берилган тартибда бирлаштиришдир. У ҳар қандай мақсадга йўналтирилган наносистемаларни – двигателлар, станокларни, ҳисоблаш ускуналарини, алоқа воситаларини қура олиши лозим. У РНК ёки ДНК занжирига ўхшаш, “перфолентали” алмашадиган дастурли универсал молекуляр робот бўлади.

Йиғувчининг ташқи кўринишини бир неча атом узунлигидаги манипулятор “кўлли” нанометр ўлчамидаги “кути”га ўхшаш деб тасаввур қилиш мумкин. Манипулятор учун бошланғич (дастлабки) материал бўлиб атомлар, молекулалар ва кимёвий фаол молекуляр конструкциялар (қурилмалар) хизмат қилиши мумкин. Йиғувчининг ичига манипулятор ишлашини бошқарувчи ва унинг барча ҳаракатлари дастури жойлашган ускуналар ўрнатилади. Мураккаб тузилишли катта молекулалар ташкиллаш катта жойлаштириш аниқлигини талаб қилгани учун ассемблер бир неча шундай манипуляторларга эга бўлиши керак.

Ассемблер нимаси биландир ўргимчакка ўхшаб кетади, у бир “оёқлари” билан сиртга ёпишиб турса, қолганлари билан атом кетидан атом тарзида мураккаб молекуляр тузилмаларни йиғади. Наноассемблернинг энг

оммавий схемаси расмда кўрсатилган (6-расм). Йиғувчиларни – саноат роботларини бошқаришда ишлатиладиган, қандайдир оддий тилда дастурлаштирилган ва инсон бошқарадиган одатий компьютерга уланган нанокомпютерлар бошқариши лозим. Инсон – оператор компьютерда алоҳидаги молекуляр тузилишидаги қандайдир конструкцияни моделлаштираётганини кўз олдимизга келтирайлик. Керакли объектни “чизиб” олиб у ассемблерларга буйруқ беради, у эса уни бирин-кетин (атомма-атом) қура бошлайди. Бироз вақтдан сўнг конструкторда берилган характеристикалар бўйича, инсон кўп иштирок этмаган, тайёр буюм пайдо бўлади ¹

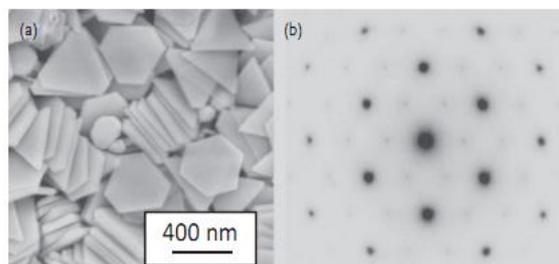
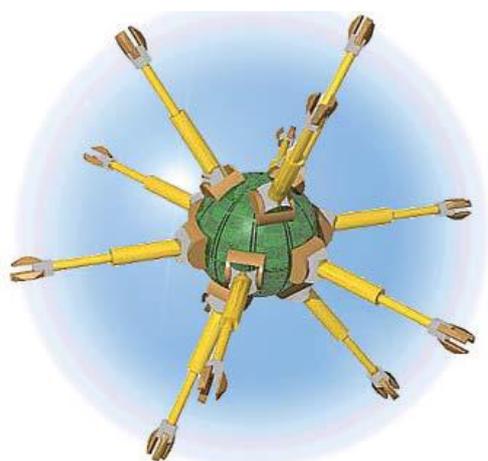


Figure 5.3 Gold platelets. This special hexagonal shape was obtained by the addition of poly vinyl pyrrolidone to the solution used for precipitation [2]. Fig. 1a,b. (a) Electron micrograph of the gold platelets. The size of these hexagonal platelets is around 400 nm; the thickness is in the range from 25 to 60 nm. (b) Electron diffraction pattern of one gold platelet as depicted in Figure 5.3a. The hexagonal symmetry of the diffraction pattern shows that the electron beam was perpendicular to the faces of a platelet; which were (111) planes at the surface. (Reproduced with permission by The American Institute of Physics.)

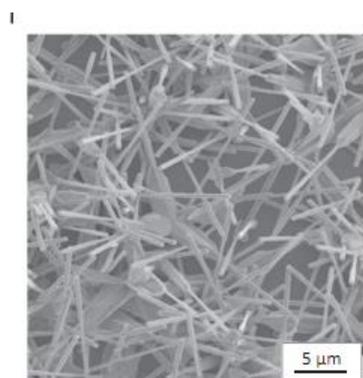


Figure 5.2 Secondary electron micrograph of ZnO nanorods [1]. At one end, most of these nanorods show a bulge, which is typical for a synthesis via a gas-phase route. (Reproduced with permission of Springer.)

6-расм. Ассемблернинг ташқи кўриниши (а) ва наноструктуралар (б) и (в)

Ассемблерлар объектнинг тузилишини молекуляр даражада ёзиб олувчи, уни атомларга ажрата оладиган, **дизассемблерлар** – наномашиналар

¹. Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

билан биргаликда ишлаши мумкин. Масалан, қайсидир бир объектнинг нушасини яшаш учун, дизассемблер уни атомма-атом парчалаб атом турлари, уларнинг жойлашиши каби барча маълумотларни ассемблерга узатади, у эса кейинчалик объект нушасини хоҳлаганингизча марта ясаб бериши мумкин. Назарияда бундай нуша ҳақиқийсига ҳар томондан ўхшайди ва уни ҳар бир атомигача такрорлай олади. Дизассемблерлар олимларга нарсаларни ва уларнинг атом тузилишини яхшилаб ўрганишга ёрдам берадилар.

Юқорида айтиб ўтилганидек, ассемблерлар *репликация* (кўпайиш) хоссасига эга бўлади. Гап эволютсия ҳақида борганда, унда репликатор – бу ўзида содир бўлиши мумкин бўлган барча ўзгаришлар билан бирга ўз-ўзини нушалай оладиган (ген, мим ёки компьютер вирусига ўхшаш) объектдир. Ассемблер компьютер буйруғига биноан ёки уни ўраб турган муҳитга боғлиқ равишда ўз нушасини тузиш (яшаш) йўли билан кўпаяди (репликацияланади).

Шундай қилиб, ўзининг нушасини ясай оладиган бир дона универсал ассемблер ясаб олиб, биз бир неча соатдан сўнг, хаётимизни тубдан ўзгартириб юборадиган, шунақа майда ассемблерларнинг бутун кўшинига эга бўламиз. Ассемблерларнинг энг катта муаммоси, уларнинг дастлабки конструкциясини ясаб олишдир. Шунга қарамай, дунёдаги барча давлатлардаги лабораториялар буни амалга оширишда биринчилар қаторида бўлишга ҳаракат қилмоқдалар.

Ҳозирги кунда Форесигхт Институте – нанотехнологиялар яратиш илғорларидан бири – молекуляр даражада оператсиялар бажара оладиган нано-манипулятор – “қўл” ва томонлари 50 нанометр бўлган кубчага жойлашадиган 8 битли сумматорни яратишда ҳаракат қилмоқда.

Оптимистларнинг фикрича, амалий нанотехнологияларнинг гуллаш даври асримизнинг И чорагидир. Пессимистлар буни асрнинг ўрталарига бориб юз беради деб ҳисоблашмоқда. Ҳозир келажакда қайси мутахассисликни танлашни режалаштираётганлар нанороботларни дастурлаштирувчи ёки молекуляр компьютерлар конструктори бўлиши ҳақида ўйлаб кўришса яхши бўлса керак. Чунки бир неча йиллардан сўнг бундай мутахассислар машҳур бўлиб кетадилар.

4. Нанозификанинг нанообъектлар ва наноматериаллар яратишдаги роли ва устуворлиги

Нанотехнологияларнинг бобоси деб грек файласуфи Демокритни ҳисоблаш мумкин. У 2400 йил олдин модданинг энг майда заррачасини

таърифлаш учун биринчи бўлиб “атом” сўзидан фойдаланган.

Швейсариялик физик Алберт эйнштейн эса 1905 йилда нашр қилинган ишида қанд (шакар) молекуласининг ўлчами тахминан 1 нанометрга тенг эканлигини исботлаб берган.

1931 йилда немис физиклари Макс Кнолл ва эрнст Рускалар биринчи марта нанообъектларни ўрганиш мумкин бўлган электрон микроскоп яратдилар.

1959 йилда америкалик физик Ричард Фейнман миниатюралаш келажагини баҳолай олган ишларини эълон қилди. Нанотехнологияларнинг асосий ҳолатлари, унинг Калифорния Технологик Институтида ўқилган (У ерда – пастда жойлар кўп) (“Тхере`с Плентй оф роом ат тхе Боттом”) деб номланган машхур маърузасида белгилаб берилганди. Фейнман физиканинг асосий қонунлари нуқтаи назаридан нарсаларни тўғридан-тўғри атомлардан ҳосил қилиш мумкинлигини илмий томондан тасдиқлаб берди.

Ўша вақтда унинг бу сўзлари фақат бир сабаб билан фантастикага ўхшаб кетар эди: айрим атомлар билан оператсиялар ўтказиш мумкин бўлган технологиялар (яъни атомни аниқлаб олиш, уни олиб бошқа жойга қўйиш) хали йўқ эди. Бу соҳага қизиқишни кучайтириш учун Фейнман, ким биринчи бўлиб китобнинг бир бетини игна учига ёзиб берса у 1000 доллар беришни ваъда қилди. Бу нарса 1964 йилдаёқ амалга оширилди.

1968 йилда Американинг Белл компаниясининг илмий бўлими ходимлари Алфред Чо ва Жон Артурлар сиртни нано-қайта ишлашнинг назарий асосларини ишлаб чиқишди.

1974 йилда япониялик физик Норио Танигучи илмий атамалар қаторига “нанотехника” сўзини киритди, у бу сўз билан ўлчамлари 1 микрондан кичик бўлган механизмларни (ускуналарни) аташни таклиф этди.

1981 йилда германиялик физиклар Герд Бинниг ва Генрих Рорерлар сканерловчи туннел микроскопини яратишди, бу ускуна материалга атомар даражада таъсир кўрсата олади. Улар 4 йилдан сўнг Нобел мукофотини олдилар.

1985 йилда Америка физиклари Роберт Керл, Херолд Крото ва Ричард Смоллилар диаметри 1 нанометрга тенг бўлган буюмларни аниқ ўлчай оладиган технологияни яратдилар.

1986 йилда туннел микроскопидан фарқли равишда барча материаллар билан ўзаро ишлай оладиган атомий- куч микроскоп яратилди.

1986 йилда нанотехнологиядан кенг омма ҳам хабар топди.

Америкалик футуролог эрик Дрекслер нанотехнологиялар яқин вақтлар ичида тез ривожланиб кетишини башорат этган китобини нашр қилди.

1989 йилда ИБМ компанияси ходими Доналд эйглер ўз фирмасининг номини ксенон атомлари билан ёзиб берди.

1998 йилда голландиялик физик Сеез Деккер нанотранзисторни яратди.

2000 йилда АҚШ ҳукумати “Миллий нанотехнологик ташаббус”ини эълон қилди (Национал Нанотехнологий Инициативе). Ўша вақтда АҚШ федерал бюджетидан 500 млн. доллар ажаратилди. 2002 йилда бу маблағ 604 млн. долларгача оширилди. 2003 йилга 710 млн. доллар сўралди, 2004 йилда АҚШ ҳукумати бу соҳадаги олиб борилаётган изланишларга 4 йилга мўлжалланган 3,7 млрд. доллар ажратди. Умумий равишда бутун дунёда бу соҳани ўрганишга киритилган маблағ 12 млрд. долларни ташкил этди!

2004 йилда АҚШ ҳукумати энди “Миллий нанотиббийёт” ташаббусини “Миллий Нанотехнологик ташаббуси”нинг бир қисми ҳисоблаб қўллаб қувватлади.

Нанотехнологияларни бундай тез ривожланиши омманинг катта миқдордаги ахборотни қамраб олишга бўлган эҳтиёжидан келиб чиққан.

Замонавий кремний чиплар (интеграл схемалар) турли техник заруратлар натижасида яна тахминан 2012 йилгача кичиклашиб бораверади. Аммо йўлакчасининг эни 40-50 нанометр бўлганда квант механик бузилишлар ошиб боради: электронлар туннел эффекти ҳисобига транзисторлардаги ўтиш йўлакларини тешиб ўта бошлайди. Бу эса қисқа туташув дегани. Буни енгиб ўтиш учун кремний ўрнига ўлчамлари бир неча нанометр бўлган углерод бирикмали наночиплар қўл келиши мумкин эди. Ҳозирги вақтда бу йўналишда катта изланишлар олиб борилмоқда.

Нанотехнология ускуналари. Материалларга макро-, микро ёки нанодаражада ишлов бера оладиган барча технологиялар мос катталикларни ўлчай оладиган воситаларсиз ишлай олмайдилар. Турли хил ўлчаш ускуналари ичида катта ва кичик масофаларни ўлчай оладиган махсус ускуналар мавжуд.

10^{-3} м (миллиметр) тартибигача бўлган кичик масофалар оддий чизғич ёрдамида ўлчанади. У билан масалан қалин картон қоғоз қалинлигини ўлчаш мумкин. Қоғознинг варағи қалинлиги ҳам ундай варақ кўп бўлса ўлчаш қийин бўлмайди ¹ Юз варақни бир тўп қилиб, чизғич билан ўлчаб, чиққан

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

катталикини 100 га бўлинг. Бу билан биз ҳар бир варақ қалинлиги бир хил деб ҳисоблаб, унинг бир варағи қалинлигини ўлчаган бўламиз.

Аммо, улардан ҳам майда ўлчамларга чизғич ярамайди. Чизғич билан сочининг бир туки қалинлигини ўлчашга ҳаракат қилиб кўрсак, фақат бир нарсани яъни у жуда ингичка ва ўлчови йўқ экан деган хулосага келамиз. Шунинг учун ҳам шундай ва бундан ҳам кичик бўлган ўлчамларни ўлчаш учун катталаштирувчи ускуналар лозим бўлади, бундай ускуналардан бизга маълум бўлгани оптик микроскопдир.

Оптик микроскоп бизга буюмнинг 0,25 мкм гача бўлган майда қисмларини кўриш имконини беради. Оптик тарзда ишловчи микроскопларни яхшилаш, такомиллаштириш йўлидан бориб ўлчамлари нанометр тартибдаги буюмларни кўрсата оладиган электрон микроскоплар яратилди. Электрон микроскоп атомлар панжараларини ажратиб, кўриб олиш имконини беради, аммо ундаги нуқсонларни аниқлаб бера олмайди. Шундай қилиб XX - асрнинг бошида, материалнинг сиртини кўра олиш даражада катталаштирмасдан тегиб туриш йўли билан ўрганиш ҳақида антиқа фикр келди. Бунда бизга ўша вақтга келиб туннел эффекти ёрдамга келди, унинг асосида 1981 йили биринчи аниқловчи туннел микроскопи (СТМ) яратилди.

СТМ ва туннел эффектини ўрганиш билан кейинроқ, мукамалроқ шуғулланамиз, ҳозир эса уни умумлаштириб кўриб чиқамиз.

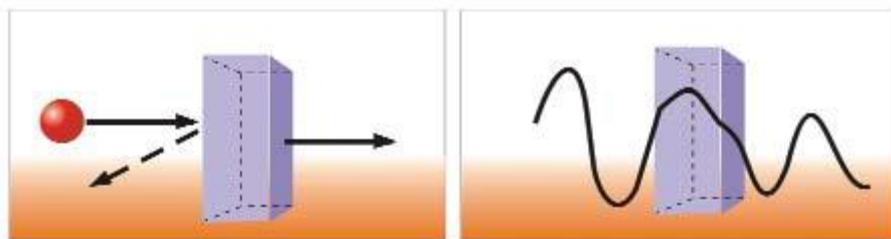
Туннел эффекти – классик физикада унга ўхшаши бўлмаган янги квант механик эффектдир, шунинг учун ҳам изланувчиларда қизиқиш уйғотди. У элементар заррача табиатига хос бўлган корпускуляр-тўлқин дуализмига асосланган.

Классик механика нуқтаи назаридан маълумки, $E < V_0$ энергияга эга бўлган ҳеч қандай моддий жисм V_0 баландликдаги потенциал тўсиқдан ўта олмайди. Масалан, коптокни моддий жисм деб ҳисобласак, потенциал тўсиқ – бу жуда баланд девор бўлса, коптокни девор томонга етарли даражада баланд ташланмаса, унинг энергияси олдинда турган девордан ошиб ўтиб кетишига етмайди ва у тўсиққа урилиб орқага қайтиб тушади.

Аммо моддий жисм сифатида электрон кўрилса, унда потенциал тўсиқнинг баландлиги, электроннинг ҳусусий энергиясидан юқори бўлса ҳам аниқ эҳтимоллик билан худди “деворда” бирор бир “тешик” ёки “туннел” бор бўлганидек, электрон ўз энергиясини бироз ўзгартирган ҳолда, тўсиқнинг бошқа томонида бўлиб қолиши мумкин.

Бу бир қарашда тушунтириб бўлмайдиган туннелланиш эффекти

электроннинг ҳам корпускуляр, ҳам тўлқинсимон хоссали эканлигидандир. Электрон E энергияга эга бўлган классик зарра бўлганда, у ўз йўлида енгиб (ошиб) ўтиш учун катта энергияни талаб қиладиган тўсиқни учратиб бу тўсиқдан қайтиб кетиши лозим бўлар эди. Аммо у бир вақтнинг ўзида тўлқин ҳам бўлгани учун, у бу тўсиқдан худди рентген тўлқинлари моддий буюмлар ичидан осонгина ўтганидек ўтиб кета олади.



7-расм. Туннел эффекти

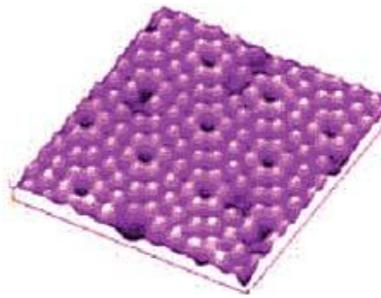
Шундай қилиб, ҳар қандай ўтказгич ёки яримўтказгич сиртида доимий равишда унинг чегараларидан термоэлектрон эмиссия натижасида эмас, балки туннел эффекти эвазига “чиқиб” кетган эркин электронларнинг маълум миқдорини кузатиш мумкин.

Агар иккита ўтказувчи материал олиб уларни бир-биридан 0,5 нм масофада жойлаштириб, уларни потенциалларнинг нисбатан кичик фарқи (0,1-1 В) билан қўшиб қўйсак, унда улар ўртасида туннел эффекти натижасида пайдо бўлган ва туннел токи деб аталадиган электр токи пайдо бўлади.

Худди шу тажрибани энди бизни қизиқтираётган жисм сиртига ўткир предметни, масалан, учи атом қалинлигидаги игнани яқинлаштирсак ва уни ўрганаётган буюмдан ўтказиб буюмнинг атом даражадаги тузилиши ҳақидаги маълумотларни олсак бўлади.

1981 йилда ИБМ компанияси ходимлари Г.Бининг ва Г.Рорерлар бу ходиса асосида биринчи **сканерловчи туннел микроскоп**(СТМ)ни яратишди ва 1982 йилда унинг ёрдамида тарихда биринчи бўлиб атомар ажратиш билан аввал олтиннинг, сўнгра кремнийнинг сирти тасвирини олишди.

Бу ихтиролари учун олимлар 1985 йили Нобел мукофотиغا лойиқ деб топилган. Тақдир тақозоси билан СТМнинг улкан имкониятларини дарров тушуниб етмаган баъзи бир наширётлар Бининг ва Рорерларнинг мақоласини, ихтироларига берилган таърифни унча қизиқиш уйғотмайди деган баҳона билан нашр этиш учун қабул қилмаганлар.

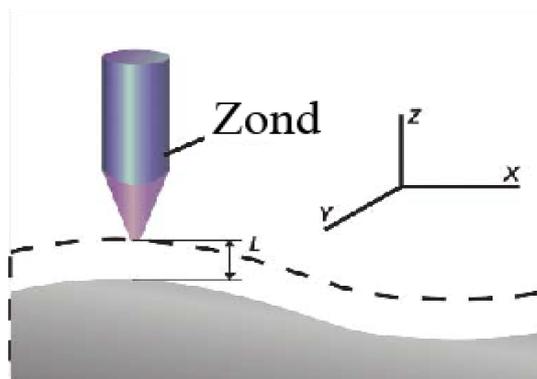


8-расм. СТМда монокристалл кремнийнинг устки кўриниши

СТМнинг ишчи органи – зонд – бу ток ўтказувчи метал игнадир. Ўрганилаётган сиртга зонд жуда яқин масофага ($\sim 0,5$ нм) яқинлаштирилади ва унга доимий кучланиш берилганда ўртасида туннел токи ҳосил бўлади, у эса экспоненциал равишда зонд билан намуна орасидаги масофага боғлиқ бўлади: орадаги масофа фақатгина $0,1$ нм қадар катталаштирилса туннел токи деярли 10 мартага пасайиб кетади. Худди шу ходиса микроскопнинг юқори даражада ажратиш қобилиятини таъминлайди.

Кузатиш тизими ёрдамида ток ва масофани доимий бирдай ушлаб туриб, зондни X ва Y ўқлари бўйлаб ҳаракатлантириб, рельефга мос равишда гоҳ кўтарилиб, гоҳ пасайиб СТМ сиртни ўргана бошлайди.

Бу ҳаракат ҳақидаги ахборотни компьютер кузатади ва текширилувчи буюм тасвири экранда зарурий аниқликда кўриш учун дастурланади. Намуналарни текшириш тартибига асосланган СТМ конструкциясининг 2 та варианты мавжуд.



9-расм. СТМнинг ишлаш схемаси

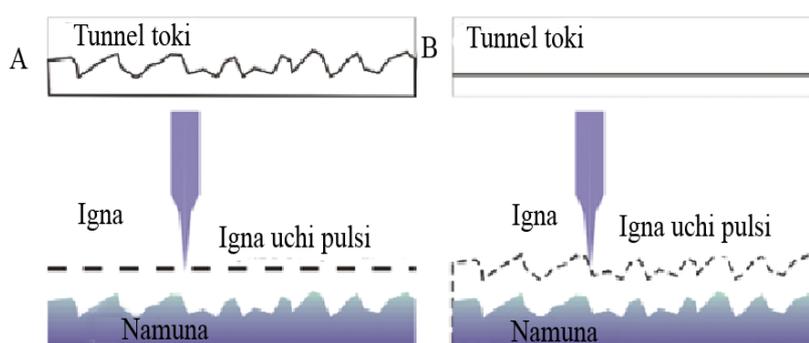
Игна учи доимий баландлик тартибида намуна устида горизонтал текислик бўйлаб ҳаракатланади, туннел ток эса ўзгаради (1.10а расм). Сиртнинг барча нуктасида ўлчанган туннел ток катталиги ҳақидаги маълумотлардан келиб чиқиб намуна қиёфаси кўриниши қурилади.

СТМнинг *доимий ток тартибида* тескари боғланиш тизими ишга туширилади. Бунда доимий туннел токни текширувчи ускуна баландлигини сиртнинг ҳар бир нуқтасига мослаштириш йўли билан қўйилиб турилади (10, б расм).

Иккала тартибда ҳам ютуқ ва камчиликлар бор. Доимий баландлик тартиби тезроқ, чунки бу тизим текширувчи мосламани юқорига-пастга жилдирмайди, аммо бунда фойдали маълумотни нисбатан силлик намуналардангина олиш мумкин. Доимий ток тартибида эса юқори аниқлик билан мураккаб сиртларни ўрганиш мумкин, аммо вақт кўп кетади.

СТМнинг энг зарур қисми бу механик манипулятордир, у зондни нанометрнинг мингдан бир бўлаклари аниқлигида сирт устида ҳаракатланишини таъминлаши лозим. Одатда механик манипуляторни пезокерамик материалдан тайёрланади.

Бундай материалнинг қизик хусусияти унинг *пезоеффе́ктивдир*. Унинг маъноси қуйидагидан иборат: пезоматериалдан тўғри бурчакли тўсин кесиб олиб, қарама-қарши томонларига металл электродлар суркалса ва уларга потенциаллар фарқи қўйилса, унда ток таъсири остида тўсиннинг геометрик ўлчамлари ўзгариши юз беради. Ва унинг тескараси: тўсинда кичкинагина бўлсада деформатсия юз беради, унинг қарама-қарши томонларида потенциаллар фарқи ҳосил бўлади. Шундай қилиб, токдаги кичик ўзгаришларни бошқара туриб, зонднинг жуда кичик масофаларга силжишига эришиш мумкин. Бунда тадқиқот микроскопи ишлаши керак.



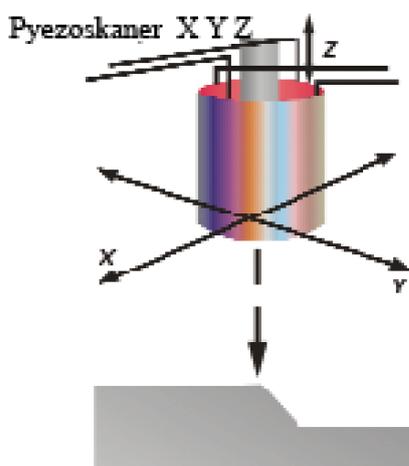
10-расм. СТМнинг ишлаш тартиби (режими)

Амалий қурилмаларда одатда бир нечта ажратилган электродли юпқа деворли найча кўринишдаги пезокерамик манипуляторлардан фойдаланилади. Бошқарувчи кучланиш бундай манипуляторларнинг

чўзилишини ёки эгилишини келтириб чиқаради ва шу билан бирга зонднинг барча уч фазовий координаталар X , Y ва Z ўқлари бўйича ҳаракатини таъминлайди.

Замонавий манипуляторлар қурилмаси зонднинг текисликда 100-200 мкм га, баландлик бўйича эса 5-12 мкм га ҳаракатланиш диапазонини таъминлайди.

Туннел микроскопининг кашф этилиши сиртларни атом даражасида ўрганишга имкон берди. Аммо бу асбоб бир қатор чекланишларга ҳам эга. Туннел эффектига асосланганлиги учун у фақат электр токини яхши ўтказадиган материалларни ўрганишдагина қўлланиши мумкин.



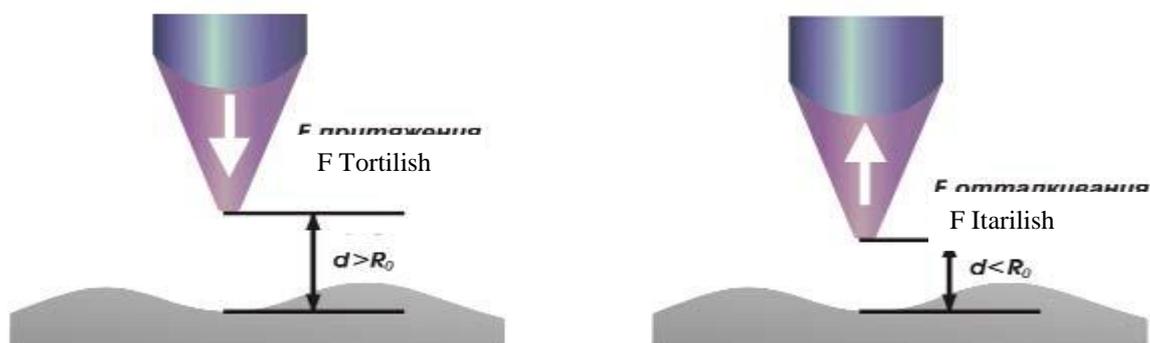
11-расм. Пьезоманипуляторнинг схемаси

Аммо, ривожланиш, ўсиш бир жойда туриб қолмайди ва 1986 йили ИБМнинг Сюрих бўлими лабораториясида кейинги авлод микроскоплари – **атомий - куч микроскоплар**(АКМ) яратилди. АКМ ҳам сиртларни атом аниқлигида ўрганишга имкон беради, аммо энди электр ўтказувчилар бўлиши шарт эмас. Ҳозирги кунда айнан шундай микроскоп тадқиқотчилар қизиқишни уйғотмоқда³.

Атомий - куч ва туннел микроскопларнинг ҳаракат қонуниятлари амалда бир хил, фақат туннел микроскопиникидан фарқли равишда АКМнинг ишлаши атомлараро боғланишлар кучидан фойдаланишга асосланган. Кичик масофаларда (0,1 нм га яқин) икки жисм атомлари ўртасида итаришиш кучлари (12а расм), катта масофаларда эса тортишиш

³. Mustafa Akay. *Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.*

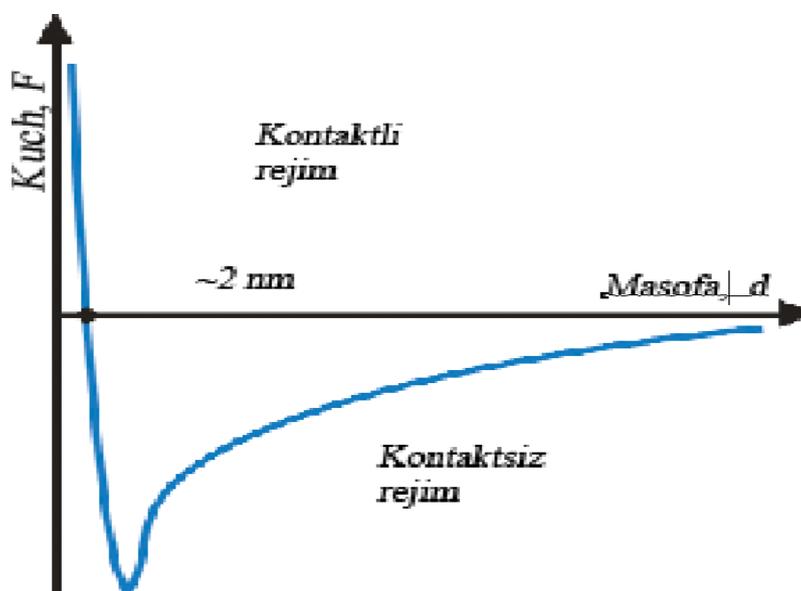
кучлари ҳаракатга келади (12б расм).



12-расм. АКМнинг ишлаш принципи

Тадқиқотлар учун яратилган атомий- куч микроскопда бундай икки жисм ўрганилаётган сирт ва унинг устида сирпанаётган игна учи бўлади. АКМда зонд сифатида олмос игнадан фойдаланилади. Сирт ва игна учи ўртасидаги F кучи ўзгарганда унга бириктирилган пружина оғади ва у датчик томонидан қайд қилинади. Эластик элементнинг (пружинка) оғиш катталиги сиртнинг релефи ҳақидаги маълумотга эга бўлади.

13-расмда атомлараро кучнинг игна учи ва намуна ўртасидаги масофага боғлиқлиги эгри чизиғи кўрсатилган.



13-расм. Намуна ва зонд учидаги атом ўртасидаги таъсир кучини улар орасидаги масофага боғлиқлиги

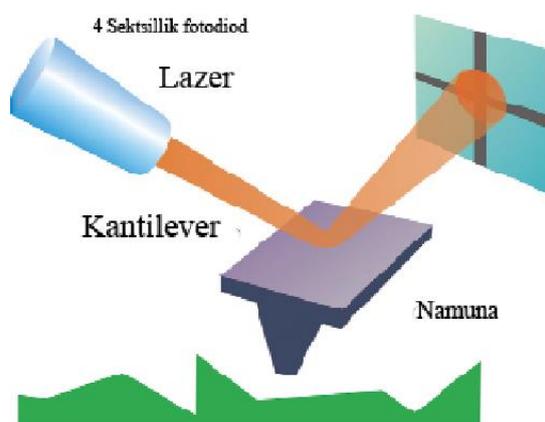
Игна сиртга яқинлашгани сари унинг атомларининг намуна атомларига тортилиши кучайиб бораверади. Игна ва сиртнинг тортишиш кучи то уларнинг электрон “булутлари” электростатик равишда бир-биридан

итаришиш ҳолатига келгунча давом этаверади, яна ҳам яқинлашишганда электростатик итариш кучи экспоненциал тарзда тортишиш кучини камайтиради. Бу кучлар атомлар орасидаги масофа 0,2 нм га яқин бўлганда мувозанатлашади.

АКМда ҳам СТМга ўхшаб сиртни текшириш икки усулда амалга ошиши мумкин: *кантилевер* (зонд) *орқали текшириш ва таглик билан текшириш*. Биринчи ҳолда текширилаётган сирт бўйлаб кантилевер ҳаракатланади, иккинчисида эса ҳаракатсиз намунага нисбатан тагликнинг ўзи ҳаракатланади.

Зонд ва сиртнинг ўзаро таъсирлашиш кучларини қайд этиш учун одатда зонд учидан қайтган лазер нурининг оғишини қайд этишга асосланган услубдан фойдаланилади. Нур махсус алюминийли кўзгусимон қоплам билан қопланган кантилевернинг учи томон йўналади, шундан сўнг махсус тўрт сексиялик фотодиодга ўтади.

Шундай қилиб, кантилевернинг озгина оғиши ҳам лазер нурини фотодиод сексияларига нисбатан силжишига олиб келади, бу эса ўз навбатида кантилевернинг у ёки бу томонга силжишини кўрсатувчи фотодиод сигналини ўзгартиради. Бундай система нурнинг 0,1 бурчак остида оғишини ўлчаш имконини беради.



14-расм. Лазер нурининг бошланғич ҳолатдан оғишини қайд қилиниши

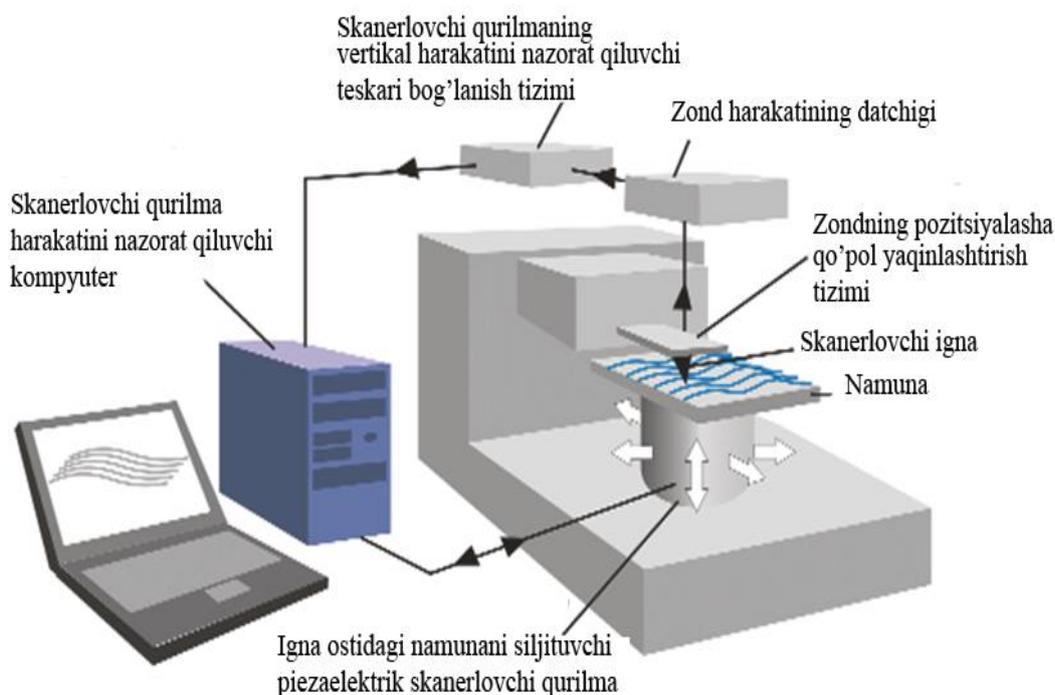
АКМнинг электр намуналар ўтказувчан бўлишини талаб қилмагани учун у ДНК ва бошқа юмшоқ материалларнинг молекуляр ўтказгичли ва изоляторлик ҳоссаларини текширишга имкон яратади.

Зондли микроскопиянинг ривожланиши таърифланган қонуниятлар

амалда зонд учининг сирт билан ўзаро таъсирлашишининг ҳар қандай турида ҳам қўлланилиши мумкинлигини кўрсатиб берди. Бу эса умумий номи текширувчи зонд микроскоплари (ТЗМ) деб аталувчи микроскопларнинг кичик-кичик намуналарини ҳам яратилишига олиб келди². Бугунги кунда уларнинг қуйидаги турлари маълум:

- туннел зондлар;
- атомий- куч зондлар;
- яқин майдон оптик зондлар;
- магнитик-куч зондлар;
- электростатик куч зондлар ва бошқалар.

ТЗМнинг бошқа баъзи турлари билан кейинги боблардан бирида тўлиқроқ танишамиз, ҳозирча уларнинг умумий чизмаси билан танишамиз.



15-расм. ТЗМ ишлашининг умумий таърифи

Ҳар бир текширувчи зонд микроскопининг махсус хоссалари бор. Аммо, уларнинг умумий чизмаси у ёки бу даражада юқорида айтилган қонуниятларга яқинлигича қолган. ТЗМ таркибига микроскопнинг электромеханик қисмининг ишлашини бошқарадиган зонд, қайд этган маълумотларни қабул қиладиган ва ёзиб оладиган, ҳамда улар асосида тасвир

² Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGаA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

қўринишини тузадиган қисмлар киради. Бундан ташқари, махсус дастур изланувчига олинган тасвир билан хоҳлаган тарзда ишлаш учун (масштаблаштириш, айлантириш, кесимлар қуриш) сиртнинг қўриниб турган расмини таҳлил қилиб чиқиш учун имкон яратади.

Текширувчи зонд микроскопиясида қабул қилинган терминология инглиз тилидан келиб чиққанлигини кўрсатувчи изларни қолдирган. Масалан, кўпинча текширувчи игнанинг учини “тип” (тип), консол – «кантилевер» (сантислевер) деб аталади.

Бугунги кунда ТЗМ нанотехнологияларнинг асосий қуролидир. Такомиллаштиришлар натижасида улар ўрганилаётган намуналарнинг нафақат топологиясини (геометрик хусусиятларини), балки кўплаб бошқа характеристикаларини: магнитик ва электрик хоссаларини, қаттиқлигини, таркибнинг бир жинслилигини ва бошқаларни, нанометр ўлчамликлари даражасида аниқлик билан ўрганиш имконини беради.

Турли параметрларни аниқлашдан ташқари замонавий ТЗМлар нанообъектларни *манипулятсиялаш*, айрим атомларни тутиш ва уларни янги вазиятга кўчиришни таъминлайди, эни бир атомга тенг бўлган ўтказувчиларни атомар тарзда йиғиш имконини беради.

СТМ игнаси ёрдамида атомлар ўринларини алмаштиришнинг 2 та асосий усули бор: *горизонтал* ва *вертикал*. Ўринларни вертикал алмаштиришда керакли атом тутилгандан сўнг зондни бир неча ангстремга кўтариб туриб атомни сиртдан узиб олинади. Атомнинг сиртдан узилишини токнинг сакраши назорат қилиб туради. Бу ҳолда атомни узиб олиб бошқа жойга кўчириб қўйиш кўп меҳнат талаб қилади. Лекин, атомни горизонтал кўчириш сиртнинг ғадир-будирликлардан олиб ўтишдан кўра афзалроқ. Белгиланган жойга олиб борилган атом нина учини сиртга яқинлаштириб, кучланиш қайта улаш билан озод этилади ва жойига туширилади.

Ҳозирги кунда дунёда кўп турдаги ТЗМ ва унинг қисмлари ишлаб чиқарилмоқда. Уларни ишлаб чиқарган фирмаларнинг номлари: Дигитал Инструментс, Парк Ссиентифис Инструментс, Омисрон, Топометрих, Бурлеигх ва бошқалардир.

Назоарт саволлари

1. Нано – қўшимчаси қандай маънони англатади?
2. Балк – технология нима?
3. Нанотехнология таърифини айтинг.

4. Ассемблер нима?
5. Оксил синтезланиш жараёнини тушунтиринг.
6. И-РНК ва т-РНКлар нима вазифани бажаради?
7. Биринчи нанотранзистор қачон яратилган?
8. СТМ нима ва у қандай ишлайди?
9. АКМ ишлашини тушунтиринг.
10. Ўз – ўзини йиғиш деганда нимани тушунаси?
11. Фуллерен қачон кашф этилган?
12. Нанонайча қандай тузилган?
13. Нанонайча қўлланилишига мисоллар келтиринг.
14. Нанотехнологиялар қандай хатарлар келтириб чиқариши мумкин?
15. Ривожланган давлатларда нанотехнологияларга қандай эътибор берилмоқда?

Фойдаланилган адабиётлар

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.
3. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
4. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.
5. www.mitht.ru/e-library
6. www.crisp-prometey.ru
7. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech. Uni. Berlin
8. www.nanonewsnet.ru
9. www.nanobot.ru

5-мавзу: Наноструктуралар, нанотизимлар ва нанокомпозитлар шаклланиши, ноёб физик хоссалари ва амалий истиқболлари

Режа

1. Нанофизика ва нанотехнологиялар узвийлиги ҳамда устувор илмий-тадқиқот соҳалари ва йўналишлари.
2. Нанодисперс тизимлар, наномеханика, наноэлектроника, нанометалл ва яримўтказгичли наножиҳозлар ва наноматериаллар.
3. Оптик наносенсорлар, наноқатламли қуёш элементлари
4. Нанопленкалар, нанотолалар, наносорбентлар, нанотрубкалар, наногеллар, нанокомплекслар, нанокомпозитлар ва уларнинг амалий қўлланиши

Таянч иборалар: *Нанофизика, нанотехнология, нанодиспер тизимлар, наномезаника, наноэлектроника, наножиҳозлар, наносенсорлар, наноқатламли материаллар, нанотолалар, наносорбентлар,*

1. Нанофизика ва нанотехнологиялар узвийлиги ҳамда устувор илмий-тадқиқот соҳалари ва йўналишлари

Материаллар сифати юқори бўлиши учун улар атомлар ва молекулалар даражасида мукамал бўлишлари лозим. Бундай тузилмаларни тузишнинг нанотехнологик усулларида бири – бу ўзи-ўзини йиғишдир.

Ўз-ўзини йиғиш тирик табиатда кенг тарқалган. Барча тўқималарнинг тузилиши уларнинг хужайралардан ўз-ўзини йиғиши билан таърифланади, хужайраларнинг ўз тузилиши эса айрим молекулаларнинг ўз-ўзини йиғиши билан кафолатланади¹.

Табиатдаги наносистемаларнинг ўз-ўзини йиғиш механизмлари изланувчиларни унинг қонуниятларидан сунъий наноструктураларни қуриш учун “нуша қўчириб” олишга ундади. Ҳозирги вақтда табиий суяк тўқимасини такрорловчи наноматериаллар тайёрлашда сезиларли муваффақиятларга эришилди. Бунинг учун коллогеннинг табиий толасини такрорловчи, диаметри 8 нм га яқин бўлган толанинг ўз-ўзини йиғишидан фойдаланилади. Олинган материалга табиий суяк хужайралари яхши

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

ўрнашади, бу уни суяк тўқимаси учун “елим” ёки “шпатлёвка” сифатида ишлатиш имконини беради [2].

Электростатик ўз-ўзини йиғиш ҳам hozirги пайтда кучли ривожланган. У материал тузилишини одатий шароитларда ўзгартириш имкониятини беради. Бунинг учун ичида нанозаррачалар бўлган материалга қўйилган потенциаллар фарқини бошқариш асос бўлиб хизмат қилади [4].

Табиатдаги наноэффektлар: заройиб панжалар. “Унинг узунлиги 8 дан 30 см гача. Боши анча кенг ва кучли яссилашган, кўзлари қовоқсиз тирқишсимон қорачиқли, бўйни калта, танаси анча йўғон, синувчан. Танаси майда бўртмасимон ва донатор тангачалар билан қопланган. Эски ва Янги оламнинг иссиқ мамлакатларида яшамайди.” .

Бу ерда гап геккон – чиройли, хавфсиз бўлган, ўзининг ҳар қандай жойда ҳар қанақасига юра олиш хусусияти билан олимларнинг диққатини тортган калтакесак ҳақида бормоқда. Гекконлар нафақат тик қияликларга, деворларга чиқа оладилар, балки шифт ва дераза ойналарида ҳам бемалол юра оладилар.

Олимлар узоқ вақтлар мобайнида геккон қандай қилиб жуда силлиқ ва вертикал ойна бўйлаб, йиқилмасдан ва сирпанмай юришини, ҳаракатлана олишини тушуна олмас эдилар. Бундай табиий мавжудотни тушуниш учун кўплаб уринишлар бўлди.

Аввалига, гап ҳайвон панжаларидаги ноёб сўрғичларда деб тахмин қилинган. Аммо, аниқланишича, геккон панжаларида ҳеч қандай сўрғичга ўхшаган нарсалар йўқ экан. Геккон ойна бўйлаб шиллиққуртга ўхшаб ҳар қандай предметда ҳам ушланиб туришига ёрдам берадиган ёпишқоқ суюқлик ёрдамида ҳаракатланади деган тахмин ҳам ўзини оқламади. Бундай суюқликдан ойнада из қолиши керак эди, ундан ташқари геккон панжаларида бундай суюқлик чиқариб бера оладиган ҳеч қандай безлар ҳам топилмади.

Бу ҳолатга топилган жавоб бутун оммани хайратга солди: геккон ҳаракатланаётганда молекуляр физика қонунларидан фойдаланар экан. Олимлар геккон панжасини микроскоп остида диққат билан ўрганиб чиқдилар. Аниқланишича, унинг панжалари жуда ҳам майда тукчалар билан қопланган экан, бу тукчаларнинг диаметри инсон сочининг диаметридан ҳам 10 марта майдароқ экан. Ҳар бир тукчанинг учида сантиметрнинг 200 миллиондан бир бўлагичалик бўлган минглаб жуда майда ёстиқчалар мавжуд экан. Бу ёстиқчалар паст томонидан тўқима барглари билан тўсилган ва анча катталашатирилган, ҳар бир баргча юз минглаб ингичка тукчасимон

қилчалар, юзлаб кўраксимон учларга бўлинган, уларнинг ҳар бирининг диаметри 200 нм ҳолос экан!

Юз миллионлаб бундай тукчалар сиртдаги ҳар қандай майда текис бўлмаган жойларга ёпишиб олиш имконини беради. Кўзимизга ҳар қанча силлик кўринган ойналар ҳам гекконларга унга ёпишиб олиш имконини берар экан. Аниқланишича, бу ерда Ван-дер-Ваалс кучлари, бошқача айтганда молекулалараро таъсир кучлари ишлар экан. Ван-дер-Ваалс назарияси квант механикасига асосланган. Материаллар молекулалари жуда қисқа масофаларда итаришади, каттароқ масофаларда эса тортишади (АКМ ишлаши шу принципга асосланган).

Геккон панжасини сиртга қўйганда, наноқилчалар учидаги кўракчалар унга шундай зич ўтирадики, худди панжалар вертикал деворга ёки шифтга ёпишиб қолгандай бўлади. Геккон бўғинларини кучлантирса ва панжасини тортса – Ван-дер-ваалс кучлари йўқ бўлади ва у сиртдан енгилгина ажралади.

Ван-дер-ваалс кучлари жуда кичик, аммо геккон панжаларидаги тукчаларнинг жойлашиши анча катта таъсир майдонни қамраб олиб калтакесакка шифтда ўзининг беш бармоқли панжасининг фақат бир бармоғи ёки думи учи билан ушланиб туриш имконини беради ⁴.



1 -расм. Геккон панжасининг яқинлаштирилган сурати.

Буларни барчаси олимларни ўзлари яратган ихтиродан фойдаланишга туртки бўлди. Робот компаниясининг ходимлари аквариум деворлари бўйлаб вертикал равишда ҳаракатлана оладиган роботни куришди. Кейинчалик роботни сунъий туклар билан таъминлаш ва ёпиштириб турадиган кучни ошириш режалаштирилган. Иложи бўлса роботга геккон думи уланса, у учли

⁴ William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

тошлар устида ҳам югура олади.

Калтакесаксимон роботларни тайёрлаш учун олиб борилаётган тажрибалар муваффақиятли чикса, буни турли соҳаларда – баланд иморатлар ойнасини ювишдан то узоқ сайёраларнинг тик йўллари бўйлаб сайёҳатга чиқишгача қўлланиши мумкин.

Бу қонуниятни ёпишқоқ лента, скотчга ўхшаш материалларни, тайёрлашда асос қилиб олиш мумкин, ундан қайта-қайта ва хатто вакуумда ҳам фойдаланиш мумкин (одатий скотч фазода ишламайди). “Қурук елим”лар деб аталувчи, ҳарактеристикалари диапозони кенг бўлган, электростатикага асосланган кучли ёпишқоқликни таъминловчи янги материаллар авлодини яратиш устида ишлар олиб борилмоқда.

Инсонни вертикал деворда маҳкам ушлаб турувчи оёқ кийим ва қўлқоплар тайёрлаш мумкин. Улар нафақат алпинистлар ва чўққиларда ишлар олиб борадиган монтажчилар ҳаётини, балки бошқа одамларнинг ҳам ҳаётини енгиллаштирган бўлар эдилар.

2. Нанодисперс тизимлар, наномеханика, наноэлектроника, нанометалл ва яримўтказгичли наножиҳозлар ва наноматериаллар.

Демокрит ўзининг Коинотнинг атомистик қарашида дунё кўплаб “ғиштчалар”дан – ўзига хос ҳусусиятли кимёвий элемент ва унинг бирикмаларидан иборат эканлигига эътибор қаратган. “Оламини ташкиллаган ғиштчалари”нинг ҳусусиятлари бир хил бўлмаганидек, уларнинг тарихи ҳам бир хил эмас. Бир хил элементлар: мис, темир, олтингугурт, карбон кабилар қадимдан маълум. Бошқаларидан, улар ҳали кашф қилинмасидан туриб асрлар давомида топилмасдан туриб ҳам, инсон фойдаланган (масалан, кислород фақат XVIII асрдагина очилган). Учинчилари эса 100-200 йил олдин очилган, аммо ҳозирга келиб биринчи даражали аҳамиятга эга бўлиб қолишди. Уларга уран, алюминий, бор, литий, бериллий ва бошқалар қиради.

Тўртинчиларининг эса биографияси энди бошланмоқда...

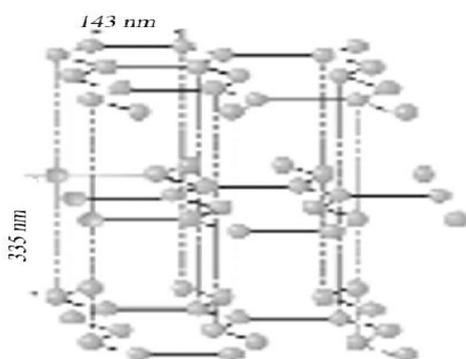
1985 йилда Роберт Керл, Гаролд Крото ва Ричард Смоллилар кутилмаганда тубдан янги углеродли бирикма – *фуллерен*ни очдилар. Фуллеренларнинг ноёб хоссалари уларга жуда катта қизиқишни келтириб чиқарди. 1996 йилда уларга Нобел мукофоти топширилди.

Фуллеренлар ва углеродли нанонайчалар. Фуллерен молекуласи асоси углероддир – бу ноёб кимёвий элемент кўпчилик элементлар билан бирикиб турли таркиб ва қурилишга эга молекулалар ҳосил қилиш

хоссаларига эга. Мактаб кимё курсидан бизга маълумки, углерод 2 та асосий аллотроп ҳолатга эга: графит ва олмос. Фуллерен очилиши билан углерод яна бир аллотроп ҳолатга эга бўлди дейишимиз мумкин. Биз ана шу графит, олмос ва фуллерен молекулалари тузилмаларидир.

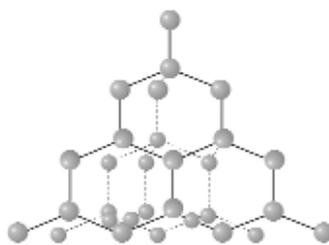
Графит қатламли тузилишига эга. Унинг ҳар бир қатлами тўғри олти бурчакли бир-бирига ковалент боғланган углерод атомларидан иборат.

Қўшни қатламлар кучсиз Ван-дер-ваалс кучлари билан бир-бирига боғланиб туради. Бунга мисол қилиб оддий қаламни кўрсатишимиз мумкин – сиз графитли стерженни қоғоз устида юргизсангиз, қатламлар аста-секин бир биридан ажралади ва қоғозда из қолдиришади.



2-расм. Графитнинг тузилиши

Олмос уч ўлчамли тетраэдрик тузилишига эга. Углероднинг ҳар бир атоми қолган тўрттаси билан ковалент равишда боғланган. Барча атомлар кристал панжарада бир- биридан бир хил масофада (154 нм) жойлашган. Улар ҳар бири бошқалари билан тўғри ковалент боғланган ва кристалда битта йирик макромолекула ҳосил қилади ⁶



3-расм. Олмоснинг тузилиши

С-С ковалент боғланишларнинг юқори энергияси ҳисобига олмос жуда мустаҳкам ва нафақат қимматбаҳо тош, балки метал кесувчи ва силикловчи ускуналар тайёрлаш учун ҳам ҳом-ашё сифатида ишлатилади.

⁶ www.nanometer.ru/

Фуллеренлар ўз номланишини архитектор Бакминстер Фуллер шаънига олишган, у бундай структураларни архитектурада фойдаланиш учун яратган (шунинг учун уларнинг яна бакиболалар деб ҳам аташади). Фуллерен футбол тўпига жуда ўхшовчи, 5-6 бурчак шакли “ямоқлар”дан тузилган *каркас тузилишига* эга. Бу кўпёқлар учида углерод атомлари жойлашган деб тасаввур қилсак, унда биз энг барқарор бўлган C_{60} фуллеренини оламиз.

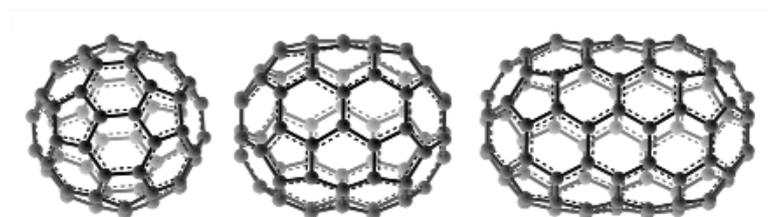
Энг таниқли ҳамда фуллеренлар оиласининг энг симметрик бўлган вакили C_{60} молекуласида олтибурчаклиларнинг сони 20 га тенг. Бунда ҳар бир бешбурчак фақат олтибурчакли билан чегаралашган, ҳар бир олтибурчак олтибурчаклилар билан 3 та умумий томонга ва 3 та бешбурчаклар билан умумий томонга эга.

Фуллерен молекуласи тузилишининг қизиғи шундаки, бундай углерод “тўпи”нинг ичида бўшлиқ ҳосил бўлади, унга капилляр хусусиятлари ҳисобига бошқа материалларнинг атом ва молекулаларини киритиш мумкин, бу эса уларга, масалан, уларни хавфсиз кўчириш имконини беради¹.



4-расм. Фуллереннинг тузилиши

Фуллеренларни ўрганиш давомида унинг таркибида углерод атомлари сони турлича – 36 тадан 540 тагача бўлган молекулалари синтез қилинди ва ўрганилди.

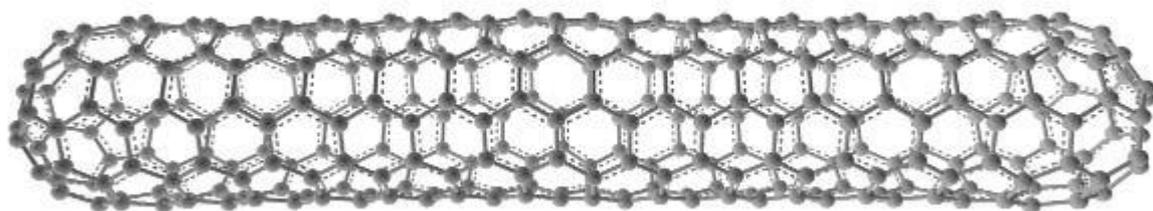


5-расм. Фуллеренлар вакиллари а) C_{60} в) C_{70} с) C_{90}

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322

Аммо углеродли каркас тузилмалар хилма хиллиги бу билан тугамайди. 1991 йилла япониялик профессор Сумио Иидзима узун углеродли цилиндрларни аниқлади ва уларни нанонайчалар деб номлади.

Нанонайча – бу миллиондан ортиқ углерод атомларидан иборат молекула бўлиб у диаметри 1 нанометрга яқин ва узунлиги бир неча ўн микрон бўлган найча кўринишидадир. Найча деворларида углерод атомлари тўғри олтибурчакларнинг учида жойлашган.



б-расм. Нанонайчанинг тузилиши (структураси)

Нанонайчалар тузилишини кўйидагича кўз олдимизга келтириш мумкин: графит текислик оламиз (қоғоз), уни узун қилиб кесамиз ва цилиндрга “ёпиштирамиз” (ҳақиқатда нанонайчалар бошқача ўсади). Бу жуда оддий экан-ку – аммо бунинананонайчалар тажрибалар натижасида яратилгунча ҳеч бир назариячи олдиндан айтиб бера олмаган. Шунинг учун ҳам олимларга уни ўрганиш ва ундан хайратланишдан бошқаси қолмади.

Хайратланишга эса асос бор эди, чунки бу хайратга солган нанонайчалар одам сочи толасидан 100 минг марта ингичка бўлишига қарамадан жуда ҳам мустаҳкам материал бўлиб чиқди. Нанонайчалар пўлатдан 50-100 марта мустаҳкамроқ ва 6 марта кичик зичликка эга. Юнг модули – материалнинг деформатсияга қаршилиқ даражаси – бу нанонайчаларда оддий углерод толаларига нисбатан икки баробар юқори. Найчалар нафақат мустаҳкам, балки ўта қаттиқ мустаҳкам резина найчаларга ўхшайди. Механик кучланишлар таъсирида нанонайчалар ўзини бошқача, антиқа тутадилар: улар “узилмайди”, “синмайди”, оддийгина тарзда жойларини алмаштириб олишади. Нанонайчаларнинг бундай ўзига хос хусусиятларидан сунъий мускуллар яратишда фойдаланиш мумкин, улар бир хил ҳажмда биологик мускуллардан 10 баробар кучлироқ бўлиши мумкин, юқори температура, вакуум ва кўплаб кимёвий реагентлардан кўрқишмайди.

Нанонайчалардан ўта енгил ва ўта мустаҳкам композитсион

материаллар яратиш мумкин, улардан эса ҳаракатни қийинлаштирмайдиган ўт ўчирувчилар ва фазогирлар учун кийимлар тикиш мумкин, Ердан Ойгача бўлган битта найчали нанокабелни кўкнор уруғи ўлчамидаги ғалтакка ўраш мумкин. Нанонайчалардан ташкил топган диаметри 1 ммга унча катта бўлмаган ип, ўзининг массасидан юз миллиардга катта бўлган 20 т юкни кўтара олган бўлар эди.

Тўғри, ҳозир нанонайчаларнинг максимал узунлиги ўн ва юзлаб микрон – атомлар масштабидан жуда катта, шундай бўлса ҳам улар доимий фойдаланиш учун жуда кичиклик қилади. Лекин олинаётган нанонайчаларнинг узунлиги аста-секин ошиб бормоқда – ҳозир олимлар сантиметрли чегарага яқин келишди. 4 мм узунликка эга бўлган кўп қатламли нанонайчалар олинди. Шунинг учун ҳам олимлар яқин келажакда метр в юзлаб метрли узунликдаги нанонайчаларни ўстиришга эришадилар деб умид қилсак бўлади.

Нанонайчалар турли шаклларда бўлади: бир қатламли, кўпқатламли, тўғри ва спиралсимон. Бундан ташқари улар кутилмаган электик, магнетик, оптик хоссаларини намоиш қилишмоқда.

Мақсадга мувофиқ равишда найчалар ичига бошқа материаллар атомларини киритиш йўли билан нанонайчаларнинг электрон хоссаларини ўзгартириш мумкин.

Фуллеренлар ва нанонайчалар ичидаги бўшлиқлар анчадан буён олимлар диққатини тортар эди. Тажрибалардан кўринишча, фуллерен ичига қайсидир материалнинг атоми киритилса, бу унинг электик хоссаларини ўзгартириб юбориши ва хаттоки изоляторни ўта ўтказгичга айлантириб юбориши мумкин экан.

Шундай йўл билан нанонайчалар хоссаларини ҳам ўзгартириш мумкинми? Олимлар нанонайчалар ичига аввало гадолий атомлари киритилган фуллеренлар занжирини жойлашга эришдилар. Бундай ғаройиб структуранинг электик хоссалари оддий, бўшлиқли нанонайчалар ҳамда ичида бўш фуллеренли нанонайчалар хоссаларидан кучли равишда ажралиб туради. Бундай бирикмалар учун махсус кимёвий белгилар ишланган. Юқорида таърифланган структура қуйидагича белгиланади: Улардан (нанонайчалардан) фойдаланиш доираси жуда кенг. Нанонайчалардан, масалан, микроасбоблар учун симлар тайёрлаш мумкин. Уларнинг ғаройиблиги, ток улар бўйлаб умуман иссиқлик ажратмасдан ва жуда юқори кийматга – 10^7 А/см² га етади. Оддий ўтказгич бундай тоқларда дарров

буғланиб кетган бўлар эди.

Нанонайчаларни компьютер индустриясида қўллаш учун бир нечта ишланмалар ҳам ишлаб чиқилган. 2006 йилда нанонайчали матритсаларда ишловчи ясси экранли эмиссион мониторлар пайдо бўлди. Нанонайчаларнинг бир учига ўрнатиладиган кучланиш таъсирида бошқа учи электронлар таратишни бошлайди, улар фосфореценцияланадиган экранга тушади ва пиксель ёруғланишини келтириб чиқаради. Бундай ҳосил бўладиган тасвир нуқтаси жуда ҳам кичик: микронлар тартибида бўлади.

Яна бир мисол – нанонайчадан текширувчи микроскоп игнаси сифатида фойдланилади. Одатда бундай игна жуда ўткирлашган волфрамли игна кўринишида бўлади, аммо атомлар ўлчовида бундай игналар жуда кўпол бўлиб қолаверади. Нанонайча эса диаметри бир неча атомлар тартибидаги энг яхши игна кўринишида бўлади.

Нанонайчаларнинг ғаройиб электрик хоссалари уларни наноелектрониканинг асосий материалларидан бири қилиб қўяди. Улар асосида компьютерлар учун янги элементлар тайёрланди. Бу элементлар ускуналар ўлчамларини кремнийли асбобларга нисбатан бир неча тартибга кичрайишни таъминлайди.

Наноелектроникада нанонайчаларни қўллашнинг яна бир йўналиши – яримўтказгичли гетереотузилмалар, яъни “метал яримўтказгич” типидagi тузилмаларни ҳосил қилишдир.

Енди бундай қурилмаларни тайёрлаш учун иккита материални алоҳида-алоҳида ўстириш ва сўнгра уларни бир бири билан “пайвандлаш” шарт эмас. Нанонайчанинг ўсиш жараёнида унда тузилиш нуқсони (углеродли олтибурчакнинг бирини бешбурчакли билан адмаштириб қўйиш) ҳосил қилиш, яъни уни ўртасидан махсус равишда синдириб қўйиш йўли билан ҳосил қилиш мумкин. Шунда нанонайчанинг бир қисми метал хоссаларига, бошқаси эса яримўтказгич хоссаларига эга бўлади.

Нанонайчалар ички бўшлиқларида газларни хавфсиз равишда сақлаш учун яхши материаллардир. Бу биринчи навбатда водородга тааллуқлидир. Ундан автомобиллар учун ёқилғи сифатида фойдаланиш мумкин эди. Деворлари қалин, оғир ва хавфсиз деб бўлмайдиган баллонлари муаммосини ҳал этилса водороднинг энг катта ютуғи – унинг масса бирлигига (автомобил 500 км ҳаракатланиши учун ҳаммаси бўлиб 3 кг H_2 етарли бўлади) ажратиладиган катта миқдордаги энергия сарф қилишидир.

Сайёрамиздаги нефть захиралари бир кун келиб тугагини ҳисобга

олсак, водород кўплаб муаммоларнинг эффектив равишда ечилишига ёрдам берган бўлар эди. Яқин келажакда автомобилларни бензин билан эмас, балки водородли ёқилғи билан таъминлаш мумкин бўлади.

Нанонайчаларга нафақат атом ва молекулаларни алоҳида “қамаш”, балки материалнинг ўзини бутунлай “қўйиш” мумкин. Тажрибаларда аниқланишича очиқ нанонайча капилляр, яъни материални ўзига тортишиш хусусиятига эга экан. Шундай қилиб нанонайчалардан: оксил, захарли газлар, ёқилғи компонентлари ва эритилган металллар каби кимёвий ва биологик фаол материалларни ташиш ва сақлаш учун микроскопик контейнерлар сифатида фойдаланиш мумкин.

Атом ва молекулалар нанонайча ичига тушгандан сўнг нанонайчалар бир учидан очилади ва ичидаги материалларни катъий белгиланган дозаларда чиқариб беради. Бу ҳаёл эмас, бу турдаги тажрибалар кўплаб лабораторияларда ўтказилмоқда, нанонайчалар учларини “пайвандлаш” ва уни “очиш” оператсиялари замонавий технологиялар учун муаммо туғдирмайди. Бир томони ёпиқ нанонайча ҳозир яратилган.

10-15 йилдан сўнг бу технология асосида касалликларни даволаш ўтказилиши мумкин: айтайлик, бемор қонига олдиндан тайёрлаб қўйилган жуда фаол ферментли нанонайчалар киритилади, бу нанонайчалар организмнинг маълум бир жойида қандайдир микроскопик механизмлар тарзида тўпланишади ва маълум вақтда “очишилади”. Замонавий технология 3-5 йилдан сўнг бундай схемаларни амалга оширишга амалда тайёр. Асосий муаммо бундай механизмларни “очиш” ва нишон ҳужайраларни излаш учун оксил маркерларига интеграциялаш эффектив услубларининг йўқлигидир.

Вируслар ва нанокапсулаларга асосланган дориларни етказишнинг бундан ҳам самаралироқ усулларини ҳам яратиш мумкин. Нанонайчалар асосида айрим атомларни юқори тезликда аниқ тарзда ташиб берувчи конвеерлар ҳам яратилган.

3 Оптик наносенсорлар, наноқатламли қуёш элементлари

Ҳозир юзага келаётган муаммо ва хатарларга саноатда вужудга келган инқилоблар сабаб десак ҳеч ким инкор қилмаса керак. Бекорга кўплаб йирик замонавий олимлар келажакнинг нафақат ижобий, балки салбий томонларини ҳам кўриб чиқишни таклиф қилишаётгани йўқ. Билл Джой, Калифорния штати, Поло Алто, Сун Мисросистемс асосчиси ва етакчи олимнинг айтишича, нанотехнологиялар ва бошқа соҳаларда олиб

борилаётган изланишлар инсониятга зарари етгунга қадар тўхтатилиши лозим. Унинг фикрини яна бир гуруҳ нанотехнологлап "Форесигхт Гуиделинес"- "Инститит бошқарувчилари" кўллаб қувватладилар. Улар ҳам Джой каби нанотехнологияларнинг ортиб бориши ва ривожланиши назоратдан чиқиб бораётганини таъкидламоқдалар. Бу соҳадаги изланишлар оддий таъқиқлаш билан чегараланиб қолмасдан, балки давлат назорати ўрнатилишини таклиф қилдилар. Уларнинг айтишича, бундай ривожланиш кутилмаган фалокатларни келтириб чиқариши мумкин. Нанотехнология хавфи пайдо бўлиши 1986 йили Дрекслер томонидан яратилган "Яратувчи машина" яъни "Кулранг сўлак муаммоси" номини олган қурилмаси билан боғлиқ эди. Кулранг сўлакнинг хавфли томони шунда эдики, у нанометрли ассемблерларни ишдан чиқариб, бошқарув тизимини бузади. Бу технологияда ўз-ўзини бошқариш ва кўпайиш хусусияти мавжуд бўлиб, у йўлида учраган нарсалардан хом ашё сифатида фойдаланади.^{1,3}

Ўтказилган тажриба шуни кўрсатадики, ассемблер ҳар қанча ишончли қилиб яратилмасин, ундаги хатоликлар ва ўз-ўзини бошқаришга интилиш барибир кузатилаверади. Лекин ёддан чиқармаслик керакки, ассемблерда дастурлаш террористлар ёки безорилар, ҳаттоки замонавий компьютер вирусларини ишлаб чиқарувчилар томонидан ҳам яратилиши мумкин.

Джой ўзининг кўлёмаларида, микромашиналарнинг ишлаб чиқарилиши ва улар жамиятда ўз ўрнини топиб улгургани ҳақида тўхталади. "Ҳажми молекуладек бўлган электрон кўринишдаги ассемблерлар ҳозир амалда қўлланилинмоқда"- дейди Джой. Кейинчалик эса у ўз-ўзини тиклаш биологик жиҳатдан эмас, балки технологик жиҳатдан бажарилинаётганини аниқлади. "Мана нима учун нанотехнологиялар хавф туғдирмоқда", - дейди Джой. Бошқа олимлар гуруҳи "кулранг сўлак" механизми хавф туғдирмаслигини таъкидламоқдалар. "Буларнинг барчасига бармоқ остидан қаралмоқда", - дейди Блок. Мухандисларнинг изланишларини чеклаб қўйилса, ривожланишдан ортда қолиб кетиш ва ўз-ўзини тиклаш хусусиятларига эга машиналар яратилмай қолиши мумкин. Биологик тизимга келсак, биринчидан, улар нанометр ҳажмида эмас, иккинчидан, ўз

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.

3. William D. Callister Jr. *Materials Sciences and Engineering. An Introduction.* John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

тузилмасида фантастик равишда мураккаб ҳисобланади, бундан ташқари бу тизимда ахборотлар генда сақланади ва авлоддан авлодга ўтади.

"Ҳаттоки табиат ҳам ўз-ўзини тиклаш хусусиятига эга бўлган нанометрик тузилишига қодир тизимни яратмаган"- дейди Виола Ваген, Сиетл штати Вашингтон Университети нанотехнология мутахасиси. Нанотехнологиялар ютуқларидан ёвуз мақсадларда фойдаланувчи мухитлар ҳам мавжуд. Нанотехнологиялар ривожланишига бағишланган йиғилишда қуйидаги саволлар вужудга келди:

- Ўқитиш тизими нанотехнология бўйича мутахассисларни тайёрлай оладими ?

- Нанотехнологияларнинг ривожланиши натижасида кўплаб инсонлар ишсиз қолиши мумкинми?

- Нанотехнологияларнинг ортиб бориши, нархининг пасайиши ва осон топилиши натижасида террористлар хавfli микроорганизмларни яратишлари мумкинми?

- Нанотехнологияларнинг хаддан зиёд кўпайиши ва тарқалиши бора-бора инсонларда ҳоҳламаслик ҳиссини келтириб чиқармасмикан?

- Нанотехнологияларни инсон танасига ўрнатиш ва оммалаштириш вақти келиб жиддий касалликларни келтириб чиқармасмикан? Шу ва шунга ўхшаган саволлар ҳозир ишлаб чиқарувчиларни ўйлантириб қўймоқда. Ушбу арзон нанотехнологиялар пойгасида олимлар уларнинг барча инсоният саломатлигига таъсири ва пайдо бўлаётган хавфларга жавобгарликни ўз зиммасига олишлари шарт. Юқоридаги сабабларга асосан технологияларнинг янги наноривожланишни янги усул ва услубларда олиб бориш керак бўлади.

4. Нанопленкалар, нанотолалар, наносорбентлар, нанотрубкалар, наногеллар, наноконплекслар, наноконпозитлар ва уларнинг амалий қўлланиши

Нанотехнологиялар билан бошқа соҳаларнинг алоқадорлиги ҳақида сўз борганда келажакда ҳаттоки мактаб дарсликлари ҳам нанотехнологиялар асосида ўқитилишига ҳеч шубҳа йўқ.

Айниқса нанотехнологиялар соҳасининг физика, кимё ва биология соҳалари билан боғлиқлиги келажакда яна ҳам узвий бўлади. Лекин, шуни айтиш керак-ки, ахборот технологиялари соҳасининг ривожланишисиз барча соҳалар учун зарур бўлган ассемблер ва наноэлектроникалар ривожланишини ҳам тасаввур қилиб бўлмайди.

Яримўтказгичлар – ўтказгичлар ва диелектриклар ўртасидаги моддалардир. Уларга жуда кўп кимёвий моддалар (германий, кремний, селен, теллур, ва бошқ.) ва жуда кўп турдаги кимёвий бирикмалар киради. Бизнинг теварак - атрофимизни ўраб турган деярли барча неорганик моддалар яримўтказгичлардир. Табиатда энг кўп тарқалган яримўтказгич кремний бўлиб, у ер қобиғининг 30% ни ташкил қилади [3].

Яримўтказгичларнинг асосий белгиларидан бири шундан иборатки, уларнинг физик хоссалари ташқи тасирга – температуранинг ўзгариши ёки киришмалар киришига кучли боғланган.

Яримўтказгичлар температурасини мақсадли ўзгартириб ёки уни легирлаб (киришма киритиб), унинг физик хоссаларини, жумладан, электрик ўтказувчанлигини бошқариш мумкин.

Бундан 180 йил илгари одамларга турли ўтказгичлар электр токини турлича ўтказиши маълум эди. 1821 йилда инглиз кимёғари Ҳемфри Деви температура ортиши билан металнинг электрик ўтказгичлиги камайишини аниқлаган. Унинг шогирди Майкл Фарадей 1833 йилда тажрибаларни давом эттириб, олтингургут ва кумуш бирикмаси электрик ўтказувчанлиги температура ортиши билан пасайишини эмас, аксинча кўтарилишини кузатган. Сўнгра, у ўтказувчанлиги температурага ғайриоддий боғланган яна бир неча моддаларни кашф қилди. Лекин, ўша пайтларда бу дунё илм аҳлини қизиқтирмади. 1873 йили селеннинг (Se) каршилиги ёруғлик нури таъсирида ўзгариши аниқлангандан сўнг, бу ишларга қизиқиш ортди.

Селен фотоқаршиликлар тезда турли оптик асбобларда қўлланила бошлади. Оддий селен устунидан қилинган *фотоқаршилиқ* биринчи яримўтказгичли асбоб бўлди. Унинг электрик ўтказувчанлиги ёритилганда коронғуликдагисига нисбатан катталашар эди.

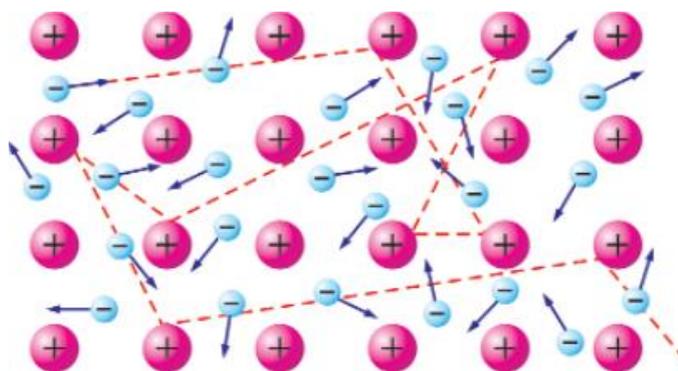
Аввал, 1948 йили нуқтавий, кейин 1951 йили ясси транзисторлар кашф қилиниши, яримўтказгичли электрониканинг жадал ривожланишига олиб келди. Транзисторлар ишлаш қонуниятини тушунтириш учун яримўтказгичларда кечадиган қатор физик жараёнларни кўриб чиқиш зарур бўлади. Даст аввал улардаги электрик ўтказувчанлик механизмига тўхталиб ўтамыз.

Электрик ўтказувчанлик. Маълумки, барча моддалар турли кимёвий боғлар ҳосил қилган атомлардан тузилган бўлиб, бу боғлар уларнинг кўплаб физик ва кимёвий хоссаларини, жумладан, электрик ўтказувчанлигини белгилайди. Масалан, туз ва ёғ диелектриклар гуруҳига мансуб бўлиб, электр

токини ўтказмайди, металдан қилинган сим эса жуда яхши ўтказгичдир. Металнинг юқори электрик ўтказувчанлиги сабаби нимада?

Металларнинг электрик ўтказувчанлиги. Кристал панжарада метал атомлари жуда зич жойлашган – ҳар бир метал атоми ўн иккитагача қўшни атом билан бевосита боғланган бўлиши мумкин. Шунинг учун метал атомининг ташқи электрон қобиғидаги валент электронлар “еркин” бўлиб, метал ичида тартибсиз иссиқлик ҳаракатидаги “электронлар гази” ни ҳосил қилади. Кристал панжара тугунларидаги метал ионлари эса, шу электрон газ ичига ботирилгандек жойлашган.

Металларнинг кристал панжара тугунларида жойлашган ионлари ҳам, эркин электронлари ҳам бетартиб иссиқлик ҳаракатида иштирок этади. Ионлар кристал панжара тугунларида тебранма ҳаракат қилади, эркин электронлар эса кристал бўйлаб бетартиб илгариланма ҳаракатда бўлади (1 - расм)



7 – расм металнинг кристал панжарасидаги эркин электронлар ҳаракати.
Битта электроннинг траекторияси штрих билан кўрсатилган

Эркин электронлар ўзларининг бетартиб иссиқлик ҳаракати давомида кристал панжара тугунларидаги метал ионлари билан тўқнашиб туради. Метал сиртига яқин бирор электрон шу тўқнашишлар натижасида металдан чиқиб кетиши ҳам мумкин. Бунинг учун унинг энергияси потенциал тўсиқ деб номланувчи энергиядан юқори бўлиши зарур. Металнинг потенциал тўсиқ баландлиги (энергия бирлигида) унинг *чиқиши иши* деб аталади. Хона температурасида кўп эркин электронларнинг иссиқлик ҳаракат энергияси потенциал тўсиқни енгиб чиқиш учун етарли бўлмайди.

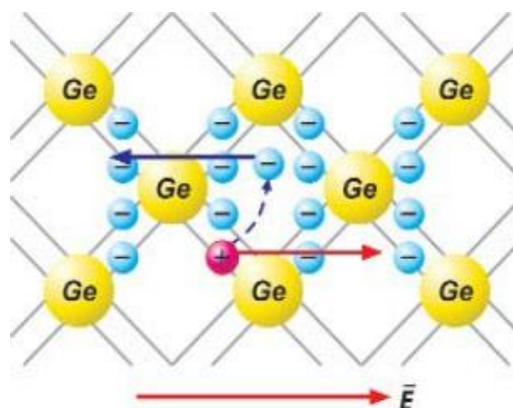
Метал ўтказгич четларига потенциаллар фарқини (кучланишни) қўйсақ, эркин электронларнинг бетартиб иссиқлик ҳаракатидан ташқари, тартибланган (бир томонга йўналган) ҳаракати пайдо бўлади, яъни электр

токи ҳосил бўлади. Айнан эркин электронларнинг металллардаги юқори зичлиги уларнинг юқори электрик ўтказувчанлигини белгилайди.

Яримўтказгичларнинг электр ўтказувчанлиги. Енди яримўтказгич кристалли панжарасини кўриб чиқамиз. Яримўтказгич атомлари *ковалент боғланган* бўлади. Мисол сифатида тўрт валент электронли германий (Ge) кристаллини кўриб чиқамиз. Ковалент боғларнинг мустаҳкамлиги туфайли германий кристаллидаги электронлар металдагиларга нисбатан анча мустаҳкам жойлашиб олган. Шунинг учун оддий шароитларда эркин яъни яхши жойлаша олмаган боғланмаган, эркин электронлар кам бўлганлиги учун уларнинг ўтказувчанлиги металарникидан кўп марта кичикдир.

Германий кристаллида эркин электронлар ҳосил бўлиши учун қандайдир йўл билан атомлар орасидаги ковалент боғларни узиш керак. Бунга турли йўллар билан эришиш мумкин.

Улардан бири бу кристаллини қиздиришдир. Унда бир қисм валент электронлар қўшимча иссиқлик энергия таъсирида ковалент боғланишдан узилиб чиқиб кетади. Фараз қилайлик, қиздириш натижасида атомлар орасидаги бир боғланиш узилди, уриб чиқарилган электрон эса эркин электронга айланади.



8 – расм. Германий кристаллидаги жуфт электрон боғлари

Натижада “ковак” қўшни атомга силжийди. У атом ўз навбатида бошқа атомдан электронни тортиб олади ва х.к. Натижада битта электрони етишмайдиган чала боғ кристал бўйлаб тартибсиз эркин кўчиб юриши мумкин. Узилган боғларнинг (ковакларнинг) кўчиб юриши қўшни боғлардаги электронларни тортиб олиш ҳисобига содир бўлади, шунинг учун ҳар сафар бир атом ўзининг узилган боғи учун электрон тортиб олганда, у билан бирга боғнинг компенсацияланмаган мусбат заряди ҳам кўчиб юради.

Бу ҳолатни худди яримўтказгичда янги мусбат зарядли заррача пайдо бўлганидек қабул қилиш мумкин. Ушбу зарранинг заряди электрон зарядига тенг бўлиб, ишораси эса мусбатдир. Бундай квази зарралар (“квази” – деярли деган маънони билдиради) “*ковак*”лар деб номланади.

Боғдан узилиб чиққан эркин электрон ва унинг ўрнида ҳосил бўлган ковак чексиз узоқ вақт тураолмайди. Маълум бир вақтдан сўнг (10^{-12} дан 10^{-2} сек гача) улар бир бири билан яна учрашиб қоладилар ва иккаласи ҳам йўқ бўлиб кетади, буни рекомбинатсия деб аталади.

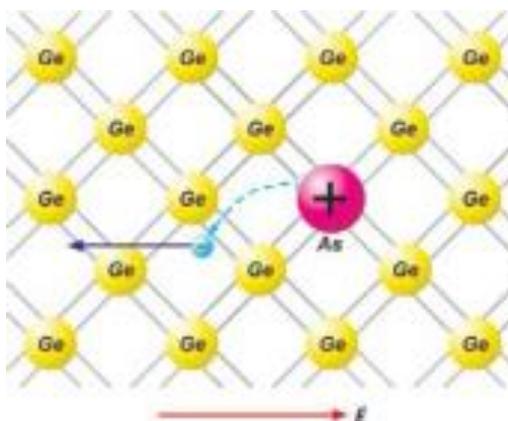
Рекомбинатсия пайтида энергия ажралиб чиқади, унинг қиймати электрон-ковак жуфтлигини ҳосил қилиш учун сарф бўлган энергияга тенгдир. Баъзан бу энергия нурланиш кўринишида ажралиб чиқади, кўп ҳолларда эса бу энергия кристал панжарага берилиб, уни қиздиради. эркин электронлар ва коваклар ҳосил қилган ўтказувчанлик яримўтказгичларнинг *хусусий ўтказувчанлиги* деб аталади.

Коваклар ва эркин электронлар жуфт жуфт бўлиб пайдо бўлади, шунинг учун тоза яримўтказгичларда уларнинг зичлиги тенг бўлади:

$$p = n.$$

Яримўтказгичларда эркин заряд ташувчиларни ҳосил қилишнинг яна бир усули, кристалга атайин турли киришмалар киритишдир. Германий кристалига беш валентлик арсений (As) ёки фосфор (P) атомлари киритилган ҳолатни кўриб чиқайлик.

Арсений (As) атомининг бешта валент электрони, у бешта қўшни атомлар билан кимёвий боғ ҳосил қилиш мумкинлигини билдиради.



9 – расм. Германий кристал паржарасидаги арсений атоми.

n турдаги яримўтказгич

Германий кристалда фақат тўртта қўшни атом билан боғ ҳосил қила

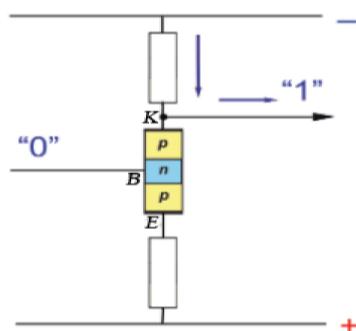
олиш мумкин. Шунинг учун арсений атомининг фақат тўртта валент электрони боғ ҳосил қилишда қатнашади.

Микросхемадаги кучсиз сигналлар транзисторлар орқали кучайтирилиб моторларни, роботларни, сунъий мушакларни бошқара олади. Сканерловчи микроскопдаги наноамперли туннел ток ҳам транзисторлар ёрдамида кучайтирилади. Транзисторда кичик ток катта токни бошқаради, бу электрониканинг асосидир.

Бошқариш деганда ҳар доим сигналларни кучайтириш назарда тутилмайди. Мантиқий ахборот ташувчи сигналлар ёрдамида ҳам бошқариш мумкин. Демак, олинган инфомацсияни мақсадга мувофиқ равишда ўзгартириш, яъни *қайта ишлаш* мумкин. Бу ишларни нол ва бирдан иборат иккилик кодида ишловчи микропротсессорлар амалга оширади.

СМОС (комплементар метал-оксид яримўтказгич) мантиқий қурилмаларида мусбат ёки нол кучланиш “0” ни англатади, манфий кучланиш эса “1” ни билдиради. База занжири қўшилмаганда эмиттер занжиридан ток ўтмайди. Бу ҳолат мантиқий “0” га мос келади. Базага манфий кучланиш берилганда занжирда ток ҳосил бўлади, бу мантиқий “1” га мос келади¹.

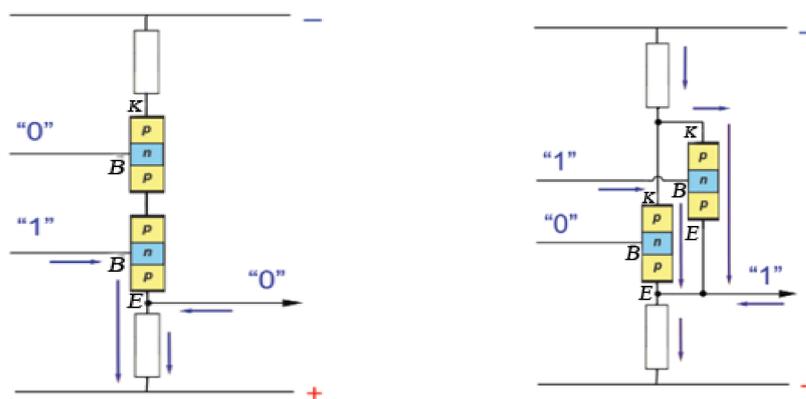
Чиқишни транзистор коллекторига уласак, жараён аксинча кечади. Бу ҳолда “0” ни “1” га, 1 эса 0 га айлантирувчи. Бу “эмас” (НЕ) номли мантиқий схемага эга бўламиз.



10 – расм. Бир транзисторли “Эмас” мантиқий қурилмаси

Бир неча транзисторлар ёрдамида мантиқий “ВА”, “ЁКИ” ва бошқа мураккаб мантиқий схемаларни ҳосил қилишимиз мумкин. Замонавий технологиялар ёрдамида ўлчамлари бир неча микрон бўлган транзисторлар, фотосенсорлар ишлаб чиқилиши мумкин.

¹ Dieter Vollath *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners.* – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGаA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.



11 – расм. “ВА” ва “ЁКИ” транзисторли схемалар

Бирок, техниканинг кейинги ривожинан нанометр ўлчамли транзисторлар яратишни тақозо эта бошлади.

Бир қанча транзисторларни бириктириб барча “ВА”, “ЁКИ” ва “ЕМАС” мантиқий схемаларни ҳосил қилишимиз мумкин. Компютерларнинг тезкорлиги бирлик юзага жойлашган транзисторлар сонига тўғри боғланган.

Нанометр ўлчамли транзисторлар яратиш учун қилинган биринчи ҳаракатлар яхши натижалар берди. Бу ҳақда кейинги параграфларда батафсил тўхтаб ўтамиз.

Интеграл микросхема. Микросхемаларнинг электроникада қўлланилиши бу соҳада инқилобий ўзгаришларга олиб келади. Бу компютер саноатида ёрқин намоён бўлди. Минглаб электрон лампали, бутун бинони эгаллаган ҳисоблаш машиналари ўрнига ихчам, стол устида, ҳатто чўнтакда жойлаша оладиган компютерлар кириб келди.

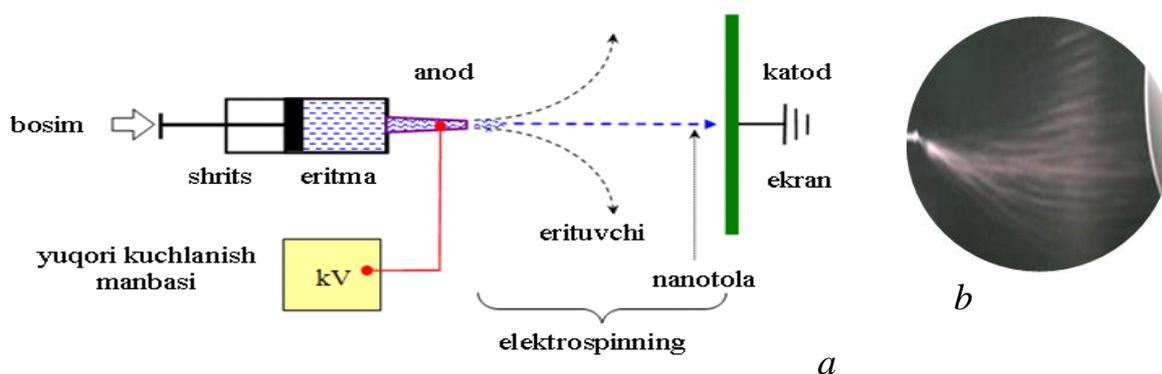
Интеграл схема (ИС) – бу микроскопик қурилмаларнинг (диод, транзистор ва бошқалар) битта тагликда йиғилган тизимидир. Улар қовурилган картошка бўлакчаларига (инглизча **чип**) ўхшагани учун, баъзан уларни **чиплар** ҳам деб аталади.

Юзаси 1см^2 бўлган чипда миллионлаб микроскопик қурилмалар жойлашади. Албатта бундай кичик юзада жойлашган миллион транзисторни кўлда бир бирига улаб чиқиб бўлмайди. Бу ҳолатдан чиқиш учун ягона қурилмада - интеграл схемада барча яримўтказгич қисмларни ва улар орасидаги боғланишларни бир технологик жараёнга бириктириб ишлаб чиқариш усуллари пайдо бўлди.

Полимер нанотолалар шакллантиришнинг электроспиннинг усули

Нанотолалар шакллантиришда энг замонавий усуллардан бири электроспиннинг бўлиб, бу усулнинг принципал асоси аслида 1934 йилда тавсия этилган. Унда эритма оқими бўйлаб юқори кучланишли доимий электр майдони таъсир эттирилганда, эритувчини бўғланиши ҳамда полимер молекулалари бир бирига ориентатсиён бирикиб 10 – 30 см масофада толалар шаклланиши кузатилган. Аммо шаклланган толалар бир-бирига чигаллашиб кетган ва нобарқарор тузилишга эга бўлган. Бу камчиликларни бартараф этиш, барқарор толалар, жумладан, наноўлчамли толалар шакллантиришга 1990 йилларга келиб Берклилик АҚШ олимлари жиддий киришишган. Бунинг учун яқин майдонли электроспиннинг (*near-field electrospinning process*) қўлланилган ва унинг самарадорлиги ҳозирда жадал ривожланаётган полимер нанотолалар олишнинг янги даври бошлаб берган.

Электроспиннинг жараёни ичгичка (0,1 ÷ 2,0 мм) капиллярдан (*аноддан*) чиқаётган полимер эритма оқимини ҳавода юқори кучланиш (0,5 ÷ 50 кВ) таъсири остида экранга ёки барабанга (*катодга*) электростатик тортиш ва оқимдан эритувчини жадал бўғлантириб чиқариб юбориш ҳамда полимер молекулаларини ориентатсион ҳолатга ўтказиб бир бирига ўралган (*ешилган*) тарзда наноўлчамли тола кўринишида шакллантиришга асослангандир. Одатда анод ва катод ўртасидаги масофанинг ҳар бир см га бир кВ дан доимий кучланиш мўлжаллаб берилади (1-жадвал). Электроспиннинг жараёнининг принципал чизмаси 12-расмда келтирилган⁵.



12-расм. Электроспиннинг принципал чизмаси (a) ва электр майдонида филерадан чиқаётган полимер суяқ фазали оқимдан эритувчини чошилиши

⁵ Холмунинов А. Полимерлар физикаси, Тошкент, Университет, 2015, 252 б.

ва макромолекулаларни ориентатсион эшилган ҳолга нанотолалар бўлиб шаклланиб экранга бориб тушишининг фотосурати (б)

1-жадвал. Электроспиннинг нанотолалари морфологиясига полимер концентрацияси (C) ва юқори электр кучланишининг таъсири.²

$C, \%$	U, kV		
	15	20	25
0,50			
0,75			
1,00			
1,25			
1,50			
1,75			
2,00			

Кучланишни ($15 \div 25 \text{ кВ}$) ва концентратсияни ($0,5 \div 2,0 \%$) турли миқдорларида электроспиннинг жароёнини амалга ошириш орқали ҳар хил морфологияга эга бўлган нанотолалар шакллантирилган ва уларнинг оптимал шароитлари аниқланган. Шу билан бирга нанотолалар шакллантириш полимерларнинг турлари, конфигурацияси, конформацияси, молекуляр массавий таъсирлари, полиелектролит хоссаларига ҳам боғлиқдир.

². Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.

Полимер нанотолаларни махсус хоссаларга эга болишида эритмани таркиби ва аралашмалар табиати ҳам муҳимдир. Ушбу таъкидланган жиҳатларни инобатга олган тарзда нанотолаларни шакллантириш катта амалий аҳамият касб этади.

Назоарт саволлари

1. Яримўтказгичли нанодиод ва нанотранзистор қандай ишлайди?
2. Интеграл схема деганда нимани тушунаси?
3. Микро- наносхемалар қилинишида қандай асосий босқичлар мавжуд?
4. МЕМС ва НЕМС технологияларини тушунтириб беринг.
5. Наносенсорларнинг қандай турлари мавжуд?
6. “Ақлли чанг” лар қаерларда қўлланилади?
7. Наноэлектроника ривожланишининг уч асосий йўналишлари нима?
8. Нано- ва спинтроника нима?
9. Наномоторларнинг қандай турларини биласиз?
10. Наноструктурали материаллар технологияси нимага асосланади?
11. Нанотолалар шаклланиши қандай амалга оширилади?
12. Доимий кучланиш нанотолалар шаклланишида қандай роль ўйнайди?

Фойдаланилган адабиётлар

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.
3. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
4. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
6. Холмуминов А.А. Полимерлар физикаси, Тошкент, Университет, 2015, 252б.
5. www.mitht.ru/e-library
6. www.cris-m-prometey.ru
7. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech. Uni. Berlin
8. www.nanonewsnet.ru
9. www.nanobot.ru

Хорижий мутахассис маърузаси
(проф. К. Накамура, Япония)

Мавзу:

Physical Peculiarities of Forming Nanomaterials

Cas-Phase Synthesis of Nanoparticles

The first nanoparticles were synthesized using gas-phase processes. Significantly earlier, colloid chemistry was used to synthesize nanoparticles in suspensions (colloids); however, separating of the particles from the liquid is difficult; the colloidal particles form agglomerates. In gas-phase processes, a vapor of the material condenses in a gas phase forming small particles. These particles may be isolated particles or agglomerates.

Processes of Particle Formation

An environment containing a gas and atoms or molecules that can condensate in a low concentration is assumed. These are the assumptions for a random process (*Poisson* process) forming particles. Generally, particle formation is described by four major steps:

- **Nucleation.** A nucleus is the smallest stable unit. Usually, it consists of at least three atoms or molecules. Such nuclei are formed if three atoms collide coincidentally. This nucleus acts as a core for further
- **condensation** of atoms or molecules at the surface of the nucleus. Therefore, the nucleus grows and forms a cluster and later a particle. Condensation is a random process ruled by the dynamics of the gas species. Colliding cluster or small particles may coagulate. During
- **coagulation** by exchange of surface energy, a new, larger particle is formed. Having reached a certain size, the difference of surface energy will be so small that further coagulation of particles is impossible. Now the process of
- **agglomeration** starts. Agglomerates consist of two or more individual particles. Often, one distinguishes soft and hard agglomerates. Soft agglomerates are bound by *van der Waals* bonds; hard agglomerates are

sintered. If at all, only soft agglomerates can be separated².

In most cases, it is nearly impossible to separate the particles from agglomerates. If at all, only soft agglomerates can be separated. High temperatures during synthesis promote the formation of hard agglomerates. Therefore, after synthesis and particle formation, it is necessary to reduce the temperature in a quenching step as fast as possible. This reduces the probability for agglomeration and the formation of hard agglomerates.

The processes of condensation and coagulation are random ones; this leads to a relatively broad distribution of particle sizes. Generally, experiments deliver particle-size distributions with a long tail on the side of the large particles. The theory of random process says that these size distributions are described by *Poisson* distributions. However, as this distribution function is, mathematically, quite uncomfortable to handle, generally, it is approximated with sufficient precision by the log-normal distribution. There are possibilities to bias the process of particle formation, and, therefore, the particle-size distribution, by quenching or charging the particles electrically.

Distribution Functions for Particle-Size Distributions

The *Poisson* distribution, which is characteristic of random processes with small probability, is described by the equation

$$p_{\mu}(n) = \frac{\mu^n}{n!} \exp(-\mu) \text{ with } \mu \in \mathbb{R} \text{ and } n \in \mathbb{N}. \quad (4.1)$$

The quantity μ stands for the mean value, which is in this distribution equal to the variance (=squared standard deviation, σ). n is an integer number, which stands for the size of the particles. For larger values of n , $n!$ and (μ^n) are huge numbers, which may create problems for calculation. Therefore, in general, the *Poisson* distribution is approximated by the log-normal distribution

$$p(x) = \frac{1}{\sigma x (2\pi)^{0.5}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (4.2)$$

² *Nanoparticles – Nanocomposites – Nanomaterials: An Introduction for Beginners, First Edition. Dieter Vollath* © 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published 2013 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

In Eq. (4.2), μ stands for the mean value and σ for the variance.

Figure 4.1 displays a graph depicting a *Poisson* distribution and a fit of this distribution using a log-normal distribution. Taking into account that experimental data of particle-size distributions are usually afflicted with significant scatter in the range of small probabilities, the quality of this fit is sufficient.

To understand the probability of the collision of particles with different diameters, it is necessary to estimate the probability to find two particles during a short time interval in the same volume element. The size of this volume element is assumed to be equal to the volume passed by the particles within this time interval.

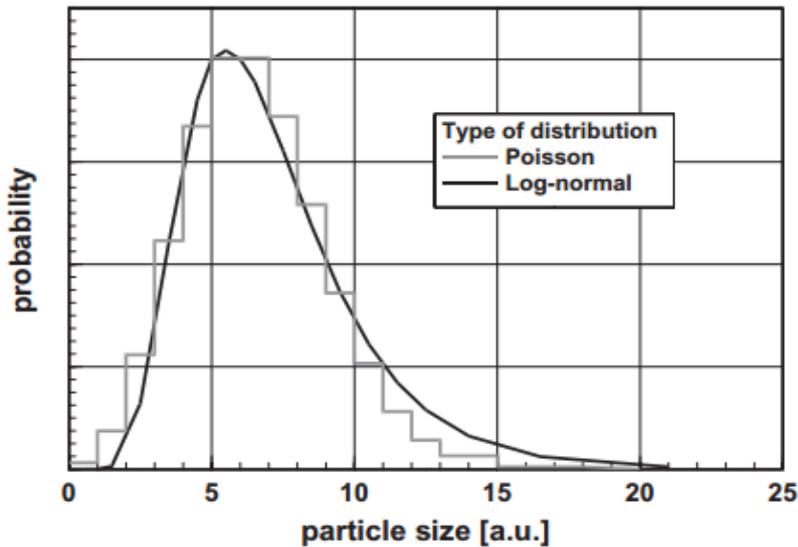


Figure 4.1 Fit of a *Poisson* distribution with a log-normal distribution.

The probability to find this volume element at a special location within a given volume, for example, of the experimental arrangement, is the quotient of these two volumes. To find the probability for collision of two particles, one has to calculate the probability that the volume passed by these two particles is found in the time interval at the same spot. This combined probability is the product of the two probabilities for the two particles under consideration. This estimation process is valid if the particles are significantly smaller than the free path length of these particles in their surrounding gas atmosphere. In fact, the calculations show that this presumption is fulfilled in any experimental situation that may be used for gas-phase synthesis.

Electrical Charges of Small Particles

To analyze the coagulation behavior of charged particles, first it is necessary

to calculate the electrical charges of the particles. To do this, electrically charged particles are treated as spherical capacitors. The capacitance C of a sphere is equal to the diameter, $C = d$, carrying the electrical charge $Q = VC$. (V - electric potential) The assumption that all particles are charged to the same potential, $V = Q/C = Q/d$ const leads to the important relationship describing the dependency of the electrical charge of the diameter:

$$Q = VC = Yd. \quad (4.8)$$

Small particles carry fewer electric charges than larger ones. This relationship is experimentally well proven in aerosol physics [2]. Taking the quantized nature of electrical charges into account, one has, according to Zieman *et al.* [2], to rewrite Eq. (4.8)

$$\begin{aligned} d < d_0 &\Rightarrow Q = Q_0 \\ d > d_0 &\Rightarrow Q = Q_0 + \kappa (d - d_0) \end{aligned} \quad (4.9)$$

(d_0 is the limiting diameter, Q_0 is the electrical charge of the smallest particles, κ is the constant factor, which is not necessarily an integer number, as only mean values over many particles are considered. This smears the quantization of the electric charge).

4.5 Collision of Electrically Charged Particles

Two particles with diameters d_1 and d_2 at a distance r carrying electric charges Q_1 and Q_2 of equal sign repel each other with the force F :

$$F = Q_1Q_2/r^2 = k_2/r^2d_1d_2 \quad 4.10$$

This force results in an deceleration Q_1Q_2/mr reducing speed and changing the direction of the path of the particles. This reduces the collision volume passed in the time interval Δt . To a first approximation, the reduction of the collision volume is given by the factor

$$1/Q_1Q_2 = 1/d_1d_2$$

Inserting this factor into Eq. (4.7) leads to the following modified collision parameter:

$$p_{1-2} = p_1 p_2 = \text{const} T (d_1 d_2)^{0.5} / d_1 d_2 = \text{const} T (d_1 d_2)^{-0.5} \quad (4.11)$$

As a consequence of the introduction of a repulsion term, Eq. (4.11) now describes a reduced collision probability with increasing particle size. This limits particle growth by coagulation and agglomeration, especially for large particles, as the probability for collision gets smaller with increasing particle size. The temperature dependence remains unchanged as linear. The collision parameter for charged $(d_1 d_2)^{-0.5}$ particle is inversely to that for neutral particles.

Inert-Gas Condensation Process

Historically most important, the first process for synthesizing nanoparticles in the gas phase is the inert-gas condensation process (also called evaporation and condensation process) [3], applying thermal evaporation of a metal within a vacuum chamber filled with a small amount of inert gas. To produce metal particles, for example, gold nanoparticles, gold is evaporated in a boat at sufficiently high temperature. The atoms of the gold vapor emanated from the boat are thermalized and lose energy by collisions with the atoms of the inert gas. Collisions of gold atoms with others lead to nucleation and subsequently to particle formation. The particles formed in the gas phase move by thermophoresis (this process is also called thermo diffusion) to a cold finger, where they are collected. Figure 4.7 displays the general layout of such equipment.

At the end of a production cycle, the metal particles are carefully scraped from the cold finger. If necessary, this design allows further processing of the product without breaking the extremely pure conditions. To obtain oxides, before scraping the powder from the cold fingers, minor amounts of oxygen are introduced into the

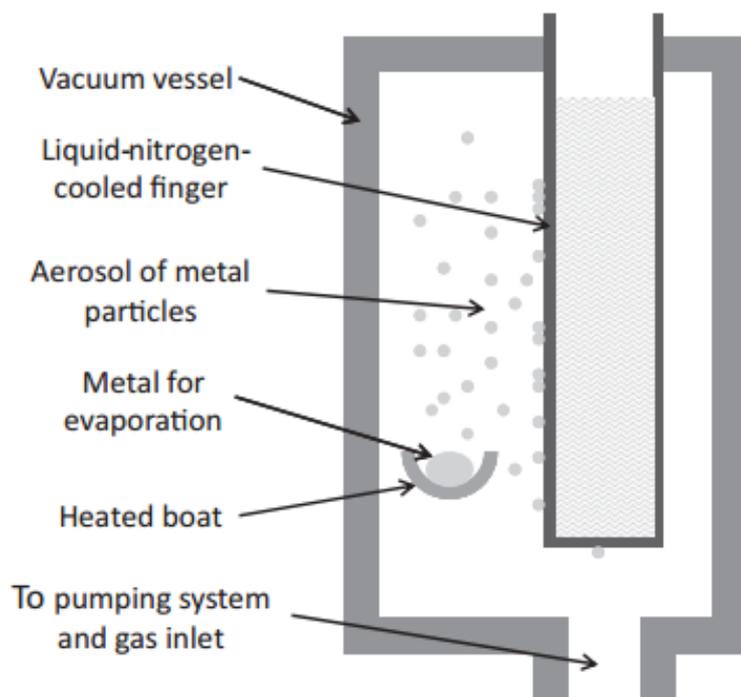


Figure 4.7 Typical setup for synthesis using the inert-gas condensation process. In a vacuum vessel, filled, at reduced pressure, with an inert gas, a metal is evaporated. In the gas atmosphere, the metal vapor is thermalized. The metal atoms lose thermal

energy by collision with the inert gas atoms, and form nanoparticles. In a temperature gradient, the product moves to a liquid-nitrogen-cooled finger by thermophoresis and is collected from the surface of the cold finger.

system to oxidize the metal powder slowly. Careful oxidation is essential, as otherwise the product is overheated and sintered. As the formation of the particles is a purely random process, typically, the inert-gas evaporation process leads to a product with broad particle-size distribution; an example is given in Figure 4.4.

Physical and Chemical Vapor Synthesis Processes

The basic principle of the inert-gas condensation process led to many variants. These systems differ in how the metal is introduced into the system and evaporated. Technical up scaling of the inert-gas condensation process needs elements to limit particle size growth to avoid the formation of the long tail of the size distribution function on the side of the large particles. There are two possible measures to control particle size and particle-size distribution: (i) Reduction of the residence time of the particles in the reaction zone and (ii) quenching, rapid cooling of the particles after leaving the reaction zone. Both measures disrupt the originally diffusion-controlled process. To bring these measures into action, it is necessary to replace the transport by thermal diffusion by transport using a carrier

gas. As heat source for mass production, an electrical arc, an electron beam, or a laser have many advantages and are quite often applied. Figure 4.8 displays the layout of such a system. A typical industrial product, Fe_2O_3 , stemming from a process similar to the one depicted in Figure 4.8 is displayed in Figure 4.9. It shows the characteristic relatively broad particle-size distribution, which is typical for unbiased random processes.

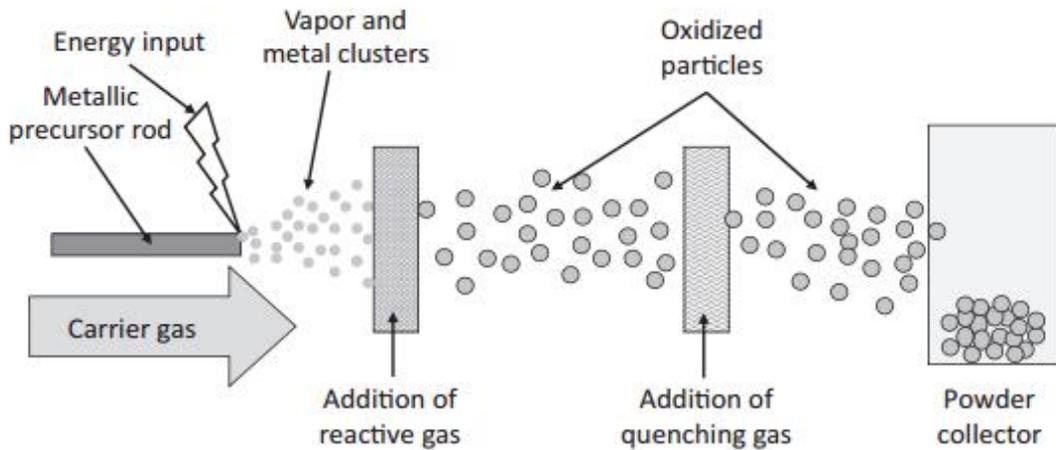


Figure 4.8 Setup for physical vapor synthesis of oxide nanoparticles. The metallic precursor is evaporated, for example, by an electric arc and transported by an inert carrier gas to the

reaction zone, where the metal particles are oxidized. Particle growth and agglomeration are limited in the final quenching step.

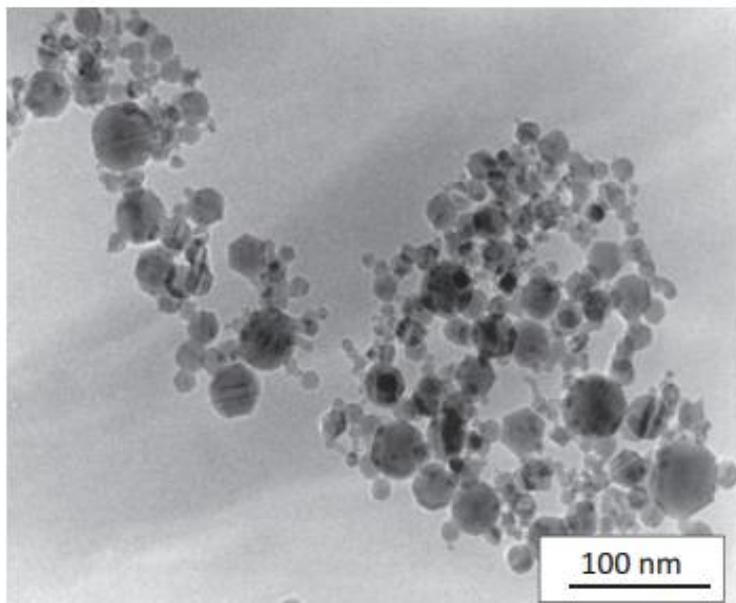
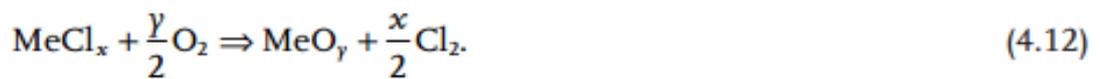


Figure 4.9 Fe_2O_3 powder produced in a device, similar to the one sketched in Figure 4.8. The broad particle-size distribution, in this example from 5 to 50 nm, is characteristic of this type of products.

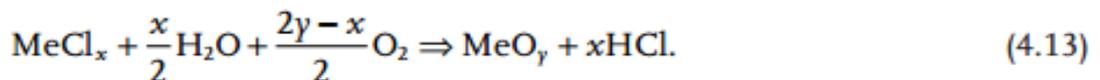
(Courtesy Nanophase Technologies Corporation, 1319 Marquette Drive, Romeoville, IL 60446, USA. <http://www.nanophase.com>.)

Besides pure metals, as rods or powders, volatile compounds are used as precursor, too. In many instances, this is of economical advantage. Using these modifications, this process for synthesis is called “chemical vapor synthesis”. Generally, it applies a tubular furnace with temperatures up to 1500 K as a source of heat. A carrier gas, argon or nitrogen, transports the evaporated precursor through the hot reaction zone. As precursor, one uses chlorides, carbonyls, or metal organic compounds. The final selection depends on the properties, availability, and price of these compounds. Additionally, it is important to note that these precursors lead to typical reaction products in the off-gas and may leave some traces behind that could be dissolved in the matrix of the particles or adsorbed at the particle’s surface. This may be severely disturbing as, for example, chlorine or hydrochloric acid reacts with high probability with organic materials applied for functionalizing the surface of the particles.

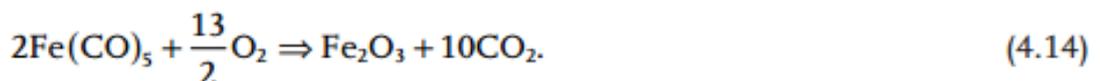
To obtain the metal oxide MeO_y , starting from a chloride, a typical reaction is:



Generally, this reaction is carried out at a temperature in the range from 1200 to 1500 K. To reduce the reaction temperature water is added:



In many cases, the advantage of reduced reaction temperature is compensated by the huge disadvantage of getting highly corrosive hydrochloric acid, HCl as a byproduct in the system. If available, the use of carbonyls is recommended; for example, the synthesis of Fe_2O_3 :



For most of the carbonyls, carbonyl chlorides, or nitrosyl carbonyls, this process works in a temperatures window between 600 and 800 K.

Laser-Ablation Process

Instead of a tubular furnace or an electric arc, pulsed lasers are often applied as the source of energy.

The “laser-ablation technique” has the advantage of allowing not only the application of metals, but also the use of oxides, even mixed targets are possible, for the synthesis of nanoparticles. From the basic idea, this makes particle synthesis extremely universal in application. Figure 4.11 displays a typical design of a production unit applying the laser-ablation process.

A laser-ablation system for powder production, generally, consists of the pulsed high-power laser together with the optical focusing system and the feeding device for the precursor. For the production of larger quantities, rotating targets and automatic wire feeding systems were developed. High-power laser pulses are focused onto the surface of the precursor target to evaporate material. Depending on the thermal conductivity, at the focus point, the target is heated to temperatures high enough to evaporate the material. Because of the fast evaporation in the high-power laser pulse, even the stoichiometry of a complex mixed target may be preserved in the vapor phase. During the pulse, a plume, a supersonic jet of evaporated material, is ejected perpendicular to the surface into the surrounding gas and expands adiabatically. Immediately after the laser pulse, the temperature in the plume reaches values of a few thousand *Kelvin* [4].

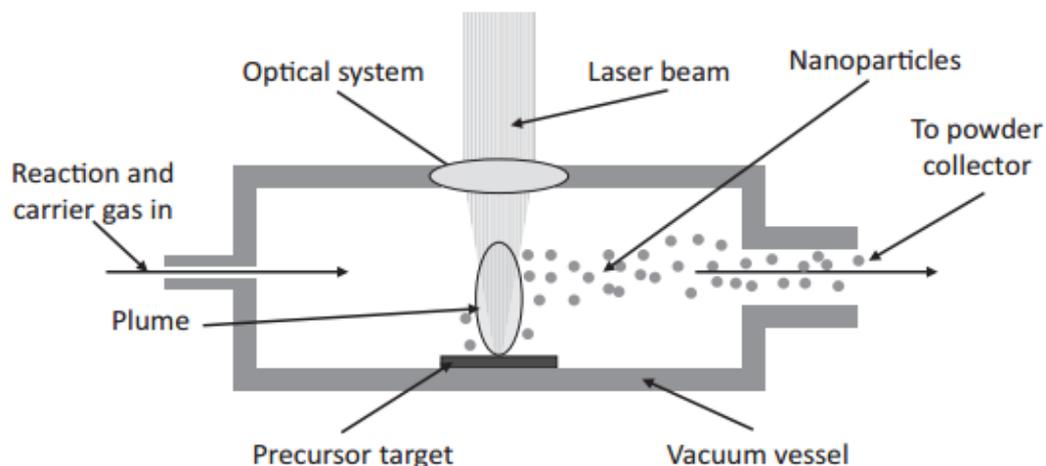


Figure 4.11 Schematic drawing of the experimental setup for nanoparticle synthesis applying laser ablation. The pulsed laser beam is focused at the surface of the precursor target that may be a metal or an oxide. The high-intensity laser beam causes a plume, a supersonic jet of evaporated

material, which is ejected perpendicular to the target surface, expanding into the gas space above the target. The particles formed by condensation in the plume are transported with the carrier gas to the powder collector.

During the adiabatic expansion of the plume, the temperature decreases and particles are formed. The continuous stream of carrier gas transports the particles to the powder collector. The carrier gas may also contain reactive gas components; to obtain oxides, oxygen, for carbides methane, CH_4 , and for nitrides ammonia, NH_3 , is added. Due to the super saturation in the vapor caused by decreasing temperature within the plume, formation of particles occurs. The duration of the supersaturated conditions is limited by the adiabatic expansion of the plume; therefore, the gas pressure in the reaction vessel plays a crucial role in particle nucleation and particle growth. At low gas pressure, the plume expands very rapidly. Therefore, the concentration of reactive species in the plume decreases very rapidly, a process limiting particle growth. At higher gas pressure, the super-saturation is higher. The higher the super saturation, the smaller the size of the nuclei required for condensation. This leads to a large number of nuclei and, as consequence, to smaller particle sizes. This simplified description of the complex processes in the plume is well supported by experimental results. As an example, Figure 4.12 displays the dependency of Co_3O_4 particle size on the gas pressure [5]. This figure shows small particles are formed at low and at higher gas pressure, in an intermediate range the particles are largest.

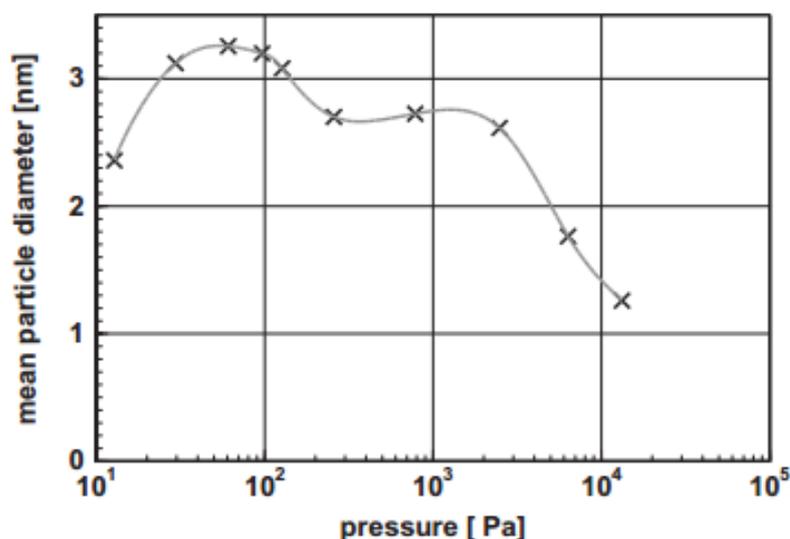


Figure 4.12 Production of nanoparticles using the laser-ablation process. The figure shows the influence of the gas pressure in the reaction chamber on the mean particle size of the reaction product, Co_3O_4 [5].

As the energy source, often frequency-converted Nd-YAG or excimer lasers with pulse durations in the nanosecond range are applied. The interaction of these nanosecond pulses leads, especially at the surface of good thermal conductors,

prior to evaporation to the formation of a pool of melted material. In the case of targets with complex composition, this may lead to a composition of the powder that differs from that in the precursor. The application of a picoseconds laser avoids this problem. During such a short high-power laser pulse, the material evaporates instantaneously; therefore, melting at the surface is impossible.

A general problem of the laser-ablation process is the high concentration of evaporated material in the plume. Insufficiently fast expansion leads to the formation of agglomerates, a phenomenon that is often observed. These agglomerates are, in most cases, fractal- or web-like. The formation of agglomerates is not intended. Therefore, a huge effort went into the direction of synthesizing individualized particles using this process. A typical example of a successful approach was published by Wang *et al.* [6]. As a precursor for iron oxide, γ -Fe₂O₃, a wire of pure iron was used. These authors used, atypically, a YAG laser with a wavelength of 1064 nm with a pulse width of 0.3–20 ms. The particle-size distribution of this product, as depicted in Figure 4.13, was in the range from 5 to 55 nm, only a minor amount of material was found in the size range from 50 to 90 nm.

The particle-size distribution displayed in Figure 4.13 is a non symmetric distribution function, which is typical of a random process of particle formation. This figure demonstrates the inherent high potential of the laser-ablation process into the direction of non agglomerated materials. This is of some importance, as the laser-ablation process has very few special requirements for the precursor

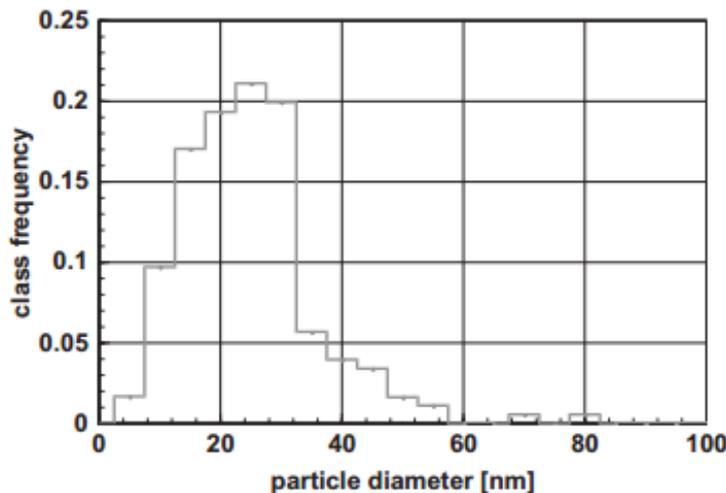


Figure 4.13 γ -Fe₂O₃ powder synthesized by the laser-ablation process. The particle diameter distribution of the product is nonsymmetric, typical of synthesis methods based on purely random processes [7].

Flame Processes

Since prehistoric times, in China, carbon black has been produced by fame processes, as pigments for inks. The fame aerosol process is the oldest of all processes to produce nanoparticulate powders in our time. This technology, or one of its many variants, is applied to produce thousands of metric tons of carbon black, fumed silica, and titania, TiO_2 pigments. Lastly, it is the only process applicable for mass production in the kiloton range. Even though this process is well established and widely applied in industry, the basis principles are not completely understood. This is not least because these processes have been working for decades; therefore, for a long time, there was no need for basic studies, which are difficult and expensive, because particle formation takes place at extremely high temperatures in very short times. With the trend to apply this process also for high value added products, the situation has changed significantly.

The aerosol fame process has a long history and broad application; therefore, with respect to new materials, many highly specific variants, leading to particles with different morphology, size, and crystallinity were developed. Important reviews on fame aerosol processes were published by Pratsinis [14] and Wooldrige [15].

In the simplest case, a fame reactor is set up as shown in Figures 4.27a,b. Basically, a fame reactor consists of a primary fame that is fueled with hydrogen, methane or another hydrocarbon fuel. As far as possible, the selection of a gaseous precursor is advised. Such a precursor may be, for example, to synthesize silica, SiO_2 , silane, SiH_4 or silicon tetrachloride, SiCl_4 . Generally, the gaseous fuel comes premixed with oxygen or air in the burner. In general, the design of the burner follows one of the two principles depicted in Figure 4.27: Figure 4.27a displays the most conventional system, where the precursor, if necessary diluted with a carrier gas, is blown from the side into the fame. The dilution of the precursor with a carrier gas is also applied to adjust the particle size of the product.

The design displayed in Figure 4.27b is more advanced. Characteristic of this design are the many small primary fames surrounding the secondary fame, where the precursor reacts with the excess oxygen forming a secondary fame, where the reaction for particle formation occurs

Reproducible results of the synthesis process are obtained only under conditions where the fame is absolutely stable. A critical ingredient for a stable fame is the correct amount of oxygen. Figure 4.28 displays the appearance of the

fame with different additions of oxygen to the fuel, methane, CH₄. This example displays the fame in the case of silica synthesis, where hexamethyl disiloxane, C₆H₁₈OSi₂ was used as precursor.

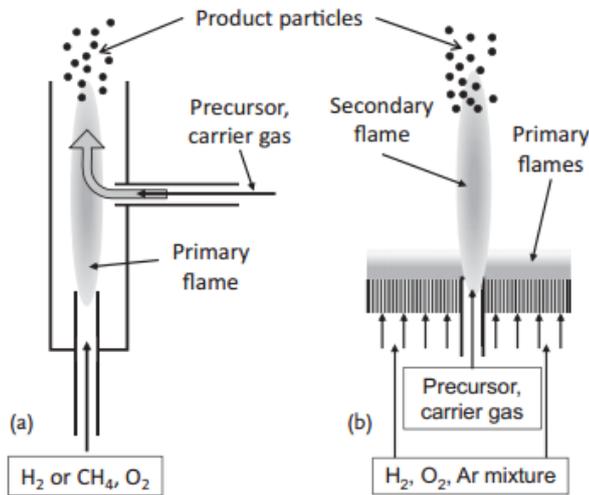


Figure 4.27 Typical arrangements for flame synthesis of nanoparticles. (a) In this design, the vaporized precursor is introduced from the side into the primary flame for reaction. (b) A field of primary flames surrounds a secondary flame, in which the powder is produced.

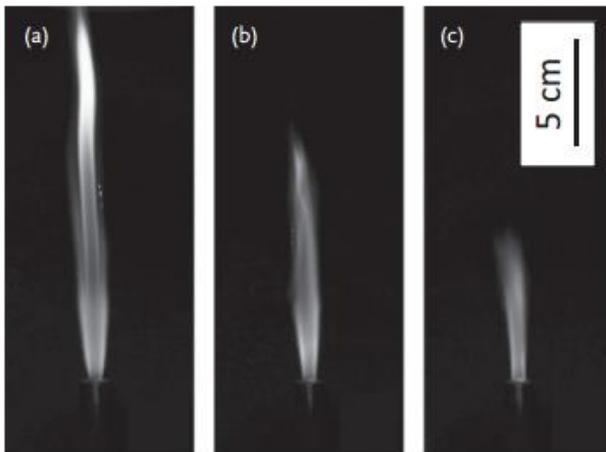


Figure 4.28 Appearance of flames with methane as fuel and hexamethyl disiloxane, C₆H₁₈OSi₂ as a precursor for silica. The amount of oxygen increased from (a) over (b) to (c). The flame with the lowest oxygen

content was unstable, fluctuated. With increasing oxygen content, the flame burns more stably and the temperature increases [16]. (Reproduced by permission of Elsevier.)

In Figure 4.28 the oxygen content in the fame increased from Figure 4.28a to 4.28b. At low oxygen flow rates, the fame is unstable and fluctuating. With increasing oxygen addition the fame is more stable and hotter. The oxygen content in the fame influences the average particle size; this is visible in Figures 4.29a–c. In these electron micrographs, the oxygen content in the fame increased from Figures 4.29a–c, similar as in the case of the fames depicted in Figures 4.28a–c.

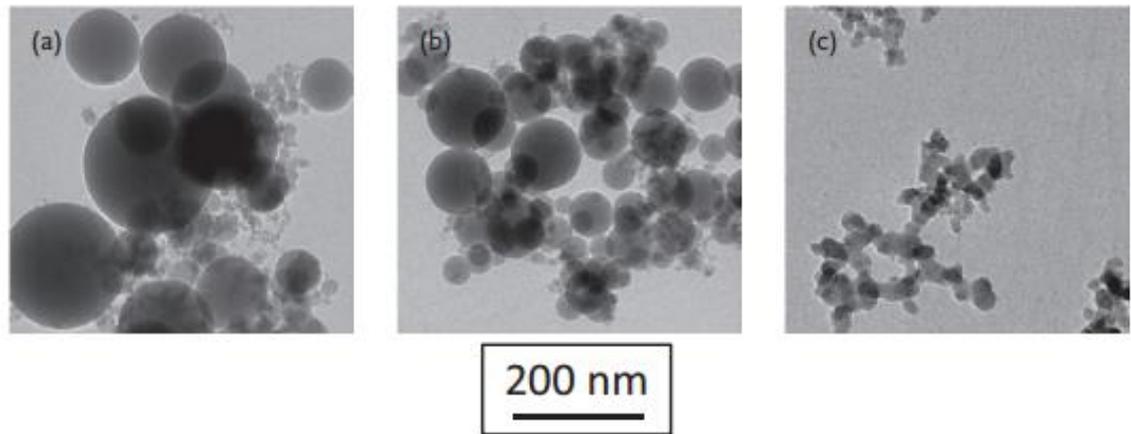


Figure 4.29 Electron micrographs of silica powders produced with varying oxygen content in the flame under otherwise constant conditions. The conditions for synthesis are identical to those given in Figure 4.28 [16]. (a) Oxygen addition 2.5 l min^{-1} . This product consists of nonagglomerated particles, however, with a broad distribution of particle sizes. (b) Oxygen addition 8.5 l min^{-1} . Similar as in Figure 4.29a, in this product the particles are not agglomerated. Even when the distribution of particle sizes remained broad, the size of the largest particles is reduced. (c) Oxygen addition 25 l min^{-1} . In contrast to the products depicted in Figures 4.29a,b, this product forms fractal agglomerates. The size of the particles is smallest and quite uniform. (Reproduced by permission from Elsevier.)

The oxygen content of the gas supplying the fame has a significant influence on the morphology of the powder, too. This has two reasons: Under otherwise constant conditions, with increasing addition of oxygen to the fame, the temperature in the fame increases. Additionally, the flow rate increases and, as shown in Figure 4.28, the fame gets shorter. Therefore, the residence time of the powder particles in the fame shortens. This is the reason for the decreasing particle size with increasing oxygen addition, as is visible in the micrographs depicted in Figure 4.29.

There have been many attempts to reduce the tendency of the fame processes to deliver agglomerated particles of small size. In this case, the phenomena work in opposite directions: High oxygen content in the gas results in high temperatures, leading to small particles; however, they are agglomerated. How to modify the process to reduce this problem? One way out of this problem may be found in the fact that one needs high temperatures to obtain small particles; at these temperatures a significant fraction of the particles will show thermal ionization. (For good reasons, fames are often called “thin plasmas”.) This gives the possibility to influence the process of particle formation and agglomeration using external electrical fields. Figure 4.30 displays two experimental assemblies to study these possibilities.

As mentioned above, at high temperature, one expects thermal emission of electrons from the particles. However, as these electrons only have thermal energy in the range of less than 1 eV, therefore, they can also attach at the surface of the particles. Hence, one may expect positively and negatively charged particles. Figure 4.31 displays a proof of this assumption. The figure displays a flame in-between two plate electrodes. The field strength was 2 kV cm^{-1} . One sees that both electrodes are covered with particles. This indicates that the particles carry, as assumed, electrical charges of both sign.

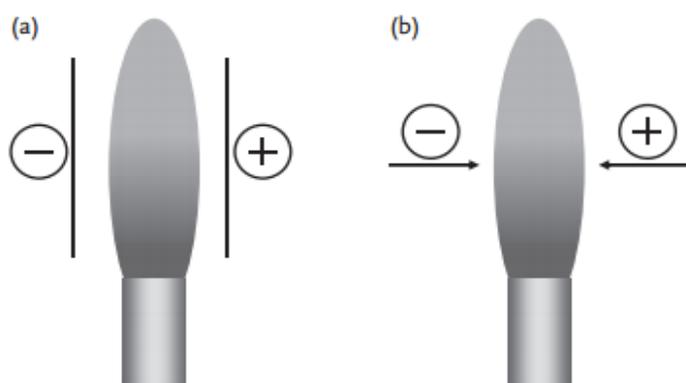


Figure 4.30 Experimental arrangement to influence flame synthesis with an external electrical field. The two possibilities depicted are an electrical field in-between two plate electrodes (a) and in-between two needle-shaped electrodes (b). In the latter case, electron emission from the needles is possible.

In the arrangement using plate electrodes (Figures 4.30a and 4.31), due to their electrical charges, the particles are pulled out of the flame. Therefore, the time for growing and, most importantly, for agglomeration is reduced. This improves the chance to obtain unagglomerated products with small particles. A different mechanism, however, also with encouraging results is observed in the experimental setup depicted in Figure 4.30b.

At the tips of the needle electrodes, one observes corona discharge. These electrons move across the flame. Because of their high energy, these electrons ionize the particles, now all of them carry negative electrical charges. These negatively charged particles, repelling each other, move to the positive electrode and are collected. As result, one may expect that the particle size of the product decreases with increasing field strength between the needle electrodes. These ideas were perfectly proved. Figure 4.32 displays the mean particle size of titanium produced from the chloride in a flame as a function of the electrical field strength synthesized in both arrangements depicted in Figure 4.30.

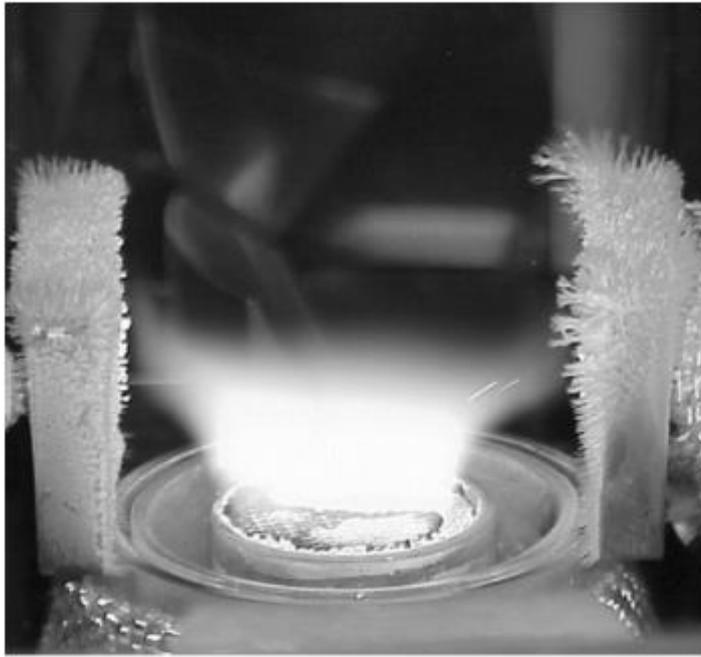


Figure 4.31 Flame in-between plate electrodes with an electrical field of 2 kV cm^{-1} . According to the different signs of the electrical charges, the flame is split up by the electric field. The synthesized particles,

titania, were, according to the sign of their electrical charges, attracted by the electrode plates and deposited [17]. (Reproduced by permission from Elsevier.)

The graph in Figure 4.32 clearly demonstrates the effect of a transversal electrical field. In the case of plate electrodes, the reduction of the particle size starts already at relatively low electrical field strength and this reduction continues further with increasing field strength. This is different with needle electrodes. In this design, the size reduction starts at significantly higher electrical fields. Obviously, the system needs minimum field strength until electron emission starts. After the onset of electron emission, the reduction of the particle size is continued with further increase of the electrical field strength. Figure 4.31 demonstrates that there is a more or less equal number of positively and negatively charged particles in the system. The design using needle electrodes will come to its full efficiency at field strengths where the electron emission is so high that all particles that carried a positive charge in the fame are negatively charged.

There is a broad variation of different designs for fame synthesis. An important variation applies a liquid fuel, having the advantage that the precursor can be dissolved in the liquid fuel Typical examples are a solution of water-free chlorides in, for example, acetonitrile, CH_3CN or solutions of acetylacetonates, for example, $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)_3\text{Al}$ in appropriate organic solvents.

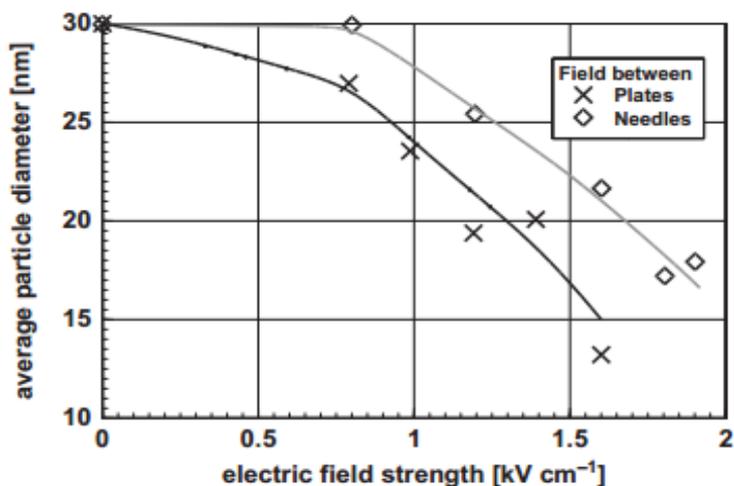


Figure 4.32 Average particle size of TiO_2 ex TiCl_4 synthesized in a methane–oxygen flame as a function of the transversal electrical field. The different influence of the two experimental arrangements is clearly visible.

It is essential to realize that, in the case of needle electrodes, the field influence starts at higher electrical fields. This is, because the system needs an electrical-field strength, where corona discharge starts [17, 18].

An important criterion in selecting organic liquid fuels the avoidance of soot formation, which is often observed in the case of benzene, C_6H_6 . On the other hand, mixtures of benzene with ethanol have been applied successfully, too.

Synthesis of Coated Particles

Many applications of nanoparticles and nanomaterials need nanocomposites. The required nanocomposites may be either multifunctional particles or bulk materials. In the case of multifunctional particles, one selects materials with different properties for the core and the coating of the particles. Looking at bulk nanocomposites, in most cases it is necessary to obtain optimal properties such that the particles are not touching. Both requirements can be fulfilled only with coated particles. A series of possible applications were already explained in Chapter 2. To synthesize coated particles, the process must fulfill a series of requirements. Most important is the demand that the particles must not touch each other; otherwise, one coats clusters of particles and not particles. Furthermore, in many instances, the coating consists of organic compounds. Therefore, the temperature must be so low that these compounds are not altered or even destroyed. The first process succeeding in synthesizing coated nanoparticles and, until now, the only gas-phase process fulfilling these challenges is the microwave plasma process [19, 20]. Figure 4.33 displays such an equipment, which is lastly a doubling of the design as

presented in Figure 4.16.

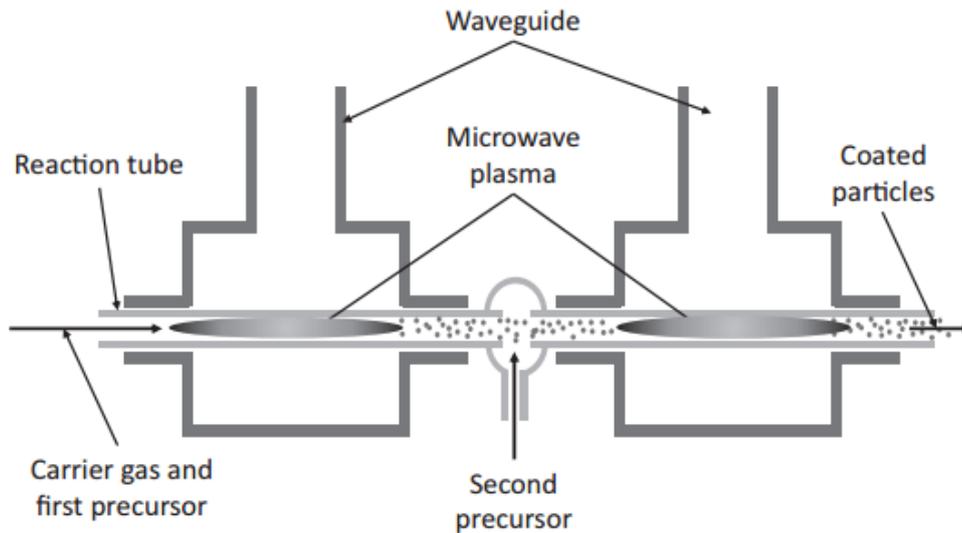


Figure 4.33 Microwave plasma device for synthesizing ceramic-coated ceramic nanoparticles in a microwave plasma according to Vollath [19, 20]. This was the first design of gas-phase processes allowing the production of significant quantities of coated nanoparticles.

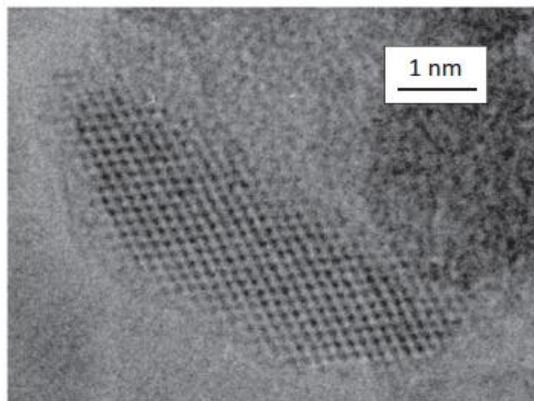


Figure 4.34 Zirconia, ZrO_2 particle coated with a second ceramic material, alumina, Al_2O_3 . This material was produced with the microwave plasma device, depicted in Figure 4.33. The zirconia core is perfectly

crystallized, as is indicated by the lattice fringes. The alumina coating is amorphous; therefore, it shows no structure [19, 20]. (Reproduced with permission by Elsevier.)

The microwave plasma device to synthesize ceramically coated ceramic nanoparticles consists essentially of two microwave plasma devices working consecutively. It is important to ensure that the distance between these reactors is as small as possible; otherwise, too large a number of the particles produced in the first step will lose their positive electrical charge stemming from the synthesis process. The risk of losing the positive charges is relatively high, as, to maintain electrical neutrality, there are, also outside of the plasma zone, free electrons with low energy in the system. This increases the risk of agglomeration. Losing the electrical charges of the particles can be minimized by using conditions with a long

free path length of the particles to reduce the probability of collisions. At each collision, a free electron will lose energy in the range of 10 to 15 eV. Assuming an energy of the free electron of approximately 1 keV, there are, at maximum, 100 collisions allowed. Electrons with low energy will neutralize the particles and attach at the surface. As the movement of the electrons is random in all directions, it is quite difficult to estimate the maximum allowed distance between the two reaction zones.

A typical example of such a product is depicted in Figure 4.34. This figure shows a zirconia particle coated with alumina. The electron micrograph shows crystallized zirconia, which is documented by the lattice fringes, and amorphous alumina showing no lattice fringes at all. (Under the conditions of microwave plasma synthesis, alumina, similar to silica, is never crystallized.) From the nonspherical shape of the zirconia particle one may guess that this particle is a result of the coagulation of two particles.

Certainly, one could think of coating ceramic particles with metals, for example, platinum. For application as catalysts, this would save expensive material. However, it is impossible to realize this idea. Because of the relations of the surface energy, this type of coating is impossible, the metal is deposited as clusters, a phenomenon that is very helpful in looking at applications as catalysts. Figure 4.35 displays such a particle decorated with metallic clusters. In this case, the ceramic core consisted of titania and the metallic clusters of platinum. For the synthesis of this composite, the precursors were titanium chloride, TiCl_3 and platinum carbonyl chloride, $\text{Pt}(\text{CO})_2\text{Cl}_2$.

As already mentioned in the motivation for the development of coated particles, ceramic particles coated with an organic material are of great importance, especially, as by appropriate selection of the constituents, the design of multifunctional particles such particles becomes possible. This may be coating with a polymer as the distance holder in bulk bodies or functional organic molecule, for example, luminescent ones. In selecting the operating conditions and the organic molecules, the temperature and the oxidizing atmosphere must be taken into account. In particular, coating of oxide particles with organic molecules is, with very few exceptions, only possible with the microwave plasma process. Figure 4.36 displays the setup for synthesis of polymer coated nanoparticles.

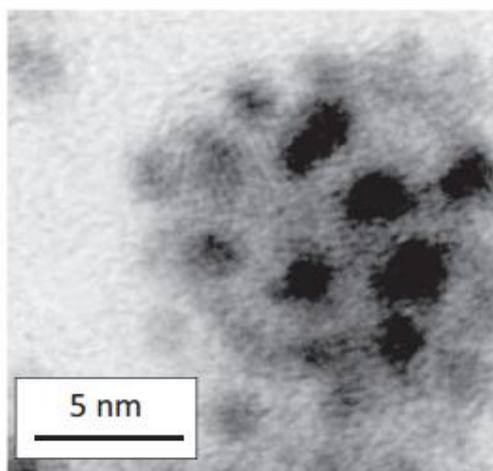


Figure 4.35 Ceramic particle, titania, TiO_2 decorated with metallic clusters (the dark spots), platinum, synthesized using the two-stage microwave plasma process, as depicted in Figure 4.33. At the surface of ceramic particles, metals form clusters and

not a continuous layer. Not until the metal layer gets quite thick (after the metal clusters touch each other) is a continuous coating possible. (Vollath, D., and Szabó, D.V. (2000), Forschungszentrum Karlsruhe, unpublished results.)

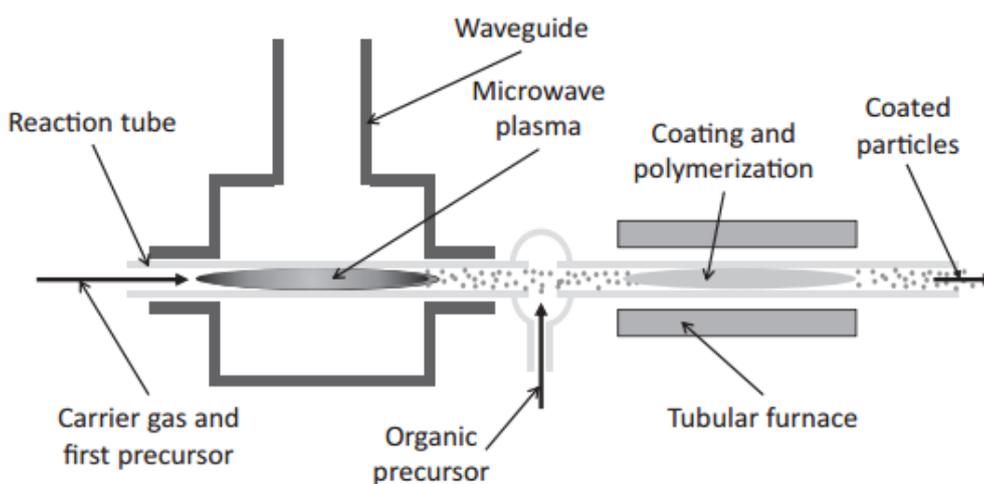


Figure 4.36 Experimental setup for the synthesis of polymer coated ceramic nanoparticles according to Vollath *et al.* [21]. The system consists of a microwave plasma

reactor, where the ceramic particles are produced, and subsequently a reaction zone in a tubular furnace, where the coating occurs.

To coat, for example, oxide particles with a polymer first, the particles are synthesized in the microwave plasma region. After the cut-off tube, the organic precursor is added. To obtain a polymer, the corresponding monomer or easily evaporating oligomer is added. The temperature in the system is selected in a way that the condensation of these organic precursor molecules at the surface of the nanoparticle is possible. To obtain the correct temperature and to avoid particle losses by thermophoresis, the condensation zone is heated by a tubular furnace or

another heating system. Provided the compounds are selected properly, under the influence of temperature and the UV radiation from the microwave plasma, the monomer at the surface of the nanoparticles starts to polymerize. Additionally, in many cases, the organic compounds react with the oxide particle forming one huge molecule consisting of the particle and the polymer coating. This changes the properties of the particles and the polymer molecules dramatically. As these new giant molecules have, for example, new optical properties, the interaction between oxide nanoparticles and PMMA at the surface is explained in Chapter 9. As an example, Figure 4.37 displays an iron oxide particle coated with PMMA.

The coated particle displayed in Figure 4.37 consists of a core of maghemite, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, and a PMMA coating. In this example, the ceramic core has a diameter of 6–7 nm; whereas the thickness of the coating is between 3 and 4 nm. The device, as depicted in Figure 4.36, may be setup with more than one stage for coating. This allows a first coating, for example, with a luminescent material and a second polymer layer for protection.

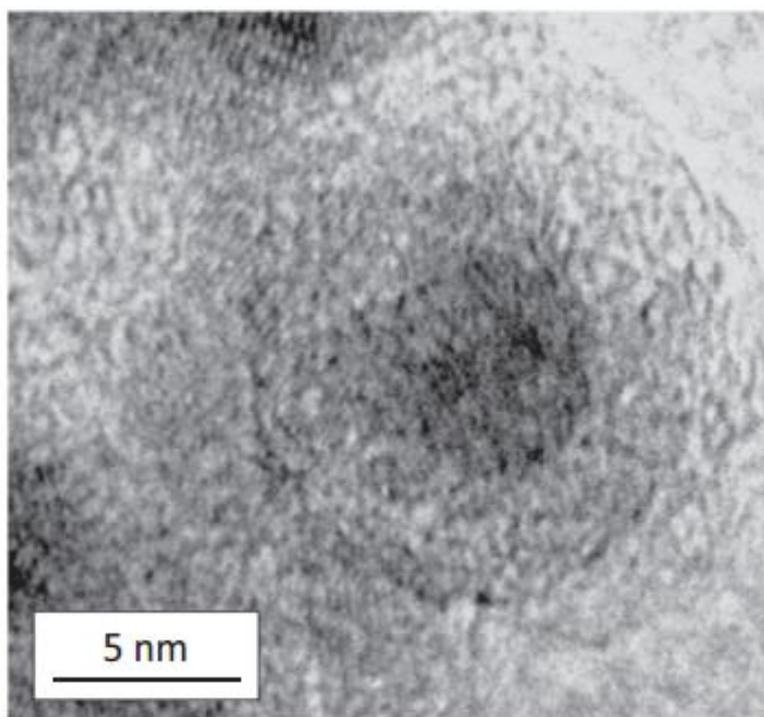


Figure 4.37 Iron-oxide nanoparticle coated with PMMA. This composite was produced in a setup according to Figure 4.36. The dark core is the iron-oxide kernel [21]. (Reproduced with permission by Elsevier.)

5 One- and Two-Dimensional Nanoparticles

Basic Considerations

One and two-dimensional nanoparticles, generally called nanotubes and nanorods for the one-dimensional ones and nanoplates, the two-dimensional ones, are often observed. These entities are interesting both from the standpoint of science and for economic reasons, as these particles have a broad range of applications in many fields of technology. Within this group there is a very special type of particle, the fullerenes; fullerenes based on carbon or other inorganic compounds. As per definition, fullerenes are zero-dimensional particles, as they are simply spherical entities; however, their geometry and the formation is understood only in connection to the related nanotubes or nanoplates.

One expects the shape of nanoparticles to represent a minimum of surface energy. Therefore, in most cases, nanoparticles are spherical in shape, at least faceted particles, which are close to a sphere. To understand the reason for non-spherical nanoparticles, one has to look at the crystalline structure and to the method for synthesizing.

The surface energy depends on the crystallographic plane. For example, in cubic structure, the planes describing a cube have the lowest surface energy. The discussion is most important in noncubic systems. Depending on the surface energy of the different planes, noncubic substances may have a tendency to crystallize in rods or plates. If the surface energy is modified by surface-active substances, also in the case of cubic structures, rods or plates are obtainable. Therefore, it is possible to produce rods of gold, even when gold crystallizes in a cubic structure.

The dependency of the surface energy on the crystallographic plane has consequences on the shape of nanoparticles: Assuming a prism with a quadratic base with an edge length a , and a height c one obtains a rod-like prism in the case that the surface energy of the base plane is large compared to that of the side plane. In the other case, one obtains a plate-like prism. The ratio of the sides of a tetragonal prism is equal to the ratio of the surface energies. This is the rule for the formation of nanorods or nanoplates that can be derived from thermodynamics³.

³ *Nanoparticles - Nanocomposites - Nanomaterials: An Introduction for Beginners, First Edition. Dieter Vollath. © 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published 2013 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*

Box 5.1 Shape of Noncubic-Shaped Particles

Surface energy is the reason for nonspherical nanostructures in case of anisotropic (noncubic) crystal structures. As an example, assuming a tetragonal body with the sides a , c , and the surface energies γ_a and γ_c . The surface energy of such a prism is u_{surf} :

$$u_{\text{surf}} = 4\gamma_a ac + 2\gamma_c a^2. \quad (5.1)$$

The ratio $\frac{a}{c}$ of this prism is obtained under the presumption of a constant volume v

$$v = a^2 c \Rightarrow c = \frac{v}{a^2} \Rightarrow u_{\text{surf}} = 4\gamma_a \frac{v}{a} + 2\gamma_c a^2.$$

The minimum of surface energy is calculated by

$$\frac{\partial u_{\text{surf}}}{\partial a} = -4\gamma_a \frac{v}{a^2} + 4\gamma_c a = -4\gamma_a c + 4\gamma_c a = 0,$$

leading to the important relation

$$\frac{\gamma_a}{\gamma_c} = \frac{a}{c}. \quad (5.2)$$

Equation (5.2) says: The ratio of the sides of a tetragonal prism is equal to the ratio of the surface energies. This is the thermodynamic reason for the formation of nanorods or nanoplates. As in cubic structures $\gamma_a = \gamma_c$ is valid, Eq. (5.2) leads to $a = c$, a cube. For hexagonal structures, the same derivation is possible.

The same mechanism is valid on combining two prisms. Two rod-like prisms will combine in a way to extend the length, the second prism will not attach at the side. In the other case, it is just the opposite: The second platelet will attach at the side. This is depicted in Figure 5.1. Combinations leading to a minimum of surface energy are those indicated as (a) and (d). The combinations (b) and (c) are energetically not favorable, and they will be avoided. One can establish the rule: Agglomerates of nanorods reduce their surface energy by increasing their aspect ratio and in the case of nanoplates, surface energy is reduced by decreasing the aspect ratio. In both cases, the tendency of forming a rod or a plate is enhanced.

It is important to mention that the mechanism described above is valid for “clean” surfaces only, these are surfaces that are not modified by contaminants or functionalization. By proper selection of surface-active molecules, it is possible to grow rods or even plates from isotropic materials. In this context it must be mentioned that even from gold, a cubic material, nanorods and nanoplates are well known. The interest on these specially shaped nanoparticles is promoted by many

interesting physical properties connected to these structures.

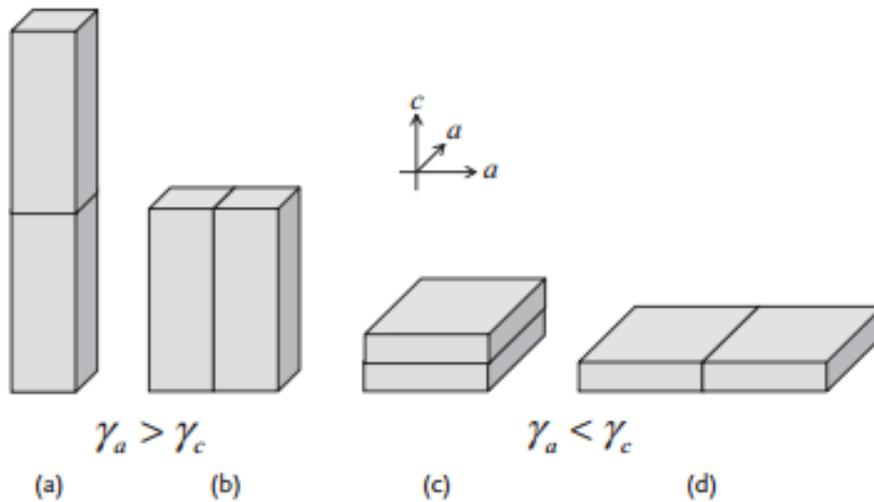


Figure 5.1 Combination of prisms with different surface energy. To minimize surface energy, combinations of two prisms will occur in the way as indicated as (a) and (d). The two other combinations (b) and (c) lead to higher surface energy; therefore, they do not occur.

Box 5.2 Formation of Rods and Plates

The configuration (a) shown in Figure 5.1 has a surface energy of

$$u_{\text{surf-A}} = 8\gamma_a ac + 2\gamma_c a^2 \quad (5.3)$$

and the arrangement indicated as (b)

$$u_{\text{surf-B}} = 6\gamma_a ac + 4\gamma_c a^2. \quad (5.4)$$

Comparing formulae (5.3) and (5.4) and keeping in mind $a < c$ one can compare the surface energies of the arrangements (a) and (b); this leads to

$$8\gamma_a ac + 2\gamma_c a^2 < 6\gamma_a ac + 4\gamma_c a^2 \Rightarrow \frac{\gamma_a c}{\gamma_c a} < 1$$

or

$$\frac{\gamma_a}{\gamma_c} < \frac{a}{c}. \quad (5.5a)$$

Equation (5.5a) is equivalent to Eq. (5.2). For the configurations (c) and (d) one obtains analogously:

$$\frac{\gamma_a}{\gamma_c} > \frac{a}{c}. \quad (5.5b)$$

Agglomeration of particles of a compound fulfilling condition (5.5a) will grow as rods, those fulfilling the condition (5.5b) as platelets.

An example of a rod-like structure is depicted in Figure 5.2. These ZnO rods with a length of the around 15 μm and a diameter in the range from 120 to 140 nm are clearly separated. Because of their excellent luminescence properties in the

UV, ZnO nanoparticles and nanorods are of scientific and economic interest. (According to the definitions of nanomaterials, these rods with linear dimensions beyond 100 nm are, strictly speaking, no longer a nanomaterial. However, as this micrograph is so perfect, it was selected for illustration purposes.) At one end of most of the particles a bulb is visible, this is a structure element indicating a synthesis process via the gas phase.

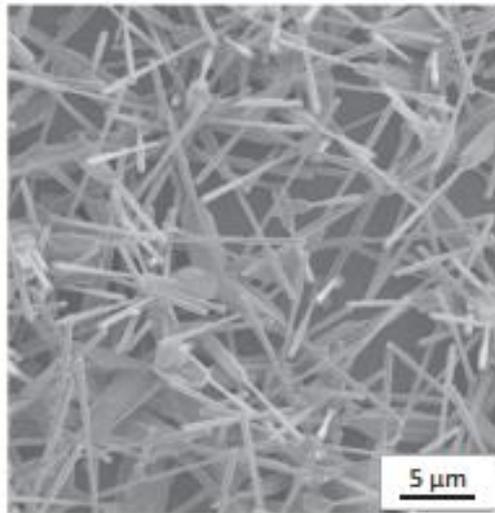


Figure 5.2 Secondary electron micrograph of ZnO nanorods [1]. At one end, most of these nanorods show a bulge, which is typical for a synthesis via a gas-phase route. (Reproduced with permission of Springer.)

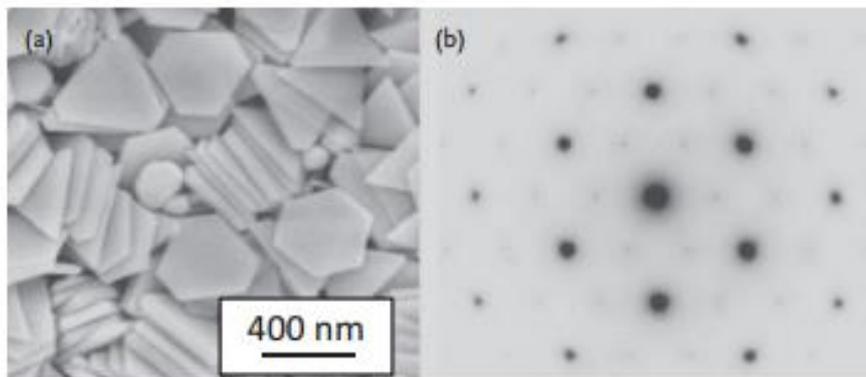


Figure 5.3 Gold platelets. This special hexagonal shape was obtained by the addition of poly vinyl pyrrolidone to the solution used for precipitation [2]. Fig. 1a,b. (a) Electron micrograph of the gold platelets. The size of these hexagonal platelets is around 400 nm; the thickness is in the range from 25 to 60 nm. (b) Electron diffraction

pattern of one gold platelet as depicted in Figure 5.3a. The hexagonal symmetry of the diffraction pattern shows that the electron beam was perpendicular to the faces of a platelet; which were (111) planes at the surface. (Reproduced with permission by The American Institute of Physics.)

By attaching surface-active molecules, it is possible to alter the surface

energy. This technology makes it possible to synthesize even nanoplates of gold, as is depicted in Figure 5.3 [2]. The size of these platelets is around 400 nm; the thickness varies in the range from 25 to 60 nm. The shape of all platelets is hexagonal, this indicated that the nanoplates have single orientation with (111) plane at the surface. In the cubic system, the (111) plane has hexagonal symmetry. This is perfectly visible in the electron diffraction pattern in Figure 5.3b. In this case, the surface active molecules added during synthesis led to plates, the application of other organic agents may also lead to the formation of nanorods. The nanoplates displayed in Figure 5.3a are nearly atomically flat. Such gold platelets are applied in nanotechnology for manufacturing of small devices.

Altering the habit of nanoparticles is possible not only with metals, but also with ceramic materials. Such an example is displayed in Figure 5.5. Again a material, CuFe_2O_4 , crystallizing in a cubic structure (spinel structure) was forced by surface-active substances to crystallize as platelets, again with the (111) plane at the top. The magnetic properties of materials depend strongly on the anisotropy of the particles; therefore, to obtain very special properties one adjusts the shape of the particle during synthesis. Adding different amounts of surface-active molecules changes the shape from a plate to a rod [3].

Miller Indices to Describe Crystallographic Planes and Orientation

The *Miller* indices, a notation system applied to characterize planes and directions in a crystallographic lattice, are, in the simplest case, explained in a cubic lattice. Figure 5.4 shows a cubic cell and six different lattice planes indicated in gray and the associated *Miller* indices.

The *Miller* indices of a lattice plane are the reciprocal values of the intercept of the lattice planes with the axes of the coordinate system. The reciprocal intercept in the x -direction is denoted with h , in the y -direction with k , and in the z -direction with l . The coordinate system is normalized; it achieves the value 1 at the lattice constant a ; therefore, *Miller* indices are always integers. *Miller* indices of planes are written in round brackets (hkl) . The minus sign is denoted above the index, for example, $(\bar{1}12)$. The set of all planes with equivalent symmetry is denoted in curved brackets $\{hkl\}$. Crystallographic directions (lattice vectors) are written in square brackets, they designate a direction in the lattice from the origin to a point. Important: The vector $[hkl]$ is perpendicular to the plane (hkl) . The set of all lattice vectors perpendicular to the set of lattice planes $\{hkl\}$ is written in

arrow brackets (hkl) .

Studying the electron micrographs in Figures 5.3a and 5.5, one observes extremely smooth surfaces. This is not surprising, as any imperfection of the faces enlarges the surface and, therefore, the surface energy increases.

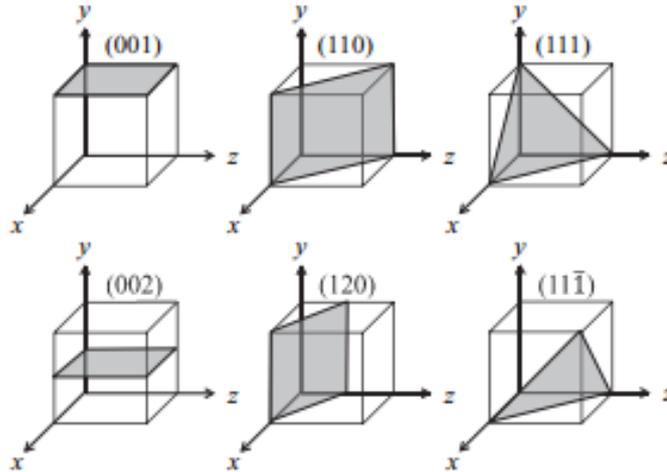


Figure 5.4 Six cubes, within each one a lattice plane is plotted together with the Miller indices.

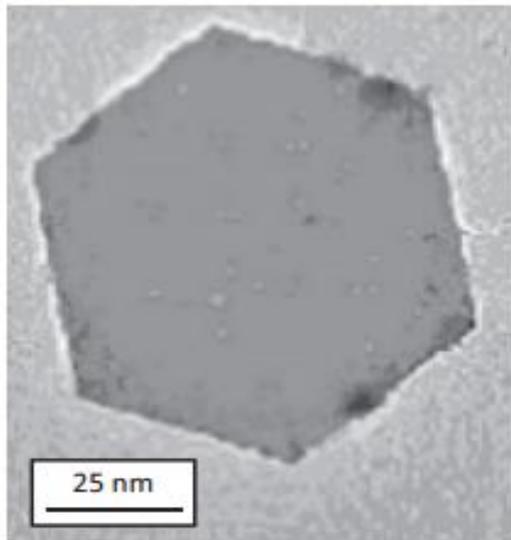


Figure 5.5 Electron micrograph of a CuFe_2O_4 platelet with the (111) plane at the top surface. The hexagonal shape deviates from the expected cubic one. It is obtained by adding surfactants to the solution to precipitate the ferrite [3]. (Reproduced with permission by Elsevier.)

One- and two-dimensional features, such as nanotubes and nanoplates, are often related to materials crystallizing in layered structures. Typical examples are BN, WS_2 , MoS_2 , WSe_2 , MoSe_2 , and, most important, carbon as graphite. In most cases, these are structures, where the layers are held together with *van der Waals* forces. An exception are layered silicates, mica, which are based on electrostatic

attraction between the layers and alkaline ions positioned in-between the layers. Within the layers, the ions are bonded covalently. The general appearance of particles crystallizing in layered structures is depicted in Figure 5.6. Such a crystal consists of a stack of independent layers. Depending on the bonding in-between the layers, the layers can be delaminated (singularized) by means of chemical or physical methods.

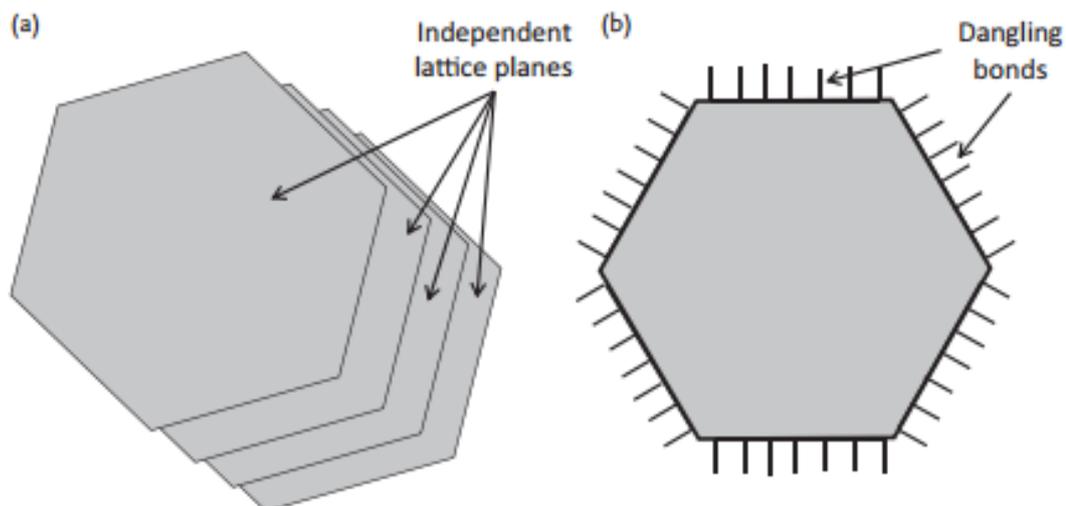


Figure 5.6 Layout of a particle that crystallizes in a layered structure. (a) Setup of such a particle. (b) One layer of a particle as depicted in Figure 5.6a. The dangling bonds at the circumference; indicated by

short lines, of the layer are not saturated. These dangling bonds require additional energy. Therefore, there is a strong tendency to saturate these dangling bonds.

Looking at the boundary of a singularized plate, as depicted in Figure 5.6b, one realizes unsaturated bonds, “dangling bonds”. The dangling bonds contribute to the total energy of the crystal. This contribution is negligible in the case of conventional particles; however, significant for nanoparticles. Therefore, there is a tendency to saturate these bonds. Nature has developed a number of methods to reduce the excess energy caused by the dangling bonds. The simplest way is just to add charge-compensating ions at the circumference of a layer. The next possibility, which is of extreme interest in connection to nanotechnology, is rolling up these layers to form a tube, nanotubes or fullerenes. (This important possibility will be discussed in a special section.) In the case of synthesis, such planes, respectively particles, with dangling bonds may touch each other. Also, this process may lead to a saturation of the bonds. A typical example of such a reaction product consisting of three tungsten disulphide, WS_2 particles is shown in Figure 5.7.

A further, very interesting possibility to obtain nanotubes is one-dimensional

crystallization; however, the number of compounds showing one-dimensional crystallization is quite small. The most important class of one-dimensional crystallizing compounds are allophanes, a special class of silicates. Allophanes are short-range-ordered aluminosilicates existing in a broad range of compositions, following the chemical formula $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{H}_2\text{O})_y$, with $1.3 < x < 2$ and $2.5 < y < 3$. Generally, allophanes crystallize in hollow spherules with diameters in the range between 3 and 5 nm. Under special conditions of synthesis and depending on the composition, one obtains tubes with a diameter in the range from 2 to 5 nm.

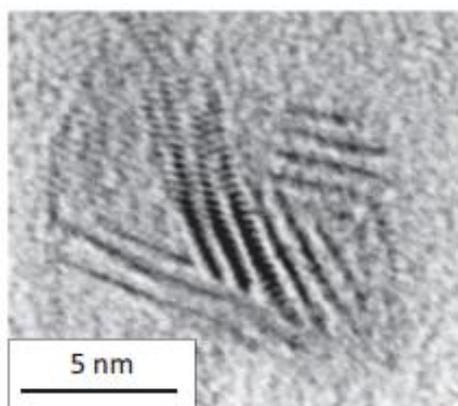


Figure 5.7 Three tungsten disulfide WS_2 nanoparticles, each one consisting only of a few lattice planes, bonded together to saturate dangling bonds at the circumference (Szabo, D.V., and Vollath, D., KIT, Germany, unpublished results (1998).)

The diameter of the tubes can be adjusted by the relative aluminum content. Additionally, some of the aluminum may be exchanged by iron ions with the same valence. This substitution influences the diameter and color of the tubes.

Comparing the three possibilities of producing one- and two-dimensional nanostructures, those related to layered compounds are, with respect to technical applications, the most important ones.

Imogolite, a One-Dimensional Silicate

An important compound in the group of one-dimensional silicates is imogolite, $(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot (\text{SiO}_2)_c \cdot 2.5(\text{H}_2\text{O})$. Imogolite tubes with this composition have an inside diameter around 1 nm and outside diameters of ca. 2 nm; both can be adjusted by the silicon / aluminum ratio. Figure 5.8 displays the atomic arrangement in a cross section of such an imogolite tube.

This structure of imogolite is characterized by aluminum, silicon, oxygen, and $(\text{OH})^-$ ions arranged in rings. The $(\text{OH})^-$ ions at the surface allow addition of (“functionalize”) organic molecules.

As shown in Figure 5.9, imogolite can be synthesized in long fibers.

Figure 5.9 displays wet-chemically synthesized imogolite fiber, which are in a diameter range from 5 to 30 nm [5]. The length of the tubes is in the micrometer range. The surface area of imogolite is experimentally determined in the range of $1000 \pm 100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. The *Mohs* hardness in the range from 2 to 3 is quite low. Even when the length of the fibers suggests the application as a filler in a composite with polymer matrix, the relatively low strength of these fibers keeps the advantage of such composites limited.

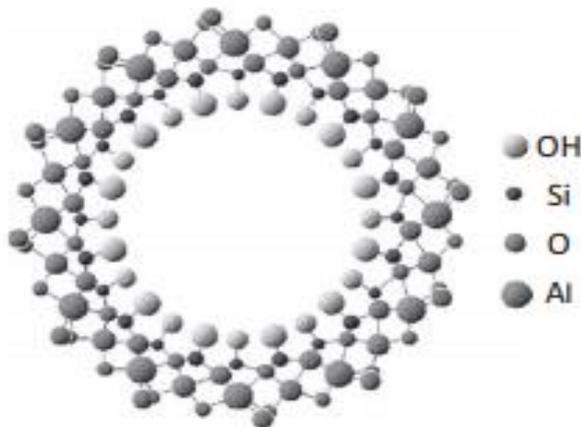


Figure 5.8 Atomic arrangement in an imogolite fiber with inside diameters of 1 nm and outside diameters of 2 nm. The diameter of the tubes can be adjusted by changing the silicon/aluminum ratio [4]. (Reproduced with permission by The Korean Chemical Society.)

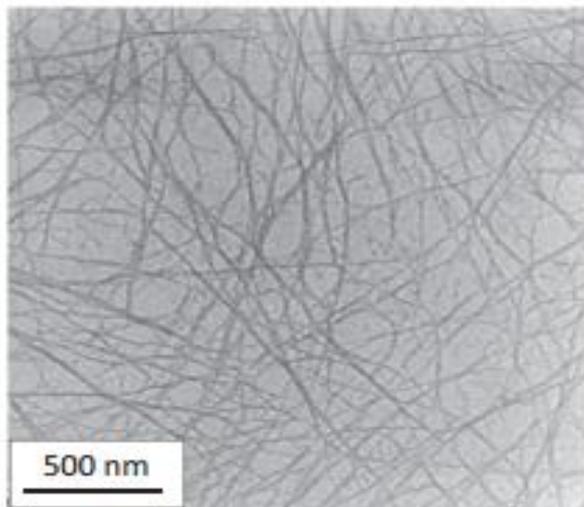


Figure 5.9 Bundle of imogolite fibers. (Koenderink *et al.* [5]) The fibers with diameters in the range from 5 to 30 nm are arranged in a bundle. The length of these fibers may be up to a few micrometers. (Reproduced with permission by Elsevier.)

Thermodynamics of Nanoparticles and Phase Transformations

Basic Considerations

The surface over volume ratio of nanoparticles is significantly larger as compared to that of macroscopic parts (see Chapter 3). As a surface is always connected to surface energy this large surface contributes significantly to the energy of a particle. Therefore, thermodynamic considerations must take note of this additional factor. Furthermore, one has to realize that nanoparticles are small; therefore, all quantities depending on the size have to be analyzed⁴. Looking at heat capacity, one would not expect a significant influence. However, knowing that heat capacity is based on lattice vibrations, which depend on the atomistic nature of the particles, one realizes that the amount and the modes of possible lattice vibrations in a small particle are different as compared with a large particle. Similar considerations are valid when looking at polycrystalline bodies consisting of grains in the nanometer range. In this case, the volume fraction of grain-boundary material is significant. As grain boundaries are less ordered as compared to well-crystallized material, one has to expect a notable influence on the thermodynamic quantities.

7.2

Influence of the Particle Size on Thermodynamic Properties and Phase Transformations

The free enthalpy of one particle, *Gibbs enthalpy* g , is defined as

$$g = u - Ts + \gamma a. \quad (7.1a)$$

In Eq. (7.1) u is the enthalpy, T the temperature, s the entropy, γ the surface energy, and a the surface of one particle. If the equation is related to one mole, the quantities are written in capital letters, as

$$G = U - TS + \gamma A. \quad (7.1b)$$

The surface energy γ is independent of the quantity, however, there is a dependency on the particle size, which is often observed, but until now not really

⁴*Nanoparticles - Nanocomposites - Nanomaterials: An Introduction for Beginners*, First Edition. Dieter Vollath. © 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published 2013 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

quantified; therefore, in most cases, this quantity is assumed to be independent of the particle size. To a first rough approximation, the molar quantities U and S may also be assumed to be particle-size independent. This allows us to rewrite Eqs. (7.1a) and (7.1b) as functions of the particle diameter d , using $u = \frac{U}{N} = U \frac{\rho \pi d^3}{6M}$, $s = \frac{S}{N} = S \frac{\rho \pi d^3}{6M}$, $a = \frac{A}{N} = A \frac{\rho \pi d^3}{6M}$, and $a = \pi d^2$,

$$g = U \frac{\rho \pi d^3}{6M} - TS \frac{\rho \pi d^3}{6M} + \gamma d^2 \pi, \quad (7.2a)$$

$$G = U - TS + \gamma \frac{M}{\rho v} a = U - TS + \gamma \frac{M}{\rho} \frac{6}{d}. \quad (7.2b)$$

In these equations, N stands for the number of particles per mol, M for the molecular weight and ρ for the density of the material. For thermodynamic considerations, most important are the molar quantities as they are given in Eq. (7.2b). To analyze phase transformations; the surface energy of the different phases, for example, solid or liquid must be taken into account. The same is valid for the volume change connected to phase transformations. Looking at Eq. (7.2b), one realizes that the free enthalpy increases with decreasing particle diameter. As an example, Figure 7.1 displays the molar surface energy of solid and liquid gold in comparison to the molar enthalpy of melting.

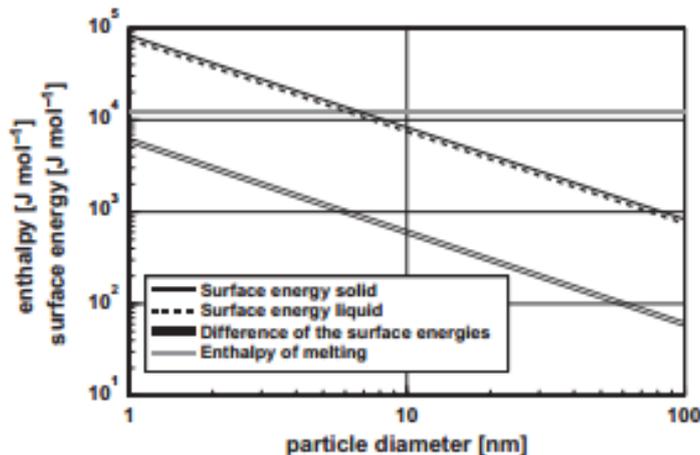


Figure 7.1 Surface energy of solid and liquid gold in comparison with the enthalpy of melting. One sees that the difference of the two surface energies is close to the enthalpy

of melting. This graph was calculated assuming that the quantities U , S , and γ are independent of the particle size.

Analyzing Figure 7.1, one realizes that the surface energy in the solid and liquid states are significantly larger than the enthalpy of melting; even the

difference of the surface energies is, in the case of small particles in the same range of energy as the enthalpy of melting. Therefore, one may expect a significant influence of particle size, via the surface energy, on the melting behavior. This statement is valid not only for the melting process, but for any other phase transformation, too.

The question on the influence of the particle size on the melting temperature is quite old. The first answers, based on strict application of equilibrium thermodynamics, were given at the end of the nineteenth century. More generally, to calculate the influence of the particle size on phase transformations, one has to look at the equilibrium between the parent phase, called “old” and the other phase, called “new”. At equilibrium, the relation

$$G_{\text{old}} = G_{\text{new}} \quad (7.3)$$

is valid. Figure 7.2 depicts this situation for the case of melting, respectively, crystallization as phase transformation. The temperature, where the free enthalpy of the parent phase (e.g., solid phase) G_{old} is in equilibrium with the new phase (in this example the liquid phase), G_{new} is often called the “crossing temperature”. At this temperature, the difference of the free enthalpy ΔG_{trans} is nil.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
3. www.mitht.ru/e-library
4. www.crism-prometey.ru
5. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech_Uni_Berlin
6. www.nanonewsnet.ru
7. www.nanobot.ru

IV. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-амалий машғулот

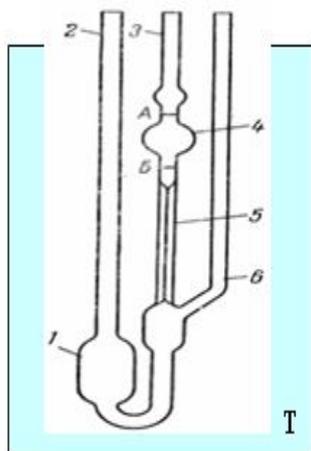
Металл комплекслар шаклланишини гидродинамик тадқиқот қилиш

Ишнинг мақсади. Металл ионларини полимер макроионлари билан металл-комплекслар ҳосил қилишини, уларнинг оқувчанлигини, яъни қовушоқлигини ўзгаришини гидродинамик усулда назорат қилиш орқали тадқиқот қилишни ўзлаштириш. Маълумки, эритмада металл-комплекслар каби янги фаза ҳосил бўлса, унда ички ишқалиш, яъни қовушоқлик ўзгаради. Бундай ўзгаришни энг оддий гидродинамик усулда, яъни вискозиметрия ёрдамида назорат қилиш самаралидир. Ушбу машғулотда айнан шу усулнинг имкониятлари ўзлаштирилади.

Намуна ва реагент: Na-КМЦ полимери, CuCl_2 тузи, дистилланган сув.

Қурилма ва жиҳозлар: Уббелоде капиллярли вискозиметри (1-расм), шиша термостат, пипеткалар ($1 \div 10 \text{ см}^3$), секундомер, резина груша.

Тадқиқот бажариш усули. Na-КМЦ намунасининг ва CuCl_2 нинг сувда концентрациялари $C = 0,1 \%$ бўлган эритмалари тайёрланади. **Биринчи босқич.** Дастлаб вискозиметрда $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ҳароратда дистилланган сувнинг оқиш вақти (t_0) ўлчанади ва вискозиметрдан сувни тукиб қурилади. Сўнг Na-КМЦ нинг ($C = 0,1 \%$) эритмасидан 10 мл вискозиметрга солинади ва унинг



оқиш вақти (t_i) аниқланади. Кейинги эса бевосита вискозиметрда Na-КМЦ эритмасига 2 мл сув солиб суюлтирилади ва унинг оқиш вақти (t_i) ўлчанади. Бундай ўлчаш эритмага $V_i = 2 \text{ мл}; 2 \text{ мл}; 4 \text{ мл}; 4 \text{ мл}; 8 \text{ мл}$ сув қўшиб суюлтирилган ҳолда такрорланади. Ундан сўнг вискозиметр дистилланган сувда ювиб қурилади. Натижалар 1-жадвалга ёзиб борилади.

1-расм. Уббелоде капиллярли вискозиметри

Иккинчи босқич. Дастлаб вискозиметрда $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ҳароратда CuCl_2 сувдаги ($C = 0,1 \%$) эритмасининг оқиш вақти (t_0) ўлчанади ва вискозиметрдан сувни тукиб қурилади. Сўнг Na-КМЦ нинг ($C = 0,1 \%$) эритмасидан 10 мл вискозиметрга солинади ва унинг оқиш вақти (t_i) яна бир бор ўлчанади. Кейинги эса бевосита вискозиметрда Na-КМЦ эритмасига 2 мл

CuCl₂ сувдаги (C = 0,1 %) эритмаси солиб суюлтирилади ва унинг оқиш вақти (t_i) ўлчанади. Бундай ўлчаш эритмага яна V_i = 2 мл; 2 мл; 4 мл; 4 мл; 8 мл CuCl₂ эритмаси қўшиб суюлтирилган ҳолда такрорланади. Натижалар 1-жадвалга ёзиб борилади. Вискозиметр дистилланган сувда ювиб қурилади.

1-жадвал

№	t _o , с	t _i , с	η _{нис}	η _{сол}	η _{сол} /C, дл/г	C, г/дл
Na-КМЦ эритмаси						
1						
2						
3						
4						
5						
Na-КМЦ эритмаси ва CuCl ₂ эритмаси аралашмалари						
1						
2						
3						
4						
5						

Вискозиметрик ўлчашларда эритманинг оқиш вақти (t_i) эритувчи оқиб тушиш вақти (t_o) га нисбати эритма қовушоқлиги (η_i) ни эритувчи қовушоқлиги (η_o) га нисбатига пропорционаллик принципи мавжуд бўлиб, унга мувофиқ нисбий қовушоқлик (η_{нис}) қуйидагича топилади

$$t_i / t_o \approx \eta_i / \eta_o = \eta_{\text{нис}} \quad (1)$$

Бундан солиштирма қовушоқлик (η_{сол}) қуйидагича аниқланади

$$\eta_{\text{сол}} = \eta_{\text{нис}} - 1 \quad (2)$$

Концентрациянинг ўзгаришлари (C_i) қуйидагича ҳисобланади

$$C_i = C_1 V_1 / (V_1 + V_i) \quad (3)$$

Эритманинг ҳар бир C_i лари учун келтирилган қовушоқлик (η_{кел}) аниқланади

$$\eta_{\text{кел}} = \eta_{\text{сол}} / C \quad (4)$$

Ўлчаш ва ҳисоблашлар натижалари 1-жадвалга киритилади.

Na-КМЦ сувдаги ва CuCl₂ даги эритмалари учун η_{сол} /C ни C га

боғланиш графиклари тузилади.

Ҳисобот. Тажриба натижалари ва ҳисоблашлар асосида тузилган боғланиш графикларида кузатидиган фарқ бўйича металл-полимер комплекс ҳосил бўлгани, яъни янги материал шаклланганлиги баҳоланади.

Фойдаланилган адабиётлар.

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
3. www.nanometer.ru/

2-амалий машғулот

Термопластлар асосида қатламли материаллар шакллантиришни намойиш этиш

Ишнинг мазмун ва моҳияти. Амалий жиҳатдан кенг қўлланиб келинаётган полиэтилен гранулалар ва полиэтилентерефталат толалар асосида термомеханик пресслаш усулида қатламли материаллар шакллантириш приципларини ўзлаштириш. Олинган қатламли материалларнинг сифатини ушбу термопластлар асосида ишлаб чиқарилаётган ва автомобил созиқда амалий қўлланиб келинаётган шу каби қатламли материаллар билан қиёсий таққослаш.

Тажриба намуналари: Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) толалари ва полиэтилен (ПЭ) гранулалари. **Қурилма ва жиҳозлар:** Термомеханик пресслаш лаборатория қурилмаси, терморара - инкаторли тестер, пресслаш юклари (1 - 10 кг).



Ҳисобот. Қурилмани амалий ишлаш принципи тушунтирилади
Фойдаланилган адабиётлар.

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
3. www.nanometer.ru/

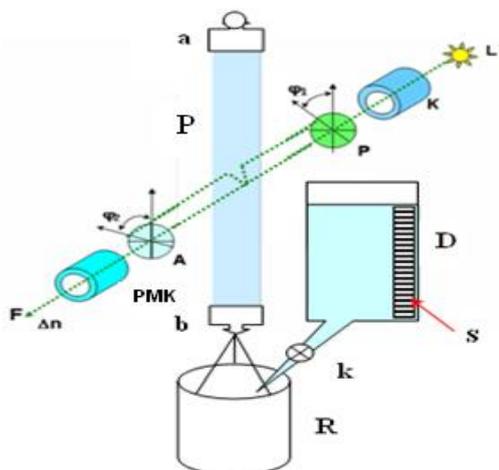
3-амалий машғулот

**Пленкалар анизотропик хоссаларини
поляризацион-оптик усулда тадқиқ этиш**

Шаффоф полиэтилен пленканинг деформацион чўзишда руй берадиган механо-анизотропик ўзгаришларини поляризацион-оптик усулда назорат қилишни ўзлаштириш. Қўш нур синиши кўрсаткичини қайд этиш орқали пленканинг деформацион ўзгаришдаги ориентация факторини аниқлаш. Оптик ва механик анизотропиялар ўзаро боғлиқлигини таҳлил қилиш.

Полиетилен пленка. Шаффоф полиэтилен пленкадан эни 1 см этиб тасма ($П$) кесилади ва махсус поляризацион-оптик қурилмага қуйидаги схема бўйича поляризацион нур йўналишига перпендикуляр вертикал тарзда ўрнатилади (1-расм). Бунда юқоридан кўзгалмас қисқич (a) билан пленка тутиб турилади ва қуйидан махсус идиш (P) га қисқич (b) орқали бириктирилади. Ичида дистилланган сув бўлган шиша идиш ($Д$) дан кран ($к$) очилиши билан (P) га сув оқиб туша бошлайди ва унинг ҳажми (V , мл) махсус шкала (c) ёрдамида ўлчаб борилади. Сувнинг ҳажми (V) ва масса (m)

си тенглигидан идиш (P) да массаси ошиши билан пленкани бирлик юзаси (C) га таъсир этиб деформацион чўзадиган механик куч ($\Phi = m\sigma$) ва кучланиш ($\sigma = \Phi/C$) вужудга келади.



1-расм. Пленка учун махсус поляризацион-оптик қурилма чизмаси

Ўлчаишлар. Тажрибалар $\lambda = 0,56 \cdot 10^{-4}$ см тўлқин узунлигида α_1 , α_2 ва δ нинг миқдорларини σ нинг пленкани узишгача бўлган миқдорлари диапазонида ўлчаш орқали амалга оширилади. Натижалар қуйидаги 1-жадвалга қайд этилади ва ҳисобланади.

1-жадвал. Тадқиқот натижалари ва уларнинг ҳисобланиши

$\sigma, \text{Па}$	$\delta, \text{см}$	$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$	δn	δn_0	b

Ҳисобот. Тадқиқот натижалари асосида макромолекулалар ориентация фактори (b) ни кучланиш (σ) га боғланиш графиги тузилади ҳамда кучланиш остида конформатсион ўзгаришлар моҳияти таҳлил қилинади.

Фодаланилган адабиётлар.

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
3. www.mitht.ru/e-library
4. www.crisp-prometey.ru

4-амалий машғулот

Материаллар ғоваклигини сорбцион усулда аниқлаш принциплари

Сорбцион усул принципи сув буғларини материал таркибига диффузион кириб боришини назорат қилишга асосланган бўлиб, унинг ёрдамида сорбцион жараён кинетикаси, материалдаги ғобакларнинг ўлчамлари, солиштирма сирти ва ҳажми каби кўрсаткичлар аниқланади. Амалий машғулотда ушбу параметрларни амалий аниқлашнинг асосий принциплари ўзлаштирилади.

Сорбентнинг солиштирма сиртини ҳисоблаш. Сорбция C-симон

изотерма билан тавсифланса, сорбентнинг солиштирма сирти (C_{col}) одатда Брунауер, эммет ва Теллер тавсия этган тенглама (қисқача БЕТ усулиси) ёрдамида ҳисобланади:

$$(p_1/p_1^0)/a(1 - p_1/p_1^0) = (1/Ca_m) + (C - 1)/Ca_m](n_1/n_1^0) \quad (1)$$

бу ерда p_1 – сорбент атрофидаги бўғ сорбатнинг мувозанатли босими; p_1^0 – тўйинган бўғ сорбатнинг босими; сорбсияланган модданинг концентратсияси, *мол/г*; a_m – яхлит мономолекуляр қатламдаги модданинг концентратсияси, *мол/г*; C – доимий.

Усбу тенгламага биноан $(p_1/p_1^0)/a(1 - p_1/p_1^0)$ нинг (p_1/p_1^0) га боғланиши тўғри чизиқли бўлиб, тангенс бурчак бўйича оғиши k ва ордината ўқини кесиб ўтганда ҳосил болган кесмаси b дан a_m ва C миқдорларини ҳисоблаш мумкин:

$$a_m = 1/(k + b) \quad C = (k + b)/b \quad (2)$$

бунга биноан сорбент солиштирма сирти қуйидагича ҳисобланади:

$$C_{col} = a_m \omega N_A * 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{г} \quad (3)$$

бу ерда $N_A = 6,02 * 10^{23} \text{ мол}^{-1}$ - Авогадро сони; ω - битта молекула эгаллаган юза бўлиб, у қуйидаги тенглама бойича ҳисобланади:

$$\omega = 4 * 0,866 (M/4(2\delta N_A)^{1/2})^{2/3} \quad (4)$$

бу ерда M – сорбсияланадиган модда молекуляр массаси; δ – унинг зичлиги.

Сорбент ғовакларининг умумий ҳажмини ҳисоблаш. Бир жинсли – юпкағовакли сорбентлар умумий ғовакларини ҳажмини ҳисоблаш учун Дубинин ва Радушкевич тенграмаси қўлланилади:

$$lga = \lg(W_0/B) - 0,43B(\lg(p_1^0/p_1))^2 \quad (5)$$

бу ерда B - сорбатни 1 мол ҳажми; W_0 – ғовакларнинг умумий ҳажмига бўғларни суюқликка айланиб тўйинган ҳолатдаги ҳажми; a – сорбат миқдори; B – доимий.

(5) тенгламага биноан lga ва $\lg(p_1^0/p_1)^2$ боғланиш тўғри чизиқли бўлиб,

ордината ўқини кесиб ўтганда ҳосил болган кесмаси $b = lg(W_o/B)$ га тенг бўлиб, унда W_o - сорбент ғовакларининг умумий ҳажми ҳисобланади.

Ғоваклар радиусини ҳисоблаш ва дифференциал тақсимот графигини (ДТГ) тузиш. Агар C_{col} ва W_o маълум бўлса, ғоваклар ўртача радиусини $r_{\dot{y}p}$ куйидаги ифода бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$r_{\dot{y}p} = (2W_o/C_{col})10^4 \quad (6)$$

Шунингдек, ғоваклар радиусини (p) аниқлашда Келвин тенгламаси қўлланилади:

$$p = 2\sigma_c B / P T \lg(n_1/n_1^o) \quad (7)$$

бу ерда σ_c – сорбатнинг сирт таранглиги; P – универсал газ доимийси; T – ҳарорат.

Ғоваклар ҳажмини дифференциал тақсимот графини радиуслар бўйича тузиш учун десорбсия изотермаси асосида амалга оширилиши мумкин. Бунинг учун десорбсия изотермаси бир нечта интервалларга бўлинади ва ҳар бир интервал учун десорбсияланган модданинг (Δa) миллимоллари сони ҳамда шу интервал четки нуқталарига мос келган радиуслар фарқи ($r_1 - r_2$) бўйича ўртача миқдори ($r_{\dot{y}p}$) топилади, яъни

$$r_{\dot{y}p} = (r_1 - r_2)/2 \quad (8)$$

Десорбсия миқдори эса бўғни суюлтирилган ҳажми ΔB бўйича ҳисобланади:

$$\Delta B = \Delta a B \quad (9)$$

(8) ва (9) асосида $\Delta B/B - r_{\dot{y}p}$ боғланиш графиги, яъни ДТГ тузилади.

Полимер сорбентлар таснифлари бўйича 4 турга бўлинади:

- ғоваксиз сорбентлар: С-симон изотермали, $W_o = 0$ ва $C_{col} = 1 - 7 \text{ м}^2/\text{г}$;
- микроғовакли, ёки бир жинсли-юпка ғовакли сорбентлар: Г-симон изотермали, $r_{\dot{y}p} \leq 15 \text{ \AA}$ ва $W_o \leq 15 \text{ см}^3/\text{г}$;
- ўзгарувчан ғовакли сорбентлар: С-симон изотермали, $15 \leq r_{\dot{y}p} \leq 2000 \text{ \AA}$, W_o

$$= 0,8 \text{ см}^3/\text{г} \text{ ва } C_{\text{сол}} = 700 - 900 \text{ м}^2/\text{г};$$

- микроговакли полимер сорбентлар: С-симон изотермали, $1 \leq r_{\text{ўр}} \leq 10000 \text{ \AA}$.

Шуни таъкидлаш жоизки, полимерларнинг куйимолекуляр бирикмаларни сорбсиялаш механизми жуда мураккаб бўлиб, у жуда кўп факторларга бўғлиқдир. Бунда сорбат ва полимернинг термодинамик жижатдан ўхшашлиги муҳимдир. Сорбсия жараёни туфайли полимер турли даражада ҳажмини ўзгартириши ва бу жараён турли механизмлар бўйича амалга ошиши мумкин.

Ҳисобот. Сорбцион параметрларни амалий аниқлашнинг асосий принциплари ўзлаштирилади ва тушунтирилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
3. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
4. www.crisp-prometey.ru
5. www.nanobot.ru

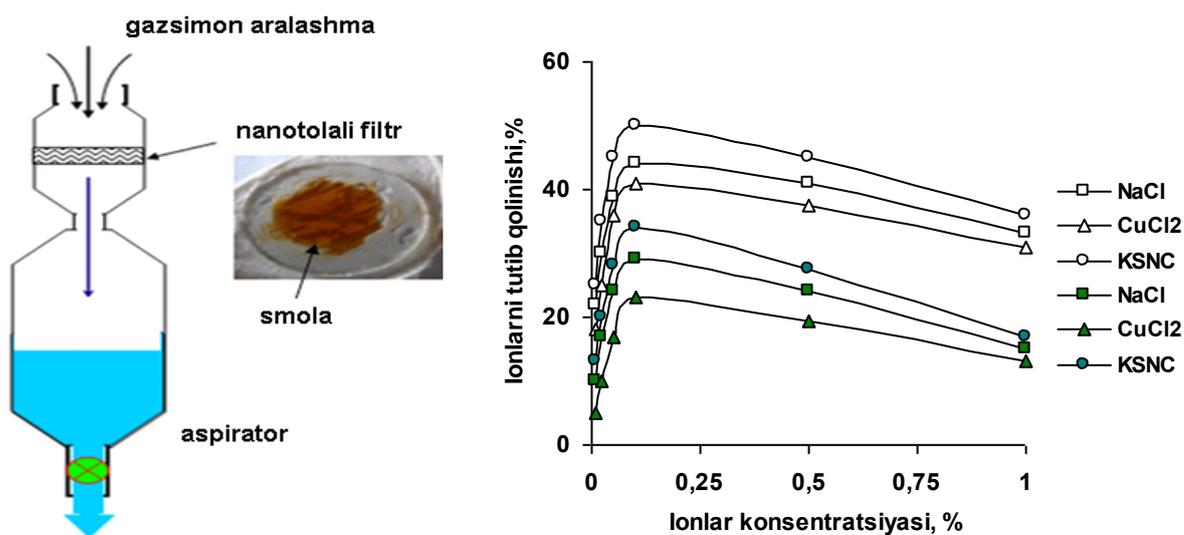
5-амалий машғулот

Наночаҳилтр материалларнинг самарадорлигини баҳолаш

Наночаҳилтр нотўқима материаллар ғобакларининг наночаҳилзонда бўлиши, улар асосида наночаҳилтрлар тайёрлаш имкониятини беради. Бундай материаллар муҳим икки жиҳати билан бошқа чаҳилтрлардан фарқланади: биринчидан, наночаҳилчамли заррачаларни чаҳилтрайди, иккинчидан, наночаҳилтрларнинг сиртий фаоллиги ҳисобига ғобаклар чаҳилтрланаётган моддаларни селектив тарзда ушлаб қолиш имкониятига эга бўлади. Ушбу жараёнлар машғулотда амалий ўзлаштирилади.

Наночаҳилтрларнинг суюқликларни чаҳилтрлашдаги самарадорлигини аниқлаш учун наночаҳилтрлар билан қиёсий таққослаш тажрибалар

ўтказилган. Бунда турли концентрацияли туз ионлари ушбу толалар асосида олинган нотўқима материаллар орқали филтрлашда тутиб қолинган ионлар миқдори аниқланган. Натижалар тузлар концентрацияси 0,1 % гача ошиб боргунча ионларни тутиб қолиш жадал тарзда амалга ошишини, тузлар концентрацияси 0,1 % дан катта бўлган соҳада ионларни тутиб қолиш бироз сусайишини кўрсатган. Бунда нанотолали материал микротолали материалга нисбатан 1,5 мартадан кўпроқ ионларини тутиб қолган.



1-расм. Наночелтвр ускунаси чизмаси (а), со-АН наночелтвали (оқ белгили) ва микротолали (қора белгили) филтрларини ионларни тутиб қолишни қобилиятини концентрацияга боғлиқлиги қиёсий таҳлили (б)

Ҳисобот. Наночелтврнинг самадорлиги синаш натижалари таҳлил қилинади

Фойдаланилган адабиётлар

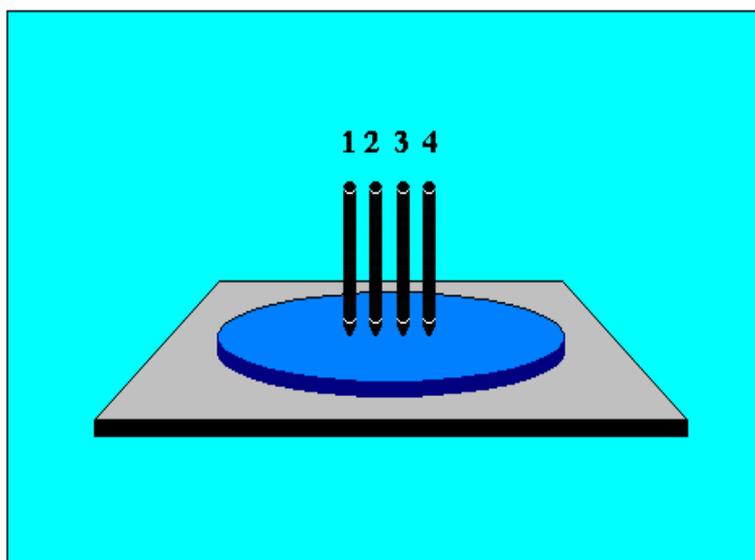
1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.
3. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
4. www.mitht.ru/e-library
5. www.nanobot.ru

6-амалий машғулот

Наноқатламли материалларнинг электрофизик хоссалари

Яримўтказгичли металлоксидлар асосида шакллантирилган наноқатламли материалларнинг солиштирма электр ўтказувчанлигини тўрт зондли усулда аниқлашнинг принципиал жиҳатлари ўзлаштирилади. Тажрибалар махсус йиғилган қурилмада ўтказилади ва тадқиқот натижалари асосида наноматериалнинг электр ўтказувчанлик қобилияти баҳоланади.

Тажриба усули.



1-расм. Яримўтказгич пластинаси сиртида зондларнинг жойлашиши.

Ҳисобот. Тажриба усулини амалий қўллаш ва натижаларни таҳлил принциплари тушунтилади.

Фойдаланилган адабиётлар

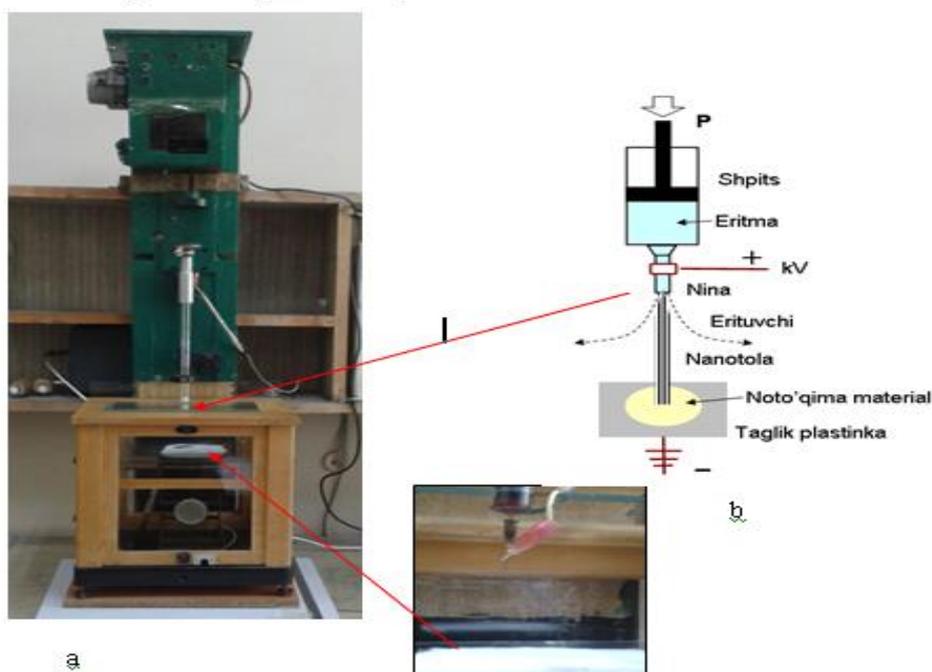
1. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.
2. Richard J. D. Tilley Understanding solids : the science of materials. -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. www.mitht.ru/e-library

7-амалий машғулот (кўчма)

Нанотолалар шакллантиришнинг электроспиннинг усули

Юқори кучланиш таъсирида фильерадан (анод) чиқаётган эритмани экранга (катод) тортилиши туфайли эритувчини буғланиб кетиши ва макромолекуляр занжирларни бир бирига ориентацион ўралиб қалинлиги наноўлчамларда бўлган толалар, яъни нанотолалар шакллантирилади. Ушбу амалий машғулотда мазкур жараён амалга оширишнинг принципциал жиҳатлари ўзлаштирилади.

Тадқиқот усуллари.



Ҳисобот. Электроспиннинг усули ишлаш приципи тушунтирилади

Фойдаланилган адабиётлар

1. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GbH & Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
2. Feng Kai. In investigation on phase behavior and orientation factor of electrospun nanofibers. The Uni. of Tennessee, Knoxville (US), 2005. –P. 106.
3. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
4. www.mitht.ru/e-library
5. www.nanobot.ru

8-амалий машғулот (кўчма)

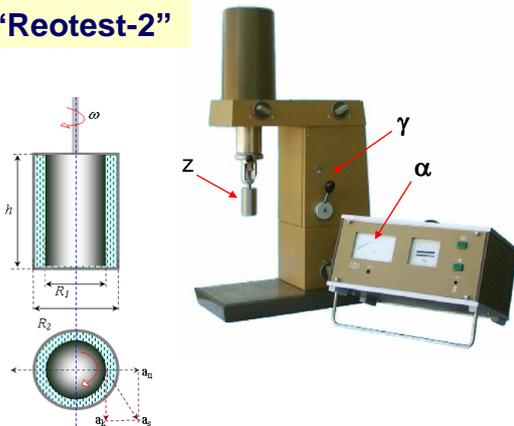
Нанодисперс тизимларнинг реологик хоссалари

Нанодисперс тизимлар, яъни таркибида наноўлчамли заррачалари бўлган концентранган эритма ёки гелнинг оқишида деформационн ўзгаришларини, яъни реологик тавсифлари, жумладан, эффектив ковушоқлиги ва ковушоқ оқувчанлигининг фаоллик энергияларини аниқлашнинг принциплари ўзлаштирилади. Ушбу амалиёт тадқиқоти “Реотест-2” қурилмасида ёки махсус йиғилган “Реометр” қурилмасида ўтказилади.

Тадқиқот қурилмаси. Реотест-2 қурилмаси, S/S_2 - соаксиал цилиндрлар тизими ва уни доимийси $z = 8,06$ (1-расм).

Ўлчашлар. Тажрибалар II б режимда силжиш майдонини γ нинг 12 ҳолатида ўтказилади. Бунда индикатор кўрсаткичи α ни миқдори қайд этилади ва силжиш кучланиши $\sigma = \alpha \cdot z$ дан аниқланади ҳамда 1-жадвалга киритилади.

“Reotest-2”



1-расм. Реотест-2 қурилмаси

Эффектив ковушоқлик $\eta_{эфф.} = \sigma/\dot{\gamma}$ ҳисобланади ва натурал логарифм ($\ln \eta_{эфф.}$) миқдори топилади. Тажрибалар $25, 40, 55, 70$ °C да ўтказилади ва ҳар ҳарорат учун $\ln \eta_{эфф.}$ ни g га боғлиқлик графиги тузилади ҳамда $C \rightarrow 0$

шартидан $\eta_{эфф} = \eta$ миқдори топилади. Натижалар асосида эйринг-Френкел формуласи (1) га биноан η ни $1/T$ га боғланиш графиги тузилади ва оғиш бурчагидан E_a ни миқдори аниқланади.

Ҳисобот. Натижалар асосида аниқланган E_a ни миқдори адабиёт маълумотлари билан қиёсий таққосланади ва унинг моҳияти таҳлил этилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2007. – P. 975.

2. Richard J. D. Tilley Understanding solids : the science of materials. -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GmbH &Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. www.mitht.ru/e-library
- 5 www.nanobot.ru

НАЗОРАТ САВОЛЛАР:

1. Материалшунослик нима ҳақидаги фан?
3. Материалшунослик предмети нима?
4. Наноматериалшунослик нима?
5. Замонавий материалшунослик нималарни ўз ичига олади?
6. Металл ва керамик материаллар таркибига нималардан иборат?
7. Металл нанозаррачаларни барқарорлаштиришда нима учун керак?
8. Қандай материаллар “ақлли” материаллар деб юритилади?
9. Композитлар деганда нимани тушунаси?
10. Полимер материаллар бошқа материалларда қандай фарқланади?
11. Электроник материаллар қандай принципитал жиҳатлар эга бўлиши керак?
12. Керамик материаллар асосини нималар ташкил этади?
13. Металлар на нонетемалл материаллар турлари нималардан иборат?
14. Металларнинг асосий хусусиятлари ва материалшуносликдаги роли?
15. Материалларнинг аморф-кристалл ҳолатлари деганда нимани тушунаси?
16. Фазавий диаграммалар материалшуносликда нимани ифодалайди?
17. Керамика материалларнинг ютуқ томонлари нималарда акс этади?
18. Керамика ва металл аралашмалари асосида нималар шаклланади?
19. Полимерлар асосида қандай хоссали материаллар шакллантирилади?
20. Металл ва металл қотишмалар қандай афзалликларга эга?
21. Металлар, керамика ва полимерларда электр ўтказувчанликда қандай амалга ошади?
22. Шишалар ва уларнинг материалларини хоссалари қандай ўзгартирилади?
23. Термопластлар нима ва улар турига нималар киради?
24. Полимерларнинг тузилиши ва хоссаларининг ўзига хос жиҳатлари нима?
25. Композицион материал ва композитлар нима?
26. Композитлар асосий турлари ва йўналишлари нималардан иборат?
27. Табиий композитлар қандай мисоллар келтира оласиз?
28. Сунъий ва синтетик композицион материаллар қандай шаклланади?
29. Композитлар яратишнинг қандай физик омиллари мавжуд?
30. Керамик, металл ва полимер композитларнинг принципитал фарқлари?
31. Қотишмалар ва композитлар қандай фарқланади?
32. Композитлар фазалараро чегаралар нимани англатади?
33. Композитларда компонентлараро боғлар қай даражада бўлади?
34. Композитлар морфологиси ва хоссалари қандай боғлиққа эга?
35. Композитларда матрицанинг роли нимадан иборат?

36. Армирлаш нимани англатади ва композитларда роли қандай?
37. Толали армирлашда толаларнинг қандай турлари мавжуд?
38. Композитларда ноёб хоссалар қандай бошқарилади?
39. Аралашма ва композитлар бири биридан қандай фарқланади?
40. Электроспиннинг усулида нималар шакллантирилади?
41. Нано – қўшимчаси қандай маънони англатади?
42. Балк – технология нима?
43. Нанотехнология таърифини айтинг?
44. Ассемблер нима?
45. Оқсил синтезланиш жараёнини тушунтиринг?
46. и-РНК ва т- РНКлар нима вазифани бажаради?
47. Биринчи нанотранзистор қачон яратилган?
48. СТМ нима ва у қандай ишлайди?
49. АКМ ишлашини тушунтиринг.
50. Ўз – ўзини йиғиш деганда нимани тушунасиз?
51. Фуллерен қачон кашф этилган?
52. Нанонайча қандай тузилган?
53. Нанонайча қўлланилишига мисоллар келтиринг.
54. Нанотехнологиялар қандай хатарлар келтириб чиқариши мумкин?
55. Ривожланган давлатларда нанотехнологияларга қандай эътибор берилмоқда?
56. Яримўтказгичли нанодиод ва нанотранзистор қандай ишлайди?
57. Интеграл схема деганда нимани тушунасиз?
58. Микро- наносхемалар қилинишида қандай асосий босқичлар мавжуд?
59. МЕМС ва НЕМС технологияларини тушунтириб беринг?
60. Наносенсорларнинг қандай турлари мавжуд?
61. “Ақлли чанг” лар қаерларда қўлланилади?
62. Наноэлектроника ривожланишининг уч асосий йўналишлари нима?
63. Нано- ва спинтроника нима?
64. Наномоторларнинг қандай турларини биласиз?
65. Наноструктурали материаллар технологияси нимага асосланади?
66. Доимий кучланиш нанотолалар шаклланишида қандай роль ўйнайди?

V. КЕЙСЛАР БАНКИ

Мини-кейс 1.

«Эксперт кенгаши: интилиш ва юксалиш?»

Тингловчиларни билимини баҳолашда уларни билиши талаб этилган меъёр даражасида синов ўтказилади. Материалларни яхши ўзлаштирган тингловчилар баҳоланган сўнг одатда эришган билимлари доирасида тўхтаб қолади ва кўшимча билимини юксалтиришга интилмайди. Материалларни яхши ўзлаштирмаган тингловчилар баҳолаш синовидан озод қилишларини хоҳлайди ва унга интиладилар, аммо билими тиклаш интилмайдилар.

Нега бундай вазият кузатилади? Буни бартараф этиш учун ўзингизнинг таклифингизни беринг.

Мини-кейс 2.

“Композицион материалларнинг сифатига жавобгар – уларнинг таркибий компонентларининг физик хоссаларидир”

Заводда ҳар бир партиядо ишлаб чиқарилган композицион материаллар сифати ўзгариб туради ва бу ҳол доимий назоратда бўлади. МСифатни яхшилаш учун технологик параметрларни қайта танлаш ва компонентларни қайта синовдан ўтказиш талаб этилади. Бундай йўл тутиш заводни маълум муддат тўхтатишга сабаб бўлиши мумкин. Шунда техник кенгаш ва етакчи мутахассислар вазиятдан чиқиб кетиш учун турли хилдаги ўз фикрлари билдиради. Оптимал ечим топишгач уни амалга ошириш учун қарор қилинади.

Нега бундай вазият кузатилади? Буни бартараф этиш учун ўзингизнинг таклифингизни беринг. Композит ишлаб чиқарувчилар қандай йўл тутиши керак?

Мини-кейс 3.

«Наноматериалларнинг юқори самарали хоссаларга эга эканлиги маълум, аммо бундай кўз билан кўриб бўлмайдиган материалларнинг хоссалари қандай аниқланади»

Маълумки наноматериаллар асл ўлчамини электрон микроскоплар орқали аниқлаш мумкин. Унинг хоссаларини айнан ўлчами боғлиқ эканлиги бўлиши учун ўша диапазонда хос тадқиқотлар ёки текширувлар ўтказиш лозим бўлади. Шу боис махсус синов қўлмалари керак бўлади. Лекин наноматериаллар асосида микро- ёки ундан каттароқ материаллар шакллантирилса уларни хоссалари аниқлаш имконияти ошади. Бундай йўл тутилган аниқланган хосса нано материалга тегишлими ёки микроматериалгами деган савол вужудга келади. Бундай муаммоли вазиятни бартараф этиш жиддий илмий ёндашишни тақозо этади.

Ушбу муаммоли вазиятни бартараф этиш бўйича ўз фикрингизни билдиринг. Наноматериалнинг ноёб хоссаларини тўғридан тўғри аниқлаб

бўладими?

Овоза қилиш - афиширлаш

Асосий кейсни ишлаб чиқиш.

Ҳар бир гуруҳ миникейсларни ишлаб чиқишда асосий кейсни ечимини топиш бўйича эришган билимлари бўйича ўзининг таклифини беради. Бунинг натижасида у ёки бу қарор қабул қилинади ёки хулосага келинади.

IV босқич. Рефлексия

«Рефлексия савати»

Тингловчилар синф-устасини ишини баҳолайди. Ўзининг тақризини махсус саватга солишади.

Кейс ўтказиш бўйича умумий хулоса қилинг (ассесмент).



VI. МУСТАҚИЛ ТАЪЛИМ МАВЗУЛАРИ

Мустақил ишни ташкил этишнинг шакли ва мазмуни

Тингловчи мустақил ишни муайян модулни хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиб тайёрлаши тавсия этилади:

- меъёрий хужжатлардан, ўқув ва илмий адабиётлардан фойдаланиш асосида модул мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи дастурлар билан ишлаш;
- махсус адабиётлар бўйича модул бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- тингловчининг касбий фаолияти билан боғлиқ бўлган модул бўлимлари ва мавзуларни чуқур ўрганиш.

Мустақил таълим мавзулари

1. Замонавий материалшунослик таснифи (классификацияси)
2. Материалшунослик физикасининг устувор ва истиқболли йўналишлари.
3. Замонавий материалшуносликда илғор ривожланиш тенденциялари
4. Замонавий материалшуносликнинг таянч фанлари ва уларнинг бир бири билан узвий боғлиқлиги
5. Материалшунослик тарихи: ўтмиши, бугуни ва эртаси.
6. Материалларнинг махсус ва ноёб физик хоссалари ҳамда уларнинг намоён бўлиш принциплари
7. Металл материаллар физикаси ва уларнинг инсоният тарақиётидаги ўрни
8. Материалшунослик физикаси ва муҳандислигининг узвийлиги
9. Керамик материаллар физикаси ва уларнинг амалий аҳамиятлари
10. Полимер материаллар физикаси ва унинг полимерлар кимёси ва технологиялари фанлари билан боғлиқлиги
11. Полимер композитлар ва уларнинг устувор жиҳатлари
12. Металл-керамик ва полимер-металл комплекслар ва композитлар.

13. Композитларда матрицалар, тўлдирувчилар ва пластификаторларнинг роли ва уларнинг физик хоссаларни бошқариш имкониятлари
14. Ақлли (smart) материаллар физикаси ва уларнинг ноёб жиҳатлари
15. Материалларда хотира тушунчаси ва унинг намоён бўлиш принциплари
16. Электроник материаллар ва уларнинг замонавий компьютер технологияларидаги ўрни.
17. Нанообъектлар ва уларнинг физик тавсифлари ва амалий қўлланиш имкониятлари
18. Нанозаррачалар ва наноструктураларнинг шаклланиш усуллари ва нанотехнологиялар.
19. Замонавий материалшуносликда нанофизика ва наноматериалшунослик ўрни ва истиқболлари
20. Материаллар морфологияси ва унинг амалий аҳамияти.
21. Материаллар шаффофлиги, изотроп ва анизотропик хоссалари ва уларнинг намоён бўлиш принциплари
22. Юқори эластик материаллар ва уларнинг амалиятда қўлланиш истиқболлари
23. Нанотолали нотўқима материаллар шаклланиши ва уларнинг амалий қўлланиш имкониятлари.
24. Керамик композитлар, ўтга чидамли материаллар ва уларнинг ишлаб чиқариш принциплари ва истиқболлари
25. Наноўлчамли материалларда электрофизик ва магнитик хоссалари намоён бўлишининг ўзига хос жиҳатлари.
26. Республикамизда жадал ривожланаётган материалшунослик соҳалари
27. Қуёш энергиясидан фойдаланишда материалшунослик фанлари ва технологияларнинг имкониятлари. Қуёш элементлари.
28. Биопарчаланувчин материаллар ва уларнинг табиатдаги муҳим ўрни
29. Янги авлод материаллари ва уларни яратиш имкониятлари
30. Ноёб материаллар ва уларнинг қайта ишлашнинг истиқболли йўллари.

VII. ГЛОССАРИЙ

Атама	Ўзбекча мазмуни	Инглизча мазмуни
Адсорбция	Қаттиқ материал сиртида газсимон ва суюқликлар молекулаларини контакт бўлишида боғланиши	Bonding of a thin layer of gaseous or liquid molecules to the surface of a solid or liquid with which they are in contact.
Аллотропия	Қаттиқ фаза сиртига модданинг бирор бир фазада (газ ёки суюқликни) чиқиши	The ability of a substance to exist in more than one phase in the solid (or indeed, liquid and gaseous) state.
Алюминий оксид	Алюминий оксид деб юритилади, Al_2O_3	Common name for aluminium oxide, Al_2O_3 .
Аморф	Норегуляр, тартибсиз кристалланмаган қаттиқ ҳолат	Without the regular, ordered structure of crystalline solids.
Аморф полимер	Молекуляр занжирлари норегуляр конформацияга эга бўлган полимер	A polymer in which the molecular chains exist in the irregular conformation
Анизотропия	Изотроп бўлмаган, яъни турли йўналишларда турли хоссалар намоён қиладиган материал	Not isotropic; i.e. having different properties in different directions.
Ақлли материаллар	Ташқи муҳит таъсирида ўзининг муҳим хоссаларини, тузилиши ва функциясини ўзгартириш қобилиятига эга бўлган материаллардир	The ability of a materials to exist in more than one properties, structural and functional change abilities in aspects of using their
Биоматериаллар	Организмга имплатат сифатида қўлланадиган материаллар.	The materials are used so implant in organism
Биопарчаланувчан (биодеградацион) полимер	Табиий жараёнлар ва бактериялар таъсирида маълум вақт давомида парчаланадиган полимер	A polymer which degrades over time through the action of bacteria and natural processes.
Боғ	Атомларни бир бирини тутиб турушни механизми боғдир. Бу механизм ҳамма вақт	As applied to atoms, the mechanism by which two (or more) atoms are held together. The mechanism is

	электронлар таъсирлашиш жараёнига асосланганжир. Боғлар ковалент, ион, металл ва вандерваальс боғлари турларига бўлинади.	always reliant on some electron process. Common types include covalent, ionic, metallic and van der Waals.
Десорбция	Молекулалари бириккан тизимда қаттиқ ва суюқ фвзаларни ажралиши.	Breaking of the bond holding molecules to the surface of a solid or liquid.
Замонавий материалшунослик фани	Замонавий ишлаб чиқаришнинг маълум шароитларида ишлайдиган конкрет маҳсулотлар учун материалларни рационал танлаш вазифасини ечиш учун хизмат қилади	The modern direction of material sciences which hold the aspects of production any materials and goods by rational choosing of their tasks and problems desolutions
Иккиламчи деформацияланиш	Материалнинг механик деформациясида материал чўзилишини намоён бўлиши.	Mechanical deformation of a material induces strain in the material.
Карбид	Углерод ва бирон бир металл асосидаги кампоунд материал	A compound of carbon and one or more metals.
Керамика	Одатий ион боғли материал, металл анионлар ва металлмас катионлар асосида бўлади.	A predominantly ionic bonded material made up of metallic anions and non-metallic cations.
Керамик материаллар	Таркибида металл ва нометалл элементлар ўзаро кимёвий бириккан ҳолда шаклланган ноорганик материалдир	The nonorganic materials are formed after chemical bonds metals and nonmetals in the volume of materials
Компонент (концигент)	Индивидуал кимёвий субтанция (элемент ёки қўшимча), қотишмага қўшилади. Углеродли пўлатлар компонентлари Fe ва C. Бронзада Cu ва Sn.	The individual chemical substances (elements or compounds) present in an alloy system. The components in carbon steel are Fe and C. In bronze they are Cu and Sn.
Кристалл	Кристалл тартибли тузилишга эга бир ёки неча хил атомлар тутган	A crystal consists of identical structural units, consisting of one or more

	бирикма, фазовий асосида йўналишлари регуляяр жойлашган	atoms, which are regularly arranged with respect to each other in space
Кристалланиш	Кристалланиш эритмалар совутилишида амалга ошади.	Crystallization occurs when a saturated solution is cooled.
Кристаллография	Кристаллар физикаси, кристалл структурани ўрганиш, кристаллар дефектларини аниқлаш ва ҳ.к.	Crystal's physics, study of crystalline structure, defects of crystals and other
Кристалл нуқсон	Кристалл панжара тузилиши номукамал шаклланиши нуқсон ҳисобланади.	A defect can be any imperfection in the lattice structure of a crystal
Матрица	Композит компоненти ва унинг асосидир. Масалан, толалар унда жойлашади	The component of a composite material in which the fibres are embedded.
Материалшунослик ёки материаллар ҳақидаги фан	Қаттиқ материалларнинг хоссалари ва бу хоссалар қандай қилиб композицион материал ва структурасини ўрганади.	The study of the properties of solid materials and how those properties are determined by a material's composition and structure.
Материалшунослик предмети	Материалларнинг тузилиши, янгиларини яратиш принциплари ва технологияларини ишлаб чиқиш ҳамда қўлланиш соҳаларини белгилашдан иборатдир.	The subject is consist about of structure, carried out new principles and technology of materials and fount out the applications fields of materials
Металл силлиқлаш	Металлни шакллантириш операцияси бўлиб, металл заррачалари билан сиртга ишлов берилади.	A metal-forming operation in which a piece of metal is pulled through a die in order to reduce the cross-section.
Металлургия (металлшунослик)	Турли металлларнинг хоссаларини ўрганиш	A study of properties of different materials
Наноматериаллар	Ўлчами нанодиапозонда бўлган ва шу ўлчамга хос ноёб ва махсус хоссаларни намоён қилидаган материаллар туридир	Nanosize materials with are carrying out the original and specifically properties in using the materials in different fields

Полимер материаллар	Макромолекуляр тузилишга эга бирикмалар асосида шакланган материаллардир.	The materials are forming on the base of macromolecular structured compounds
Суюқланиш ҳарорати	Қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтиш ҳарорати	The temperature at which a solid starts to transform to the liquid state.
Углерод толалар	Энг яхши углерод толалар полиакрилонитрил (ПАН) асосида олинади. Бу ПАН нинг иссиқлик таъсирида графит ҳолатига ўтишидир.	The best carbon fibres are prepared from polyacrylonitrile (PAN). PAN is converted into graphite through a sequence of carefully controlled heat treatment operations.
Чўян	Таркибида 2-4 % углерод тутган темир.	Iron containing 2-4% carbon.
Шиша тола	Шиша асосидаги тола бўлиб, пластиксимон табиатга эга	By far the most widely used fibre reinforcement for plastics
Эластик деформация	Материалнинг ташқи таъсир остида чўзилиши ва таъсир олиб ташлангач дастлабки ҳолатига қайта тикланиш жараёни	Change in shape of a material subject to an applied stress in which the initial shape is completely recoverable with negligible time delay when the stress is removed.
Электрокерамика	Керамиканинг электроникада қўлланиши. Бу материал кўп ҳолларда диэлектриклар сифатида қўлланилади.	A ceramic that is used for an electronics application. The most common use is for the dielectric of capacitors.
Цемент	Бу атама қотирувчи ёки ёпиштирувчи маъносига эга. Цемент аслида қотирувчи сифатида ишлатилади. У сув таъсирида ўта тез қотади.	A term used to describe any binding agent or adhesive. Cement is used as the binding agent for concrete, and hardens as it slowly reacts with water.
Цементлашган	Темир углерод бирикма, Fe ₃ C. Ферритдан қаттиқроқ ва мустаҳкам, аммо қуйилмайди	Iron carbide, Fe ₃ C. Harder and stronger than ferrite, but not as malleable.

Қўш нурни синиши	Қўш нурни синиши материалдан ёруғлик нури ўтишида иккига ажралиб синишидир. Бу эффект ўтаётган нурнинг кутбланиш ҳолатини ўзгариши ҳамдир.	A material is birefringent if a ray of light passing through it experiences two refractive indices. The effect of this is to change the polarization state of the transmitted light.
------------------	--	--

АССИСМЕНТ ТОПШИРИҚЛАРИ
ТЕСТ САВОЛЛАРИ
(Изоҳ – тўғри жавоблар А вариант)

№	САВОЛ	А	Б	С	Д
1	Материалшунослик нима ҳақидаги фан?	Металл, нометалл, органик бирикмалар ва полимерлар асосидаги материалларнинг хосса ва хусусиятлари ҳамда уларнинг олиниш, структуравий шаклланиш, таъсирлашиш ва парчаланиш қонуниятлари ҳақидаги фандир.	Материалшунослик - бу материалларнинг замонавий технологиялари ҳақидаги фан?	Материалшунослик нанофизикага асосланган фан?	Материалшунослик саноат ва қишлоқ хўжалик маҳсулотларини яратилиши ҳақидаги фан?
2	Материалшунослик предмети нима?	Материалларнинг тузилишини ўрганиш, янгиларини яратиш принциплари ва технологияларини ишлаб чиқиш ҳамда қўлланиш соҳаларини белгилаш материалшунослик фанининг предметиدير.	Материалларнинг тузилиши, ишлаб чиқарилиши, мониторинги, сотилиши ва экологияси ўрганиш материалшунослик фанининг предметиدير.	Материалларнинг ишлаб чиқарилишида табиий ресурслардан фойдаланишни белгилаш материалшунослик фанининг предметиدير.	Материалларнинг табиатини ўрганиш, уларни ишлаб чиқариш учун хом-ашё ва мутахассисларни тайёрлаб бериш материалшунослик фанининг предметиدير.
3	Замонавий материалшунослик нималарни ўз ичига олади?	Фундаментал фанларнинг янги бўлимларини тушунишга асосланган, материалларнинг структуравий шакллантириши ва	Замонавий материалшунослик фақат табиий фанларни ўз ичига олади	Замонавий материалшунослик илғор технологияларни ўз ичига олади.	Замонавий материалшунослик ер ресурслари табиатига боғлиқ жараёнларни ўз ичига олади

		парчаланиши, таҳлили ва диагностикаси, унга компьютер моделлаштиришни қўллаш каби улкан билимлар массивини ўз ичига олади.			
4	Нанотехнологиянинг замирини нима ташкил этади?	Таълим	Тадқиқот	Эксперимент	Моделлаштириш
5	Нанотехнологиянинг асосий илдизини нималар ташкил этади?	Физика, кимё, биология, амалий математика, ахборот технологияси	Нанотехнологияни илдизини табиий ресурслар ташкил этади?	Нанотехнологияни илдизини роботехникалар ташкил этади	Нанотехнологияни илдизини иқтисодий ва экологик масалалар ташкил этади
6	Нанотехнологиянинг жадал ривожланаётган асосий йўналишлари?	Наноматериаллар, нанобиотехнологиялар, нанотиббиёт, наноэлектроника, наноэнергетика, наноэкология, шунингдек, авиация, космонавтика, мудофа учун махсус нанотизимлар каби йўналишлар.	Нанотехнологияни илдизини табиий ресурслар ташкил этади?	Нанотехнологияни илдизини табиий ресурслар ташкил этади	Нанотехнологияни илдизини табиий ресурслар ташкил этади
7	Замонавий иқтисодиётнинг юқори технологик секторининг асосини нималар ташкил этади?	Нано-, био-, информ- ва когнитив (синов) технологиялар	Юқори операция имкониятларга эга робототехнологиялар	Енгил ва оғир саноатнинг амалдаги илғор технологиялари	Компьютер ва биотехнологиялар
8	Замонавий иқтисодиётнинг юқори технологик секторининг ривожланиши нималарни ҳамжиҳатлигига	Фундаментал фанлар, таълим ва маориф, инновацион технологиялар ва бизнес.	Замонавий иқтисодиётнинг юқори технологик секторининг ривожланиши назарий билимларга боғлиқ	Замонавий иқтисодиётнинг юқори технологик секторининг ривожланиши хом-ашё ресурсларига боғлиқ	Замонавий иқтисодиётнинг юқори технологик секторининг ривожланиши мутахассислар ҳамжиҳатлигига

	боғлиқ?				боғлиқ
9	Нанотехнологиянинг афзалликлари нималарда намоён бўлади?	Принципиал янги технологиялар, маҳсулотлар яратилиши, энергия ҳажми ва табиий ресурслар сарфланишини кескин камайиши; ижтимоий-иқтисодий ривожланишни ошишида намоён бўлади.	Нанотехнологияни афзалликлари ресурсларни кам сарфланишида намоён бўлади	Нанотехнологияни афзалликлари экологик ҳолатни яхшилаши билан намоён бўлади	Нанотехнологияни афзалликлари иқтисодийнинг жадал ривожланиши билан намоён бўлади?
10	Нанотехнологиянинг ноаниқ соҳалари ва муаммолари?	Атроф муҳит - яхшиланиши ёки ёмонлашиши мумкин; биоэтика; наноматериаллардан фойдаланиш чегараси, барқарор ривожланиш эҳтимолияти аниқмас.	Нанотехнологияни ноаниқ соҳалари ва муаммолари нанотехнологияларни тўғри ташкил этмаслик ва тушунмаслик билан боғлиқ бўлади.	Нанотехнологияни ноаниқ соҳалари ва муаммолари илм-фан ва технологиялар ўртасида кескин фарқлар вужудга келиши билан боғлиқ бўлади.	Нанотехнологияни ноаниқ соҳалари ва муаммолари асосан илмий мутахассисларни малакасига боғлиқ бўлади.
11	Полимер наноматериал оддий материаллардан нима билан фарқ қилади?	Солиштирма сиртини катталиги ва махсус физик хоссаларни намоён ыилиши билан фарқланади.	Биологик фаоллиги ва ўлчамлари билан кескин фарқланади	Анизотропик хоссалари билан фарқланади	Фарқини аниқлаб бўлмайди
12	Нанозаррачалар ва наноструктуралар билан ишлаш учун асосан нималар керак бўлади?	Янги диагностика ва эксперимент воситалари (электрон микроскоп), физик услублар ва моделлар (квант-механик), тузилиш ва хоссаларни моделлаштириш учун суперкомпьютер, юқори малакага эга мутахассислар ва ш.к.	Нанозаррачалар ва наноструктуралар билан ишлаш учун фақат электрон микроскоп керак бўлади?	Нанозаррачалар ва наноструктуралар билан ишлаш учун асосан назарий билимлар керак бўлади?	Нанозаррачалар ва наноструктуралар билан ишлаш учун асосан компьютер технологиялари керак бўлади
13	Замонавий материаллар ишлаб чиқаришда қандай аъна кузатилмоқда?	Металл (пўлат) ва қотишма материаллар улуши камаймоқда, полимерлар,	Замонавий материаллар ишлаб чиқаришда табиий ресурслардан деярли	Замонавий материаллар ишлаб чиқаришда ҳеч қандай янги аъна кузатилмаяпти.	Замонавий материаллар ишлаб чиқаришда ёғочдан фойдаланилмаяпти.

		композитлар, керамик ва биоматериаллар улуши ошмоқда.	фойдаланилмаяпт и.		
14	Қандай объектлар наноматериаллар синфига оиддир?	Объектнинг ҳеч бўлмаганда бир ўлчами нанодипазонда бўлса.	Кубик объектлар наноматериаллар синфига оиддир	Сферик объектлар наноматериаллар синфига оиддир.	Барча кўринмас объектлар наноматериаллар синфига оиддир.
15	Наноматериалларнинг шартли бўлинган уч синфига нималар киради?	Нанозаррачалар; наноқатламлар, наносиртлар ва нанопленкалар; ҳажмий наноструктурали материаллар.	Наноматериалларнинг шартли бўлинган уч синфига куёш элементлари, наносиликатлар, ДНК ва РНК.	Наноматериалларнинг шартли бўлинган уч синфига литий-ион батериялар, нанотолалар, кластерлар.	Нол-ўлчамли наноматериаллар, металл ионлари, радиацион фаол элементлар киради.
16	Наноматериаллар ўлчамлари бўйича қандай гуруҳларга ажратилади?	Нол-ўлчамли; бир ўлчамли; икки ўлчамли; уч ўлчамли.	Наноматериаллар ўлчамлари бўйича оддий ва мураккаб таркибли гуруҳларга ажратилади	Наноматериаллар ўлчамлари бўйича биологик фаол, нейтрал, биопарчаланувчан гуруҳларга ажратилади.	Наноматериаллар ўлчамлари бўйича кубик, сферик, цилиндрик шаклли гуруҳларга ажратилади.
17	Нол-ўлчамли наноматериалларга нималар киради?	Нанозаррачалар, квант нуқталар, кластерлар	Нол-ўлчамли наноматериалларга асосан квант элементлар киради	Нол-ўлчамли наноматериалларга фақат глобуляр оқсиллар киради	Нол-ўлчамли наноматериалларга микрофибриллалар киради.
18	Бир ўлчамли наноматериалларга гуруҳига нималар киради?	Нанонайлар (нанотрубкалар), нанотолалар, макромолекулалар	Бир ўлчамли наноматериалларга гуруҳига миротолалар киради.	Бир ўлчамли наноматериалларга гуруҳига кристалл ячейкалар киради.	Бир ўлчамли наноматериалларга гуруҳига гидрозоллар киради.
20	Икки ўлчамли наноматериаллар гуруҳига нималар киради?	Нанопленкалар, мультинаноқатламлар, наномембраналар.	Икки ўлчамли наноматериаллар гуруҳига нанокубик киради.	Икки ўлчамли наноматериаллар гуруҳига карбонат ангидрид киради.	Икки ўлчамли наноматериаллар гуруҳига озон киради.
21	Уч ўлчамли наноматериаллар гуруҳига нималар киради?	Наноғоваклар; нанокомпозитлар, наносуюқликлар.	Уч ўлчамли наноматериаллар гуруҳига куёш элементлари киради.	Аэрозоль, гидрозоль, гидрогель	Ҳужайралар, ферментлар, микрофибриллалар
22	Наноматериаллар структураси қандай гуруҳларга бўлинади?	Монокристалл, поли(микро)кристалл, нанокристалл, аморф, нанокомпозицион, дендример.	Оддий, ўртача мураккаб, ўта мураккаб.	Металл, силикат, полимер, керамика	Аморф, кристалл-аморф, аморф-кристалл, кристалл.
23	Наноматериаллар олиш технологиялари қандай гуруҳларга бўлинади?	Физикавий, кимёвий, биокимёвий	Наноматериаллар олиш оддий ва юқори технологик гуруҳларга бўлинади.	Наноматериаллар олиш бирламчи, иккиламчи ва учламчи технологик гуруҳларга бўлинади.	Асосий, қўшимча, махсус, ноёб технологик гуруҳларга бўлинади.
24	Физикавий материалшунослиқда кластерлар қандай ўлчамларда бўлади?	Ўлчами бир нанометр ва ундан кичикроқ заррачалар кластерлар ҳисобланади.	Физикавий материалшунослиқда кластерлар наноўлчамли бўлмайди.	Физикавий материалшунослиқда кластерлар ўлчами юз нанометрда кам бўлмайди.	Кластерлар ўлчами микро диапазонда бўлади.
25	Наноматериалшунослиқ	Анъанавий	Наноматериалшун	Наноматериалшун	Кўз билан кўриб

	икнинг асосий мақсади нималардан иборат?	материалларнинг тавсифларини яхшилаш; нанотехнологиялар асосида принципиал янги, ноёб тавсифли, илгари кўзатилмаган хосса ва функцияли материаллар яратиш.	осликнинг асосий мақсади бозор учун янги материаллар ишлаб чиқаришдан иборатдир.	осликнинг асосий мақсади энергия ва хом-ашёларни тежаган ҳолда материаллар яратишдир.	бўлмайдиган соҳада тиббиёт учун махсус ва ноёб материаллар яратиш .
26	Материалшуносликда дисперс тизимлар қандай гуруҳларга бўлинади?	Молекуляр-дисперс, коллоид-дисперс, юпқа-дисперс, купол-дисперс.	Полидисперс, ультрадисперс, монодисперс.	Юпқа дисперс, микро- ва макродисперс.	Макромолекуляр-дисперс, радиацион-дисперс, оптик-дисперс.
27	Нанозаррачалар ўлчами бўйича қандай дисперс гуруҳларга ажратилади?	Ультрадисперс, юқори дисперс, кўпол дисперс.	Бир фазали, икки фазали ва кўп фазали	Матрица, тўлдирувчи, армирловчи, юмшатувчи. Биопарчаланувчан	Сферик, фибрилляр, ламелляр, ромбсимон. Наноконкомплекслар, микрокомплекслар, сирт фаол комплекслар.
28	Коллоид-дисперс тизим гуруҳига қандай нанозаррачалар киради?	Ультрадисперс ва юқори дисперс заррачалар. Молекуляр даста, катодли сочилиш, зарбали тўлқинлар, аэрозоль усули, паст ҳараротли плазма, диспергирлаш. Парчаланиш, эритмада тикланиш, кимёвий йиғиш, криокимёвий синтез, электрокимёвий синтез, плазмакимё.	Фаол, нейтраль, махсус, ноёб.	, биобарқарор, биофаол, бионейтраль. Аэрозоль шакллантириш усули, электроспиннинг, кислотали гидролиз.	Наноконкомплекслар, сирт фаол комплекслар. Механокимё, термик деструкция, электролиз, биосинтез.
29	Нанозаррачалар шакллантиришнинг энг муҳим физик усуллари қайси?	Парчаланиш, эритмада тикланиш, кимёвий йиғиш, криокимёвий синтез, электрокимёвий синтез, плазмакимё.	Молекуляр даста, электроспиннинг, ион-плазма, лазер технологияси, фотосинтез.	Экстракция, пиролиз, автокатализ, фракция	Деацетилляция, коагуляция, деминерализация, денатурация.
30	Нанозаррачалар шакллантиришнинг энг муҳим кимёвий усуллари қайси?	"Буғ-суюқлик-қаттиқ жисм", "суюқлик-қаттиқ жисм", "буғ- қаттиқ жисм", "қаттиқ жисм - қаттиқ жисм".	Ишқорий гидролиз, автоклав, биокимёвий синтез ва катализ	Кимёвий ва физикавий фазавий ўзгаришлар кузатилади.	Нанозаррачаларнинг шаклланишида фазавий ўзгаришлар кузатиб бўлмайд.
31	Нанозаррачаларнинг шаклланишида қандай фазавий ўзгаришлар кузатилади?	Вакуумда юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган атом ва молекулалар ёки уларнинг кластерлари махсус йиғилган тагликда конденсацияланиши асосида нанозаррача ва структуралар	Нанозаррачаларнинг шаклланишида биринчи тур фазавий ўзгаришлар кузатилади.	Юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган молекулалар термик синтез бўлиши натижасида наноструктуралар шаклланади.	Вакуумда юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган атомлар атмосферада молекуляр кластер ва нанозаррачаларга айланади.
32	Нанозаррачалар шаклланишининг молекуляр даста усули нимага асосланган?	Вакуумда юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган атом ва молекулалар атмосферага чиқиши билан наноструктуралар шакллантиради.	Вакуумда юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган атом ва молекулалар атмосферага чиқиши билан наноструктуралар шакллантиради.	Юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган молекулалар термик синтез бўлиши натижасида наноструктуралар шаклланади.	Вакуумда юқори ҳарорат таъсирида манбадан учиб чиқадиган атомлар атмосферада молекуляр кластер ва нанозаррачаларга айланади.

33	Металл нанозаррачалар олишда қайси усуллар самарадор ҳисобланади?	шаклланади. Металл нанозаррачалар олишда механик ва ультратовуш диспергация усуллари самаралидир.	Металл нанозаррачалар олишда реологик усуллар самарали ҳисобланади.	Металл нанозаррачалар олишда механокимёвий усуллар самарадор ҳисобланади	Металл нанозаррачалар олишда термик усуллар самарадор ҳисобланади
34	Металл нанозаррачаларни олишнинг кимёвий усули нимага асосланган?	Металл нанозаррачаларни шаклланиши кимёвий усули металл бирикмаларни турли стабилизаторлар ёрдамида тикланишига асосланган. Эритма (ёки суюлтма) таркибидаги ионларни электродлар сиртида нанозаррачалар бўлиб	Металл нанозаррачаларни шаклланиши кимёвий усули металл бирикмаларни чуқштириб олишга асосланган. Эритма (ёки суюлтма) таркибидаги ионларни электродлар сиртида нанозаррачалар бўлиб	Металл нанозаррачаларни шаклланиши кимёвий усули металл бирикмаларни филтрлаш орқали ажратиб олишга асосланган. ритма (ёки суюлтма) таркибидаги ионларни электродлар сиртида нанозаррачалар бўлиб	Металл нанозаррачаларни шаклланиши кимёвий усули металл бирикмаларни полимерлар ёрдамида тикланишига асосланган. ритма (ёки суюлтма) таркибидаги ионларни электродлар сиртида нанозаррачалар бўлиб
35	Нанозаррачаларни шакллантиришнинг электрокимёвий усули нимага асосланган?	тикланишига асосланган.	оксидланишига асосланган.	тахланишига асосланган.	парчаланишига асосланган.

VIII. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

I. Меъёрий- ҳуқуқий ҳужжатлар.

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» 2015 йил 12 июндаги ПФ-4732-сон Фармони.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2010 йил 2 ноябрдаги «Олий малакали илмий ва илмий-педагогик кадрлар тайёрлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-1426-сонли Қарори.

3. Кадрлар тайёрлаш миллий дастури. Ўзбекистон Республикаси Олий Мажлисининг Ахборотномаси, 1997 йил. 11-12-сон, 295-модда.

4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2012 йил 24 июлдаги «Олий малакали илмий ва илмий-педагог кадрлар тайёрлаш ва аттестациядан ўтказиш тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида»ги ПФ-4456-сон Фармони.

5. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 28 декабрдаги «Олий ўқув юртидан кейинги таълим ҳамда олий малакали илмий ва илмий педагогик кадрларни аттестациядан ўтказиш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги 365-сонли Қарори.

II. Махсус адабиётлар.

1. Introduction to Materials Sciences and Engineering. Techbooks/GTS, 2005. - P.22.
2. William D. Callister Jr. Materials Sciences and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons. Ins. 2010. – P. 1000.
3. Dieter Vollath Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials. An introduction for beginners. – Wiley-VCH Verlag GbH &Co.KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2013. – P. 322.
4. Mustafa Akay. Introduction to Polymer Science and Technology & Ventus Publishing ApS, 2012, - P.169.
5. Richard J. D. Tilley Understanding solids: the science of materials. -John Wiley & Sons Ltd, 2004. –P. 193.
6. S. Siti Suhaily, H.P.S. Abdul Khalil, W.O. Wan Nadirah and M. Jawaid Bamboo Based Biocomposites Material, Design and Applications Additional information is available at the end of the chapter 2013.
7. Rolf Klein. Material Properties of Plastics, - Wiley-VCH Verlag GbH &Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Germany, 2011. – P. 68.
8. Thomas Hanemann. Polymer-Nanoparticle composites: From Synthesis to

Modern Applications. – Materials, 2010. – P.50.

Интернет ресурслар

1. www.nanometer.ru/
2. www.mitht.ru/e-library
3. www.crisim-prometey.ru
4. www.nanowerk.com/nanotechnology/labs/Tech. Uni. Berlin
5. <http://dx.doi.org/10.5772/56057>
6. www.nanonewsnet.com
7. www.rfreitas.com
8. www.kurzweilai.net
9. www.e-drexler.com
10. www.foresight.org
11. www.nano.gov
12. www.sani.org.za
13. www.nasa.gov
14. www.crnano.org
15. www.darpa.mil
16. www.universaldisplay.com
17. www.memx.com
18. www.cmp.caltch.edu
19. <http://old.ej.ru/033/btw/any/>
20. www.mvis.com/nomad
21. www.intelmessages.org
22. <http://domino.research.ibm.com>
23. www.eyedesignbook.com
24. <http://flightprojects.msfc.nasa.gov>