

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA‘LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLIY TA‘LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL
ETISH BOSH ILMIY - METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

“MUQOBIL ENERGIYA MANBALARI”

yo‘nalishi

**“YARIM O‘TKAZGICHLI QUYOSH ELEMENTLARI FIZIKASI
VA TEXNOLOGIYASI”**

moduli bo‘yicha

O‘QUV–USLUBIY MAJMUA

Toshkent 2023

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 2021 yil 25 dekabr 538 sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv reja va dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: TDTU, “Alternativ energiya manbalari” kafedrasini mudiri,
t.f.d., dots. I.A. Yuldashev

Taqrizchi: O‘zR FA “Fizika-Quyosh” ICHB, Fizika texnika
instituti etakchi ilmiy xodimi, fiz.-mat.f.d.,
prof.A.G‘. Gulyamov

O‘quv-uclubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2021 yil 29 dekabrda 4 sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib, foydalanishga tavsiya etildi.

MUNDARIJA

<u>I. ISHCHI DASTUR</u>	4
<u>II. MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA‘LIM METODLARI</u>	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.3
<u>III. NAZARIY MATERIALLAR</u>	19
<u>IV. AMALIY MASHG‘ULOT MATERIALLARI</u>	56
<u>V. GLOSSARIY</u>	78
<u>VI. FOYDALANGAN ADABIYOTLAR</u>	94

I. ISHCHI DASTUR

Kirish.

Dastur O‘zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda tasdiqlangan “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha Harakatlar strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-4947-son, 2019 yil 27 avgust “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to‘g‘risida”gi PF-5789-son, 2019 yil 8 oktyabr “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-5847-sonli Farmonlari hamda O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 23 sentyabr “Oliy ta’lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 797-sonli Qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan holda tuzilgan bo‘lib, u oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati hamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish hamda oliy ta’lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi.

Ushbu ishchi o‘quv dasturda yarimo‘tkazgichli quyosh elementlari ustidagi tadqiqotlarning zamonaviy holati, fotoelektrik hodisalar – qattiq jismlarni fizik-kimyoviy xossalari bo‘yicha ajrata olishni o‘rganish; ularning ongida qattiq jismlarda kechadigan fotoelektrik hodisalar va nomuvozanatli fotoelektrik jarayonlar haqida bilim va ko‘nikmalar hosil qilish, yarimo‘tkazgichli asboblari va fotoelektrik qurilmalarning xossalari va ko‘rsatkichlarini nazariy hisoblay bilish, hamda bunday asboblarni va yarata olish uquvi va malakalarini shakllantirish buyicha muammolar bayon etilgan.

Modulning maqsadi va vazifalari

Modulning maqsadi: Jahon va O'zbekiston Respublikasi miqyosida yashil energetikaning zamonaviy holati; yarimo'tkazgichli quyosh elementlari (QE) yordamida quyosh nurlanishi energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga o'zgartirish va energiyani uzatish, o'zgartirish mexanizmlari, taqsimlash va iste'mol qilishda samaradorlikni oshirish muammolari va ularni hal etish yo'llari; energetika ekologiya muammolari va ularni hal etish yo'llari; elektr energiyasini yarimo'tkazgichli QE foydalanib elektr energiyasiga o'zgartirishning zamonaviy holati, fundamental muammolari va istiqbollari bilim, ko'nikma va malakani shakllantirishdir.

Modulning vazifalari:

- yashil energetika taraqqiyotining zamonaviy holati va muammolarini o'rganish;

- yarimo'tkazgichli QE asosidagi energetik qurilmalardan foydalanib elektr energiyasi ishlab chiqarishning samaradorligi, ekologik muammolari va ularni hal etish yo'llarini o'rganish;

- gelioenergetika yunalishida muhim fizik-texnik muammolardan biri yangi materiallarning quyosh elementlariga tatbiq etish imkoniyatlarini o'rganish;

- yarimo'tkazgich va termoelektrik materiallarning fizik xossalarini chuqur o'zlashtirish, uzoq ishlash muddatiga ega, arzon, Markaziy Osiyoning issiq iqlim sharoitlariga moslashish imkoniyatiga ega mavjud quyosh elementlari, quyosh energiyasidan issiq suv olish jarayonlari va qurilmalari ustida zarur bilimlarni egallash,

- bugungi kunda dunyo miqyosida elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyoj tobora ortib borishini nazarda tutib yangi turdagi QE ustida tadqiqotlar holati bilan tanishish.

Shu sabab, quyosh energiyasidan sanoat ko'lamida foydalanish sohasida yuqori texnologik ishlanmalarni amalga oshirish, fotoelektrik stansiyalarida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning tannarxini kamaytirish, quyosh energetikasidan

iqtisodiyotning turli tarmoqlarida foydalanish, quyosh energiyasi potensialidan optimal foydalanish kabi muammolar ustida tadqiqotlarni olib borishni talab etadi.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar

“Yarimo'tkazgichli QE fizikasi va texnologiyasi” kursini o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

– Jahon va O'zbekiston Respublikasi miqyosida muqobil energetikaning bugungi kungi holati va muammolari;

– energetik samaradorlikni ta'minlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining zamonaviy holati va ularni rivojlantirishning yo'llari;

– turli xil yarimo'tkazgich, metall va issiqlik izolyasion materiallar xususiyatlari, ularning asosiy parametrlari, quyosh elementlarining xarakteristikalarini (volt-amper, volt-vatt), meteofaktorlar ko'rsatkichlarini (quyosh radiatsiyasi, havo harorati, shamol tezligi, nisbiy namlik va boshqalar) o'lchash qurilmalarini o'rganish;

– Quyosh imitatorlari. Etalon quyosh elementlari va ularni grudiurovka qilish;

- Yupqa qatlamli quyosh elementlari. Hidrogenizirlashgan amorf kremniy (a-Si:H) xossalari;

- Egiluvchan va yarim shaffof modullar. Mikrokrystall, nanokrystall kremniy. Dunyo bozorida yupqa qatlamli quyosh elementlarining ulushi;

- SSG (shishaga kristall kremniyni purkash texnologiyasi);

- Kadmiy tellur asosidagi yupqa qatlamli quyosh elementi;

– Cu(In, Ga)Se₂ yupqa qatlamli quyosh elementi haqida **bilimlarga ega bo'lishi**;

Tinglovchi:

– Yarimo'tkazgichli QE samaradorligi va ularni atrof-muhitga ta'siri darajasini aniqlash;

- Quyosh fotoelektrik tizimlari samaradorligini aniqlash, QE parametr ko‘rsatkichlarini aniqlash;

-Kaskad tushunchasi. Kaskadli quyosh elementlari. Kaskadli quyosh elementlarining tayyorlash texnologiyalari. Kaskad quyosh elementlarida foydali ish koeffitsientining oshirilish sabablari. Quyosh nurlanishi spektridan to‘liq foydalanish.

- Yupqa qatlamli quyosh elementlari: SISG (shishaga kristall kremniyni purkash texnologiyasi), Kadmiy tellur asosidagi yupqa qatlamli quyosh elementi, Cu(In, Ga)Se₂ yupqa qatlamli QE haqida **ko‘nikma va malakalarini egallashi**;

– ***Tinglovchi:***

- egallagan bilim va ko‘nikmalarga asoslangan holda yarimo‘tkazgichli fotoenergetika va QE foydali ish koeffitsientini oshirish, tashqi ta’sirlarga bardoshlilik bilan bog‘liq muammolarini hal etish;
- yangi avlod QE tuzilmalarini tashkil etish va ularni ishlatish;
- energiyani akkumulyasiyalashning samarali usullarini tanlash;
- energetika tizimlarning samarali ish holatlarini rejalashtirish va ta’minlash;
- elektr energiyasi uzatish va taqsimlash jarayonida yuqori samaradorlikni ta’minash **kompetensiyalarni egallashi lozim.**

Modulni tashkil etish va o‘tkazish bo‘yicha tavsiyalar

“Yarimo‘tkazgichli QE fizikasi va texnologiyasi” kursi ma’ruza va amaliy mashg‘ulotlar shaklida olib boriladi.

Kursni o‘qitish jarayonida ta’limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo‘llanilishi nazarda tutilgan:

- ma’ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;
- o‘tkaziladigan amaliy mashg‘ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so‘rovlar, test so‘rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o‘tkazish, va boshqa interaktiv ta’lim usullarini qo‘llash

nazarda tutiladi.

Modulning o‘quv rejadagi boshqa modullar bilan bog‘liqligi va uzviyligi

“Yarimo‘tkazgichli QE fizikasi va texnologiyasi” moduli o‘quv rejaning mutaxassislik fanlar blokidagi “Quyosh energetikasi” va “Muqobil energiya manbalaridan foydalanishning ilmiy asoslari” fanlari bilan uzviy bog‘liqdir. SHu bilan bir qatorda modulni o‘zlashtirishda o‘quv rejaning boshqa bloklari fanlari bilan muayyan bog‘liqlik mavjuddir.

Modulning oliy ta’limdagi o‘rni

O‘zbekiston Respublikasining yashil energetika tizimini zamonaviy yuqori darajadagi samaradorlikka ega bo‘lgan yarimo‘tkazgichli QE va ular asosidagi qurilmalar hisobiga rivojlantirish, energiya resurslaridan foydalanish, elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash, o‘zgartirish va iste’mol qilishda yuqori samaradorlikka erishish o‘ta dolzarb masala hisoblanadi. Ushbu muammoni hal etishda birinchi navbatdagi vazifa zamonaviy talablarga javob beruvchi mutaxassislarni tayyorlash hisoblanadi. SHu sababli bunday mutaxassislarni tayyorlash uchun ushbu soha bo‘yicha ta’lim beruvchi oliy ta’lim tizimi o‘qituvchilarining malakasini oshirishda “YArimo‘tkazgichli QE fizikasi va texnologiyasi” fani alohida o‘rinni egallaydi.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Jami	Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot
1.	Yarimo'tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish	4	2	2	
2.	Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish usullari	4	2	2	
3.	Quyosh elementlari tayyorlashning diffuziya yordamida strukturalar olish usullari	4	2	2	
4.	Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi	6	2	4	
	Jami:	18	8	10	

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Yarim o'tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlari.

Yarimo'tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish.

Yarimo'tkazgichli quyosh elementlarining tuzilishi, ularning metallar va dielektrlardan farqi. O'tkazuvchanlik va valent sohalari. Taqiqlangan zona energiyasi. Yarimo'tkazgichli materialda optik yutilish koeffitsienti. Yarim o'tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlari.

Yarimo'tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish. Foton energiyasi. Optik nurlanishni elektr energiyasiga aylantirish mexanizmlari.

2-mavzu: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish usullari.

Quyosh elementlari tayyorlashda ishlatiladigan materiallarning xususiyatlari. Yarim o'tkazgichli materiallar o'stirish usullari. Yarimo'tkazgichli materiallarni tigel yordamida o'stirish. Tigelsiz o'stirish usullari. Kristallar o'stirish jarayonida kirishmalarning taqsimlanishi va ularni o'rganish. Eritmalardan o'stirish usullari. . Yarim o'tkazgichli materiallarga mexanik va ximik ishlov berish texnologiyasi

3-mavzu: Quyosh elementlari tayyorlashning diffuziya yordamida strukturalar olish usullari.

Yarim o'tkazgichli materiallarda diffuziya qonunlarining ishlatilish imkoniyatlari. Ikki stadiyali diffuziya qilish usuli. Diffuzion qatlamlar xususiyatlarini o'rganish. Diffuzion texnologiya asosida quyosh elementlarini tayyorlash imkoniyatlari.

4-mavzu: Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi.

Omik kontakt tushunchasi. Omik kontaktlar olish usullari. Omik kontaktlarning xususiyatlarini o'rganish quyosh elementlariga kontakt olish jarayoning marshruti. Akslanishni kamaytiruvchi materiallarning xususiyatlari. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usullari. Piroliz usuli bilan qatlamlar olish. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olishning termik usuli

AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: YArimo'tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish.

Yarimo'tkazgichli QE tarkibiy tuzilishi, ularning metallar va dielektrlardan farqli jihatlarini o'rganish. O'tkazuvchanlik va valent sohalari zonasini o'rganish. Taqiqlangan zona energiyasi, yarimo'tkazgichli materialda optik yutilish koefitsientini hisoblash. Foton energiyasi, Optik nurlanishni elektr energiyasiga aylantirishning fundamental mexanizmlari nazariy tadqiq etish.

2- amaliy mashg'ulot: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish usullari.

QE tayyorlashda ishlatiladigan materiallarning xususiyatlari. YArim o'tkazgichli materiallar o'stirish usullari. YArimo'tkazgichli materiallarni tigel

yordamida o‘stirish. Tigelsiz o‘stirish usullari. Kristallar o‘stirish jarayonida kirishmalarning taqsimlanishi va ularni o‘rganish. Eritmalardan o‘stirish usullari. Yarim o‘tkazgichli materiallarga mexanik va ximik ishlov berish texnologiyasini o‘rganish.

3- amaliy mashg‘ulot: Quyosh elementlari tayyorlashning diffuziya yordamida strukturalar olish usullari.

Yarim o‘tkazgichli materiallarda diffuziya qonunlarining ishlatilish imkoniyatlarini tadqiq etish. Ikki bosqichli diffuziya qilish usuli, diffuzion qatlamlar xususiyatlarini o‘rganish. Diffuzion texnologiya asosida quyosh elementlarini tayyorlash imkoniyatlarini tadqiq etish.

4- amaliy mashg‘ulot: Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasini tadqiq etish.

Omik kontakt tushunchasi, omik kontaktlar olish usullarini o‘rganish. Omik kontaktlarning xususiyatlarini o‘rganish, quyosh elementlariga kontakt olish jarayoning marshrutini o‘zlashtirish. Akslanishni kamaytiruvchi materiallarning xususiyatlari. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usullari. Piroliz usuli bilan qatlamlar olish. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olishning termik usulini tadqiq etish.

KO‘CHMA MASHG‘ULOT MAZMUNI

Mavzu: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o‘rganish usullari

Modulning ko‘chma mashg‘ulotlarini Toshkent davlat texnika universiteti Energetika fakulteti Geliopoligonida joylashgan 3 kVt quvvatdagi avtonom fotoelektrik stansiyasi, quyosh-shamol kombinatsiyalashgan qurilmasi, past kuchlanishli elektr tarmog‘i bilan ulangan 10 kVt quvvatdagi fotoelektrik stansiyasining ekspluatatsion xarakteristikalarini, asosiy parametrlari, elektr energiya ishlab chiqarish ko‘rsatkichlari, hamda ularning butlovchi qurilmalari texnik ko‘rsatkichlari, ish faoliyatlari bilan tanishadilar. Bir vaqtda Elektr energetikasi fakulteti binosi tom qismiga o‘rnatilgan 20 kVt quvvatdagi rezerv akkumulyasiya

tizimiga ega quyosh fotoelektrik stansiyasining ish rejimi, jamlanma jixozlari bilan tanishadilar.

TA'LIMNI TASHKIL ETISH SHAKLLARI

Ta'limni tashkil etish shakllari aniq o'quv materiali mazmuni ustida ishlayotganda o'qituvchini tinglovchilar bilan o'zaro harakatini tartiblashtirishni, yo'lga qo'yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o'qitish jarayonida quyidagi ta'limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot.

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

Jamoaviy ishlash – Bunda o'qituvchi guruhlarining bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o'quv maqsadiga erishish uchun o'zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

Guruhlarda ishlash – bu o'quv topshirig'ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o'quv jarayonida kichik guruxlarda ishlashda (3 tadan – 7 tagacha ishtirokchi) faol rol o'ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta'limni tashkil etish shaklidir. O'qitish metodiga ko'ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo'lish mumkin. *Bir turdagi guruhli ish* o'quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi. *Tabaqalashgan guruhli ish* guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

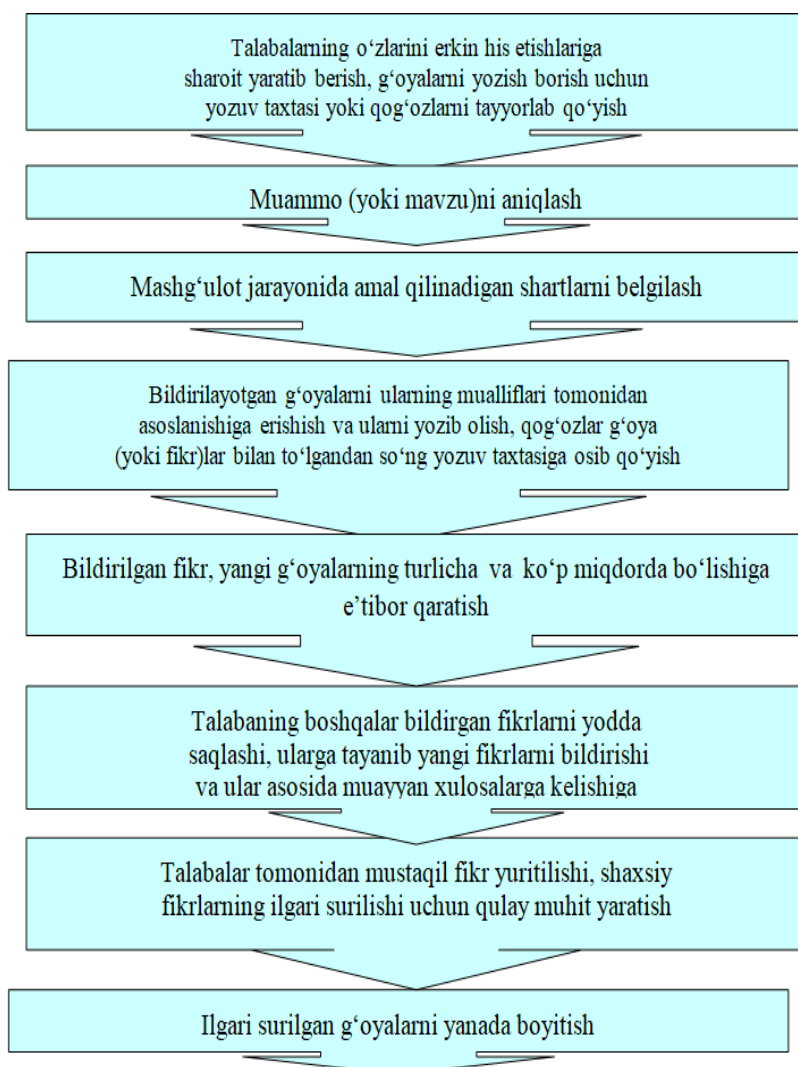
Yakka tartibdagi shaklda - har bir ta'lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

II.MODULNI O‘QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA’LIM METODLARI

“AQLIY XUJUM” METODI

Metod talabalarni mavzu xususida keng va har tomonlama fikr yuritish, o‘z tasavvurlari, g‘oyalariidan ijobiy foydalanishga doir ko‘nikma, malakalarni hosil qilishga rag‘batlantiradi. U yordamida tashkil etilgan mashg‘ulotlarda ixtiyoriy muammolar yuzasidan bir necha orginal (o‘ziga xos) echimlarni topish imkoniyati tug‘iladi. Metod mavzu doirasida ma’lum qarashlarni aniqlash, ularga muqobil g‘oyalarni tanlash uchun sharoit yaratadi.

Uni samarali qo‘llashda quyidagi qoidalarga amal qilish lozim:



Mashg'ulotda metodni qo'llashda quyidagilarga e'tibor qaratish lozim:

O'quvchi (talaba)larni muammo doirasida keng fikr yuritishga undash, ular tomonidan mantiqiy fikrlarning bildirilishiga erishish

Har bir o'quvchi (talaba) tomonidan bildirilayotgan fikrlar rag'batlantirilib boriladi, bildirilgan fikrlar orasidan eng maqbullari tanlab olinadi; fikrlarning rag'batlantirilishi navbatdagi yangi fikrlarning tug'ilishiga olib keladi

Har bir o'quvchi (talaba) o'zining shaxsiy fikrlariga asoslanishi va ularni o'zgartirishi mumkin; avval bildirilgan fikrlarni umumlashtirish, turkumlashtirish yoki ularni o'zgartirish ilmiy asoslangan fikrlarning shakllanishiga zamin hozirlaydi

Mashg'ulotda o'quvchi (talaba)lar faoliyatini standart talablar asosida nazorat qilish, ular tomonidan bildiriladigan fikrlarni baholashga yo'l qo'yilmaydi (zero, fikrlar baholanib borilsa, o'quvchi (talaba)lar diqqatlarini shaxsiy fikrlarni himoya qilishga qaratadi, oqibatda yangi fikrlar ilgari surilmaydi; metodni qo'llashdan ko'zlangan asosiy maqsad o'quvchi (talaba)larni muammo bo'yicha keng fikr yuritishga undash ekanligini yodda tutib, ularni baholab borishdan voz kechishdir)

“Rezyume” metodi

“Rezyume” metodi- murakkab, ko'p tarmoqli mumkin qadar muammoli mavzularni o'rganishga qaratilgan. Uning mohiyati shundan iboratki, bunda bir yo'la mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha axborot beriladi. Ayni paytda ularning har biri alohida nuqtalardan muhokama etiladi. Masalan: ijobiy va salbiy tomonlari afzallik va kamchiliklar, foyda va zararlar belgilanadi. Ushbu metodning asosiy maqsadi ta'lim oluvchilarning erkin, mustaqil, taqqoslash asosida mavzudan kelib chiqqan holda o'quv muammosini echimini topishga ham kerakli xulosa yoki qaror qabul qilishga, jamoa o'z fikrini bilan ta'sir etishga, uni ma'qullashga, shuningdek, berilgan muammoni echishga mavzuga umumiy tushuncha berishda o'tilgan mavzulardan egallangan bilimlarni qo'llay olish o'rgatish.

Mavzuga qo'llanilishi: Ma'ruza darslarida, seminar, amaliy va laboratoriya mashg'ulotlarni yakka yoki kichik guruhlar ajratilgan tartib o'tkazish, shuningdek, o'yga vazifa berishda ham qo'llash mumkin. Mashg'ulot foydalaniladigan vositalar: A-3, A-4 formatdagi qog'ozlarida (guruh soniga qarab) tayyorlangan tarqatma materiallar markerlar yoki rangli qalamlar.

“Rezyume” metodini amalga oshirish bosqichlari:

- Ta'lim beruvchi ta'lim oluvchilarning soniga qarab 3-4 kishidan iborat kichik guruh ajratiladi;
- Ta'lim beruvchi mashg'ulotning maqsadi va o'tkazilish tartibi bilan tanishtiradi va har biri kichik guruh qog'ozning yuqori qismiga yozuv bo'lgan ya'ni asosiy vazifa, unda ajratilgan o'quv vazifalari va ularni echish yo'llari belgilangan, xulosa yozma bayon qilinadigan varaqlarni tarqatadi;
- Har bir guruh a'zolari topshiriq bo'yicha ularning afzalligi va kamchiliklarini aniqlab, o'z fikrlarini markerlar yordamida yozma tarzda bayon etadilar. YOzma bayon etilgan fikrlar asosida ushbu muammoning echimini topib, eng maqbul variant sifatida umumiy xulosa chiqaradilar;
- Kichik guruh a'zolari biri tayyorlangan materialning jamoa nomidan taqdimot etadi. Guruhning yozma bayon etgan fikrlari o'qib eshittiradi, lekin xulosa qismi bilan tanishtirilmaydi;
- Ta'lim beruvchi boshqa kichik guruhlardan taqdimot etgan guruhning xulosasini so'rab, ular fikrini aniqlaydi va o'z xulosalari bilan tanishtiradi;
- Ta'lim beruvchi guruhlar tomonidan berilgan fikrlar yoki xulosalarga izoh berib, ularni baholaydi, so'ngi mashg'ulotni yakunlaydi.

Metodning mavzuga qo'llanilishi:

Elektroenergiya turlari					
Quyosh yordamida ishlab chikarilgan elektroenergiya		Shamol yordamida ishlab chiqarilgan elektroenergiya		Suv erdamida ishlab chiqarilgan elektroenergiya	
Afzalligi	Kamchiligi	Afzalligi	Kamchiligi	Afzalligi	Kamchiligi
Xulosa:					

III. NAZARIY MATERIALLAR

1-mavzu: Yarim o‘tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlari.

Yarimo‘tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish

Reja:

1. Yarim o‘tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlari.
2. Yarimo‘tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish.
3. Quyosh elementlari konstruksiyalari.

1.1.Yarim o‘tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlari.

Quyosh elementlari (QE) asosan yarim o‘tkazgichli (YAO‘) materiallar asosida tayyorlanadi. Shuning uchun QE optik va fotoelektrik xususiyatlarini bilish YAO‘ materiallar tuzilishini, ularning metallar va dielektrik materiallardan farqini va YAO‘ materiallar uchun bevosita asosiy bo‘lgan xususiyatlarni o‘rganishni taqozo etadi.

Qattiq jismlar hosil bo‘lishini YAO‘ materiallar misolida elektron nazariyasi nuqtai nazaridan ko‘rib o‘tamiz. Qattiq jism hosil bo‘lishi jarayonida, atomlarning bir-biriga nisbatan yaqinlashishi shu darajagacha boradiki, natijada tashqi qobiqdagi elektronlarning umumlashishi hosil bo‘ladi. Atomdagi alohida elektronlarning yakka ayrim orbitalari o‘rniga umumlashgan kollektiv orbitalar hosil bo‘ladi, va atomdagi qobiqchalar sohalarga birlashadi hamda ular umuman kristallga tegishli bo‘lib qoladi. Elektronlar harakatining xarakteri mutlaq o‘zgaradi, ma’lum atomda va ma’lum energetik satxda joylashgan elektronlar energiyasini o‘zgartirmasdan shu energetik sathdagi boshqa qo‘shni atomga o‘tish imkoniyatiga ega bo‘ladi va, binobarin elektronlarni kristallda erkin siljishi kuzatiladi.

Kristallning izolyasiya holatidagi barcha atomlarning ichki qobiqlari elektronlar bilan to‘la bo‘ladi. Faqat eng yuqoridagi ayrim sathlardan iborat valent elektronlari joylashgan sohadagina, sathlar to‘laligicha egallanmagan bo‘ladi.

Kristallning elektr o'tkazuvchanligi, optik va boshqa xususiyatlari asosan valent sohasining to'ldirilish darajasiga va undan yuqoridagi sohagacha bo'lgan energetik masofa bilan aniqlanadi va unga o'tkazuvchanlik sohasi deyiladi. Issiqlik va optik kuzg'atilish hisobiga o'tkazuvchanlik sohasiga valent sohasidan elektronlar o'tishi va elektr tokini o'tkazishda ishtirok qilishi mumkin. Valent sohasida hosil bo'lgan bo'sh o'rinoarga elektronlarning ko'chishi, unga qarama-qarshi bo'lgan musbat zaryadlarning harakatini hosil qiladi va bu zaryadlarga teshiklar deyiladi.

Dielektriklar deb, valent sohasi to'ldirilgan va bu sohadan keyingi, o'tkazuvchanlik sohagacha energetik masofa nisbatan katta bo'lgan moddalarga aytiladi.

Metallar uchun boshqa tuzilish xarakterlidir, ularda bevosita valent sohasi qisman to'ldirilgan bo'ladi, yoki u keyingi soha-o'tkazuvchan sohasi bilan kirishishgan bo'ladi.

Agar moddaning valent sohasi to'laligicha egallanmagan bo'lsayu, ammo o'tkazuvchanlik sohasigacha bo'lgan energetik masofa nisbatan kichik (2 eV dan kamroq) bo'lsa, bunday moddalar YAO deyiladi. YAO xususiyatlari xususan elektr o'tkazuvchanligi tashqi muhitga, ayni-sa haroratga bog'lik bo'ladi. Harorat (T)ning ortishi elektronlar miqdorining valent va o'tkazuvchanlik soha orasida joylashgan man qilingan sohadan (E_g) o'tib o'tkazuvchanlik sohasiga o'tishda tok tashuvchilarning eksponensial ravishda ko'payishiga va elektr o'tkazuvchanlikning (σ)

$$\sigma = A \exp(-E_g/2kT) \quad (1)$$

tenglamaga asosan o'zgarishiga olib keladi. Bu erda k – Bolsman doimiyligi, A – moddani xarakterlovchi o'zgarish kattalik.

Metallarning elektr o'tkazuvchanligi erkin elektronlar konsentratsiyasi o'zgarish bo'lganligi tufayli elektronlar harakatchanligining haroratga bog'likligi bilan aniqlanadi va haroratning ortishi bilan asta-sekin kamayadi..

YUqoridagi tenglamani logariflab quyidagi holda ifoda etamiz.

$$\ln \sigma = \ln A - E/2kT \quad (2)$$

Bu tenglamani yarim logarifmik koordinatalarda grafik ravishda ko'rsatish mumkin va hosil bo'lgan to'g'ri chiziq va uning φ burchakli tangensi YAO' materiallarning asosiy parametri bo'lgan, man qilingan soha kengligi bo'lgan $E_g = 2kT\varphi$ ni aniqlaydi. Ta'kidlash lozimki, qiya to'g'ri chiziq ,ya'ni elektr o'tkazuvchanlikning logarifmi $1/T$ dan o'zgarishi faqat toza kirishmalardan xoli, xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materiallar uchungina shunday ko'rinishga ega.

Kirishmali yarim o'tkazgichlarda $\ln G$ ning $1/T$ dan bo'lanishi murakkab bo'lib, u ikkita qiya to'g'ri chiziqdan iborat bo'lishi mumkin va bir-biri bilan gorizontal qism orqali tutashgan bo'ladi. Past haroratli sharoitda o'lchash natijasida olingan $\ln \sigma = \ln A - E/2kT$ tenglamadan hosil qilingan qiya to'g'ri chiziq tangensi yordamida kirishmalarning man qilingan sohada joylashgan energetik sathlari holatini aniqlash mumkin. ,YUqori haroratli sharoitda olingan hollarda esa YAO' materialning man qilingan sohasi kattaligini, ya'ni E_g ni aniqlash mumkin.

QE tayirlashda quyosh nurlanishining YAO' material bilan o'zaro ta'siri, fotonlar energiyasi materialdagi elektronlarda yutilishi va chiqishi jarayonlari muhim ahamiyatga egadir.

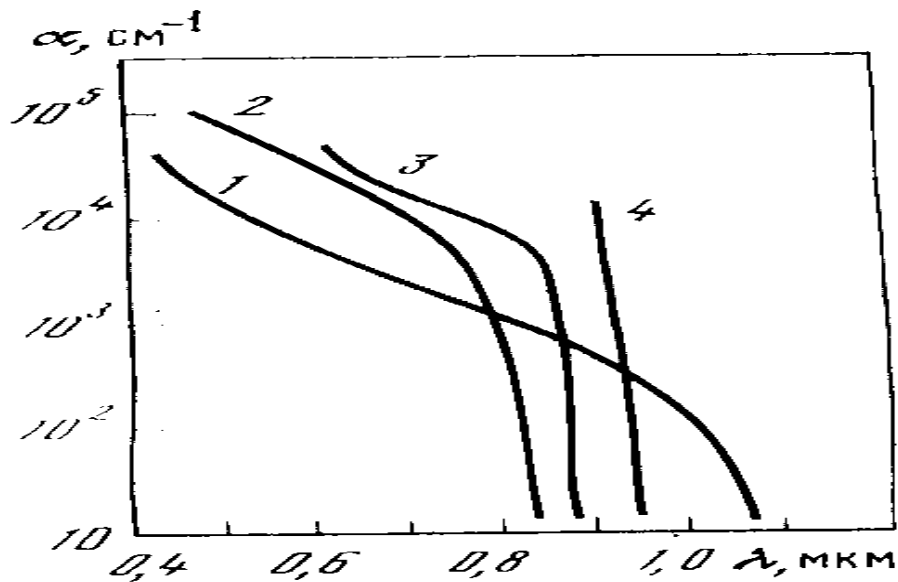
Kvant mexanikasida elementar zarrachalar, shu jumladan elektronlar ham to'lqin xossalriga ham ega deb qaraladi. SHuning uchun elementar zarrachalar harakatini o'rganishda energiya (E) va impuls (R) bilan bir qatorda, ularning to'lqin uzunliklari λ va takrorlanuvchanligi ν va to'lqin vektori $K = P/h$, (h - Plank doimiyligi) ham ishlatiladi. Bu erda $E = h \nu$ va $P = h/\lambda$ ga teng.

Kristallning sohali tuzilmasini $E - K$ diagrammalar bilan tasvirlash mumkin. Bu erda energiya elektron-voltlarda (eV) to'lqin vektori K - kristalli panjara doimiyligi qismlarida ko'rsatiladi, shu bilan birga K o'qida ko'rsatkichlar yordamida kristall orientatsiyasining yo'nalishi ko'rsatiladi. $E - K$ diagrammasining ko'rinishi vositasida sohalararo o'tishlarning YAO' materialdagi

xarakteri va jumladan o'tishning «to'g'ri» yoki «to'g'rimas»ligini aniqlash mumkin.

Optik yutilishni o'lchashdan aniqlangan E_g ning kattaligi, ko'pincha YAO' materialdagi erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga, haroratga va kirishmalar energetik sathlarining man qilingan sohada mavjudligiga bog'lik bo'ladi. Agar o'tkazuvchanlik sohasi tubidagi va valent sohasi ustidagi holatlar zaryad tashuvchilar bilan to'ldirilgan bo'lsa, u holda optik o'lchashlar natijasi kirishmali YAO' li materiallar uchun E_g sof xususiy materialga tegishli qiymatidan kattaroq bo'lishi mumkin. Agar kirishmalar hosil qilgan soha eng yaqin ruxsat etilgan soha chegarasi bilan birlashib ketsa, masalan, ko'p miqdordagi kirishmalar kiritilganda kuzatiladigan holat, u holda E_g kamayadi. E_g ning bunday kamayishi asosiy yutilish chegarasiga ta'sir qiladi.

YAO' materialda yutilish koeffitsienti α odatda to'lkin energiyasining $1/\alpha$ masofada e marotaba kamayishi orqali aniqlanadi va u $N=N_0 \exp(-\alpha\ell)$ dan topiladi, bu erda N – YAU materialda ℓ chuqurlikka kirgan fotonlar oqimining zichligi, N_0 – material sirtini kesib utuvchi fotonlar oqimining zichligi.



Rasm 2. Yarim o'tkazgichli ayrim materiallar uchun yutilish ko'rsatkichining energiyadan o'zgarishi. 1- Si, 2-CdTe, 3-GaAs, 4-InP.

Materialning yutilish koeffitsienti α yutilish ko'rsatkichi K bilan $\alpha=4\pi K/\lambda$ munosabat orqali bog'langan. Shunday qilib, ma'lum va aniq qalinlikka ega bulgan YAO' material namunalaridan o'taetgan optik nurlanish intensivligini o'zgartirib K va λ ning shu modda uchun qiymatlarini topish mumkin.

Quyosh elementlari tayyorlanadigan ayrim YAO' materiallar uchun 2-rasmda α ning energiya bo'yicha o'zgarishi keltirilgan.

Rasmdan ko'rinadiki yutilish ko'rsatkichi α ning spektral xarakteristikasi keltirilgan YAO' materiallarda bir-biridan katta farq qiladi va bu farq asosan ularning sohali tuzilmasi va optik o'tishlar xarakteriga bog'likdir. GaAs, InP, CdTe YAO' materiallarda to'g'ridan-to'g'ri soha-soha xarakterdagi optik o'tishlar mavjud bo'lib, nurlanish spektrida E_g dan ortiq energiyali fotonlar paydo bo'lishi bilan α tezda $10^4 - 10^5 \text{ sm}^{-1}$ darajasiga ko'tariladi.

Kremniy materialida esa yutilish jarayoni 1,1 eV dan boshlab to'g'ri bo'lmagan energetik o'tishlar orqali bo'ladi va buning uchun xam yoru/lik kvanti, hamda panjara tebranishlari kvanti-fononlar ishtiroki talab qilinadi.. SHuning uchun, yutilish kursatkichi α asta-sekin ortib boradi. Faqat fotonlar energiyasi 2,5

eV ga etgandan keyingina soha-sohali o'tishlar to'g'ridan-to'g'ri o'tishlarga aylanadi va yutilish keskin orta boshlaydi.

Yutilish ko'effitsientining spektral xarakteristikasi shuni ko'rsatadiki, kremniy materialini qo'llab quyosh spektrining juda katta qismini elektr tokiga aylantirish mumkin. Misol uchun atmosferadan tashqaridagi quyosh nurlanishi uchun (AM O) bu 74% tashkil qiladi. Holbuki, agar material sifatida GaAs YAO' olinsa faqat 63 % quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish mumkin. Ammo, «to'g'rimas» optik o'tishlarning asosiy yutilish chegarasida λ ning qiymati katta bo'lmaganligi sababli, butun keltirilgan quyosh spektri yutilishi uchun kremniyli QE ning qalinligi 250 mkm dan kam bo'lmasligi kerak. Holbuki xuddi shunday sharoit uchun GaAs materialining qalinligi 2-5 mkm bo'lishi kifoyadir. SHuning uchun, spektral xarakteristikaning bu xususiyatlarini yuqori samarali va yupqa qatlamli QE ishlab chiqishda ahamiyati katta ekanligini doimo hisobga olish zarur.

Agar YAO' sirtga tushayotgan fotonlar energiyasi kam bo'lib, yutilish natijasida elektronlarni valent sohasidan o'tkazuvchanlik sohasiga chiqara olmasa, nurlanish ta'sirida elektron kristall ichida ruxsat etilmagan sohalarga o'tishi mumkin. Bunday holat uchun yutilishning spektral xarakteristikasining asosiy yutilish chegarasidan keyingi uzun to'liqinli qismida sezilishi mumkin. Bunday yutilish erkin zaryad tashuvchilar yutilishi deyiladi va bu jarayon shunday zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga bog'lik bo'ladi. Erkin zaryad tashuvchilar engil ionizatsiya bo'la oladigan kirishmalar konsentratsiyasiga bog'lik bo'lgani uchun, yutilish ham unga to'g'ridan –to'g'ri bog'lik buladi. YAO' materiallarda bunday uzun to'liqinli yutilish xususiyatlarini o'rganish natijasida yutilishning bir necha turi mavjudligi aniqlangan. Jumladan, fazoviy panjara tebranishlarida yutilish, kirishmalarda yutilish, eksitonlarda yutilish. Eksiton – bog'langan elektron-teshik juftligi bo'lib zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o'zgartirmaydi. Chunki kristall ichida alohida elektron yoki teshik xarakatlari emas, balki bog'langan holat xarakatidir.

Yutilish spektrlari kristall tuzilishi xususida kerakli va har tomonlama foydali informatsiya beradi, jumladan, legirlanish darajasi, kirishmalarning

aktivlanish energiyasini va ularning man qilingan sohada joylashgan energetik sathlarini aniqlab beradi. Masalan, yutilish spektrlari asosida kremniyda kislorodning bor yuqligini aniqlash mumkin (9 mkm). YAO‘ materiallarda akslanish koeffitsienti asosiy yutilish chegarasida uy sharoitida ionizatsiya bo‘ladigan kiritilgan kirishmalar darajasiga bog‘lik emas. Ammo spektrning uzun to‘lqinli sohasida akslanish koeffitsienti R, bunday kirishmalar ortishi bilan keskin o‘shishi kuzatiladi.

1.2. Yarimo‘tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish.

Fotoelektrik effektga asoslangan YAO‘ materiallarda r-p o‘tishli tuzilmalardan iborat QE da, ularga tushayotgan quyosh nuri bevosita elektr energiyasiga aylantiradi. SHuning uchun, QE fotoqabullagich va fotoqarshiliklardan farqli ravishda tashqi kuchlanish manbaiga muhtoj emas. Bu effekt yuz yildan ortiq vaqt davomida selen va mis oksidining fotoelektrik xususiyatlari sifatida o‘rganib kelingan, ammo ularning foydali ish koeffitsienti (F.I.K.) 0,5 % oshmagan.

Bu muammoning nisbatan faol echilishi YAO‘ materiallar elektron tuzilishining soha nazariyasi yaratilganidan keyin, materiallarni kirishmalardan tozalash va nazoratli kirishmalar kiritish texnologiyasi, hamda r-p o‘tishning nazariyasi yaratilishi bilan bo‘liqdir.

Sunggi 35 yil davomida energiya manbai sifatida yuqori samarali Si, GaAs, InP, CdTe va ularning qattiq qotishmalari asosida F.I.K. 20-24 % bo‘lgan QE yaratildi. Kaskadli QE larda esa F.I.K. 30 % gacha etkazildi.

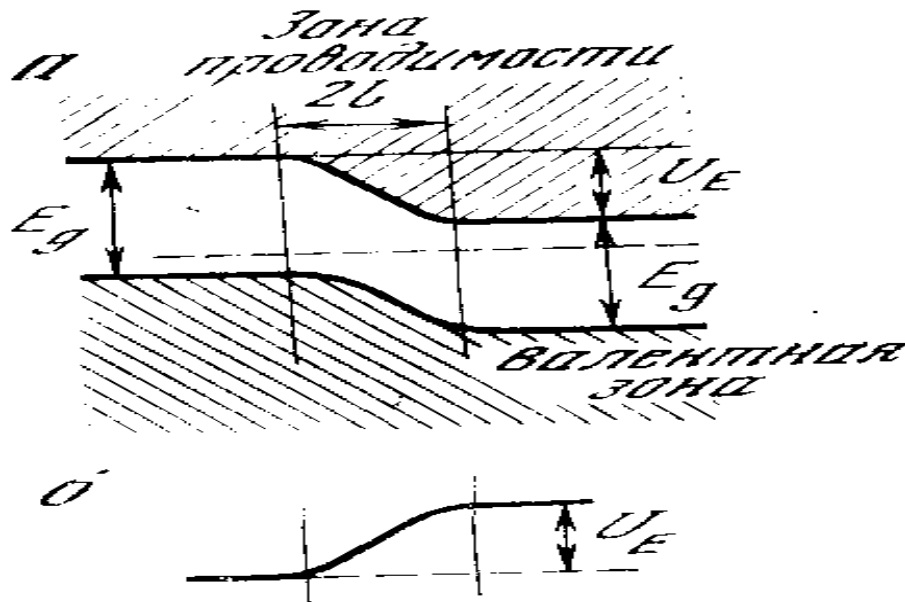
1.3. Quyosh elementlari konstruksiyalari.

Keng tarkalgan kremniy asosidagi QE lari konstruksiyasi qarama-qarshi tipdagi r- va p-materialning bir-biriga yaqin tutashtirishdan hosil qilinadi. YAO‘ material ichidagi r- va p-tip

materiallar orasidagi o'tish sohasi (chegara xududi) elektron-teshik yoki r-p o'tish deyiladi. Termodinamik muvozanat holida elektron va teshiklar muvozanat holatini belgilovchi Fermi sathi materialda bir xil holda bo'lishi kerak. Bu shart r-p o'tish hududida ikkilangan zaryadli qatlam hosil qiladi va uni hajmiy zaryad qatlami deyilib, unga taaluqli elektrostatik potensial paydo bo'ladi.

R-p tizilma sirtiga tushgan optik nurlanish sirtidan material ichiga qarab r-p o'tish yo'nalishiga perpendikulyar ravishda konsentratsiyasi kamayib boruvchi elektron-teshik juftliklar hosil qiladi. Agar sirt yuzasidan r-p o'tishgacha bo'lgan masofa nurning kirish chuqurligidan ($1/\alpha$ dan) kichik bo'lsa, elektron-teshik juftliklar r-p o'tishdan ichkarida ham hosil bo'ladi. Agar r-p o'tish juftlik hosil bo'lgan joydan diffuzion uzunlikchalik masofa yoki undan kamroq masofada bo'lsa, zaryadlar diffuziya jarayoni natijasida r-p o'tishga etib kelib, elektr maydoni ta'sirida ajratilishi mumkin. Elektronlar r-p o'tishning elektron bor bo'lgan qismiga (p-qismiga), teshiklar r-qismiga o'tadi. Tashqi r- va p-sohalarni birlashtiruvchi elektrodalarda (kontaktlarda) potenciallar ayirmasi hosil bo'lib, natijada ulangan yuklanma qarshiligi orqali elektr toki oqa boshlaydi.

R-p o'tishga diffuziyalangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar, potensial to'siq bo'lganligi sababli, ikkiga ajratiladi. Ortiqcha hosil bo'lgan (to'siq yordamida ajratilgan) va to'plangan, p-sohadagi elektronlar va r-sohadagi teshiklar r-p o'tishdagi mavjud hajmiy zaryadni kompensatsiya qiladi, ya'ni mavjud bo'lgan elektr maydoniga qarama-qarshi elektr maydonini hosil qiladi. YOritilish tufayli tashqi elektrodalarda potenciallar ayirmasi hosil bo'lishi bilan birga yoritilmagan r-p o'tishdagi mavjud potensial to'siqning o'zgarishi ro'y beradi. Hosil bo'lgan foto-EYUK bor bo'lgan potensial to'siq qiymatini kamaytiradi. Bu esa o'z navbatida qarama-qarshi oqimlarning paydo bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni elektron qismdan elektronlar oqimini, r-qismdan teshiklar oqimini hosil qiladi. Bu oqimlar



Rasm 3. Yoritilmagan r-p o'tishli yarim o'tkazgichda energetik zonalar strukturasi (a), elektrostatik potensial taqsimoti (b). $2l$ – fazoviy zaryad sohasining kengligi, U_E – r- va p- sohalar chegarasidagi muvozanat xol uchun elektrostatik potensial, E_g – man qilingan soha kengligi, shtrixlangan chiziq – muvozanat holi uchun Fermi sathi.

r-p o'tishga qo'yilgan elektr kuchlanishi ta'siri natijasida to'g'ri yunalishdagi tok bilan deyarli teng bo'ladi. Yoritilish jarayoni boshlangan vaqtdan boshlab ortiqcha (muvozanatdagiga nisbatan) zaryadlarning to'planishi (elektronlarning p-sohada va teshiklarning r-sohada) potensial to'siq balandligini kamaytiradi, yoki boshqacha qilib aytganda elektrostatik potensialni pasaytiradi (3-Rasmga qarang). Bu esa o'z navbatida tashqi yuklanmadan oqayotgan tok kuchini oshiradi va qarama-qarshi oqimlar hosil qiluvchi elektronlar va teshiklar oqimini r-p o'tishdan o'tishini ta'minlaydi. Yorug'lik tufayli hosil bo'lgan ortiqcha juftliklar soni r-p o'tish yoki tashqi yuklanma orqali ketayotgan juftliklar soniga teng bo'lganda stasionar muvozanat hosil bo'ladi. Odatda bu hol yoritilish jarayonining mingdan bir soniyasi davomida ro'y beradi.

QE qisqa tutashuv toki I_{kz} ni, tushayotgan optik nurlanish zichligi va spektral tarkibidan o'rganish element tuzilmasi ichida bo'layotgan alohida har bir nurlanish kvantining elektr energiyasiga aylanish jarayoni samaradorligi haqida tasavvur hosil imkoniyatini beradi. QE uchun ma'lum yorug'lik oqimi zichligi tushayotgan hol uchun quyidagi tenglamani keltirish mumkin.

$$I_{kzyu}(\lambda) = I_{kzt}(\lambda)/[1-r(\lambda)] \quad (3)$$

bu erda $I_{kzt}(\lambda)$ va $I_{kzyu}(\lambda)$ – QE qisqa tutashuv tokining qiymati, berilgan intensivlikdagi tushayotgan va yutilgan nurlanish uchun, $r(\lambda)$ - birlamchi qaytish koeffitsienti. Keltirilgan uchchala kattaliklar xam bir xil to‘lqin uzunligi bo‘lgan hol uchun to‘g‘ridir.

QE ni tahlil qilish va sifatini baholash uchun uning I_{kz} tokining spektral xarakteristikasini yutilgan har bir kvant nur uchun hisoblangani o‘ta muhimdir. Bu kattalikni quyosh elementining effektiv kvant chiqishi deyiladi va Q_{eff} bilan belgilanadi. Agar N_0 – YAO‘ material sirtining birlik yuzasiga tushayotgan kvantlar soni bo‘lsa, u holda

$$Q_{eff} = I_{kz}/ N_0 \quad (4)$$

bo‘ladi, bu erda I_{kz} elektron soniyada o‘lchanadi, va Q_{eff} elektron kvant (foton)larda olinishi kerak.

QE effektiv kvant chiqishi ikki parametrga bog‘lik bo‘lib, u

$$Q_{eff} = \beta\gamma \quad (5)$$

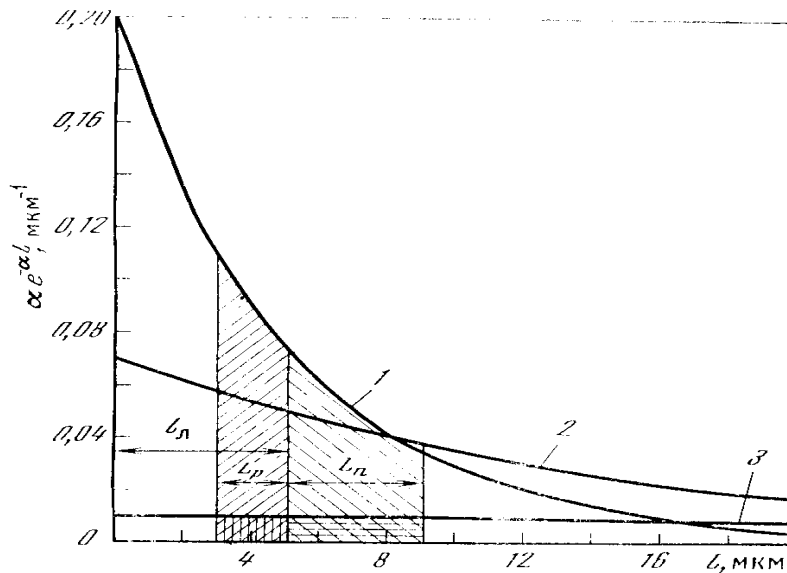
β -ichki fotoeffektning kvant chiqishidir. Bu kattalik har bir yutilgan kvant uchun fotoionizatsiya jarayonida YAO‘ ichida hosil

bo‘ladigan elektron-teshik juftliklarni ko‘rsatadi. γ – r-p o‘tish potensial to‘siqining tok tashuvchilarni yig‘ish (jamlash) koeffitsientidir, yoki boshqachasiga aytganda tok tashuvchilarning ajratish koeffitsienti ham deyiladi. Bu koeffitsient optik nurlanish yordamida hosil bo‘lgan umumiy juftliklardan qancha qismi qisqa tutashuv tokida ishtirok etishini ko‘rsatadi. Tashqi o‘lchash asbobi ulangan hol uchun, $\beta=1$ bo‘lsa, har bir kvant bitta juftlik hosil qila olishini ko‘rsatadi.

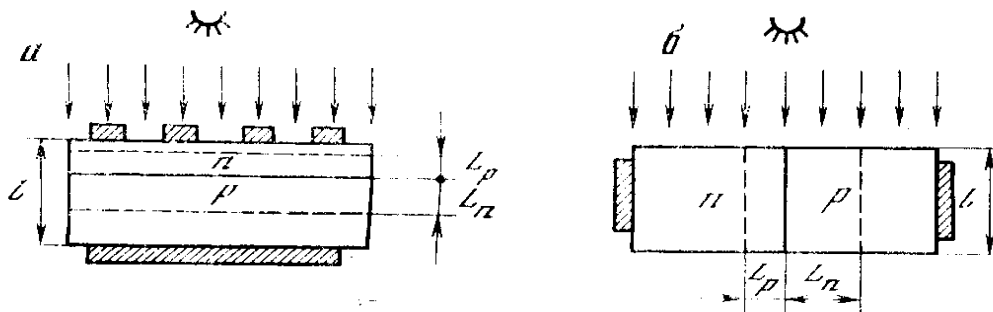
Har xil to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan optik nurlanish, materialda har xil chuqurlikka kira oladi (kvantlarning chuqurlikka kirish qobiliyati ularning energiyasiga bog‘likdir). YAO‘ materiallarda yutilgan kvantlar hisobiga hosil bo‘lgan

Rasm 4. *Har xil to‘lqin uzunlikka ega bo‘lgan nurlanishning kremniy asosidagi r-p o‘tishga perpendikulyar tushgan hol uchun hosil bo‘lgan elektron-teshik*

juftliklarining taqsimlanishi. 1- $\lambda = 0,619 \text{ mkm}$, $\alpha = 2000 \text{ sm}^{-1}$; 2- $\lambda = 0,81 \text{ mkm}$, $\alpha = 700 \text{ sm}^{-1}$; 3- $\lambda = 0,92 \text{ mkm}$, $\alpha = 90 \text{ sm}^{-1}$.



elektron-teshik juftliklar materialda fazoviy taqsimot hosil qiladi (4-rasm ga qarang). Hosil bo‘lgan juftliklarning keyingi taqdiri YAO‘ ateriallarning diffuzion yo‘li uzunligiga bog‘likdir. Agar bu parametr kattaligi etarlicha bo‘lsa, u holda nurlanish tufayli hosil bo‘lgan ortiqcha asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar faqat diffuziya jarayoni tufayli r-p o‘tishga kelib uning elektr maydoni orqali ajratilishi mumkin. Optik nurlanishni aylantirilishi jarayonida muhim rolni elektronlarning diffuziya yo‘li uzunligi(L_p) va r-p utish chuqurligi (ℓ) uynaydi, chunki hosil bo‘laetgan va ajratilishi kerak bo‘lgan juftliklar ularga bog‘liqdir.



Rasm 5. Yarim o‘tkazgichli kristallda r-p o‘tishlarning joylashish sxemalariga qarab (a) perpendikulyar va (b) parallel r-p o‘tish tekisligi uchun optik nurlanishning tushishi. L_n , L_p – r- va p – sohalarda asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari; ℓ - yarim o‘tkazgichda nurlanishning kirish

chegarasi; shtrixlangan sohalar – r- va p-sohalardagi metall kontaktlarning ko‘rinishi.

Optik nurlanishning YAO‘ materialga tushish yo‘nalishiga qarab r-p o‘tish konstruksiyasining ikki xili mavjud va ularni quyidagi 5- rasmda keltirilgan holi uchun ko‘rib o‘tamiz.

1-hol. Optik nurlanish yo‘nalishiga r-p o‘tish perpendikulyar joylashgan hol. Optik nurlanish qalinligi l ga teng bo‘lgan YAO‘ materialning butunlay oxirigacha kiradi.

2-hol. Optik nurlanish yo‘nalishiga r-p o‘tish parallel joylashgan hol. Nurlanish kengligi d ga teng bo‘lgan tuzilmaga tushadi.

Perpendikulyar va parallel joylashgan r-p o‘tishlar uchun yig‘ish (jamlash) koeffitsienti (effektivligi) quyidagi munosabatlar bilan aniqlanadi.

$$\gamma = (L_p + L_r) / \ell \quad (6) \quad \text{va} \quad \gamma = (L_p + L_r) / d \quad (7)$$

bu erda, L_r – teshiklarning diffuziya yo‘li uzunligi.

Birinchi qarashda r-p o‘tishning parallel joylashishi afzalroq ko‘rinadi, chunki hosil bo‘lgan zaryad juftliklarini to‘laligicha yig‘ish va ajratish uchun YAO‘ material qalinligiga va r-p o‘tishga nisbatan ularning taqsimlanishi muhimdir. YAO‘ ichida juftliklarning material chuqurligiga nisbatan bir tekis hosil bo‘lishi ularning r-p o‘tish tomon diffuziya hodisasi orqali ajratilish jarayoni uchun o‘ta muhimdir. SHuning uchun, ko‘p r-p o‘tishlarga ega bo‘lgan QE larda (fotovoltlar-ko‘p sonli mikro QE lardan iboratlarda), ularning r-p o‘tishlari tushayotgan optik nurlanishga parallel joylashtiriladi. Optik nurlanishning uzun to‘lqinli qismida, bu konstruksiya zaryad tashuvchilarning yig‘ishning yuqori samaradorligiga ega bo‘ladi, hamda bir birlik yuzadan katta miqdordagi foto-EYUK olishga imkon yaratadi.

Ammo, asosiy muammolardan biri bo‘lib, nisbatan kichkina o‘lchamli parallel joylashgan r-p o‘tishlarga ega bo‘lgan mikro QE larida rekombinatsiya hodisasining perpendikulyar joylashgan r-p o‘tishlarga nisbatan kattaligi nazariy va amaliy jihatdan aniqlandi. SHuning uchun, bu turdagi QE uchun quyosh nurlanishiga qaratilgan yuzasida qisqa to‘lqinli nurlar spektral effektivligini

o'shirish uchun, qo'shimcha kirishmalar kiritilgan teskari tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan =ushimcha yupqa qatlam hosil qilish maqsadga muvofiqdir. YA'ni, yana qisman perpendikulyar konstruksiya elementiga qaytish maqsadga muvofiqdir.

Parallel joylashgan r-p o'tishli QE larida hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar konsentratsiyasi (M) material yuzasidan ichkarisiga qarab o'zgaradi. Perpendikulyar joylashgan r-p o'tishli QE konstruksiyasi uchun esa p-tipdagi material uchun ham r-tipdagi uchun ham hosil bo'layotgan juftliklarning aksariyati r-p o'tishga yaqin joyda hosil bo'ladi. Hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklar birlik chuqurlikda quyidagi tenglama orqali aniqlanadi.

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha l) \quad (8)$$

bu erda, N_0 -bir birlik yuzaga tushayotgan kvantlar soni. Juftliklar soni, ichkariga qarab kamayib boradi. Ularning sonini YAO' materialda yutilishi mumkin bo'lgan sohada α (E) ni aniqlash mumkin. SHunday hisoblashlarning kremniy uchun natijasi, bir necha qiymatga ega bo'lgan to'liq uzunliklari uchun quyidagi 5-rasmda berilgan. P- va r-tip materialdagi zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari sohalarini chegaralagan vertikal chiziqlar, r-p o'tish perpendikulyar bo'lgan hol uchun zaryad tashuvchilar jamlash jarayonini baholash imkonini beradi. Chiziqlar ordinatalari $\alpha \exp(-\alpha l)$ ga proporsional bo'lib, absissalar esa YAO' material yoritilgan yuzasidan ichkariga kirish chuqurligini ko'rsatadi. O'klar orasidagi chiziqlar bilan chegaralangan yuzalar – tushayotgan kvantlar oqimiga teng, ordinatalar bilan chegaralangan yuzalar $l = l_d l_n$ va $(l_d + l_n)$ (shtrixlangan qism) – qisqa tutashuv tokini ko'rsatadi. SHunday qilib, shtrixlangan yuzaning umumiy yuzaga nisbati ichki fotoeffekt kvant chiqishini aniqlovchi ifodaga asosan ($\beta = 1$ hol uchun) yig'ish effektivligini beradi.

Quyosh elementlarining planar konstruksiyasi (optik nurlanish tuzilma yuzasiga perpendikulyar tushgan hol) QE texnologiyasida va ularni amaliy ishlatishdagi asosiy konstruksiyadir. Bunday QE har xil YAO' materiallar asosida ishlab chiqildi .Yuqorida keltirilgan tahlillar asosida yuqori samarali optimallashtirilgan konstruksiyalar ishlab chiqildi. Ammo har qanday material uchun ham ularga

qo'yiladigan yuqorida keltirilgan asosiy talablar saqlab qolinishi kerakligi aniqlandi. γ ni va I_{kz} oshirish uchun $r-p$ o'tishning ikkala tomonida xam albatta diffuzion uzunlikni oshirish maqsadga muvofiqdir. Buni amalga oshirish uchun kerakli material tanlash va $r-p$ o'tishni texnologik tayyorlash jarayonida diffuzion uzunlikni pasaymasligiga harakat qilish kerak. Agar uning pasayishi aniq bo'lsa uni hisobga olish zarurdir. Agar L_d ni frontal sirtida oshirish imkoniyati bo'lmasa, u holda frontal sirt qalinligini $L_p \gg \ell$ ga amal qilgan holda olish kerak. SHu asosda baza parametrlarini tanlash zarurdir.

Nazorat savollari

1. Dielektriklar deb nimaga aytiladi ?
2. Agar moddaning valent sohasi to'raligicha egallanmagan bo'lsayu, ammo o'tkazuvchanlik sohasigacha bo'lgan energetik masofa nisbatan kichik (2 eV dan kamroq) bo'lsa, bunday moddalar nima deyiladi ?
3. Kristallning sohali tuzilmasini qanday diagrammalar bilan tasvirlash mumkin ?
4. Yarimo'tkazgichli quyosh elementlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish qanday bo'ladi ?

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. I.I. Martinenko, V.I. Avesenko. Proektirovanie sistem avtomatiki. M. Agropromizdat 2000 g. 223 s.
2. M.Z.Gankin. Kompleksnaya avtomatizatsiya i ASUTP vodoxozyaystvennix sistem. M. Agropromizdat 2001 g . 432 s.
3. Pyastolov A.A., Eroshenko G.P. Ekspluatatsiya elektrooborodovaniya. M. Agropromizdat 2001 g. 287 s.
4. Ganelin A.M., Kostruba S.I. Spravochnik selskogo elektrika. - M.: Agropromizdat, 2002.- 304 s.
5. Prishep L.G. Uchebnik selskogo elektrika - M.: Agropromizdat, 2004.-434
6. Asinxronnie elektrodvigateli serii 4A: Spravochnik / A.E.Kravchik, M.M.Shlaf, V.I.Afonin, E.A.Sobolenskaya.- M.: Energoatomizdat, 2004.- 504

7. Tembel G.V., Gerashenko G.V. Spravochnik po obmotochnim dannim elektricheskix mashin i apparatov.- Kiev: Texnika, 2003.- 480 s.
8. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 1-iy t./ Pod obsh. red. I.P.Kopilova, B.K.Klokova.- M.: Energoatomizdat, 2005.- 455 s.
9. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 2-oy t./ Pod obsh. red. I.P.Kopilova, B.K.Klokova.- M.: Energoatomizdat, 2001.- 688 s.
10. Praktikum po texnologii montaja i ta'mira elektrooborudovaniya/ Pod red. A.A.Pyastolova,- M.: Agropromizdat, 2003.- 160 s.

2-Mavzu: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish usullari.

Reja:

1. Quyosh elementlari tayyorlashda ishlatiladigan asosiy materiallar.
2. Yarim o'tkazgichli materiallarning tigel yordamida o'stirish usullari.
3. Tigelsiz o'stirish usullari.
4. Kristallar o'stirish jarayonida kirishmalarning taqsimlanishi o'rganish.
- 5.

2.1. Quyosh elementlari tayyorlashda ishlatiladigan asosiy materiallar.

Yuqori samarali quyosh elementlari tayyorlash ishlatilishi ko'zda tutilgan yarim o'tkazgichli materiallarning xususiyatlariga bog'likdir. Hakikatdan, QE ideal effektivligi (harorat $T=300$ °K uchun) yarim o'tkazgichli materiallarning man qilingan zona kengligidan o'zgarishi hisobga olganda Er sharoiti uchun (AM 1) maksimal F.I.K $\eta \sim 1,4$ eV ga to'g'ri keladi. Bu tenglikni taqriban kanoatlantiradigan materiallar jumlasiga Si, InP, GaAs, CdTe, AlSb, hamda A^3V^5 , A^2V^6 yarim o'tkazgichlar asosidagi qattiq eritmalar to'g'ri kelishi mumkin.

QE ishining samaradorligi ko'pchilik yarim o'tkazgichli tuzilmalar ishi kabi, valent zonasining yuqori sathlari va o'tkazuvchan zonaning quyi sathlari orasida bo'ladigan har xil jarayonlar bilan bog'likdir. Agar YAO' material bir jinsli bo'lsa, ya'ni bir nuqtasidan keyingisiga uning kimyoviy tarkibi o'zgarmas bo'lsa, u holda elektronlarning energiyasi valent zonasining yuqorisida va o'tkazuvchan zonaning

pastida koordinatlardan mustaqil bo'ladi. «To'g'ri» o'tish zonasiga ega bo'lgan YAO' larda yutilish ko'rsatkichi katta qiymatlarga ega bo'ladi. Chunki tashqaridan energiya olgan elektronning $h\nu \geq E_g$ olgan energiyasi man qilingan zonadan o'tib o'tkazuvchanlik zonasiga kirib o'z harakat holatini davom ettirishiga etadi.

«To'g'ri bo'lmagan» o'tish zonasiga ega bo'lgan YAO' larda esa yutilish ko'rsatkichi va uning energiyadan usish sur'ati kamroq bo'ladi. Chunki elektronning valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga kvant tasiri ostida o'tishi qiyinlashadi. Sabab elektron o'z harakat yo'nalishini keskin o'zgartirishi (holatini) kerak (ΔE) va shu jarayon faqat ma'lum holatlarda bo'lishi mumkin. YA'ni foton o'z yo'lida YAO' material ichida shunday valent elektroni bilan uchrashishi kerakki, $h\nu$ energiyaning yutilish jarayonida kristall panjara atomlari issiklikdan tebranishlari ta'siri natijasida ΔK impuls olib, ekvivalent energiya miqdorini olishi yoki berishi kerak.

QE laridan boshqa fotoo'zgartgichlarda (M: fotoqabul qiluvchi tuzilmalarda, fotoqarshiliklarda) material tanlash asosan quyilayotgan talablarga bog'lik, ya'ni umuman nurlanish spektrining qaysi qismida ishlatilishiga bilan bog'lik bo'ladi.

Fotoo'zgartgichlarda ishlatiladigan ayrim yarim o'tkazgichli materiallar xossalari 1- jadvalda keltirilgan.

Material	E_g , eV	Zona turi	Xarakatchanlik 300 K, $\text{sm}^2 \text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	
			elektro n	teshik
Si	1,11	To'g'rimas	1350	480
GaAs	1,43	To'g'ri	8000	300
CdTe	1,44	To'g'ri	700	65

InP	1,36	To'g'ri	4500	100
GaSb	0,68	To'g'ri	5000	1000
AlSb	1,6	To'g'rimas	900	40

Yarim o'tkazgichli materiallar o'stirish usullari.

Yarim o'tkazgichli materiallar olish texnologiyasini tanlash ularga quyilgan talablarga bog'lik bo'lib, bular jumlasiga asosan materialning tozaligi kiradi. Misol uchun YAO' diodning teskari yo'nalishdagi quyiladigan kuchlanishi materialning solishtirma qarshiligiga bog'lik bo'lib, $\rho \sim 0,5$ om sm bo'lgan Ge da $U_{tes} = 10-12$ V bo'lgan diod olish mumkin. Bunday Ge materialida 100 ta kirishma atomiga $1,5 \cdot 10^9$ Ge atomi to'g'ri kelsa, kirishmalar sonini 100 marta kamaytirilsa ($\rho = 50$ om sm) $U_{tes} = 500$ V ga teng bo'lgan diod olish mumkin.

Shuning uchun yarim o'tkazgichlar asosida ishlatiladigan texnik asboblarda moddalar tozaligi nuqtai nazaridan materiallar uch toifaga bo'linadi. A – toifaga oddiy klassik ximiyaviy analiz yo'li bilan aniqlanishi mumkin bo'lgan A1 – 99,9% tozalikka ega bo'lgan va A11-99,99% tozalikka ega bo'lgan materiallar kiradi. V – toifa V₃ va V₆ larga bo'linadi. Bunday moddalar alohida toza va o'ta toza deyiladi (10^{-3} - 10^{-6} % aniqlikda kirishmalar). Keyingi eng toza toifa bo'lib S₇-S₁₀ ga mansub bo'lib tozalik darajasi 10^{-7} - 10^{-10} % dir.

Yarim o'tkazgichli materiallar o'stirish usulini tanlash ularning fizik va kimyoviy xususiyatlarini o'rganishga bog'likdir. Misol uchun, agar moddaning erish harorati yuqori, kimyoviy aktiv va bug' bosimi katta bo'lsa, bunday moddalarning kristallini ustirish juda qiyin bo'lib, ularni bug' fazasi yoki eritmalaridan kichik o'sish tezliklarida o'stirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Ustirish jarayoni haroratini juda aniq nazorat qilishga, moddalar taqsimotini nazorat qilishga, gaz holatidagi komponentlar bosimini doimiy miqdorda saqlashga, dastgohning mexanik qismlari ishini aniq nazorat qilishga to'g'ri keladi.

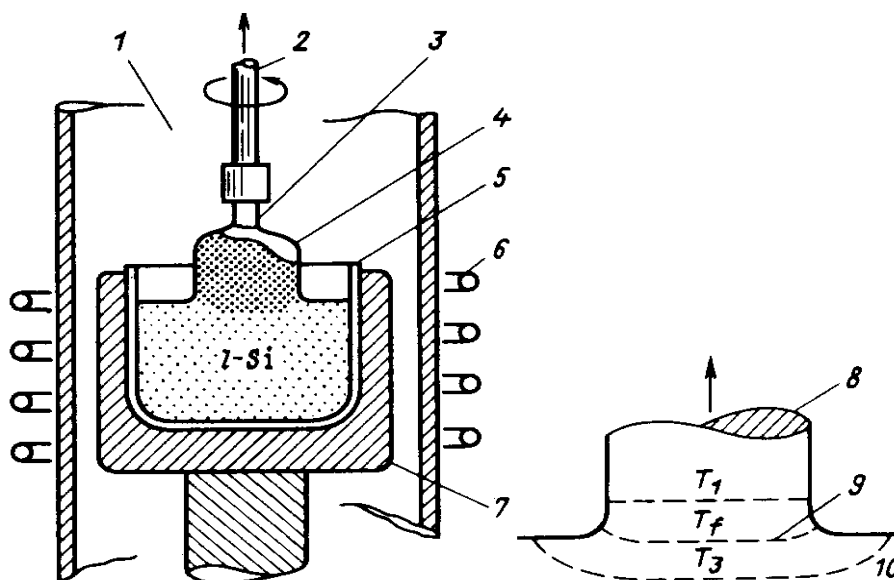
2.2. Yarim o'tkazgichli materiallarning tigel yordamida o'stirish usullari.

O‘stirish usullari ko‘p bo‘lib ulardan asosiylari jumlasiga quyidagilar kiradi.

1. Toza moddalardan va legirlangan kirishmali o‘ta to‘yingan eritmalardan o‘stirish (vo‘rahivanie iz rasplavov).
2. Eritmalardan o‘stirish (vo‘rahivanie iz rastvor-rasplavov).
3. Bug‘ fazasidan o‘stirish.

Stexiometrik tarkibdagi suyuq fazadan kristallarni o‘stirish (1 usul) usullari 2 ga bo‘linadi. A) Tigel yordamida o‘stirish usullari; B) Tigelsiz usullar.

Bu usul bir necha ko‘rinishga bo‘linadi. Jumladan, yo‘naltirilgan kristallizatsiya usuli, «gorizontal» va «vertikal» Bridjmen usuli, zonali eritish usuli, Choxralskiy usuli.(12- Rasm).

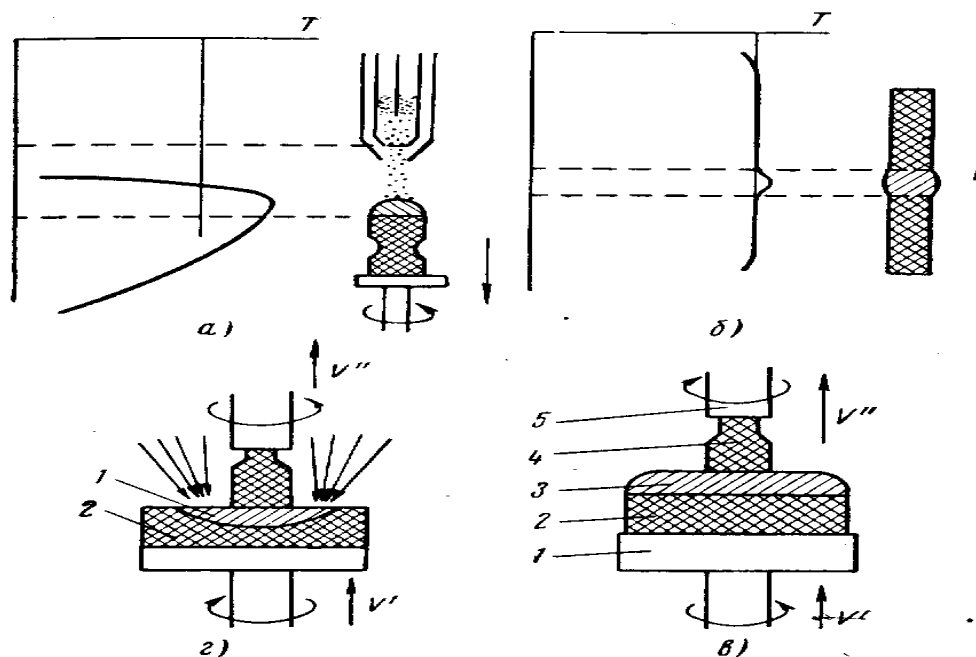


Rasm 1 Kristallarni Choxralskiy usuli bilan o‘stirish qurilmasi.

1 – vakuum yoki inert muhit; 2 – kristallni tortuvchi sterjen; 3- dastlabki o‘stirishni belgilovchi kristall; 4 – o‘tib borayotgan kristall; 5 – kvardsdan qilingan tigel; 6 – yuqori chastotali induktor; 7 – induksion tok ta‘sirida =izdiriluvchi grafit; 8 – kremniy kristalli; 9 – kristallizatsiya fronti; 10 – suyuq kremniy.

Bu usullarning asosini issiqlikni yoʻnaltirilgan holda uzatish tashkil qiladi. Vertikal pechlar uchun xarakterli narsa «kristallizatsiya» frontini kuzatish mumkin emasligidir. Yana bir kamchilik oʻsayotgan kristallning tigl devorlari bilan doimiy kontaktda boʻlib turishidir. Oʻlchamlari kerakligicha katta monokristallar olish uchun, butun texnologik jarayon davomida kristallanish chegarasi qavariq geometriyali boʻlishi kerak. Buning uchun tigl devorlarining harorati suyuq faza haroratidan doimiy yuqori boʻlishi kerak. Natijada tigl devorlarida parazit kristallanish markazlari hosil boʻlishining oldi olinadi.

Zonadan oʻstirish (2-rasmga qarang). Bu usulning Bridjmen usulidan farqi shundaki ikkita pech ishlatiladi, biri harorati $T < T_{er.}$, ikkinchisi harakatchan konstruksiyali qisqa zonali harorati $T > T_{er.}$ Bu usulda erigan modda tigl devorlari bilan kamroq kontaktda boʻlgani uchun oʻstirilayotgan kristall kamroq ifloslanadi. Eriyotgan va erigan zona qalinligini va uning siljish tezligini oʻzgartirish imkoniyati mavjud. Shuning uchun bu usul YAOʻ materiallarni yaxshiroq tozalash imkoniyatini beradi.



Rasm 2 Monokristallarni eritmalardan oʻstirishning tigelsiz usullari.

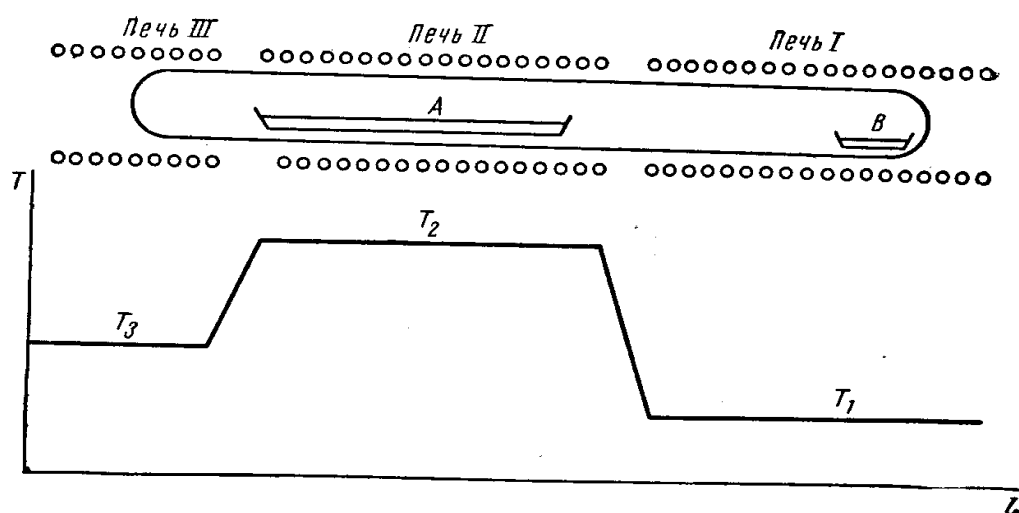
A – Varneyl usuli; b – vertikal zonali eritish; v – «tomchidan» tortish usuli; g – «ko‘lmakdan» tortish usuli.

Choxralskiy usuli. Bu usul asosan sanoat ko‘lamida Ge va Si ishlab chiqarishda ishlatiladi.12- Rasmda CHoxralskiy usulining prinsipial sxemasi berilgan. YUqoridagi usuldan uning farqlaridan biri bu tigelsiz usul bo‘lib (o‘stirilayotgan kristallga nisbatan) o‘stirilaetgan kristall o‘lchamini nazorat qilish mumkin, hamda o‘sish sur‘atini nazorat qilish imkoniyati mavjud.

2.3. Tigelsiz o‘stirish usullari.

Tiglgga yaroqli materiallarning cheklanganligi tufayli bu usullar qo‘llanilishi ham nisbatan cheklangan. Tiglgga yaroqli asosiy materiallardan biri kvardsdir. Kremniy va arsenid galliy kristallarini o‘stirishda ishlatiladigan kvars tigellarda eritma odatda kislorod bilan ifloslanadi. Misol, kremniy monokristallini o‘stirish jarayonida kremniyda 10^{17} sm^{-3} ga qadar kislorod kirishmalari kirishi mumkin. Arsenid galliy monokristallini o‘stirish jarayonida esa kvarsdan kisloroddan tashqari unga kremniy ham kirishi mumkin. Tiglsiz usullarni Varneyl usuli va tiglsiz zonali o‘stirish misolida ko‘rishimiz mumkin (13-rasm). Polikristalli yaxlit silindr shaklidagi kremniy namunasi vertikal holatda mushtarak o‘=li sovutiladigan shtokka mahkamlanadi. YUqoridagi shtokka mahkamlangan kichkina tir=ishli idishda maydalangan holdagi o‘stirilayotgan material kukuni solinadi. SHtoklarni o‘zgarmas tezlikda aylantirish yoki bir biriga nisbatan yaqin masofaga ko‘chirish mumkin. Kremniyning tor (chegaralangan) qismida issiqlik manbai yordamida erigan zona hosil qilinadi. Erigan zona sirt taranglik kuchlari ta’sirida ushlab turiladi. Ya’ni erigan zona og‘irligi sirt taranglik kuchlari ta’siridan kam bo‘lgan holda ushlab turiladi. O‘stirilayotgan kristall diametri zonaning kritik uzunligi va material xossalariga bog‘lik bo‘ladi, ya’ni $(G/d)^{1/2}$ ga, G – suyuqlik-qattiq jism orasidagi sirt tarangligi, d – erigan moddaning solishtirma og‘irligi. Issiqlik manbai sifatida yuqori chastotali induktiv =izitish, elektron-nurli yoki radiatsion usullar qo‘llanilishi mumkin.

Nostexiometrik eritmalaridan kristall o‘stirish. Bu usul nisbatan universal usul bo‘lib, uning yordamida har qanday erish haroratiga ega bo‘lgan, hamda bug‘lar bosimi katta bo‘lgan yarim o‘tkazgich birikmalarini ham o‘stirishda qo‘llash mumkin. Bu usulda o‘stirish jarayonida qo‘llaniladigan eritmalar tayorlashda erituvchi neytral moddadan (o‘stirilayotgan material tarkibiga kirmagan moddadan) yoki birikma tarkibiga kiruvchi moddadan ham bo‘lishi mumkin. Rasm 3 ga qarang.

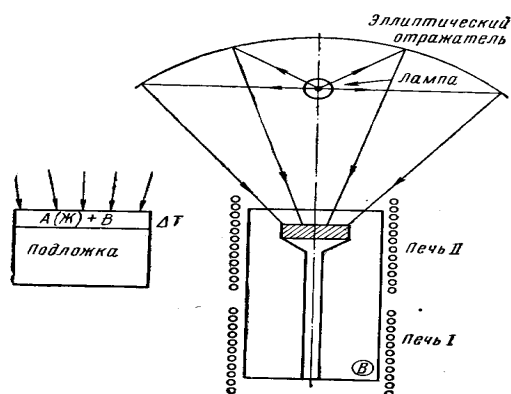


Rasm 3 AV birikma asosidagi kristallni eritmadan yo‘naltirilgan kristallanish usuli bilan o‘stirish.

Usulning asosiy afzalliklari. 1. Bu usul bilan o‘stirish nisbatan past haroratlarda olib boriladi. 2. Bug‘ bosimi katta bo‘lgan birikmalarni

1.punktini hisobga olgan holda o‘stirish mumkinligi. 3. YUqoridagi usullarga nisbatan o‘stirish qurilmalarining konstruksiyasi nisbatan soddalashadi.

Suyuq fazali epitaksiya usuli. Bu usul yuqoridagi usuldan prinsipial farq qilmaydi. Bu usul bilan asosan ko‘p qatlamli tuzilmalar olinadi. Bu usulni qo‘llashning dastlabki qurilmalaridan biri 15-rasmda ko‘rsatilgan.



Rasm 4. Eritmalardan epitaksial qatlamlar o‘stirish qurilmasi.

Bu usul bilan arsenid galliy, fosfid galliy, fosfid indiy va boshqa $A^3 V^5$ birikmalar va ularning qattiq eritmaları asosidagi nurlanuvchi diod, tranzistor, lazer strukturalar olingan.

2.4. Kristallar o‘stirish jarayonida kirishmalarning taqsimlanishi o‘rganish.

Kristall o‘stirish jarayonida erituvchi moddani tanlash muhim ahamiyatga ega. Erituvchi modda sifatida yarim o‘tkazgichli materialning o‘zi ishlatilsa, u holda kerakli material olish uchun: asosiy materialni uni ifloslantiruvchi kirishmalardan tozalash va kristall o‘stirish jarayonida kristall panjaraga ma’lum konsentratsiyaga ega bo‘lgan bir yoki ikkita kirishmani kiritish kerak bo‘ladi.

Agar yarim utkazgichli material olishda erituvchi sifatida boshqa material olinsa avval uni shu materialda eritib keyin kristallizatsiya jarayoni o‘tkaziladi. Bu holda bor bo‘lgan har xil kirishmalar eritmada va o‘sayotgan kristallda qayta taqsimlanadi.

Qattiq jismda har qanday kirishmaning eruvchanligi, qattiq jismning tarkibi va uning qaysi fazalar, qattiq jism, suyuqlik, gaz holati bilan muvozanatda bo‘lishi va umuman sistema ozod energiyasining minimal holi bilan aniqlanadi. Ozod energiya sistema holatiga bog‘lik bo‘lgani uchun harorat o‘zgarishi muvozanatni buzadi va mavjud fazalar tarkibi ham o‘zgaradi.

Agar erituvchi moddaning o‘zi bo‘lsa, bu holda o‘stirish jarayoni bir o‘zgarimas haroratda boradi va qattiq jism tarkibi kirishmalar konsentratsiyasiga va

tabiatiga bog'lik bo'ladi. Erituvchi boshqa moddadan bo'lsa, u holda asosiy moddaning kristallizatsiya jarayoni har xil haroratda bo'lgani uchun uning tarkibi haroratga bog'lik bo'ladi va unga mutanosib o'zgaradi. Kirishmalarni taqsimlanish jarayoni yarim o'tkazgichlar kristallanish jarayonida aniqlovchi xususiyatlardan bo'lib, ideal eritmalar nazariyasiga asosan SHreder tenglamasi bilan aniqlanadi.

$$K = \ln N_{ak}/N_{ac} = \Delta M_A R (1/T - 1/T_{oa}) \quad (1)$$

bu erda: N_{ak} va N_{ac} – kirishmalarning qattiq jism va suyuqlikdagi konsentratsiyalari, keyinchalik ular S_{kr} va S_s bilan belgilangan. ΔM_A – sof kirishmaning yashirin erish issiqligi, T_{oa} – sof kirishmaning erish harorati, T – eritmaning erish harorati.

Kirishmaning taqsimlanish koeffitsienti K deb, o'stirilgan kristalldagi kirishmalar konsentratsiyasining eritmadagi kirishmalarning o'rtacha olingan konsentratsiyasining nisbatiga aytiladi.

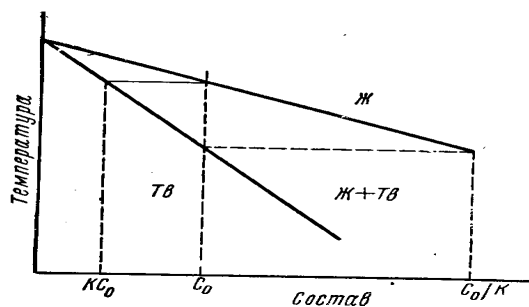
$$K = S_{kr}/S_s \quad (2)$$

Kirishmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli eritmaning kristallanish jarayoni.

Bu jarayonni CHoxralskiy usulida ko'rib o'tamiz. (16-Rasm).

1 hol, agar o'sayotgan kristall va suyuqlik (eritma) tarkibi bir xil bo'lsa, taqsimlanish koeffitsienti $K = 1$ va o'sayotgan kristallda tarkib bir xil bo'ladi.

2-hol. Agar kirishma erituvchining erish haroratini oshirsa (m: arsenid galliy kristalliga alyuminiy qo'shilgan hol), taqsimlanish



Rasm 16. Kirishmalarning taqsimlanish koeffitsientini aniqlashga doir.

koeffitsienti $K > 1$ va $S_{kr.} > S_s$. Bu hol uchun o'sayotgan kristall tarkibi o'sish jarayonida kirishma bilan boyib boradi.

3-hol. Agar kirishma erituvchining erish haroratini kamaytirsan (M: arsenid galliy kristalliga indiy qo'shilgan hol), taqsimlanish koeffitsienti $K < 1$ va $S_{kr.} < S_s$. O'sish jarayonida kristallda kirishma miqdori kamayib boradi.

Erituvchini tanlashning 2-holi mavjud.

1. Erituvchi sifatida kristall tarkibiga kirmagan moddani ishlatish. Bu modda kristallga nisbatan kirishma ham bo'lishi mumkin M: Sn-Si, Pb-Si, Bi-GaAs, Sn-GaAs, In-GaAs va hokazo.

3. Erituvchi sifatida kristall tarkibiga kiruvchi moddani ishlatish. Bu hol birikmali kristallarga xos. M: GaAs-Ga, GaP-Ga, InP-In, CdTe-Cd va hokazo. Bu hol uchun o'sayotgan kristall tozaligi tanlab olingan komponentlar tozaligiga bog'lik.

Eritmadan o'stirish afzalliklarga ega bo'lib, u o'stirish jarayonining nisbatan pastroq haroratda bo'lishi bilan bog'lik. Jumladan: a) $T_k < T_{er.}$ bo'lgani uchun birikmali materiallar o'stirilganda birikma komponentlarining parsial bosimi kamroq bo'ladi M: GaAs-Ga va hokazo. b) Kristall o'stirilayotgan asbob-anjomlarga nisbatan (M: o'stirish konteynerlariga nisbatan) qo'yiladigan shartlar birmuncha yumshaydi.

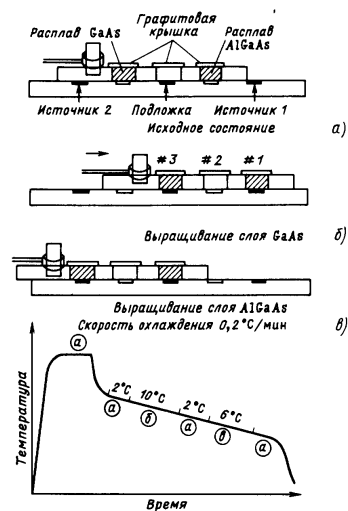
Eritmadan o‘stirish usullari

Eritmadan o‘stirishning ayrim usullarini qisqacha ko‘rib o‘tamiz.

1) To‘yintirilgan eritmadan yo‘naltirilgan kristallizatsiya usuli. (18-Rasm).
Birikmali yarim o‘tkazgichlar o‘stirish usullaridan biri bo‘lib hisoblanadi. AV birikmali yarim o‘tkazgichli materialni o‘stirish uchun uch zonali pechdan foydalaniladi. Kvarsdan yasalgan (oldindan havosi so‘rilgan) ampulaga uchmaydigan A komponent va tozalangan uchadigan V komponenta kiritilgan. Havosi surilgandan so‘ng, ampula berkitilib uch zonali pechga kiritiladi. Pechning harorati T_1 dan eritmada V komponentaning ma‘lum bug‘ bosimini hosil qilishi uchun T_2 gacha ko‘tariladi. Uchinchi pechning harorati T_3 bo‘lib, u ikkinchi pech bilan T_2 - T_3 gradient hosil qiladi. Konteynerni ma‘lum tezlikda mexanik siljitish natijasida T_2 - T_3 gradient ta‘sirida yo‘naltirilgan kristallanish jarayoni hosil qilinadi.

2) Gradientli zonali o‘stirish usuli. Bu usul asosan avval sintez qilingan polikristall quymalarni monokristallga aylantirish hamda epitaksial qatlamlar olish uchun ishlatiladi. O‘stirish qurilmasi konstruktiv birlashtirilgan ikki qismdan iborat bo‘ladi. O‘stirish uchun taglik vazifasini bajaradigan yarim o‘tkazgich joylashgan zonada bir jinsli harorat olish vazifasini bajaruvchi birinchi pech va yuqorida joylashgan ikkinchi pech vazifasini bajaruvchi isitish lampasi (nur qaytargichi bilan birga)dan iborat (16-Rasm). Ikkinchi pechni yo‘nish natijasida yarim o‘tkazgichli taglik ustida yuqoriroq harorat hosil bo‘ladi, ya‘ni avvaliga T_1 bo‘lgan bo‘lsa, taglik yuzasida T_2 hosil qilinadi va ayirma T_2 - T_1 ga teng bo‘ladi va birinchi usulga oid jarayonlar hosil bo‘ladi.

Noizotermik epitaksiya usuli. Usulning asosiy g‘oyasi ma‘lum bir haroratda yarim o‘tkazgichning ma‘lum erituvchi yordamida eritmasi tayyorlanib olinadi va u tuyintirish holiga olib kelinadi. So‘ngra o‘stirish uchun olingan taglik bilan eritma kontaktga keltiriladi va asta-sekinlik bilan ma‘lum tezlikda sovitiladi (17-Rasm)



Rasm 17. Yarim o‘tkazgichli binar birikmalarni noizotermik epitaksiya usuli bilan ko‘p qatlamli qilib o‘stirish usuli. Natijada eritmadagi yarim o‘tkazgichli material qatlami taglik ustiga uni tuzilmasini takrorlab o‘sadi. Etarli qalinlikka ega qatlam olingandan so‘ng eritma taglik ustidan olib tashlanadi va o‘shish to‘xtatiladi. So‘ngra qurilma uy haroratiga qadar sovitiladi. Bu usul bilan oddiy (Si, Ge) dan boshlab birikmali (GaAs, GaP, InP va shularga o‘xshash) materiallarni olish mumkin.

Yarim o‘tkazgichli materiallarga mexanik va ximik ishlov berish texnologiyasi.

Yarim o‘tkazgichli materiallarni qirqish. Yarim o‘tkazgichli materiallar asosan yombi ko‘rinishda o‘stiriladi (slitok). Yombining diametri, vazni, uzunligi har xil bo‘lishi mumkin. Undan tashqari materiallar qattiqligi bilan ham katta farq qilishi mumkin. Qirqish usullari asosan sim orqali qirqish, olmos yuritilgan gardish (disk) orqali qirqish va nisbatan yangi usul lazer nuri yordamida qirqishlarga bo‘linadi. Bu usullarni ishlatish davomida asosan qirqish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindilarni kamaytirish, qirqish jarayonida plastinalar sifatini saqlash va qirqish samaradorlikni oshirishga ahamiyat beriladi.

Ximiyaviy ishlov berish. Bu texnologik jarayon davomida asosan yarim o‘tkazgichli materiallar yuzasiga ta’sir qilinadi va ular qatoriga ximik va mexanik sayqal berish (polirovka), kimyoviy tozalash (ochistka) va kimyoviy emirish

(travlenie) jarayonlari kiradi. Ishlov berish tartibi quyidagilardan iborat: taglikka oʻrnatish, yuvish va shliflash (bu jarayon katta raqamli abraziv kukundan kichkinasiga qarab asta-sekin olib boriladi). Sayqallash jarayoni (polirovka) quyidagi tartibda olib boriladi. Avvaliga namuna taglikka oʻrnatiladi, keyin shlifovka jarayonida ishlatilgan dastgohga yoki alohida dastgohga yumshoq matoh (M: baxmal, zamsh, batist, satin va shunga oʻxshashlar) tortiladi. Soʻngra namuna matohga malum bosim bilan yarim oʻtkazgichli material kontaktga keltiriladi va maʼlum tezlikda aylantiriladi 60-100 ayl/min. Matoh bilan namuna orasiga tarkibida olmos boʻlgan suspenziya (olmos pastalar asosida tayyorlangan qoʻyiq massa) quyiladi. Ishlatiladigan asosiy olmos pastalar markalari ASM 3, ASM 1 va hokazolar. Ishlov berish sifati va darajasi optik mikroskop yordamida nazorat qilinadi.

Ximik emirish jarayoni. YArim oʻtkazgichli materiallar sirtida mexanik ishlov natijasida hosil boʻlgan deformatsiya boʻlgan qatlamlarni sof yuza chegarasigacha olib tashlash uchun ishlatiladi. Ayrim hollarda YAOʻ qalinligini kamaytirishda ham ishlatiladi. Ximik emiruvchilar (travitel) uch turga boʻlinadi.

1. Selektiv (tanlovchi) emiruvchilar. Bular yordamida kerakli maʼlum kristallografik yoʻnalishdagi yuzalarni, sirtlarni chiqarish mumkin.
2. Sayqallovchi (poliruyuhiy) emiruvchi. Izotropik yaʼni har xil yoʻnalishda oʻzgarmas maʼlum emirish tezligiga ega boʻlgan emiruvchi.
3. Noselektiv emiruvchi. Bu emiruvchi material yuzasini nisbatan sayqallaydi hamda yuzada notekisliklar ham hosil qiladi.

Emiruvchilar tayyorlash uchun ximikatlar ularning tozaligiga qarab tanlab olinadi. Ximikatlar tozaligiga qarab quyidagi turlarga boʻlinadi. T – texnik toza, XCH – ximiyaviy toza, CHDA – analiz uchun toza, OSCH – alohida spektral toza.

Savollar

1. «Toʻgʻri boʻlmagan» oʻtish zonasiga ega boʻlgan YAOʻ larda esa yutilish koʻrsatkichi va uning energiyadan usish surʼati qanday boʻladi ?

2. Yarim o'tkazgichli materiallar olish texnologiyasini tanlash ularga nimaga bog'lik bo'ladi ?
3. Yarim o'tkazgichli materiallarning tigel yordamida o'stirish usullari qanday ?
4. Kirishmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli eritmaning kristallanish jarayoni.
Bu jarayonni nima usulida ko'rib o'tamiz ?

F o y d a l a n i l g a n a d a b i y o t l a r r o ' y x a t i

1. I.I. Martinenko, V.I. Avesenko. Proektirovanie sistem avtomatiki. M. Agropromizdat 2000 g. 223 s.
2. M.Z.Gankin. Kompleksnaya avtomatizatsiya i ASUTP vodoxozyaistvennykh sistem. M. Agropromizdat 2001 g . 432 s.
3. Pyastolov A.A., Eroshenko G.P. Eksploatatsiya elektrooborodovaniya. M. Agropromizdat 2001 g. 287 s.
4. Ganelin A.M., Kostruba S.I. Spravochnik selskogo elektrika. - M.: Agropromizdat, 2002.- 304 s.
5. Прищеп L.G. Uchebnik selskogo elektrika - M.: Agropromizdat, 2003.-434 s.
6. Асинхронные электродвигатели серии 4А: Spravochnik / A.E.Kravchik, M.M.Shlaf, V.I.Afonin, E.A.Sobolenskaya.- M.: Energoatomizdat, 2004.- 504
7. Tembел G.V., Geraщенко G.V. Spravochnik po obmotochnym dannym elektricheskix mashin i apparatov.- Kiev: Texnika, 2003.- 480 s.
8. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 1-yy t./ Pod общ. red. I.P.Korylova, B.K.Klokovala.- M.: Energoatomizdat, 1988.- 455 s.
9. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 2-oy t./ Pod общ. red. I.P.Korylova, B.K.Klokovala.- M.: Energoatomizdat, 2001.- 688 s.
10. Praktikum po texnologii montaja i ta'mira elektrooborudovaniya/ Pod red. A.A.Pyastolova,- M.: Agropromizdat, 2003.- 160 s.

3-Mavzu: Quyosh elementlari olish texnologiyasida diffuziya yordamida strukturalar olish.

Reja:

1. Yarim o'tkazgichli materiallarda diffuziya qonunlarining ishlatilish imkoniyatlari.
2. Diffuzion atlamlar xususiyatlarini o'rganish.
3. Diffuzion texnologiya asosida quyosh elementlarini tayyorlash imkoniyatlari.

3.1. Yarim o'tkazgichli materiallarda diffuziya qonunlarining ishlatilish imkoniyatlari.

Hozirgi zamon QE texnologiyasida diffuziya yordamida tuzilmalar tayyorlash asosiy yunalishlardan hisoblanadi. Hozirgi vaqtda butun dunyoda tayyorlanayotgan kremniy asosidagi QE larining asosiy qismi diffuzion texnologiya vositasida olinadi. Qisqacha diffuziya jarayonini ko'rib utamiz.

Diffuziya jarayonida modda oqimining zichligi Fikning birinchi qonuniga asosan quyidagicha ko'rsatiladi.

$$I_a = D \text{ grad } C \quad (3), \quad \text{grad } C = dC/dx \quad (4)$$

Ya'ni bu jumla X o'ki yo'nalishida konsentratsiya o'zgarishini ko'rsatadi. Bu erda, D – diffuziya koeffitsienti, sm^2/sek o'lchanadi va bu koeffitsient berilgan konsentratsiya gradienti qiymatida moddalar oqimining qiymatini ko'rsatadi. Fikning ikkinchi qonuniga asosan konsentratsiyaning vaqtga nisbatan o'zgarishi

$$DC/dt = D d^2C/dx^2 \quad (5)$$

ga teng bo'ladi.

Umuman yarim o'tkazgichli asbobsozlik texnologiyasida keng imkoniyatliligi, samaradorligi va ko'p qavatli qatlamlar olish imkoniyati osonligi, kirishmalar konsentratsiyasini o'zgartirish imkoniyati mavjudligi bilan boshqa usullardan farq qiluvchi usul - bu diffuziya usulidir. Kirishmalarni diffuziya hududiga etkazish imkoniyatini hisobga olgan holda bu usulni quyidagi yunalishlarga bo'lish mumkin.

A) Gaz yoki bug' holatidan foydalanib diffuziya qilish.

B) Iqtidorligi chegaralangan manbadan diffuziya qilish (M: elektrolitik yoki vakuumda uchirish yo‘li bilan olingan yupqa qatlamlardan diffuziya qilish).

V) Yarim o‘tkazgichli material ustiga ma’lum usullar bilan o‘tqazilgan (surtilgan yoki sentrifuga yordamida o‘tqazilgan yupqa qatlamlarga kerakli kirishma uning tarkibida bo‘lgan) yupqa oksid qatlamlardan diffuziya qilish.

G) Asosiy materiali inert va unga aktiv kirishma kiritilgan qattiq jismlardan diffuziya qilish usuli.

Kremniyda diffuziya jarayoni Fik qonuniga to‘liq bo‘ysinadi va unga asosan kirishmalar konsentratsiyasi taqsimoti chegaralanmagan quvvatli kirishma manbai holi uchun quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

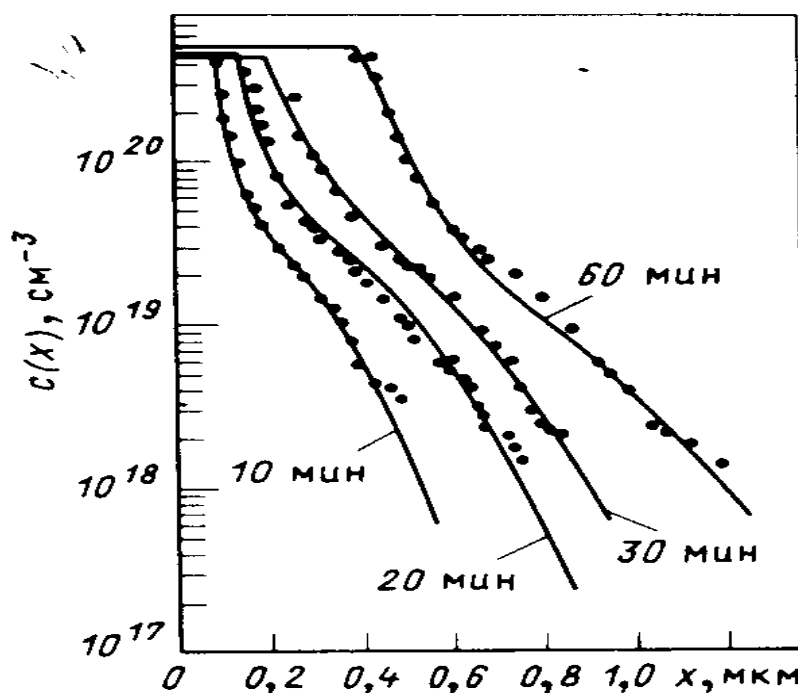
$$N(x,t) = N_0[1 - \exp(-x^2/4Dt)] \quad (6)$$

bu erda N – konsentratsiya, D – diffuziya koeffitsienti, t – vaqt, N_0 – kirishmalar atomlarining yuzadagi konsentratsiyasi.

Eksperimental tadqiqotlardan aniqlanishicha, kirishmalar taqsimoti ancha murakkab bo‘lib, bunga asosiy sabab diffuziya koeffitsienti D ning yarim o‘tkazgichli materialdagi vakansiyalar konsentratsiyasiga bog‘liqligidir.

Diffuziya jarayoni o‘tkazishga misollar, jarayonni o‘tkazish tartibi. Diffuziya jarayonini o‘tkazish ma’lum tartibda olib boriladi. Bular jumlasiga: yarim o‘tkazgichli materialni tayyorlash (mexanik va ximik ishlov berish), kirishmalar manbaini tayyorlash (Kirishmalar kiritish yo‘nalishini tanlash), jarayon o‘tkazish rejimini tanlash, hisoblash va hokazolar, diffuziya o‘tkazish, kirishmalar konsentratsiyasini va chuqurligini aniqlash, kirishmalar taqsimotini o‘rganish, jarayon o‘tkazilish rejimiga tuzatishlar kiritish, qayta diffuziya o‘tkazish va hokazolar. Ayrim hollarda (shu jumladan QE larini tayyorlashda ham) diffuzion qatlamlar elektr tokiga qarshiligini kamaytirish uchun qatlamlar maksimal qiymatgacha kirishmalar kiritiladi (berilgan harorat uchun chegaraviy eruvchanlikka qadar). Misol 18-Rasmga qarang. Bu hol uchun , diffuzion jarayon davomida yarim o‘tkazgichli material sirtida konsentratsion plato hosil bo‘ladi va undagi kirishmalar konsentratsiyasi chegaraviy eruvchanlik qiymatiga teng bo‘ladi.

Materialni diffuzion jarayondan keyingi sovutish davomida yuqori konsentratsiyali kirishmalar kremniyda har xil kristallik nuqsonlar



Rasm 1. Diffuziya jarayoni o'tkazishning har xil vaqtlari uchun fosforning kremniydagi diffuzion profili. (diffuziya o'tkazish harorati 950°S , diffuziya manbai POCl_3 , kremniy tagligida kirishmalar konsentratsiyasi $2 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$); $s(x)$ – yuzadan x masofadagi fosfor atomlarining konsentratsiyasi.

hosil qiladi va natijada yarim o'tkazgichning elektrofizik xususiyati keskin yomonlashadi (Misol, jumladan L , t , μ va hokazolar). Natijada yarim o'tkazgich yuzasida xususiyatlari tamoman yaroqsiz bo'lgan «o'lik qatlam» hosil bo'ladi. Bu qatlamning xususiyatlarini o'zgartirish va uning qalinligini kamaytirish uchun quyidagi amallarni bajarish kerakdir;

- kirishmalarning yuzadagi konsentratsiyasini chegaralash,
- diffuziya jarayonini chegaralangan quvvatli manbadan olib borish,
- kirishmalarni ikki stadiyali usul bilan kiritish,
- yuzadagi konsentratsion platonni kimyoviy emirish usuli bilan olib tashlash.

Ikki stadiyali diffuziya usuli bilan kirishmalar kiritish jarayoning afzalligi (bu jarayon kirishmalarni ikki etapda kiritadi, «kiritish» va «tarqatish» etaplari) shundan iboratki, «kiritish» etapida materialga faqat berilgan miqdordagigina kirishma uning yuza qatlamlariga kiritiladi. «Tarqatish» stadiyasida esa kirishmalar material ichiga diffuziya qilinadi. Natijada kirishmalarning namuna yuzasidagi konsentratsiyasi nisbatan kamayadi. Bu esa yuzadagi rekombinatsion sur'atni kamayishiga olib keladi. «Kiritish» etapining harorati «tarqatish» etapigi qaraganda pastroq haroratda olib boriladi.

3.2. Diffuzion atamlar xususiyatlarini o'rganish

Hosil qilingan diffuzion qatlamlarni yarim o'tkazgichli tuzilmalarda tatbiq qilish uchun ularning xususiyatlarini tahlil qilish asosiy shartlardandir. Bu xususiyatlar jumlasiga diffuzion qatlamning qalinligi, kirishmalar konsentratsiyasi, kirishmalarning qatlamdagi taqsimoti, qatlamning elektr tokiga qarshiligi, undagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti va harakatchanligi, va hokazolar. Diffuzion qatlamlar qalinligini o'lchash usullari jumlasiga qatlamni buzmasdan (ne razruhayuhie metodo') va qatlamni emirib (razruhayuhie) o'lchash usullari kiradi. Qatlamni emirishga asoslangan usullar qatoriga shar-shlif va qiya-shlif usullari kiradi.

SHar-shlif usuli diffuziya jarayonidan keyin material sirtida mexanik usul bilan shar shaklidagi zoldir yordamida chuqurcha hosil qilib, so'ngra uni rang beruvchi ximik aralashmalarda emirib r-p o'tish chegarasini aniqlashdan iborat. Aniqlangan chegara optik mikroskopda qalinligi (chuqurligi) o'lchanadi va uning qiymati diffuzion qatlam qalinligiga teng deb olinadi.

Qiya-shlif usuli avvalgi usulni bir ko'rinishi bo'lib r-p o'tish chegarasigacha qiya tekislik hosil qilinadi. Bu usullarning aniqligi zoldirning diametriga va qiya tekislikning qiyaligiga bog'liqdir. +atlamni buzmasdan qalinlikni o'lchash usullariga volt-sig'im xarakteristikani o'lchash yo'li bilan qalinlikni aniqlash va har xil elektron zond usullari kiradi.

Kirishmalar konsentratsiyasini o'lchash usullari. Kirishmalar konsentratsiyasini o'lchash usullari ko'p bo'lib bulardan klassik sifatida foydalanidigan usullardan bu Xoll usuli, Van der Pau usuli va volt-sig'im usulidir. Bu usullar yarim o'tkazgichli materialdan elektr toki va magnit maydonining zaryadga bo'layotgan ta'sir natijasida hosil bo'lgan elektr toki o'tkazuvchanligiga asoslangandir.

3.4. Diffuzion texnologiya asosida quyosh elementlarini tayyorlash imkoniyatlari.

Hozirgi zamon kremniy asosidagi quyosh elementlarining deyarli aksariyatida QE ning asosiy qismi bo'lgan r-p o'tish olish kirishmalarni diffuziya qilishga asoslangan. Diffuzion r-p o'tish olish uchun kremniyga ionlanish energiyasi kichkina bo'lgan kirishmalar kiritiladi. Jumladan r-tip Si olish uchun B va p-tipdagi Si olish uchun p kiritiladi. Xozirgi zamon kremniy asosidagi QE tayyorlashda asosiy material qilib kristalli kremniyning r-tipdagisi olingan. Bunga asosiy sabablardan biri bo'lib bunday kremniyda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning elektronlar bo'lganligigi va ularning diffuzion yo'li uzunligining nisbatan kattaligidir. L_d QE sifatida ishlatiladigan materiallarda 100 mkm dan ortiq bo'lib, o'z navbatida bunday qalinlikdagi (100 mkm dan qalinrok bo'lgan) kremniyga mexanik va ximik ishlov berishni osonlashtiradi. Diffuziya qilish usuli bilan r-p o'tish olishdan avval diffuzion jarayon o'tkazish va diffuzion qatlam parametrlari oldindan nazariy yo'l bilan hisoblanadi. Avvaliga r-p o'tish qalinligi, diffuzion qatlamdagi kirishmaning konsentratsiyasi, sirt rekombinatsion koeffitsienti hisoblanadi. So'ngra diffuziya qilish jarayoni aniqlanadi.

R-tipdagi kremniy asosida QE olish uchun fosfor kirishmalari kiritiladi. Er sharoitida ishlaydigan effektivligi 16-18 % bo'lgan quyosh elementlari olish uchun fosfor kiritilgan qatlamning qalinligi 0,3-0,5 mkm bo'lishi kifoya, kirishmalar konsentratsiyasi esa (1-6) 10^{19} sm^{-3} , solishtirma qarshiligi $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-3}$ om sm, $L_r \sim 0,4-0,6$ mkm bo'lishi manzurdur. Sirt rekombinatsion sur'ati miqdori 10^2-10^3 sm/sek dan oshmasligi kerak.

Fosfor diffuziyasi jarayonidan avval orqa tomonga alyuminiy kiritilgan (1-1,5 mkm chuqurlikda) r^+ -tipdagi, ya'ni rr^+ -o'tish hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Keyin fosfor diffuziyasi ta'sir qilmasligi uchun orqa tomon ma'lum qalinlikdagi kremniy oksidi bilan berkitiladi.

Fosfor bilan legirlangan diffuzion qatlam olish harorati odatda pastroq bo'lib 900-950 °S ni tashkil qiladi. Fosfor kiritish quvvati chegaralangan manba'dan olib boriladi. Jarayonni qattiq jisimli manba'lardan "«yumshoq"» rejimni qo'llab olib borish kerak.

«Ulik qatlam» hosil bo'lish oldini olish uchun ikki stadiyali diffuziya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

R-p o'tishning boshqa usullari ham mavjud bo'lib bular jumlasiga ionli legirlash usuli, epitaksiya qilish vositasi kiradi. O'z navbatida epitaksiya qilish vositasining turli yo'llari mavjud, jumladan, gaz fazali epitaksiya usuli, suyuq fazali epitaksiya usuli, molekulyar nurli epitaksiya usuli.

Savollar

1. Kirishmalar konsentratsiyasini o'lchash usullari qanday bo'ladi ?
2. «Ulik qatlam» hosil bo'lish oldini olish uchun nima usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir ?
3. Qatlamni emirishga asoslangan usullar qatoriga qaysi usullari kiradi ?
4. Diffuziya jarayonini o'tkazish qanday tartibda olib boriladi ?

F o y d a l a n i l g a n a d a b i y o t l a r r o ' y x a t i

1. I.I. Martinenko, V.I. Avesenko. Proektirovanie sistem avtomatiki. M. Agropromizdat 2000 g. 223 s.
2. M.Z.Gankin. Kompleksnaya avtomatizatsiya i ASUTP vodoxozyaystvennix sistem. M. Agropromizdat 2001 g . 432 s.
3. Pyastolov A.A., Eroshenko G.P. Eksploatatsiya elektrooborodovaniya. M. Agropromizdat 2001 g. 287 s.
4. Ganelin A.M., Kostruba S.I. Spravochnik selskogo elektrika. - M.: Agropromizdat, 2002.- 304 s.
5. Prishep L.G. Uchebnik selskogo elektrika - M.: Agropromizdat, 1985.-434

6. Asinxronnie elektrodvigateli serii 4A: Spravochnik / A.E.Kravchik, M.M.Shlaf, V.I.Afonin, E.A.Sobolenskaya.- M.: Energoatomizdat, 2004.- 504
7. Tembel G.V., Gerashenko G.V. Spravochnik po obmotochnim dannim elektricheskix mashin i apparatov.- Kiev: Texnika, 2003.- 480 s.
8. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 1-iy t./ Pod obsh. red. I.P.Kopilova, B.K.Klokova.- M.: Energoatomizdat, 1988.- 455 s.
9. Spravochnik po elektricheskim mashinam: V 2-x t. 2-oy t./ Pod obsh. red. I.P.Kopilova, B.K.Klokova.- M.: Energoatomizdat, 2001.- 688 s.
10. Praktikum po texnologii montaja i ta'mira elektrooborudovaniya/ Pod red. A.A.Pyastolova,- M.: Agropromizdat, 2003.- 160 s.

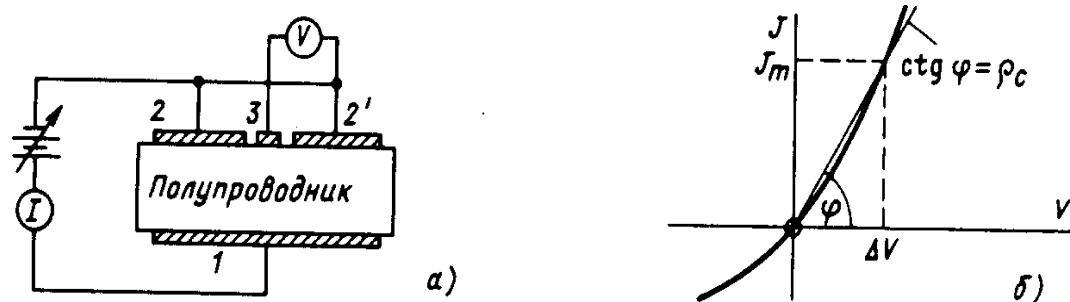
4-Mavzu: Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi.

Reja:

1. Omik kontaktlar xususiyatlari o'rganish.
2. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi
3. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usullari

4.1. Omik kontaktlar xususiyatlari o'rganish.

Agar kontaktning volt-amper xarakteristikasi noldan boshlab kuchlanishning katta qiymatlariga teng kT largacha ($V \gg kT$) chiziqli xususiyatga ega bo'lib, tok kuchini qarama-qarshi tomonga o'zgartirilganda chiziqli qonuniyat saqlansa, metall va YAO' orasidagi kontakt omik deb hisoblanadi. Ammo, kontaktdagi kuchlanish pasayishi yarim o'tkazgichli material hajmidagi kuchlanishlar pasayishidan kam bo'lsayu, tok-kuchlanish (I-V) xarakteristika shu oralikda chiziqli bo'lmasa ham, kontakt kvazi omik hisobiga kiradi va uning xususiyatlari qoniqarli bo'ladi.(Rasm 19).



Rasm 1. *Kontaktlar qarshiligini o'lchashning uch zondli usuli (a), o'lchangan volt-amper xarakteristika (b)*

Omik kontaktga qo'yiladigan talablar. Omik kontakt quyidagi xususiyatlarga ega bo'lishi shart:

- a) katta elektr o'tkazuvchanlikka,
- b) yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka,
- v) mexanik mustahkamlikka.

Kontaktning solishtirma qarshiligi siljitish kuchlanishi (napryajenie smeheniya) nolga teng bo'lgan hol uchun quyidagi tenglamani qanoatlantirishi kerak,

$$\rho_{ko} = (dV/dI)_{V=0} \quad (15)$$

Odatda solishtirma qarshilikning keskin kamayishi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini oshirish orqali kuzatiladi va haroratning kamayishi jarayonida ρ ning oshishi kuzatiladi.

Bir metall yordamida olingan kontaktlarda yuqoridagi talablarni bajarish qiyin. Shuning uchun ikki yoki undan ortiq metallar kombinatsiyasi orqali talablar bajarilishi mumkin. Bunday kontaktlarda birinchi metall yarim o'tkazgichli materialda malum tip zaryad tashuvchilar mavjud kirishma rolini bajarishi kerak (aktiv kontakt) yoki yarim o'tkazgich bilan nisbatan kamroq elektr

o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan holda u bilan ximik bog'lanish hosil qilishi kerak (passiv kontakt).

Bundan tashqari birinchi qatlam materiali mexanik mustahkamlik uchun mas'uldir. Kontaktning ikkinchi qatlami yuqori haroratli texnologik jarayonga dosh berishi, tashqi muhit ta'siriga uzoq muddatda chidamli va yaxshi elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi shart. Uchinchi qatlam (yoki eng ustki qatlam) qalaylash imkonini berishi, fotoelektrik batareyani elementlar asosida yig'ishni osonlashtirishi va QE ketma-ketlik qarshiligi kamaytirish imkonini (kontakt kesimini oshirish imkoniyatini) berishi kerak.

Omik kontakt olish usullari. Hozirgi zamon yuqori samarali fotoqabullagichlar va QE ishlab chiqarishda (asosan kremniyli quyosh elementlarda) ko'p qatlamli kontaktlar ishlatiladi. R-tip kristalli kremniy asosidagi quyosh elementlarida Al, Ti, Pd, Ag (koinotda ishlatiladigan elementlarda), p-tip asosidagi uchun esa, Ti, Pd, Ag ishlatiladi. Erda ishlatiladigan quyosh elementlari uchun nisbatan arzonroq turadigan materiallar asosidagi quyidagi kontakt tizimlari ishlatiladi; r-tip uchun Al, Ti, Ni, Cu, p-tip material uchun, Ti, Ni, Cu. Kontaktlar sirti keyin POS-61 yordamida qalaylanadi. Eng arzon va oddiy texnologiya bilan olinadigan kontaktlarda material sifatida Sn va Al dan foydalaniladi.

Omik kontaktlar olish asosan vakuumda uchirish, elektroximik o'tkazish usuli, ximik olish usuli va termik usullarni qo'llashdan iborat. YUqoridagi texnologik jarayonlaridan birini ishlatish uchun avvaliga kvaziomik yoki omik kontakt olish uchun kerak bo'lgan asosiy talablarni ko'rib o'tamiz. 1) Metall-yarim o'tkazgichli material chegarasida qarshilikni kamaytirish uchun zaryad tashuvchilarning tunnel usuli bilan oqib o'tishini ta'minlash maqsadida o'ta legirlangan chegaraviy qatlam hosil qilish; 2) Termoelektron tok oqib o'tish mexanizmini boshqarish uchun metallidagi chiqish ishi F_M va yarim o'tkazgichdagi elektronga moyillikning mushtarak qiymatlarini tanlab chegaradagi F_b bar'er kattaligini boshqarish

3) ionli implantatsiya, mexanik ishlov yoki elektrik ishlov berish yo‘li bilan yarim o‘tkazgichli material yuzasida nuqsonlar hosil qilib, tunnel to‘siqlar hududida energetik holatlar hosil qilish.

Yuza qatlamdagi kirishmalarning o‘ta yuqori konsentratsiyasini hosil qilish uchun quyidagi usullardan qo‘llaniladi.

1. Qattik jisimli diffuziya manba‘idan yoki bug‘ fazasidan yuqori haroratda diffuziya jarayonini o‘tkazish.
2. Kontakt materialning o‘zidan diffuziya o‘tkazish, misol Zn ning Au-Zn-Au dan InP ga diffuziyasi.
3. Ionli implantatsiya jarayonidan keyingi termik ishlov usuli.
4. p^+ va r^+ -qatlamlarni epitaksial usul bilan o‘stirish.
5. Kontakt materialini yarim o‘tkazgich bilan birgalikda termik eritish (splavlenie) va rekristallizatsiya (qayta kristallanish) qilish.

So‘nggi usul suyuq fazali epitaksiya usuliga o‘xshash bo‘lib, erituvchi metall tanlanganda uning yarim o‘tkazuvchi materialda eritish qobiliyati hisobga olinadi. Legirlovchi kirishma erituvchi tarkibida bo‘lishi mumkin, yoki maxsus vosita bilan kiritiladi. Bunday eritma sovuganda yarim o‘tkazgich kristallanish jarayonini o‘tadi va qayta hosil bo‘lgan qatlam eritmadan o‘ta legirlanadi.

Omik kontaktlar xususiyatlari o‘rganish

Quyida berilgan jadvalda ayrim yarim o‘tkazgichli QE lari tayyorlashda ishlatiladigan materiallar uchun omik kontaktlar keltirilgan.

Yarim o‘tkazgichli material	ρ , Om sm	P- yoki r- kirishmaning konsentratsiyasi	Kontakt materiali	Kontakt turi	Keltirilgan qarshilik, om/sm ²
R-Si	-	10^{19}	Al	aktiv	10^{-6}
P-Si	-	10^{15}	Al	aktiv	$5 \cdot 10^{-4}$
P-Si	0,5	-	Al	aktiv	10^{-3}
P-Si	2	-	Ni	passiv	-

P-Si	har qanday	har qanday	Pt-Pt-Si		10^{-4}
n-Si	$5 \cdot 10^{-3}$	-	Al	passiv	$4 \cdot 10^{-3}$
n-Si	-	10^{19}	Ag-Pd-Ti	passiv	
n-GaAs	-	$2 \cdot 10^{16}$	Ni-AuGe-Ni	aktiv	$8 \cdot 10^{-5}$
p-InP	1-10	-	Au-Zn-Au	aktiv	10^{-3}

Quyosh elementlariga taalluqli kontaktlarga qo'yiladigan talablarni ko'rib chiqamiz. Jadvalda QE lari uchun ishlatilgan klassik kontaktlar keltirilgan. Umuman olganda hozirgi zamon QE lari uchun ishlab chiqilgan kontaktlarning o'nlab har xil materialdan olingan «aktiv» va «passiv» turlari yaratilgan. SHunga qaramasdan ularga qo'yiladigan talablarning asosiy qismlari quyidagilardan iborat:

1. Kontaktning keltirilgan qarshiligi kichkina bo'lishi kerak. ($\rho_{ko} \rightarrow 0$)
2. Frontal tomonga olinadigan kontakt to'rsimon ko'rinishda bo'lgani uchun, uning qarshiligini kamaytirish maqsadida uning kesimini oshirish kerak (ya'ni kontakt qalin bo'lishi kerak). Buning uchun QE eritilgan qalayga (pripoyga) tushiriladi, shuning uchun kontaktning qatlamlari shu jarayonga chidamli bo'lishi kerak.
3. Kontaktning xususiyatlari keyingi har xil texnologik jarayonlar davomida saqlanib qolishi kerak, xususan bu ko'proq frontal kontaktga tegishli.
4. QE larini germetizatsiya qiluvchi qatlamlar olingandan keyin kontakt parametrlari uzoq vaqt davomida (20 yil va undan ko'proq vaqt davomida) tashqi muhit ta'siriga chidashi kerak.
5. Kontakt olinadigan materiallar iloji boricha arzonroq bo'lishi, nodir materiallar qo'llanmasligi (Er sharoitida ishlaydigan QE lari uchun) kerak.
6. Orqa tomondan nurni qaytaruvchi kontaktga ega bo'lgan QE lari olish uchun material tanlanganda nurni qaytarish koeffitsientini hisobga olish kerak.

Kristalli kremniy asosidagi QE keng qo'llaniladi. Bu QE larida asosan quyidagi kontaktlar qo'llaniladi; r-tipdagi Si uchun Al, Al-Ti Pd-Ag va p-tipdagi Si uchun Ti-Pd-Ag. Bu kontaktlar asosan vakuumda uchirish usuli bilan olinadi.

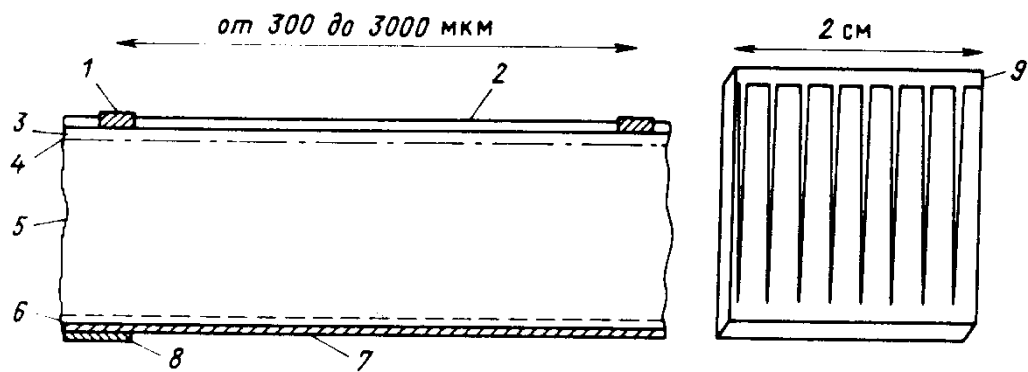
Odatda p^+ -Si uchun Ag yaxshi tunnellanish xususiyatiga asoslangan kontakt bo'lib hisoblanadi ($F_v=0,6-0,7$ eV). Ammo bu tizimning adgeziyasi yomon, shuning uchun Si bilan Ag orasiga oraliq yupqa qatlam Ti kiritiladi. Bunday kontaktlarda Ag ning qalinligi 2-3 mkm va titanning qalinligi 1 mkm ga yaqin bo'lishi kerak. Bunday qalin qatlamlarni vakuumda uchirib olish mushkil vazifadir. Bu kontaktlarda tabiiy sharoitda o'tkazilgan tajribalar natijasiga ko'ra bu sistemaning korroziyaga uchrashi mumkinligi aniqlangan va bu jarayon suv bug'ining yutilishiga asoslangani aniqlangan. SHuning uchun keyinchalik titan va kumush orasiga palladiy kiritish tavsiya etilgan va natijada kontaktning elektr toki va haroratga chidamliligi oshirilgan. Bu kontaktning birdan-bir kamchiligi uning nisbatan qimmatligidir. Bu erda nafaqat materiallar nodirligi, shu bilan birga vakuumda uchirish jarayonining katta isrofgarchilikka olib kelishini ham hisobga olish kerak (90% yaqini chiqindiga chiqadi).

Quyosh elementlariga kontakt olish jarayoni marshruti

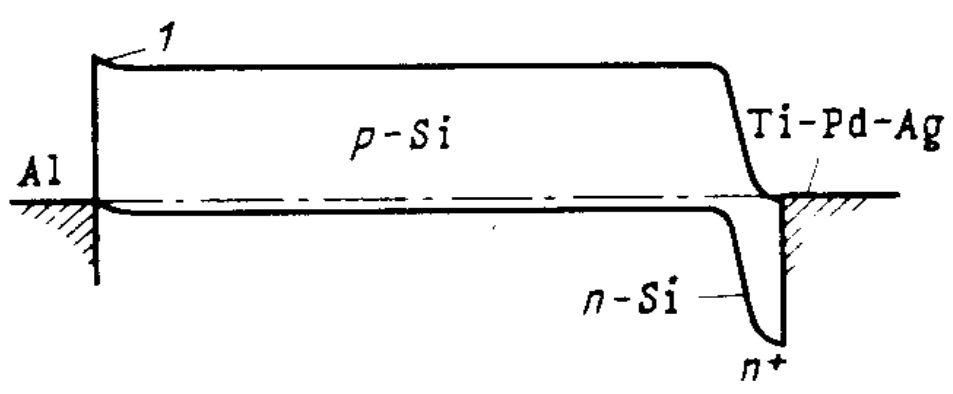
Kontakt olish jarayonining asosiy operatsiyalarini ketma-ketligini quyidagilardan iborat.

- Si r-p tuzilmasini kontakt olishga tayyorlash (ximik yoki ximik-mexanik usul bilan kontakt olinadigan yuzani tozalash),
- strukturaga fotorezist o'tqazish,
- fotoshablon yordamida kontakt rasmini tushirish,
- fotorezistni mustahkamlash,
- vakuum qurilmasidan foydalanib ketma-ketlik bilan kontakt materiallarini uchirish,
- kontakt adgeziyasini yaxshilash uchun kontaktga issiqlik bilan ishlov berish,
- fotorezistni yuzadan olib tashlash,
- kontakt kesim yuzasini oshirish uchun qalaylash,
- frontal yuzadan nur qaytarishini kamaytirish uchun uni oksid bilan qoplash,
- QE tuzilmasidan shunt beradigan qismlarni kesib olib tashlash,
- QE ning parametrlarini o'lchash.

QE frontal qismidagi yupqa diffuzion jarayon orqali hosil qilingan fosfor kirishmali qatlam odatda katta yuza qarshiligiga ega bo‘ladi va uning qiymati odatda 50-100 Om/□. Bunday qarshilikni kamaytirish va tuzilma samaradorligini saqlash uchun tashqi (frontal) yuzaga to‘rsimon (setka) kontakt olinadi. Bu kontakt birinchidan yuzani ko‘p to‘smasligi, ikkinchidan omik bo‘lishi, uchinchidan yupqa diffuzion qatlamni teshmasligi kerak. Rasm.20,21



Rasm. 2 Kremniy quyosh elementining frontal kontakt ko‘rinishiga oid misol. 1- yuzadagi to‘rsimon kontakt (ko‘p qatlamli + pripoy), 2 – shaffoflantiruvchi qatlam, 3 – legirlangan p-tipdagi yupqa qatlam (0,2 mkm), 4 – 0,5 mkm qalinlikdagi xajmiy zaryad qatlami, 5 – 200 mkm qalinlikdagi baza qatlami, 6 – 0,5 mkm qalinlikdagi r^+ - qatlam, 7 – orqa tomondagi kontakt qatlami, 8 – tok jamlovchi shina, 9 – to‘rsimon tok jamlovchi shina.



Rasm 3 Tipik kremniy asosidagi quyosh elementiga oid energetik zonali diagramma; p-qatlam o‘lchami kattalashtirilgan. 1 – orqa tomonga yaqin qismdagi elektr maydoni.

Izlanishlar natijasi shuni ko'rsatadiki, odatda yuzada mikroskopik kattalikdagi teshilgan uchastkalar hosil bo'lishi mumkin (yupqa diffuzion qatlamlar olinganda) va bunday hollarda R_{sh} qarshiligi kamayishi va I_0 ning qiymati ortishi mumkin. Buning oldini olish maqsadida kontakt olinadigan yuzaga metall maskalar yoki polimer materialdan qilingan va kontakt rasmi tushirilgan fotorezist maskalar yordamida yoki akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar ustiga kontakt olinadi. Kontaktning geometrik shakli (topologiyasi) kontakt olinadigan yuzga kattaligiga, diffuzion qatlamning qalinligiga va QE larining qaysi sharoitda ishlashiga qarab tanlab olinadi. Odatda yuzaga tushayotgan nurni yulini to'smaslik uchun yuzani to'sish ko'effitsientining kattaligi 10 % dan oshirmaslikka harakat qilinishi kerak. Konsentrlashtirilgan (zichlashtirilgan) quyosh nurlari bilan ishlaydigan QE larda esa yuzani to'sish ko'effitsienti quyosh nurini zichlashtirish ko'effitsientiga bog'lik bo'lib, ayrim hollarda u 50 % oshiqroq bo'lishi ham mumkin.

4.2. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi

Quyosh elementari samaradorligini oshirishning yana bir yo'li elementning yuzga qismidan bo'ladigan nur qaytarilish hodisasini kamaytirishdir. Misol uchun sayqallangan kremniy plastinasi yuzasidan (0,35-1,1 mkm diapazondagi) tushayotgan nurning akslanish ko'effitsienti 0,45 dan oshishi mumkin. Bu hodisa asosan Si va atmosfera orasida nur sindirish ko'effitsientining nomuvofiqligidir, ya'ni kremniy uchun $n = 3,6$ bo'lgani holda, havo uchun bu ko'rsatkich birga teng. Bunday sharoitda tushayotgan nurning qaytishini kamaytirish uchun, yarim o'tkazgichli material ustini sindirish ko'rsatkichini muvofiqlashtiruvchi, har xil oksid materiallar, bilan qoplash kerak bo'ladi. Bunday materiallardan QE texnologiyasida ishlatiladiganlari birmuncha bo'lib, ularga quyidagilar misol bo'la oladi, SiO, SiO₂, SnO₂, TiO₂, Ta₂O₅, ZnS va hokazolar. Odatda qoplanayotgan materiallar sindirish ko'rsatkichi quyidagini tengsizlikni qanoatlantirishi kerak, ya'ni $n_1 < n < n_2$ bo'lishi kerak. Yuzaga olinayotgan akslanishni kamaytiruvchi qatlam bir yoki ikki qavatli har xil materialdan iborat bo'lishi mumkin. U holda $n_1 < n_{1k} < n_{2k} < n_2$ bo'lishi kerak.

Ayrim hollarda quyosh elementi yuzasidan bo'layotgan issiqlikdan nurlanishni oshirishga to'g'ri keladi. Sayqallashgan Si yuzasidan, kirishmalar konsentratsiyasi $(1-2) \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, bo'lganda QE da issiqlikdan muvofiqlashtiruvchi qoplamasiz issiqlikdan nurlanish ko'rsatkichi bor yug'i 0,19-0,24 ga teng bo'ladi. Element isib ketmasligi uchun issiqlikdan nurlanish koeffitsientini 0,9 gacha oshirish kerak bo'ladi. Buning uchun QE yuzasi ikki qatlamli oksid bilan qoplanib, ikkinchi qatlam issiqlikdan muvofiqlantiruvchi bo'lib uning qalinligi 40-80 mkm ga borishi va $n = 1,51$ yaqin olinishi kerak va tushayotgan spektrning yutilishi, yuzadagi issiqlikni 30-40 °S da saqlash uchun, to'lqin uzunligi 3-30 mkm ga to'g'ri kelishi kerak bo'ladi. Bu hodisalar asosan koinotda ishlatiladigan QE lariga ko'proq taalluqlidir.

Ikki qavatli akslanishni kamaytiruvchi qatlamlarni parametrlarini to'g'ri tanlash akslanishni kamaytirishni to'g'ri hisoblashga bog'lik bo'lib, asosan birinchi qavat qatlami parametrlarini to'g'ri tanlashni taqozo etadi. Misol uchun ko'pincha birinchi qavat qatlamining sindirish ko'rsatkichini $n = 2,3$ ga teng deb olinadi va bu birinchi qavat qatlami sifatida ZnS materialini olish bilan bog'likdir, ya'ni issiqlikdan nurlanishni kamaytirish uchun $n = (n_{ik}n_{Si})^{1/2} = (1,5 \times 3,7)^{1/2} = 2,3$ tengligi kelib chiqadi. Albatta ZnS o'rniga olinadigan boshqa materiallar ham mavjud. Misol uchun Ta, Ti, Ce oksidlari. Ikkinchi qavat qatlami materiallari misoliga $n = 1,6-1,8$ ga teng bo'lgan In_2O_3 , SnO_2 , SiO_x olinishi mumkin.

Kremniy asosidagi QE larini bir qatlamli effektiv akslanishni kamaytiruvchi material bo'lib, Ta_2O_5 hisoblaniladi va uning yordamida akslanishni 10 % dan kamroq qilish mumkin, ikki qatlamli qoplamalar bilan esa akslanishni 2 % kamaytirish hakida ma'lumotlar mavjud.

Kremniy asosidagi fotoqabullagichlar sirtiga yupqa akslanishni kamaytiruvchi qatlamning qalinligi $\lambda/4$ ga teng bo'lishi kerak. So'nggi vaqtlarda kremniy tuzilmalarida SiO_2 o'rniga nitrid kremniyli Si_3N_4 olinayapti va uning sindirish ko'rsatkichi $2 \pm 0,1$ ga teng. Bu qoplama yuzadan akslanishni kamaytiribgina qolmasdan shu bilan birga yuzani passivatsiya ham qiladi va uning ishonchliligini oshiradi. Odatda, sirtiga nitrid kremniy o'tqazilgan

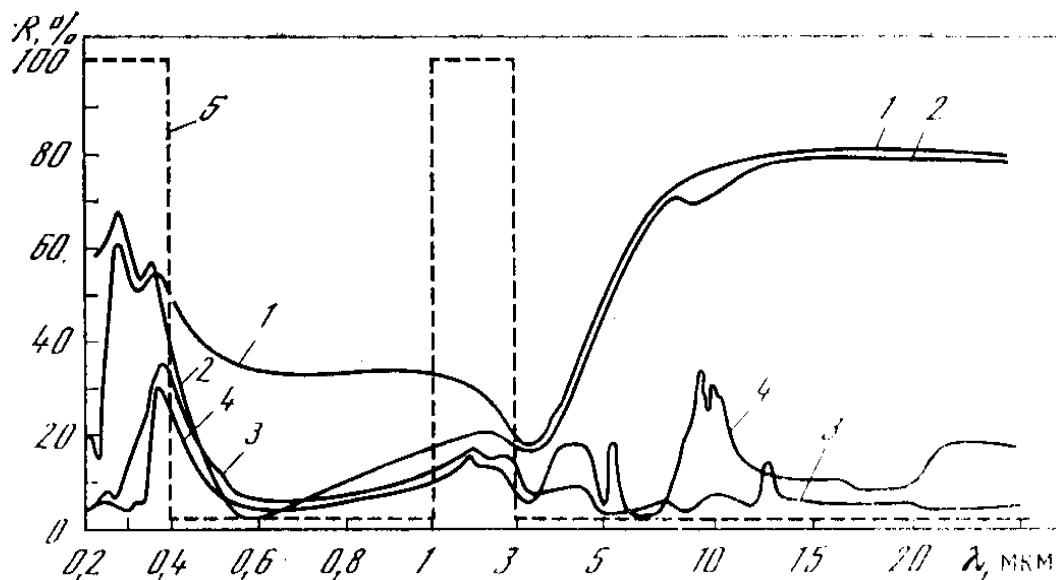
fotoqabullagichlarda ularni korpusga o'rnatishga hojat qolmaydi. Akslanishni kamaytirish usullaridan yana biri bu yuza sirtini teksturalashdir. Bu usulning mohiyati shundan iboratki, yuza sirtida akslanishni kamaytiruvchi relef hosil qilinadi, ya'ni sirt ma'lum kristallografik yo'nalishda emirish xususiyati bo'lgan eritmalar yordamida ishlov beriladi.

4.3. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usullari.

Bunday qatlamlar olish usullari xilma-xil bo'lishiga qaramasdan asosan quyida keltirilgan uch xil usul asosiy bo'lib hisoblanadi. Bunga sabab ularning imkoniligi va nisbatan qoniqarligidadir.

Vakuumda uchirish usuli bilan akslanishni kamaytiradigan qatlamlar olish.

Bu usul bilan deyarli turli xil qatlamlar olish mumkin. Buni biz kremniy monooksidi olish misolida ko'rib o'tamiz. Umuman kremniy oksidlari (SiO va SiO_2 lar) mikroelektronikada qo'llaniladigan asosiy materiallardan hisoblanadi va ularni olish **Rasm** texnologiyasi ko'pchilikka ma'lum. Fotoelektrik tizimlarda ular optik parametrlarining to'g'ri kelishi nuqtai nazaridan ishlatiladi. Kremniyli QE lari ishlaydigan optik diapazon Er sharoiti uchun bu 0,4-1,1 mkm dir. SHuning uchun antirefleksion qatlam shu diapazonda tushayotgan nurni maksimal o'tkazish xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Kremniy oksidi aralashmasi SiO_x ning sindirish ko'rsatkichi 1,6-1,8 ga tengdir. Optika qonunlariga asosan uning qoplamadagi qalinligi 950-1100 °A bo'lishi kerak. Bu monooksidni vakuumda uchirish usuli bilan olish uchun uning maydalangan (0,5-1mm) fraksiyasi olinadi. Akslantirishni kamaytiruvchi qatlam qalinligini nazorat qilish uchun asosiy namunalar bilan birga «yo'ldosh» namuna ham olinadi va nazorat ishlari «yo'ldosh» namunada olib boriladi. «Yo'ldosh» namuna sifatida shaffof materiallar, masalan shisha olinadi. Akslanishni kamaytiruvchi qatlam qalinligi interferensiya hodisasiga asoslanib, interferometri bor bo'lgan mikroskoplar yordamida aniqlanadi. Bundan tashqari ma'lumotnomalardan olingan jadvallar yordamida olingan oksidning rangiga qarab qalinlikni ma'lum aniqlikda topish mumkin. 25-Rasmda har xil materialdan tayyorlangan akslanishni kamaytiruvchi optik



Rasm. 4. Har xil birikmalar asosidagi qatlamlar olingan kremniydan tayyorlangan quyosh elementlari qaytarish ko'effitsientining spektral o'zgarishi. 1- qatlamsiz; 2 – SiO ($d = 0,15$ mkm); 3 – ZnS ($d = 0,15$ mkm) + kremniy organik lak ($\ell = 50$ mkm); 4 - ZnS ($d = 0,15$ mkm) + kremniy organikli kauchuk + shisha plastina ($\ell = 0,5$ mm); 5 – ideal sovutilgan hol.qoplamlarning akslanish ko'effitsientining tushayotgan yorug'lik to'liqin uzunligiga qarab o'zgarishi keltirilgan.

Piroliz usuli bilan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish

Piroliz usuli bilan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usulini SnO₂ misolida ko'rib o'tamiz. SnO₂ asosidagi akslanishni kamaytiruvchi qatlamning yaxshi tomonlaridan biri uning legirlash imkoniyati mavjudligidir. Natijada uning elektr tokiga qarshiligini minglab marotaba o'zgartirish mumkin. Bu birikma ximiyaviy ta'sirga o'ta chidamlidir. Bu qoplamani olish texnologiyasi SnCl₂ va SnCl₄ birikmalaridan 450-600 °S da piroliz qilishga asoslangan. 26- Rasmda SnO₂ ni piroliz qilish usuli ko'rsatilgan. Bu oksid tarkibiga p-tip material olish uchun fluor (G') va r-tip material olish uchun surma (Sb) kiritiladi. Natijada keltirilgan sirt qarshiligini 10 Om/□ gacha tushirish mumkin. Shishaga olingan qalay oksidi tahlili shuni ko'rsatadiki qalinligi 750-1100 °A bo'lganda ham shaffoflik ko'effitsientini 95 % etkazish mumkin. qarshilikni kamaytirish hisobiga esa QE ga olinadigan kontakti bevosita akslanishni kamaytiruvchi qoplama ustiga olish imkoniyati tug'iladi.

Qatlamlarni termik ishlov berish usuli bilan olish eng ko'p ishlatiladigan usul bo'lib, bu usul mikroelektronikada tuzilmalar sirtini passivatsiya qilishda ko'p ishlatiladi. Termik usulni asosan SiO₂ olishda ishlatiladi. Bu usulning asosi texnologik jarayon davomida kremniyli tuzilmaning sirtini kislorod ta'sirida oksidanishidir. Haroratning kattaligiga qarab va jarayon sharoitiga qarab kremniy oksidi xususiyatlari o'zgarishi mumkin. Usul shartli ravishda ikkiga bo'linadi, a) «quruq» usul va b) «ho'l» usulga. Bu usullar orasidagi farq jarayon haroratining qiymati va jarayonni o'tkazilish sharoitidir. «quruq» usulni o'tkazish jarayoni 1100 °S va undan ortiq haroratda olib boriladi, «ho'l» usulda harorat 200 °S gacha pastroq haroratda qo'shimcha kislorod atmosferasida olib boriladi. Ayrim hollarda kislorodga qo'shimcha suv bug'i ham beriladi. Bu usul bilan olingan qatlamlar mikroelektronikada quyidagi vazifalarni bajarishi mumkin.

- 1) Fotolitografik jarayonda «niqob» (maska) sifatida ishlatilib, kontakt olishda qo'llaniladi.
- 2) QE larida akslanishni kamaytiruvchi qatlam sifatida ishlatiladi.
- 3) Ayrim kremniy tuzilmalarida yuzani passivatsiya va ixota qiluvchi qatlam sifatida ishlatilishi mumkin.

Qoplamalarning qalinligi ko'p jihatdan texnologik jarayon sharoitiga va haroratga bog'lik bo'lib, ularni nazorat qilish muhim ahamiyat kasb etadi.

Savollar

1. Kremniy oksidi aralashmasi SiO_x ning sindirish ko'rsatkichi 1,6-1,8 ga tengdir. Optika qonunlariga asosan uning qoplamadagi qalinligi qancha bo'lish kerak ?
2. Omik kontaktga qo'yiladigan talablar qanday ?
3. Yuza qatlamdagi kirishmalarning o'ta yuqori konsentratsiyasini hosil qilish uchun qanday usullardan qo'llaniladi ?
4. Kontakt olish jarayonining asosiy operatsiyalarini ketma-ketligini nimalardan iborat.

Foydalanilgan adabiyotlar.

1. Shenalin A.E. Novaya energetika. Moskva – 2001 g.

2. Berkovskiy M.B., Kuzminov I.I. Vozobnovlyaemo'e vido' energii. Moskva – 2000 g.
3. Ilin N.N. Sovremennyye problemy energetiki. Leningrad – 2002 g.
4. B. Dj. Brinkvort. Solnechnaya energiya dlya cheloveka. Izdatelstvo «Mir». Moskva – 2003 g.
5. Jurnal. «Ekonomicheskoe obozrenie». №3. 2005 g.

IV. AMALIY MASHG'ULOT MATERIALLARI

1- amaliy mashg'ulot: Yarim o'tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlarining o'rganish. Yarimo'tkazgichli quyosh elemenlarida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirishning fundamental muammolari

Ishdan maqsad: Yarim o'tkazgichli kristallarning optik va elektrik xususiyatlarining o'rganish

Quyosh elementlari (QE) asosan yarim o'tkazgichli (YAO') material asosida tayyorlanadi. Shuning uchun quyosh elementi optik va foto elektrik xususiyatlarini bilish yarim o'tkazgich mate-riallar tuzilishini ularning metallar va dielektrik materiallardan farqini va yarim o'tkazgich materiallar uchun bevo-sita asosiy bo'lgan xususiyatlarni o'rganishni taqozo etadi. Qattiq jismlar hosil bo'lishini yarim o'tkazgich mate-riallar misolida elektron nazariyasi nuqtai nazaridan ko'rib o'tamiz. Qattiq jism hosil bo'lishi jara'enida, atomlarning bir-biriga nisbatan yaqinlashishi shu darajagacha boradiki, natijada tashqi qobiqdagi elektronlarning umumlashishi hosil bo'ladi. Atomdagi alohida elektronlarning yakka ayrim orbitalari o'rniga umumlashgan kollektiv orbitalar hosil bo'ladi va atomdagi qobiqchalar sohalarga birlashadi hamda ular umuman kristallga tegishli bo'lib qoladi. Elektronlar harakatining xarakteri mutloq o'zgaradi, ma'lum atomda va ma'lum energetik sathda joylashgan elektronlar energiyasini o'zgartirmasdan shu energetik sathdagi boshqa qo'shni atomga o'tish imkoniyatiga ega bo'ladi va binobarin, elektronlarni kristallda erkin siljishi kuzatiladi.

Kristallning izolyasiya holatidagi barcha atomlarning ichki qobiqlari elektronlar bilan to'la bo'ladi. Faqat eng yuqoridagi ayrim sathlardan iborat valent elektronlari joylashgan sohadagina sathlar to'laligicha egallanmagan bo'ladi. Kristallning elektr o'tkazuvchanligi, optik va boshqa xususiyatlari asosan valent sohasining to'ldirilish darajasiga va undan yuqoridagi sohangacha bo'lgan energetik masofa bilan aniqlanadi va unga o'tkazuvchanlik sohasi deyiladi. Issiqlik va optik qo'zg'atilish hisobiga o'tkazuvchanlik sohasiga valent sohadan elektronlar o'tishi va elektr tokini o'tkazishda ishtirok qilishi mumkin. Valent sohasida hosil bo'lgan

bo'sh o'rinlarga elektronlarning ko'chishi, unga qarama-qarshi bo'lgan musbat zaryadlarning harakatini hosil qiladi va bu zaryadlarga kovaklar deyiladi.

Dielektriklar deb, valent sohasi to'ldirilgan va bu sohadan keyingi o'tkazuvchanlik sohasigacha bo'lgan energetik masofa nisbatan katta bo'lgan moddalarga aytiladi.

Metallar esa boshqacha tuzilishga egadir. Ularda valent sohasi qisman to'ldirilgan bo'ladi yoki u keyingi soha o'tkazuvchanlik sohasi bilan kirishgan bo'ladi.

Keng tarqalgan kremniy asosidagi QE lari konstruksiyasi qarama-qarshi turdagi r- va n-materialni bir-biriga yaqin tutashtirishdan hosil qilinadi. YAO material ichidagi r- va n-turdagi materiallar orasidagi o'tish sohasi (chegara hududi) elektron teshik yoki p-n o'tish deyiladi. Termodinamik muvozanat holda elektron va teshiklar muvozanat holatini belgilovchi Fermi sathi materialda bir xil holda bo'lishi kerak. Bu shart p-n o'tish hududida ikkilangan zaryadli qatlam hosil qiladi va uni hajmiy zaryad qatlami deyilib, unga taaluqli elektrostatik potensial paydo bo'ladi.

p-n tizilma sirtiga tushgan optik nurlanish sirtidan material ichiga qarab p-n o'tish yo'nalishiga perpendikulyar ravishda konsentratsiyasi kamayib boruvchi elektron-teshik juftliklar hosil qiladi. Agar sirt yuzasidan p-n o'tishgacha bo'lgan masofa nurning kirish chuqurligidan ($1/\alpha$ dan) kichik bo'lsa, elektron-teshik juftliklar p-n o'tishdan ichkarida ham hosil bo'ladi. Agar p-n o'tish juftlik hosil bo'lgan joydan diffuzion uzunlikchalik masofada yoki undan kamroq masofada bo'lsa, zaryadlar diffuziya jarayoni natijasida p-n o'tishga etib kelib, elektr maydoni ta'sirida ajratilishi mumkin. Elektronlar p-n o'tishning elektron bor bo'lgan qismiga (p-qismiga), teshiklar r-qismiga o'tadi. Tashqi r- va n-sohalarni birlashtiruvchi elektrodalarda (kontaktlarda) potenciallar ayirmasi hosil bo'lib, natijada ulangan yuklanish qarshiligi orqali elektr toki oqa boshlaydi.

r-n o'tishga diffuziyalangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar, potensial to'siq bo'lganligi sababli, ikkiga ajratiladi. Ortiqcha hosil bo'lgan (to'siq erdamida ajratilgan) va to'plan-gan, p-sohadagi elektronlar va r-sohadagi teshiklar p-n o'tish-dagi mavjud hajmiy zaryadni kompensatsiya qiladi, ya'ni mavjud bo'lgan

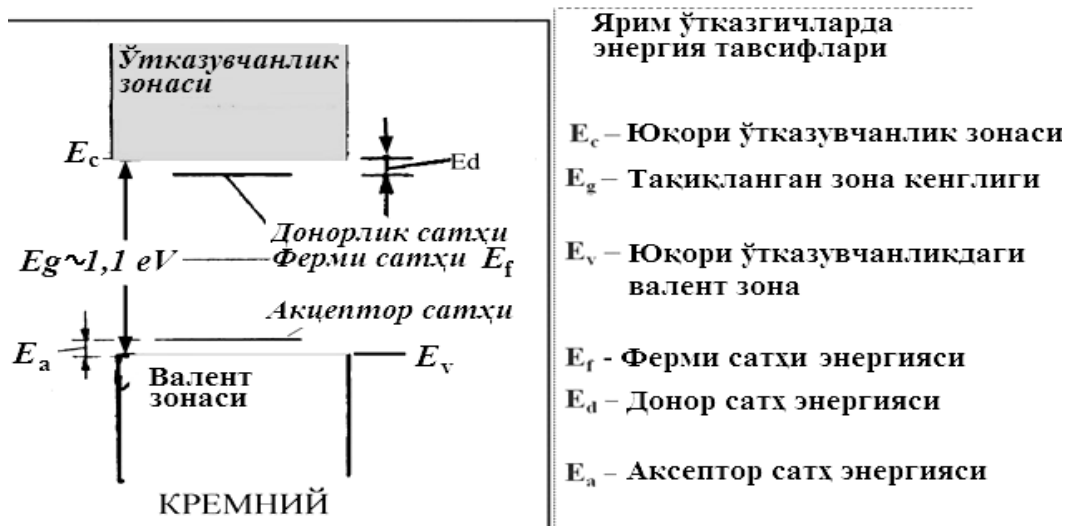
elektr maydoniga qarama-qarshi elektr maydonini hosil qiladi. Yoritilish tufayli tashqi elektrodlarda potentsiallar ayirmasi hosil bo'lishi bilan birga èritilmagan p-n o'tishdagi mavjud potentsial to'siqning o'zgarishi ro'y beradi. Hosil bo'lgan foto-EYUK bor bo'lgan potentsial to'siq qiymatini kamaytiradi. Bu esa o'z navbatida qarama-qarshi oqimlarning paydo bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni elektron qismdan elektron-lar oqimini, r-qismdan teshiklar oqimini hosil qiladi.

Bu oqimlar p-n o'tishga qo'yilgan elektr kuchlanishi ta'siri natijasida to'g'ri yunalishdagi tok bilan deyarli teng bo'ladi. Yoritilish jarayoni boshlangan vaqtdan boshlab ortiqcha (muvozanatdagiga nisbatan) zaryadlar to'planishi (elektronlarning p-sohada va teshiklarning r-sohada) potentsial to'siq baland-ligini kamaytiradi, yoki boshqacha qilib aytganda elektro-statik potentsialni pasaytiradi. Bu esa o'z navbatida tashqi yuklamadan oqaetgan tok kuchini oshiradi va qarama-qarshi oqimlar hosil qiluvchi elektronlar va teshiklar oqimini p-n o'tishdan oqishini ta'minlaydi. Yorug'lik tufayli hosil bo'lgan ortiqcha juftliklar soni p-n o'tish yoki tashqi yuklama orqali ketaetgan juftliklar soniga teng bo'lganda statsionar muvozanat hosil bo'ladi. Odatda bu hol èritilish jarayonining mingdan bir soniyasi davomida ro'y beradi.

QE qisqa tutashuv toki I_{kt} ni, tushayotgan optik nurlanish zichligi va spektral tarkibidan o'rganish element tuzilmasi ichida bo'layotgan alohida har bir nurlanish kvantining elektr energiyasiga aylanish jarayoni samaradorligi haqida tasavvur hosil qilish imkoniyatini beradi. QE uchun ma'lum yorug'lik oqimi zichligi tushayotgan hol uchun quyidagi ifodani keltirish mumkin.

$$I_{ktyu}(\lambda) = I_{ktt}(\lambda)/[1-r(\lambda)], \quad (1)$$

bu erda $I_{kt}(\lambda)$ va $I_{ktyu}(\lambda)$ – QE qisqa tutashuv tokining qiymati, berilgan intensivlikdagi tushaetgan va yutilgan nurlanish uchun, $r(\lambda)$ -birlamchi qaytish koeffitsienti. Keltirilgan uchcha-la kattaliklar xam bir xil to'lqin uzunligi bo'lgan hol uchun to'g'ridir.



1-rasm. Yarim o‘tkazgichlardagi zonalar tarkibiy sxemasi

QE ni tahlil qilish va sifatini baholash uchun uning I kt toki spektral tavsifini yutilgan har bir kvant nur uchun hisoblangani o‘ta muhimdir.

Bu kattalikni quyosh elementining effektiv kvant chiqishi, deyiladi va Q_{eff} bilan belgilanadi. Agar N_0 – YAO‘ material sirtining birlik yuzasiga tushaётган kvantlar soni bo‘lsa, u holda

$$Q_{eff} = Ikt / N_0 \quad (2)$$

bo‘ladi, bu erda Ikt elektron soniyada o‘lchanadi, va Q_{eff} elektron kvant (foton) larda olinishi kerak. QE effektiv kvant chiqishi ikki parametrga bog‘lik bo‘lib, u

$$Q_{eff} = \beta\gamma \quad (3)$$

β -ichki foto effektning kvant chiqishidir. Bu kattalik har bir yutilgan kvant uchun foto ionizatsiya jaraenida YAO‘ ichida hosil bo‘ladigan elektron-teshik juftliklarni ko‘rsatadi. γ -p-n o‘tish potensial to‘sig‘ining tok tashuvchilarni yig‘ish (jamlash) koeffitsientidir, yoki boshqachasiga aytganda, tok tashuvchilarning ajratish koeffitsienti ham deyiladi. Bu koeffitsient optik nurlanish yordamida hosil bo‘lgan umumiy juftliklardan qancha qismi qisqa tutashuv tokida ishtirok etishini ko‘rsatadi. Tashqi o‘lchash asbobi ulangan hol uchun, $\beta=1$ bo‘lsa, har bir kvant bitta juftlik hosil qila olishini ko‘rsatadi.

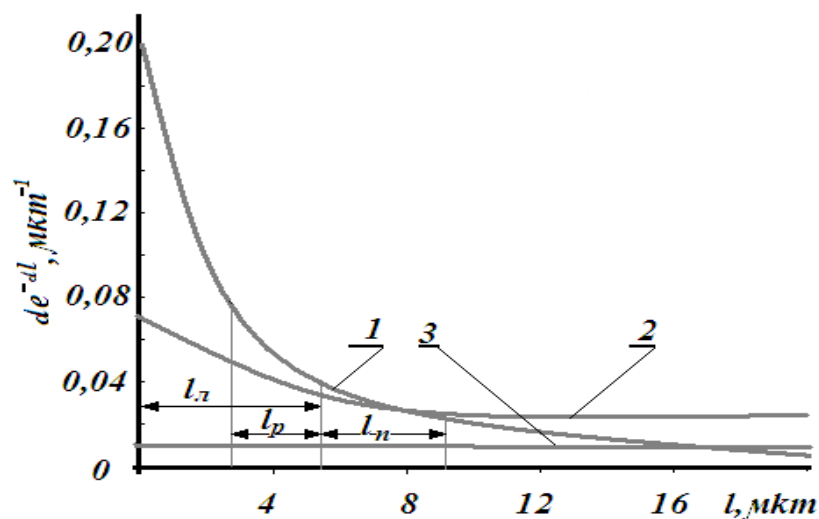
Har xil to'liq uzunlikka ega bo'lgan optik nurlanish, materialda har xil chuqurlikka kira oladi (kvantlarning chuqurlikka kirish qobiliyati ularning energiyasiga bog'likdir). YAO' materiallarda yutilgan kvantlar hisobiga hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar materialda fazoviy taqsimot hosil qiladi (1-rasm ga qarang). Hosil bo'lgan juftliklar-ning keyingi taqdiri YAO' materiallarning diffuzion yo'li uzunligiga bog'likdir. Agar bu parametr kattaligi etarlicha bo'lsa, u holda nurlanish tufayli hosil bo'lgan ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar faqat diffuziya jaraeni tufayli p-n o'tishga kelib uning elektr maydoni orqali ajratilishi mumkin. Optik nurlanishni aylantirilishi jaraenida muhim rolni elektronlarning diffuziya yo'li uzunligi (L_p) va p-n o'tish chuqurligi (ℓ) o'ynaydi, chunki hosil bo'layotgan va ajratilishi lozim bo'lgan juftliklar ularga bog'liqdir. Optik nurlanishning YAO' materialga tushish yo'nalishiga qarab p-n o'tish konstruksiyasining ikki xili mavjud va ularni quyidagi 2- rasmda keltirilgan holi uchun ko'rish mumkin.

1-hol. Optik nurlanish yo'nalishiga p-n o'tish perpen-dikulyar joylashgan hol. Optik nurlanish qalinligi l ga teng bo'lgan YAO' materialning butunlay oxirigacha kiradi.

2-hol. Optik nurlanish yo'nalishiga p-n o'tish parallel joylashgan hol.

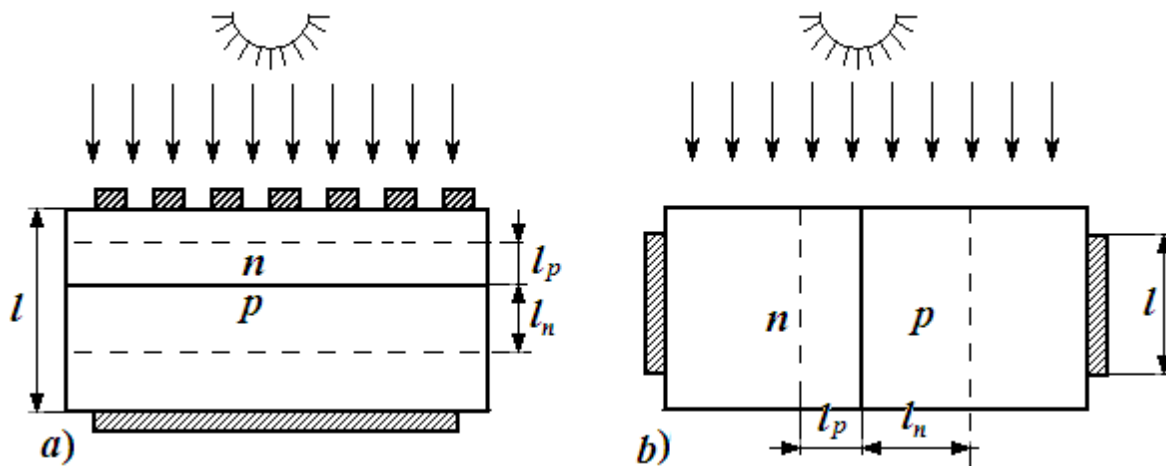
Nurlanish kengligi d ga teng bo'lgan tuzilmaga tushadi.

Kremniy asosidagi p-n o'tishga perpendikulyar tushgan hol uchun hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklarining taqsimlanishi. 1- $\lambda = 0,619$ mkm, $\alpha = 2000$ sm⁻¹; 2- $\lambda = 0,81$ mkm, $\alpha = 700$ sm⁻¹; 3- $\lambda = 0,92$ mkm, $\alpha = 90$ sm⁻¹



2-rasm. Har xil to‘lqin uzunlikdagi nurlanishning kremniy asosidagi p-n o‘tishda

Perpendikulyar va parallel joylashgan p-n o‘tishlar uchun yig‘ish (jamlash) koeffitsienti (effektivligi) quyidagi munosabatlar bilan aniqlanadi.



3-rasm. YAO‘ li kristalda p-n o‘tishlarning joylashish sxemalariga ko‘ra (a) perpendikulyar va (b) parallel p-n o‘tish tekisligida optik nurlanishning tushishi.

Bunda, L_n , L_p – r- va p – sohalarida asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari; l - yarim o‘tkazgichda nurlanishning kirish chegarasi; shtrixlangan sohalar – r- va p-sohalaridagi metall kontaktlarning ko‘rinishi

$$\gamma = (L_p + L_r) / l \quad (6) \quad \text{va} \quad \gamma = (L_p + L_r) / d \quad (4)$$

bu erda L_r – teshiklarning diffuziya yo‘li uzunligi.

Birinchi qarashda p-n o‘tishning parallel joylashishi afzalroq ko‘rinadi, chunki hosil bo‘lgan zaryad juftliklarini to‘laligicha yig‘ish va ajratish uchun YAO‘ material qalinligiga va p-n o‘tishga nisbatan uning taqsimlanishi muhimdir. YAO‘ ichida juftliklarning material chuqurligiga nisbatan bir tekis hosil bo‘lishi ularning p-n o‘tish tomon diffuziya hodisasi orqali ajratilish jarayoni uchun o‘ta muhimdir. SHuning uchun, ko‘p p-n o‘tishlarga ega bo‘lgan QE larda (foto voltlar-ko‘p sonli mikro QE lardan iborat), ularning p-n o‘tishlari tushayotgan optik nurlanishga parallel joylashtiriladi. Optik nurlanishning uzun to‘lqinli qismida, bu konstruktsiya zaryad tashuvchilar yig‘ishning yuqori samaradorligiga ega bo‘ladi hamda bir birlik yuzadan katta miqdordagi foto-EYUK olishga imkon yaratadi.

Biroq, asosiy muammolardan biri bo‘lib, nisbatan kichkina o‘lchamli parallel joylashgan p-n o‘tishlarga ega bo‘lgan mikro-QE larida rekombinatsiya hodisasining perpendikulyar joylashgan p-n o‘tishlarga nisbatan kattaligi nazariy va amaliy jihatdan aniqlanadi. SHuning uchun, bu turdagi QE uchun quyosh bu erda N_0 – birlik yuzaga tushayotgan kvantlar soni. Juftliklar soni, ichkariga qarab kamayib boradi. Ularning sonini YAO‘ materialda yutilishi mumkin bo‘lgan sohada α (E) ni aniqlash mumkin. Shunday hisoblashlarning kremniy uchun natijasi, bir necha qiymatga ega bo‘lgan to‘lqin uzunliklari uchun 2-rasmda berilgan.

n- va r-turdagi materialda zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari sohalarini chegaralagan vertikal chiziqlar, p-n o‘tish perpendikulyar bo‘lgan hol uchun zaryad tashuvchilar jamlash jarayonini baholash imkonini beradi. CHiziqlar ordinatalari $\alpha \exp(-\alpha \ell)$ ga proporsional bo‘lib, absissalar esa YAO‘ material èritilgan yuzasidan ichkariga kirish chuqurligini belgilaydi. O‘qlar orasidagi chiziqlar bilan chegaralangan yuzalar - tushayotgan kvantlar oqimiga teng, ordinatalar bilan chegaralangan yuzalar $\ell = \ell_d \ell_n$ va $(\ell_d + \ell_n)$ (shtrixlangan qism) – qisqa tutashuv tokini ko‘rsatadi. SHunday qilib, shtrixlangan yuzaning umumiy yuzaga nisbati ichki foto effekt kvant chiqishini aniqlovchi ifodaga asosan ($\beta = 1$ hol uchun) yig‘ish effektivligini beradi.

Agar moddaning valent sohasi toʻlaligicha egallanmagan boʻlsayu, ammo oʻtkazuvchanlik sohasigacha boʻlgan energetik masofa nisbatan kichik (2 eV dan kamroq) boʻlsa, bunday moddalar yarim oʻtkazgichlar deyiladi. Yarim oʻtkazgichlar xususiyatlari, xususan, elektr oʻtkazuvchanligi tashqi muhitga va, ayniqsa, haroratga bogʻliq boʻladi. Harorat (T) ning ortishi elektronlar miqdorining valent va oʻtkazuvchanlik sohasiga oʻtishida tok tashuvchilarning eksponensial ravishda koʻpayishiga va elektr oʻtkazuvchanlikning

$$\sigma = A \exp(-E_g / 2kT) \quad (5)$$

ifodaga asosan oʻzgarishiga olib keladi. Bu erda k – Bolsman doimiysi, A- moddani xarakterlovchi oʻzgarmas kattalik.

Metallarning elektr oʻtkazuvchanligi erkin elektronlar konsentratsiyasi oʻzgarmas boʻlganligi tufayli elektronlar harakatchanligining haroratga bogʻliqligi bilan aniqlanadi va haroratning ortishi bilan astasekin kamayadi.

Yuqoridagi ifodani logarifmlab quyidagi ifodani hosil qilamiz.

$$\ln \sigma = \ln A - E_g / 2kT \quad (6)$$

Bu ifodani yarim logarifmik koordinitalarda grafik ravishda koʻrsatish amalga kiritilgan. Hosil boʻlgan toʻgʻri chiziq va uning φ burchak tangansi yarim oʻtkazgich materialining asosiy parametri boʻlgan, taʻqiqlangan soha kengligi $E_g = 2kT\varphi$ ni aniqlaydi. Taʻkidlash lozimki, qiya toʻgʻri chiziq, yaʼni elektr oʻtkazuvchanlik logarifmik $1/T$ ga bogʻliq ravishda oʻzga-rishi faqat toza kirishmalardan holi, xususiy oʻtkazuvchan-likka ega boʻlgan materiallar uchungina shunday koʻrinishga ega.

Kirishmaviy yarim oʻtkazgichlarda $\ln \varphi$ ning $1/T$ dan bogʻla-nishi murakkab boʻlib, u ikkita qiya toʻgʻri chiziqdan iborat boʻlishi mumkin va bir-biri bilan gorizontal qism orqali tutashgan boʻladi. Past haroratda oʻlchash natijasida olingan

$$\ln \sigma = \ln A - E_g / 2kT$$

ifodadan hosil qilingan qiya toʻgʻri chiziq tangensi yordamida kirishmalarning taʻqiqlangan sohada joylashgan energetik sathlari holatini aniqlash mumkin. Yuqori haroratli sha-roitda olingan hollarda esa yarim oʻtkazgich materiallarning taʻqiqlangan sohasi kattaligini, yaʼni E_g ni aniqlash mumkin.

Quyosh elementi tayyorlashda quyosh nurlanishining yarim o'tkazgich material bilan o'zaro ta'siri, fotonlar energiyasini materialdagi elektronlarda yutilishi va chiqishi jarayonlari muhim ahamiyatga egadir.

Kvant mexanikasida elementar zarrachalar, shu jumladan, elektronlar ham to'lqin xossalari ham ega, deb qaraladi. Shuning uchun elementar zarrachalar harakatini o'rganishda energiya (E) va impuls (P) bilan bir qatorda, ularning to'lqin uzunliklari λ takrorlanuvchanligi ν va to'lqin vektori $K = P / h$, (h – Plank doimiysi) ham ishlatiladi. Bu erda $E=h\nu$ va $P = h / \lambda$ ga teng. Kristallning sohali tuzilmasini E–K diagrammalar bilan tasvirlash mumkin. Bu erda energiya elektron-voltlarda (eV) to'lqin vektori K – kristall panjara doimiysi qismlarida ko'rsatiladi. Shu bilan birga K o'qda ko'rsatkichlar yordamida kristall panjaraning yo'nalishi ko'rsatiladi. E – K diagram-masi vositasida sohalararo o'tishlarning yarim o'tkazgich materialdagi harakteri va jumladan o'tishning «to'g'ri» yoki «noto'g'ri» ligini aniqlash mumkin.

Optik yutilishni o'lchash aniqlangan E_g ning kattaligi, aksariyat, yarim o'tkazgich materialdagi erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga, haroratga va kirishmalar energetik sathlarining ta'qiqlangan sohada mavjudligiga bog'liq bo'ladi. Agar o'tkazuvchanlik sohasi tubidagi va valent soha ustidagi holatlar zaryad tashuvchilar bilan to'ldirilgan bo'lsa, u holda kirishmali yarim o'tkazgich materiallar uchun E_g sof xususiy materialga tegishli qiymatidan kattaroq bo'lishi mumkin. Agar kirishmalar hosil qilgan soha eng yaqin ruxsat etilgan soha chegarasi bilan birlashib ketsa (masalan, ko'p miqdordagi kirishmalar kiritilgandagi kuzatiladigan holat), holda E_g kamayadi. E_g ning bunday kamayishi asosiy yutilish chegarasiga ta'sir qiladi.

Yarim o'tkazgich materialda yutilish koeffitsienti α odatda to'lqin energiyasining $1/\alpha$ masofada e marotaba kamayishi orqali aniqlanadi va u

$$N=N_0\exp(-\alpha x) \quad (7)$$

yordamida aniqlanadi. Bu erda N – yarim o'tkazgich materialda chuqurlikka kirgan fotonlar oqimining zichligi, N_0 – material sirtini kesib o'tuvchi fotonlar oqimining zichligi. Materialning yutilish ko'rsatkichi α yutilish ko'rsatkichi K bilan $\alpha = 4\pi K / \lambda$ munosabat orkali bog'langan. Shunday qilib, ma'lum va aniq qalinlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich material namunalaridan o'tayotgan optik nurlarni intensivligini o'zgartirib K va λ ning shu modda uchun qiymatlarini topish mumkin.

Quèsh elementlari tayyorlanadigan ayrim yarim o'tkazgich materiallar uchun α ning energiyadan o'zgarishi keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, yutilish ko'rsatkichi α ning spektral tavsifi keltirilgan yarim o'tkazgich materiallarda bir-biridan katta farq qiladi va bu farq asosan ularning sohali tuzilmasi va optik o'tishlar xarakteriga bog'liqdir. CdTe, GaAs, InP materiallarida to'g'ridan-to'g'ri soha-soha xarakteridagi optik o'tishlar mavjud bo'lib, nurlanish spektrida E_g dan ortiq energiyali fotonlar paydo bo'lishi bilan α tezda 10^4 - 10^5sm^{-1} darajasiga ko'tariladi. Kremniy materialida esa yutilish jarayoni 1,1eV dan boshlab to'g'ri bo'lmagan energetik o'tishlar orqali bo'ladi va buning uchun ham èrug'lik kvanti, ham panjara tebranishlari kvanti-foton-lar ishtiroki talab qilinadi. SHuning uchun, yutilish ko'rsat-kichi α asta-sekin ortib boradi. Faqat fotonlar energiyasi 2,5eV ga etgandan keyingina soha-sohali o'tishlar to'g'ridan-to'g'ri o'tishlarga aylanadi va yutilishi keskin orta boradi.

Yutilish ko'effitsientining spektral tavsifi shuni ko'rsatadiki, kremniy materialidan foydalanib, quyosh spektrining juda katta qismini elektr energiyasiga aylantirish mumkin. Masalan, atmosferadan tashqaridagi quyosh nurlanishi uchun (AM 0), bu 74 % ni tashkil qiladi. Xolbuki, agar material sifatida GaAs yarim o'tkazgich olinsa faqat 63% quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish mumkin. Ammo, «noto'g'ri» optik o'tishlarning asosiy yutilish chegarasida λ ning qiymati katta bo'lmaganligi sababli, butun keltirilgan quèsh spektri yutilishi uchun kremniyli quèsh elementining qalinligi 250 mkm dan kam bo'lmasligi kerak. Xolbuki, xuddi shunday sharoit uchun GaAs materialning qalinligi 2-5 mkm bo'lishi kifoyadir. SHuning uchun spektral tavsifining bu xususiyatlarini yuqori

samarali va yupqa qatlamli quèsh elementi ishlab chiqarishda ahamiyati katta ekanligi doimo hisobga olinishi zarur.

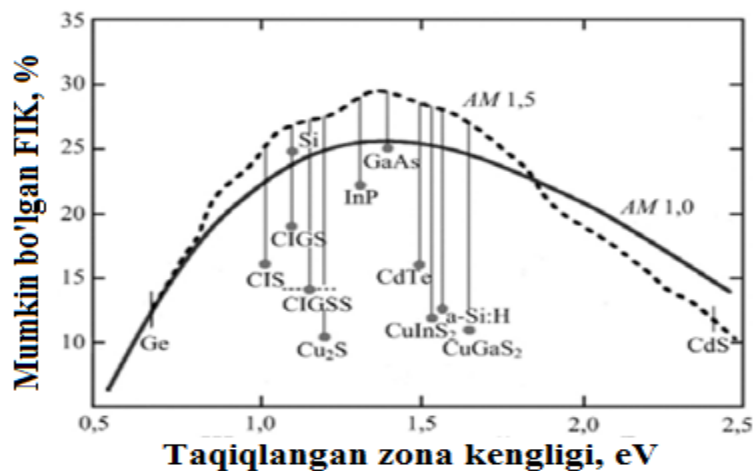
Agar, yarim o'tkazgich sirtiga tushayotgan fotonlar energiyasi kam bo'lib, yutilish natijasida elektronlarni valent sohadan o'tkazuvchanlik sohasiga chiqara olmasa, nurlanish ta'sirida elektron kristall ichida ruxsat etilmagan sohalarga o'tishi mumkin. Bunday holat uchun yutilishning spektral tavsifini asosiy yutilish chegarasidan keyingi uzun to'liqinli qismida sezilishi mumkin. Bunday yutilish erkin zaryad tashuvchilar yutilishi, deyiladi va bu jarayon shunday zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. Erkin zaryad tashuvchilar engil ionizatsiya bo'la oladigan kirishmalar konsentratsiyasiga bog'liq bo'lgani uchun, yutilish ham unga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'ladi. YArim o'tkazgich materiallarda bunday uzun to'liqinli yutilish xususiyatlarini o'rganish natijasida yutilishning bir necha turi aniqlangan. Jumladan, fazoviy panjara tebranish-larida yutilish, kirishmalarda yutilish, eksitonlarda yutilish. Eksiton – bog'langan elektron-teshik juftligi bo'lib, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o'zgartirmaydi. Chunki kristall ichida alohida elektron èki teshik harakatlari emas, balki bog'langan holat harakatidir.

Yutilish spektrlari, kristall tuzilishining xususiyatiga kerakli har tomonlama foydali ma'lumotlar beradi. Jumla-dan, legirlanish darajasi, kirishmalarning aktivlanish energiyasini va ularning ta'qiqlangan zonada joylashgan energetik sathlarini aniqlashga imkon beradi. Masalan, yutilish spektrlari asosida kremniy tarkibida kislorodning bor yoki yo'qligini aniqlash mumkin (9 mkm). Spektrning uzun to'liqinli sohasida akslanish koeffitsienti R, bunday kirishmalar ortishi bilan keskin o'sishi kuzatiladi.

2- amaliy mashg'ulot: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish usullari haqida.

Ishdan maqsad: Quyosh elementlarini tayyorlash texnologiyasi va ularni o'rganish

QE ishlab chiqarish uchun foydalaniladigan materiallarni sanab o'tishdan oldin ular uchun yorug'lik yutishni tanlashga asos bo'lgan mezonni ko'rib chiqish lozim. Bu mezon taqiqlangan zona kengligi deb nomlanadi. Haqiqatdan ham E_g ning kamayishi nurlanish spektrining katta qismini foydali ishlatishga imkon beradi, ya'ni fototok zichligining J_{ph} va o'z navbatida J_{sc} ortishi FIK ortishiga olib kelishi kerak. Boshqa tomondan E_g ning kamayishi to'g'ridan to'g'ri U_{OC} va FF kamayishiga olib keladi, bunda J_{sc} ortishi U_{OC} va FF kamayishini kompensatsiya qilmaydi, shu sababli FIK kamayadi. Gamogen QE nazariy erishiladigan FIK ning yutuvchi materialning taqiqlangan zona kengligiga bog'liqligi 1-rasmda keltirilgan. Fotoenergetika uchun klassik material sifatida monokristall kremniy hisoblanadi, ammo uning asosida strukturalar ishlab chiqish – juda texnologik murakkab va qimmatdir. SHuning uchun oxirgi vaqtlarda amorf kremniy, arsenid galliy va polikristall yarimo'tkazgichlarga katta e'tibor qaratilmoqda.



1-rasm. QE maksimal FIK ning material taqiqlangan zona kengligiga bog'liqligi (25^oS da)

Polikristall quyosh elementlari 20 yildan kam bo'lmagan yaroqlilik muddatiga ega bo'lib ularning samaradorligi quyosh nurlanishining tushish burchagiga kuchli bog'liq emas.

Bunday quyosh elementlarini ishlab chiqarishda o'stirish operatsiyasi bo'lmaganligi sababli ularni ishlab chiqarishda energiya iqtisodi yuqoridir va arzon hisoblanadi. Ammo polikristall kremniy strukturasi sohasida alohida kristallchalarning hosil bo'lishi sabab bunday quyosh elementlarining kichik samaradorligi 15..16% ni tashkil etadi.

Yupqa qatlamli quyosh elementlari – hamma quyosh elementlarining ichida eng arzon varianti bo'lib ishlab chiqarishda eng kam sarfni talab qiladi.

Bunday quyosh elementlari asosidagi panellar diffuz-sochilgan nurlanishda ham ishlay oladi, to'g'ri yunalgan quyosh nurlanishini talab qilmaydi. Ularning yil davomida ishlab chiqargan yig'indi quvvati a'nanaviy kristall quyosh panellariga nisbatan 10...15% ga ko'pni tashkil etadi. YUppqa qatlamli quyosh elementlariga amorf kremniy (a-Si), kadmiy tellur (CdTe) misol keltirish mumkin. Amorf kremniyning taqiqlangan zona energiyasini vodorod kirishmasini kiritish (gidrogenezatsiya) yuli bilan o'zgartirish mumkin. Vodorod bilan legirlangan amorf kremniy (a-Si:N) amorf quyosh elementlarining asosi hisoblanadi. Ba'zida vodorod bilan birgalikda yutuvchi amorf qatlam sifatida germaniy aralashmasidan ham foydalaniladi (a-SiGe:N). Amorf kremniy quyosh elementlari uchun ishchi o'tuv sohalari sifatida quyidagi usullar ishlatilishi mumkin: SHotki to'sig'i, MDO'-struktura, p-i-n struktura.

Amorf kremniy quyosh elementlarining asosiy kamchiligi ekspluatatsiya vaqtida degradatsiyalanishi hisoblanadi. Buning natijasida uning FIK kamayadi, bu esa uning yaroqlilik muddatini kamaytiradi. Ayniqsa, kosmosda kuchli ionlashgan nurlanish mavjudligida ularni qo'llab bo'lmaydi.

Amorf kremniy monokristall kremniyli QE qaraganda arzonroq muqobil sifatida namoyon bo'lmoqda. Amorf kremniyda optik nurlanishni yutish kristall kremniyga qaraganda yigirma marta samaralidir. SHuning uchun 300 mkm taglik qalinligidagi qimmat kristall kremniyli QE o'rniga 0,5-1 mkm qalinlikdagi a-Si:H

dan foydalanish etarli bo'лади. Bundan tashqari monokristall kremniy m-Si asosidagi QE uchun zarur bo'ladigan sayqallash, polirovka, lazer nuri yordamida kesish zaruriyati bo'lmaydi, yupqa plenkali a-Si:H dan foydalanilganda katta maydon talab qilinmaydi. Polikristall kremniyli QE bilan taqqoslaganda a-Si:H asosidagi mahsulotlar nisbatan past haroratlarda (300⁰S) ishlab chiqariladi, arzon shisha tagliklaridan foydalanish hisobiga kremniy sarfini 20 marta qisqartirish mumkin. a-Si:H asosidagi eksperimental QE da maksimal FIK (~12%), kristall kremniyli QE esa (~23%).

Galliy-arsenid - yuqori samarali QE yaratish uchun istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. U qo'yidagi xususiyatlarga ega:

- Taqiqlangan zona kengligi 1,43 eV;
- Quyosh nurlanishini yutishning yuqori samaradorligi, hammasi bo'lib bir necha mikron qalinlik qatlami zarur;
- Yuqori radiatsion barqarorlik sabab bu material favqulodda kosmik apparatlarda foydalanish uchun ishlab chiqariladi;
- GaAs asosidagi QE nisbatan qizishga sezilarli emas (150⁰S);
- GaAs qotishmalarining alyuminiy, mishyak, fosfor va indiy bilan hosil qilgan xarakteristikalarini GaAs xarakteristikalarini to'ldiradi, QE loyihalashda imkoniyatlarini kengaytiradi.

GaAs va uning qotishmalari asosidagi qotishmalarning asosiy afzalligi – bu QE dizaynini yaratishning keng imkoniyati diapazoni hisoblanadi. GaAs asosidagi QE har xil tarkibdagi bir qancha qatlamlardan tashkil topishi mumkin. Bu zaryad tashuvchilarni yig'ishga va generatsiya jarayonini boshqarishga imkon beradi. Odatda GaAs asosidagi QE o'ziga AlGaAs juda yupqa qatlamni biriktiradi. GaAs asosiy kamchiligi uning tannarxining qimmatli ekanligidir. Ishlab chiqarishni arzonlashtirish uchun uning tagliklarini arzonroq materiallardan yoki ko'p marta foydalanishga mo'ljallangan tagliklar ishlatilishi mumkin.

QE tayyorlash uchun istiqbolli materiallardan biri CdTe va CdS hisoblanadi. Ba'zan CdS ning shaffofligini oshirish uchun rux ham qo'shishadi. CdTe va uning strukturalarini tadqiq etish XX asrning 60-yillaridan boshlangan

bo'lib u yuqori optik yutish koeffitsientiga ega. Taqiqlangan zona kengligi 1,5 eV ga teng, QN jadal yutish uchun yupqa plenka ko'rinishida ham foydalanish mumkin. CdTe asosidagi QE har xil turlari o'rtasida gamogen o'tishga ega, Shottki to'sig'iga ega, shuningdek Cu₂Te, CdS va ITO (SHaffof o'tkazuvchi oksid – qalay va indiy oksidlari aralashmasi) birikmasidagi geteroo'tishlar tadqiq qilingan. Kelgusida foydalanish uchun eng yaxshi nuqta'i nazardan va takomillashgani n-CdS/p-CdTe QE hisoblanadi.

Quyosh elementlari p-n turli yarimo'tkazgichli materiallardan tashkil topgan. Quyosh nurlanishi yarimo'tkazgichli material strukturasi yutilib elektron-kovaklar juftligini hosil qiladi, so'ngra p-n o'tish orqali ajratilib element old va orqa yuzasidagi metall kontaktlarda yig'iladi.

Quyosh elementlarini ommaviy ravishda ishlab chiqarish uchun asosiy material sifatida hanuzgacha kristall kremniy hisoblanadi. Hamma quyosh elementlarining 80% dan ortig'i u asosida tayyorlangan tagliklardan iborat bo'ladi. Quyosh nurlanishini yaxshi yutish qobiliyatiga ega bo'lmasada u boshqa yarimo'tkazgich materiallarga qaraganda qator afzalliklarga ega:

- 1). Kremniy Er yuzasida kremniy oksidi shaklida keng tarqalgan.
- 2). Kremniy zararli va faol element bo'lmagani uchun atrof muhitga zarar keltirmaydi.
- 3). Mikroelektronika sanoatida kremniy texnologiyasi yaxshi o'rganilgan.

Kremniyli quyosh elementlarining amaliyotdagi samaradorligi 10-19% atrofidadir. Uning yupqa plenkalari kaskad quyosh elementlarini tayyorlashda ham ishlatiladi. Bu materiallarning kamchiligi vaqt o'tishi, harorat ortishi, yuzasining changlanishi bilan xarakteristikalarining yomonlashishidir, shuningdek yuqori texnologiyalik, ishlab chiqarishdagi chiqimlilik ham hisoblanadi.

Quyosh fotoelektrik panellari quyosh nurlanishining bir qismini doimiy elektr tokiga o'zgartirib fotoelektrik stansiyaning asosiy qismi hisoblanadi. Quyosh elementlari bir biri bilan ulangan holda modullarni (panellarni), modullar bir biri bilan ulanib yirik fotoelektrik stansiyaning hosil qiladi.

Hozirgi vaqtda quyosh fotoelektrik panellarining uchta turi keng tarqalgan:

- monokristall kremniyli;
- polikristall kremniyli;
- yupqa qatlamli

Quyosh nurlanishini elektr energiyasiga yuqori samarador o'zgartiruvchi bu monokristall kremniy asosidagi quyosh panellari hisoblanadi: ularning FIK amaliyotda 18-19,5% ni, yaroqlilik muddati esa 25 yildan kam emas.

Bunday panellarning asosiy materiali monokristall ko'rinishidagi toza kremniy bo'lib kremniy eritmasidan sekin tortib olinib o'stiriladi. Bu jarayon Choxralskiy qurilmasida amalga oshiriladi. Bunday usul bilan o'stirilgan kremniy sterjenlari qalinligi 0,2...0,4 mkm holatda lazer qurilmasida kesiladi, so'ngra edirish, silliqlash, tozalash jarayonidan so'ng p-n o'tish amalga oshiriladi. Navbatdagi jarayon plastinaning orqa tomoni to'liq metall kontakt bilan qoplanadi, frontal tomoni esa nm qalinlikda lazer qurilmasida kanallar hosil qilinadi va metall to'rli kontakt yaratilib, himoya qoplamasi yotqiziladi. So'ngra frontal yuzada akslanishni kamaytirish uchun antiakslantirgich himoya qoplamasi uchiriladi. Yuqoridagi jarayonlar quyosh elementini tayyorlash bosqichlari hisoblanadi.

Yakka holdagi quyosh fotoelektrik panellarining quvvati 10...400 Vt ga etishi mumkin. Ushbu turdagi quyosh panellaridan optimal quvvat olish uchun ularning ishchi harorati 15...25 °S atrofida bo'lishi lozim, chunki maksimal quvvat olish faqat ochiq havoda, atrof muhit harorati 25°S, panellarning yunalishi Quyoshga orientatsiyalanganda sodir bo'ladi. Hattoki, kichik bulutlilik mavjudligida ham ularning quvvati 70% gacha kamayadi, to'liq bulutlilik vaqtida 90% gacha ham kamayishi mumkin.

Shuning uchun amaliyot vaqtida monokristall panellardan maksimal quvvat olish uchun ularni quyosh potentsiali yuqori bo'lgan hududlarga o'rnatib Quyosh yunalishini avtomatik kuzatish tizimiga ega moslamalar bilan ta'minlash lozim.

3- amaliy mashg'ulot: Quyosh elementlari tayyorlashning diffuziya yordamida strukturalar olish usullarini tadqiq etish.

Ishdan maqsad: Quyosh elementlari tayyorlashning diffuziya yordamida strukturalar olish usullarini tadqiq etish.

Hozirgi zamon QE texnologiyasida diffuziya yordamida tuzilmalar tayorlash asosiy yunalishlardan hisoblanadi. Hozirgi vaqtda butun dunyoda tayyorlanayotgan kremniy asosidagi QE larining asosiy qismi diffuzion texnologiya vositasida olinadi. Qisqacha diffuziya jarayonini ko'rib o'tamiz.

Diffuziya jarayonida modda oqimining zichligi Fikning birinchi qonuniga asosan quyidagicha ko'rsatiladi.

$$I_a = D \text{ grad } C \quad (3), \quad \text{grad } C = dC/dx \quad (4)$$

YA'ni bu jumla X o'ki yo'nalishida konsentratsiya o'zgarishini ko'rsatadi. Bu erda, D – diffuziya koeffitsienti, sm^2/sek o'lchanadi va bu koeffitsient berilgan konsentratsiya gradienti qiymatida moddalar oqimining qiymatini ko'rsatadi. Fikning ikkinchi qonuniga asosan konsentratsiyaning vaqtga nisbatan o'zgarishi

$$DC/dt = D d^2C/dx^2 \quad (5)$$

ga teng bo'ladi.

Umuman yarim o'tkazgichli asbobsozlik texnologiyasida keng imkoniyatliligi, samaradorligi va ko'p qavatli qatlamlar olish imkoniyati osonligi, kirishmalar konsentratsiyasini o'zgartirish imkoniyati mavjudligi bilan boshqa usullardan farq qiluvchi usul bu diffuziya usulidir. Kirishmalarni diffuziya hududiga etkazish imkoniyatini hisobga olgan holda bu usulni quyidagi yunalishlarga bo'lish mumkin.

A) Gaz yoki bug' holatidan foydalanib diffuziya qilish.

B) Iqtidorligi chegaralangan manbadan diffuziya qilish (M: elektrolitik yoki vakuumda uchirish yo'li bilan olingan yupqa qatlamlardan diffuziya qilish).

V) YArim o'tkazgichli material ustiga ma'lum usullar bilan o'tqazilgan (surtilgan yoki sentrifuga yordamida o'tqazilgan yupqa qatlamlarga kerakli kirishma uning tarkibida bo'lgan) yupqa oksid qatlamlardan diffuziya qilish.

G) Asosiy materiali inert va unga aktiv kirishma kiritilgan qattiq jismlardan diffuziya qilish usuli.

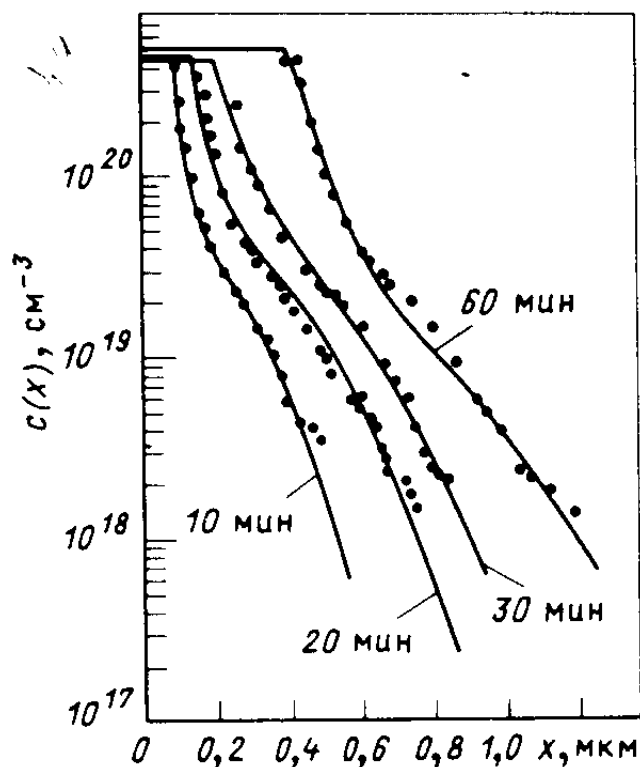
Kremniyda diffuziya jarayoni FIK qonuniga to'liq bo'ysinadi va unga asosan kirishmalar konsentratsiyasi taqsimoti chegaralanmagan quvvatli kirishma manbai holi uchun quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

$$N(x,t) = N_0[1 - \exp(-x^2/4Dt)] \quad (6)$$

bu erda N – konsentratsiya, D – diffuziya koeffitsienti, t – vaqt, N_0 – kirishmalar atomlarining yuzadagi konsentratsiyasi.

Eksperimental tadqiqotlardan aniqlanishicha, kirishmalar taqsimoti ancha murakkab bo'lib, bunga asosiy sabab diffuziya koeffitsienti D ning yarim o'tkazgichli materialdagi vakansiyalar konsentratsiyasiga bog'liqligidir.

Diffuziya jarayoni o'tkazishga misollar, jarayonni o'tkazish tartibi. Diffuziya jarayonini o'tkazish ma'lum tartibda olib boriladi. Bular jumlasiga: yarim o'tkazgichli materialni tayyorlash (mexanik va ximik ishlov berish), kirishmalar manbaini tayyorlash (Kirishmalar kiritish yo'nalishini tanlash), jarayon o'tkazish rejimini tanlash, hisoblash va hokazolar, diffuziya o'tkazish, kirishmalar konsentarsiyasini va chuqurligini aniqlash, kirishmalar taqsimotini o'rganish, jaraèn o'tkazilish rejimiga tuzatishlar kiritish, qayta diffuziya o'tkazish va hokazolar. Ayrim hollarda (shu jumladan QE larini tayyorlashda ham) diffuzion qatlamlar elektr tokiga qarshiligini kamaytirish uchun qatlamlar maksimal qiymatgacha kirishmalar kiritiladi (berilgan harorat uchun chegaraviy eruvchanlikka qadar). Misol 1-Rasmga qarang. Bu hol uchun , diffuzion jarayon davomida yarim o'tkazgichli material sirtida konsentrsion plato hosil bo'ladi va undagi kirishmalar konsentratsiyasi chegaraviy eruvchanlik qiymatiga teng bo'ladi. Materialni diffuzion jarayondan keyingi sovutish davomida yuqori konsentratsiyali kirishmalar kremniyda har xil kristallik nuqsonlar.



Rasm 1. Diffuziya jaraèni o'tkazishning har xil vaqtlari uchun fosforning kremniydagi diffuzion profili. (diffuziya o'tkazish harorati 950 oS, diffuziya manbai ROS13, kremniy tagligida kirishmalar konsentratsiyasi $2 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$); $s(x)$ – yuzadan x masofadagi fosfor atomlarining konsentratsiyasi.

hosil qiladi va natijada yarim o'tkazgichning elektrofizik xususiyati keskin yomonlashadi (Misol, jumladan L , t , μ va hokazolar). Natijada yarim o'tkazgich yuzasida xususiyatlari tamoman yaroqsiz bo'lgan «o'lik qatlam» hosil bo'ladi. Bu qatlamning xususiyatlarini o'zgartirish va uning qalinligini kamaytirish uchun quyidagi amallarni bajarish kerakdir;

kirishmalarning yuzadagi konsentratsiyasini chegaralash,

diffuziya jarayonini chegaralangan quvvatli manbadan olib borish,

kirishmalarni ikki stadiyali usul bilan kiritish,

yuzadagi konsentratsion platonni kimèviy emirish usuli bilan olib tashlash.

Ikki stadiyali diffuziya usuli bilan kirishmalar kiritish jarayoning afzalligi (bu jarayon kirishmalarni ikki etapda kiritadi, «kiritish» va «tarqatish» etaplari) shundan iboratki, «kiritish» etapida materialga faqat berilgan miqdordagigina kirishma uning yuza qatlamlariga kiritiladi. «Tarqatish» stadiyasida esa kirishmalar

material ichiga diffuziya qilinadi. Natijada kirishmalarning namuna yuzasidagi konsentratsiyasi nisbatan kamayadi. Bu esa yuzadagi rekombinatsion sur'atni kamayishiga olib keladi. «Kiritish» etapining harorati «tarqatish» etapigi qaraganda pastroq haroratda olib boriladi.

Hosil qilingan diffuzion qatlamlarni yarim o'tkazgichli tuzilmalarda tatbiq qilish uchun ularning xususiyatlarini tahlil qilish asosiy shartlardandir. Bu xususiyatlar jumlasiga diffuzion qatlamning qalinligi, kirishmalar konsentratsiyasi, kirishmalarning qatlamdagi taqsimoti, qatlamning elektr tokiga qarshiligi, undagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti va harakatchanligi, va hokazolar. Diffuzion qatlamlar qalinligini o'lchash usullari jumlasiga qatlamni buzmasdan (ne razruhayuhie metodo') va qatlamni emirib (razruhayuhie) o'lchash usullari kiradi. Qatlamni emirishga asoslangan usullar qatoriga shar-shlif va qiya-shlif usullari kiradi.

Shar-shlif usuli diffuziya jarayonidan keyin material sirtida mexanik usul bilan shar shaklidagi zoldir yordamida chuqurcha hosil qilib, so'ngra uni rang beruvchi ximik aralashmalarda emirib r-p o'tish chegarasini aniqlashdan iborat. Aniqlangan chegara optik mikroskopda qalinligi (chuqurligi) o'lchanadi va uning qiymati diffuzion qatlam qalinligiga teng deb olinadi.

Qiya-shlif usuli avvalgi usulni bir ko'rinishi bo'lib r-p o'tish chegarasigacha qiya tekislik hosil qilinadi. Bu usullarning aniqligi zoldirning diametriga va qiya tekislikning qiyaligiga bog'liqdir. Qatlamni buzmasdan qalinlikni o'lchash usullariga volt-sig'im xarakteristikani o'lchash yo'li bilan qalinlikni aniqlash va har xil elektron zond usullari kiradi.

Hozirgi zamon kremniy asosidagi quyosh elementlarining deyarli aksariyatida QE ning asosiy qismi bo'lgan r-p o'tish olish kirishmalarni diffuziya qilishga asoslangan. Diffuzion r-p o'tish olish uchun kremniyga ionlanish energiyasi kichkina bo'lgan kirishmalar kiritiladi. Jumladan r-tip Si olish uchun B va p-tipdagi Si olish uchun P kiritiladi. Xozirgi zamon kremniy asosidagi QE tayyorlashda asosiy material qilib kristalli kremniyning r-tipdagisi olingan. Bunga asosiy sabablardan biri bo'lib bunday kremniyda asosiy bo'lmagan zaryad

tashuvchilarning elektronlar bo'lganligi va ularning diffuzion yo'li uzunligining nisbatan kattaligidir. Ld QE sifatida ishlatiladigan materiallarda 100 mkm dan ortiq bo'lib, o'z navbatida bunday qalinlikdagi (100 mkm dan qalinroq bo'lgan) kremniyga mexanik va ximik ishlov berishni osonlashtiradi. Diffuziya qilish usuli bilan r-p o'tish olishdan avval diffuzion jaraèn o'tkazish va diffuzion qatlam parametrlari oldindan nazariy yo'l bilan hisoblanadi. Avvaliga r-p o'tish qalinligi, diffuzion qatlamdagi kirishmaning konsentratsiyasi, sirt rekombinatsion koeffitsienti hisoblanadi. So'ngra diffuziya qilish jarayoni aniqlanadi.

p-tipdagi kremniy asosida QE olish uchun fosfor kirishmalari kiritiladi. Er sharoitida ishlaydigan effektivligi 16-18 % bo'lgan quyosh elementlari olish uchun fosfor kiritilgan qatlamning qalinligi 0,3-0,5 mkm bo'lishi kifoya, kirishmalar konsentratsiyasi esa (1-6) 10^{19} sm^{-3} , solishtirma qarshiligi $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-3} \text{ om sm}$, $L_r \sim 0,4-0,6 \text{ mkm}$ bo'lishi manzurdir. Sirt rekombinatsion sur'ati miqdori 10^2-10^3 sm/sek dan oshmasligi kerak.

Fosfor diffuziyasi jarayonidan avval orqa tomonga alyuminiy kiritilgan (1-1,5 mkm chuqurlikda) r^+ -tipdagi, ya'ni rr^+ -o'tish hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Keyin fosfor diffuziyasi ta'sir qilmasligi uchun orqa tomon ma'lum qalinlikdagi kremniy oksidi bilan berkitiladi.

Fosfor bilan legirlangan diffuzion qatlam olish harorati odatda pastroq bo'lib 900-950 °S ni tashkil qiladi. Fosfor kiritish quvvati chegaralangan manba'dan olib boriladi. Jarayonni qattiq jisimli manba'lardan "«yumshoq"» rejimni qo'llab olib borish kerak.

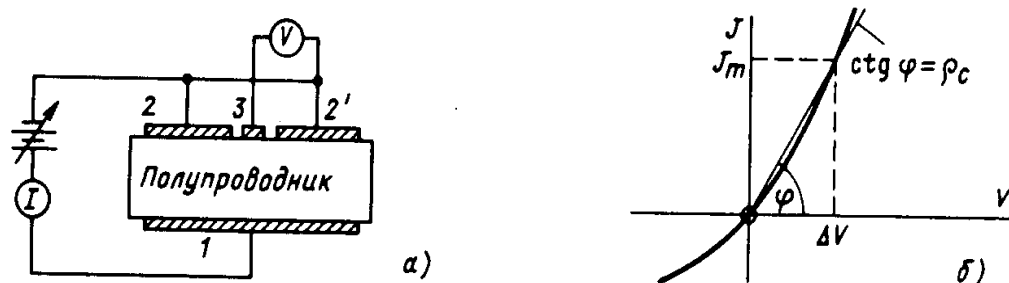
«O'lik qatlam» hosil bo'lish oldini olish uchun ikki stadiyali diffuziya qilish usulini qo'llash maqsadga muvofiqdir.

p-p o'tishning boshqa usullari ham mavjud bo'lib bular jumlasiga ionli legirlash usuli, epitaksiya qilish vositasi kiradi. O'z navbatida epitaksiya qilish vositasining turli yo'llari mavjud, jumladan, gaz fazali epitaksiya usuli, suyuq fazali epitaksiya usuli, molekulyar nurli epitaksiya usuli.

4- amaliy mashg‘ulot: Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasini tadqiq etish.

Ishdan maqsad: Quyosh elementlari tuzilmalariga omik kontaktlar va yuzadan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasini tadqiq etish.

Agar kontaktning volt-amper xarakteristikasi noldan boshlab kuchlanishning katta qiymatlariga teng kT largacha ($V \gg kT$) chiziqli xususiyatga ega bo‘lib, tok kuchini qarama-qarshi tomonga o‘zgartirilganda chiziqli qonuniyat saqlansa, metall va YAO orasidagi kontakt omik deb hisoblanadi. Ammo, kontaktdagi kuchlanish pasayishi yarim o‘tkazgichli material hajmidagi kuchlanishlar pasayishidan kam bo‘lsayu, tok-kuchlanish (I-V) xarakteristika shu oralikda chiziqli bo‘lmasa ham, kontakt kvazi omik hisobiga kiradi va uning xususiyatlari qoniqarli bo‘ladi. (Rasm 1).



Rasm 1. Kontaktlar qarshiligini o‘lchashning uch zondli usuli (a), o‘lchangan volt-amper xarakteristika (b)

Omik kontaktga qo‘yiladigan talablar. Omik kontakt quyidagi xususiyatlarga ega bo‘lishi shart:

- a) katta elektr o‘tkazuvchanlikka,
- b) yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikka,
- v) mexanik mustahkamlikka.

Kontaktning solishtirma qarshiligi siljitish kuchlanishi (napryajenie smeheniya) nolga teng bo‘lgan hol uchun quyidagi tenglamani qanoatlantirishi kerak,

$$\rho_{ko} = (dV/dI)_{V=0} \quad (1)$$

Odatda solishtirma qarshilikning keskin kamayishi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini oshirish orqali kuzatiladi va haroratning kamayishi jarayonida ρ ning oshishi kuzatiladi.

Bir metall yordamida olingan kontaktlarda yuqoridagi talablarni bajarish qiyin. SHuning uchun ikki yoki undan ortiq metallar kombinatsiyasi orqali talablar bajarilishi mumkin. Bunday kontaktlarda birinchi metall yarim o'tkazgichli materialda malum tip zaryad tashuvchilar mavjud kirishma rolini bajarishi kerak (aktiv kontakt) yoki yarim o'tkazgich bilan nisbatan kamroq elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan holda u bilan ximik bog'lanish hosil qilishi kerak (passiv kontakt).

Bundan tashqari birinchi qatlam materiali mexanik mustahkamlik uchun mas'uldir. Kontaktning ikkinchi qatlami yuqori haroratli texnologik jarayonga dosh berishi, tashqi muhit ta'siriga uzoq muddatda chidamli va yaxshi elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi shart. Uchinchi qatlam (yoki eng ustki qatlam) qalaylash imkonini berishi, fotoelektrik batareyani elementlar asosida yig'ishni osonlashtirishi va QE ketma-ketlik qarshiligi kamaytirish imkonini (kontakt kesimini oshirish imkoniyatini) berishi kerak.

Hozirgi zamon yuqori samarali fotoqabullagichlar va QE ishlab chiqarishda (asosan kremniyli quyosh elementlarda) ko'p qatlamli kontaktlar ishlatiladi. r-tip kristalli kremniy asosidagi quyosh elementlarida Al, Ti, Pd, Ag (koinotda ishlatiladigan elementlarda), p-tip asosidagi uchun esa, Ti, Pd, Ag ishlatiladi. Erda ishlatiladigan quyosh elementlari uchun nisbatan arzonroq turadigan materiallar asosidagi quyidagi kontakt tizimlari ishlatiladi; r-tip uchun Al, Ti, Ni, Cu, p-tip materiali uchun, Ti, Ni, Cu. Kontaktlar sirti keyin POS-61 yordamida qalaylanadi. Eng arzon va oddiy texnologiya bilan olinadigan kontaktlarda material sifatida Sn va Al dan foydalaniladi.

Omik kontaktlar olish asosan vakuumda uchirish, elektroximik o'tkazish usuli, ximik olish usuli va termik usullarni qo'llashdan iborat.

YUqoridagi texnologik jarayonlaridan birini ishlatish uchun avvaliga kvaziomik yoki omik kontakt olish uchun kerak bo'lgan asosiy talablarni ko'rib o'tamiz. 1)

Metall-yarim o'tkazgichli material chegarasida qarshilikni kamaytirish uchun zaryad tashuvchilarning tunnel usuli bilan oqib o'tishini ta'minlash maqsadida o'ta legirlangan chegaraviy qatlam hosil qilish; 2) Termoelektron tok oqib o'tish mexanizmini boshqarish uchun metalldagi chiqish ishi F_M va yarim o'tkazgichdagi elektronga moyillikning mushtarak qiymatlarini tanlab chegaradagi F_b bar'er kattaligini boshqarish

3) ionli implantatsiya, mexanik ishlov yoki elektrik ishlov berish yo'li bilan yarim o'tkazgichli material yuzasida nuqsonlar hosil qilib, tunnel to'siqlar hududida energetik holatlar hosil qilish.

YUza qatlamdagi kirishmalarning o'ta yuqori konsentratsiyasini hosil qilish uchun quyidagi usullardan qo'llaniladi.

1. Qattik jisimli diffuziya manba'idan yoki bug' fazasidan yuqori haroratda diffuziya jarayonini o'tkazish.
2. Kontakt materialning o'zidan diffuziya o'tkazish, misol Zn ning Au-Zn-Au dan InP ga diffuziyasi.
3. Ionli implantatsiya jarayonidan keyingi termik ishlov usuli.
4. p^+ va r^+ -qatlamlarni epitaksial usul bilan o'stirish.
5. Kontakt materialini yarim o'tkazgich bilan birgalikda termik eritish (splavlenie) va rekristallizatsiya (qayta kristallanish) qilish.

So'nggi usul suyuq fazali epitaksiya usuliga o'xshash bo'lib, erituvchi metall tanlanganda uning yarim o'tkazuvchi materialda eritish qobiliyati hisobga olinadi. Legirlovchi kirishma erituvchi tarkibida bo'lishi mumkin, yoki maxsus vosita bilan kiritiladi. Bunday eritma sovuganda yarim o'tkazgich kristallanish jarayonini o'tadi va qayta hosil bo'lgan qatlam eritmadan o'ta legirlanadi.

Quyida berilgan jadvalda ayrim yarim o'tkazgichli QE lari tayyorlanishda ishlatiladigan materiallar uchun omik kontaktlar keltirilgan.

Yarim o'tkazgichli	ρ , Om sm	p- yoki r- kirishmaning	Kontakt materiali	Kontakt turi	Keltirilgan qarshilik,
--------------------	-------------------	----------------------------	----------------------	-----------------	---------------------------

material		konsentratsiyasi			om/sm ²
R-Si	-	10 ¹⁹	Al	aktiv	10 ⁻⁶
P-Si	-	10 ¹⁵	Al	aktiv	5 10 ⁻⁴
P-Si	0,5	-	Al	aktiv	10 ⁻³
P-Si	2	-	Ni	passiv	-
P-Si	har qanday	har qanday	Pt-Pt-Si		10 ⁻⁴
n-Si	5 10 ⁻³	-	Al	passiv	4 10 ⁻³
n-Si	-	10 ¹⁹	Ag-Pd-Ti	passiv	
n-GaAs	-	2 10 ¹⁶	Ni-AuGe-Ni	aktiv	8 10 ⁻⁵
p-InP	1-10	-	Au-Zn-Au	aktiv	10 ⁻³

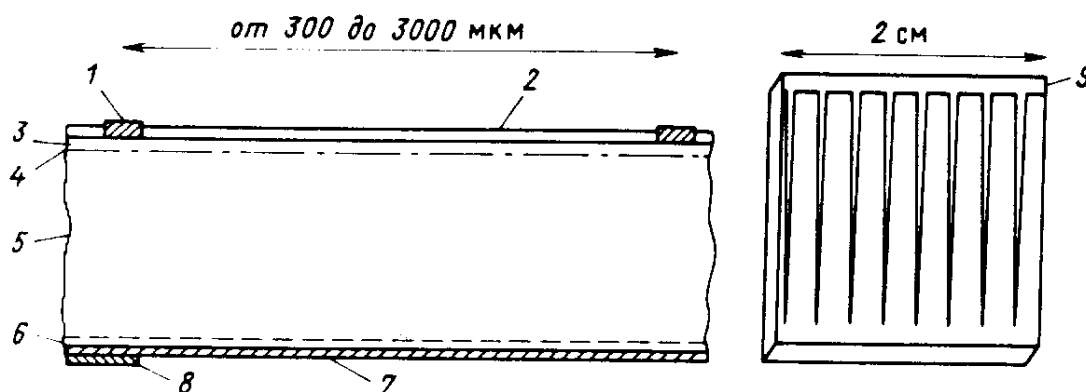
Quyosh elementlariga taalluqli kontaktlarga qo'yiladigan talablarni ko'rib chiqamiz. Jadvalda QE lari uchun ishlatilgan klassik kontaktlar keltirilgan. Umuman olganda hozirgi zamon QE lari uchun ishlab chiqilgan kontaktlarning o'nlab har xil materialdan olingan «aktiv» va «passiv» turlari yaratilgan. SHunga qaramasdan ularga qo'yiladigan talablarning asosiy qismlari quyidagilardan iborat:

1. Kontaktning keltirilgan qarshiligi kichkina bo'lishi kerak. ($\rho_{ko} \rightarrow 0$)
2. Frontal tomonga olinadigan kontakt to'rsimon ko'rinishda bo'lgani uchun, uning qarshiligini kamaytirish maqsadida uning kesimini oshirish kerak (ya'ni kontakt qalin bo'lishi kerak). Buning uchun QE eritilgan qalayga (pripoyga) tushiriladi, shuning uchun kontaktning qatlamlari shu jarayonga chidamli bo'lishi kerak.
3. Kontaktning xususiyatlari keyingi har xil texnologik jarayonlar davomida saqlanib qolishi kerak, xususan bu ko'proq frontal kontaktga tegishli.
4. QE larini germetizatsiya qiluvchi qatlamlar olingandan keyin kontakt parametrlari uzoq vaqt davomida (20 yil va undan ko'proq vaqt davomida) tashqi muhit ta'siriga chidashi kerak.
5. Kontakt olinadigan materiallar iloji boricha arzonroq bo'lishi, nodir materiallar qo'llanmasligi (Er sharoitida ishlaydigan QE lari uchun) kerak.
6. Orqa tomondan nurni qaytaruvchi kontaktga ega bo'lgan QE lari olish uchun material tanlanganda nurni qaytarish koeffitsientini hisobga olish kerak.

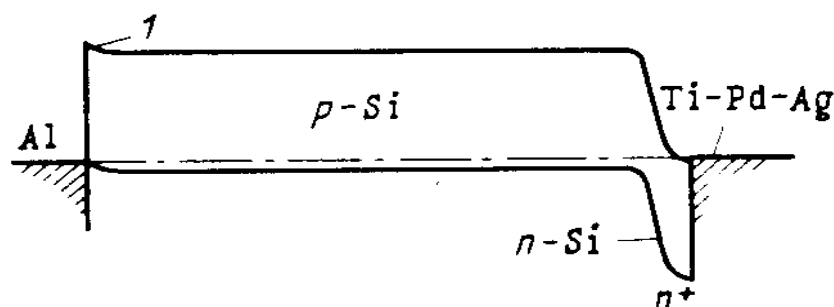
Kristalli kremniy asosidagi QE keng qo'llaniladi. Bu QE larida asosan quyidagi kontaktlar qo'llaniladi; r-tipdagi Si uchun Al, Al-Ti Pd-Ag va p-tipdagi Si uchun Ti-Pd-Ag. Bu kontaktlar asosan vakuumda uchirish usuli bilan olinadi.

Odatda p^+ .Si uchun Ag yaxshi tunnellanish xususiyatiga asoslangan kontakt bo'lib hisoblanadi ($F_v=0,6-0,7$ eV). Ammo bu tizimning adgeziyasi yomon, shuning uchun Si bilan Ag orasiga oraliq yupqa qatlam Ti kiritiladi. Bunday kontaktlarda Ag ning qalinligi 2-3 mkm va titanning qalinligi 1 mkm ga yaqin bo'lishi kerak. Bunday qalin qatlamlarni vakuumda uchirib olish mushkil vazifadir. Bu kontaktlarda tabiiy sharoitda o'tkazilgan tajribalar natijasiga ko'ra bu sistemaning korroziyaga uchrashi mumkinligi aniqlangan va bu jarayon suv bug'ining yutilishiga asoslangani aniqlangan. SHuning uchun keyinchalik titan va kumush orasiga palladiy kiritish tavsiya etilgan va natijada kontaktning elektr toki va haroratga chidamliligi oshirilgan. Bu kontaktning birdan-bir kamchiligi uning nisbatan qimmatliligidadir. Bu erda nafaqat materiallar nodirligi, shu bilan birga vakuumda uchirish jarayonining katta isrofgarchilikka olib kelishini ham hisobga olish kerak (90% yaqini chiqindiga chiqadi).

QE frontal qismidagi yupqa diffuzion jarayon orqali hosil qilingan fosfor kirishmali qatlam odatda katta yuza qarshiligiga ega bo'ladi va uning qiymati odatda $50-100 \text{ Om/sm}^{-3}$. Bunday qarshilikni kamaytirish va tuzilma samaradorligini saqlash uchun tashqi (frontal) yuzaga to'rsimon (setka) kontakt olinadi. Bu kontakt birinchidan yuzani ko'p to'smasligi, ikkinchidan omik bo'lishi, uchinchidan yupqa diffuzion qatlamni teshmasligi kerak.



Rasm. 2 Kremniy quyosh elementining frontal kontakt ko‘rinishiga oid misol. 1-yuzadagi to‘rsimon kontakt (ko‘p qatlamli + pripoy), 2 – shaffoflantiruvchi qatlam, 3 – legirlangan p-tipdagi yupqa qatlam (0,2 mkm), 4 – 0,5 mkm qalinlikdagi xajmiy zaryad qatlami, 5 – 200 mkm qalinlikdagi baza qatlami, 6 – 0,5 mkm qalinlikdagi r^+ - qatlam, 7 – orqa tomondagi kontakt qatlami, 8 – tok jamlovchi shina, 9 – to‘rsimon tok jamlovchi shina.



Rasm 3 Tipik kremniy asosidagi quyosh elementiga oid energetik zonali diagramma; p-qatlam o‘lchami kattalashtirilgan. 1 – orqa tomonga yaqin qismdagi elektr maydoni.

Izlanishlar natijasi shuni ko‘rsatadiki, odatda yuzada mikroskopik kattalikdagi teshilgan uchastkalar hosil bo‘lishi mumkin (yupqa diffuzion qatlamlar olinganda) va bunday hollarda R_{sh} qarshiligi kamayishi va I_0 ning qiymati ortishi mumkin. Buning oldini olish maqsadida kontakt olinadigan yuzaga metall maskalar yoki polimer materialdan qilingan va kontakt rasmi tushirilgan fotorezist maskalar yordamida yoki akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar ustiga kontakt olinadi. Kontaktning geometrik shakli (topologiyasi) kontakt olinadigan yuzga kattaligiga, diffuzion qatlamning qalinligiga va QE larining qaysi sharoitda ishlashiga qarab tanlab olinadi. Odatda yuzaga tushayotgan nurni yo‘lini to‘smaslik uchun yuzani to‘rish koefitsientining kattaligi 10 % dan oshirmaslikka harakat qilinishi kerak. Konsentrlashtirilgan (zichlashtirilgan) quyosh nurlari bilan ishlaydigan QE larda esa yuzani to‘rish koefitsienti quyosh nurini zichlashtirish koefitsientiga bog‘lik bo‘lib, ayrim hollarda u 50 % oshiqroq bo‘lishi ham mumkin.

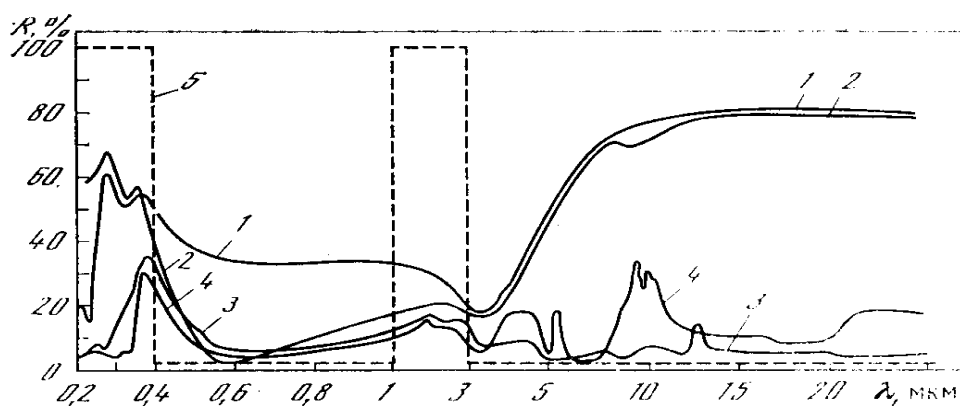
Quyosh elementari samaradorligini oshirishning yana bir yo'li elementning yuza qismidan bo'ladigan nur qaytarilish hodisasini kamaytirishdir. Misol uchun sayqallangan kremniy plastinasi yuzasidan (0,35-1,1mkm diapazondagi) tushayotgan nurning akslanish koeffitsienti 0,45 dan oshishi mumkin. Bu hodisa asosan Si va atmosfera orasida nur sindirish koeffitsientining nomuvofiqligidir, ya'ni kremniy uchun $n = 3,6$ bo'lgani holda, havo uchun bu ko'rsatkich birga teng. Bunday sharoitda tushayotgan nurning qaytishini kamaytirish uchun, yarim o'tkazgichli material ustini sindirish ko'rsatkichini muvofiqlashtiruvchi, har xil oksid materiallar, bilan qoplash kerak bo'ladi. Bunday materiallardan QE texnologiyasida ishlatiladiganlari birmuncha bo'lib, ularga quyidagilar misol bo'la oladi, SiO, SiO₂, SnO₂, TiO₂, Ta₂O₅, ZnS va hokazolar. Odatda qoplanayotgan materiallar sindirish ko'rsatkichi quyidagini tengsizlikni qanoatlantirishi kerak, ya'ni $n_1 < n < n_2$ bo'lishi kerak. YUzaga olinayotgan akslanishni kamaytiruvchi qatlam bir yoki ikki qavatli har xil materialdan iborat bo'lishi mumkin. U holda $n_1 < n_{1k} < n_{2k} < n_2$ bo'lishi kerak.

Kremniy asosidagi QE larini bir qatlamli effektiv akslanishni kamaytiruvchi material bo'lib, Ta₂O₅ hisoblaniladi va uning yordamida akslanishni 10 % dan kamroq qilish mumkin, ikki qatlamli qoplamalar bilan esa akslanishni 2 % kamaytirish hakida ma'lumotlar mavjud

Kremniy asosidagi fotoqabullagichlar sirtiga yupqa akslanishni kamaytiruvchi qatlamning qalinligi $\lambda/4$ ga teng bo'lishi kerak. So'nggi vaqtlarda kremniy tuzilmalarida SiO₂ o'rniga nitrid kremniyli Si₃N₄ olinayapti va uning sindirish ko'rsatkichi $2 \pm 0,1$ ga teng. Bu qoplama yuzadan akslanishni kamaytiribgina qolmasdan shu bilan birga yuzani passivatsiya ham qiladi va uning ishonchliligini oshiradi. Odatda, sirtiga nitrid kremniy o'tqazilgan fotoqabullagichlarda ularni korpusga o'rnatishga hojat qolmaydi. Akslanishni kamaytirish usullaridan yana biri bu yuza sirtini teksturalashdir. Bu usulning mohiyati shundan iboratki, yuza sirtida akslanishni kamaytiruvchi relief hosil qilinadi, ya'ni sirt ma'lum kristallografik yo'nalishda emirish xususiyati bo'lgan eritmalar yordamida ishlov beriladi.

Bunday qatlamlar olish usullari xilma-xil bo'lishiga qaramasdan asosan quyida keltirilgan uch xil usul asosiy bo'lib hisoblanadi. Bunga sabab ularning imkonliligi va nisbatan qoniqarligidadir.

Vakuumda uchirish usuli bilan akslanishni kamaytiradigan qatlamlar olish. Bu usul bilan deyarli turli xil qatlamlar olish mumkin. Buni biz kremniy monooksidi olish misolida ko'rib o'tamiz. Umuman kremniy oksidlari (SiO va SiO_2 lar) mikroelektronikada qo'llaniladigan asosiy materiallardan hisoblanadi va ularni olish Rasm texnologiyasi ko'pchilikka ma'lum. Fotoelektrik tizimlarda ular optik parametrlarining to'g'ri kelishi nuqtai nazaridan ishlatiladi. Kremniyli QE lari ishlaydigan optik diapazon Er sharoiti uchun bu 0,4-1,1 mkm dir. SHuning uchun antirefleksion qatlam shu diapazonda tushayotgan nurni maksimal o'tkazish xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Kremniy oksidi aralashmasi SiO_x ning sindirish ko'rsatkichi 1,6-1,8 ga tengdir. Optika qonunlariga asosan uning qoplamadagi qalinligi 950-1100 °A bo'lishi kerak. Bu monooksidni vakuumda uchirish usuli bilan olish uchun uning maydalangan (0,5-1mm) fraksiyasi olinadi. Akslantirishni kamaytiruvchi qatlam qalinligini nazorat qilish uchun asosiy namunalar bilan birga «yo'ldosh» namuna ham olinadi va nazorat ishlari «yo'ldosh» namunada olib boriladi. «Yo'ldosh» namuna sifatida shaffof materiallar, masalan shisha olinadi. Akslanishni kamaytiruvchi qatlam qalinligi interferensiya hodisasiga asoslanib, interferometri bor bo'lgan mikroskoplar yordamida aniqlanadi. Bundan tashqari ma'lumotnomalardan olingan jadvallar yordamida olingan oksidning rangiga qarab qalinlikni ma'lum aniqlikda topish mumkin. 4-Rasmda har xil materialdan tayyorlangan akslanishni kamaytiruvchi optik qoplamalarning akslanish koeffitsientining tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligiga qarab o'zgarishi keltirilgan.



Rasm.4. Har xil birikmalar asosidagi qatlamlar olingan kremniydan tayyorlangan quyosh elementlari qaytarish koeffitsientining spektral o'zgarishi.
1- qatlamsiz; 2 – SiO ($d = 0,15$ mkm); 3 – ZnS ($d = 0,15$ mkm) + kremniy organik lak ($\ell = 50$ mkm); 4 - ZnS ($d = 0,15$ mkm) + kremniy organikli kauchuk + shisha plastina ($\ell = 0,5$ mm); 5 – ideal sovutilgan hol.

Piroliz usuli bilan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usulini SnO₂ misolida ko'rib o'tamiz. SnO₂ asosidagi akslanishni kamaytiruvchi qatlamning yaxshi tomonlaridan biri uning legirlash imkoniyati mavjudligidir. Natijada uning elektr tokiga qarshiligini minglab marotaba o'zgartirish mumkin. Bu birikma ximiyaviy ta'sirga o'ta chidamlidir. Bu qoplamani olish texnologiyasi SnCl₂ va SnCl₄ birikmalaridan 450-600 oS da piroliz qilishga asoslangan. Rasmda SnO₂ ni piroliz qilish usuli ko'rsatilgan. Bu oksid tarkibiga p-tip material olish uchun fluor (G') va r-tip material olish uchun surma (Sb) kiritiladi. Natijada keltirilgan sirt qarshiligini 10 Om/sm⁻³ gacha tushirish mumkin. Shishaga olingan qalay oksidi tahlili shuni ko'rsatadiki qalinligi 750-1100 oA bo'lganda ham shaffoflik koeffitsientini 95 % etkazish mumkin. qarshilikni kamaytirish hisobiga esa QE ga olinadigan kontakti bevosita akslanishni kamaytiruvchi qoplama ustiga olish imkoniyati tug'iladi.

VI. FOYDALANGAN ADABIYOTLAR

I. Maxsus adabiyotlar

1. И.И. Мартиненко, В.И. Авесенко. Проектирование систем автоматики. М. Агропромиздат 2000 г. 223 с.
2. М.З.Ганкин. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем. М. Агропромиздат 2001 г. 432 с.
3. Пястолов А.А.,Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования. М. Агропромиздат 2001 г. 287 с.
4. Ганелин А.М., Коструба С.И. Справочник сельского электрика. - М.: Агропромиздат, 2002.- 304 с.
5. Прищеп Л.Г. Учебник сельского электрика - М.: Агропромиздат, 1985.-434
6. Асинхронные электродвигатели серии 4А: Справочник / А.Е.Кравчик, М.М.Шлаф, В.И.Афонин, Э.А.Соболенская.- М.: Энергоатомиздат, 2004.- 504
7. Тембел Г.В., Герашенко Г.В. Справочник по обмоточным данным электрических машин и аппаратов.- Киев: Техника, 2003.- 480 с.
8. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т. 1-ий т./ Под общ. ред. И.П.Копилова, Б.К.Клокова.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 455 с.
9. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т. 2-ой т./ Под общ. ред. И.П.Копилова, Б.К.Клокова.- М.: Энергоатомиздат, 2001.- 688 с.
10. Практикум по технологии монтажа и таъмира электрооборудования/ Под ред. А.А.Пястолова,- М.: Агропромиздат, 2003.- 160 с.

II. Internet

1. <http://alternativenergy.ru>
2. <http://www.energy-bio.ru>
3. www.viecosolar.com
4. www.unisolar.com.ua
5. www.solarvalley.org
6. www.polpred.com
7. www.solar.newtel.ru