

O'QUV MATERIALLAR

1-modul.

1-mavzu. "Fotoelektrik batareyalar va qurilmalar texnologiyalari" faniga kirish.

Quyoshni gigant termoyadro reaktoriga qiyoslash mumkin. U mutlaq qora qattik jismga o'xshab 6000°S haroratda energiyasini nurlantiradi. Bu nurlanishning manbai termoyadro reaksiyasidir. Har soniyada taqriban $6 \cdot 10^{11}$ kg vodorod quyosh qa'rida geliyga aylanadi. Natijada massalar defekti $4 \cdot 10^3$ kg teng bulib, $E=mc^2$ tenglamaga asosan ajralib chiqayotgan energiya $4 \cdot 10^{20}$ Joule'ga tengdir. Ajralib chiqayotgan energiya asosan elektromagnit to'lqinlar ko'rinishida bulib nurlanishning asosiy qismi 0,2-3 mkm oralikdadir. quyoshning to'liq massasi hozirgi kunda taqriban $2 \cdot 10^{30}$ kg bo'lib, u uzluksiz 10 mlrd. yil davomida turishi mumkin.

Er quyosh atrofida elliptik orbitada xarakatlanadi. quyoshning diametri taqriban $1,39 \cdot 10^9$ metrga teng. Bir astronomik birlikka teng masofadagi ($1 \text{ a.b.} = 1496 \cdot 10^8 \text{ m}$, taqriban 150 mln.km) quyosh nurlariga perpendikulyar joylashgan yuzadagi energetik yoritilganlik, quyosh doimiyligi (q.d.) deyiladi. q.d. kattaligi 1353 Wt/m^2 ga teng. Yil davomida Yer-quyosh orasidagi masofa o'zgarishi q.d.ni $\pm 0,34$ gacha o'zgarishiga olib kelishi mumkin.

Qiyoslash uchun quyidagi jadvalda quyosh tizimidagi planetalar orbitalarida quyosh nurlanishi oqimining zichligi q.d. qismlarida keltirilgan.

Planetalar	Planeta–Er orasidagi o'rtacha masofa	Er sutkalarida yil davomiyligi	Quyosh nurlanishi oqimining zichligi q.d. mWt/sm^2
Merkuriy	$57,91 \cdot 10^6 \text{ km}$	88	6,67 903
Venera	$108,21 \cdot 10^6 \text{ km}$	225	1,91 258,6
Er	$149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$	365	1,00 135,3
Mars	$227,94 \cdot 10^6 \text{ km}$	687	0,4367 58,28
Yupiter	$778,3 \cdot 10^6 \text{ km}$	4333	0,037 5,0
Saturn	$1427 \cdot 10^6 \text{ km}$	10760	0,011 1,49

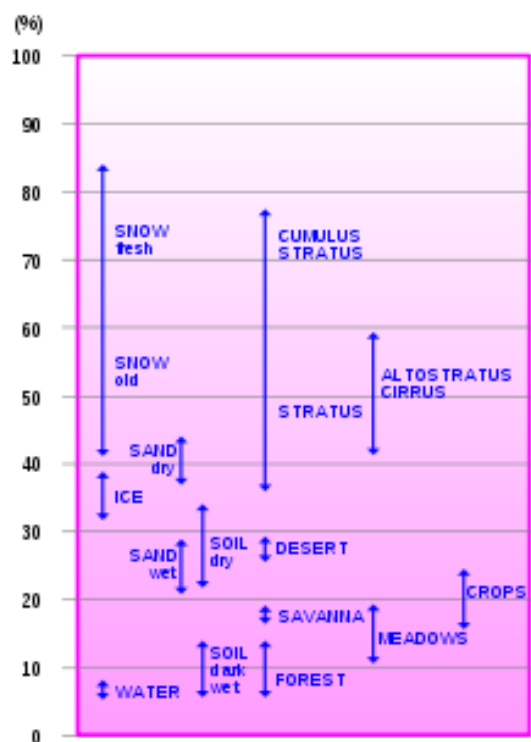
Er alʼbedosi

Er sirti alʼbedosi deb, uning sirtidan o'rab turuvchi atrof muhitga qaytgan nurlanish oqimining, unga tushayotgan oqimning nisbatiga aytiladi. Sirtidan diffuz qaytish uchun hisoblangan Yer alʼbedosining o'rtacha qiymati 0,34 ga teng.

Quyosh tizimini boshqa planetalar bilan alʼbedosi		
Planetalar	Geometrik alʼbedosi	SHarsimon alʼbedosi
Merkuriy	0,106	0,119
Venera	0,65	0,76
Er	0,367	0,306
Oy	0,12	0,067
Mars	0,15	0,16
Yupiter	0,52	0,343
Saturn	0,47	0,342
Uran	0,51	0,3
Neptun	0,41	0,29
Pluton	0,6	0,5

Er atmosfera massasi 1 ga teng deb olinsa, qaytgan nurning spektri Yer sirtidagi quyosh nurlanishi spektriga aynan oʻxshash deb hisoblanadi.

Er atmosferasi oʻzining optik xususiyatlariga asosan selektiv yorugʻlik filʼtri boʻlib, koinotdan kelaetgan quyosh nurlanishini oʻzgartiradi. Agar nurlanish oqimi atmosferadan oʻtib Yer sirtiga tik tushsa, u holda nurlanish bosib oʻtgan optik masofa bir atmosfera massasiga teng deb hisoblanadi va AM 1 bilan belgilanadi. +iya tushaetgan nurlarning optik masofasi uzunligini ularning AM 1 optik masofa kattaligiga qiyoslab aniqlash mumkin. Agar nurlanish oqimi atmosfera taʼsirida oʻzgarmasa, uning optik atmosfera massasi nolga teng boʻlib, u AM 0 deb belgilanadi.



1-rasm. Quyosh nurini xar xil yuzalarga diffuziya orqali tarqalishi % da.

To'g'ridan to'g'ri tushayotgan quyosh nurlanishi oqimining Dengiz sathida qoq tush paytida ochiq havoda Yer sirtidagi energetik yoritilganligi $\approx 100 \text{ mVt/sm}^2$ teng deb hisoblanadi.

Insolyatsiya deb, ma'lum geografik hududda Yer sirtiga tushayotgan quyosh nurlanishining miqdoriga aytiladi. Insolyatsiya, Yer-quyosh tizimida masofaning mavsumiy tebranishlariga, geografik kenglikka, hududning muhitiga va atmosfera massasiga bog'likdir. Insolyatsiyani odatda quyosh nurlanishining kunlik, oylik, yillik o'rtacha miqdori bilan ko'rsatiladi.

XIX asr davomida fiziklar tomonidan elektr tokini o'rganilishi atom bo'linishi mumkinligining asosiy eksperimental omili bo'ldi. 1874 yilda irland olimi Jorj Jonston Stouni elektr toki atomlar bilan bog'langan elementar zaryadlardan iborat degan g'oyani oldinga surdi va bu elementar zaryad kattaligini xisoblab chiqdi; 1891 yilda esa Stouni unga elektron deb nom berdi.

Zaryadlangan gaz va vakuumda elektr zaryadlarni tadqiq qilishni 1859 yilda nemis fizigi Yulius Plyukker boshlagan, undan keyin bu ishlarlar davomi sifatida, 1869-1875 yillarda Gittorf i Uilyam Kruks katodddan anodgacha tarqaluvchi, ko'rinmas *katod nurlarini* ochdilar. Tabiatda katod nurlari, to'g'ri chiziq bo'ylab tarqaladi va anod tomonida shisha aylanasi bo'ylab flyuorestsentsiya xosil qiladi, katod nurlari tabiati uzoq vaqt aniq bo'lmagan; nemis fiziklari to'liqinsimon inglizlar esa korpuskulyar xolatda deb taklif qilishgan.

1895 yilda frantsuz fiziki Jan Batist Perren elektromagnit maydonida katod nurlari o'z yo'nalishini o'zgartirishini kuzatgan, u o'z tarkibida manfiy zaryadlangan zarra xossasini namoyon qilishini ko'rsatib bergan. Nihoyat, 1897 yilda ingliz Jozef Jon Tomson i nemis fizigi Emil Vixert bir biridan bexabar ravishda elektron zaryadini uning massasiga nisbatini

aniqlashgan, oqibatda uning zarracha ekanligini isbotlashgan. Ularning natijalariga ko'ra elektronning massasi vodorod atomi massasining $1/4000$ dan $1/2000$ gacha bo'lgan qismiga teng; yana shuni aytish kerakki, elektron massasi orqali uning tezligini (elektronning aniq zaryadi qiymatini 1917 yilda ingliz fizigi Robert Endryus Milliken topgan) xam aniqlashga erishildi.

Katod nurlarining o'rganilishi boshqa qator muhim kashfiyotlarga sabab bo'ldi. 1895 yilda Vil'gel'm Konrad Rentgen katod nurlarini antikatod bilan to'qnashishi natijasida yangi tur nurlanish—X nurini (rentgen nuri) aniqladi. Tabiatda rentgen nurlari kelib chiqishi to'g'risida xar xil farazlar mavjud, ya'ni X—nuri ul'trabinafsha nurlari tabiatiga ega, yoki uning korpuskulyar tabiati kabi takliflar bildirilgan. Oqibatda X—nurining to'liqsimon tabiatini 1913 yilda Maks Teodor . Feliks fon Laue kristallardagi difraktsiya xodisasini kuzatishi natijasida isbotladi.

Antuan Anri Bekkerel's uran tuzining flyuorestsentsiya nurlanishini o'rgangandan keyin, shu haqidagi o'zidan oldingi aytilgan farazlarni tekshirib, frantsuz matematigi Anri Puankare X — nuri katod nuri bilan alokasi yo'q, degan xulosaga keldi. Bekkerel yozma ishlarida aytadiki, sul'fat uranilga quyosh nuri ta'sir ettirilganda unda nurlanish xodisasi kuzatiladi, fotoplastinkaning qora qog'ozida iz qoldiradi. Bir necha kundan keyin, uran tuzlari fotoplastinkada iz qoldirishini, hattoki quyosh yorug'ligi bo'lmaganda ham ularda doimo nurlanish sodir bo'lishini kuzatdi. Yana shuni ta'kidlash lozimki, 1858 yilda frantsuz olimi N'eps de Sen-Viktor o'z tadqiqotlarida kumush tuzlaridan nitrat uranil olish jarayonlarida bu xodisani kuzatdi, lekin uning ishlari o'sha vaqtlarda uncha katta qiziqish uyg'otmadi.

1897-1898 yillarda frantsuz fiziklari P'yer Kyuri va Mariya Sklodovskaya-Kyurilar uran atomi uran nurlanishini sodir qilishini aniqladilar, bu xodisa uranning qaysi birikmasi bo'lishidan qat'iy nazar sodir bo'ladi. 1898 yilda Kyurining umr yildoshi bu xodisa yana boshqa bir element — toriyda kuzatilishini aniqlagan. Ular shu yildan boshlab, bogem smolali aldanmasi rudasini o'rganish natijasida, uning toza uranga nisbatan kuchli nurlanish (Kyurining umr yildoshi *radioaktivlik* terminni taklif etdi) sodir qilishini aniqlashdi. Ularning ishlari natijasi yana ikki yangi radioaktiv element — poloniy va radiy ochilishga sabab bo'ldi.

1899 yilda ingliz fiziki Ernest Rezerford bir jinsli bo'lmagan uran nurlanishini aniqladi: bu xodisa magnit maydonida quyidagicha bo'linadi, ular ikki tarkibiy qismga bo'lish mumkin, umumiy zarralar to'dasi musbat va manfiy zarralardan tashqil topgan bo'ladi. Pol Villar 1900 yilda yana bitta tipni, ya'ni nurning magnit maydonida og'masligini aniqladi. Rezerford bu nurlanishlarni grek alfavitining bosh xarflari bilan, ya'ni: *alfa-nuri*, *beta-nuri* va *gamma-nuri* deb belgilashni taklif qildi. Bekkerel magnit maydonida β — nurining shu yo'nalish va shu kattalik bilan og'ishini ko'rsatdi, bu katod nuriga o'xshashgan va tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, bu zarralar o'zini elektronlar to'dasiday namoyon etadi.

1900 yilda Rezerford toriy birikmalari to'xtovsiz ravishda maydalanib radioaktiv gaz (radon) ajratishini, bu kabi moddalar tadqiqotlar boshlang'ich maxsulotlarning radioaktiv bo'lakcha(chiqindi)lari ekanligini aniqladi. 1903 yilda Uil'yam Ramzay birinchi bo'lib inert gazlarni ochdi, Frederik Soddi esa radiyning α — parchalanishida geliy xosil bo'lishini isbotladi. SHu yilda E. Rezerford va F. Soddi rdioaktiv parchalanish nazariyasiga asos soldilar, ular o'z ishlarida shularni ko'rsatdilarki, uran, toriy va aktiniy radioaktiv elementlar oilasining boshlang'ich elementlari xisoblanadi, ularning maxsulotlari parchalanganda oxirgi mahsulot

sifatida qo'rg'oshin xosil bo'ladi. P. Kyuri radioaktiv elementlarning muxim xarakteristik belgisi sifatida yarim yemirilish davri terminini taklif qildi.

1914 yilda fiziklar va kimyogarlar davriy jadvaldagi elementlar xolatni aniqlash yo'llarini izlay boshladilar, ingliz fizigi Genri Gvin Jefris Mozli davriy jadvaldagi elementlar asosidan olingan chastota xarakteristik rentgen nurlanishi to'g'ri chiziqli bo'yicha davriy jadvaldagi element atom nomeriga mos kelishini aniqladi. Mozli qonuni elementlar xarakteristik kattaliklarini tajribada to'g'riligini tasdiqlaydi, davriy jadvaldagi radioaktiv izotoplar tartiblanish qatori ularning atom massalari oshib borishi bilan mos keladi. Aynan elementlar atom nomeri bo'yicha joylashishida kimyoviy elementlar klassifikatsiyasida atomi musbat zaryadi asosiy belgi ekanligini golland olimi Antonius van den Bruk o'z ilmiy ishlari bilan tasdiqlagan. 1920 yilda ingliz fiziki Jeyms CHedvik tajribada mis, kumush va platinaning yadro zaryadini aniqlagan, uning olgan qiymatlari 29.3, 46.3 va 77.4 ga mos keladi, amaliyotda esa ularning atom nomeri: 29, 47 va 78 ga mos keladi.

XX asrning 20-yillaridan keyin kimyoviy element tushunchasi o'zgara boshladi, bu ayniqsa Robert Boyl ishlariida yaqqol ko'rindi. O'sha vaqtlari element bo'linmaydigan atomlardan iborat tarkibiy qism degan ayniyat mavjud edi, Robert Boyl esa element - atomlar atrofida yadro zaryadi bir xil zarralar to'plamidan iborat tarkibiy qism degan tushuncha kiritildi. 1919 yilda Rezerford birinchi bo'lib sun'iy yadro reaksiyasini o'tkazdi, azot va kislorodni α -zarrasi bilan bombardirovka qildi va tajriba yo'li bilan proton mavjudligini isbotladi, u 1920 yilda neytron (1931 yilda CHedvik tajribada isbotlagan) mavjudligi haqida o'z gipotezasini yaratdi.

Atomning tuzilish modeli.

Atomning birinchi tuzilish modeli XX asr boshlarida taklif etilgan. 1901 yilda Jan Perren atomning yadro-planetar modelini taklif qilgan. Bu modelning batafsil tuzilishini 1904 yilda yapon fiziki Xantaro Nagaoki aniqlagan. Nogaoki modelida atom Saturn sayyorasiga o'xshatilgan; planeta rolini musbat zaryadlangan shar bajaradi va atom xajmining asosiy qismini tashqil qiladi, elektronlar esa Saturn atrofida yo'ldoshlarga o'xshab, atrofida halqa xosil qilib joylagan deyiladi. Ancha kengroq tuzilishlardan biri *atomning keks modelida* olingan.

Uilyam Tomson (lord Kelvin) atom bu quyuq musbat zaryadlangan materiyadan ya'ni tartib bilan taksimlangan elektronlardan iborat degan tushunchani ilgari surdi. U. Tomson fikricha oddiy atom ya'ni vodorod atomi - markazida elektron joylashgan musbat zaryadlangan shardir. Bu modelni J. J. Tomson mukammal o'rganib, musbat zaryadlangan shar markazida joylashgan elektron bir yo'nalishli kontsenrik xalqani hosil qiladi deb hisobladi va rentgen nurlarining sochilishini aynan elektronlar sochilish markazi degan asosda atomdagi elektronlar sonini hisoblovchi usulni taklif qildi. O'tkazilgan tajribalar elementlar atomidagi elektronlar soni taqriban atom massa kattaligining yarimiga tengligini ko'rsatdi.

J.J.Tomson birinchi bo'lib elementlar xususiyatini davriyligi bilan atomlar tuzilishini bog'lashga urinib ko'rdi, uning taxminicha atomdagi elektronlar soni elementdan elementga o'tyotganda to'xtovsiz ortib boradi.

1906-1909 yillarda Gans Geyger, Ernst Marsden va Ernest Rezerford Tomson modelini tajribada aniqlashga urinib ko'rishdi, bunda ular o'zlarining mashhur bo'lgan oltin folga α -zarra sochilish tajribasini qo'llashdi. Ular elektron o'rniga α -zarralardan foydalanishdi, bunda α -

zarralarning massasi katta bo'lganligi uchun (elektronlar massasidan 7350 marta katta) elektronlar bilan to'qnashganda sezilarli darajada qaytmaydi va faqat atomning musbat qismidagi to'qnashuvlarni registratsiya qiladi. Bunda ular α -zarralar manbai sifatida radiyni olishib, yupka oltin folʻgadagi zarrachalar sochilishni esa qorong'u xonada joylashtirilgan suʻlfid tsinkli ekrandagi stsintilyatsion chaqnash orqali registratsiya qilishdi.

O'tkazilgan tajribalar kutilgan natijalarning teskarisini berdi. Ya'ni α -zarralarning ko'p qismi oltin folʻgadan taqriban to'g'ri traektoriyalarda o'tdi, ammo shu bilan bir qatorda ba'zi bir α -zarralar katta burchak ostida qaytganligi ham kuzatildi, bu holat atomda juda zich joylashgan musbat zaryadlar borligidan dalolat berardi. 1911 yilda Rezerford bu o'tkazilgan tajriba natijalariga asoslanib, o'zing atomning yadro modelini taklif qildi bunga ko'ra atomning markazida musbat zaryadlangan ya'ni hajmi atom o'lchamlari bilan taqqoslanganda juda kichkina yadro, uning atrofida esa elektronlar aylanadi, ularning soni elementning atom massasining taqribin yarmiga teng.

Rezerford atom modeli ham qarshiliklardan iborat edi, chunki klassik elektrodinamika qonunlari asosida yadro atrofida aylanadigan elektronlar elektromagnit nurlanishni to'xtovsiz chiqarishi natijasida o'z energiyasini yo'kotadi. Buning natijasida elektronlar orbitasi radiusi tezlik bilan kamayishi lozim edi va bu taxminlar atomning yashash vaqti juda qisqaligi ko'rsatardi. SHu bilan bir qatorda, Rezerford modeli 1913 yilda Daniya fiziki Nilʻs Xenrik David Borning printsiplal yangi nazariyasini yaratishning asosi bo'lib xizmat qildi.

Kvant gipotezasiga bo'ys'o'nadigan Bor modeli 1900 yilda nemis fiziki Maks Karl Ernst Lyudvig Plankni e'tiborini tortdi.

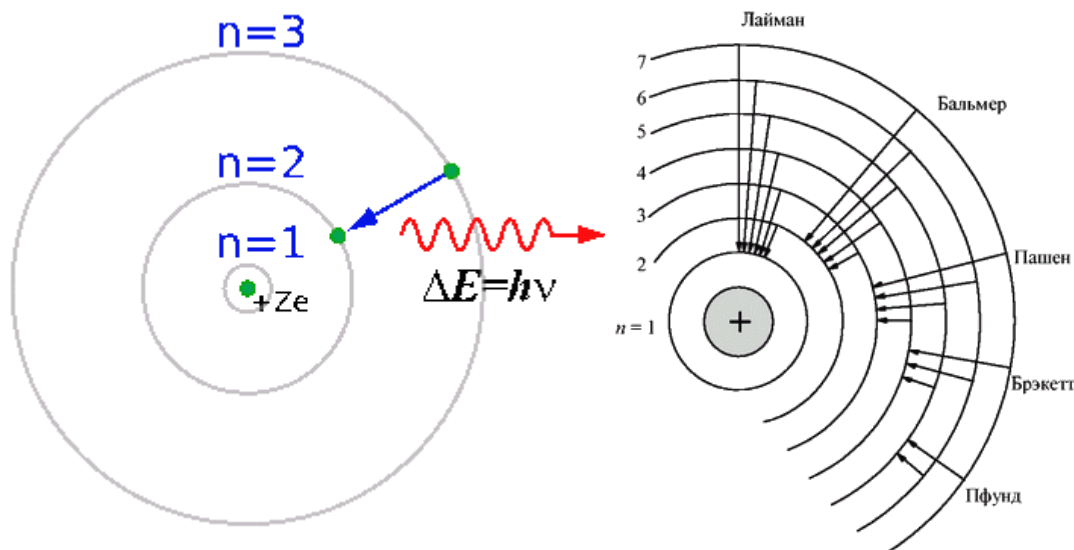
Plank jism o'zidan nurlanishni portsiyalar ko'rinishida chastotaga proporsional ravishda chiqaradi degan postulotni ilgari surdi. Kvant gepotizasini fotoeffekt hodisasini tushuntirishda qo'lladi, natijada Alʻbert Eynshteyn 1905 yilda yorug'likning foton nazariyasini taklif qildi. Yana bir takliflardan biri atomning Bor modeli uchun 1885 yilda shveysariyalik olim Iogann Yakob Balʻmer, 1906 yilda amerikalik fizik Teodor Layman va 1909 yilda nemes fizigi Fridrix Pashenning vodorod atomining spektral chiziqlar seriyasi bo'lib chiqdi. Bu seriyalar (ko'rinadigan, ulʻtrabinafsha, infraqizil sohasidagi spektrlar) chastotasi butun sonlar kvadratining qiymatiga teskari proporsional bo'lgan oddiy qonuniyatga bo'ys'o'nadi.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4 \dots$$

bu yerda $R=1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ Ridberg doimiysi

Bor planetar modelning barqarorligini va shu bilan bir qatorda kvant nazariyasining holatlari asosidagi spektral natijalar, bir qancha postulatlarni to'g'rilab, atom modelida kvant chegaralarni tushuntirdi. Bor postulatlari ko'ra yadro atrofida elektron energiya yo'qotmasdan aynan ruxsat etilgan ("statsionar") orbita bo'ylab aylana oladi. Yadroga yaqin orbita «turg'un» (deyarli barkaror) atomning holatiga to'g'ri keladi. Atomga kvant energiya yuborilganda elektron deyarli yo'qotilgan orbitaga o'tadi.

Teskari ya'ni «uyg'otilgan» holatdan «turg'un» holatga o'tish kvant nurlanishini chiqarish bilan bog'liqdir.



2-rasm. Orbitasining radiusi $1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$ ga bog'liqligi.

Spektr asosidagi berilgan hisoblashlar elektronlar orbitasining radiusi $1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$ ga bog'liq. Ya'ni elektronlarning aylanish harakatidagi momentlar miqdori to'liq sanaluvchi asosiy kvant sonlariga (orbitalar soniga) proporsionaldir. Elektronlar sonining maksimal imkoniyati har bir satxda asosiy kvant sonining ikkilanganiga teng; bu son davriy jadvaldagi o'tish elementlarini mikdoriga teng. SHunday kilib Bor modeli, atomdagi elektronlar qobig'i tuzilishi elementni davriy xususiyati bilan bevosita bog'liqdir.

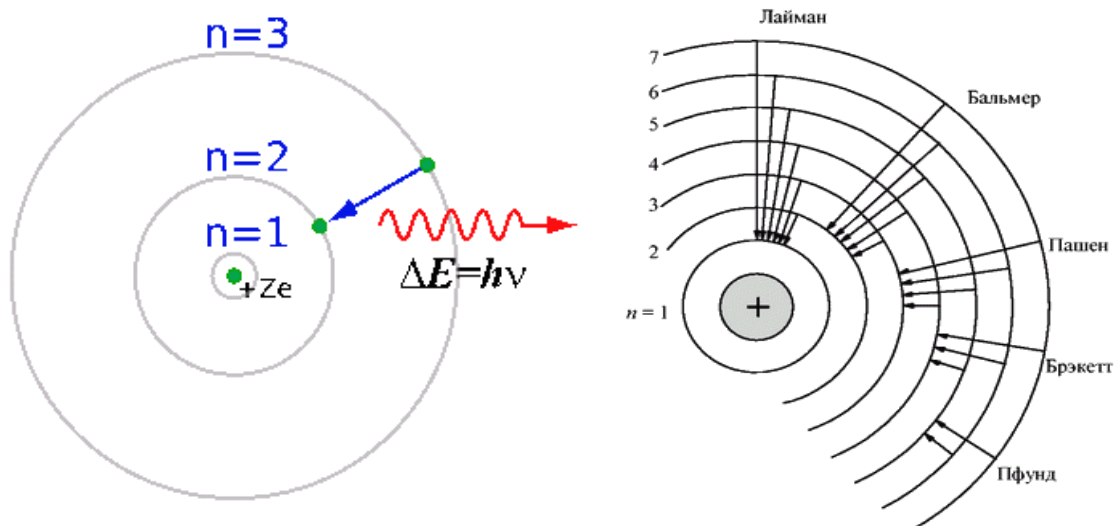
Vodorod atomi uchun spektral hisoblashlar Bor modeli asosida tajriba bilan taqqoslanganda yaxshi natija berdi, ammo boshqa elementlar uchun tajriba natijalaridan sezilarli darajada farq kuzatildi. 1916 yilda nemis fiziki Arnold Iogann Vil'gel'm Zommerfel'd Bor modelini to'ldirib, elektron aylana harakatidan farqli ellips orbitalar holatida ham harakatlanadi deb taxmin qildi. SHu asosida taxminan bir xil satxdagi energiyalar Bosh kvant soniga teng bo'lgan orbitalar sonining holatiga mos keladi. Zommerfel'd orbital kvant soni (ellipslar shaklini aniklovchi) va tezlikning elektronlar massasiga bog'liqlik modelini qo'shdi.

Bu seriyalar (yorug'lik, ultrabinafsha va infraqizil soxalarda) juda oddiy qonuniyatga bo'ysunardilar: chastotalar butun sonlar kvadratlariga teskari proporsional edi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4 \dots$$

Bu yerda $R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$, Ridberg doimiysi.

Bor atomning tplanetar modelining barqarorligini va bu spektral natijalarni, atom modeliga kvant chegaralanishlar bir qancha postulatlarni oldinga surib, kvant nazariyasi yordamida tushuntirib berdi. Bor postulatlariga ko'ra, elektron yadro atrofida faqatgina ma'lum ruxsat berilgan (statsionar) orbitalar bo'ylab aylanadi va ularda elektron nur taratmaydi. Yadroga eng yaqin orbita atomning normal, ya'ni eng barqaror xolatiga to'g'ri keladi. Atomga energiya kvanti berilganda, elektron keyingi, uzoqroq orbitaga o'tadi. «G'alayonlangan» xolatdan «normal»ga qaytib o'tish nur kvanti chiqarish bilan boradi.



3-rasm. Orbitasining radiusi $1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$ nisbatga bog'liqligi.

Spektral ma'lumotlar asosidagi xisob-kitoblar ko'rsatishicha, elektron orbitalarining radiuslari $1^2, 2^2, 3^2, \dots, n^2$ nisbatda bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, aylanayotgan elektronning xarakat miqdori momenti Bosh kvant son (orbita nomeri)ga proporsional.

Xar bir qobiqdagi elektronlarning maksimal mumkin bo'lgan soni Bosh kvant son kvadratining ikkilanganiga teng: bu son esa davriy jadval davrlaridagi elementlar soniga teng bo'lib chiqdi.

SHunday qilib, Bor modeli elementlar xossalaring davriyligining atomlar elektron qobiqlarining tuzilishi bilan bog'liqligini aniqladi.

Bor modeli asosida spektral xisoblash vodorod atomi uchun tajriba natijalariga mos keldi, lekin boshqa elementlar uchun tajribaga zid keldi. 1916 y. Arnold Iogann Vil'gel'm Zommerfel'd, elektronlar aylanadan tashqari, elliptik orbitalardan ham harakatlanishi mumkin. Bunda deyarli bir xil energiya qavatlarga, Bosh kant songa teng bo'lgan orbitalar xili to'g'ri keladi. Zommerfel'd modelni (ellipslar shaklini belgilovchi) qo'shimcha (orbital) kvant son bilan to'ldirdi va elektron massasining tezligiga bog'liqligini qo'shdi:

$$\lambda_p T = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot K$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Borning kvantlanish qoidasini keltirib chiqaramiz. Buning uchun Plank va Eynshteyn tenglamalarini tenglashtiramiz

$$E = h\nu$$

$$E = mc^2$$

$$h\nu = mc^2$$

Bu yerdan de-Broyl formulasi chiqaramiz

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Faqatgina berilgan orbitada butun son to'liqlar joylashish sharti bajarilgandagina mavjud bo'lgan turg'un to'liqlargina barqaror bo'lishini xisobga olib,

$$2\pi r_n = n\lambda$$

$$2\pi r_n = \frac{nh}{mv}$$

Vodorod atomidagi elektron uchun Borning kvantlanish shartini chiqaramiz

$$mvr_n = \frac{nh}{2\pi}$$

Bundan, $v = \frac{nh}{2\pi mr_n}$

Endi, aylanayotgan elektronga ta'sir qiluvchi barcha kuchlarni, ya'ni markazdan qochma kuch va elektronning yadroga tortilish kulon kuchlarini tenglashtirib,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze \cdot e}{r_n^2} = \frac{mv^2}{r_n}$$

r uchun

$$r_n = \frac{Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 mv^2} = \frac{(2\pi)^2 m^2 \cdot r_n^2 Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 m \cdot n^2 h^2} = \frac{\pi \cdot m \cdot r_n^2 \cdot Ze^2}{\epsilon_0 \cdot n^2 h^2} \text{ olamiz.}$$

Vodorod atomi uchun $n=1$, $Z=1$, m -elektron massasi va ϵ_0 — электрическая постоянная ($m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ i $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{В} \cdot \text{м}}$), ekanligini xisobga olib,

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2} n^2 = 0.529 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

SHunday qilib, Borning birinchi orbitasining radiusi 0.529 A ga teng.

Keyingi orbitalar radiuslari $r_n = n^2 \cdot 0.529 \cdot 10^{-11} \text{ м}$. kabi aniqlanadi.

Endi berilgan orbitadagi elektronning to'liq energiyasini xisoblash uchun, zarrachaning to'liq va korpuskulyar xususiyatini bog'lovchi de-Broyl formulasiidan foydalanamiz.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

To'liq energiya kinetik va potentsial energiyalar yig'indisidan iborat

$$E = T + U$$

Bu yerda potentsial energiya musbat zaryadlangan yadro xosil qilgan maydondagi manfiy zaryadlangan elektronning energiyasini tashkil qiladi

$$U = qV = -eV = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

O'rniga qo'yib,

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$$

Tenglamadan v ning qiymatini qo'yib,

$$E = \frac{1}{2} \frac{mn^2h^2}{4\pi^2m^2r_n^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} \text{ ni olamiz.}$$

Birinchi bor orbitasining energiyasi uchun

$$E = \frac{1}{2} \frac{mn^2h^2\pi^2m^2Z^2e^4}{4\pi^2m^2\epsilon_0^2n^4h^4} - \frac{e^2\cdot\pi^2m^2Z^2e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_0n^2h^2} = \left(\frac{1}{n^2}\right) \frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2h^2} = 13.6 \text{ eV xosil bo'ladi.}$$

SHunday qilib, qolgan statsionar orbitalar uchun

$$E_n = \frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} \text{ bo'ladi.}$$

Mutlaqo qora jism nurlanishi

2000 yil dekabrda dunyodagi ilmiy jamiyatlar yangi fan - kvant fizikasining vujudga kelishi va yangi fundamental fizik kattalik - Plank doimiysinining kashf etilishi yuz yillik an'anasini nishonladi. Bunda buyuk nemis fizigi Maks Plankning xissasi juda katta. U qizdirilgan jismlar tmomonidan nurlanadigan yorug'likning spektral taqsimoti masalasini yechishga muvaffaq bo'ldi, vaxolanki ungacha klassik fizika buni uddalay olmagan edi. Plank, birinchi bo'lib, ostsillyator (tebranma sistema) energiyasining kvantlanishi to'g'risidagi, klasik fizika printsiplariga zid bo'lgan, gipotezani oldinga surdi. Keyinchalik ko'p buyuk fiziklar tomonidan rivojlantirilgan aynan shu gipoteza eski qarashlarning qayta ko'rib chiqilishiga va buzilib ketishiga turtki bo'ldi va kvant fizikasining yaratilishi bilan yakunlandi.

Manba chiqargan yorug'lik o'zi bilan energiya olib ketadi. Energiyani yorug'lik manbasiga yetkazishning ko'plab yo'llari mavjud. Kerakli energiyani qizdirish orqali uzatish, ya'ni issiqlik uzatish, issiqlik yoki temperatura nurlanishi deyiladi. XIX asr oxirida bu turdagi nurlanish fiziklar o'rtasida aloxida qiziqish uyg'otdi, chunki issiqlik nurlanishi qizdirilgan jismlar bilan termodinamik muvozanatda bo'lishi mumkin.

Fiziklar, jismlarning issiqlik nurlanishi qonuniyatlarini o'rganish natijasida termodinamika va optika o'rtasida o'zaro aloqa o'rnatishga umid bog'ladilar.

Agar oynaviy aksini beradigan devorli yopiq satxga xar xil temperaturagacha qizdirilgan bir necha jism joylashtirilsa, tajriba, vaqt o'tishi bilan sistema issiqlik muvozanati xolatiga kelishini va bunda barcha jismlar bir xil temperaturaga ega bo'lishini ko'rsatdi. Jismlar faqat nur enetgiyasini chiqarish yoki yutish orqali o'zaro energiya almashadilar. Muvozanat xolatida xar bir jism tomonidan energiyani chiqarish va yutish jarayonlari o'zaro kesishadi va jismlar o'rtasidagi fazoda nurlanish energiyasi zichligi, faqat jismlarning o'rnatilgan xaroratiga bog'liq bo'lgan ma'lum qiymatga erishadi. Bu, ma'lum temperaturadagi jismlar bilan termodinamik muvozanatda

bo'lgan nurlanish, muvozanat yoki qora nurlanish deb ataladi. Muvozanat nurlanishi energiyasining zichligi va uning spektral tarkibi faqatgina temperaturaga bog'liqdir.

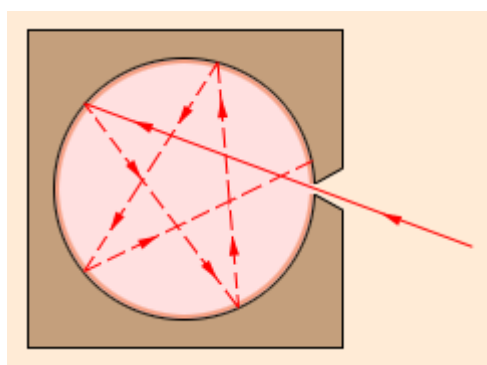
Agar, qizdirilgan jism bilan nurlanish o'rtasida termodinamik muvozanat o'rnatilgan satxning ichiga kichik bir teshikdan qaralsa, oddiy ko'z bilan jismlarning shakllarini ajratib bo'lmaydi va biz faqatgina butun satxning bir tekisdagi nurlanishini qayd etishimiz mumkin.

Satxdagi jismlardan biri uning yuzasiga tushayotgan xar qanday spektral tarkibdagi nurlanish energiyasini yutish qobiliyatiga ega deb faraz qilaylik. Bunday jism mutlaqo qora jism deb ataladi. Berilgan temperaturada, nurlanish bilan issiqlik muvozanatida bo'lgan absolyu qora jism xususiy issiqlik nurlanishi, shu jismni o'rab turgan muvozanat nurlanishi bilan bir xil spektr tuzilishiga ega bo'lishi kerak. Aks xolda, absolyut qora jism va uni o'rab turgan nurlanish o'rtasida muvozanat o'rnatilmaydi. SHuning uchun masala absolyut qora jism nurlanishining spektr tuzilishini o'rganishga olib keladi. Bu masalani yechishni klassik fizika uddalay olmadi.

Muvozanat qaror topishi uchun , xar bir jism qancha nur energiyasi yutsa, shuncha chiqarishi xam kerak. Aks xolda, mutlaqo qora jism va uni o'rab turgan nurlanish o'rtasida muvozanat o'rnatilmaydi. SHuning uchun masala, iutlaqo qora jism nurlanishining spektral tuzilishini o'rganishga olib kelinadi. Bu masalani yechishni klassik fizika uddalayolmadi.

Muvozanat qaror topishi uchun, xar bir jism qancha nurlanish energiyasini yutsa, shuncha chiqarishi xam kerak. Bu issqlik nurlanishining eng asosiy qonuniyatlaridan biridir. Bundan kelib chiqadiki, berilgan xaroratda mutlaqo qora jism birlik sirt yuzasidan vaqt birligi ichida boshqa xar qanday jismdan ko'ra ko'proq nur chiqaradi.

Tabiatda mutlaqo qora jismlar uchramaydi. Bunday jismning yaxshi modeli, bu g' yumalorq yopiq satxdagi kichik teshikcha. Satx ortiga teshikdan tushgan nur, devorlardan ko'p martalab qaytishdan so'ng ularga deyarli to'liq yutiladi va teshikcha tashqaridan butkul qora bo'lib tuyuladi. Lekin agarda satx ma'lum xaroratgacha qizdirilgan bo'lsa va uning ichida issiqlik muvoznati o'rnatilgan bo'lsa, satxning teshikchadan chiqaradigan o'z nurlanishi - mutlaqo qora jismning nurlanishi bo'ladi. Xuddi shu uslub bilan barcha tajribalarda mutlaqo qora jism modeli qaraladi.



4-rasm. Mutlaqo qora jism modeli.

Satx ichkarisida xarorat ortishi bilan teshikchadan chiqayotgan nurlanish energiyasi ortib boradi va uning spektral tarkibi xam o'zgaradi.

Berilgan T temperaturada mutlaqo qora jism nurlanishida energiyaning to'liq uzunliklari bo'yicha taqsimlanishi nurlanish qobiliyati $r(\lambda, T)$ bilan xarakterlanadi. Bu to'liq uzunlikning birlik intervalida jismning birlik sirtidan ajralgan nurlanish quvvatiga teng. $r(\lambda, T) \Delta\lambda$ ko'paytma birlik satx yuzadan to'liq uzunliklar $\Delta\lambda$ intervalida barcha yo'nalishlarda ajralgan nurlar quvvatini beradi. Xuddi shunday, chastotalar bo'yicha xam $r(\nu, T)$ taqsimotni kiritish mumkin. $r(\lambda, T)$ (yoki

$r(\nu, T)$) funktsiyani ko'pincha spektral yoritilganlik,

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} r(\nu, T) d\nu,$$

ga teng bo'lgan, barcha to'liqin uzunliklarga ega bo'lgan nurlarning to'liq oqimini esa jismning integral yoritilganligi $R(T)$ deb ataladi.

XIX asr oxiriga kelib, mutlaqo qora jism nurlanishi eksperimental jixatdan yaxshi o'rganilgan edi.

1879 yilda Yozef Stefan tajribalar natijalarining taxlili asosida quyidagi xulosaga keldi: mutlaqo qora jismning integral yoritilganligi $R(T)$ **absolyut temperatura T ning to'rtinchi darajasiga proporsionaldir**:

$$R(T) = \sigma T^4.$$

1884 yilda esa L. Boltsman bu ifodani termodinamik nuqtai nazardan nazariy keltirib chiqardi va bu qonun **Stefan–Boltsman qonuni nomini oldi**. σ kattalikning son miqdor, xozirgi zamon o'lchashlariga binoan

$$\Sigma = 5,671 \cdot 10^{-8} \text{ Vt/(m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)}.$$

ni tashkil etadi.

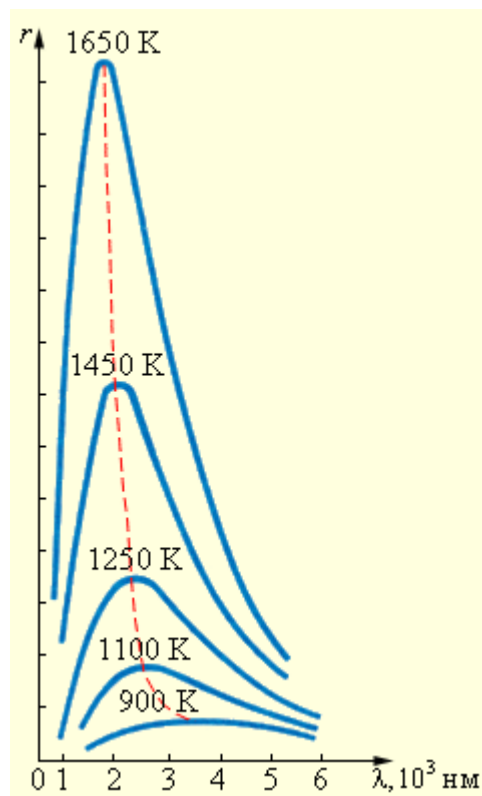
XIX asrning 90-yillari oxiriga kelib, mutlaqo qora jism nurlanishining spektral taqsimoti tajribada o'tkazilgan mukammal o'lchashlar natijasiga binoan, temperaturaning xar bir qiymatida $r(\lambda, T)$ bog'liqlik yaqqol maksimumga ega. Xarorat ortishi bilan maksimum qisqa to'liqin uzunlikka ega bo'lgan soxaga suriladi va bunda T temperaturaning maksimumga mos kelgan λ_m to'liqin uzunligiga ko'paytmasi doimiy bo'lib qolaveradi.

$$\lambda_m T = b \text{ yoki } \lambda_m = b / T.$$

Bu ifoda sal oldinroq Vin tomonidan termodinamikadan keltirib chiqarilgan edi. U Vinning siljish qonunini ifodalaydi, ya'ni mutlaqo qora jism nurlanishining maksimumga to'g'ri kelgan λ_m **to'liqin uzunligi T absolyut temperaturaga teskari proporsionaldir**. Vin domiysining qiymati

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

Laboratoriya sharoitidagi amaldagi xaroratda $r(\lambda, T)$ nurlanish qobilichyatining maksimumi infraqizil soxada joylashadi. Faqat $T \geq 5 \cdot 10^3 \text{ K}$ da maksimum, spektrning yoruo'lik nurlari soxasiga to'g'ri keladi. Quyoshning nurlanish energiyasining maksimumi taxminan 470 nm ga (spektrning yashil soxasi) teng va bu Quyoshning tashqi qavatidagi 6200 K atrofidagi xaroratga to'g'ri keladi (bunda Quyoshni mutlaqo qora jism deb qarasak, albatta).



5-Rasm. Mutlaqo qora jismning turli xaroratdagi nurlanishining spektral taqsimoti $r(\lambda, T)$

Termodinamikaning muvaffaqiyatlari nazariy yo'l bilan Stefan-Bol'tsman va Vin qonunlarini ochilishi, termodinamikaga asoslanib, mutlaqo qora jism nurlanishi $r(\lambda, T)$ ning spektral taqsimotining butun grafigini olish mumkin, degan umidga olib keldi. 1900 yilda bu muammoni mashxur ingliz fizigi D.Reley, o'z muloxazalarida termodinamik muvozzat xolatida energiyani barcha erkin darajalari bo'yicha bir tekisda taqsimlanishi to'g'risidagi klassik statistik mexanikaning teoremasini asos qilib olib yechishga urindi. Bu teoremani Reley sirtning muvozzatdagi nurlanishiga qo'lladi. Keyinroq bu fikrni Jins rivojlantirdi. SHu yo'l bilan mutlaqo qora jismning nurlanish qobiliyatining uning λ to'lqin uzunligi va T temperaturasiga bog'liqligini olishga muvaffaq bo'ldi:

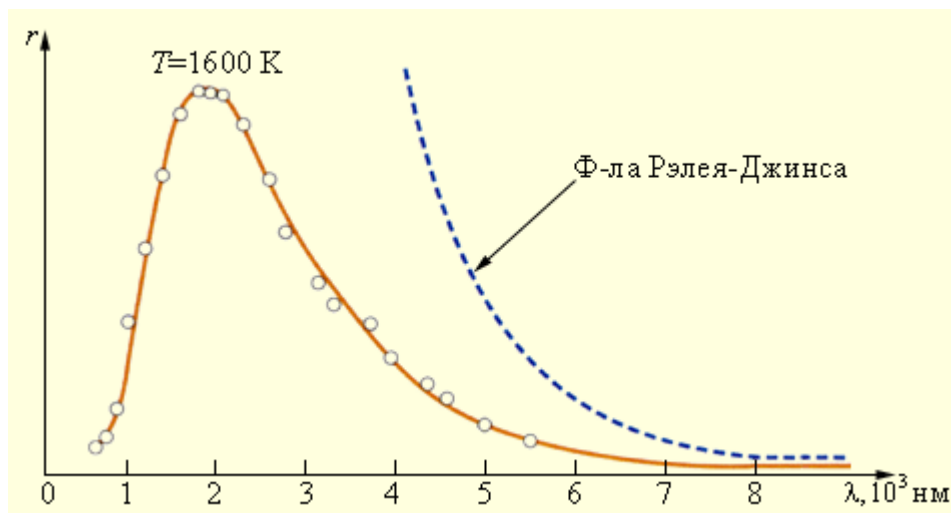
$$r(\lambda, T) = 8\pi k T \lambda^{-4}.$$

Bu munosabat **Reley–Jins formulasi deb nomlanadi**. U uzun to'lqin uzunliklar sohasida tajriba natijalariga mos keladi. Bundan tashqari, qora jism integral nurlanishi $R(T)$ cheksizga aylanishi va natijada qizdirilgan jism va nurlanish o'rtasidagi muvozzat faqatgina absolyut nul temperaturada o'rnatiladi, degan bema'ni xulosa kelib chiqadi.

SHunday qilib, klassik fizika nuqtai nazaridan bekamu ko'st bo'lgan xulosa tajriba natijalariga zid keldi. Mutlaqo qora jism nurlanishining spektral taqsimoti masalasini mavjud nazariyalarga tayanib xal qilib bo'lmasligi oydek ravshan bo'ldi. Bu muammo, klassik fizikaga yot bo'lgan yangi fikrlar asosida M.Plank tomonidan osongina xal qilindi.

Plank, qizdirilgan jism tomonidan elektromagnit energiyani chiqarish va yutish jarayonlari, klassik fizikada qabul qilinganday, uzluksiz emas, balki bo'laklab, kvantlar bilan sodir bo'ladi, degan xulosaga keldi. Kvant – jism chiqargan yoxud yutgan energiyaning eng kichik bo'lagi. Plank nazariyasiga binoan, kvantning energiyasi E yorug'likning chastotasiga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$E = h\nu,$$



6-rasm. Mutlaqo qora jism $T = 1600\text{ K}$ da nurlanish energiyasining to'liq uzunliklari bo'yicha taqsimoti $r(\lambda, T)$ uchun tajriba natijalari va Reley–Jins formulasi grafiklarini solishtirish.

bu yerda, h – **Plank doimiysi**, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Dj·s. Plank doimiysi – bu universal konstanta bo'lib, Eynshteyning nisbiylik nazariyasida yorug'lik tezligi qanday katta ahamiyatga ega bo'lsa, u ham kvant fizikasida shunday ahamiyatga egadir.

Jismlar tomonidan elektromagnit nuralr yutilishi va chiqarilishi jarayonlarining uzlukli xaraktri to'g'risidagi gipotezaga tayanib, Plank mutlaqo qora jism nurlari spektri formulasini chiqardi. Plank formulasini, mutlaqo qora jism nurlanish spektrida energiyani to'liq uzunliklar λ emas, balki chastotalar ν bo'yicha taqsimlanishini ifodalovchi formula ko'rinishida yozish qulayroq.

$$r(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}.$$

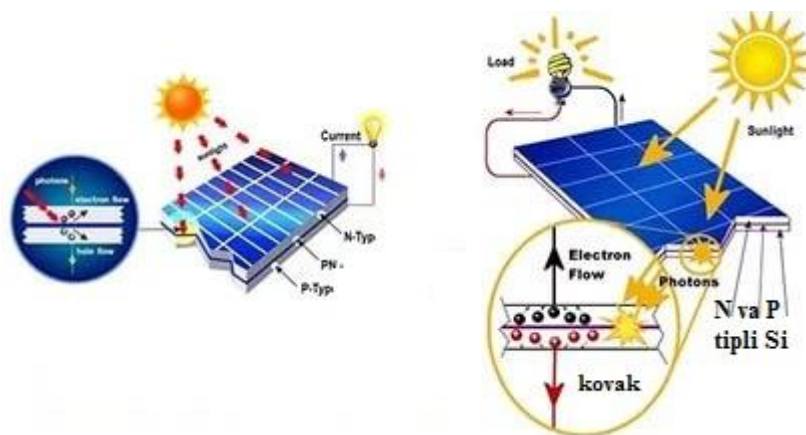
Bu yerda c – yorug'lik tezligi, h – Plank doimiysi, k – Bol'tsman doimiysi, T – absolyut temperatura.

Plank formulasi qora jism nurlanishining spektral taqsimotini xar qanday chastotada yaxshi tasvirlaydi. U tajriba natijalariga xam mos keladi. Plank formulasidan Stefan–Bol'tsman va Vin qonunlarini keltirib chiqarish mumkin. $h\nu \ll kT$ da Plank formulasi Reley–Jins formulasiga o'tadi.

Qora jism nurlanishi muammosining yechilishi fizikada yangi davrni boshlab berdi. Albatta, klassik tasavvurlardan voz kechish oson kechmadi va xattoki, Plankning o'zi xam, buyuk kashfiyotni yaratib, yillar davomida energiyani kvantlanishini klassik fizika nuqtai nazaridan talqin qilishga samarasiz xarakat qildi.

2-mavzu. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishning fizik asoslari. Fanning predmeti va uslublari.

Talabalarning “Muqobil energiya manbalar energiyasini yig’ish” fanini o’zlashtirishlari uchun o’qitishning ilg’or va zamonaviy usullaridan foydalanish, yangi axborot va pedagogik texnologiyalarni tadbiq qilish muhim ahamiyatga egadir. Fanni o’zlashtirishda darslik, o’quv va uslubiy qo’llanmalar, ma’ruza matnlari, tarqatma materiallar, elektron materiallar, plakatlardan foydalaniladi.



2.1-rasm. Quyosh nurini fotoelement yordamida elektr energiyaga aylantirishning fizik asosi.

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 farkini 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 izolyatsiya 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 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’rinalarga 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 sohasigacha 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 eksponentsial ravishda ko'payishiga va elektr o'tkazuvchanlikning (σ)

$$\sigma = A \exp(-E_g/2kT) \quad (2.1)$$

tenglamaga asosan o'zgarishiga olib keladi. Bu yerda k – Bol'tsman doimiyligi, A – moddani xarakterlovchi o'zgarmas kattalik.

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

Yuqoridagi tenglamani logariflab quyidagi holda ifoda etamiz.

$$\ln \sigma = \ln A - E_g/2kT \quad (2.2)$$

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 $E_g = 2kT\phi$ 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, xususi 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 gorizontall qism orqali tutashgan bo'ladi. Past haroratli sharoitda o'lchash natijasida olingan $\ln \sigma = \ln A - E_g/2kT$ 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 tayerlashda quyosh nurlanishining YaO' material bilan o'zaro ta'siri, fotonlar energiyasi materialdagi elektronlarda yutilishi va chiqishi jarayonlari muhim ahamiyatga egadir.

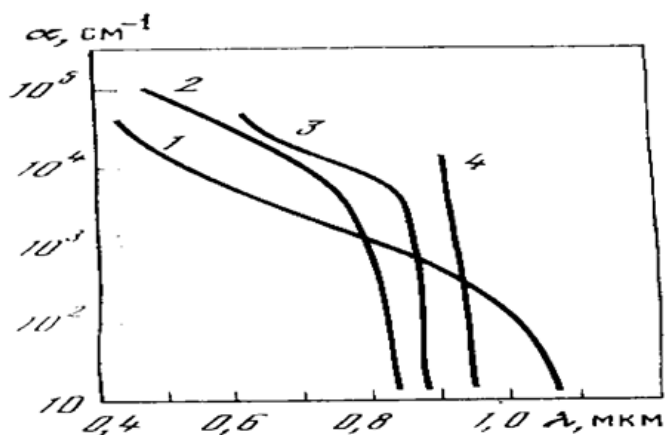
Kvant mexanikasida elementar zarrachalar, shu jumladan elektronlar ham to'lqin xossalriga ham ega deb qaraladi. SHuning uchun elementar zarrachalar harakatini o'rganishda energiya (E) va impuls (R) bilan bir qatorda, ularning to'lqin uzunliklari λ va takrorlanuvchanligi v va to'lqin vektori $K = P/h$,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

Kristallning sohali tuzilmasini $Y_e - K$ diagrammalar bilan tasvirlash mumkin. Bu yerda energiya elektron-vol'tlarda (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. $Y_e - K$ 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 kontsentratsiyasiga, 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'ltin energiyasining $1/\alpha$ masofada e marotaba kamayishi orqali aniqlanadi va u $N=N_0 \exp(-\alpha\ell)$ dan topiladi, bu yerda N – YaU materialda ℓ chuqurlikka kirgan fotonlar oqimining zichligi, N_0 – material sirtini kesib utuvchi fotonlar oqimining zichligi.



2.2-rasm. 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 2.2-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 yetgandan keyingina soha-sohali o'tishlar to'g'ridan-to'g'ri o'tishlarga aylanadi va yutilish keskin orta boshlaydi.

Yutilish koeffitsientining 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.

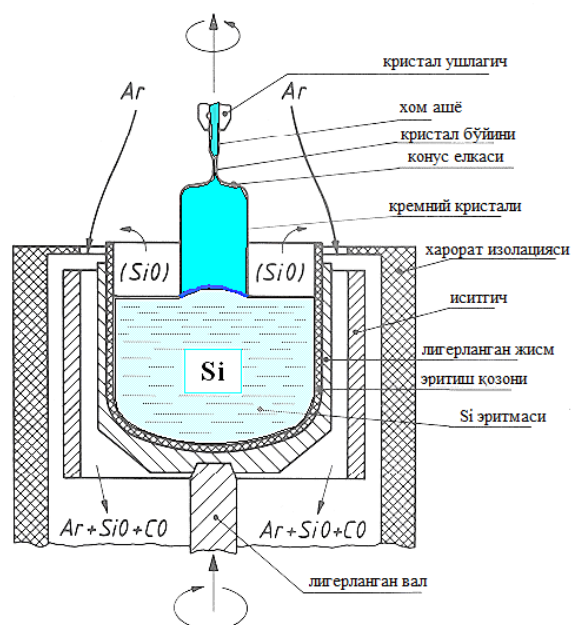
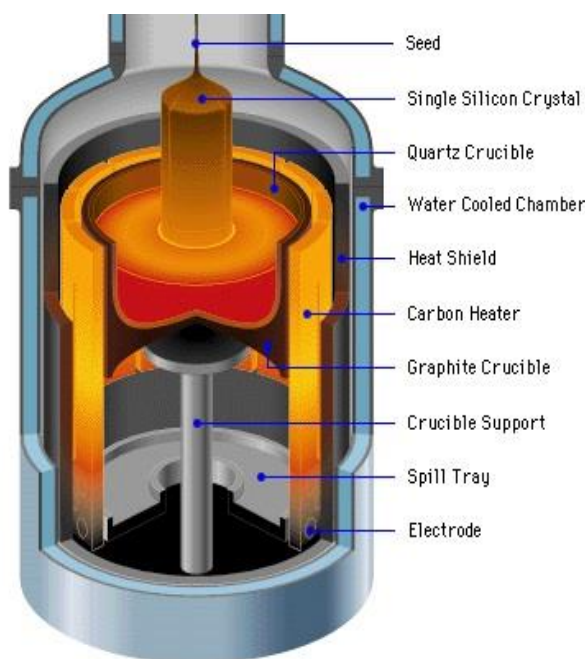
Agar Y_{aO} sirtga tushayotgan fotonlar energiyasi kam bo'lib, yutilish natijasida elektronlarni valent sohasidan o'tkazuvchanlik sohasiga chiqara olmasa, nurlanish ta'sirida elektron kristall ichida ruxsat etilmagan sohalarga o'tishi mumkin. Bunday holat uchun yutilishning spektral xarakteristikasining asosiy yutilish chegarasidan keyingi uzun to'liq qismida sezilishi mumkin. Bunday yutilish erkin zaryad tashuvchilar yutilishi deyiladi va bu jarayon shunday zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasiga bog'lik bo'ladi. Erkin zaryad tashuvchilar yengil ionizatsiya bo'la oladigan kirishmalar kontsentratsiyasiga bog'lik bo'lgani uchun, yutilish ham unga to'g'ridan –to'g'ri bog'lik buladi. Y_{aO} materiallarda bunday uzun to'liq 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 kontsentratsiyasini 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). Y_{aO} materiallarda akslanish koeffitsienti asosiy yutilish chegarasida uy sharoitida ionizatsiya bo'ladigan kiritilgan kirishmalar darajasiga bog'lik emas. Ammo spektrning uzun to'liq sohasida akslanish koeffitsienti R, bunday kirishmalar ortishi bilan keskin o'sishi kuzatiladi.

2-modul

3-mavzu. “Kremniy” kristallini o'stirish yo'llari.

Yuqori samarali quyosh elementlari tayorlash 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 Yer 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.



3.1-rasm. CHoxranch usulida kremniy kristalini olish sxemasi.

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 yetadi.

«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 ta'siri 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 3 jadvalda keltirilgan.

Material	E_g , eV	Zona turi	Xarakatchanlik 300 K, $\text{sm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$	
			elektron	kovak
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^{-60} 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.

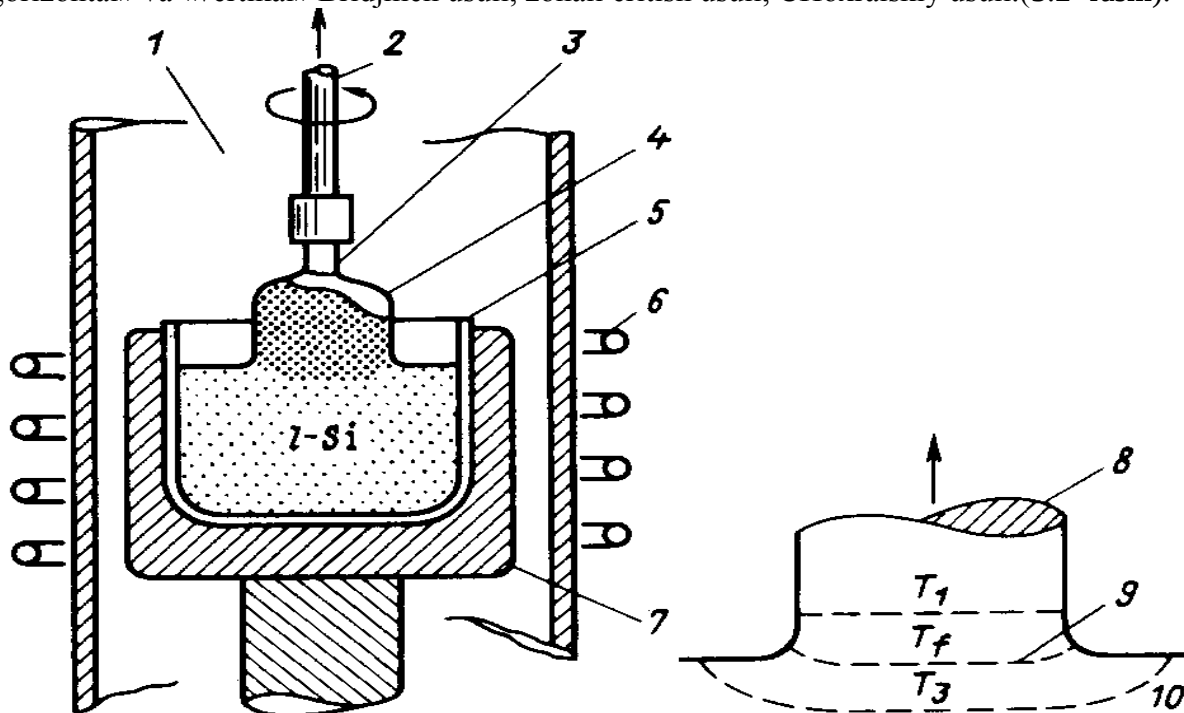
Yarim o'tkazgichli materiallarning tigels yordamida o'stirish usullari.

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

1. Toza moddalardan va legirlangan kirishmali o'ta to'yingan eritmalaridan 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) Tigels 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.(3.2- rasm).

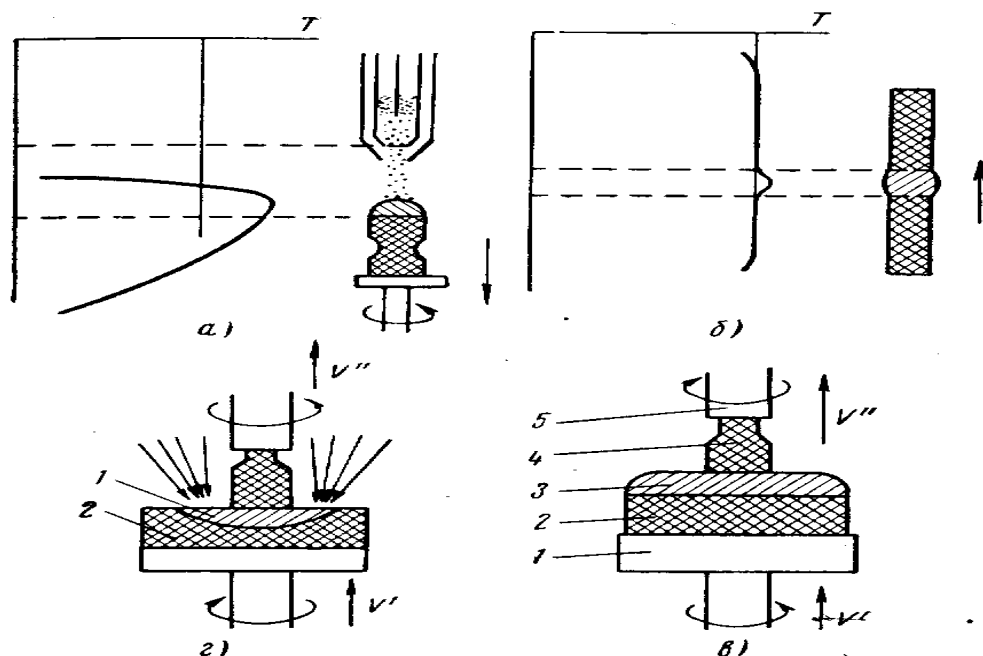


Rasm 3.2. Kristallarni CHoxralskiy usuli bilan o'stirish qurilmasi.

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

Bu usullarning asosini issiqlikni yo'naltirilgan holda uzatish tashkil qiladi. Vertikal pechlar uchun xarakterli narsa «kristallizatsiya» frontini kuzatish mumkin emasligidir. Yana bir kamchilik o'sayotgan kristallning tigl devorlari bilan doimiy kontaktda bo'lib turishidir. O'lchamlari kerakligicha katta monokristallar olish uchun, butun texnologik jarayon davomida kristallanish chegarasi qavariq geometriyali bo'lishi kerak. Buning uchun tigl devorlarining harorati suyuq faza haroratidan doimiy yuqori bo'lishi kerak. Natijada tigl devorlarida parazit kristallanish markazlari hosil bo'lishining oldi olinadi.

Zonadan o'stirish (3.1-rasmga qarang). Bu usulning Bridjmen usulidan farqi shundaki ikkita pech ishlatiladi, biri harorati $T < T_{er}$, ikkinchisi harakatchan konstruktiviyali qisqa zonali harorati $T > T_{er}$. Bu usulda erigan modda tigl devorlari bilan kamroq kontaktda bo'lgani uchun o'stirilayotgan kristall kamroq ifloslanadi. Eriyotgan va erigan zona qalinligini va uning siljish tezligini o'zgartirish imkoniyati mavjud. SHuning uchun bu usul YaO' materiallarni yaxshiroq tozalash imkoniyatini beradi.



3.3.-rasm Monokristallarni eritmalaridan o'stirishning tigelsiz usullari.

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

CHoxral'skiy usuli. Bu usul asosan sanoat ko'lamida Ge va Si ishlab chiqarishda ishlatiladi. 3.3-rasmda CHoxral'skiy usulining printsiptial sxemasi berilgan. Yuqoridagi usuldan uning farqlaridan biri bu tigelsiz usul bo'lib (o'stirilayotgan kristallga nisbatan) o'stirilayotgan kristall o'lchamini nazorat qilish mumkin, hamda o'sish sur'atini nazorat qilish imkoniyati mavjud.

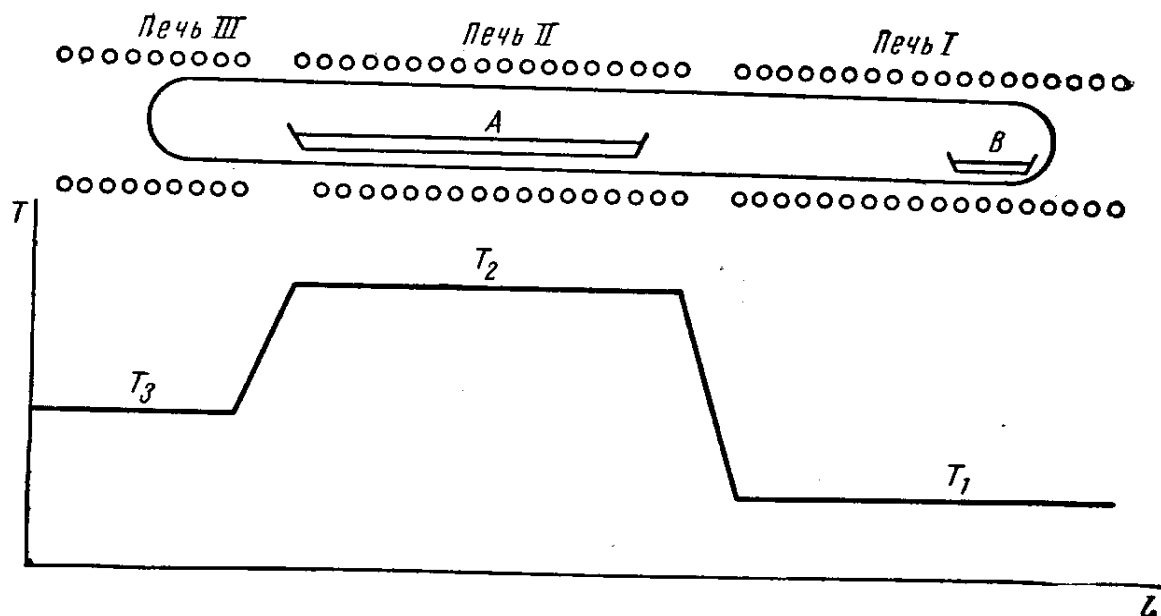
Tigelsiz o'stirish usullari.

Tiglga yaroqli materiallarning cheklanganligi tufayli bu usullar qo'llanilishi ham nisbatan cheklangan. Tiglga yaroqli asosiy materiallardan biri kvartsdir. Kremniy va arsenid gallyi kristallarini o'stirishda ishlatiladigan kvarts tigellarda eritma odatda kislorod bilan ifloslanadi. Misol, kremniy monokristallini o'stirish jarayonida kremniyda 10^{17} sm^{-3} ga qadar kislorod kirishmalari kirishi mumkin. Arsenid gallyi monokristallini o'stirish jarayonida esa kvartsdan kisloroddan tashqari unga kremniy ham kirishi mumkin. Tiglsiz usullarni Varney usuli va tiglsiz zonali o'stirish misolida ko'rishimiz mumkin (13-rasm). Polikristalli yaxlit tsilindr shaklidagi kremniy namunasi vertikal holatda mushtarak o'sli 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 xossalari bog'liq 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 = izing, 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.

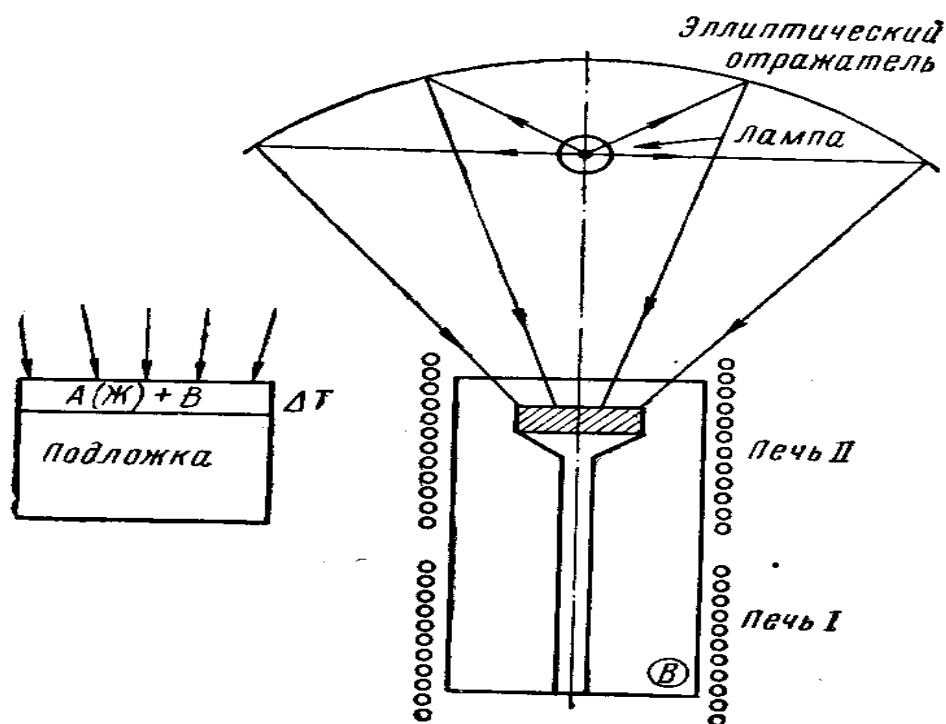
3.4-rasmga qarang.



3.4-rasm. 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.punktni hisobga olgan holda o'stirish mumkinligi. 3. Yuqoridagi usullarga nisbatan o'stirish qurilmalarining konstruksiyasi nisbatan soddalashadi.

Suyuq fazali epitaksiya usuli. Bu usul yuqoridagi usuldan printsiipial farq qilmaydi. Bu usul bilan asosan ko'p qatlamli tuzilmalar olinadi. Bu usulni qo'llashning dastlabki qurilmalaridan biri 3.5-rasmda ko'rsatilgan.



Rasm 3.5. Eritmalardan epitaksial qatlamlar o'stirish qurilmasi.

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

Qattiq jismlar hosil bo'lishini $Y\alpha O'$ 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.

4-mavzu. Yupqa qatlamli fotoelementlarni yaratish.

QE larini Yer sharoitida amaliy tatbiq qilish uchun maksimal F.I.K. olish bilan birga, ularni ishlab chiqarish rentabelligini oshirish asosida uning tannarxini kamaytirish lozim. Bu jarayon quyidagi faktorlarga bog'likdir.

1. Material sarf-xarajatlarini kamaytirish (QE lari tayyorlashda ishlatiladigan material kalinligini kamaytirish).
2. quyosh elementlarini tayyorlash uchun nisbatan arzonroq materiallar ishlatish.
3. quyosh elementlari tayyorlash jarayonini va ayrim texnologik operatsiyalarni mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish.
4. Tayyorlashga oid texnologik jarayonlarini nisbatan soddalashtirish va optimal texnologik marshrut ishlab chiqarishga intilish.

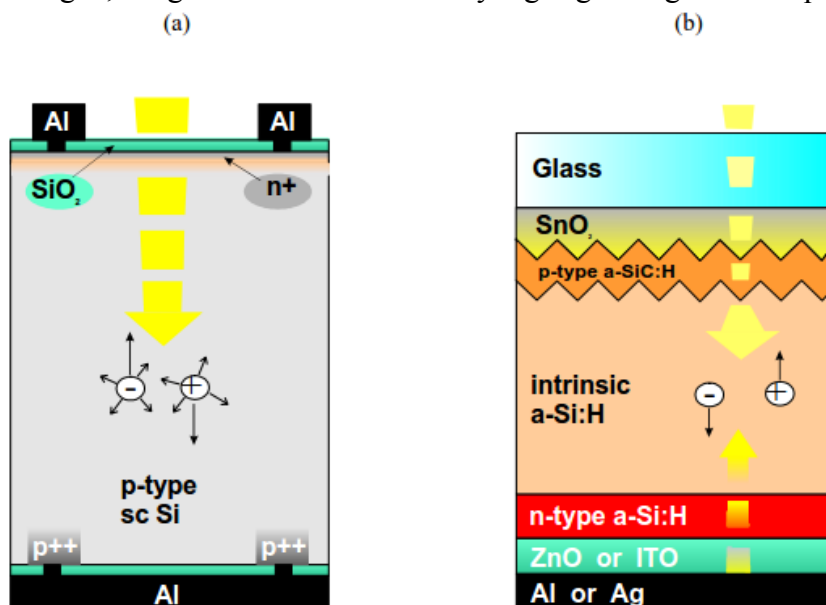
Quyosh elementlari tayyorlash texnologiyasining faol rivojlanishi, bir jinsli texnologik jarayonlarni qo'llash va elementlar narxini nisbatan kamaytirish uchun yupqaroq va arzonroq

qatlamlar olish va element olish texnologiyasida iloji boricha ko'proq polimer materiallar va xom ash'yolar ishlatish tavsiya etiladi.

Keyingi davrlarda QE lari narxini nisbatan arzonlashtirish bevosita kremniyni o'zini olish jarayonini isloh qilish bilan bog'lanmokka. Misol uchun, toza YaO' xususiyatlariga ega bo'lgan kremniyni dioksid kremniydan qayta tiklash usuli ishlab chiqildi, kremniy lentalarini (tasmalarini) uzluksiz o'stirish usuli yaratildi, va natijada nisbatan qimmat va og'ir texnologik jarayonlar bo'lgan kesish, shlifovka qilish, plastinalarni mexanik va ximik usullar bilan sayqallashdan voz kechildi. Akslantirishni kamaytiruvchi yupqa qatlamlar olishning yangi yuqori samarali nisbatan arzon ximiyaviy purkash (pulverizatsiya) usuli yaratildi va hokazo.

Quyosh elementlarini texnologik tayyorlash jarayonini arzonlashtirish yo'lida ayrim soddalashtirishlarga qaramasdan, uni tayyorlash haligacha ayrim og'ir operatsiyalardan xoli emas. Tayyorlash texnologik jarayonining nisbatan yengillashtirish nuqtai nazaridan quyosh elementlarining yangi modellari yaratilmoqda, jumladan MOP (metall-oksid qatlami- YaO') yoki MDP (metall-dielektrik-YaO') tuzilmalar asosida. Bunday tuzilmalarni tayyorlash jarayonini, boshqa YaO' qurilmalarda ishlatilayotganligi sababli (diod, tranzistorlar, mikrosxemalar va hokazolar) va ularning texnologik jarayonlari nisbatan rivojlanganligi hisobiga, avtomatlashtirish nisbatan osonroqdir. Bunday tuzilmalar asosidagi quyosh elementlari yuqorida keltirilgan traditsion tuzilmalardan xarakteristikalarini bilan farq qiladi. Misol uchun, kremniy asosidagi traditsion p-n o'tishli elementlarga qaraganda bu tuzilmalar UB diapazonda bir muncha yuqoriroq spektral sezgirlikka ega.

Bu yangi modellarning aksariyati YaO' material va shaffof metall qatlam orasidagi potentsial to'siqli tuzilmalarga o'xshashdir (misol, SHottki to'siqga o'xshagan). YaO' material va metall orasidagi keskin energetik burilish hisobiga potentsial to'siq hosil qilib, QE yaratilishi va ishlashi uchun imkon yaratadi. Ayrim hollarda (xususan sunggi paytlarda) shaffof metallar o'rniga elektr tokini o'tkazadigan, keng sohali YaO' lar xususiyatiga ega bo'lgan oksid qatlamlar ishlatilmoqda.



4.1-rasm. a) odatdagi strukturali va b) ko'p qatlam strukturali fotoelement.

Kelajakda kremniy asosidagi bunday QE parametrlarini davomiy yaxshilash imkoniyati mavjud. Bunday parametrlar va vazifalar qatoriiga quyidagilar kiradi,

1. Kremniyga nisbatan man qilingan sohasi keng bo'lgan YaO' materiallar ishlatish va ularning samaradorligi va xususiyatlarini kremniy asosidagi p-n o'tishli elementlar xususiyatlariga yaqinlashtirish.

2. Nisbatan qimmat bo'lgan metallar Ag, Cr, Au, Pd asosidagi kontakt qatlamlari o'rniga arzon alyuminiy asosidagi kontakt texnologiyasini yaratish.
3. SHottki to'siq asosidagi quyosh elementlarida to'siq chegarasida qalinligi 10-20 °A bo'lgan kremniy oksidi (SiO_x) qatlamini o'tkazib teskari to'yinish toki I_0 ning kamayishi hisobiga salt yurish kuchlanishi U_{xx} qiymatini keskin oshirish va element olish jarayonini soddalashtirish vazifalari turibdi.

Ko'p miqdorda zaryadlar kiritilgan oksid qatlam hisobiga $\text{Y}\alpha\text{O}'$ material sirtida sohalar burilishi va ajratuvchi potentsial to'siq hosil qilish mumkin. Bunday inversion qatlam hisobiga, xuddi kirishmali diffuzion qatlam singari, yoritilayotgan yuzadagi rekombinatsiya sur'atini kamaytirish va zaryadlar ajratilishini baza sohasiga teskari r^+ va p^+ - to'siqlar orqali bajarilishi mumkin. Yana bir imkoniyat shuki, bu qatlamlarga omik kontaktlar olish va elementlarni kommutatsiya qilish osonlashadi.

5-mavzu. Fotoelementlarni tashkil qiluvchi tuzilmalarning xususiyatlarini o'rganish.

Fotoelektrik batareyalar yoki quyosh batareyalari (QB) murakkab qurilmalar bo'lib, ular ma'lum tartibda ulangan QE dan va bu elementlar joylashtirilgan eltuvchi asoslardan iboratdir. Bular tarkibiga ajratuvchi diodlar ham kiritilgan bo'lishi mumkin. QB konstruksiyasi silkinish va urinishlarga chidamli va ishlashga oson bo'lishi kerak. QB tayyorlashning texnologiyasini yaratish uchun QE larining potentsial imkoniyatlaridan to'la foydalanish maqsadga muvofiqdir. Buning uchun QB tayyorlash texnologiyasi batareya quvvati yo'qotishlarni maksimal kamaytirish imkonini berishi zarur. QB larida quvvatning yo'qotilishi ikki xil bo'ladi, bular optik va elektrik yo'qotishlardir.

1) Elektrik yo'qotishlar. Elektrik yo'qotishlar asosan QE parametrlarini aniq o'lchashga va ularni parametrlariga qarab aniq saralashga bog'liqdir. Parametrlarga qarab saralash elektrik yuklanmaning optimal nuqtalariga yaqin qilib olib borilishi kerak.

2) Optik yo'qotishlar. Optik yo'qotishlar bu tushayotgan quyosh nurining QE lariga hammasi yetib bormasligidadir. Jumladan, bu yo'qotish QB sini germetizatsiya qilishdagi (germetik materialining bir jinsli bo'lmaganligi va texnologik jarayon natijasida paydo bo'ladigan nuqsonlar) va frontal yuzaga tushayotgan nurni o'tkazuvchi qoplama (oyna yoki plastik modda) dagi yo'qotishlardan iborat.

Quyosh batareyalari tayyorlashdagi asosiy texnologik jarayonlar quyidagilardan iboratdir:

- QE larini tegishli parametrlar bo'yicha saralash,
- elementlarni berilgan kuchlanish va tok kuchi olish uchun kommutatsiya qilish,
- QB larini korpuslarini tayyorlash,
- kommutatsiya qilingan elementlarni batareyaga joylash va uni germetizatsiya qilish,
- QB larini parametrlar bo'yicha o'lchash va saralash.

QE larini kommutatsiya qilish. Kerakli kuchlanish va tok kuchi olish uchun QE lari parallel, ketma-ket yoki kompleks ravishda kommutatsiya qilinadi. Umuman aytganda QB sining elektrik quvvati batareyadagi QE lari quvvatlarining yig'indisiga teng bo'lishi kerak. Agar bunday bo'lmasa, demak yo'qotishlarni kamaytirish usulini topish zarur. QB sining toki batareyadagi parallel ulangan elementlar tokining yig'indisi bilan aniqlanadi, kuchlanishi esa ketma-ket ulangan elementlar kuchlanishlarning yig'indisi bilan belgilanadi. Quyida hisoblash formulalari keltirilgan.

$$U_{kb} = N_{kk}U_{ke}, \quad (5.1)$$

$$I_{kb} = N_{par}I_{ke}, \quad (5.2)$$

$$P_{kb} = N_{\Sigma}P_{ke}, \quad (5.3)$$

$$P_{kb} = U_{kb}I_{kb}, \quad (5.4)$$

$$P_{ke} = U_{ke}I_{ke}, \quad (5.5)$$

$$N_{\Sigma} = N_{kk}N_{par} \quad (5.6)$$

Bu yerda U_{kb} va U_{ke} mos ravishda QB va QE kuchlanishlari, N_{kk} va N_{par} mos ravishda ketma-ket va parallel ulangan elementlar soni, P_{kb} va P_{ke} mos ravishda QB va QE quvvatlari.

Misol: Quyidagi parametrlarga ega bo'lgan QE berilgan, yuklanmada kuchlanishlar pasayishi $U_{yukl} = 0,4$ V da maksimal tok kuchi $I = 0,5$ A. SHu KE laridan 100 ketma-ket va 300 tasi parallel ulangan. Tayyorlangan QB sining parametrlari qanday? $I_{kb} = 100 \times 0,5 = 50$ A, $U_{kb} = 300 \times 0,4 = 120$ V va $P_{kb} = 50 \times 120 = 6000$ Vt.

Quyosh elementlarini saralash usullari

Quyosh elementlarini saralash uchun uning parametrlari o'lchash zarur. Parametrlarni o'lchashning ikki xil usuli mavjud.

1) Tabiiy quyosh nurlari ostida «etalon» QE lari vositasida o'lchash. O'lchash muddatida etalon va o'lchanayotgan QE bir tekislikda turishi kerak, ya'ni tushayotgan nurlarning energiyasi bir xil bo'lishi zarur.

2) Quyosh nurlari «imitatorlaridan» foydalanish. Ya'ni sun'iy quyosh sifatidagi qurilmalardan foydalanib QE parametrlarini o'lchash. Ishlab chiqarish sharoitida son-sanoqsiz QE lari bo'lgani uchun ikkinchi usuldan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Imitator bilan ishlaganda albatta vaqti-vaqti bilan etalon QE larini kalibrovka (qayta pasportda ko'rsatilgan parametrlarini nazorat qilib turish) qilib turish zarur.

Quyosh elementlarini saralash uchun quyida keltirilgan parametrlar o'lchanadi:

- qisqa tutashuv toki I_{kt} ,
- salt yurish kuchlanishi U_{syu} ,
- elektrik yuklanma mavjudligidagi optimal kuchlanish U_{opt} ,
- yuklanmadagi optimal tok I_{opt} .

SHu o'lchangan va aniqlangan quyosh elementlari asosida quyida keltirilgan parametrlar hisoblanadi:

- volt-ampere xarakteristikaning to'ldirish koeffitsienti ξ ,
- foydali ish koeffitsienti η .

Bu koeffitsientlar quyidagi formulalardan hisoblanadi,

$$\xi = I_{opt}U_{opt}/I_{kt}U_{syu}, (2.7)$$

$$\eta = 100 \xi I_{kt}U_{syu}/ E_k S, (2.8)$$

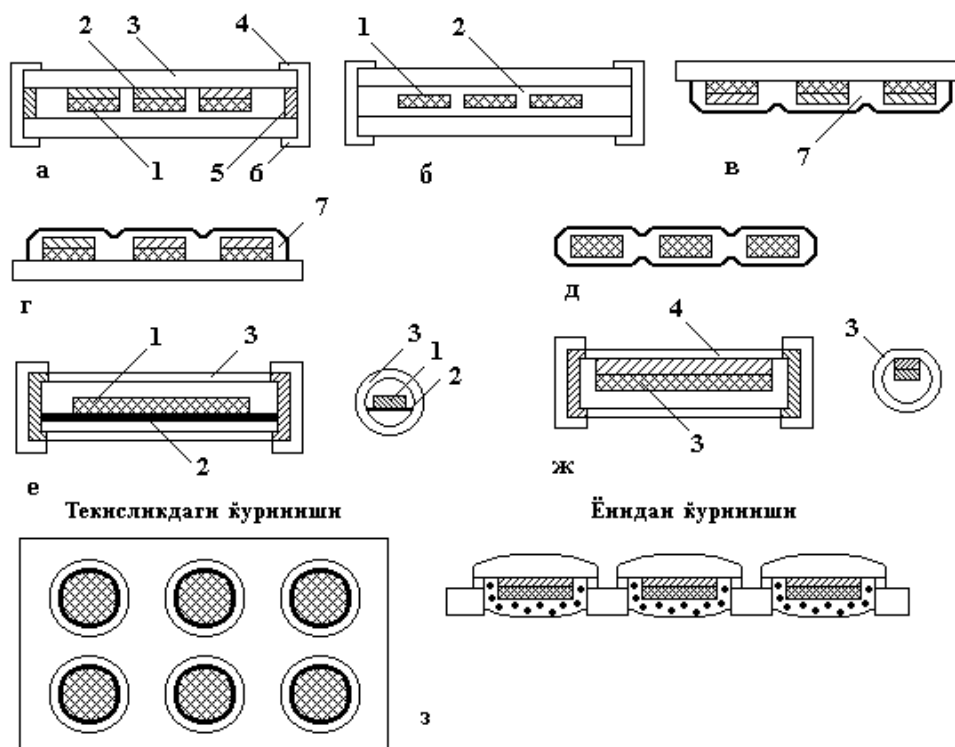
bu yerda E_k –QE yuzasiga tushayotgan quyosh energiyasi miqdori, mVt/sm² yoki Vt/m² birliklarda o'lchanadi. Odatda, elementlarning keltirilgan parametrlari har xil bo'lgani uchun, o'lchashni osonlashtirish maqsadida U_{opt} avvaldan aniq tanlab olinadi. Odatda saralash U_{opt} q 0,4 V olinadi va element shu kuchlanishga to'g'ri keladigan tok bo'yicha saralanadi. O'lchash jarayoni Xalkaro standartga mos keladigan atmosfera massasi va shunga mos tushayotgan yorug'lik miqdori quvvati imitatoridan tanlab qo'yiladi. Odatda o'lchash AM 1 standarti sharoitida olib boriladi, $Y_{ek} = 1000$ Vt/m² va $T = 25$ °S. Quyosh batareyalari parametrlari ham shu usulda o'lchanadi. Agar QB o'lchami katta bo'lsa, ya'ni imitatorga joylashmasa u bevosita tashqarida tushayotgan quyosh nurlaridan foydalanib o'lchash mumkin.

Quyosh elementlarini germetizatsiya qilish texnologiyasi

Quyosh elementlari va batareyalarini Yer sharoitida amalda qo'llash uchun ularni o'rab turgan muhit ta'siridan yetarlicha himoya qilish zarur bo'ladi. Germetizatsiya qilish texnologiyasini yaratish jarayonida batareyalarning amalda ishlash uchun soddakonstruktsiyasini tayyorlash, vazni yengil, mexanik mustahkam, joyidan ma'lum masofaga ko'chirishga qulayligi va elementlarning birlik yuzadan quvvatini imkon qadar ko'proq bo'lishini ta'minlash zarur. Hozirgi zamon QB larining ikki xil konstruktsiyasi mavjud,

a) shaffof trubka shakldagi konstruktsiya,

b) tekis shakldagi turi.



5.1-rasm. Quyosh elementlari va batareyalarini germetizatsiya qilish usullari. 1- quyosh elementi, 2-kauchuk, 3-himoya qoplamasi, 4-5 –6-konstruktsiya himoya qoplamalari, 7-germetik modda.

a - tashqi himoya qoplamasiga QE yelimlangan konstruktsiya;

b - QE ikki tomondan kauchuk bilan to'ldirilgan hol

v – a va b dan farqli orqa tomon qalin germetik yoki plastikka almashtirilgan hol;

g – v ning to'nkarilgan holi;

d – ikki tomonlamahimoyalangan konstruktsiya (ikki tomonlama sezgir QE asosida tayyorlanadi);

e - QE taglikka mahkamlangan va inert gaz bilan to'ldirilgan shisha ichiga kiritilgan;

j - QE shaffof yelim vositasida himoya qoplamasiga mahkamlangan, u ga teskaribo'lgan hol;

z – dumaloq shaklli QE shaffof kauchuk vositasida lampa- faralarga mahkamlangan hol.

Er sharoitida ishlatilayotgan QB lari asosan yupqa tekis shakldadir, shuning uchun shu konstruktsiyani tayyorlashni ko'rib o'tamiz. Germetizatsiya qilishda quyosh elementlarning tashqarisida joylashgan shaffof material (nur tushayotgan tomonga qo'yiladigan va elementni mexanik tajovuzlardan himoya qiladigan) va bevosita elementni frontal va orqa tomondan o'rab turadigan germetik polimer material ishlatiladi. QB lari ishlab chiqadigan yetakchi xorijiy firmalar asosan germetik material sifatida polivinilbuteral (PVB) va polivinilatsetat (PVA) qatlamli qoplamalaridan foydalanishadi. 5.1-rasmda QB larining har xil materiallar bilan germetizatsiya qilingan hollar uchun ayrim konstruktsiyalari namunalari keltirilgan.

SHaffof material sifatida nur o'tkazish koeffitsienti 95 % dan ortiq bo'lgan oyna turlari va ayrim boshqa shaffof materiallar olinadi. Polivinilbuteral qoplamasi vositasida germetizatsiya qilish usulini ko'rib o'tamiz. Bu usulni qo'llaganda asosiy bosqichlar quyidagilardan iborat;

- quyosh elementlarini saralash,
- elementlarni kommutatsiya qilish,
- kerakli materiallarni ma'lum tartibda joylashtirish,
- vakuumda termik ishlov berish (polimerizatsiyalash ham shuni ichiga kiradi),
- batareya parametrini o'lchash (saralash).

Vakuumba termik ishlov berish uchun vakuum termik dastgohi qo'llaniladi va batareyaning maksimal geometrik o'lchovi shu dastgoh kamerasing sig'imi va o'lchovlari bilan aniqlanadi. Odatda polimerizatsiya jarayoni 140-200 °S va havosi 10^{-1} torr gacha so'rib olingan kamerada amalga oshiriladi. Agar batareyani polimerizatsiya qilish uchun maxsus har tomonlama bosim beradigan rezinali qop bo'lmasa, bir tomonlama bosim beradigan mexanik vosita ishlatiladi.

PVB-qoplama bo'lmagan taqdirda germetizatsiya qilishning boshqa usuli mavjud. Bu SKTN markali sintetik kauchuk yordamida germetizatsiya qilishdir. PVB-qoplamadan farqli joyi shundaki, SKTN bu suyuq smoladir. SHuning uchun, dastavval uni tarkibi tayyorlab olinadi. Texnologiya etaplari quyidagicha;

- germetik tarkibini tayyorlash (SKTN Q ma'lum %) li katalizator,
- germetikka vakuumda ishlov berish (havodan tozalash),
- QE larini saralash, kommutatsiya qilish,
- element va boshqa kerakli materiallarni ma'lum tartibda joylashtirish,
- polimerizatsiya qilish,
- batareya parametrlarini o'lchash.

Polimerizatsiya jarayoni uy haroratida olib boriladi.

Fotoelektrik qurilmalar va ularni tayyorlash texnologiyasi.

Fotoelektrik qurilmalarning ishlash sharoiti va quvvatiga qarab shartli ravishda ularni ikki guruhlariga bo'lish mumkin:

1. Ko'chirma, ko'tarma (yig'ma) quyosh batareyalari va fotoelektrik qurilmalar. Bunday qurilmalar asosan markazlashgan an'anaviy elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan kam quvvatli iste'molchilarni avtonom elektr quvvati bilan ta'minlashga xizmat qiladi.

2. Fotoelektrik stantsiyalar (FES). Bu qurilmalar ishlab chiqarish, xo'jalik ishlari va turmushda qo'llaniladigan elektr iste'molchilarini avtonom ravishda elektr quvvati bilan ta'minlaydi.

Birinchi guruh uchun iste'molchilar asosan bu ko'tarma radio teleapparatura, ko'tarma muzlatgichlar, kam quvvatli yoritgichlar va boshqa turmush anjomlari bo'lishi mumkin. Ikkinchi holda esa asosan markazlashgan elektr tarmoqlaridan uzoqda joylashgan qishloq xo'jalik ob'ektlari, meditsina tarmoqlari, alohida fermer xo'jaliklarida suv chiqarish, sug'orish, yoritish va boshqa xo'jalik ishlarida qo'llanilishi mumkin. QB va FES larini ishlab chiqarishda va ularni ishlatishda ayrim quyida keltirilgan sharoitlarni hisobga olish kerak. Jumladan ishlatish sharoiti (geografik tuzilish nuqtai nazaridan tog'lik, tekislik va hokazo), yorug'lik tushishining intensivligi (kunlik, haftalik, oylik, yillik), namlik va havodagi chang miqdori, yillik haroratning maksimal va minimal qiymatlari, hududning geografik kengligi, mahalliy hududning morfologiyasi va boshqalar e'tiborga olinadi.

Fotoelektrik qurilmaning tarkibi ishlash sharoitiga va iste'molchining talabiga qarab har xil bo'lishi mumkin. Umuman maksimal quvvat olish uchun uning fotoelektrik blok, akkumulyator, is'temolchi bilan akkumulyatorni boshqarish tizimi (kontroller), o'zgarmas tokni o'zgaruvchan 220 V kuchlanish va 50 Gts chastotali tokka aylantirgich (invertor), fotoelektrik qurilmani quyoshning yurishiga qarab holatini kuzatuvchi boshqarish bloki va hokazolardan iborat bo'lgan butlovchi qurilmalar kiradi.

Quyosh batareyalari va fotoelektrik qurilmalarning quvvatini

hisoblash namunalari.

QB va FEQ lar quvvatini hisoblash uchun quyidagilarni hisobga olish zarur:

1. Fotoelektrik qurilma quvvatini hisoblash uchun avvaliga uni ishlatilishi ko'zda tutilgan muhit bilan tanishish va shu muhit xususiyatlarini (o'rtacha harorat, yorug'lik nurlarining o'rtacha quvvati, yorug'lik tushish muddati, yil davomidagi yorug' kunlar va hokazo) o'rganish zarur.

2. Elektr energiyasi iste'molchilarining xarakterini (o'zgarmas va o'zgaruvchan tok iste'molchilari xususiyatlari), iste'molchilarning elektrik parametrlari (tok kuchi, kuchlanishi, o'zgaruvchan tok chastotasi), kerakli umumiy elektr quvvatini hisoblash va har bir iste'molchiga bir kunda o'rtacha ishlatish vaqtini aniqlash zarur.

3. Ortiqcha ishlab chiqilgan elektr energiyasini hisoblash va energiyani yig'ish usulini tanlash.

4. Yig'uvchi akkumulyator elektr sig'imini hisoblash.

5. Fotoelektrik qurilma yig'ish uchun kerak bo'ladigan standart va nostandart asbob uskunalarini aniqlash.

6. Invertorlar parametrlarini, quvvatini va foydali ish koeffitsientini aniqlash.

7. Kontrollerlarning parametrlarini va quvvatini aniqlash.

8. Fotoelektrik qurilma konstruksiyasini tanlash, parametrlarini rejalash, tayyorlash texnologiyasini aniqlash.

9. Fotoelektrik qurilmani tayyorlash.

10. Fotoelektrik qurilma qismlarini sinash. Qurilmani butunicha sinash.

11. Fotoelektrik qurilmani sinash natijalarini hisobga olgan holda uni parametrlarini optimal holga keltirish.

12. Qurilmani tajribaviy sinash, hisob va rejaviy natijalar bilan taqqoslash.

13. Fotoelektrik qurilmaga ketgan xarajatlarni qoplash muddatini va samaradorligini aniqlash.

Misol sifatida O'zbekiston Respublikasining cho'l sharoitida joylashgan, energiya markazlaridan uzoqda bo'lgan fermer xo'jalikni fotoelektrik qurilma bilan ta'minlashni ko'rib o'tamiz. Fermer xo'jalikning asosiy kasbi chorvadorlik va dehqonchilik bo'lsin.

1. Bu hudud uchun (Masalan, Qashqadaryo hududi) quyoshli kunlar 300 kun, tushayotgan yorug'likning o'rtacha quvvati 750 Vt/m^2 , o'rtacha yorug'lik tushish muddati kuniga 8 soat bo'lsin.

2. Elektr energiyasining iste'molchilari, 6 kishidan iborat oila. Yoritish uchun 4 yorug'lik manbai har biri LDS-40 lampa, yoritish muddati bir kunda 4 soat. Ro'zg'or buyumlari: televizor quvvati 60 Vt bir kunda ishlash muddati 3 soat, sug'orish nasosi quvvati 20 Vt bir kunda ishlash muddati 2 soat, choy qaynatgich bir kunda ishlash muddati 2 soat, quvvati 20 Vt, ko'tarma kam quvvatli 40 Vt li slesar-tokar quvvati 40 Vt, dastgohi o'rtacha ishlash muddati 0,5 soat.

3. Keltirilgan iste'molchilarining umumiy bir kunlik iste'mol qilgan elektr quvvati $0,64 + 0,18 + 0,04 + 0,04 + 0,02 = 0,92 \text{ kVt}$ soatni tashkil etadi. Bir yilda esa $360 \times 0,92 = 336 \text{ kVt}$ soat.

4. Energiyani yig'ish uchun kislotali akkumulyatorni tanlab olamiz, uning kuchlanishi 12 V bo'lsin. U holda bir kunda 0,92 kVt elektr quvvatini yig'ish uchun, agar invertorning f.i.k. 0,92 bo'lsa, f.i.k. 10 % li QE laridan bir kunda $85 \text{ A} \times 12 \text{ V} \times 1000 \text{ Vt}$ yig'ish mumkin. Agar yorug'likning o'rtacha tushish vaqti 8 soat bo'lsa har soatiga 125 Vt energiya jamlanishi yoki 20 % zahirali qilib fotoelektrik qurilma rejalashtirilsa quvvati 150 Vt bo'lgan qurilma tayyorlanishi kerak.

5. Akkumulyatorning elektr sig'imini hisoblash uchun razryadlanish chegarasini 75 % olsak, uning elektr sig'imi 300 A soat bo'ladi.

6. Ikki xil inverter kerak bo'ladi. A) LDS-40 yoritgichlar uchun chastotasi 20 kGts li, quvvati 150 Vt li inverter. B) CHastotasi 50 Gts li, quvvati 100 Vt li inverter.

7. Boshqaruvchi kontrollarning quvvati 150 Vt

8. Fotoelektrik qurilmaning quvvati 150 Vt va uni statsionar yoki ko'tarma konstruksiyali qilish maqsadga muvofiqdir.

3-modul

6-mavzu. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi.

Viloyat qo'mitasining tashabbusi va moliyaviy ko'magida hamda O'zbekiston Respublikasi Tabiatni muhofaza qilish Davlat qo'mitasining bevosita amaliy yordami bilan quyosh energiyasidan foydalanishning afzalliklarini omma o'rtasida tadbiq qilinishi oqibatida Jarqo'rg'on tumani «Oqtepa» tabiat bog'i ma'muriy binosiga 2 komplekt quyosh energiyasidan elektroenergiya ishlab chiqaruvchi hamda ishlab chiqarish zaruriyati uchun zarur bo'ladigan suv isitish tizimi yaratish maqsadida uskunalar o'rnatildi. Yana viloyat tabiatni muhofaza qilish qo'mitasi ma'muriy binosiga, SHerobod tumani Sayid Qulfiddin fermer xo'jaligi, Termiz tumani 1-sonli shifoxonasi, Qumqo'rg'on tumani Xo'jamulki qishloq vrachlik punktlariga zamonaviy quyosh fotoelektr stantsiyalari (quyosh batareyalari) o'rnatildi va hozirgi kunda bu batareyalardan iste'mol uchun elektr energiyasi olinmoqda.

Quyosh energiyasidan foydalanish tizimlari yaratilishining afzalliklari asosan elektr va boshqa energiya manbalari bo'lmagan hududlarda tiklanadigan energiya manbalari yaratgan holda xalq xo'jaligi va aholining energiya manbalariga bo'lgan talablarini qondirishdan iborat.

Ushbu strategik yo'nalishning O'zbekiston uchun muhimligi shundan iboratki, barcha hududlarning uzoq kelajakdagi energiya ta'minoti, qayta tiklanadigan energiya manbasi sohasidagi aniq loyihalarni amalga oshirilishiga bog'liq, chunki, an'anaviy energiya resurslari qayta tiklanmaydi va cheklangan. O'zbekistonda qayta tiklanadigan energiya manbasi kelgusida rivojlanish sharoiti va o'zlashtirilishi elektroenergetika tizimini ma'lum darajada diversifikatsiya qilish orqali erishilishi mumkin.

O'zbekistonda qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish uchun qulay imkoniyatlar mavjud. Mamlakatimizda yilning asosiy qismi issiq va quyoshli kunlardan iborat. Bundan tashqari, tog'li hududlardan oqib o'tuvchi sersuv daryolar bitmas-tuganmas energiya manbai hisoblanadi. Respublikada qayta tiklanadigan energiya manbalarining texnik imkoniyatlari: quyosh — 98,8 foiz, shamol — 0,2 foiz, gidro — 1,0 foizdir. SHuning uchun mamlakatimizda geliouskunalaridan foydalanish qulay hamda maqsadga muvofiqdir.

Yuridik shaxslarni geliouskunalarini olib kirishdagi bojxona to'lovlari va qo'shimcha qiymat solig'idan (NDS) ozod qilish, suv isitish va elektr tokini ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan import qilinayotgan quyosh tizimi uskunalarining narxini ancha pasaytirishiga imkon beradi va ularni iste'molchi uchun arzon qilib qo'yadi. Masalan, bugungi kunda import qiluvchi Janubiy Koreya Respublikasida ishlab chiqarilgan 500–1000 W (Vatt) geliouskunalarini 1500–2500 AQSH dollari narxida taklif qilinmoqda. Agar ko'rsatilgan imtiyozlar kiritilsa, unda uning narxi 700 dollargacha pasayadi. Bu esa uskunalarning sotilish muddatini qisqartiradi. Bundan tashqari biz o'zimizning iqlim sharoitiga mos chidamli va iqtisodiy jihatdan arzon bo'lgan qurilmalar ishlab chiqishimiz ularni amaliyotda sinab qishloq xo'jaligi va ishlab chiqarish sanoatida qo'llashimiz lozim. Yuqorida kayd etilganlardan va hozirgi iqtisodiy sharoitlardan kelib chiqib bugungi kunda asosiy energiya manbai bo'lgan tabiiy resurslarning vaqti kelib tugashini hisobga olgan holda, O'zbekiston Respublikasi tabiatni muhofaza qilish Davlat qo'mitasi tomonidan O'zbekiston Respublikasida davlat unitar korxonasi hisoblanadigan «Eko-Energiya» ilmiy tadqiqot markazi tashkil etilgan.

- Markazning asosiy faoliyati quyidagilardan iborat:
energiya ishlab chiqarish jarayonida atrof muhit ifloslanishi va shu yo'nalishda qonuniy,

me'yoriy, boshqaruv va dastur hujjatlarini tayorlash; atrof muhitni muhofazasi, tabiiy resurslarni iqtisod qilish, ulardan samarali foydalanish, tiklanadigan energiya manbalarini o'rganish va amaliyotga tadbiq qilish yo'llarini izlash; tiklanadigan va ekologik toza energiya manbalarini tadqiqot qilish va ularni keng ko'llamda amaliyotga qo'llash;

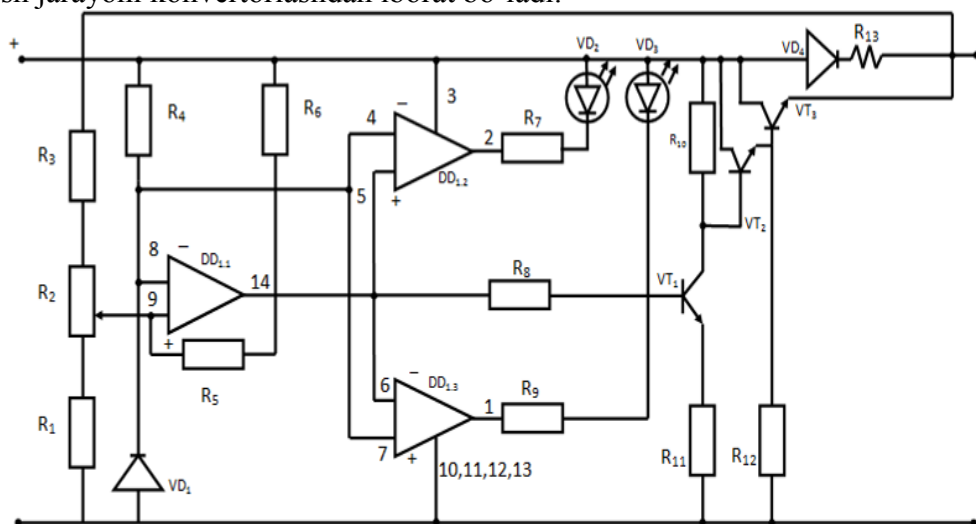
- tiklanadigan energiya manbalarini qo'llashda ilg'or tajribalarni o'rganish va optimal variantlarni qo'llash bo'yicha Eko-energiya texnologiyalarini amaliyotga tadbiq qilish siyosatini yuritish;
- quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha iqtisodiy topshiriqlar asosida mahalliy resurslarni hisobga olgan holda loyihalash, qurish va hokazolar.
-

➤ **Elektr energiyasini saqlash, taqsimlash, va istemol qilish tizimi.**

Ko'chma telekommunikatsiya apparaturalarini elektr energiyasi bilan ta'minlashda birlamchi elektr energiyasi sifatida kichik kuchlanishli o'zgarmas tok manbalari (galvanik elementlar, akkumulyatorlar, termogeneratorlar, quyosh va atom batareyalari) ishlatiladi. Turli xildagi telekommunikatsiya apparaturalarining elektr ta'minoti uchun esa turli nominaldagi o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanishlar zarur bo'ladi. SHuning uchun bir nominaldagi o'zgaruvchan yoki o'zgarmas kuchlanishni ikkinchi nominaldagi o'zgaruvchan yoki o'zgarmas kuchlanishga o'zgartirish talab qilinadi. Bu vazifani o'zgartirgichlar bajaradi. O'zgartirgichlar elektr ta'minot manbai kuchlanishini apparaturalar alohida qismlarini elektr ta'minoti uchun talab qilingan turdagi va nominaldagi kuchlanishlarga o'zgartirib berish uchun xizmat qiladi.

O'zgartirgichlar ikki turga bo'linadi. O'zgarmas tok energiyasini o'zgaruvchan tok energiyasiga o'zgartirib beruvchi o'zgartirgichlar inverterlar deyiladi va o'zgartirish jarayoni inverterlashdan iborat bo'ladi.

Agar o'zgartirgich chiqishida o'zgarmas kuchlanish olinishi talab qilinsa, u holda invertordan keyin to'g'rilagich va fil'tr kuyiladi. Bunday bir kuchlanishli o'zgarmas tok energiyasini boshqa kuchlanishli o'zgarmas tok yenergiyasiga o'zgartiruvchi o'zgartirgich konvertor deyiladi va o'zgartirish jarayoni konvertorlashdan iborat bo'ladi.



6.1-rasm. Kontroller qurilmasining prinsipial sxemasi.

Kontroller qurilmasi akkumulyator batareyasi kuchlanishini nazorat qilishda va uni zaryadi nominal qiymatidan kamayishidan yoki o'ta to'yinishidan himoyasida qo'llaniladi. Bizning loyixada kontroller qurilmasining sodda sxemasi keltirilgan bo'lib, ilmiy tadqiqotlar davomida sinovdan o'tkazildi. Bu qurilmalarning avzalligi shundaki arzon, ishonchli va prinsipial sxemasining soddaligida. SHuni takidlash kerakki bu qurilma akkumulyator batareyasini

kuchlanishini to'liq nazorat qilish imkoniyatini berib chet elda ishlab chiqarilgan qurilmalardan qolishmaydi.

Loyixada akumulyator batareyasini ishchi nominal kuchlanishi 9.5 V-12.5 V deb tanlab olindiva quyidagilar elementlardan foydalanildi:

$R_1 R_3$ -33 kOm	VD_1 -KS162
R_2 -50 kOm	VD_2 - VD_3 -AL307 _A
$R_4 R_8$ -740 kOm	VD_4 - D232
R_5 - 1 mOm	VT_1 -KT6302
$R_6 R_{10}$ -1 kOm	VT_2 – KT805
$R_7 R_9$ -470 Om	VT_3 – KT819
R_{11} -120 Om	DD_1 – LM339
R_{12} -300 Om	$I_{Z.T} = 0.25 - 10$ A
R_{13} -50-60 kOm	$V_{t.k} = 12.6$ V

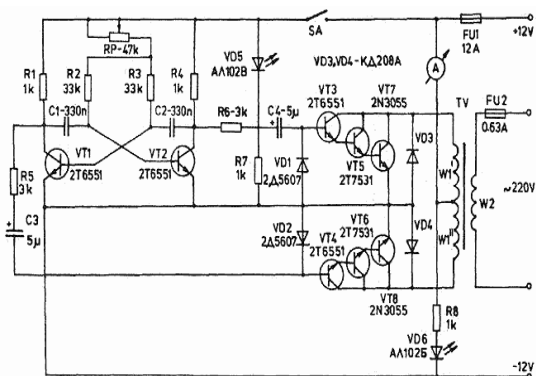
Agar R_4 , R_4 , R_4 , VD_1 larni mos ravishda tanlab olib 3 – 24 V lik akumulyator batareyasini 10 A tok bilan zaryadlash mumkin.

Akumulyator batareyadagi kuchlanish 12.6 V ga yetganda komparatorni 14 chi chiqishida katta potentsial hosil bo'ladi VT_1 ochiladi VT_2 , VT_3 lar esa yopiladi. Akumulyator batareyasi kichik 0.25 A tok bilan zaryadlanib boradi

Agar akumulyator batareyasidagi kuchlanish 12.6 V dan kichik bo'lsa 14 chi nuqtada quyi potentsial paydo bo'ladi VT_1 – yopiladi VT_2 va VT_3 lar ochiladi.

VD_4 - sutkaning tun qismida akumulyator batareyasidan quyosh paneliga energiya oqimini chegaralaydi.

Bu sxemani akumulyator batareyasini tarmoqdan foydalanib zaryadlash uchun ham ishlatish mumkin. Bunday xolatda o'zgaruvchan tokni doimiy tokka aylantirish zarur.



6.2-rasm. Invertorning umumiy ko'rinishi va ishchi prinsipial sxemasi

Invertor har qanday o'zgartirgichning asosiy qismi hisoblanadi. Invertorlar quyidagi belgilariga qarab sinflarga bo'linadi:

- o'zgartiriluvchi kattalik turiga qarab: tok invertorlari va kuchlanish invertorlari;
- ish taktiga qarab: bir taktli va ikki taktli invertorlar;
- kalit elementlari turiga qarab: tranzistorli va tiristorli invertorlar;
- ko'zgatish usuliga qarab: mustaqil va o'z-o'zidan qo'zgatishli invertorlar;

6.3-rasm. TK 235-63 tranzistorli invertor sxemasi.

Tranzistorli invertorlar quyidagi turkumlarga bo'linadi:

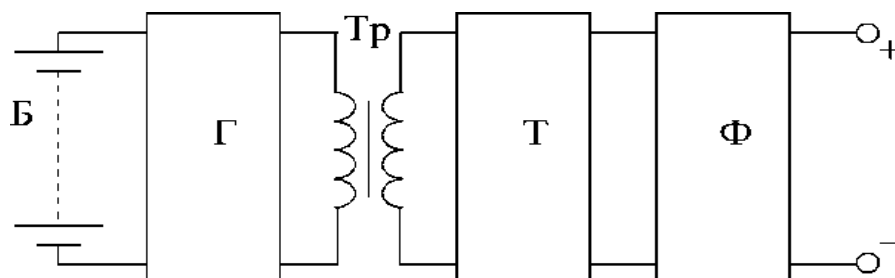
- tranzistorlarning ulanish sxemalariga qarab: umumiy emitterli va umumiy kollektorli invertorlar;
- teskari aloqa turiga qarab: kuchlanish buyicha teskari aloqali, tok buyicha teskari aloqali, tok va kuchlanish buyicha teskari alokali invertorlar;

Tiristorli invertorlar quyidagicha turlanadi:

- tiristorlar kommutatsiyasiga qarab: tarmoq orqali va avtonom;
- yuklamaga nisbatan kommutatsiyalovchi sigimning ulanishiga qarab: ketma-ket, parallel. Yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlarning afzalliklari ishonchlilik, yuqori FIK, kichik xajm va ekspluatatsion muddatning uzoqliligidir.

Tranzistorli o'z-o'zidan ko'zgatishli o'zgartirgichlar (avtogeneratorlar) o'zgaras kuchlanishni o'zgartirish jarayonini keltirilgan tuzilish sxemasidan foydalangan holda tushuntirish mumkin. O'zgaras tok manbai akkumulyator batareyasi B xisoblanib, undan uncha katta bo'lmagan U_{kir} kuchlanish Tr transformatorga beriladi. Tr transformator o'zgaruvchan kuchlanishning shakllanishi va uning qiymatini o'zgartirish uchun xizmat qiladi. Akkumulyator kuchlanishi o'zgaras bo'lganligi uchun akkumulyator va transformator orasiga o'zgaras tok zanjirini davriy ravishda uzish va ulash maqsadida 350...400 Gtsli tok uzgichi qo'yish zarur.

O'zgaras tok uzgichi sifatida tranzistorli generator G xizmat qiladi.

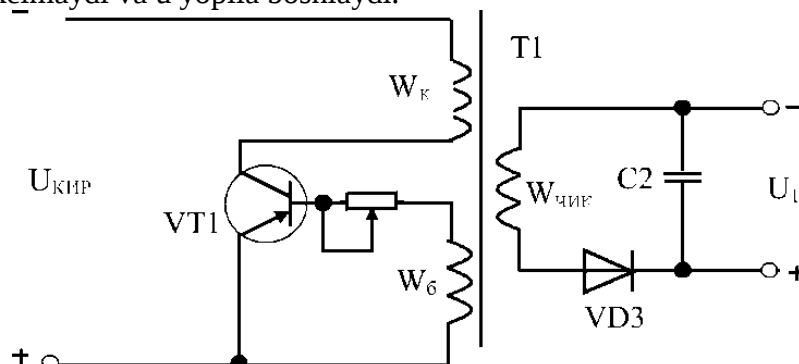


6.5-rasm. O'z-o'zidan ko'zgatishli bir taktli o'zgartirgich (avtogenerator)ning tuzilish sxemasi

Transformator birlamchi chulg'amidagi tokning uzilishi magnit o'tkazgichda vaqt buyicha o'zgaruvchan $F(T)$ magnit oqimini vujudga keltiradi. Natijada chulg'amlarda magnit oqimi o'zgarish tezligiga va chulg'am o'ramlar soniga iroirtsional bo'lgan EYuK induktsiyalanadi. SHunday qilib o'zgaras kuchlanishdan to'g'ri burchakli impulslar shaklidagi o'zgaruvchan kuchlanish olinadi, ya'ni invertorlash amalga oshiriladi. To'g'ri burchakli impulslar transformator yordamida amplituda buyicha o'zgartiriladi va keyin F siliklovchi fil'trli T to'g'rilagichga beriladi. To'g'rilagich chikishidan o'zgaras kuchlanish olinadi. Bunday o'zgartirgich konvertor deyiladi. Uning chikishidan kirish kuchlanishidan talab qilingan qiymatga farkdanuvchi o'zgaras kuchlanish olinadi.

O'z-o'zidan ko'zgatishli tranzistorli bir taktli o'zgartirgich (2-rasm) prinsipial sxemasi U_{kir} o'zgaras kuchlanish manbai avtogenerator sxemasi buyicha kalit rejimda ishlovchi UT tranzistorda yigilgan tok uzgichi, magnit o'tkazgichi to'g'ri burchakli gizterezis halkali impuls transformator $T1$, bir yarim davrli to'g'rilagich va yuklamadan tashkil topgan.

O'zgartirgichning ishlash printsipi impuls transformatori birlamchi chulg'amida kalit ravishda ishlovchi UT tranzistor yordamida o'zgaras tokni uzishga asoslangan. Kollektor zanjiriga U_{kir} o'zgaras kuchlanish kuyilganda transformatorning W_k birlamchi chulg'amidan tok oqib o'ta boshlaydi. Ulanish momentidan boshlab tok oniy ravishda emas, ma'lum qonun buyicha ortadi. SHuning uchun tok impuls transformatori magnit o'tkazgichida usuvchi magnit otsimini vujudga keltiradi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimi W_b teskari alotsa chulg'amida o'zinduksion EYuKni vujudga keltiradi. Bu teskari aloqa chulg'aming uchlari baza-emitter oralshda shunday ulanganki, kollektor toki ortganda bazaga og'uvchi potentsial keladi. Tranzistor ochila borib, bundan keyingi kollektor tokining ortishiga imkoniyat yaratadi, ya'ni sxemada musbat teskari aloqa amalga oshiriladi. Kollektor va baza toklarining bunday kuchkisimon ravishda tez ortishi magnit oqishi tuyinguncha davom etadi. Keyin bu toklarning ortishi tuxtaydi va o'zgaras tokda transformator chulg'amlarida EYuK induktsiyalanmaydi. Natijada tranzistor bazasiga ochuvchi potentsial kelmaydi va u yopila boshlaydi.

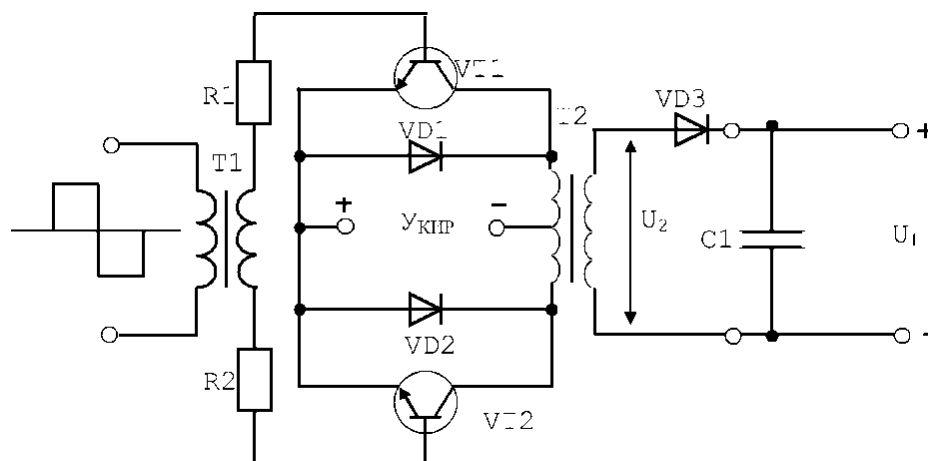


6.6-rasm. O'z-o'zidan ko'zgatishli tranzistorli bir taktli o'zgartirgichning prinsipial sxemasi.

Tranzistor yopilishidagi kollektor tokining kamayishi karama-karshi yunalishdagi EYuKni x,osil qiladi va bazaga tranzistorni yopuvchi kuchlanish beriladi. Birlamchi chulg'am toki o'ziladi.

SHunday qilib tranzistor, impuls transformatori va ta'minot manbai kuchlanish buyicha transformatorli teskari aloqali relaksion generatorni tashkil qiladi. U o'zgarmas tokni uzilishini ta'minlaydi. Transformatorning ikkinchi chulg'amidan o'sha chastota va kugbdagi, lekin amplitudasi ortgan shakldagi impulslar olinadi. Bu impulslar UD diodda yigilgan to'g'rilagichga beriladi. To'g'rilagichdan keyin yuklamada talab kilingan kiymatdagi o'zgarmas kuchlanish shakllanadi.

Eng sodda to'zilgan ikki taktli o'zgartirgich sxemasida T_1 kuch transformatorining ikki birlamchi chulg'ami UT_1 va UT_2 tranzistorlari bazalari bilan ulangan, birlamchi ta'minot manbai U_{KIR} esa tranzistorlar emitterlari va T_2 transformator birlamchi yarim chulg'amlari o'rta nuktasi orasiga kuyilgan



6.7-rasm. Mustaqil ko'zgatishli ikki taktli o'zgartirgichning prinsipial sxemasi

Kuch tranzistorlari navbatma-navbat to'yinadi. Buning uchun T_1 ko'zgatuvchi transformatorning ikkilamchi chulg'amidan ularning bazalariga mos uzunlikdagi impulslar beriladi T_2 transformatorning ikkilamchi chulg'amidan olinadigan chitsish kuchlanishi impulslarining uzunligi ochuvchi impuls uzunligidan tranzistorlar bazalaridagi asosiy bo'lmagan tashuvchilarning zaryad surish vaqti t_r ga katta. Agar ochuvchi impuls uzunligi $T/2 - t_r$ ga teng deb olinsa, chiqimida meandr shakldagi o'zgaruvchan kuchlanish olinadi. Bunday shakldagi kuchlanish to'g'rilagichda fil'trsiz o'zgarmas kuchlanishga aylantiriladi. Agar kuch tranzistorlarini nolli uzilishsiz to'g'ri burchakli kuchlanish impulsari bilan qo'zgatilsa u xolda bazadagi asosiy bo'lmagan tashuvchilarning zaryad surish vaqtiga teng bo'lgan vaqtda xar ikkala tranzistor ochiq bo'ladi, bu esa kuch transformatori birlamchi chulg'aming qisqa vaqtlgi tutashuviga tengdir.

Ikkilamchi elektr ta'minoti manbalarining elektr ta'minoti tizimi bilan elektromagnit moslashuvi.

Elektr energiyasining sifati radioelektron vositalarning ishonchli ishlashi kursatkichlarini anikdovchi mux,im omillardan biri xhisoblanadi. Radioelektron aiiaraturalar tarkibida elektr ta'minoti manbalari yuklama va elektr ta'minoti tizimi o'rtasida moslashtiruvchi qism bo'lib xizmat qiladi. Elektr ta'minot manbalari kursatkichlariga kuyiladigan texnik talablar mazkur radioelektron apparatura uchun xdm umumiydir. Elektr ta'minoti manbalari (ETM) tuzilish tarzi, asos elementlari, tuzilishi va tayyorlash texnologiyasi buyicha sezilarli farkda ega. Bu farkushr uning tarkibiga kiradigan radioelektron kurilma afzalliklari orqali anikdanadi. O'z navbatida radioelektron kurilmalar funktsional vazifalariga va ishlatish sharoitlariga kura farkuqanadi.

Elektr energiyasi tizimlari tomonidan ETMlarga kuyiladigan talablar kuvvatlar nisbati, tok turi (o'zgaruvchan yoki o'zgarmas)? kuchlanishlar qiymatlari, tok va kuchlanishlar qiymatlarining ish va o'tish rejimlaridagi ruxsat etilgan og'ishlari orqali aniqlanadi.

O'zgarmas tok elektr ta'minot tizimlari talab qilinadigan kuvvat 1,5 kVtda oshmagan

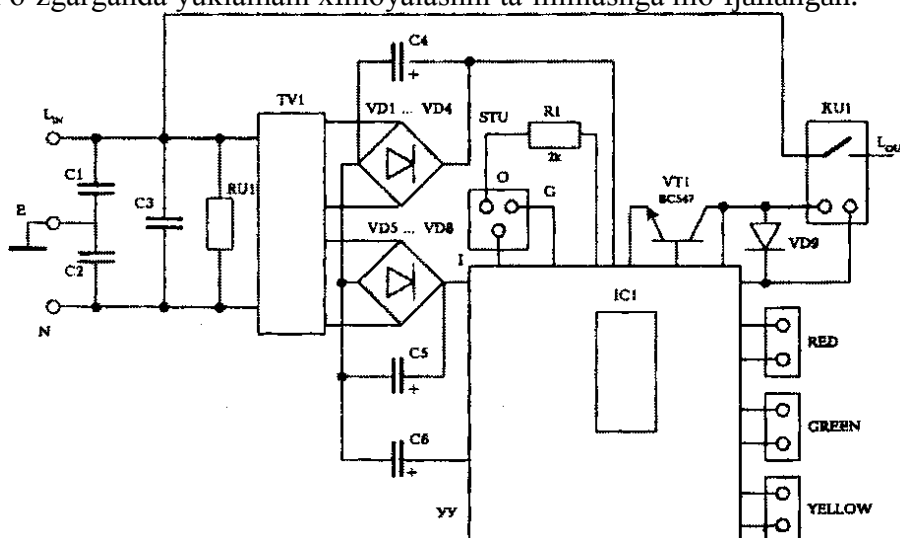
hollarda qullaniladi. Bunday tizimlarning afzalligi akkumlyatorlar yordamida rezervlashning oddiyligidir. Ularning kamchiliklariga esa analog yuklamani elektr ta'minotida elektr energiyani ikki marta o'zgartirish (impulsli va o'zluksiz) zarurligini kiritish mumkin. Hozirgi paytda 270 V chiqish kuchlanishli o'zgarmas tok elektr ta'minoti sistemalarini yaratish ustida ish olib borilmokda.

ETMlarning o'zgaruvchan tok elektr energiyasi tizimi bilan moslashuvi tarmokda generatsiyalanuvchi yuqori chastotali x,alaqitlar darajasini kamaytirish va ETM iste'mol tokining egriligini yaxshilash talablarining bajarilishi orqali ta'minlanadi. Elektr energiyasi tizimlariga yuqori garmonikalarning ta'siri ketma-ket va parallel rezonanslar natijasida toklar va kuchlanishlar garmonikalarining ortishi, shuningdek, elektr energiyasini generatsiyalash, o'zlash va undan foydalanish protsesslari samaralarining kamayishi, apparatura izolyatsiyasining eskirishi, buning natijasida xizmat muddatini kamayishi va apparaturaning xato ishlashi tarzida namoyon bo'ladi.

Kuchlanish garmonikalari transformatorlarda gistorezisidagi yuqotishlarni va magnit o'tkazgichlardagi uyurmaviy toklarni shuningdek chulg'amlardagi yuqotishlarni keltirib chikaradi.

Qo'shimcha yo'qotishlar kondensatorlarning kushimcha qizishiga olib keladi. SHuning uchun kondensatorlarni loyixdlash tok buyicha ruxsat etilgan ortiqcha yuklanishni hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Bu Angliyada 15%ni, Yevropada va Avstraliyada 30%ni, AQSH da 80%ni va Rossiyada 30%ni tashkil qiladi.

Elektron vositalar kirishida bir necha xdmoyalash funktsiyalarini bajaruvchi kurilma foydalanish mumkin. bunday kurilmalardan birining tuzilish sxemasi quyida keltirilgan. Bu kurilma radioxdlakitlarni sundirish, impuls ortitscha kuchlanishlarni cheklash va tarmoq kuchlanishi o'zgarganda yuklamani ximoyalashni ta'minlashga mo'ljallangan.



6.8-rasm. Ximoyalash qurilmasining tuzilish sxemasi

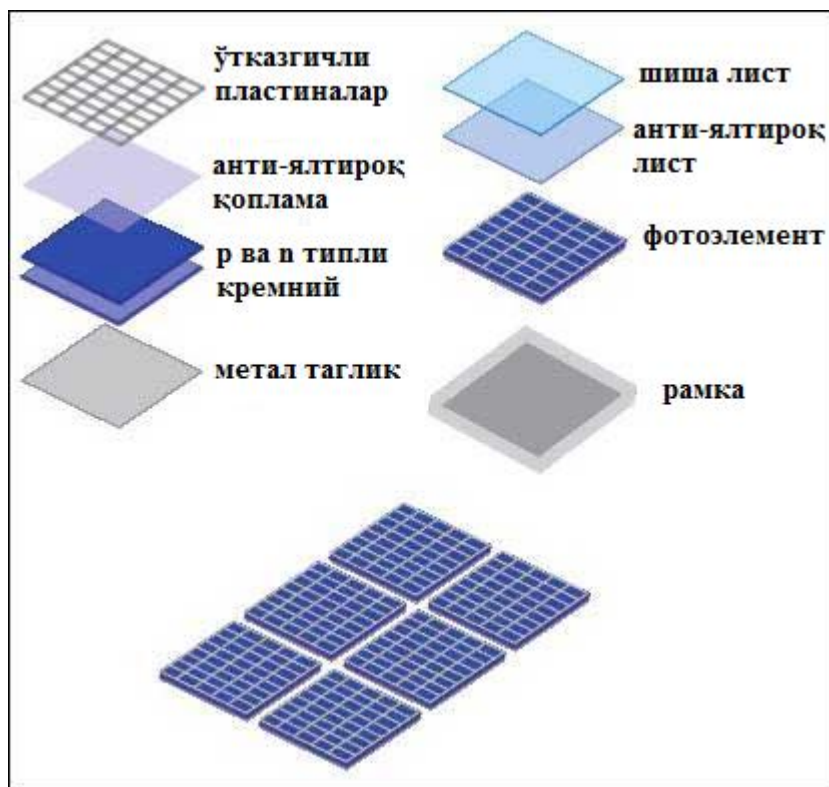
Sxema quyidagi tartibda ishlaydi. TV1 transformator ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishlar VD1 - VD4 va VD5 - VD8 kupriksimon to'g'rilash sxemalari orqali to'g'rilanadi. VD5 - VD8 to'g'rilash sxemasi chikishidagi to'g'rilangan kuchlanish integral kuchlanish stabilizatori STU (SM 781.12. ACZ) orqali stabilanadi. To'g'rilangan kuchlanish S4, S6 kondensatorlar yordamida filtrlanib 5S boshqarish sxemasiga va KU1 (125MV) rele chulg'amiga beriladi. Boshqarish sxemasi IC1 (LM393N, 1401 SAZ) mikrosxema bazasida yigilgan. Mikrosxema ikki kanalli kuchlanish kolparatori bo'lib, tarmoq kuchlanishining ortishini yoki kamayishini nazorat qilishga mo'ljallangan. Agar tarmoq kuchlanishi 190V gacha kamaysa yoki 250V gacha ortsa, boshqarish sxemasi kuchaytiruvchi VT1 tranzistori orqali KU1 releni o'zadi. Bu relening kontaktlari yuklamani tarmokdan o'zadi.

Ximoyalash qurilmasining holatlarining induktsiyalari svetodiodlar ("RED", "GREEN", "YELLOW") ortali amalga oshiriladi. kurilma kirishidagi S1...SZ kondensatorlar radiohalaqitlar filtrini tashkil kiladi (C1, S2 kondensatorlar nosimmetrik radiohalaqitlarni, SZ

kondensator esa simmetrik radiohalaqitlarni sundirishga xizmat kdladi). qisqa vaqtli kuchlanishni sakrashsimon keskin ortishi RU 1 rezistor orkali cheklanadi. UB₉ diod KSH rele chulg'ami o'zilganda ortikcha kuchlanishni kamaytirish uchun mazkur chulg'amni shuntlaydi.

7-mavzu. Quyosh elementlari konstruksiyalari.

Keng tarqalgan kremniy asosli quyosh elementlari konstruksiyasi p- va n-tipli materialni bir-biriga tutuashtirishdan hosil qilinadi. yarim o'tkazgich material ichidagi r- va n-tip orasidagi o'tish sohasi (chegara hududi) elektron-teshik yoki **p-n** o'tish deyiladi. Termodinamik muvozanatda elektron va teshiklar muvozanat holatini belgilovchi Fermi sathi materialda bir holatda bo'lishi kerak. Bu shart **p-n** o'tish hududida ikkilangan zaryadli qatlam hosil qiladi va uni hajmiy zaryad qatlami deyilib, unga taalluqli elektrostatik potentsial paydo bo'ladi.

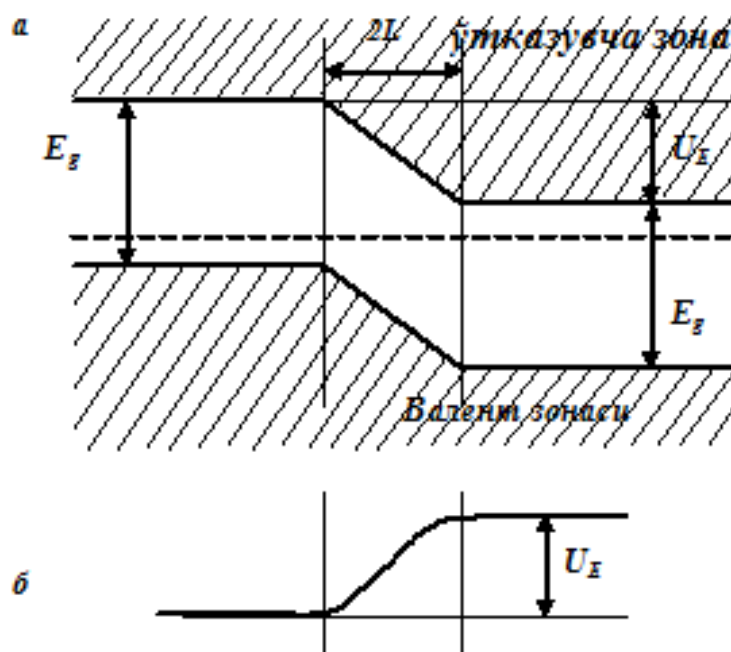


7.1-rasm. Quyosh elementlarini konstruktiv tarkibi

P-n tuzilma sirtiga tushgan optik nurlanish, sirdan material ichiga qarab **p-n** o'tish yo'nalishiga perpendikulyar ravishda kontsentratsiyasi kamayib boruvchi elektron teshik juftliklari 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 uzunlikka teng masofa yoki undan kamroq masofada bo'lsa, zaryadlar diffuziya jarayoni natijasida **p-n** o'tishga yetib kelib,, elektr maydoni ta'sirida ajratilishi mumkin. Elektronlar **p-n** o'tishning elektron bor bo'lgan qismiga (**n**-qismiga), teshiklar esa **r**-qismiga o'tadi. Tashqi **p**- va **n**- sohalarni birlashtiruvchi elektrodlarda (kontaktlarda) potentsiallarayirmasi hosil bo'lib, natijada ulangan yuklanma qarshiligi orqali elektr toki oqa boshlaydi.

P-n o'tishga diffuziyalangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar, potentsial to'siq bo'lganligi sababli ikkiga ajratiladi. Ortiqcha hosil bo'lgan (to'siq yordamida ajratilgan) va to'plangan, **n**- sohadagi elektronlar va **r**- sohadagi teshiklar **p-n** o'tishdagi mavjud hajmiy zaryadni

kompensatsiya qiladi, ya'ni mavjud bo'lgan elektr maydoniga qarama-qarshi elektr maydonini hosil qiladi. Yoritilish tufayli tashqi elektrodlarda potentsiallar ayimasi hosil bo'lishi bilan birga yoritilmagan **p-n** o'tishdagi mavjud potentsial to'siqning o'zgarishi ro'y beradi. Hosil bo'lgan foto E.Yu.K. bor bo'lgan potentsial to'siq qiymatini kamaytiradi. Bu esa o'z navbatida qarama-qarshi oqimlarning paydo bo'lishini ta'minlaydi, ya'ni elektron qismda elektronlar oqimini, **r**- qismda esa teshiklar oqimini hosil qiladi. Bu oqimlar **p-n** o'tishga qo'yilgan elektr kuchlanishi ta'siri natijasida to'g'ri yo'nalishdagi tok bilan deyarli teng bo'ladi. Yoritilish jarayoni boshlangan vaqtdan boshlab ortiqcha (muvozanatdagiga nisbatan) zaryadlarning to'planishi (elektronlarning **p**- sohada va teshiklarning **n**- sohada) potentsial to'siq balandligini kamaytiradi yoki boshqacha qilib aytganda elektrostatik potentsialni pasaytiradi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Yoritilmagan **p-n** o'tishli yarim o'tkazgichda energetik sohalar strukturasi (a), elektrostatik potentsial taqsimoti (b). $2l$ – hajmiy zaryad sohasining kengligi, U_E - **p**- va **n**- sohalar chegarasidagi muvozanat holati uchun elektrostatik potentsial, E_g – ta'qiqlangan soha kengligi, shtrixlangan chiziq - muvozanat holati uchun Fermi sathi.

Bu esa o'z navbatida tashqi yuklanmadan oqayotgan tok kuchini oshiradi va qarama-qarshi oqimlar hosil qiluvchi elektronlar va teshiklar oqimini **p-n** o'tish orqali o'tishini ta'minlaydi. Yorug'lik tufayli hosil bo'lgan ortiqcha juftliklar soni **p-n** o'tish yoki tashqi yuklanma orqali ketayotgan juftliklar soniga teng bo'lganda statsionar muvozanat hosil bo'ladi. Odatda bu hol yoritilish jarayonining mingdan bir soniyasi davomida ro'y beradi.

quyosh elementi qisqi tutashuv toki $I_{k.z}$ ni, tushayotgan optik nurlanish zichligi va spektral tarkibiga bog'liq holda o'rganish, element tuzilmasi ichida bo'layotgan har bir nurlanish kvantining elektr energiyasiga aylanish jarayoni samaradorligi haqida tasavvur hosil qilish imkoniyatini beradi. Ma'lum yorug'lik oqimi zichligi tushayotgan quyosh elementi uchun quyidagi tenglamani keltirish mumkin:

$$I_{K.3.IO}(\lambda) = \frac{I_{K.3.T}(\lambda)}{[1 - r(\lambda)]} \quad (7.1)$$

bu yerda $I_{K.3.T}$ va $I_{K.3.IO}$ - mos ravishda berilgan intensivlikdagi yutilgan va tushayotgan nurlanish uchun quyosh elementi qisqa tutashuv tokining qiymatlari, $r(\lambda)$ - birlamchi qaytish koeffitsienti. Keltirilgan uchchala kattaliklar ham bir xil to'lqin uzunligi bo'lgan hol uchun to'g'ridir.

Quyosh elementi tahlil qilish va sifatini baholash uchun uning $I_{K.3}$ tokining spektral xarakteristikasini yutilgan har bir kvant nur uchun hisoblash o'ta muhimdir. Bu kattalikni quyosh elementi ning effekti vkvant chiqishi deyiladi va $Q_{\phi\phi}$ bilan belgilanadi. Agar N_0 - yarim o'tkazgich material sirtining birlik yuzasiga tushayotgan kvantlar soni bo'lsa, u holda

$$Q_{\phi\phi} = \frac{I_{K.3}}{N_0} \quad (7.2)$$

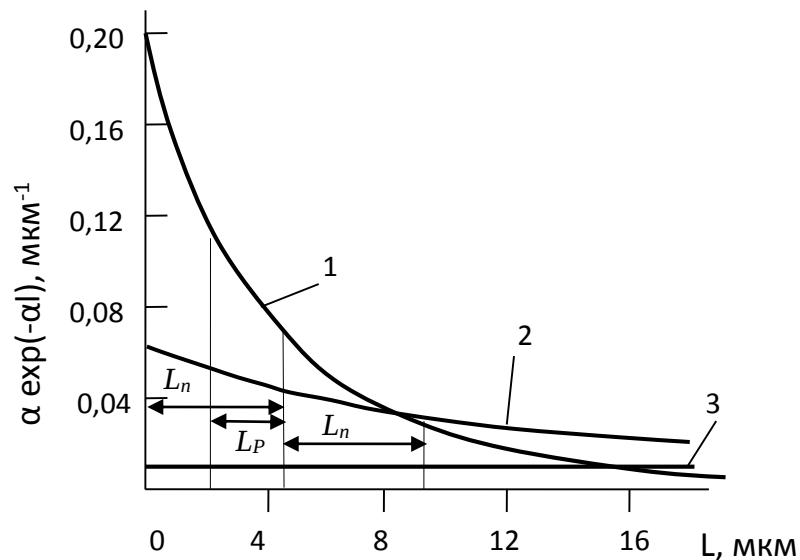
bo'ladi, bu yerda $I_{K.3}$ *элек/сония*da o'lchanadi va $Q_{\phi\phi}$ *элек/квант(фотон)*larda olinishi kerak.

Quyosh elementi effektiv kvant chiqishi ikki parametrga bog'liq bo'lib, u

$$Q_{\phi\phi} = \beta\gamma \quad (7.3)$$

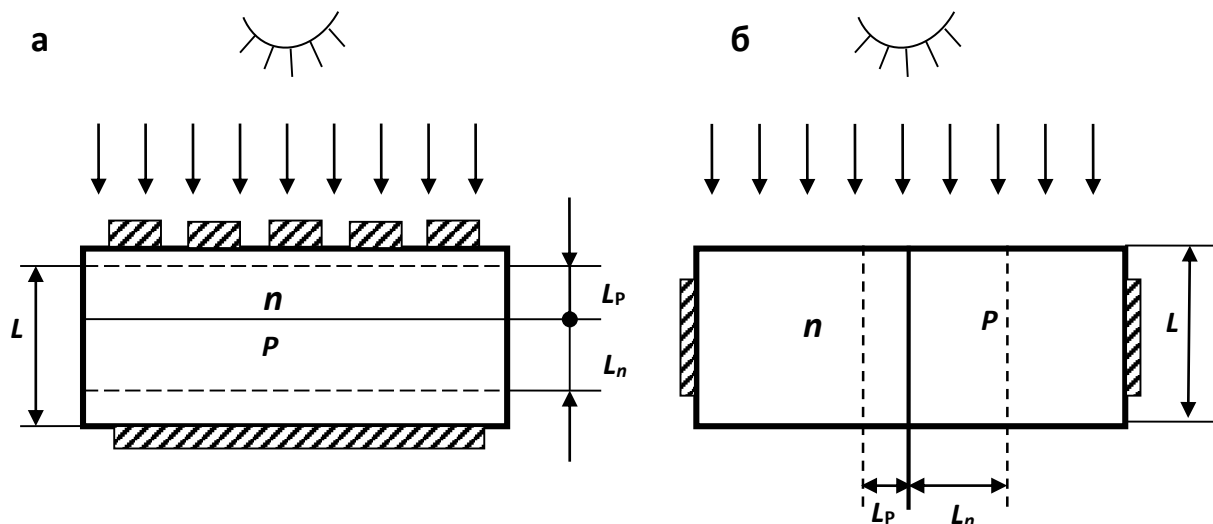
kabi ifodalanadi. β - ichki fotoeffektning kvant chiqishidir. Bu kattalik har bir yutilgan kvant uchun fotoionizatsiya jarayonida yarim o'tkazgich ichida hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklarini ko'rsatadi. γ - **p-n** o'tish potentsial to'siqning tok tashuvchilarni yig'ish (jamlash) koeffitsientidir. 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 bita juftlik qila olishini ko'rsatadi.

Har hil to'lqin uzunlikka ega bo'lgan optik nurlanish materialda materialda har xil chuqurlikka kira oladi (kvantlarning chuqurlikka kirish qobiliyati ularning energiyasiga bog'liqdir). yarim o'tkazgich materiallarda yutilgan kvantlar hisobiga hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar materialda fazoviy taqsimot hosil qiladi. (3-rasmga qarang).



7.2-rasm. Har xil to'lqin uzunlikka ega bo'lgan nurlanishning kremniy asosidagi **p-n** o'tishga perpendikulyar tushgan hol uchun hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklarining taqsimlanishi. 1- $\lambda = 0,619 \text{ MKM}$, $\alpha = 2000 \text{ cM}^{-1}$; 2 - $\lambda = 0,81 \text{ MKM}$, $\alpha = 700 \text{ cM}^{-1}$; 3 - $\lambda = 0,92 \text{ MKM}$, $\alpha = 90 \text{ cM}^{-1}$.

Hosil bo'lgan juftliklarning keyingi taqdiri yarim o'tkazgich materiallarning diffuzion yo'li uzunligiga bog'liqdir. Agar bu parametr kattaligi yetarlicha bo'lsa, u holda nurlanish tufayli hosil bo'lgan ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar faqat diffuziya jarayoni tufayli **p-n** o'tishga kelib uning elektr maydoni orqali ajratilishi mumkin. Optik nurlanishni aylantirilishi jarayonida muhim rolni elektronlarning diffuziya yo'li uzunligi (L_n) va **p-n** o'tish chuqurligi ℓ o'ynaydi, chunki hosil bo'layotgan va ajratilishi kerak bo'lgan juftliklar ularga bog'liqdir. Optik nurlanishning yarim o'tkazgich materialga tushish yo'nalishiga qarab **p-n** o'tish konstruksiyasining ikki xili mavjud va ularni quyidagi 4-rasmda keltirilgan holi uchun ko'rib o'tamiz.



7.3-rasm. Yarim o'tkazgichli kristallda **p-n** o'tishlarning joylashish sxemalariga qarab (a) perpendikulyar va (b) parallel **p-n** o'tish tekisligi uchun optik nurlanishning tushishi. L_n , L_p – **r**- va **n**- sohalar asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari; L – yarim o'tkazgichda nurlanishning kirish chegarasi; shtrixlangan sohalar – **r**- va **n**- sohalaridagi metall kontaktlarining ko'rinishi.

1-hol. Optik nurlanish yo'nalishiga **p-n** o'tish perpendikulyar joylashgan hol. Optik nurlanish qalinligi L ga teng bo'lgan yarim o'tkazgich 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.

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

$$\gamma = \frac{(L_n + L_p)}{\ell} \text{ va } \gamma = \frac{(L_n + L_p)}{d} \quad (7.4)$$

Bu yerda, L_n va L_p - mos ravishda elektronlar va teshiklarning diffuziya yo'li uzunligi.

Birinchi qarashda **p-n** o'tishning parallel joylashishi afzalroq ko'rinadi. Chunki hosil bo'lgan zaryad juftliklarini to'raligicha yig'ish va ajratish uchun yarim o'tkazgich material qalinligi va **p-n** o'tishga nisbatan taqsimlanishi muhimdir. yarim o'tkazgich 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 quyosh elementi larda ularning **p-n** o'tishlari tushayotgan optik nurlanishga parallel joylashtiriladi. Optik nurlanishning uzun to'lqinli qismida bu konstruktsiya zaryad tashuvchilarni yig'ishning yuqori samaradorligiga ega bo'ladi, hamda bir birlik yuzadan katta miqdordagi foto-EYuK olishga imkon yaratadi.

Ta'kidlash lozimki, nisbatan kichkina o'lchamli parallel joylashgan **p-n** o'tishlarga ega bo'lgan mikro quyosh elementi larida rekombinatsiya hodisasining perpendikulyar joylashgan **p-n** o'tishlarga nisbatan kattaligi nazariy va Amaliy jihatdan aniqlangan. SHunin uchun bu turdagi quyosh elementi ning quyosh nurlanishiga qaratilgan yuzasiga qisqa to'liqinli nurlarning spektral effektivligini oshirish uchun qo'shimcha kirishmalar kiritilgan teskari tipdagi o'tkazuvchanlikkaega bo'lgan qo'shimcha yupqa qatlam hosil qilish maqsadga muvofiqdir. Parallel joylashgan **p-n** o'tishli quyosh elementi larida hosil bo'lgan elektron-teshik juftliklar kontsentratsiyasi (M) material yuzasidan ichkarisiga qarab o'zgaradi. Perpendikulyar joylashgan **p-n** o'tishli quyosh elementi konstruktsiyasi uchun esa **n**- turdagi material uchun ham, **r**- turdagi uchun ham hosil bo'layotgan juftliklarning aksariyati **p-n** o'tishga yaqin joyda hosil bo'ladi. Hosil bo'ladigan elektron-teshik juftliklar birlik chuqurlikda quyidagi tenglama orqali aniqlanadi.

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha \ell) \quad (7.5)$$

Bu yerda, N_0 - bir birlik yuzaga tushayotgan kvantlar soni. Juftliklar soni ichkariga qarab kamayib boradi. Ularning soni yarim o'tkazgich materialda yutilishi mumkin bo'lgan sohada $\alpha(E)$ ni aniqlash mumkin. Kremniy uchun natijasi bir necha qiymatga ega bo'lgan to'liqin uzunliklardagi hisoblashlar **n**- va **r**- turdagi materiallardagi zaryad tashuvchilarning diffuzion uzunliklari sohalarini, **p-n** o'tish perpendikulyar bo'lgan hol uchun zaryad tashuvchilar jamlash jarayonini baholash imkonini beradi.

Quyosh elementlarning planar konstruktsiyasi (optik nurlanish tuzilma yuzasiga perpendikulyar tushgan hol) quyosh elementi texnologiyasida va ularni amaliy ishlatishdagi asosiy konstruktsiyadir. Bunday quyosh elementi har xil yarim o'tkazgich materiallar asosida ishlab chiqilgan. Yuqorida keltirilgan tahlillar asosida yuqori samarali optimallashtirilgan konstruktsiyalar ishlab chiqildai. Ammo har qanday material uchun ham ularga qo'yiladigan yuqorida keltirilgan asosiy talablar saqlab qolinishi kerakligi aniqlandi. γ va $I_{K.3}$ ni oshirish uchun **p-n** o'tishning ikkala tomonida ham albatta diffuzion uzunlikni oshirish maqsadga muvofiqdir. Buni amalga oshirish uchun. Kerakli material tanlash va **p-n** o'tishni texnologik tayyorlash jarayonida diffuzion uzunlikni kamaymasligiga harakat qilish kerak. Agar uning kamayishi aniq bo'lsa uni hisobga olish zarurdir. Agar L_d ni frontal sirtida oshirish imkoniyati bo'lmasa u holda frontal sirt qalinligini $L_p \gg L$ ga amal qilgan holda olish kerak. SHu asosda baza parametrlarini tanlash zarurdir.

4-modul

8-mavzu. Fotoelementlarda volt-ampere tasnifi;

Quyosh elementlarining asosiy xarakteristikasi hisoblangan volt-ampere xarakteristika (VAX) va spektral sezgirlik yarim o'tkazgich materiallarning optik va elektrofizik xususiyatlariga bog'liqdir.

Quyosh elementi VAX **p-n** o'tishli yarim o'tkazgich diodning VAX idan yangi I_ϕ hadning paydo bo'lishi bilan farq qiladi. I_ϕ - optik nurlanish ta'sirida quyosh elementida paydo bo'lgan tokdir. Agar I_d – diod orqali oqayotgan tok va I – tashqi yuklanma orqali oqayotgan tok bo'lsa, u holda,

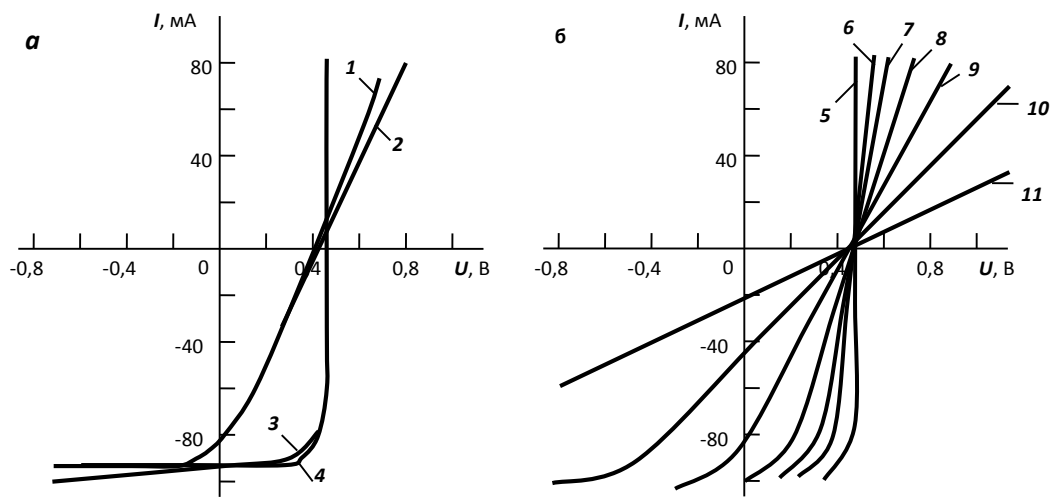
$$I_{\phi} = I_d + I \quad (8) \text{ va } I_d = I_0 \left(\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right) \quad (8.1)$$

Bu yerda I_0 - p-n o'tishning teskari yo'nalishdagi to'yinish toki, q – elektron zaryadi, T – mutlaq harorat, k – Bol'tsman doimiysi, U – kuchlanish.

Qarshiligi cheksiz bo'lgan ochiq zanjir holi uchun, ya'ni $I = 0$ da yuqoridagi tenglamadan

$$U_{x,x} = \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1\right) \cdot \frac{kT}{q} \quad (8.2)$$

kelib chiqadi. 5-rasmda R_n va R_{uu} ning turli xil qiymatlarida quyosh elementi VAX ko'rinishlari (a) va R_n ning $R_{uu} = \infty$ dagi qiymatlari (b) keltirilgan.



8.1-rasm. Quyosh elementi VAX ning ko'rinishlari (a) va R_n ning $R_{uu} = \infty$ dagi qiymatlari (b); 1 - $R_{uu} = 100 \text{ Om}$; 4 - $R_n = 0$, $R_{uu} = \infty$; 5-11 - $R_n = 0$; 1; 2; 3,5; 5; 10 va 20 Om, $R_n = 5 \text{ Om}$, $R_{uu} = 100 \text{ Om}$; 2 - $R_n = 5 \text{ Om}$, $R_{uu} = \infty$; 3 - $R_n = 0$.

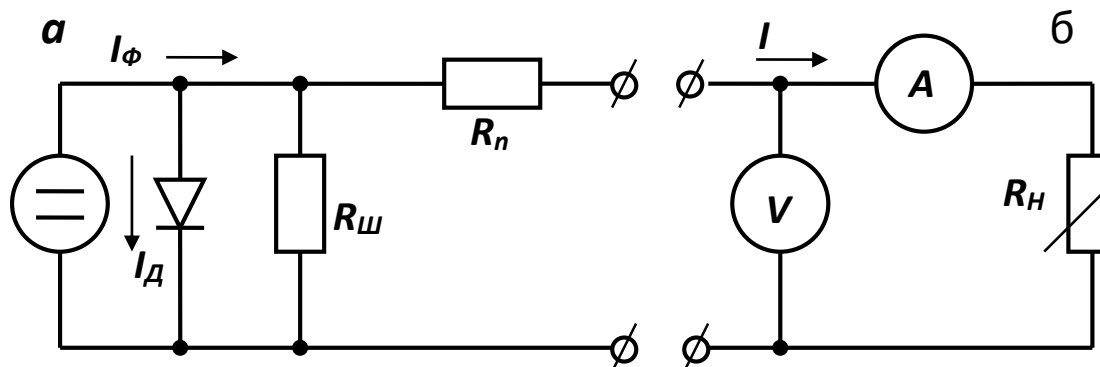
Amalda quyosh elementlarida ketma-ketlik qarshiligini tashkil qiluvchilar bu kontaktlarni tashkil qiluvchi qatlamlar qarshiligi, alohida **p**- va **n**- sohalar qarshiligi, metall-yarim o'tkazgich orasidagi o'tish sohalari qarshiligi, shunt qarshiligi va hokazolardir. Bu qarshiliklarni va r-n o'tishdagi rekombinatsion yo'qotishlarni hisobga olib VAX ni murakkabroq ko'rinishda ifoda etish mumkin, ya'ni

$$\ln\left\{\frac{(I + I_f)}{I_0} \cdot \frac{(U - IR_n)}{I_0 R_{sh} Q}\right\} = \frac{q(U - IR_n)}{AkT} \quad (8.3)$$

Kiritilgan koeffitsient A amaldagi asbobning ideal asbobga nisbatan yaqinlik darajasini ko'rsatadi. Bu tenglamani amaliyotga yaqin qilib quyidagicha yozish mumkin.

$$I = I_f - I_0 \{ \exp [q (U + IR_n) / AkT] - 1 \} - (U - IR_n) / R_{sh} \quad (8.4)$$

Bu tenglama asosida olingan ayrim hisob-kitob natijalari 8.2-rasmda va quyosh elementining ekvivalent hamda o'lchash sxemasi 6-rasmda berilgan.



8.2-rasm. Quyosh elementining ekvivalent (a) va o'lchash (b) sxemalari.

Quyosh elementining birlik yuzasidan olinayotgan quvvat R ni quyidagi tenglamadan baholash mumkin.

$$P = (I_n U_n)_{max} = FF I_{kz} U_{xx} \quad (8.5)$$

Bu yerda FF (yoki ξ) – volt-ampere xarakteristikasining to'ldirish koeffitsienti, ya'ni VAX shaklining to'g'ri to'rtburchakka qay darajada yaqinligini ko'rsatadi. To'ldirish koeffitsienti hozirgi zamon quyosh elementi larida (kremniy va galliy arsenidi elementlarida) 0.8 va undan kattadir. Ketma-ket va shunt qarshilik ta'sirini 5-rasmdan VAX ga ta'sirini ko'rib o'taylik. Rasmdan ko'rinadiki, shunt qarshilik R_u ni cheksizlikdan 100 Ω gacha kamayishi VAX shakliga va quyosh elementi ning chiqish quvvati R_v ga deyarli ta'sir etmaydi. Holbuki, R_n ning 1 Ω dan 5 Ω gacha o'zgarishi VAX shaklining keskin yomonlashishiga va chiqish quvvati R_v ga gisbatan kamayishiga olib keladi.

Quyosh elementi VAX ning yorug'lik va qorong'ulikdagi xususiyatlarini aniqroq tahlil qilish mumkin. Odatda kuchlanish darajasiga qarab **p-n** o'tishdan o'tayotgan teskari to'yinish tokining o'tish mexanizmi o'zgaradi. Bu tok odatda ikkita tokning yig'indisidan iborat, ya'ni

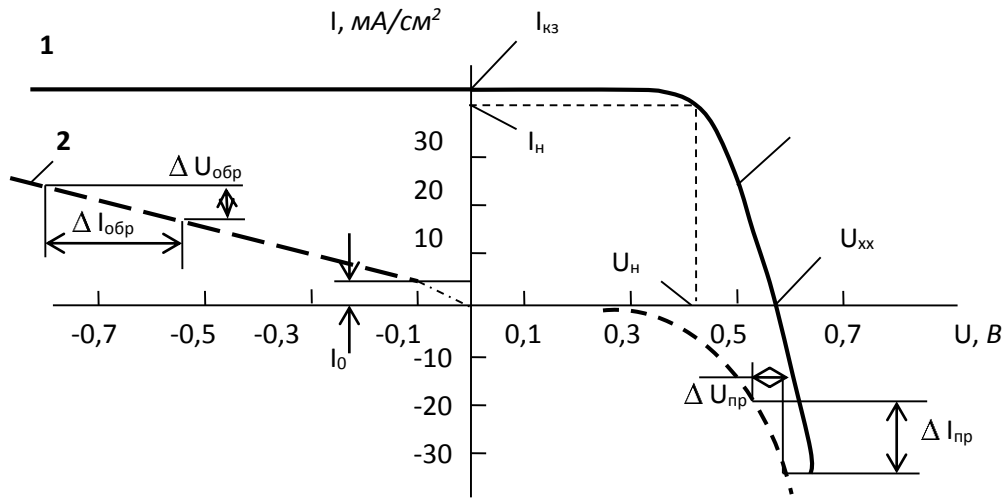
$$I = I_{01} [\exp(qU/AkT) - 1] + I_{02} [\exp(qU/AkT) - 1] - I_f \quad (8.6)$$

Bu yerda I_{01} – yupqa p-n o'tish orqali diffuzion mexanizm vositasida oqayotgan tok, I_{02} – esa $A=2$ ga teng bo'lgan hol uchun p-n o'tish sohasida rekombinatsiya hodisasi uchun teskari to'yinish toki. Quyosh elementlarining qorong'ulik va yorug'likda o'lchangan VAX asosida ulraning ayrim parametrlarini aniqlash mumkin. Bular jumlasiga I_0 , R_n , R_{sh} , A parametrlar kiradi. Quyida

keltirilgan 7-rasmda AM 0 sharoitda va qorong'ulikda olingan quyosh elementi ning tipik VAX lari keltirilgan. Birinchi kvadrantdagi yorug'lik sharoitida olingan VAX va uning to'rtinchi kvadrantdagi davomi to'g'ri chiziqlardir. Bu to'g'ri chiziqlarning toklar o'qiga qiyaligi quyosh elementi ning ketma-ketlik qarshiligini belgilaydi.

$$R_n = \Delta U_{np} / \Delta I_{np} \quad (8.7)$$

Bu yerda, $\Delta U_{np} / \Delta I_{np}$ qiymatining ΔU_{xx} - ga yaqin sohasidagi o'zgarishi olinadi. Keltirilgan xarakteristikaning birinchi kvadrantdagi qismi va uning ikkinchi kvadrantdagi davomi to'g'ri chiziqdan iborat.



8.3-rasm. Atmosferadan tashqari holdagi Quyosh nurlanishi uchun o'lchangan hozirgi zamon kremniy asosidagi quyosh elementi ning tipik volt-ampere xarakteristikasi. 1 – yorug'lik ta'siridagi; 2 - qorong'ulikdagi holatlar.

Uning kuchlanishlar o'qiga og'masi quyosh elementi dagi shunt qarshiligi R_{II} ning qiymatini belgilaydi, ya'ni

$$R_{II} = \Delta U'_{np} / \Delta I'_{np} \quad (16)$$

bu yerda $\Delta U'_{np}$ va $\Delta I'_{np}$ lar qiymatlari qisqa tutashuv toki $I_{K.3}$ ga yaqin sohadagi o'zgarishi olinadi.

Yorug'likda olingan VAX ning qisqa tutashuv toki $I_{K.3}$ atrofidagi to'g'ri chiziq qiyalginio'zgartirilishi qiyin bo'lganligi uchun, shunt qarshiligi R_{II} qorong'ilikda olingan VAX ning qiyaligidan aniqlanadi (ikkinchi kvadrant shtrix chiziq), ya'ni

$$R_{II} = \Delta U_{o6p} / \Delta I_{o6p} \quad (17)$$

Qorong'ilikda olingan xarakteristika yordamida teskari to'yinish toki I_0 ni aniqlash mumkin. Quyosh elementlari **p-n** o'tishi ish rejimida to'g'ri yo'nalishda ulangan bo'ladi, ya'ni optik nurlanish ta'siri natijasida muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilarning **p-n** o'tishga ikkala tomondan hosil bo'lishi, bu **p-n** o'tishning to'g'ri yo'nalishda ulanganligini ko'rsatadi. SHuning uchun, teskari to'yinish toki I_0 va ideallanish koefitsienti A ning tfg'ri yo'nalishdagi qorong'ilikda yoki yorug'likda o'lchangan VAX idan topish maqsadga muvofiqdir. Qorong'ilikda olingan VAX ga taalluqli diod tenglamasini boshqacha ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin.

$$\ln(I_{\pi} + I_0) = \ln I_0 + \frac{qU}{AkT} \quad (8.8)$$

bu tenglama hisob-kitob uchun tokning qiymati katta bo'lgan $I_{\pi} \gg I_0$ sharoitda ishlatilishi va teskari to'yinish toki rekombinatsion mexanizm asosida **p-n** o'tish orqali o'tadigan holi uchun ishlatilishi mumkin. quyosh elementi ning to'g'ri yo'nalishda o'lchangan VAX (katta tok va kuchlanishlar uchun) asosida $\ln I_0 = f(U)$ funktsiyasini chizish mumkin. bu tenglama qiyaligining tangensi $\frac{qU}{AkT}$ ag teng bo'ladi. Uning ordiniti o'qida kesgan kesmasi $\ln I_0$ ning qiymatini beradi.

quyosh elementi real ishlashiga yaqin sharoitda I_0 va A ning qiymatini aniqlashning yana bir usuli mavjud. Buning uchun yorug'lik oqimi zichligining hech bo'lmaganda ikki xil qiymatida imitator yordamida quyosh elementining VAX o'lchanadi. Ketma-ketlik qarshiligi R_{π} uchun kuchlanishlar pasayishi va p-n o'tish sohasida rekombinatsiya bo'lishi jarayoni uchun yuqoridagi tenglamani keltiramiz, ya'ni

$$I = I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(U - IR_{\pi})}{AkT} \right\} - 1 \right] - I_{\phi} \quad (8.9)$$

Salt ishlash rejimida $I = 0$, $U = U_{xx}$ bo'lgani uchun, $R_{\pi} = 0$ va $I_{\phi} = I_{K.3}$ deb olish mumkin. U holda,

$$\ln(I_{K.3} + I_0) = \ln I_0 + \frac{qU_{xx}}{AkT} \quad (8.10)$$

Bu tenglamani qo'llash uchun etalonli quyosh elementi yordamida harbir yangi optik nurlanish oqimi zichligiga to'g'ri keladigan $I_{K.3} = f(E)$ tenglamaning chiziqli qiymatlari topiladi va undan $I_{K.3}$ va U_{xx} aniqlanadi. Tangens burchagidan $\frac{q}{AkT}$ ning qiymati topiladi va uning ordinata o'qi kesishadigan kesmasidan $\ln I_0$ ning qiymati aniqlanadi.

Quyosh elementlarini tashkil qiluvchi tuzilmalarning xususiyatlarini o'rganish.

Yuqorida keltirilgan qonuniyatlar shuni ko'rsatadiki, har bir jarayonning samaradorligi yarim o'tkazgich materialning optik va elektrofizik xususiyatlariga (tuzilma sirtida yorug'likning

qaytishiga fotoionizatsiya hodisasining kvant chiqishiga, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion yo'lining uzunligi L_n ga, asosiy yutilish chegarasining spektral holatiga va hokazolarga), r-n o'tishning xarakteristikasiga (elektr tokining o'tkazish mexanizmiga, potentsial to'siqning kattaligiga, hajmiy zaryad sohasining kengligiga), geometrik faktoriga (ba'zi materialning diffuzion yo'li uzunligi va ba'zi qalinligi orasidagi munosabatga, ya'ni L_n va ℓ ga), hamda n- va r- sohalaridagi yarim o'tkazgich materialning legirlanish darajasiga bog'liqdir. Bundan tashqari ketma-ketlik qarshiligi R_n ning VAX shakliga va quvvat R ga ta'sirini aniqlash zarurdir. O'z navbatida ketma-ketlik qarshiligining qiymati uni tashkil qiluvchi qismlar qarshiliklari va kontakt qatlamlarining geometrik joylashuvi bilan ham aniqlanadi. Bir-biriga qarama qarshi bo'lgan talablarni kompromiss texnik yechimlarga keltirish natijasida tushayotgan yorug'lik nurlanishiga perpendikulyar joylashgan **p-n** o'tishli quyosh elementlari konstruksiyasi tanlab olingan. Hozirgi zamonda ayrim qo'shimchalar kiritilgan holda (tortuvchi elektr maydoni kiritilishi, orqa tomondagi kontaktga izotip to'siqlar olish, butun qoplamali kontakti to'rsimon kontaktga almashtirish, sirtqi yuzani teksturalash, orqa tomonga akslantiruvchi qoplamalar hosil qilish) yuqoridagi konstruksiya saqlab qolingan.

Quyosh elementini samaradorligini oshirish maqsadida uning frontal yorug'likni qabul qiluvchi tomoniga radiatsion-himoya qoplamasi, haroratni boshqaruvchi va yuzani tiniqlashtiruvchi qoplamalar hosil qilinadi. Quyosh elementining ishlashi jarayonida bu qoplamalar material ichiga kiruvchi nurlanish miqdorini ko'paytiradi, ortiqcha issiqlikni nurlantirish hisobiga kamaytiradi. Bundan tashqari qoplamalar Yerda noqulay iqlim sharoitlarida va koinotga ularni radiatsiyadan himoya qiladi. Quyosh elementi frontal, optik nurlanishga qaratilgan yuzasini, odatda fosfor atomlari kiritilgan kremniyning yupqa qatlamidan tayyorlanadi va uni 10^{20} sm^3 gacha va undan ham ko'proq darajagacha legirlashadi.

Elementning bazasiga esa bor kirishmasi 10^{15} - 10^{16} sm^3 darajagacha kiritiladi quyosh elementlarining optik nurlanishga qaratilgan frontal sirtini 5-7% gacha egallagan xar xil topologiyali to'rsimon kontakt bilan qoplanadi .

P-n o'tishdan elektr maydoni vositasida ajratilayotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar tashqi zanjirga o'tishi kerak. Yarim o'tkazgich material frontal sirtida (**n**- tip qoplamada) zaryadlar qoplama bo'ylab harakatlansa, quyosh elementi bazasida (**r**- tipdagi materialda) ularning harakati perpendikulyar yunalishda bo'ladi. O'ta legirlangan frontal qatlamda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion yo'li uzunligi 0,2 – 0,6 mkm ni tashkil etadi. Element bazasida esa bu kattalik 100-250 mkm gacha boradi va ularning qiymatlari zaryadlar kontsentratsiyasi va quyosh elementlari tayyorlash jarayonida bajariladigan texnologik opertsiyalarning rejimiga bog'liq bo'ladi.

Aytish joizki, quyosh elementlarini tayyorlash jarayonida bajariladigan texnologik operatsiyalar davomida yarim o'tkazgich materialda kerak bo'lmagan, nazorat qilib bo'lmaydigan kirishmalar va rekombinatsiya markazlari paydo bo'lishi natijasida uning dastlabki parametrlari o'zgaradi. SHuning uchun, yarim o'tkazgich material parametrlarini quyosh elementlari tayyorlash jarayoni oxirida turli xil vositalar bilan qaytadan o'lchash maqsadga muvofiqdir.

Legirlangan frontal qatlamda diffuzion uzunlik qiymatining nisbatan kamligi **p-n** o'tishni sayozroq qilishni talab qiladi (hozirgi zamon quyosh elementlarida frontal qatlam qalinligini 0,3 –

0,5 mkm qilib olinadi). Ammo, quyosh elementiga tushayotgan Quyosh nurlanishining asosiy qismidan foydalanish uchun, ya'ni $h\nu = E_g$ bajarilishi uchun, quyosh elementi bazasi qalinligi 200 mkm dan kam bo'lmashligi talab qilinadi. Bunday qalinlikdagi kremniy plastinalari nisbatan mexanik ishlov berishga yaroqli bo'lishi bilan birga, o'larda no'rlanishning 93-95% gacha qismi yutilishi mumkin. Baza sohasining qarshiligi uncha katta qiymatda bo'lmayda, chunki tok qalin bazaga perpendikulyar ravishda o'tadi. Tayyorlanadigan omik kontaktning birinchi qatlami alyuminiydan qilinadi. Alyuminiy **r**-materialda kirishma bo'lgani uchun, u kremniyga yaxshi omik kontakt beradi va keyin uning ustiga *Ti*, *Pd*, *Ag* yoki *Ni* va kerakli priпой qotishmasi qoplanadi. Quyosh elementining frontal **n**-qatlamining qarshiligi nisbatan katta bo'lib 50-100 gacha borishi mumkin. Bunday qarshilikni yengish uchun yuqorida kursatilgan materialardan birin-ketin qatlamlar o'tqaziladi. Bu texnologik jarayonlar o'tkazilishida frontal yupqa qatlamni elektrik teshilishini oldini olinishi talab qilinadi.

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, agar frontal yupqa qatlamga kontakt materiali dastlab butun sirtga qoplama sifatida olinib, keyin ma'lum shaklli rasmni fotolitografik jarayon vositasi bilan ximik yemirish orqali bajarilsa, frontal yuzada ko'plab mikro teshilgan xududlar paydo bo'lar ekan. Bu esa o'z navbatida, shunt qarshiligini kamaytirib teskari to'yinish toki I_0 ni oshirib yuborar ekan. SHuning uchun frontal kontaktlar topologiyasini niqob orqali yoki fotolitografik jarayonni kontakt olinishidan oldin o'tkazilishi talab qilinadi.

Yuzasi $2 \times 2 \text{ sm}^2$ bo'lgan quyosh elementi frontal sirtining qatlam qarshiligi 50dan 100 $OM \cdot CM$ gacha bo'lsa, unga bir dona kengligi 0,5-1 mm li kollektor (yig'uvchi) yo'lkasi va 6 tadan 12 gacha undan chiquvchi kengligi 0,05-0,1 mm bo'lgan yo'lkachalar o'tkaziladi. Natijada ketma-ketlik qarshiligi R_p ni 0,15-0,2 Om gacha kamaytirish mumkin bo'ladi. Ammo, sayoz **r-n** o'tishlar tayyorlanganda (misol, $\ell = 0,15-0,4$) frontal qatlam qarshiligi 500 $OM \cdot CM$ gacha ortishi mumkin, u holda 4 sm^2 yuzali quyosh elementida yo'lkachalar sonini 60 gacha ko'paytiriladi. Yo'lkachalar kengligi 15-20 mkm qilinib, elektroximik qayta o'stirishlar vositasida kontakt qalinligi 3-5 mkm gacha yetkaziladi. Agar hisob kitob aniq bo'lib, texnologik jarayonlar mukammal bajarilsa, quyosh elementining VAX keskin yaxshilanadi.

9-mavzu. Quyosh elementlari tayyorlash uchun kerak bo'ladigan optimal parametrlari yarim o'tkazgichli materiallar.

Quyosh elementlari yaratishning dastlabki davrlarida quyosh nurlanishining spektri maksimumiga qiyoslab, optimal material sifatida man qilingan sohasining kengligi 2 eV bo'lgan $Y\alpha O'$ material olingan. Keyinchalik esa, shu narsa aniqlandiki, fotoaktiv kvantlar sonini oshirish va qisqa tutashuv tokining o'sishi uchun man qilingan soha kengligi E_g ning qiymati 2 eV dan kichik bo'lishi kerak ekan. Ammo bu holat uchun generatsiya qilinayotgan foto-EYuK ning qiymati nisbatan kamayishi aniq, chunki **p-n** o'tishdagi potentsial to'siq qiymati pasayadi.

Keyinchalik varizon (man qilingan soha qiymatini o'zgartirish imkoniyati mavjud bo'lgan materiallar) $Y\alpha O'$ materiallarni QE tayyorlashda ishlatilishi imkoniyati paydo bo'lganida, ularni tadbiq qilishning 2 xili taklif qilindi.

1. Bevosita geteroo'tishlarni qo'llash.

2. Man qilingan sohasi qiymati baza materiali man qilingan sohasi qiymatidan katta bo'lgan $Y\alpha O'$ qatlamni keng sohali deraza sifatida qo'llash.

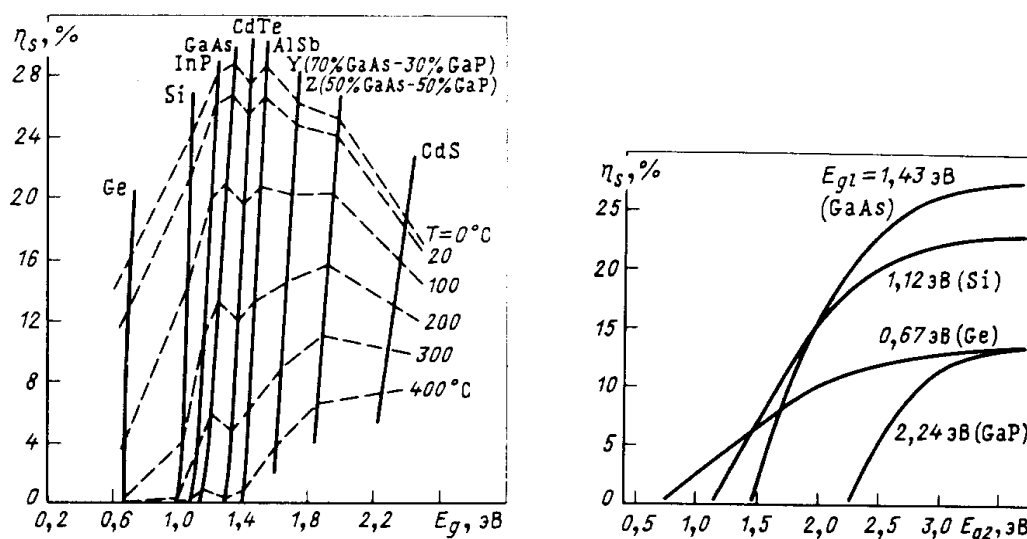
Baza sifatida qo'llanilishi kerak bo'lgan materialning QE xususiyatlariga ta'siri to'g'risida ikki xil qarama-qarshi nuqtai nazar mavjud. QE F.I.K. ning baza materiali man qilingan sohasi

kengligiga jiddiy bog'likligini asoslash uchun element VAX ni analiz qilish va unga tushayotgan optik nurlanish spektri ta'sirini o'rganish zarur.

1956 yil J.Loferskiy tomonidan Yer sharoitidagi quyosh nurlanishi

spektri uchun yuqorida talab qilingan nazariy hisob - kitob bajarildi. Har xil optimallashtirilgan materialdan tayyorlangan QE uchun optik va fotoelektrik yo'qotishlarning qiymati baholandi. Bunday namunalarning natijalari quyidagi 8- rasmda ko'rsatilgan.

Rasmdan shu narsa ko'rinadiki, kremniy materiali asosidagi quyosh elementlari foydali ish ko'effitsientidan kattaroq F.I.K. olish imkoniyati, man qilingan sohasi 1,1-1,6 eV intervalida bo'lgan YaO' materiallarida mavjud. Maksimal fotoelektrik samaradorlik olish (maksimal F.I.K.) uchun QE VAX ga tegishli bo'lgan A va I_0 parametrlar yordamida aniqlanadigan teskari to'yinish tokining p-n o'tish orqali o'tish mexanizmini aniqlash o'ta muhimdir. YaO' materialning quyosh nurlanishi fotoaktiv yutilishining spektral sohasini kengaytirishga nisbatan, p-n o'tishning yuqorida qayd etilgan parametrlarini mukammallashtirish samaradorlikni oshirishga imkoni kuproqdir. Gomogen YaO' material asosidagi p-n o'tishli quyosh elementlarda p-n o'tish odatda yorug'lik ta'sirida uning ikkala tomonida hosil bo'lgan ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni ajratadi va yig'adi.

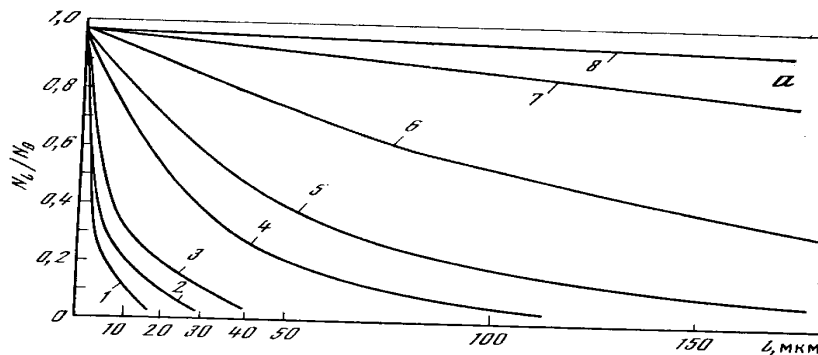


9.1-rasm. Har xil material asosidagi quyosh elementlari foydali ishkoeffitsientining yarim o'tkazgichli kristall man qilingan soha kengligiga bog'lanishi.

Quyosh elementining effektiv kvant chiqishi Q_{eff} va yig'ish ko'effitsienti γ amalda bir xil kattalikdir, shuning uchun bu ikki kattalikni bir xil belgida yozamiz va uni yig'ish ko'effitsienti Q deb ataymiz. Bu fizik kattalik, p-n o'tish orqali o'tgan va ajratilgan ortiqcha zaryad tashuvchilarning optik nurlanish vositasida hosil qilingan elektron-teshik juftliklar soniga, nisbatidir. Q xuddi p-n o'tish orqali o'tayotgan toklardek, r- va n-sohalar yig'ish ko'effitsientlarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$Q = Q_n + Q_p = I_{kz}/(1-r)qN_e, \quad (8.1)$$

bu yerda I_{kz} r- va p-sohalaridagi elektron va teshiklar toklarining yig'indisidir. YaO' material ichiga kirgan quyosh nurlanishi fotonlari taqsimoti N_e , material uchun belgilangan $\alpha(\lambda)$ orqali hisoblanadi. SHunday hisob-kitoblar natijasi, kremniy va galliy arsenidi materiallari uchun quyidagi 10- rasmda keltirilgan.



9.2-rasm. Nurlanishning xar xil to'liqin uzunliklari uchun kremniydagi ℓ chuqurlikkacha yetib borgan fotonlarning nisbiy qiymati.

1 – 0,5 mkm; 2 – 0,7 mkm; 3 – 0,8 mkm; 4 – 0,9 mkm; 5 – 0,95; 6 – 1,0 mkm;
7 – 1,05 mkm; 8 – 1,1 mkm.

Har xil to'liqin uzunlikdagi fotonlarning Si materialida (10a- rasm) taqsimoti ko'rsatilgan. Fotonlarning nisbiy qiymatlari har xil to'liqin uzunliklari uchun keltirilgan, 1 – 0,5 mkm, 2 – 0,7 mkm, 3 – 0,8 mkm, 4 – 0,9 mkm, 5 – 0,95mkm, 6 – 1,0 mkm, 7 – 1,05 mkm, 8 – 1,1 mkm .

Kuyosh elementlar tayyorlanadigan materialning turli chuqurlikdagi qatlamlaridan zaryad tashuvchilarning yig'ilishini nisbiy baholash uchun, kremniyga tushayotgan optik nurlanishning to'liqin uzunliklariga qarab nisbatan kirish qobiliyati ($1/\alpha$) haqidagi ma'lumotlar quyida keltirilgan jadvalda ko'rsatilgan ($\alpha = 4\pi\kappa$).

λ	0,45	0,5	0,56	0,6	0,65	0,7	0,75
$1/\alpha$	0,4	0,89	1,61	2,12	3,06	4,33	6,14
λ	0,80	0,85	0,90	0,95	1,05	1,10	
$1/\alpha$	8,90	14,0	24	63	2000	4000	

P-n o'tish orqali oqayotgan diffuzion tok (qisqa tutashuv tokining tashkil etuvchisi), kirishmalarning r-tip materialdan qilingan bazadagi taqsimoti bir tekis va tortuvchi elektr maydoni mavjud bo'lmagan holati uchun quyida keltirilgan formula

$$I_{kz} = q \alpha L_p N_0 (-\alpha \ell_p / (1 + \alpha \ell_p)) \quad (8.2)$$

Orqali ifodalanadi. Agar baza p-tip uo'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, tenglamadagi L_p , L_r ga almashadi. Bu tenglama yordamida QE bazasidagi diffuzion uzunliklarning oddiy va haqiqatga yaqin qiymatini aniqlash usulini topish mumkin. Qisqa tutashuv toki I_{kz} va yig'ish koeffitsienti Q ning uzun to'liqinli qismi o'zgarishining (~ 1 mkm atrofida) legirlangan qatlamdagi yutilishini hisobga olmaslik mumkin, va natijada I_{kz} va Q ning qiymati element bazasidagi ularning qiymatlari bilan aniqlanadi. SHuning uchun, yig'ish koeffitsientining spektral bog'lanishini quyidagicha ifodalash mumkin.

$$Q(\lambda) = \alpha L_p \exp(-\alpha \ell_p / (1 + \alpha \ell_p)) \quad (8.3)$$

hozirgi zamon QE uchun $\ell_p \approx 0,15-0,5$ mkm va $\lambda = 1$ mkm da $A = 80 \text{ sm}^{-1}$ bo'lgani uchun, $\exp(-\alpha \ell_p)$ ning qiymati 1 ga yaqin bo'ladi. Natijada yuqoridagi tenglama yanada soddalashib $L_p = Q(\lambda) / \alpha [1 - Q(\lambda)]$ ko'rinishni oladi.

QE ning qisqa tutashuv tokini va akslanish koeffitsienti r ning $\lambda = 1$ mkm dagi va N_e ni qiymatini (yuqoridagi rasmdan) bilgan holda Q ning $\lambda = 1$ mkm bo'lgandagi qiymatini yoki L_p ni

topish mumkin. Agar hisob-kitob 3 ta yaqin qiymatdagi to'liq uzunliklari uchun olib borilsa (Masalan, $\lambda = 0,95 \text{ mkm}$, $1,0 \text{ mkm}$, $1,05 \text{ mkm}$ larda) va L_p ning uchta qiymatidan o'rtachasi olinsa aniqlash haqiqatga yaqinroq bo'ladi. Agar QE ning bazasida yoki frontal qatlamida element effektivligini oshi rish uchun tortuvchi elektr maydonlar hosil qilingan bo'lsa, L_p ning qiymati qatlam qalinligi bo'yicha o'zgaruvchan xarakterga ega bo'ladi va uni aniqlash qiyinroq bo'ladi.

So'nggi vaqtlarda difuzion uzunlikni hisoblashning va eksperimental o'lchashning oddiy usullari ishlab chiqilmoqda. Frontal qatlamda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning qiymatini hisoblash usullaridan biri (ℓ/L ni o'lchashdir) taqqoslash usulidir, ya'ni agar avvalroq ℓ aniqlangan bo'lsa, Q ning qisqa to'liqlik qism uchun eksperimental va hisob-kitob qilingan qiymatlari taqqoslanadi. P-n o'tish chuqurligini aniq baholash usullari mavjud bo'lib, ular qatoriga anodlash, shar va qiyshiq shlif yordamida aniqlash usullari kiradi. Yig'ish koeffitsienti Q ning ma'lum qismini alohida tahlil qilish asosida (spektrning qisqa to'liq uzunligidagi qismida), agar diffuziya koeffitsienti D aniqlangan bo'lsa, S/D ning qiymatini topish mumkin.

Keyin rekombinatsiya doimiysi S ni aniqlab, ℓ ni frontal qatlam qalinligi o'rniga quyib L_r ni hisoblab topish mumkin. Yana bir usul bu spektral sezgirlikning maksimal qiymatidan p-n o'tish chuqurligini va L_p ni topishdir.

5-modul

10-mavzu. Fotoelementlarning foydaliish koeffitsienti.

Quyosh elementi va quyosh batareyasining foydali ish koeffitsientini (F.I.K.) aniqlash uchun tushayotgan optik nurlanish energiyasining miqdorini va element yoki batareya ishlab chiqargan elektr energiyasining miqdorini bilish zarur. F.I.K.ni aniqlash uchun quyida keltirilgan masalalarni yechish kerak bo'ladi.

1. Quyosh nurlanishi atmosfera holatiga va uning vaqt davomida tez o'zgarishiga olib kelganligi uchun, uning spektral tarkibini va quvvatini aniq o'lchash kerak.
2. Birinchi punktni hisobga olgan holda aniq quyosh xarakteristikasini qaytara oladigan imitatorlar (quyoshdan tarqalayotgan optik nurlariga o'xshash nurlar paydo qila oladigan qurilmalar) yasash ilmiy texnik muammo bo'lib, haligacha to'liq yechilmagan.
3. Imitatorlarda taqqoslash uchun ishlatiladigan parametrlari vaqt davomida stabil o'zgarmaydigan kerakli spektral sezgirlikka va diapazonga ega bo'lgan QE ishlab chiqish uchun materialning optik va elektrofizik xususiyatlarini hisobga olgan holda tanlash lozim.
4. Quyosh elementlari va batareyalarining elektrik parametrlarini o'lchash davomida o'lchov asboblarning ketma-ketlik qarshiligining ta'sirini hisobga olish zarur.

Xulosa qilib aytganda, quyosh elementlari va batareyalarining

F.I.K.ni aniqlash bu murakkab kompleks masala bo'lib, uni alohida o'rganish lozim bo'ladi. quyosh elementlarining asosiy o'lchanadigan parametri bu optik nurlanish tushish davomida yuklanma ulanganida o'lchanadigan volt-ampere xarakteristikasidir va uning yordamida keyin quyida keltirilgan parametrlar topiladi;

1. QE ishlab chiqarayotgan quvvat $P = U_{opt} I_{opt}$ hisoblash mumkin,
2. Salt yurish kuchlanishining o'lchangan (U_{xx}) qiymatiga asosan YaO' material man qilingan sohasining tuzilmada ishlatish samaradorligini aniqlash mumkin,
3. Elementning qisqa tutashuv toki va to'ldirish koeffitsienti (I_{kz} va ξ) asosida tuzilmadagi optik va fotoelektrik yuqotishlar haqida ma'lumot olish mumkin,
4. quyosh elementi F.I.K.ni $\eta = I_{kz} U_{xx} 100\% / E_{pad} S$ formuladan aniqlash mumkin (S -KE yuzasi, sm^2 larda olinadi).

Quyosh elementi foydali ish koeffitsientini aniqlanish darajasi elementga tushayotgan optik nurlanishning energiyasini aniqlashga bog'liq buladi. Elementga tushayotgan nurlanish energiyasini o'lchash usullaridan biri oldindan gradirovka qilingan etalon QE yordamida o'lchashdir.

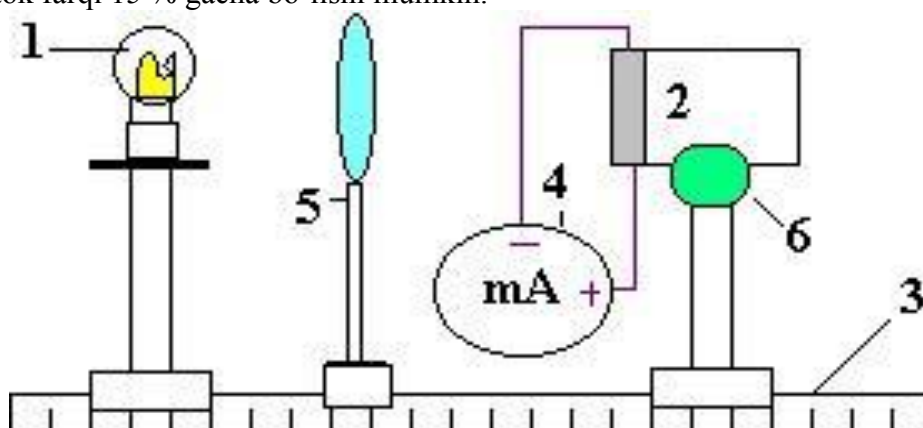
Etalon uchun muljallangan QE ni gradirovka qilish uchun qisqa tutashuv toki I_{kz} ning absolyut

qiymatini topish kerak. Buning uchun mutlaq spektral sezgirlikni standart atmosferadan tashqari uchun yoki Yer sharoiti uchun nurlanish spektriga qayta hisoblash kerak. quyosh elementi, batareyasi parametrini o'lchashni laboratoriya sharoitida, Yer va koinot sharoitlarida o'lchash usullari mavjud.

11-mavzu. Etalon fotoelementlari va ularni graduirovka qilish usullari.

Quyosh nurlanishi imitatorlarining nurlanish energiyasining spektral taqsimlanishi standart quyosh nurlanishidan albatta farq qiladi. QE sezgirliги selektiv (tanlovchi) bo'lgani uchun QNI intensivligini noselektiv nurlanish qabullagichlari (radiometrlar) bilan sozlash maqsadga muvofiq emasdir. SHuning uchun, sezgirlikni hamda boshqa parametrlarni o'lchashda maxsus etalonli quyosh elementlari qo'llaniladi. Etalonli yoki standart QE – bu selektiv sezgirlikka ega bo'lgan amaldagi radiometrlardir.

Atmosfera massasining nisbatan bir xil qiymatligiga qaramasdan quyosh nurlanishi oqimining zichligi atmosfera tarkibining oz miqdorda o'zgarishiga qarab keskin o'zgarishi mumkin. Har xil atmosfera sharoitlarini taqqoslash natijasi shuni ko'rsatadiki, quyosh nurlanishining oqim zichligi ayrim o'zgarishlardan keyin noselektiv radiometrlar bilan o'lchanganda, nurlanishning spektral tarkibi bir-biridan jiddiy farq qilganda ham, bir xil natijani ko'rsatishi mumkin. Bunga sabab QE ning selektiv sezgirligining har xilligidir. Hattoki, yuqori sifatli materialdan qilingan va effektivligi katta bo'lgan QE larida ham, Yer sharoitida bir xil energetik yoritilganlik sharoitida o'lchangan qisqa tutashuv toki I_{kz} , atmosfera holati har xil bo'lsa, o'lchangan tok farqi 15 % gacha bo'lishi mumkin.



11.1-rasm. Milliampmetr yordamida jismni graduirovka qilish sxemasi. 1-cho'g'lanma lampa, 2-fotoelement tutib turuvchi qism, 3- qurilmaning tayanch qismi, milli ampermetr, 5-linza, 6-burchakmetr.

Etalon QE larining qisqa tutashuv tokini aniqlab graduirovka qilishda standart yoritilganlikdan foydalanish talab qilinadi. Buning uchun etalon element yordamida QNI sozlanadi – ya'ni uning nurlanishi oqimi basharilgan holda o'zgartirilib, qisqa tutashuv tokini standart holdagi I_{kz} ga teng bo'lguncha davom ettiriladi.

Ta'kidlash lozimki, QNI ish sohasining energetik yoritilganligi aslida aniq standart sharoitdagi optik nurlanishning energetik yoritilganligini takrorlamaydi. Bunga asosiy sabab, nurlanishni baholash konkret konstruktiviyali selektiv sezgirlikka ega bo'lgan, quyosh elementga ta'sir orqali amalga oshiyapti.

Misol, harorati 2850°K bo'lgan cho'g'lanma yoritgichdan yoritilayotgan kremniy asosidagi, p-n o'tish chuqurligi 0,5 mkm li QE ning qisqa tutashuv toki I_{kz} koinot sharoitida, energetik yoritilganligi suvli fil'trdan ($d=40\text{ mm}$ li) keyin 780 Vt/m^2 ga teng bo'lgan va fil'trsiz esa 960 Vt/m^2 ga teng bo'lgan element tokiga teng bo'ladi. Bundan farqli, ikkala hol uchun xam etalon QE shunday lampa yorug'ligida 1360 Vt/m^2 yoritilganlikni ko'rsatadi.

Etalon QE larini qo'llash, nurlanish manbai sifatida energiya taqsimlanish spektri ixtiyoriy bo'lgan holda ham, spektrlarini korrektsiyalash mumkin bo'lgan QNI yordamida aniqligi qoniqarli darajada bo'lgan o'lchovlar olib borishga imkon yaratadi. Bunday sharoitda QE ning fotoelektrik xarakteristikasining o'lchash xatoligi etalonli va o'lchanayotgan elementlarning spektral sezgirligining farqi darajasi bilan aniqlanadi. SHuning uchun, etalon QE ga quyiladigan asosiy talablar quyidagicha – ularning optik xususiyatlari va spektral xarakteristikalari o'lchanishi lozim bo'lgan elementning shunday xarakteristikasiga monand bo'lishi kerak.

Etalon QE loyihalash va tayyorlash – bu ularning konstruksiyasini, metrologik xarakteristikalarining stabiligini o'rganishni, garduirovka qilish usulini va ularni parametrlarini o'lchash jixozlarini yaratishni va qo'llashni taqozo qiladi.

Etalon QE larini ishlatilish sharoitiga qarab turlicha konstruksiyali bo'lishi mumkin, ularga quyiladigan asosiy talab – parametrlarining yuqori darajada stabiligining saqlanishidir. O'z navbatida bu talab elementning haroratdan stabil va haroratni aniq o'lchashni taqozo etadi. Etalonli quyosh elementning oddiy konstruksiyasi bu chuqurlashtirilgan metall plastinaga o'rnatilgan va himoya sifatida frontal sirtiga shisha o'rnatilgan variantidir. Haroratni o'zgarmas qilib ushlab turish uchun u issiqlikdan himoya qilingan taglikka o'rnatiladi.

Tayyorlash texnologiyasining doimiy mukammallashib borayotganligi tufayli va yangi turdagi QE lari yaratilayotganligi sababli spektral sezgirligi nostandart taqsimotga ega bo'lgan elementlarning parametrlarini o'lchash masalasi paydo bo'lmoqda. Etalon sifatida ishlatiladigan QE, yo seriya qilib chiqarilayotgan elementlardan tanlanadi, yoki maxsus tayyorlanadi. Tanlash jarayonida asosiy diqqatni quyosh elementi tuzilmasining yon sirti tomonlarining sifatiga, shunt va ketma-ketlik qarshiliklarining kattaligiga qaratiladi. Bu maqsadda ishlatilishi ko'zda tutilgan QE lari yuzasi bir jinsli, spektral sezgirligi stabil, qisqa tutashuv tokining harorat buyicha koeffitsienti minimal bo'lishi kerak. Yer sharoitida ishlatilishi ko'zda tutilgan etalonli QE lari uchun spektral sezgirlikning tushayotgan optik nurlanish tushish burchagiga va qisqa tutashuv toki I_{kz} ning tushayotgan nurlanish oqimi zichligiga chiziqli munosabatda bo'lish bog'likligi amalda tekshiriladi.

Etalon QE ni absolyut gradirovka qilish mashaaqatli ish bo'lib, bu jarayon uzoq vaqtni va ko'p xarajatni talab qiladi. SHuning uchun, bunday jarayonlar orqali olingan etalon elementlar ko'rgazmali o'lchash asboblarda birinchi etalon sifatida ishlatiladi. Etalonli QE lari qisqa tutashuv rejimida ishlatiladi va ularning gradirovka qilish jarayoni quyosh nurlanishining spektral tarkibi va zichligi normirovka qilingan sharoitda qisqa tutashuv tokini aniqlashdan iboratdir.

Gradirovka qilishning ikki printsiptial farq qiluvchi turi mavjud.

1. Bevosita quyosh nurlanishidan foydalanish usuli,
2. Laboratoriya sharoitida o'lchov vositalarini va oldindan o'lchangan davlat etalonini qo'llash usuli.

Er sharoitida bevosita quyosh nurlanishidan foydalanish usuli odatda kuproq ishlatiladi. Buning uchun asosan dengiz sathidan bir necha ming metr balandlikdagi tog' hududlaridan foydalaniladi va keyin olingan natijalar AM 0 sharoiti uchun ekstropolyatsiya qilinadi.

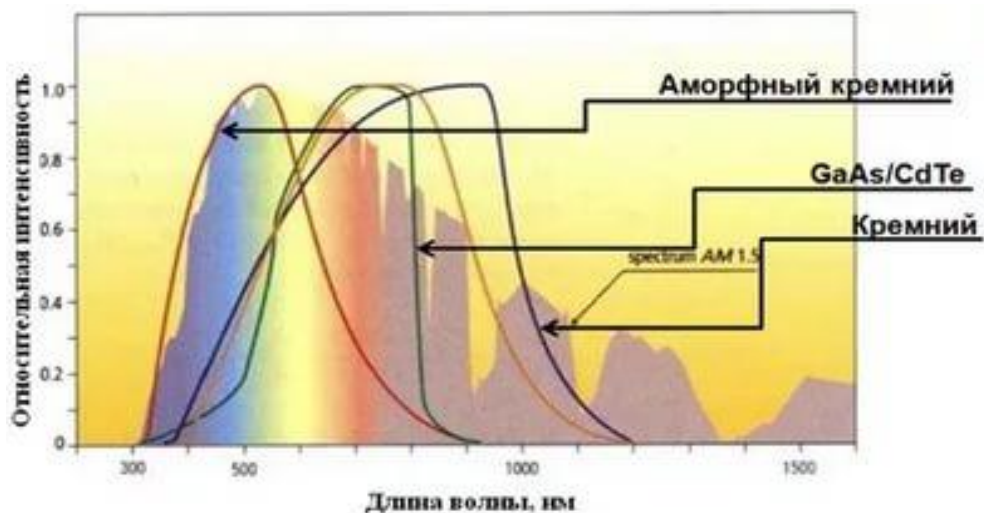
Gradirovka qilish jarayonida etalon QE larining qisqa tutashuv toki qiymatini asta-sekin har xil atmosfera massalari uchun o'zgartirilib o'lchanadi, ya'ni quyoshning har xil balandlikdagi nurlanishi uchun o'lchanadi. O'lchash jarayoni statsionar sharoitda o'tkaziladi, shuning uchun atmosfera massasining nisbatan har xil qiymatlari uchun I_{kz} ning o'zgarishini aniqlash kifoya. AM 0 sharoit uchun to'g'ri keladigan qiymatni topish jarayoni $\ln I_{kz}$ ni nuly atmosfera massasiga chiziqli ekstropolyatsiya qilish bilan topiladi. O'lchash jarayonini kunning birinchi yarmida olib borish ma'qo'iroqdir.

6-modul

12-mavzu. Yuqori samarali kremniy asosidagi fotoelementlarning yangi konstruksiyalari.

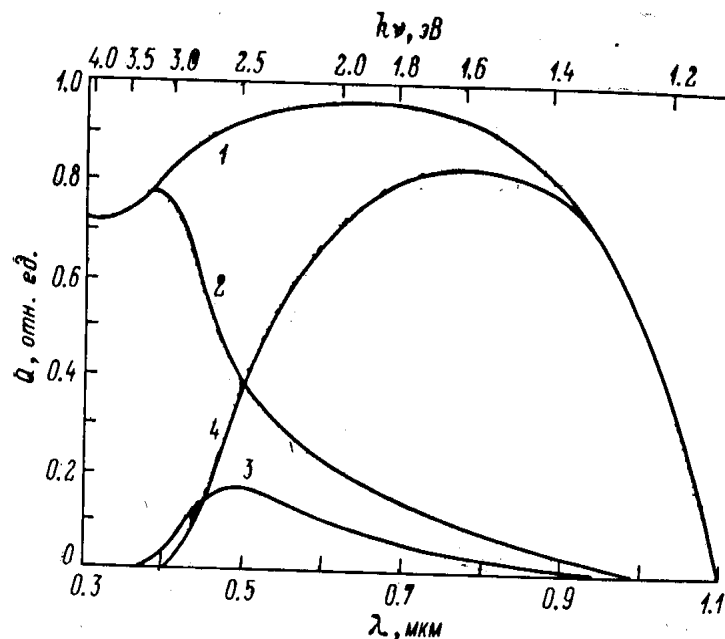
Kremniy asosidagi p-n o'tishli gomogen YaO' materialda yaratilayotgan QE larining samaradorligini oshirish asosan potentsial to'siqning chuqurligini (qalinligini) kamaytirish orqali erishilmoqda. Dastlabki paytlarda olingan kremniy asosidagi QE lariga qaraganda bu parametr 7-10 mkm dan hozirgi sharoitda 0,1 – 0,015 mkm gacha kamaytirildi. P-n o'tish chuqurligini kamaytirish va uni yuzaga chiqarish maqsadi umuman aytganda tushunarli hol, zero quyosh nurlanishining katta qismi juda yupqa qatlamda yutiladi. Ammo natijada bu yupqa yuza qismida zaryad yo'qotishlar xam sirt rekombinatsiyasi natijasida juda katta qiymatlarga ega bo'ladi. Bu yunalishdagi mantiqiy chegara bo'lib QE larining sirt-to'siqli (poverxnostno-bar'ernaya) tizimli har xil turlari hisoblanadi. Ular umuman legirlangan qatlamsiz bo'lib, hajmiy zaryad hosil qilgan maydon deyarli frontal yuzagagina ta'sir qiladi. SHunday QE bir-biriga taqqoslash maqsadida ularning spektral xarakteristikalari 12.1 rasmda keltirilgan. 4-6 $\ell \leq 0,3$ mkm (legirlangshan qatlam qalinligi) shaffoflantirilgan element.

P-n o'tish chuqurligi $\sim 0,2$ mkm bo'lgan QE ishlab chiqarilishi natijasida, qisqa to'lqinli optik nurlanish ta'sirida hosil bo'ladigan zaryad tashuvchilarning fazoviy ajratish muammosini ko'p jihatdan hal bo'ldi. Haqiqatdan, shu turdagi quyosh elementlarida hattoki $\lambda = 0,4$ mkm da ham yig'ish ko'effitsienti qiymatini $\xi = 0,9$ gacha yetkazish imkoniyatini paydo bo'ldi, holbuki $\ell > 0,4$ mkm li QE larida shu spektr sohasida yig'ish ko'effitsienti atigi 0,5 atrofida bo'lishi aniqlangan edi. SHuning uchun, bunday turdagi QE binafsha-ko'k



Rasm. 10. Kremniy asosidagi QE larining absolyut spektral sezgirlik. 1-3 legirlangan qatlam qalinligi $\ell \geq 1,2$ mkm bo'lgan shaffoflantirilmagan qatlamli element;

spektrda o'ta yuqori sezgirlikka ega bo'lganligi sababli «binafsha» quyosh elementlari degan nomni oldi. Bunday QE qisqa tutashuv toki I_{kz} zichligi 40-42 mA/sm² ga yetkazildi. «Binafsha» quyosh elementlardagi tok yo'qotishlarning spektr bo'yicha o'zgarishi, AM 0 sohada spektr taqsimotini hisobga olinganda, ularning yig'ish ko'effitsienti quyosh elementi sezgirligining deyarli barcha qismlarida birga yaqin ekan. +is=a to'lqinli qismdagi qisman yo'qotishlarni QE ning konstruksiyasini mukammallashtirish hisobiga emas (chunki p-n o'tish deyarli har bir hosil bo'lgan elektron-teshik juftlikni ajrata oladi), balki elementning optik parametrlarini, ya'ni metall kontaktning qaytarish ko'effitsientini va u egallagan yuzani kamaytirish hisobiga erishish mumkin.



10.2-rasm. Kremniy asosidagi quyosh elementlarida umumiy yig'ish ko'effitsientining spektral o'zgarishi (1), frontal qatlamning yig'ish ko'effitsientidagi hissasi (2), hajmiy zaryad qismining hissasi (3), baza qismining xissasi (4).

Elementning legirlangan frontal qatlami qalinligini kamaytirish faqat fotosezgirliknigina oshirib qolmay, shu bilan birga QE ning diod xarakteristikasini ham yaxshilar ekan. Hisoblashlar va eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, legirlangan qatlam parametrlari nisbatan teskari to'yinish toki I_0 ga, va natijada foto-EYuK ga ham ta'sir qiladi. Bunga sabablar;

1. Kirishmalar kontsentratsiyasini yuqori darajada kiritish, man qilingan soha kengligi E_g ning kamayishiga olib keladi va asosiy zaryad tashuvchilarning effektiv kontsentratsiyasi kamayada, teskari gradientli elektr maydoni hosil bo'lishiga olib keladi.
2. Frontal qatlamdagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning (teshiklarning) yashash davri τ keskin kamayib ketadi va ehtimol bir ns (nanosoniyadan) oshmay qolishi mumkin.

SHuning uchun, teskari to'yinish toki I_0 ni kamaytirish jarayonida frontal qatlam qalinligini kamaytirish bilan birga kirishmalar kontsentratsiyasini birmuncha pasaytirish ($\sim 2 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ga qadar) lozim, va qatlam qarshiligining nisbatan ortishini to'rsimon omik kontakt topologiyasini optimallashtirish hisobiga kompensatsiya qilish mumkin.

Bu talablar ayrim texnologik va konstruktorlik yangiliklar hisobiga «binafsha» QE lari ishlanmalarida qo'llanildi. Bular jumlasiga past haroratli diffuziya ($770-800^\circ\text{S}$) jarayonini uzatuvchi (transport) gaz oqimida o'tkazish, kirishmalarning nisbatan sirtidagi kontsentratsiyasini kamaytirish ($\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$) gacha, qalin to'rsimon kontakt yo'lkalari sonini oshirish (8-10 yo'lka/sm) va kengligini 50 mkm gacha kamaytirish va hokazolar kiradi.

Kremniy plastinalari yuzisiga ishlov berishning yangi – yuzadan nur qaytarishni kamaytiruvchi va shu tufayli F.I.K.ni oshiruvchi usuli yaratildi. Bunday QE larining frontal sirtida piramidasimon, teksturali rel'ef hosil qilinadi, va piramida yon tomonidan qaytgan nur, keyingi piramida yon tomoniga tushib, kristall yuziga qaytariladi.

SHuning uchun, antirefleksion qatlam olinmagan yuzada ham hosil qilingan piramidasimon rel'ef hisobiga optik yo'qotishlarni 10 % gacha kamaytiriladi. Qo'shimcha sifatida shuni aytish mumkinki, teksturalangan sirt optik nurlanishning yutilish chuqurligini kamaytiradi. Natijada effektiv yutilish ko'effitsienti α ning o'sishi, yig'ish ko'effitsientining va tok zichligining oshishiga olib keladi.

An'anaviy tekis, planar konstruktsiyadan tashqari keyingi paytlarda p-n o'tishining konstruktsiyasi murakkab bo'lgan QE, jumladan p-n o'tishlari yoritilayotgan sirtga perpendikulyar bo'lgan elementlar ishlab chiqildi. Ular yagona umumiy taglikda tayyorlangan yoki alohida kontaktlar bilan birlashtirilgan mikro QE lardan tuzilgan bo'lib, p-n o'tishlarining perpendikulyar joylashishi QE lariga qo'shimcha imkoniyatlar yaratishi mumkin. Bunday QE lari ketma-ket ulanganda bir necha V/sm gacha kuchlanganlik olish mumkin va hamda ular yuqori yoritilganlik sharoitida effektiv ishlashi mumkin.

Konstruktsiyaning yana bir turi bu rel'ef yuzali QE. Bu yerda rel'ef, xuddi teksturalash jarayoni kabi, selektiv yemirish hisobiga paydo qilinadi. Natijada yuqoridagi frontal yuzadagi n^+ -qatlam rel'ef profilini takrorlaydi. Rel'efning geometrik o'lchamlarini har xil qilish mumkin. Nurlanishni qabul qiluvchi sirtning optik yutilish koeffitsienti teksturalangan yuza yutilish koeffitsientiga yaqin ilish mumkin.

Yuqorida keltirilgan quyosh elementlarining sifatlaridan yana biri – perpendikulyar joylashgan p-n o'tishlarning bir-biri bilan yaqin joylashishi natijasida butun hajmda yuqori darajali fotosezgirlikka erishish imkoniyati mavjudligidir. Agar baza qalinligi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilari diffuzion yo'li uzunligidan juda kam bo'lsa, ya'ni $w \ll L$ bo'lsa, bazada nurlantirish tufayli hosil bo'lgan hamma zaryad juftliklari ajratilishi mumkin. Rel'ef tuzilmali namunali QE lari atmosferadan tashqari sharoitda 15 % dan ortik effektivlikka ega ekanligi aniqlangan.

Quyosh elementlarining optik va fotoelektrik xarakteristikalarini yaxshilashning yana bir imkoniyati – bu bazada maxsus usullarni qo'llab zarayadlarni tortuvchi elektr maydoni hosil qilish usulidir.

Kremniy asosidagi QE ning spektral sezgirligini spektrning qisqa to'lqinli qismida keskin oshirish imkoniyatlaridan biri, frontal sirtida maxsus yuzani passivatsiya qiluvchi qatlamlar bilan yopishdir.

Bunday qatlamlar odatda kremniy oksidi, kremniy nitridi asosida olinadi. Bunday qatlamlarda kiritilgan (vstroenno'y) elektr zaryadlari mavjud bo'ladi. Bu zaryadlar kremniyning yuzaki yupqa legirlangan qatlami bilan, xuddi ayrim QE tuzilmalaridagi tortuvchi elektr maydonlari kabi, legirlangan qatlam bilan ikki qatlamli nn^+ yoki pp^+ -tuzilma hosil qiladi. Bu sirtida hosil bo'lgan tuzilma effektiv sirt rekombinatsiya tezligini kamaytiradi va ortiqcha zaryadlar yig'ilishini yaxshilaydi. Asosan bu yaxshilanish yuza yaqinida yutiluvchi qisqa to'lqinli optik nurlanish hisobiga bo'ladi.

Keltirilgan effektni quyidagi misolda namoyish qilish mumkin. Passivatsiya qiluvchi qatlam olingandan sung, odatda yig'ish koeffitsienti va salt yurishi kuchlanishining qiymati ortadi.

Agar oddiy QE ning baza qatlami (r-tip kremniy misolida) notekis legirlangan bo'lsa va p-n o'tish atrofida kirishmalar kontsentratsiyasi uning ichidagiga qaraganda kam bo'lsa, u holda bazada ham elektrostatik maydon hosil bo'ladi va ortiqcha hosil bo'lgan zaryad juftliklarini yig'ishda yordam beradi. Bu hodisa, birinchidan, teskari to'yinish tokining oshishi hisobiga va potentsial to'siq qiymatining kamayishi hisobiga, U_{xx} ni kamaytiradi, ikkinchidan, kirishmalar kontsentratsiyasi baza qatlami ichida nisbatan oshirilganligi uchun asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion yo'li uzunligi (L_d) va yashash vaqti (τ) kamayadi.

QE bazasining xususiyatlari va uning element parametrlariga ta'siri rini tahlil qilish natijasida bazada katta qiymatli tortuvchi elektr maydoni hosil qilish o'rniga sunggi vaqtlarda yangi model element orqa tomonida orqa kontakt yaqinida keskin izotip pp^+ yoki nn^+ o'tishlar hosil qilish modeli paydo bo'ldi.

Yuqori samarali QE yaratish jarayonida xususiy o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan kremniyni ham ishlatish mumkinligi aniqlandi. Buning uchun uning ikkala tomoniga p- va r-tip beruvchi kirishmalar diffuziya qilish kerak va ma'lum masofada p-n o'tish hosil qilish va boshqa tomonida ma'lum gradientga ega bo'lgan izotip potentsial to'siq paydo qilinishi kerak.

$p^+ rr^+$ yoki $r^+ pp^+$ - tuzilmali QE lari olishda, uzoq masofaga ta'sir etuvchi tortuvchi elektr maydoni hosil qilishga qaraganda, orqa tomondan $r^+ r$ yoki $p^+ p$ izotip to'siq olish texnologiya nuqtai nazaridan osonroqdir va amaliy tomondan izotip o'tish olish bazada yig'ish koeffitsientini oshirish uchun qulayroqdir. Qo'shimcha kirishmalar kiritib orqa tomonda olingan izotip to'siq,

orqa kontaktdan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni qaytaradi va ularda L_d ning effektiv qiymatini oshiradi, hamda baza-metall kontakt tuzilmasi chegarasidagi sirt rekombinatsiyasi koeffitsientini keskin kamaytiradi. QE ning teskari to'yinish toki I_0 ham birmuncha kamayadi. Orqa tomonida izotip o'tishli QE larining ustunlik tomoni baza qatlamida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarining diffuzion yo'li uzunligi uning qalinligidan kattaroq bo'lganida yoki hech bo'lmaganda teng bo'lgan sharoitda sezilarli bo'ladi. Bu tenglik bajarilishi uchun YaO' material nisbatan tozaroq yoki yupqaroq bo'lishi va $L \sim d$ bajarilishi kerak.

P-i-n va $r^+ - i - n^+$ tuzilmali elementlar uzun to'liqli diapazonda nihoyatda katta sezgirlikka ega. Bu QE ning VAX ning shakli nihoyatda to'g'ri turtburchakka yaqindir. Chunki ularda optik nurlanish bilan yoritilish sharoitida element bazasidagi kuchlanishning omik pasayishi nolga intiladi, ya'ni optik nurlanish ta'sirida yuqori Omli bazada muvozanatda bo'lmagan zaryad tashuvchilar muvozanatda bo'lganlaridan ko'proq hosil bo'ladi. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion yo'li uzunligi yuqori Omli baza materialida nisbatan kattaroq qiymatga ega bo'lishi Yer atrofidagi radiatsion kamarlarda ularning ishlash muddatini boshqa QE lariga qaraganda birmuncha uzayishiga olib keladi.

SHu o'rinda yana bir narsani qayd qilish lozim. Asosiy yutilish chegarasidan tashqarida uzun to'liqli nurlanishga shaffof bo'lgan kremniy va boshqa YaO' materiallar asosidagi quyosh elementlarining kelajagi istiqbollidir. Bunday QE tayyorlash imkoniyati hozir ham mavjud bo'lib, u nisbatan tozaroq materiallarning asosiy fundamental yutilish chegarasidan tashqarida nisbatan shaffofligiga asoslangandir. Ammo, QE bazasi yuqorida qayd qilingan nisbatan toza tayyorlanishiga qaramay uning yuqori frontal qatlamida kirishmalar kontsentratsiyasi deyarli materialning chegaraviy eruvchanligiga qadar kiritilishi, shu qatlamda katta to'liqli uzunligiga ega bo'lgan optik nurlanishning ko'proq yutilishi yoki akslanishiga olib keladi.

Legirlangan yupqa frontal qatlamda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuzion yo'li uzunligi L_d va yashash davri τ qiymatlarining nisbatan kichikligi shu qatlam qalinligini 0,15-0,5 mkm diapazonda olishni taqozo etadi. SHu qalinlikdagi qatlamda quyosh optik nurlanishining infraqizil spektridagi yutilishi (ya'ni, 1,1 – 2,5 mkm diapazonida) odatda 1-3 % oshmaydi. SHunday qilib, p-n o'tish chuqurligini kamaytirish hozirgi zamon QE uchun xarakterli bo'lib, bu usul asosiy yutilish chegarasidan tashqarida quyosh spektriga shaffof bo'lgan elementlar olish imkoniyatini kremniy materiali asosida yaratish mumkinligini ko'rsatadi.

Qolgan yana ikkita to'siq – orqa tomondagi yuzani butunlay qoplovchi kontaktda quyosh nurlanishining to'la yutilishi va undan nisbatan to'raligicha qaytarilish hodisasi – orqa kontaktni to'rsimon shaklli qilish va shu tomonda ham qalinligi 0,3-0,4 mkm bo'lgan akslantiruvchi oksid qatlamlar hosil qilish orqali yechilishi mumkin.

1,1 mkm dan boshlab IQ sohada shaffof va orqa kontakti to'rsimon shakldagi quyosh elementlari kremniy, galliy arsenidi va yupqa qatlamli CuS – CdS geteroo'tishli tuzilmalarda yaratildi. Hisoblarga qaraganda geostatsionar orbitalar sharoitida bunday QE larini ishlatish natijasida harorat nisbatan 10-15 °S pastroq va elektr quvvatini 5-7 % oshirar ekan. Fotoaktiv bo'lmagan uzun to'liqli IQ nurlanishni QE tuzilmasidan nafaqat o'tkazib yuborish, balki to'raligicha qaytarish ham mumkin. Buning uchun, quyosh elementining orqa tomonida IQ nurlanishni qaytaruvchi ko'zgusimon kontakt olish kerak. Bunday kontakti olish uchun Ag, Al, Cu qoplamalarni vakuumda uchirish yoki elektroximiyaviy usulda olish imkoniyati mavjud.

quyosh elementi samaradorligini oshirishga imkon beradigan yana bir usul – bu ikki tomonlama sezgir QE tuzilmasini ishlatishdir. Bu tuzilma, ikki xil yuqorida qayd qilingan, IQ spektr sohasida shaffoflikni paydo qilish va element orqa tomonida olingan izotip o'tish bilan mushtarak holda birlashtirish natijasida 12 - rasmda ko'rsatilgan $p^+ rr^+$ yoki $r^+ pp^+$ tizimli QE lari hosil qilishdan iboratdir.

Nisbatan katta solishtirma qarshilikka ega bo'lgan kremniy asosidagi ikki tomonlama sezgir QE bazasi qalinligini nisbatan kamaytirish yoki diffuzion yo'li uzunligi nisbatan katta bo'lgan materiallar ishlatish natijasida, element tuzilmasi frontal tomondan tushayotgan optik nurlanishni qanday effektivlikda elektr energiyasiga aylantira olsa, orqa tomondan tushayotgan nurlanishni ham shunday effektivlikda aylantira olishi aniqlangan. Element orqa tomonidan tuzilmaga izotip

o'tishlarni kiritish ikki tomonlama sezgir QE tuzilmasida orqa tomondagi sirt rekombinatsiya koeffitsientini keskin kamaytirib ($L/d > 1$), yig'ish koeffitsientini, orqa tomondan nurlanish tushgan hol uchun, frontal tomondan nurlanish tushish kattaligiga qadar ko'tardi.

Ikki tomonlama sezgir QE tuzilmasi samaradorligini oshirish uchun uning bazasini, oddiy element bazasiga nisbatan yuqori Omli bo'lishi kerak. Misol, odatda oddiy QE tuzilmasi uchun baza odatda 0,5-1,0 Om sm kremniydan tayyorlansa, ikki tomonlama sezgir elementlar uchun baza qarshiligi 7,5-10 Om sm va undan ham yuqori olinadi.

13-mavzu. Quyosh elementining foydali ish koeffitsienti tushunchasi.

Quyosh elementi foydali ish koeffitsienti deb, quyosh elementi ishlab chiqargan energiyasining, element yuziga tushayotgan nurlanish energiyasining nisbatiga aytiladi. Quyosh elementi va quyosh batareyasining foydali ish koeffitsientini (F.I.K.) aniqlash uchun tushayotgan optik nurlanish energiyasining miqdorini va element yoki batareya ishlab chiqargan elektr energiyasining miqdorini bilish zarur. F.I.K.ni aniqlash uchun quyida keltirilgan masalalarni yechish kerak bo'ladi.

Quyosh — Yer sayyorasida insoniyat mavjud bo'lganidan buyon quyosh energiyasidan foydalanib keladi. Mana 5000 yildirki, odamlar Quyoshga yerning asosiy energiya manbasi, yorug'lik, issiqlik, oziq-ovqat va hayot asosi deb qaraydi.

Hozirgi zamon texnologiyalari quyosh energiyasidan elektr va issiqlik energiyasi ishlab chiqarishga imkon beradi. Olingan ma'lumotlarga ko'ra, 2003 yilda dunyo bo'yicha eng yirik quyosh kollektorlarining umumiy maydoni AQSHda 10 million kvadratga, Yaponiyada 8,0 million kvadratga yetgan. Yevropa mamlakatlarida ham bu borada namunali ishlar olib borilmoqda.

Bilamizki, Quyosh — eng yaqin yulduz, usiz bizning sayyoramizda hayot bo'lishi mumkin emas. Kishilar o'zining kundalik hayotida quyosh energiyasidan u yoki bu usul bilan bu haqida o'ylab ham o'tirmay, foydalanadilar. Masalan, hovliga kir yoysak — biz quyoshdan kelayotgan issiqlik energiyasini ishlatamiz.

O'zbekiston quyosh energiyasidan foydalanishda katta salohiyatga ega. Mamlakatimizning iqlim sharoitlari quyosh energiyasidan foydalanish uchun juda qulay. «Fizika — quyosh» instituti mutaxassislarining hisob-kitoblariga ko'ra, O'zbekiston hududiga tushadigan quyosh energiyasining miqdori, o'rtacha hisob bilan aytganda, mamlakatda boshqa manbalardan olinadigan energiyadan to'rt barobar ko'p ekan. Quyosh energiyasining yalpi imkoniyatlari 51 mlrd t.n.e., texnik imkoniyati esa — 177 mln. t.n.e.ga teng. Ekspertlarning fikriga ko'ra, aynan quyosh energiyasidan foydalanish aholini elektr energiyasi bilan ta'minlash, mamlakatning bir qator uzoq hududlarini yanada jadal rivojlantirish masalalarini tez hal qilishga imkon beradi.

SHu bilan birga, O'zbekiston kristalli kremniy olish uchun xom ashyo zaxiralariga ham ega. Uning asosida butun dunyoda 90 foiz fotoelektrik modullar ishlab chiqariladi. Kremniy konlari Jizzax va Samarqand viloyatlarida mavjud. Ushbu resurs bazasi quyosh energetikasi sohasida muhim jamlovchi mahalliy ishlab chiqarishni tashkil qilish uchun imkon yaratadi.

Quyosh energetikasini rivojlantirish istiqboli haqidagi masala O'zbekiston uchun yangilik emas. Quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha ilk tadqiqot ishlari 70-yillarda boshlangan. Bir qator yutuqlarga qaramasdan, o'sha zamon texnologiyalari kerakli samaradorlikka erishishga

imkon bermadi. Elektr energiyasi va energiya yetkazuvchilar narxlarining pastligi sababli quyosh energetikasiga ehtiyoj sezilgani yo'q. 1991 yildan so'ng energetikaning bu sohasini rivojlantirish ustuvorligi haqida bir qator qonun, me'yoriy-huquqiy hujjatlar, rivojlantirish dasturlari va boshqa rasmiy hujjatlar qabul qilindi. Lekin quyosh energetikasini joriy etish uchun resurs va imkoniyatlarni aniqlashga, undan foydalanishga hamda xususiy sektorlarni rag'batlantirishning ma'muriy va iqtisodiy mexanizmlarini yaratishga yetarli darajada e'tibor qaratilmadi.

O'zbekiston tabiiy gazning yirik zaxiralariga ega bo'lganligi uchun energiya resurslariga jiddiy ehtiyoj yo'q. SHuningdek, mamlakat rivojlangan energetika infratuzilmasiga ega, elektr va gaz tarmoqlari deyarli barcha aholi joylariga yetkazilgan. Hamda aholi va korxonalar haligacha past narxlar bo'yicha energiya bilan ta'minlanmoqda. Aynan energiyaning past narxi hukumat energetika siyosatining asosiy ustuvor vazifalaridan hisoblanadi. Lekin bu ustuvor vazifalarni ado etish qimmatga tushayapti. Energiya resurslariga dunyo miqyosida narxlar oshayotgan bir paytda quyosh energiyasi imkoniyatlaridan foydalanish — bu energiyani iste'mol qilish tuzilmasining samaradorligini oshirishi mumkin.

Quyosh — gaz o'rnida. Quyosh energetikasi markazlashtirilmagan ta'minotini rivojlantirish uchun asos bo'la olishi va energetika infratuzilmasiga jalb qilinadigan investitsiyalarni qoplashdagi sifat va ishonchli muammolarni hal qilishi mumkin. Uzoqda joylashgan va kam energiya talab qiladigan ob'ektlarni energiya bilan ta'minlashda quyosh energetikasi juda qulay.

Quyosh energetikasini rivojlantirish O'zbekiston uchun juda foydali, chunki shu orqali tabiiy gaz iste'mol turlari saqlab turiladi yoki qo'shimcha zaxiralarni eksport uchun ajratiladi (bugungi kunda ichki energiya iste'molining 80–85 foizi qondirilmoqda). Ayni paytda tabiiy gazning 60 foizi o'z iste'molchilarimiz va «O'zbekenergo» DAK korxonalariga yetkazilyapti. O'zbek tabiiy gazining eksport narxi 2011 yil 1 oktyabr holatiga ko'ra, 1 ming m³ uchun 200–230 AQSH dollarini tashkil qiladi. Bozorimizda esa bu narx — 57,1–45,9 (ulgurji narxda — 99,60 so'm, aholi uchun — 79,90 so'm) AQSH dollarga teng. Agar O'zbekistonda quyosh energetikasini rivojlantirib, ichki bozordagi gaz ehtiyojini hech bo'lmaganda 1 foizga (yoki 650 mln.m³) kamaytirsam, mamlakatimiz har yili gaz eksportidan 130–149,5 mln. dollarga yaqin daromad oladi. Bu daromad quyosh energetikasini rivojlantirish uchun sarflanishi mumkin. Masalan, geliotizimlarning qulayligini grantlar, subsidiya va imtiyozli kreditlar orqali oshirish tufayli quyosh energetikasini rivojlantirishga qiziqтира bo'ladi.

Tabiiy gaz uchun eksport narxlari oshsa, O'zbekiston energetika sohasidagi uzoq muddatli siyosatini real maqsadga erishish uchun mamlakatda gazdan foydalanish hajmini quyosh energiyasidan foydalanishni kengaytirish hisobiga qisqartirishi mumkin. Bu borada qabul qilingan maqsadli ko'rsatkichlar, masalan, muayyan muddat ichida gaz ishlab chiqarish hajmini 0,1–0,2 foiz kamaytirish kabi doimiy ravishda qayta o'zgartirilib turilishi talab etiladi.

SHuningdek, bugungi kunda aholini markazlashtirilgan isitish tizimi bilan ta'minlash va issiq suv narxlarini subsidiyalash uchun ko'p xarajat sarflanmoqda. Lekin bu subsidiyalar ko'p qavatli uylarda joylashgan gelio-uskunalarda issiq suv ishlab chiqarish uchun ishlatilsa, bir xil natija bermoqda. Toshkent issiqlik ta'minot korxonalarida amalga oshirilgan bir qator ko'rgazmali loyihalar natijalari shuni ko'rsatadiki, quyoshli markazlashtirilgan suv isitgichlari bilan

qozonxonalarda uglevodorod yoqilg'isini yoqish yo'li bilan olingan 1 kVt energiyaning narxlari bir xil.

Yuridik shaxslarni geliouskunalarini olib kirishdagi bojxona to'lovlari va qo'shimcha qiymat solig'idan (NDS) ozod qilish, suv isitish va elektr tokini ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan import qilinayotgan quyosh tizimi uskunalarining narxini ancha pasaytirishiga imkon beradi va ularni iste'molchi uchun arzon qilib qo'yadi. Masalan, bugungi kunda import qiluvchi Janubiy Koreya Respublikasida ishlab chiqarilgan 500–1000 W (Vatt) geliouskunalarini 1500–2500 AQSH dollari narxida taklif qilinmoqda. Agar ko'rsatilgan imtiyozlar kiritilsa, unda uning narxi 700 dollargacha pasayadi. Bu esa uskunalarining sotilish muddatini qisqartiradi va quyosh energetikasining investitsiyaviy qulayligini oshiradi.

Quyosh energetikasini rivojlantirish geografiyasiga qaraganimizda rivojlangan mamlakatlar katta muvaffaqiyatlarga erishganini ko'ramiz. CHunki u yerlardagi texnologik imkoniyatlar qator muhim sharoitlar bilan ta'minlangan. Bu birinchidan, elektr energiyasi va energiya yetkazuvchilar uchun narxlarning yuqoriligi, ikkinchidan, markazlashtirilgan energiya ta'minot tizimlariga ulanish uchun xarajatlarning yuqoriligi, jumladan, infrastrukturallarining rivojlanmaganligi, uchinchidan, korxona va uy xo'jaliklarida quyosh energiyasidan foydalanish uchun to'lash qobiliyatining mavjudligidir. Xususan, bunday mamlakatlar qatoriga Yaponiya, Germaniya (ularning jahon bozoridagi hisssasi eng katta), Xitoy, Hindiston, Turkiya va boshqa mamlakatlar kiradi. Bu mamlakatlarda an'anaviy energiya ta'minotining cheklanganligi, qayta tiklanuvchi energetikaning rivojlanishini rag'batlantiradi. Lekin bu mamlakatlarda ham quyoshli energetika bozorini yaratish va kengaytirish faqat hukumatning faol aralashuvi bilan hal qilinmoqda. Tadqiqotlar va ishlanmalarga ketadigan investitsiyalardan tashqari, energiya narxlari o'rtasidagi uzilishlarni an'anaviy manbalardan olinadigan va qayta yaratilgan quyosh energiyasi o'rtasidagi energiya narxlarini davlat qoplaydi.

Quyosh energiyasini rivojlantirishiga nisbatan davlat siyosati, avvalombor, bu energetika — strategik ahamiyatli yo'nalish yoki energiya tejash, ekologik siyosat, energiya zaxiralarini konservatsiyalash siyosati dasturlarining bir asosi sifatida ko'rib chiqishiga bog'liq. O'zbekistonda nisbatan yirik energiya resurs zaxiralarining mavjudligini hamda rivojlangan energetika infratuzilmasini rivojlanishi strategik ustuvor bo'ladi deb aytish qiyin. Lekin yaqin 5–10 yil ichida quyosh energetikasi qayta tiklanuvchi energetika turlari kabi energiyani tejash va energiya resurslarini konservatsiyalash, eksport uchun va boshqa sohalar uchun xom ashyo sifatida uglevodorodlarni ajratib olish siyosatining muhim bir qismi bo'lishi mumkin. O'zbek tabiiy gazi uchun eksport narxlari oshsa, «quyosh muqobilligi» juda qo'l keladi. Uni amalga oshirishda O'zbekistonda boshqa mamlakatlar kabi iqtisodiy rag'bat va ma'muriy mexanizmlarni uyg'unlashtirish lozim.

Quyosh va noan'anaviy energetikaning boshqa turlarini rivojlantirishning dunyo tajribasi ko'rsatishicha, bu sohadagi siyosat kompleks, bosqichma-bosqich va izchil bo'lmog'i kerak. Uning oxirgi maqsadi — quyosh energetikasining bozorga kirib borishi va bu bozorni asta-sekin kengaytirishi kerak.

Quyosh energiyasini aylantirgichning F.I.K. hisoblash

Одатда қуёш энергиясини айлантргичнинг Ф.И.К. ҳисоблаш куйидаги асосий этапларни ўз ичига олади.

1.Тушаётган фотонлар оқимининг зичлигидан келиб чиқган ҳолда фототок интеграл зичлигини ҳисоблаш.

2.Қуёш элементнинг (ҚЭ) максимал солиштирма қувватини ҳисоблаш.

3.Ф.И.К. ни [8] мунособат ёрдаимида ҳисоблаш.

$$\eta = \frac{Q / (Ik_3 / Sobp) V_{xx}}{P_E} \cdot 100\% , \quad (12)$$

бу ерда Q -тўлдириш коэффиценти, Ik_3 -қисқа тутилиш токи, V_{xx} - бўш юриш кучланиши, $Sobp$ - ҚЭ нинг актив майдони, P_E - тушаётган ёруғлик оқимининг қуввати. Бу ерда иккита параметр ахамиятли қйиматга эга. Бу, куйидаги ифода билан аниқланадиган бўш юриш кучланиши:

$$V_{xx} = (kT/q [I_L/I_0] + 1) \quad (13),$$

бу ерда k -Больцман дойимий коэффиценти, T -температура, q -электрон заряди, I_0 – қоронғилик токи, I_L -фототок зичлиги ва тўлдириш коэффиценти $Q = \frac{P_m}{Ik_3 \cdot V_{xx}}$ (14),

бу ерда P_m -максимал солиштирма қувват.

Ифода (14) характеристикаси квадрат шаклидан қанчалик фарқланишини кўрсатади. Шунинг учун соддалашган турда Ф.И.К. (12) шакилда кўрсатилиши мумкин. Ушбу ифодадан кўриниб тургандай Ф.И.К.ти тўйдириш токи Q , Ik_3 -қисқа тутилиш токи ва V_{xx} - бўш юриш кучланишига туғри пропорционал бўлади, яъни қанчалик тўйдириш коэффиценти шакли туғри бурчакликга яқин булса, ифода қисқа тутатилиш токи ва бўш юриш кучланиши қанчалик катта булса, шунчалик Ф.И.К. катта булади. Ифода (12) даги асосий аниқловчи параметр бу

(электр энергия истъемолчининг) юкланиш қаршлигига кучли боғланган , қисқа тутатиш токи булади. Юкланиш қаршилиги электрофизик хусусиятлари етук бўлмаган қуёш элементлари учун, R_n ортиши билан, I_{kz} кескин камаяди. Демак, Q характеристиканинг шакли квадратдан катта фарқли бўлади. Идеал қуёш элементлари учун Q 0,3 дан 0,5 чегарада ўзгариб туради. Масалан, $Q=5$ да тўлдириш характеристикаси катетларида I_{kz} ва V_{xx} жойлашган, туғри бурчакли уч бурчак булади. Мисол учун, $Q \cong 0,6$, қисқа тутатиш токи $I_{kz}=20\text{мА/см}^2$, $V_{xx}=0,7\text{В}$, интеграл ёруғлик оқими 1000 Вт/м^2 булганда қуёш элементининг Ф.И.К. ҳисоблаймиз. Формула (12) дан кенг ишлаб чиқарилаётган, улчамлари $60\text{мм} \times 60\text{мм}$, $I_{kz}=700\text{мА/см}^2$, $V_{xx}=0,7\text{В}$ қуёш элементлари учун қуйдагига туғри келади.

$$\eta = \frac{0,6 \cdot 200\text{А/м}^2 \cdot 0,7\text{В}}{1000\text{Вт/м}^2} \cdot 100\% = 8,4\%$$

Бундан кўриниб турибди, 3,5А токни истъемол қилувчи, $\sim 750\text{ Вт}$ қувватли электр насосни таъминлаш учун йиғинди токи $I_{kz}=3,5\text{А}$ га тенг бешта модулдан ташкил топган қуёш батареялари керак булади. Бу эса қушимча материаллар сарф этилишини талаб қилади, натижада қуёш батареяларнинг нархи кўтарилади. Шу билан бир вақтда бир элементнинг юклама қуввати 140 Вт га етади. Қуёш элементларининг Ф.И.К. ни кўтаришга имкон берадиган усуллардан бири, Q -тўлдириш коэффициентини кўтариш бўлади.

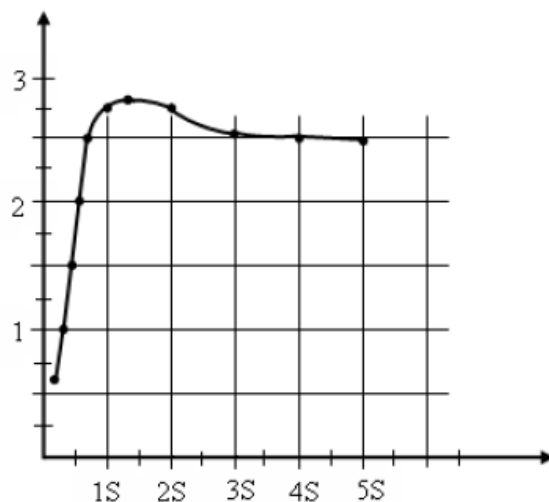
Қуёш элементи Ф.И.К. нурланиш интенсивлигига боғлиги.

Бу ерда, Ф.И.К. паст, поликристал ярим ўтказгич мисолида таёрланган, қуёш элементлари ва уни кўтариш имкониятлари, тадқиқотларнинг натижалари муҳокома қилинади. Бу масалани ечишнинг кўп усуллари мавжуд. Буларга, айлантирувчининг ўз элементларининг электрофизик микропараметрларни оптималлашни, хусусан ҳаёт вақти τ , асосий бўлмаган ташувчилар ҳаракатчанлиги μ , диффузион қатлам қалинлиги ва бошқ, ўз ичига олган, кўп илм талаб қилувчи техник усуллар

киради. Бундан ташқари қуёш элементни берилган спектр соҳасидан қушимча фон нурланиш билан ёритиш ёки ташқи электр майдон тасирида, унинг Ф.И.К. кўтариш мумкин.

Танланган технология бўйича, серияли таёрлашда, қуёш элементлар сифатига жавоб берувчи $I_{kз}$, $V_{хх}$ ва Q катталиклар бўлиб, булар сортировкада, тушаётган нурланиш қувватининг айлантириш P_p/P_E коэффицентига булган таъсири ҳисобга олинмайди, бу ерда P_p қуёш элементининг келишилган юкланишда чиқарадиган қуввати. Натижада ишланган Ф.И.К. кичик булган қуёш элементлар фойдаланиш учун яроқсиз деб ҳисобланади. Ф.И.К. кам бўлиб таёрланган қуёш элементларининг тадқиқот натижалари ва уларни кўтариш имкониятлари пастда кўрсатилган.

Қуёш элемент сифатида, металл тагликдаги, актив майдони $S_{обр} = 4,32 \text{ см}^2$, CdTe асосидаги поликристал пленкаси танланган. Қуёш элементига тушаётган интегралл ёруғлик оқимининг P_E қуввати 8 мВт/см^2 дан 400 мВт/см^2 ўзгарди. P_E қувват максимал бўлганда, тўлдириш коэффицентига туғри келадиган, ток зичлиги $I_{kз} = 14,8 \text{ мА/см}^2$, $V_{хх} = 0,66 \text{ В}$ булади. Умумий қабул қилинган “Қуёш-S” бўйича нурланиш интенсивлигини даражалаш $1S-4,7 S$ ни ташкил қилади, бу ерда $1S = 3 \cdot 10^{17}$ фотон/ $\text{см}^2 \cdot \text{сек.}$ га тенг. Олинган натижалар, ёруғлик оқимининг айлантириш коэффиценти P_p/P_E , нурланиш интенсивлиги $1,2$ ($\sim 100 \text{ мВт/см}^2$) булганда, максимал қйиматга эга бўлиб, нурланиш интенсивлиги ўсиши билан пасайади ва $3,5 S-5 S$ соҳада, $P_p/P_E \sim 2,5-2,6\%$ қйиматга туғри келиб, ёруғлик оқимининг электр энергияга айланган қисмини кўрсатади. (Расм 19). Бу ҳолда қуёш элементининг Ф.И.К $\eta \sim 0,73\%$ булади.



Расм 19

Бундай паст Ф.И.К нурланишни электр энергияга айлантиришнинг паст коэффициентига боғлиқ. $I_{kз\text{ ва } V_{xx}}$ худди шу қийматларида, P_p/P_E нинг максимал қйматиға туғри келадиган интенсивлик билан нурланишда, $\eta=3,56\%$ булади, яъни 5 маротоба яхшиланади. Юқори интенсивлик нурланиш билан нурлашда, ёруғлик оқимининг асосий қисми қуёш элементнинг ўзини иситишга сафланади ва электрон-тешикча жуфтларнинг тегишли концентрацияларини ташкил қилишга қаршилиқ қилади деб фараз қилинади.

Тадқиқотларда олинган натижалари кўрсатадики, қуёш элементнинг Ф.И.К. максималга етиш учун нурлаш интенсивлиги айлантириш коэффициентнинг максимум соҳасидан танланиши керак. Тадқиқод қилинган поликристаллик пленкали ярим ўтказғичлар асосидаги қуёш элементлар учун, Тошкент ш. кенгликда оптимал $P_E \sim 100 \text{ мВт/см}^2, (1 \text{ S})$.

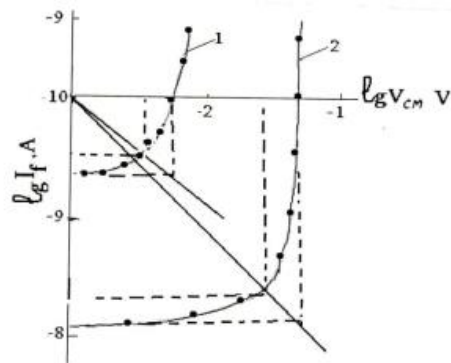
Оптимал нурланиш интенсивлигини танлаш бу қуёш элементлар эксплуатация режимларини оптималлаш альтернатив усуллардан бири бўлиб, уларнинг Ф.И.К. ни кўтариш учун хизмат қилиши мумкин.

Куёш элементлари ўтказишларидаги Ф.И.К. спектрал боғланиши.

Узининг моҳияти буйича, тадқиқот қилинган CdTe асосидаги куёш элементлар структураси, CdTe асосий қатлами ва кейинги яримўказиш уланиш орасидаги қаттиқ қоришмага нисбатан ҳосил булган иккита қарама-қарши уланган р-п ўтишлардан иборат булади.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, эслаб утилган фотоприемниклар фотогальваник режимда, яъни қачонки ташқи кучланиш манба йуқ бўлган ҳолда, интеграл ёруғлиқ оқимида, қарама-қарши уланган ўтишлар Ф.И.К. паст булиб, 10-15% дан катта булмайди. Яъни, юқори қатламлар ўтказиши коэффиценти ~90% билан тайёрланса ҳам, электрон-тешикча жуфтлари пайдо булишида тушаётган ёруғлиқ оқимининг ~85-90% фойдаланилмайди. Бу эса, ўтказиш қатламида, яъни қатламлар орасидаги қаттиқ қоришма ҳажмида фотоўтказувчиларнинг рекомбинация тезлигининг баландлиги ва диффузия коэффицентининг паст бўлиши билан, белгиланиши мумкин.

Шунинг учун CdTe - CdO структура мисолида фотоприемникларнинг фотосезгирлик спектрал эффективлиги, нурланиш детектори сифатида тақиқот қилинди. Туғри йуналишда, фотодиод режимида, ёруғлиқ вольт-ампер характеристикалари $\lambda=400\text{нм}$ ва $\lambda=670\text{нм}$ да фотоЭЮК белгисининг инверсияси кузатилади. Қарама-қарши уланган ўтказишларнинг йиғинди Ф.И.К расм 20 даги графикдан аниқланиб, $\lambda=400\text{нм}$ да 52% ва $\lambda=670\text{нм}$ да 76% ни ташкил қилади. Тушаётган фотонлар энергияси $\lambda=400\text{нм}$ ва $\lambda=670\text{нм}$ булганда 3,1эВ ва 1,85 эВ ташкил этади. Ташувчилар генерацияси $\lambda=400\text{нм}$ булганда юзадан чуқирроқ жойлашган базовий қатламда ўтиши мумкин. Яъни биринчи ҳолда йиғинди спектрал эффективлик юқори рекомбинацион жараён билан белгиланади, иккинчи ҳолда эса, қаттиқ қоришма ҳажмида паст рекомбинацион жараён билан аниқланади. Шундай қилиб тадқиқот қилинган фотоприемниклар нурланиш спектрнинг қисқа тулкин қисмига нисбатан, узун тўлкинли қисмида катта йиғиш коэффицентга эга.



Расм 20. CdTe- CdO фотоприемникнинг спектрал ёруғлик ВАХ

1- $\lambda=400\text{нм}$, $\eta=52\%$

2- $\lambda=670\text{нм}$, $\eta=76\%$.

Кузатиш бурчаги. Қуёш элементларининг кузатиш бурчаги аҳамиятли эксплуатация параметри бўлади. Шунинг учун кўриниш бурчаги катта бўлган ҚЭ ни яратиш актуал вазифа булиб қолади. Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики [9], фотоэлементнинг оптик нурланиш манбасини кузатиш эффективлиги улар юзасининг структурасига туғридан туғри боғлиқ эканлиги кўрсатилади.

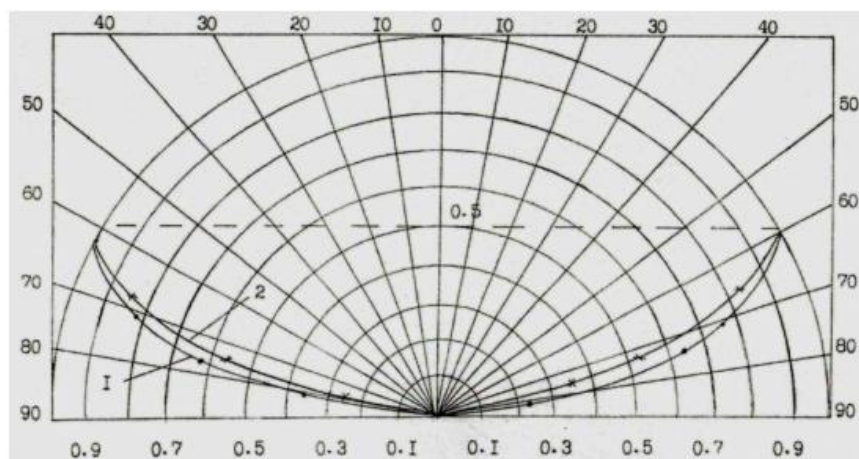
Кўрсатилган, донлари устунча структурали $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ қаттиқ қоришма плёнкалар асосида эффектив ФЭ олинади ва улардаги дон катталиги узиш йуналишида (30-40мкм) пленкалар қатламини тўлиқ қоплайдилар. Монокристалл асосида яратилган фотоэлементлар одатда оптик нурланиш манбасини 50-70° дан катта бўлмаган кузатиш бурчаги оралиғида манбанинг силжишини кўрсатади. $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ поликристаллик пленкалар юзасини ёруғлик нур билан сканирланиши ёруғлик нур диаметри 1-3мкм тенг, $\lambda=0,63$ мкм қуввати 25 мВт гелий-неон лазер ёруғлик манбаси ёрдамида ва индунцирланган ток режимида ўтказилди.

Микроскоп остида кузатишлар, пленкалар юзаси мураккаб тузилишга, конус ёки кесилган конус турда эканлигини кўрсатди. Энг катта конусларнинг чизикли размерлари $\cong 3-5$ мкм ва улар орасидаги ўртача масофаси 30-40 мкм тенг. Бу экспериментал факт шуни кўрсатадики конус турдаги микрокристалликда фототок катталиги

фонавий фототок катталикларидан этиборли даражада паст эканлигини кўрсатади. Ясси кўриниш бурчаги текширилди ва бурчак аниқлиги 10^1 (10минут), $0-180^\circ$ секторда улчашлар ўтказилди.

ФП кўриниш бурчаги 315-480нм нурланиш спектр диапозонида тадқиқот қилинди. Фотоэлементнинг ясси бурчаги кўриниш диаграммаси расм 20 да келтирилган бўлиб, фотоЭЮКнинг оптик ўқдан визирлаш ўқининг, градусда кўрсатилган оғиш, катталигига боғланиши курсатилган. Визирлаш ўқи, улчаниш бошланишида, оптик ўқ билан устма-уст тўғри келтирилади, демак $\varphi=0^\circ$. Шу билан бир вақтда визирлаш ўқи, фотосезгир майдончанинг айланиш нукталаридаг утган, перепендикуляр чизик билан мустахкам боғланган. Кейнчалик визирлаш ўқининг жойланишини градусда келтирамиз, бу эса оптик ўқдан оғишини градусда ифодалайди.

Расм 21 куринади, чиқиш сигнал даражаси 120° сектор чегарасида дойими бўлиб қолади. Нурланиш манбаларини кузатиш критерияси деб кўриш бурчаги диаграммасининг ярим кенглиги олинган, шунинг учун бу ердан тадқиқот қилинган фотоприемниклар кўриниш бурчаги 120° ташкил этади.

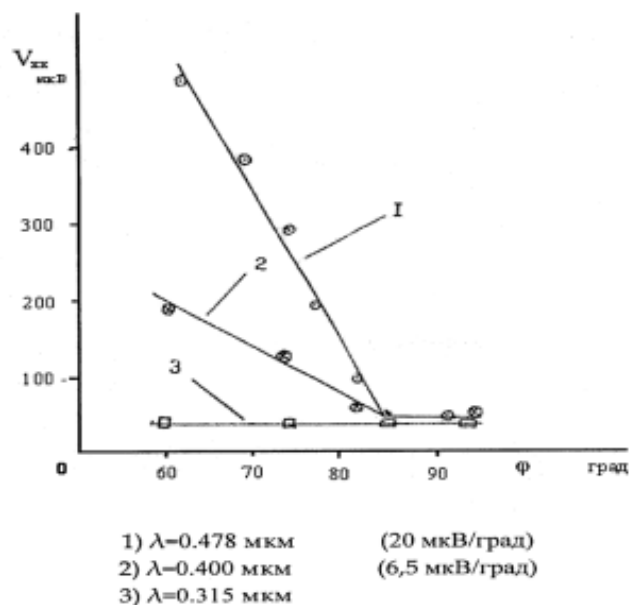


Расм 21. ФП ясси бурчак кўринишининг диаграммаси (донлар улчамлари 30-40 мкм).

Оптик уқдан визирлаш уқининг кейинги оғиши, чиқиш сигнал даражасининг кескин пасайишига олиб келади. Расм 22 да тушаётган нурланиш тулқинлар узунлиги: чиқиш сигнал катталиги, $\lambda=478\text{нм}$ 499 нм, ва 315 нм да чиқиш сигналнинг (микровольтда ифодаланган) визирлаш уқига боғланиши келтирилган. Куриниб турибдики, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ қиялиги тушаётган нурланишнинг тулқин узунлигига кучли боғланган. Тушаётган тулқин узунлигининг камйиши билан бундай боғланиш қиялигикескин камаяди ва $\lambda=315\text{нм}$ ёритишда амалда йуқ бўлади.

Тулқин узунликлари $\lambda=478\text{нм}$ ва $\lambda=400\text{нм}$ тенг бўлганда боғланиш қиялиги V_{xx} , ϕ° 20 мкв/град ва 6,5 мкв/град. ни ташкил қилади. Ясси бурчак куриниши ичида тушаётган нурланиш бир ҳил энергияда бўлса ҳам, чиқиш сигнал катталиги, хар ҳил тулқин ёруғлик билан нурлашда, хар ҳил қийматларга эга. Бунда ёруғлик $\lambda=478\text{нм}$ билан нурлашда чиқиш сигнали энг катта қийматга, ва $\lambda=315\text{нм}$ да энг кичик қийматга эга. Бу экспериментал натижаларда металл қатлам (AU) қалинлигини ҳисобга олинганлиги билан тушинтириш мумкин. $\lambda=478\text{нм}$ билан ёритилганда ёруғлик AU қатламдан утиб $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ пленкаларда ютилса керак ва $\lambda=400\text{нм}$ билан нурлантирилганда ёруғликнинг этиборли қисми AU қатламда ютилиб, қолган қисми эса қаттиқ аралашма қатламларида ютилади.

$\lambda=315\text{нм}$ ёруғлик билан нурлашда, ютилиш асосан AU қатламда булади, ёруғликнинг фақат кам қисми $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ қатламга ўтади деб фараз қиламиз. Буни далиллаш учун, металл қатламлари 2-3 маротоба кам булган фотоэлементлар олинди. Ҳақиқаттан ҳам бундай ФП ларда V_{xx} , ϕ° боғланган ҳолда 120° апертурадан ташқари $\lambda=315\text{нм}$ ёруғлик билан нурлашда, қиялик пайдо булади. Аммо, катталиги AU қатлам камаиши билан, чиқиш сигнал кескин камаяди. Донлар катталиги ортиши куриниш бурчагининг камайишига олиб келади.



Расм 22. Тушаётган нурланиш тулқинлар узунлиги: чиқиш сигнал катталиги, $\lambda=478\text{нм}$, 499нм ва 315нм да чиқиш сигналнинг визирлаш уқига боғланиши.

7-modul

14-mavzu. Fotoelementlarni tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallarning xususiyatlari.

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 yemirish (travlenie) jarayonlari kiradi. Ishlov berish tartibi quyidagilardan iborat: taglikka o'rnatish, 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 o'rnatiladi, keyin shlifovka jarayonida ishlatilgan dastgohga yoki alohida dastgohga yumshoq matoh (M: baxmal, zamsh, batist, satin va shunga o'xshashlar) tortiladi. So'ngra namuna matohga ma'lum bosim bilan yarim o'tkazgichli material kontaktga keltiriladi va ma'lum tezlikda aylantiriladi 60-100 ayl/min. Matoh bilan namuna orasiga tarkibida olmos bo'lgan suspenziya (olmos pastalar asosida tayyorlangan qo'yiqlar) quyiladi. Ishlatiladigan asosiy olmos pastalar markalari ASM 3, ASM 1 va hokazolar. Ishlov berish sifati va darajasi optik mikroskop yordamida nazorat qilinadi.

Ximik yemirish jarayoni. Yarim o'tkazgichli materiallar sirtida mexanik ishlov natijasida hosil

bo'lgan deformatsiya bo'lgan qatlamlarni sof yuza chegarasigacha olib tashlash uchun ishlatiladi. Ayrim hollarda YaO' qalinligini kamaytirishda ham ishlatiladi. Ximik yemiruvchilar (travitelъ) uch turga bo'linadi.

1. Selektiv (tanlovchi) yemiruvchilar. Bular yordamida kerakli ma'lum kristallografik yo'nalishdagi yuzalarni, sirlarni chiqarish mumkin.
2. Sayqallovchi (poliruyuhiy) yemiruvchi. Izotropik ya'ni har xil yo'nalishda o'zgarmas ma'lum yemirish tezligiga ega bo'lgan yemiruvchi.
3. Noselektiv yemiruvchi. Bu yemiruvchi material yuzasini nisbatan sayqallaydi hamda yuzada notekisliklar ham hosil qiladi.

Yemiruvchilar tayyorlash uchun ximikatlar ularning tozaligiga qarab tanlab olinadi. Ximikatlar tozaligiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi. T – texnik toza, XCH – ximiyaviy toza, CHDA – analiz uchun toza, OSCH – alohida spektral toza.

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 kontsentratsiya o'zgarishini ko'rsatadi. Bu yerda, D – diffuziya koeffitsienti, sm^2/sek o'lchanadi va bu koeffitsient berilgan kontsentratsiya gradienti qiymatida moddalar oqimining qiymatini ko'rsatadi. Fikning ikkinchi qonuniga asosan kontsentratsiyaning vaqtga nisbatan o'zgarishi

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

ga teng bo'ladi.

Umuman yarim o'tkazgichli asbobsozlik texnologiyasida keng imkoniyatliliigi, samaradorligi va ko'p qavatli qatlamlar olish imkoniyati osonligi, kirishmalar kontsentratsiyasini o'zgartirish imkoniyati mavjudligi bilan boshqa usullardan farq qiluvchi usul - bu diffuziya usulidir. Kirishmalarni diffuziya hududiga yetkazish 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 tsentrifuga 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 kontsentratsiyasi taqsimoti chegaralanmagan quvvatli kirishma manbai holi uchun quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

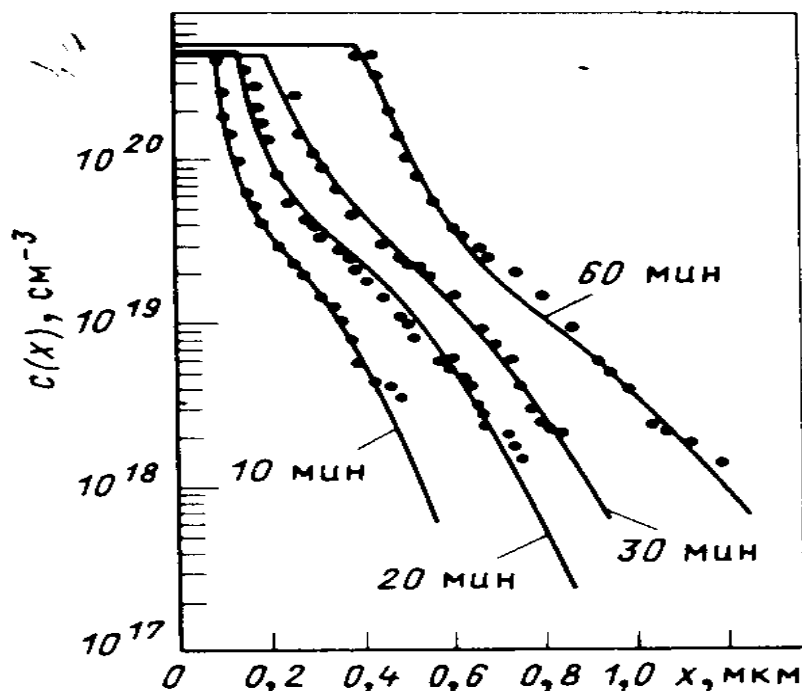
$$N(x,t) = N_0[1 - \exp(-x^2/4Dt)] \quad (6)$$

bu yerda N – kontsentratsiya, D – diffuziya koeffitsienti, t – vaqt, N_0 – kirishmalar atomlarining yuzadagi kontsentratsiyasi.

Eksperimental tadqiqotlardan aniqlanishicha, kirishmalar taqsimoti ancha murakkab bo'lib, bunga asosiy sabab diffuziya koeffitsienti D ning yarim o'tkazgichli materialdagi vakansiyalar kontsentratsiyasiga 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 kontsentratsiyasini 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 hosil qiladi va natijada yarim o'tkazgichning elektrofizik xususiyati keskin yomonlashadi (Misol, jumladan L, t, μ va hokazolar).



Rasm 14.1. Diffuziya jarayoni o'tkazishning har xil vaqtlari uchun fosforning kremniydagi diffuzion profili. (diffuziya o'tkazish harorati 950°S , diffuziya manbai ROS_{13} , kremniy tagligida kirishmalar konsentratsiyasi $2 \times 10^{16} \text{ sm}^{-3}$); $s(x)$ – yuzadan x masofadagi fosfor atomlarining konsentratsiyasi.

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 platoni kimyoviy yemirish usuli bilan olib tashlash.

Ikki stadiyali diffuziya qilish usuli.

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.

Diffuzion qatlamlar 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 kontsentratsiyasi, kirishmalar 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 yemirib (razruhayuhie) o'lchash usullari kiradi. Qatlamni yemirishga 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 yemirib p-n 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 p-n o'tish chegarasigacha qiya tekislik hosil qilinadi. Bu usullarning aniqligi zoldirning diametriga va qiya tekislikning qiyaligiga bog'liqdir. +atlamni buzmasdan qalinlikni o'lchash usullariga vol't-sig'im xarakteristikani o'lchash yo'li bilan qalinlikni aniqlash va har xil elektron zond usullari kiradi.

Kirishmalar kontsentratsiyasini o'lchash usullari. Kirishmalar kontsentratsiyasini o'lchash usullari ko'p bo'lib bulardan klassik sifatida foydalanidigan usullardan bu Xoll usuli, Van der Pau usuli va vol't-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.

Diffuzion texnologiya asosida quyosh elementlarini tayyorlash imkoniyatlari.

Hozirgi zamon kremniy asosidagi quyosh elementlarining deyarli aksariyatida QE ning asosiy qismi bo'lgan p-n o'tish olish kirishmalarni diffuziya qilishga asoslangan. Diffuzion p-n 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. L_d 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 p-n o'tish olishdan avval diffuzion jarayon o'tkazish va diffuzion qatlam parametrlari oldindan nazariy yo'l bilan hisoblanadi. Avvaliga p-n o'tish qalinligi, diffuzion qatlamdagi kirishmaning kontsentratsiyasi, sirt rekombinatsion koeffitsienti hisoblanadi. So'ngra diffuziya qilish jarayoni aniqlanadi.

R-tipdagi kremniy asosida QE olish uchun fosfor kirishmalari kiritiladi. Yer sharoitida ishlaydigan effektivligi 16-18 % bo'lgan quyosh elementlari olish uchun fosfor kiritilgan qatlamning qalinligi 0,3-0,5 mkm bo'lishi kifoya, kirishmalar kontsentratsiyasi 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 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 jismli 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.

p-n 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.

15-mavzu. Fotoelementlarda geteroo'tishlar va ularning xossalarini o'rganish;

Ikkita har xil moddalarning bir-biriga tutashuvi (kontaktga keltirilishi) ga geteroo'tishlar (GO') deyiladi. GO' har xil turlari mavjud bo'lib, jumladan;

1. Ikkita har xil yarim o'tkazgich asosidagi GO'. Misol, GaAs va Ge, GaP va Si, CdTe va CdS va boshqalar.
2. Metall va yarim o'tkazgich asosidagi GO' (SHottki bar'eri misolida). Misol, Au va Si, Ge va Ag va boshqalar.
3. Metall va yarim o'tkazgich orasidagi omik kontakt.

Geteroo'tishlarning energetik diagrammasi.

Geteroo'tishlarning fizik va elektrik xossalarini o'rganish va uni tahlil qilish ularning energetik diagrammalarini tuzish asosida olib boriladi. SHuning uchun qisqacha GaAs-Ge geteroo'tishining energetik diagrammasi misolida ko'rib o'tamiz. Faraz qilaylik, berilgan yarim o'tkazgichlarning hajmdagi xususiyatlari bo'linish chegarasigacha o'zgarmaydi va chegara qismida keskin bir materialdan boshqa material xususiyati boshqasiga o'zgaradi. GaAs va Ge materiali uchun man qilingan zonalar kengligi (E_g) 1,45 va 0,7 eV ga teng. (23-rasm).

CHiqish ishining kattaligi Fermi sathidan to vakuum sathigacha bajarilgan ish miqdoriga teng bo'lgani uchun va Fermi sathining kirishmalar kontsentratsiyasiga bog'likligi sababli, uning o'rniga elektronga moyillikni olish maqsadga muvofiqdir, ya'ni o'tkazuvchanlik zonasi chegarasidan vakuum sathigacha bajarilishi kerak bo'lgan ish kirishmalar energiyasiga bog'lik emas. Tablitsada GaAs va Ge ni xarakterlaydigan energetik diagramma tuzish uchun kerak bo'ladigan parametrlar keltirilgan.

PARAMETRLAR	GaAs	Ge
Elektronga moyillik, χ va man qilingan zona kengligi, E_g , (eV)	4,07, 1,45	4,13, 0,7
Kompensatsiya qilinmagan donorlar kontsentratsiyasi, $N_d - N_a$, sm^{-3}	10^{16}	
Kompensatsiya qilinmagan aktseptorlar kontsentratsiyasi, $N_a - N_d$, sm^{-3}		$3 \cdot 10^{16}$
$E_c - E_{g'} = \delta_{\text{GaAs}}$, eV	0,1	
$E_{g'} - E_v = \delta_{\text{GaAs}}$, eV		0,14
Panjara doimiyligi, α , $\text{\AA}^\circ$	5,654	5,658
Nisbiy dielektrik kirituvchanlik, ϵ	11,5	16

Elektronning $E_{g'p}$ sathdagi energiyasi uning $E_{g'n}$ sathdagi energiyasidan kam, shuning uchun Fermi sathlari tenglashuvi uchun (materiallar kontaktga keltirilgan hol) bir qism elektronlar GaAs dan Ge ga o'tadi. Bunday harakat (kuchish) chegaraviy qismda arsenid galliyda E_c sathining yuqoriga qayrilishiga olib keladi. Ya'ni 23-rasmdagi V_{dn} va V_{dp} uzilishlar hosil bo'ladi. Fermi sathining siljishi

$$E_{g'p} - E_{g'n} = (\chi_{\text{Ge}} + E_{g(\text{Ge})} - \delta_{\text{Ge}}) - (\chi_{\text{GaAs}} + \delta_{\text{GaAs}}) = V_{dn} + V_{dp} \quad (7)$$

va bu miqdor 0,52 eV ga teng bo'ladi. Gomoo'tishdagi kabi, chegara yaqinida χ_n va χ_p qalinliklarda zaryadga kambag'allashgan hududlar mavjud bo'lib, zaryad saqlanish qonuniga asosan

$$X_n \text{ va } \chi_p = N_a / N_d \quad (8)$$

saqlanishi kerak. Puasson tenglamasiga asosan

$$V_{Dn} = N_D \chi_n^2 / 2\epsilon_{\text{GaAs}} \text{ va } V_{Dp} = N_A \chi_p^2 / 2\epsilon_{\text{Ge}} \quad (9),$$

bu tenglamadan

$$V_{Dn} / V_{Dp} = N_A \epsilon_{\text{Ge}} / N_D \epsilon_{\text{GaAs}} \quad (10)$$

kelib chiqadi. Bizning hol uchun bu nisbat 4:1 munosabatdadir. SHuning uchun, bu nisbat 0,42

eV va 0,10 eV ga tengdir. Bu ko'rilgan mulohazalardan quyidagi energetik diagrammani chizish mumkin (23-Rasm).

Oddiy geometrik mulohazalar asosida ΔE_c uzilish uchun quyidagi tenglikni keltirish mumkin.

$$\Delta E_c = \delta_{GaAs} + V_{Dn} - (E_{g(Ge)} - \delta_{Ge}) + V_{Dp} \quad (11)$$

va (1) tenglamani hisobga olib

$$\Delta E_c = \chi_{Ge} - \chi_{GaAs} \quad (12)$$

hosil bo'ladi.

Valent zonadagi energetik uzilish uchun esa quyidagi tenglikni keltirish mumkin.

$$\Delta E_v = (E_{g(GaAs)} - E_{g(Ge)}) - (\chi_{Ge} - \chi_{GaAs}) \quad (13)$$

va (12)→(13) natijasida

$$\Delta E_c + \Delta E_v = E_{g(GaAs)} - E_{g(Ge)} \quad (14)$$

hosil bo'ladi. Xuddi shunday mulohaza asosida boshqa geterojuftliklar uchun ham energetik diagrammalarni tuzish mumkin. Bu diagrammalar ajralish chegarasida zaryad bo'lmagan hol uchun to'g'ri bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlar materiallar asosidagi geterojuftliklar.

Geterojuftliklar tanlash asosan ikkita kristallografik parametrlarni hisobga olishga asoslanadi. Bular panjara doimiyligi va issiqlikdan kengayish koeffitsientlaridir.

Panjara doimiyligi agar bir necha foizni tashkil qilsa, u holda ajralish chegarasidagi holatlar zichligi 10^{14} sm^{-2} va undan yuqori bo'lishi mumkin, natijada geteroo'tish xususiyatlari shu chegaraviy holatlarga bog'lik bo'lishi mumkin. Bunday holatlar juftlanmagan valentlari yoki «bebosh» aloqalar hisobiga bo'ladi. SHular tufayli ajralish chegarasida quyidagi hollar kelib chiqadi;

- ajralish chegarasida energetik sohalarning qayrilishi,
- ajralish chegarasida ortiqcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning kuchli rekombinatsiyasi.

Agar ajralish chegarasidagi holatlar zichligi 10^{13} sm^{-2} va undan kamroq bo'lsa, aytish mumkinki chegaraviy holatlar o'tish chegarasiga kam ta'sir qiladi va geteroo'tish xususiyatlari tashkil qiluvchi materiallar orasida hosil bo'lgan geteroo'tish xossalari bilan aniqlanadi. SHuning uchun asosan geterojuftliklar tanlashda panjaralar doimiyligini farqi 1 % va undan kamroq bo'lishi maqsadga muvofiqdir. quyidagi jadvalda ayrim geterojuftliklar va ularning parametrlari keltirilgan.

Materiallar	E_g, eV	$a, \text{\AA}$	Zona tuzilishi	$IK, \text{\AA}^{-1}$	kirishmalar	Elektronga moyillik, eV
GaAs	1,43	5,654	To'g'ri	5,8	Se, Te, Zn	4,07
Ge	0,66	5,658	To'g'rimas	5,7	Al, Ga, In	4,13
ZnSe	2,67	5,667	To'g'ri	7,0	Al, Ga, In	4,09
Ge	0,66	5,658	To'g'rimas	5,7	Al, Ga, In	4,13
AlAs	2,15	5,661	To'g'rimas	5,2	Zn	3,5
GaAs	1,43	5,654	To'g'ri	5,8	Se, Te	4,07

Geteroo'tishli materiallar olish texnologiyasi asosan uch usulga asoslangan. Bular jumlasiga suyuq va gaz fazadan epitaksiya usuli, molekulyar-nurli epitaksiya usuli va vakuumdan ustirish usullaridir.

Getero p-n o'tishlarning afzalliklari.

QE geteroo'tishli materiallar asosida tayyorlanganda quyidagi afzalliklarga ega bo'lishi mumkin.

1) Agar keng sohali birinchi yarim o'tkazgichning man qilingan sohasi E_{g1} va keyingi yarim o'tkazgichning man qilingan sohasi E_{g2} bo'lsa, va $E_{g1} > E_{g2}$, holat uchun qisqa to'liq diapazonda spektral sezgirlikning o'sishi kuzatiladi.

2) Birinchi yarim o'tkazgichni «optik darcha» sifatida qaralib uni maksimal ravishda kirishmalar kiritish (yorug'lik o'tishiga to'sqinlik qilmaydigan darajada) vositasi bilan QE ning ketma-ketlik qarshiligini kamaytirish imkoniyati tug'iladi.

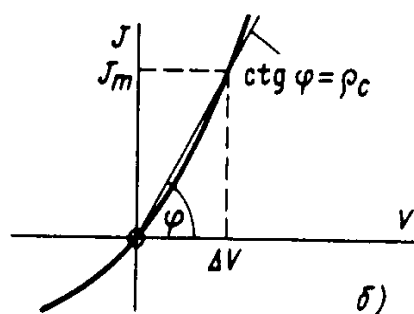
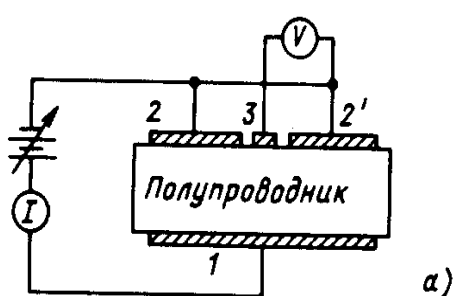
3) Birinchi yarim o'tkazgichni qalin qilib olish mumkin bo'lgani uchun, QE ning har xil nurlanish radiatsiyasiga chidamliligi ortadi. Bu esa QE larini koinotda ishlatilganida muhim ahamiyat kasb etadi.

8-modul

16-mavzu. Fotoelement tuzilmalariga omik kontaktlar olish texnologiyasi.

Omik kontakt tushunchasi.

Agar kontaktning volt-ampere 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, kontaktidagi 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. (16.1-rasm).



16.1-rasm. Kontaktlar qarshiligini o'lchashning uch zondli usuli (a), o'lchangan volt-ampere 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,

$$\rho_{ko} = (dV/dI)_{V=0} \quad (16.1)$$

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 ma'lum 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. Yerdan 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 jarayonlardan 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.

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.

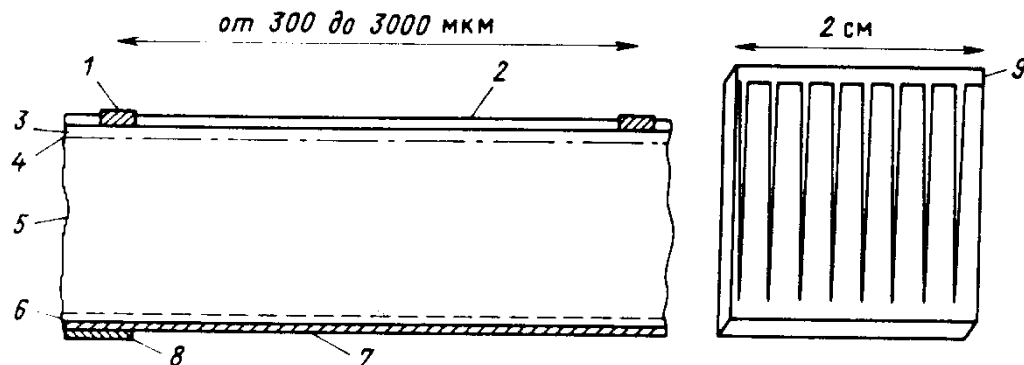
Odatda p^+ -Si uchun Ag yaxshi tunnellanish xususiyatiga asoslangan kontakt bo'lib hisoblanadi ($F_v=0,6-0,7$ eV). Ammo bu tizimning adgeziyasi yomon, shuning uchun Si bilan Ag orasiga oraliq yupqa qatlam Ti kiritiladi. Bunday kontaktlarda Ag ning qalinligi 2-3 mkm va titanning qalinligi 1 mkm ga yaqin 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 yerda nafaqat materiallar nodirligi, shu bilan birga vakuumda uchirish jarayonining katta isrofgarchilikka olib kelishini ham hisobga olish kerak (90% yaqini chiqindiga chiqadi).

QUYO'SH ELEMENTLARIGA KONTAKT OLIISH JARAYONI MARSHRUTI

Kontakt olish jarayonining asosiy operatsiyalarini ketma-ketligini quyidagilardan iborat.

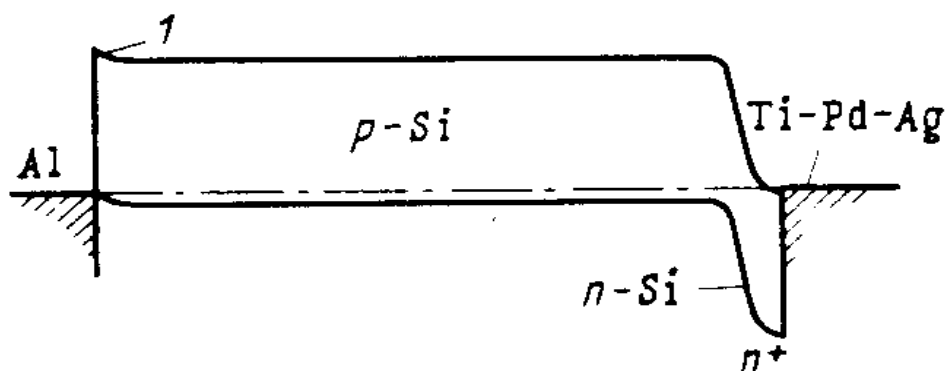
- Si r-n tuzilmasini kontakt olishga tayyorlash (ximik yoki ximik-mexanik usul bilan kontakt olinadigan yuzani tozalash),
- strukturaga fotorezist o'tqazish,
- fotoshablon yordamida kontakt rasmini tushirish,
- fotorezistni mustahkamlash,
- vakuum qurilmasidan foydalanib ketma-ketlik bilan kontakt materiallarini 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/sm². 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. 16.2 va 16.3-rasm.



16.2-rasm. 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 zaryadqatlami, 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 tokjamlovchi shina.

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.



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

Kontaktning geometrik shakli (topologiyasi) kontakt olinadigan yuza kattaligiga, diffuzion qatlamning qalinligiga va QE larining qaysi sharoitda ishlashiga qarab tanlab olinadi. Odatda yuzaga tushayotgan nurni yulini to'smaslik uchun yuzani to'sish koeffitsientining kattaligi 10 % dan oshirmaslikka harakat qilinishi kerak. Konsentrlashtirilgan (zichlashtirilgan) quyosh nurlari

bilan ishlaydigan QE larda esa yuzani to'sish koeffitsienti quyosh nurini zichlashtirish koeffitsientiga bog'lik bo'lib, ayrim hollarda u 50 % oshiqroq bo'lishi ham mumkin.

9-modul

17-mavzu. Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish texnologiyasi.

Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlarning xususiyatlari.

Quyosh elementari samaradorligini oshirishning yana bir yo'li elementning yuza qismidan bo'ladigan nur qaytarilish hodisasini kamaytirishdir. Misol uchun sayqallangan kremniy plastinasi yuzasidan (0,35-1,1 mkm 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 , SiO_2 , SnO_2 , TiO_2 , Ta_2O_5 , 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 kontsentratsiyasi $(1-2) \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$, 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'liq 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

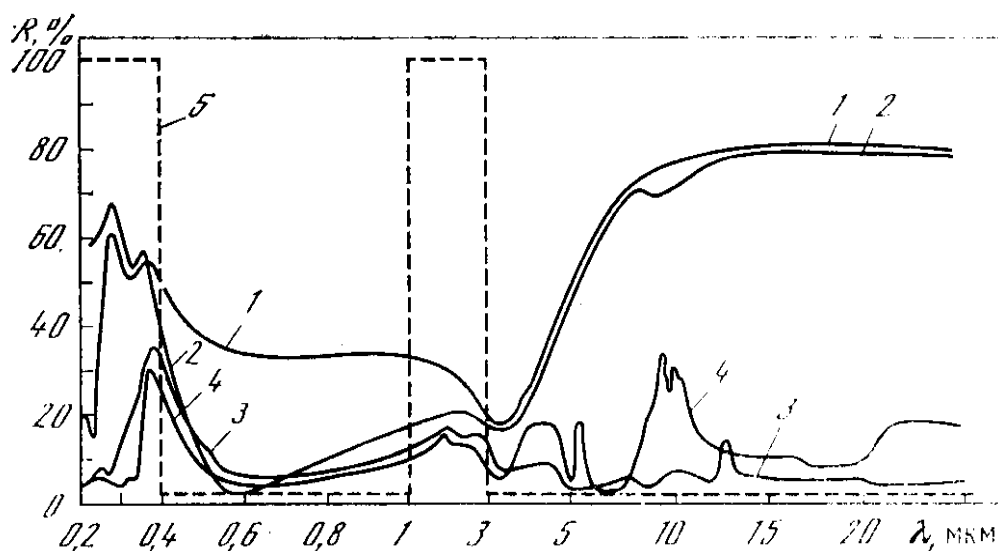
akslanishni kamaytiribgina qolmasdan shu bilan birga yuzani passivatsiya ham qiladi va uning ishonchliligini oshiradi. Odatda, sirtiga nitrid kremniy o'tqazilgan fotoqabullagichlarda ularni korpusga o'rnatishga hojat qolmaydi. Akslanishni kamaytirish usullaridan yana biri bu yuza sirtini teksturalashtiradi. Bu usulning mohiyati shundan iboratki, yuza sirtida akslanishni kamaytiruvchi rel'ef hosil qilinadi, ya'ni sirt ma'lum kristallografik yo'nalishda yemirish xususiyati bo'lgan eritmalar yordamida ishlov beriladi.

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 imkonliligi va nisbatan qoniqarliligidir.

Vakuumdagi 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 Yer 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 vakuumdagi uchirish usuli bilan olish uchun uning maydalangan (0,5-1mm) fraktsiyasi olinadi. Akslanishni 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 interferentsiya 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-qoplamalarning akslanish koefitsientining tushayotgan yorug'lik to'lqin uzunligiga qarab o'zgarishi keltirilgan. **17.1**-rasmda har xil materialdan tayyorlangan akslanishni kamaytiruvchi optik

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



Piroliz usuli bilan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish.

Piroliz usuli bilan akslanishni kamaytiruvchi qatlamlar olish usulini SnO_2 misolida ko'rib o'tamiz. SnO_2 asosidagi akslanishni kamaytiruvchi qatlamning yaxshi tomonlaridan biri uning legirlash imkoniyati mavjudligidadir. Natijada uning elektr tokiga qarshiligini minglab marotaba o'zgartirish mumkin. Bu birikma ximiyaviy ta'sirga o'ta chidamlidir. Bu qoplamani olish texnologiyasi SnCl_2 va SnCl_4 birikmalaridan 450-600 °S da piroliz qilishga asoslangan. 26- Rasmda SnO_2 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^2 gacha tushirish mumkin. SHishaga olingan qalay oksidi tahlili shuni ko'rsatadiki qalinligi 750-1100 °A bo'lganda ham shaffoflik ko'effitsientini 95 % yetkazish mumkin. qarshilikni kamaytirish hisobiga esa QE ga olinadigan kontakti bevosita akslanishni kamaytiruvchi qoplama ustiga olish imkoniyati tug'iladi.

Akslanishni kamaytiruvchi qatlamlarni termik yul bilan olish usuli.

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 SiO_2 olishda ishlatiladi. Bu usulning asosi texnologik jarayon davomida kremniyli tuzilmaning sirtini kislorod ta'sirida okislanishidadir. 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 sharoitidadir. «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.

18-mavzu. Fotoelementlar texnologiyasida fotolitografiya usulining qo'llanilishi.

Fotolitografiya usuli va uning mohiyati.

Hozirgi zamon mikroelektronikasining yutuqlari ko'p jihatdan fotolitografiya usulini qo'llanilishiga bog'liqdir. Bu usul bilan YaO' tuzilmalarda katta aniqlikda avvaldan berilgan topologiyaga ega bo'lgan shakl tushiriladi, va keyinchalik unga texnologik ishlov beriladi. Bu usul vositalari bilan har xil materialga, jumladan dielektriklarga, yarim o'tkazgichli materialga, metallarga proektsion rasmlar tushirish mumkin.

Fotolitografik usul (FLU) bilan materialga (YaO', metall, dielektrik) ishlov berilganda avvaliga kerakli shakllar alohida maxsus yorug'likka sezgir materialda – fotorezistda (fotorezist kerakli material sirtiga olinadi) olinadi. Fotorezistga (FR) rasm maxsus qurilmalar orqali tushiriladi. FLG usuli vositasida 1-3 mkm o'lchamdagi shakllarni 0,2-0,6 mkm aniqlikda tushirish mumkin. FLU usulida shakl olishda qilinadigan asosiy jarayonlar 26-Rasmda berilgan. Bu jarayonlar quyidagi tartibda bajariladigan texnologik operatsiyalardan iborat.

– materialga FR o'tkazish,

- fotorezistni mustahkamlash,
- fotoshablon yordamida shakl tushirish,
- shaklni nurlantirish (proyavlenie),
- keraksiz joylarni yemirish,
- ortiqcha FRni olib tashlash.

Fotorezistlar. FR lar – yorug'likka sezgir material bo'lib, yorug'lik ta'siri ostida eruvchanligining o'zgarishi hodisasiga asoslanib shakl ishlanadi. Asosan FR lar ultrabinafsha nurlar ta'sirida aktivlantiriladi. Fotorezist polimer materiallardan tayyorlanadi. FR pozitiv va negativ bo'ladi. Agar uning eruvchanligi nur ta'sirida ortsa, – pozitiv deyiladi, agar kamaysa – negativ deyiladi.

Fotolitografiya usulida qo'llaniladigan materiallar.

Fotolitografiya jarayonini o'tkazishga materialni tayyorlash muhim texnologik jarayon bo'lib hisoblanadi. FLU ni qo'llashda namunaga quyidagi talablar qo'yiladi.

- 1) Namuna sirtida nuqsonlar bo'lmasligi (iflosliklar, mexanik chiziqlar va hokazolar).
- 2) Har xil fizik yoki ximik holatlarning namuna sirtida bo'lmasligi (namuna atomidan boshqa atomlar).
- 3) Kerakli adgeziyaga ega bo'lgan FR tanlash.

Namuna sirtiga avvaldan o'tqazilgan dielektrik qatlamlarning qalinligi yetarli bo'lishi kerak.

Namuna sirtiga FR qatlamini olish jarayoni . FR qatlamini olishning bir necha usuli mavjud. Bulardan biri tsentrifuga yordamida FR qatlamini olishdir. Ma'lum tezlikda aylanayotgan tsentrifugaga mahkamlangan namuna sirtiga tomchi ko'rinishdagi FR tushiriladi. FR ning jarayon

davomida oqishi va yupqa qatlam hosil qilishi kuzatiladi va undan erituvchining bug'lanishi kuzatilib, uning ρ ovushoqligi ma'lum darajaga kelguncha foydalaniladi. FR oqish jarayoni to'xtashigacha jarayon davom ettiriladi. Odatda qalinlik bo'yicha bir tekis yupqa qatlam hosil bo'lishi uchun tsentrifuga aylanish tezligi 1500-6000 ayl/min bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Bu usulning afzalliklari qurilmaning soddaligi, yupqa qatlamlar olish imkoniyati mavjudligidadir.

Purkash usulida esa FR siqilgan havo yordamida namuna sirtiga sochiladi. Bu usul FR ning qalin olinishiga imkoniyat beradi. Eng soddada usullardan biri namunani FR ga botirish usulidir.

FR ni quritish jarayoni. FR ni termokamerada yoki infraqizil nurlar vositasida quritish usullari mavjud. +uritish 80-100°S ayrim hollarda 120-140 °S da olib boriladi.

Fotoshablon yordamida rasm tushirish

Fotoshablon – tushirishi kerak bo'lgan namuna ustidagi shaklning aksi (negativ FR uchun) yoki o'zi (pozitiv FR uchun) ko'rinishida bo'ladi. Fotoshablonni namuna bilan ustma-ust tushirish va nurlantirish odatda bir dastgoxda o'tkaziladi. Fotoshablonni namuna bilan ustma-ust tushirish imtiyozli, mas'ul jarayon bo'lib, u FLU aniqligini belgilovchi operatsiyadir. Ustma-ust tushirish jarayoni mikroskop ostida o'tkaziladi. Bu jarayondan keyin shu juftlik yoritiladi, buning uchun asosan kontakt usuli qo'llaniladi. Yorug'lik FR qatlamidan o'tib qisman yutiladi va FR ning fotosezgir qismini aktivlashtiradi. Fotorezist yoritilib aktivlashtirilgandan keyin, aktivlashgan (ya'ni yorug'lik tushgan joylari (yoki aksincha joylari) kimyoviy usul bilan yemiriladi va natijada kerakli shakl hosil bo'ladi. Bu jarayon «ochish» deb ataladi. «Ochish» (proyavka) botirish yoki pul'verzizatsiya usuli bilan bajariladi. Bu jarayonda nazorat qilish mikroskop ostida bajariladi va berilgan shaklning aniq bo'lishiga ahamiyat beriladi. «Ochish» jarayonining aniqligi, uning haroratiga, «ochqich reaktiv»ning (proyavitel') konsentratsiyasiga va yoritish vaqtiga (ekspozitsiyaga) bog'likdir.

Metall va dielektrik qatlamlarda shakl hosil qilish

Yupqa qatlamda (metall, dielektrik yoki YaO') shakl hosil qilish uchun avvaliga FR yordamida niqob hosil qilinadi, keyin FLU ni qo'llab shakl hosil qilinadi. Bu jarayonda asosiy operatsiyalardan biri shakl hosil qilish uchun, ximik yemirish jarayonidir. Ximik yemirish jarayonida, FR bilan himoya qilinmagan, joylarga yemirilishi kerak. Ammo ayrim hollarda yemirilish ichkarigagina emas, balki yon tomonga ham ketishi mumkin. Bu esa shaklni qisman buzilishiga va aniqlikning kamayishiga olib kelishi mumkin. Bu jarayon asosan tanlab olingan fotorezistning adgeziya xususiyatiga bog'likdir.

Kremniy oksidi (SiO_2) qatlamiga shakllarni olish. SiO_2 ga olingan FR ni yemirish uchun asosan ximik eritmalar ishlatiladi. Masalan, 40 % li ftorli ammoniydan (NH_4F) 88-91 hajmiy % va konsentrlangan (48 %) li HG' dan 9-12 hajmiy % li eritma tayyorlanadi. Yemirish tezligi jarayon o'tkazilayotgan sharoitga qarab 0,04-0,5 mkm/daqiqa bo'lishi mumkin.

Juda yupqa qatlamlarni nazoratli yemirish uchun esa 15 ml 48 % HG', 10 ml 70 % li HNO_3 , 300 ml H_2O tarkib olinib, yemirish sur'ati 0,012 mkm/daqiqa qilib olinadi.

Alyuminiy asosidagi qatlamlarni yemirish. Al asosidagi olingan qatlamlarni yemirish uchun kislotali va ishkori eritmalaridan foydalaniladi. Asosiy yemirivchi sifatida ortofosfor

kislotasi olinadi. Misol sifatida quyidagi tarkibni keltiramiz, $80-95 \text{ ml H}_3\text{PO}_4 + 5 \text{ ml HNO}_3 + (1-20 \text{ ml}) \text{ H}_2\text{O}$ ni 40°S da ishlatilganda alyuminiyning yemirish sur'ati $0,2 \text{ mkm/daqiqa}$ bo'ladi.

Quyidagi jadvalda har xil materialdan bo'lgan yupqa qatlamlarni yemirish uchun kerak bo'lgan ayrim tarkiblar ro'yxati keltirilgan.

+oplama materiali	Yemiruvchi eritma tarkibi
Mis	Xlorli temir, ammoniy persulfati, HCl , HG'
Kumush	Temir nitrati, KJ va J ning suvdagi eritmasi
Oltin	SHox arogi, KJ va J ning suvdagi eritmasi
Molibden	Kaliy ferrotsianidi, H_2SO_4 va HNO_3
Tantal	Fosfor, azot va sirka kislotalari aralashmasi
Nixrom	HCl
Kremniy nitridi	H_3PO_4 va HG' , HNO_3 ning 70°S dagi aralashmasi.

FLU ning oxirgi jarayoni – qolgan joylardan FR ni olib tashlashdir. FR ni olib tashlashning bir necha usullari mavjud bo'lib, bulardan kislotalarda ishlov berish, organik erituvchilarni qo'llash, plazmoximik usullar mavjuddir.

Kislotalar bilan ishlov berib FR olib tashlash 60°S gacha isitilgan konsentrlangan sulfat yoki azot kislotalari (yoki ularning aralashmalari) da 5-30 daqiqa davomida olib boriladi. Bu kislotalar qo'llanilganda FR olib tashlanayotgan tuzilma tarkibida shu kislotalar ta'sir qiladigan moddalar bo'lmasligi shart.

Organik erituvchilar bilan ishlov berilganda (bular qatoriga dioksan dimetilformamid, toluol, ksilol, yoki ularning aralashmalari kirishi mumkin) haroratni $60-100^\circ\text{S}$ qilib olinadi va ishlov berish vaqti fotorezistning markasiga va uning qalinligiga qrab 1-15 daqiqa atrofida olinadi. Plazmoximik usul asosan yuqori samaradorli qurilmalarda zavodlarda ishlatilishi mumkin.