

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

ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ФИЗИКА КАФЕДРАСИ

**Алиқулов Музаффар Шеркул ўғлининг
5140200-“Физика” таълим йўналиши бўйича бакалавр
даражасини олиш учун “Яримўтказгич асбобларда электрофизик
ва фотоэлектрик ҳодисаларни ўрганиш” мавзусидаги**

Б И Т И Р У В М А Л А К А В И Й И Ш И

**Рахбар: Ф-м. ф. н,
доцент Давлатов.Ў.Т.**

ГУЛИСТОН – 2020 й.

Мундарижа

Кириш.	3
I-БОБ. Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар.....	5
1.1. Қаттиқ жисмларда ёруғлик ютилиш ҳодисаси.....	5
1.2. Яримўтказгичларда ташқи фотоэлектрик эффект	8
1.3. Яримўтказгичларда ички фотоэлектрик эффект.....	14
II- БОБ. Ёруғлик таъсирида яримўтказгичларда ҳажмий фото э.ю.к ва металл-яримўтказгич контакти, ундаги фото электр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши.....	17
2.1. Яримўтказгичларда электр юритувчи кучнинг пайдо бўлиши.....	17
2.2. Бир жинсли ва бир жинсли бўлмаган яримўтказгичларда фото электр юритувчи кучнинг хусусиятлари.....	20
2.3. Металл-яримўтказгич контакти ва фото электр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши	22
III - БОБ. Яримўтказгич билан яримўтказгич орасидаги контакти ва ундаги ёруғлик таъсирида кузатиладиган ҳодисалар.....	30
3.1. Яримўтказгичларда бир жинсли бўлмаган муҳитни юзага келтириш..	30
3.2. Яримўтказгичларда р-п- ўтишда фотоэлектр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши ва р-п-ўтишнинг фотодиод ва фотоэлемент режимида ишлаши.....	39
3.3 Кремнийли ва арсенид галлийли қуёш фотоэлементларининг энергетик параметрларини ёруғлик нури оқимида ўрганиш.....	46
ХУЛОСА	59
ФОДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	61

Кириш

Мавзунинг долбзарблиги: Яримўтказгич асбобларда электрофизик ва фотоэлектрик ҳодисаларни ўрганиш, фақат фотоэлектрик асбобларни тайёрлашга имкон туғдирмасдан, балки яримўтказгичларнинг хоссаларини аниқлашда ҳам алоҳида ўрин тутди. Ҳақиқатдан ҳам, яримўтказгичларнинг хоссаларини характерловчи қатор параметрлар-заряд ташувчиларнинг яшаш даври, ман қилинган соҳанинг кенглигига, квант чиқариши каби фотоэлектрик ҳодисаларни ўрганиш натижасида аниқланади.

Мавзунинг илмийлиги. Яримўтказгич моддалар ёруғлик таъсирига жуда сезгир бўлади, чунки уларда ютилган электромагнит нурланиш энергияси эвазига заряд ташувчилар зичлиги ва ҳаракатчанлиги анча ўзгариши, бирмунча ажойиб ҳодисалар юз бериши мумкин. Ана шу ҳодисалар заминида жуда кўп асбоблар, мураккаб қурилмалар тайёрланади, улар фан ва техниканинг, саноатнинг турли соҳаларида ва инсонларнинг кундалик турмушида кенг қўлланилмоқда.

БМИнинг мақсади : Яримўтказгичлардан тайёрланган фотоэлементлар Қуёшдан келаётган ёруғлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантириб беришга имкон туғдирган бўлса, яримўтказгичли термоэлементлар иссиқлик энергияси ҳисобига электр энергия олишга ёрдам бермоқда. Бундай элементлардан тайёрланган Қуёш фото батареяларининг фойдали иш коэффициенти 20% дан ошиб бораётган бўлса, термогенераторларники 12% атрофидадир. Яримўтказгичли диод ва транзисторлар ҳам ёруғлик нури таъсирида ўзида бутунлай янги хусусиятларни намоён қилади. Бу эса оптоэлектроникада муваффақиёт билан ишлатилаётган ёруғлик диодлари ва фотосезгир асбобларнинг яратилишига олиб келди.

Яримўтказгичлар асосида келажакда яна ҳам ажойиб хоссаларга эга бўлган асбоблар яратилишига ҳеч бир шубҳа йўқ. Бунинг учун ҳозир таълим даргоҳларида билим олаётган ёшларимизни яримўтказгичлар ва уларнинг

ажойиб хоссаларга ҳақидаги билимлар билан мукаммал таништириб боришни зарур деб ҳисоблайман.

Бу иш ушбу БМИнинг **мақсади** қилиб белгиланди ва унда яримўтказгич асбобларнинг фақат ёруғлик нури таъсиридаги хоссаларини ўрганиш **вазифа** қилиб қўйилди.

Ёруғлик нурининг моддаларда ютилиш ҳодисаси физика тарихида муҳим аҳамиятга эга бўлган ҳодисалардан ҳисобланади. Бу ҳодисанинг мукаммал ўрганилиши туфайли модда тузилиши тўғрисидаги ҳозирги замон тушунчалари шаклланди. БМИнинг дастлабки қисмларида ҳам қаттиқ жисмларда ёруғлик ютилиш ҳодисаси кўриб чиқилади.

Қаттиқ жисмларда фотоэлектрик эффект ҳодисаси ўз характери билан ташқи ва ички фотоэлектрик эффектларга бўлинади. Яримўтказгичларда қатор фотоэлектрик ҳодисалар асосида ички фотоэлектрик эффект-нурланиш таъсирида электронларнинг паст энергетик ҳолатдан юқориги энергетик ҳолатга ўтиш жараёни ётади. Ушбу битирув малакавий ишда фотоэффект ҳодисасининг яримўтказгичларда содир бўлиш механизмлари, бу ҳодиса билан боғлиқ бўлган қонуниятлар ва уларга асосланиб яратилган баъзи яримўтказгич асбоблар физикаси ҳақида тушунча бериб ўтилади.

Ушбу битирув малакавий иши кириш қисми, 3та боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва интернет дан иборат бўлиб, 16та расмни ўз ичига олади ва ҳажми 62 бетни ташкил этади.

I - БОБ. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ФОТОЭЛЕКТРИК ҲОДИСАЛАР

1.1. Қаттиқ жисмларда ёруғлик ютилиш ҳодисаси.

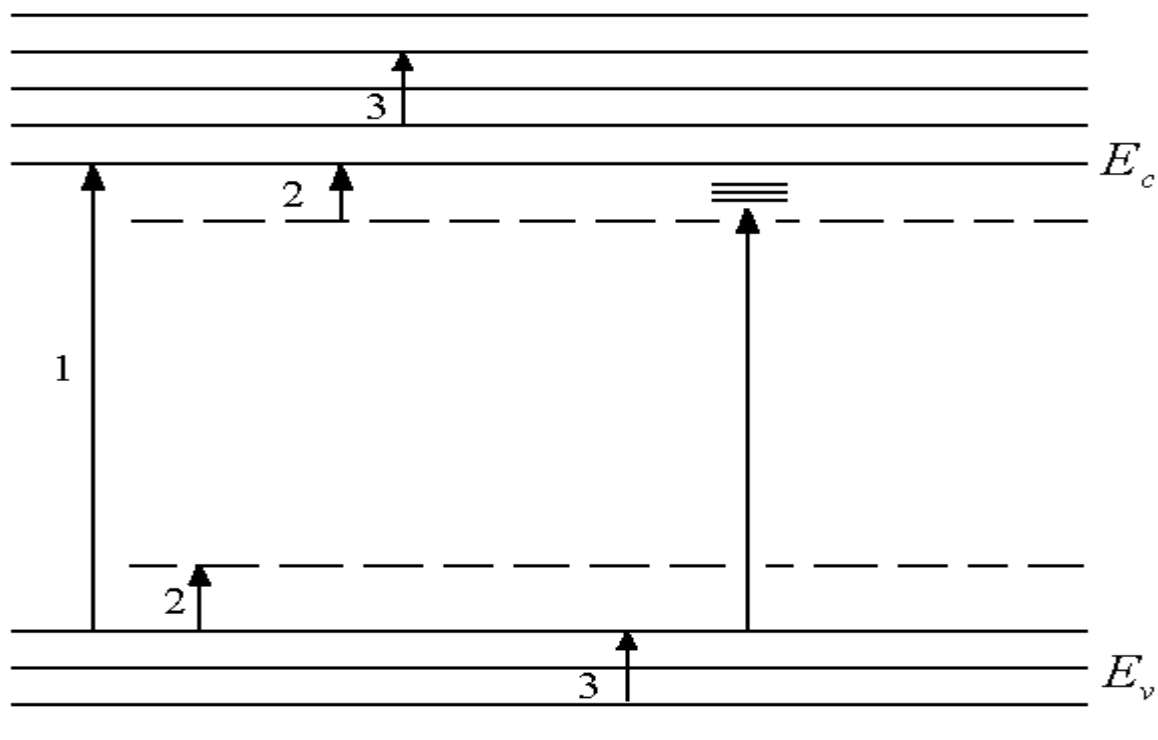
Модда сиртига тушаётган ёруғликнинг, умуман айтганда, бир қисми қайтади, бир қисми ютилади ва яна бир қисми ўтиб кетиши мумкин. Бизни ёруғликнинг моддада ютилаётган қисми қизиқтиради. Ёруғликнинг моддада ютилиши қуйидаги Бугер-Ламберт қонунига бўйсунди:

$$j(x) = J(0) \exp(-ax)$$

бунда $j(x)$ — ёруғлик тушаётган модда сиртидан x масофа ичкаридаги ёруғлик оқими (1 см^2 сирт юзига 1 с дан тушаётган ёруғлик энергияси), $J(0)$ — сиртга тушаётган ёруғлик оқими, a — модданинг ёруғликни ютиш коэффициентини. Бу қонунни монохроматик ёруғлик ҳолида $h\omega$ - энергияли фотонлар оқими орқали ифодалаш ҳам мумкин;

$$q(x) = q(0) \exp(-\sigma Nx)$$

бунда $q(0)$ ва $q(x)$ — модда сиртига тушаётган ва сиртидан x масофа ичкарига етиб бораётган фотонлар оқимлари, N — ютувчи марказларнинг ҳажмий зичлиги, σ — ютувчи марказнинг эффектив кесими. Равшанки, $J(x) = h\omega q(x)$, $a = \sigma N$ Шунини таъкидлаш керакки, ютиш коэффициентини ҳар бир модданинг ўзига хос бўлиши билан бирга яна ёруғлик (фотон) тақрорийлигига ҳам боғлиқдир. Шунинг учун боғланишни аниқлаш муҳим масалаларнинг биридир. Ёруғлик деганда биз электромагнит нурланишнинг кўзга кўринадиган ва кўринмайдиган соҳаларини назарда тутамиз.



1-расм. Яримўтказгичда ёруғликнинг ютилиш механизмлари.

Ёруғликнинг бир неча ютилиш ҳолларини қараб ўтайлик.

Ёруғликнинг ҳусусий ёки асосий ютилиши.

Яримўтказгичда ютилган фотон энергияси ҳисобига электроннинг валент соҳадан ўтказувчанлик соҳасига ўтиб олиши (соҳалараро ўтиш) ёруғликнинг ҳусусий ёки асосий ютилиши деб аталади. Бундай ютилиш оқибатида битта ўтказувчанлик электрони ва битта ковак (электрон-ковак жуфти) ҳосил бўлади(1-расм, 1-ўтиш). Бундай ютилиш юз бериши учун фотон энергияси тақиқланган соҳа кенглигидан катта бўлмоқғи зарур: $h\omega \geq E_g$. Кремнийда ҳусусий ютилиш электромагнит нурланишнинг кўзга кўринадиган ва ҳатто инфрақизил соҳаларида кузатилади, чунки $E_g \simeq 1 \text{ ЭВ}$ га (бу кремнийникига яқин), ёки $\omega \simeq 10^{15} \text{ Гц}$ (ёки $\lambda \simeq 1,2 \text{ мкм}$)га тўғри келади, бу эса инфрақизил соҳадир.

Ёруғликнинг қиришмалар томонидан ютилиш.

Бундай ютилишда ютилган фотон эвазига электроннинг қиришма атомидан ўтказувчанлик соҳасига ёки валент соҳадан қиришма сатҳига ўтиши содир бўлади (1-расм, 2-ўтиш). Бундай ютилиш юз бериши учун фотон энергияси қиришманинг E_i ионланиш энергиясидан каттароқ бўлиши зарур: $h\omega \geq E_i$. Бу энергия тақиқланган соҳа кенглигидан кичик ($E_i < E_g$, ҳатто $E_i \ll E_g$), бинобарин, бу ютилиш инфрақизил (ИК) соҳада юз бериши мумкин. Заряд ташувчилар ҳосил қилмайдиган қиришмавий ютилиш ҳам бор.

Ёруғликнинг эркин заряд ташувчиларда ютилиши. Бундай ютилишда ёруғлик тўлқини электр майдони таъсирида заряд ташувчилар мажбуран тебранади, бу ҳодиса электромагнит нурланиш энергияси ютилиши эвазига юз беради.

Ёруғликнинг кристалл панжараси тебранишлари томонидан ютилиши. Бундай ютилишда ёруғлик энергияси эвазига панжара

тебранишлари (мувозанатий тебранишларга қўшимча равишда) уйғотилади. Бундай ўтишда эркин зарядлар ҳосил бўлмайди.

Экситон ютилиш. Бундай ютилишда ёруғлик энергияси ҳисобига ўзаро боғланган электрон-ковак жуфти (гантель) ҳосил бўлади(1-расм, 4-ўтиш).

Ёруғликнинг соҳалар ичида ютилиши. Бундай ютилишда соҳалари мураккаб тузилишга эга бўлган яримўтказгичларда электрон (ковак) ютилган фотон энергияси ҳисобига мазкур соҳа ичида бир ҳолатдан юқорироқ бошқа ҳолатга ўтади (1-расм, 3-ўтиш).

Ёруғликнинг электрон- ковак плазмаси ютилиш. Бундай ҳодисада электронлар ва коваклар тўпламидан иборат плазма ўз энергия спектрига мос ёруғлик ютади, қўшимча плазмавий тебранишлар пайдо бўлади.

Юқорида баён этилган ёруғлик ютилишларининг энг кўп учрайдиган, муҳим бир неча ҳолларини кўриб ўтилди. Аммо, кристалларда ёруғлик ютувчи кўп марказлар (нуқсонлар) мавжуд.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, ютилиш спектри асосий модда атомлари ҳолатини ўзгартирадиган барча омилларга (температурага, легирлаш даражасига, босимга, магнит, электр майдонларга ва хоказоларга) боғлиқ бўлади.

1.2. Ярмўтказгичларда ташқи фотоэлектрик эффект.

Маълумики, металлларда электронларнинг фотоэлектрик чиқиш иши термоэлектрон чиқиш иши билан тенгдир. Ҳақиқатан, агар металл фотокатодга $h\nu$ энергияли фотон тушунадиган бўлса, электрон бу энергияни тўлиқ ютиб фотокатоддан ташқарига чиқиб кетиши учун

$$h\nu \geq E_0 - \mu \quad (1.2.1)$$

шарти бажарилиши керак. Бунда E_0 – металлдан ташқарида тинч турган электрон энергияси, μ – Ферми энергетик сатҳи. Металларда Ферми энергетик сатҳи ўтказувчанлик соҳасида ётади. Шунинг учун металлларда

ташқи фотоэлектрик эффект кузатилиши учун керак бўлган фотоннинг минимал энергияси

$$h\nu_0 = E_0 - \mu = X_m \quad (1.2.2)$$

бўлиши керак. Бундай ташқи фотоэлектрик эффектнинг “қизил чегараси”

$$\nu_0 = \frac{E_0 - \mu}{h} \quad (1.2.3)$$

Яримўтказгичларда фотоэлектрик эффектнинг қизил чегараси $\nu_0 = \frac{E_0 - \mu}{h}$ формула билан аниқланмайди. Яримўтказгичларда ташқи фотоэлектрик эффект содир бўлиши учун $h\nu$ энергияни фотон ютган электрон импульси

$$h\nu \geq (E_0 - \mu) + (\mu - E_v) \quad (1.2.4)$$

шартга бўйсунishi керак. Агар яримўтказгич хусусий яримўтказгич бўлса,

$$\mu - E_v = \frac{E_a}{2} \quad (1.2.5)$$

Бўлганлиги учун $h\nu \geq (E_0 - \mu) + (\mu - E_v)$ шарт қуйидаги кўринишни қабул қилади:

$$h\nu \geq E_0 - \mu + \frac{E_d}{2} \quad (1.2.6)$$

Агар фотоннинг ортиқча энергияси электроннинг $\frac{m\nu^2}{2}$ энергиясига айланса, (1.2.6) формула қуйидаги кўринишни олади:

$$h\nu = E_0 - \mu + \frac{E_d}{2} + \frac{m\nu^2}{2} \quad (1.2.7)$$

Бу ҳол учун “қизил чегара”

$$\nu_0 = \frac{E_0}{h}$$

Яримўтказгичларда термоэлектрон чиқиш ишини $X_r = E_0 - \mu$ билан белгиласак, хусусий яримўтказгичларда фотоэлектрон чиқиш иши

$$X_\phi = X_T + \frac{E_d}{2} \quad (1.2.8)$$

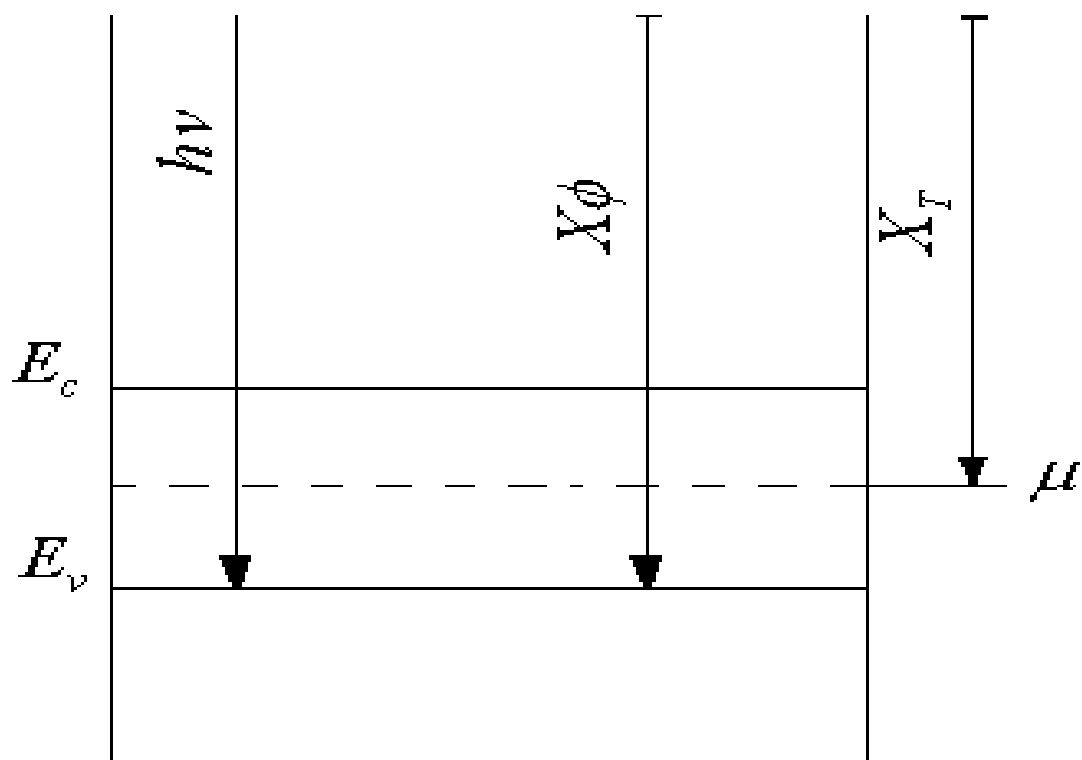
бўлади (2-расм). Демак, фотоэлектрон чиқиш иши термоэлектрон чиқиш ишидан катта бўлар экан. Ушбу $X_\phi = X_T + \frac{E_d}{2}$ ифода ёрдамида яримўтказгичлардаги ман қилинган соҳа кенглигини аниқлаш мумкин. Ҳақиқатдан ҳам, тажриба ёрдамида фотоэлектрон чиқиш ишини ва термоэлектрон чиқиш ишини алоҳида аниқланса, ман қилинган соҳанинг кенглиги $E_d = 2(X_\phi - X_T)$ га тенг бўлади. Кремний элементида E_d нинг шу йўл билан аниқланган қиймати 1,14 эВ бўлиб, электр ўтказувчанликнинг температурага боғлиқлик графигидан топилган қиймат 1,12 эВ га тенгдир. Булардан кўринадики, E_d нинг икки хил йўл билан аниқланган қиймати бир-бирлари билан жуда яхши мос келади.

Агар яримўтказгич аралашмали бўлса, электронлар валентлик соҳасидагина эмиссияланмасдан, ман қилинган соҳадаги аралашмаларнинг энергетик сатҳларида ҳам эмиссияланади. Яримўтказгич донорли яримўтказгич бўлса, донорлардаги электронлар ёруғлик билан ўзаро таъсири натижасида эмиссияланади (3-расм, 4-ўтиш). Бундай ҳолларда

$$h\nu = X_{\phi d} + \frac{m\nu^2}{2}. \quad (1.2.9)$$

$$\text{Бунда} \quad X_{\phi d} = E_0 - \mu + (\mu - E_d) = E_0 - E_d \quad (1.2.10)$$

$$\text{ёки} \quad X_{\phi d} = X_T + \mu - E_d \quad (1.2.11)$$



2-расм. Яримўтказгичларда ташқи фотоэлектрик эффект.

Донордаги ҳамма электронлар иссиқлик энергияси ҳисобига ўтказувчанлик соҳасига ўтиб қолган бўлса, ташқи фотоэлектрик эффект асосан валентлик соҳасидаги электронлар ҳисобига бўлади.

Акцепторли яримўтказгичларда, нормал шароитда, акцепторлар энергетик сатҳида электронлар бўлмайди. Шунинг учун электронлар ёруғлик таъсирида валентлик соҳасидан эмиссияланади.

Бу ҳолда фотон энергияси:

$$h\nu = E_0 - \mu + (\mu - E_v) + \frac{m\nu^2}{2} = E_0 - E_v + \frac{m\nu^2}{2} \quad (1.2.12)$$

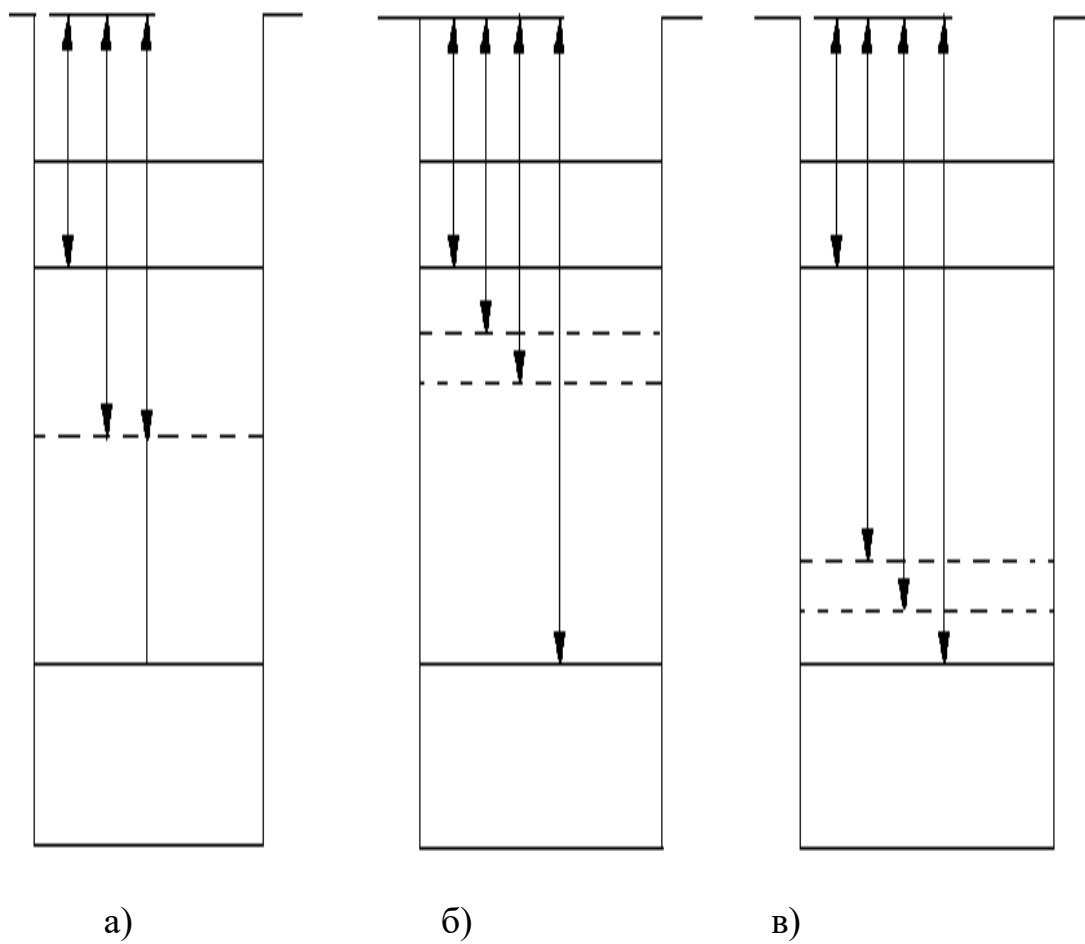
га тенг бўлиши керак, ёки

$$h\nu = X_T + \mu - E_v + \frac{m\nu^2}{2} = X_\phi + \frac{m\nu^2}{2}, \quad (1.2.13)$$

бунда

$$X_\phi = X_T + (\mu - E_v) \quad (1.2.14)$$

Иссиқлик таъсирида валентлик соҳасидаги электронлар акцепторлар энергетик сатҳига ўтган бўлиши мумкин. Бу электронлар, ўз навбатида, ёруғлик таъсирида бўлиб, яримўтказгичдан ташқарига чиқиб кетиши, яъни эмиссияланиши мумкин (3-расм, в, 2-ўтиш). Акцепторлар билан донорлар ионлашган ва хусусий яримўтказгич юқори температурада турса, электронлар ёруғлик таъсирида ўтказувчанлик соҳасидан ва акцепторлар энергетик сатҳидан ҳам эмиссияланади (3-расм, 2,3 ўтишлар). Бундай ҳолларда фотоэлектрон чиқиш иши термоэлектрон чиқиш ишидан кам бўлади. Демак, яримўтказгичларда фотоэлектрон чиқиш иши температурга боғлиқ равишда термоэлектрон чиқиш ишидан катта ҳам, кичик ҳам бўлиши мумкин экан.



3-расм. Яримўтказгичларда ташқи фотоэлектрик эффект.

а) хусусий , б) п- тур, в) р-тур яримўтказгич

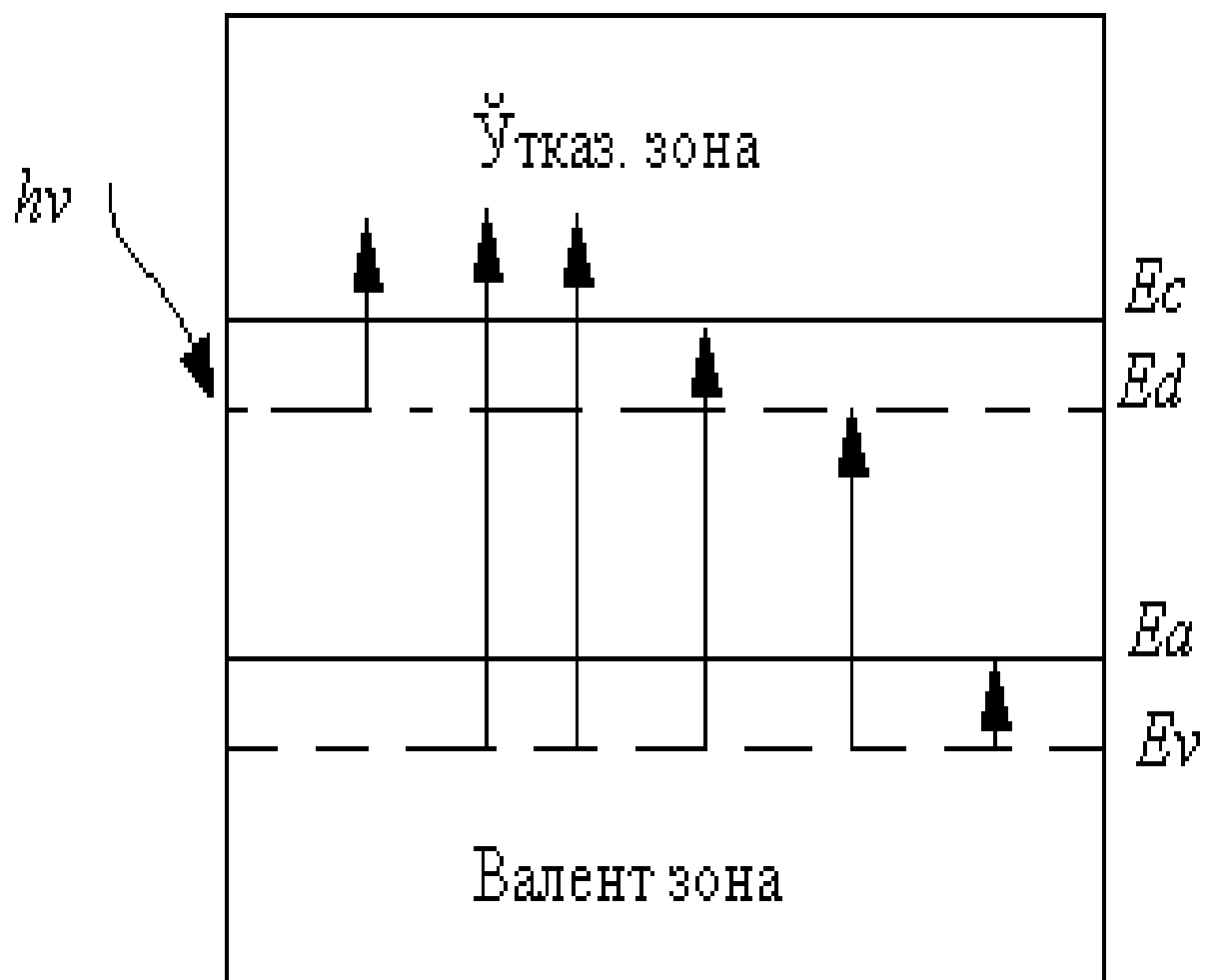
1.3. Яримўтказгичларда ички фотоэлектрик эффект

Яримўтказгичларнинг фотоўтказувчанлиги заряд ташувчиларнинг электромагнит тўлкини-ёруғлик таъсирида қўзғолиш ҳодисасига асосланган. Бундай физик процесс электрон ва тешикларнинг ёруғлик таъсирида боғланган ҳолатдан қўзғолган ҳолатга ўтиши-**ички фотоэлектрик эффект** деб юритилади. Бошқача қилиб айтганда, ёруғлик таъсирида электронларнинг валентлик соҳадан ва аралашмалар энергетик сатҳидан ўтказувчанлик соҳасига ва валентлик соҳасидан аралашмалар энергетик сатҳига ўтиши натижасида ҳаракатчан электрон ва тешикларнинг ҳосил бўлишига ички фотоэлектрик эффект деб юритилади. (4-расм) Кўп сонли тажрибалар, қоронғуликдаги ўтказувчанликда иштирок эта оладиган электрон ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги билан ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган электрон ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги бир-бирларига тенг эканлигини кўрсатди. Шунинг учун, ёруғлик таъсирида турган яримўтказгичнинг тўлиқ электр ўтказувчанлиги қуйидагича ифодаланади:

$$\sigma = \sigma_k + \sigma_\phi = eu_n(n_T + n_\phi) + eu_p(p_T + p_\phi), \quad (1.3.1)$$

бунда қоронғуликдаги электр ўтказувчанлик, ёруғлик таъсирида вужудга келган қўшимча электр ўтказувчанлик ёки фотоўтказувчанлик, ва қоронғуликдаги ва ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган ҳаракатчан электронлар концентрацияси, ва қоронғуликдаги ва ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган ҳаракатчан тешиклар концентрацияси.

Электронлар ёруғлик квантини ютиб, валентлик соҳасидан ўтказувчанлик соҳасига ўтса, бунда яримўтказгичда битта ҳаракатчан тешик ҳосил ҳосил бўлади. Бундай процесс натижасида ҳосил бўлган фотоўтказувчанликни хусусий фотоўтказувчанлик деб юритилади.



4-расм. Яримўтказгичларда ички фотоэлектрик эффектда мумкин бўлган ўтишлар.

Хусусий фотоўтказувчанлик юз бериши учун

$$h\nu \geq E_d \quad (1.3.2)$$

шарт бажарилиши керак, чунки электронни валентлик соҳасидан ўтказувчанлик соҳасига ўтказиш учун электроннинг валентлик соҳадан ўтказувчанлик соҳага кўтариш учун зарур бўлган энергия-активация энергиясига тенг бўлган энергия талаб қилинади.

$$h\nu \geq E_d \text{ дан}$$

$$\nu_0 = \frac{E_d}{h}; \quad \lambda_0 = \frac{h_0 c}{E_d}, \quad (1.3.3)$$

бунда ν_0 — чегаравий частота, λ_0 — шу частотага мос тўлқин узунлиги.

$$\lambda_0 = \frac{\nu_0}{\tilde{n}}, \text{ бунда } \tilde{n} - \text{ёруғликнинг вакуумдаги тезлиги.}$$

Тўлқин узунлиги $\lambda > \lambda_0$ бўлган фотонлар актив бўлмаган фотонлар бўлиб ҳисобланадилар, чунки фотон энергияси электронни активлаштиришга етарли бўлмайди. Тўлқин узунлиги кичик бўла бориши ($\lambda < \lambda_0$) билан ҳам фотонларнинг фаоллиги камаяди, чунки қисқа тўлқинларнинг ютилиш коэффиценти кичик бўлиб, фотонлар яримўтказгичнинг сирт қатламида юритилади. Сирт қатламда зард ташувчиларнинг кўпайиши қалин яримўтказгичларнинг ўтказувчанлигининг сезиларли даражада ортишига олиб келмайди. Чунки, заряд ташувчиларнинг яшаш даври чегараланган бўлганлиги учун яримўтказгичнинг ички қисмига томон диффузияланишига қарамай, концентрацияни ошира олмасдан, рекомбинацияланиб кетади.

II- БОБ. Ёруғлик таъсирида яримўтказгичларда ҳажмий фото э.ю.к ва металл-яримўтказгич контакти, ундаги фото электр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши

2.1. Яримўтказгичда электр юритувчи кучнинг пайдо бўлиши.

Яримўтказгичнинг бирор сиртига ёруғлик тушса, ўша сиртга яқин жойда қўшимча заряд ташувчилар генерацияланади. Натижада, яримўтказгичда заряд ташувчиларнинг тақсимооти бузилиб, концентрация градиенти вужудга келади. Бу қўшимча заряд ташувчилар ёритилган сирт томонидан яримўтказгич ичкарасига томон диффузияланади. Бинобарин, ёритилган сирт олдида ва шу билан бирга яримўтказгич ичкарасида ҳам мусбат ва манфий зарядлар бир-бирларини нейтраллай олмайдилар. Агар ёритилган сирт олдида мусбат зарядлар манфий зарядга нисбатан кўп бўлиб қолса, бу соҳада мусбат, яримўтказгичнинг ўша сиртидан ичкари соҳаси эса манфий зарядланиб қолади. Бу эса яримўтказгичда ҳажмий электр майдонни вужудга келтиради. Шундай қилиб яримўтказгичда электр майдон ва э.ю.к. ҳосил бўлади. Яримўтказгичларда бир текис ёритилмаслиги натижасида ҳосил бўладиган бундай ҳажмий э.ю.к., одатда **Дембер э.ю.к.** деб юритилади.

Дембер э.ю.к. яримўтказгичнинг қандай параметрларга боғлиқлигини аниқлайлик.

Диффузияланмаётган заряд ташувчилар концентрация градиентига боғлиқ бўлиб, оқим

$$D_n \nabla n, \text{ ва } D_p \nabla p,$$

га тенг. Электр майдон E таъсирида вужудга келган оқим эса

$$u_n n E, \text{ ва } u_p p E, \text{ бўлади.}$$

Яримўтказгичдаги электрон ва тешикларнинг диффузияланиши ва майдонда дрейфланиш натижасида ҳосил бўлган тўлиқ ток

$$j = j_n + j_p = e[(u_n n E + u_p p E) + D_n \nabla n - D_p \nabla p] \quad (2.1.1)$$

Бирор ўлчовли ҳол учун

$$j = e \left[(u_n n + u_p p) E + D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx} \right]. \quad (2.1.2)$$

Яримўтказгичнинг хусусий эканлиги тўғрисидаги тушунчадан фойдалансак ва ташқи занжирни очик деб кўрсак, электр майдони куйидагича бўлади.

$$E = \frac{kT}{e} \frac{u_n \frac{dn}{dx} - u_p \frac{dp}{dx}}{u_n n + u_p p}. \quad (2.1.3)$$

Э.ю.к. эса,

$$\varepsilon = \int_{x_1}^{x_2} E dx. \quad (2.1.4)$$

Хусусий ҳолда $p = n$, $\frac{dn}{dx} = \frac{dp}{dx}$ деб олиб (2.1.5) ни

$$\varepsilon = \int_{x_1}^{x_2} E dx. \quad \text{га қўйсак,}$$

$$\varepsilon = \int_{n_1}^{n_2} \frac{kT}{e} \frac{u_n - u_p}{u_n + u_p} d \ln n$$

ни оламиз. Демак,

$$\varepsilon = \frac{kT}{e} \frac{u_n - u_p}{u_n + u_p} \ln \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.1.6)$$

бунда n_1 ва n_2 яримўтказгичнинг ёритилмаган ва ёритилмаган томонларидаги заряд ташувчилар концентрацияси.

Бу ифодадан кўринадики фото э.ю.к ҳосил бўлиши учун электрон ва тешикларнинг ҳаракатчанлиги бир-бирига тенг бўлмаслиги керак. Агар

ёруғлик таъсирида фақат бир хил типдаги заряд ташувчилар ҳосил бўлса,

$$\varepsilon = \int_{x_1}^{x_2} E dx.$$

қуйидаги кўринишни қабул қилади:

$$\varepsilon = \pm \frac{kT}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.1.7)$$

бундаги $(\pm)$ ишора электрон яримўтказгичда ёритилган томон манфий, тешикли яримўтказгичда эса мусбат зарядланишини кўрсатади. Агар n – яримўтказгич сиртига ёруғлик тушса, яримўтказгичда қўшимча электрон ва тешиклар концентрацияси ҳосил бўлади. лекин фотоэлектронлар n – яримўтказгичдаги электронлар концентрациясини ўзгартира олмайди, лекин ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган тешиклар мавжуд тешиклар концентрациясини ўзгартира олиши мумкин. Бу эса, албатта, тешиклар концентрациясининг градиенти мавжуд бўлишига сабаб бўлади. Натижада ёруғлик тушаётган яримўтказгич сирти томонидан яримўтказгичлар ичкараси томон тешиклар диффузияланади. Бу эса n – яримўтказгичнинг ёруғлик тушаётган сирти томон манфий тешиклар диффузияланиб ўтган яримўтказгичнинг ёруғлик тушмаётган қарама-қарши томони эса мусбат зарядланиб қолишига сабаб бўлди, p – яримўтказгичларда эса аксинча. Агар яримўтказгич бир жинсли бўлса, зарядланган бундай ички ва ташқи қатламлар орасида ҳосил бўлган э.ю.к.ни таўқизанжирга олиб бўлмайди. Чунки яримўтказгични ташқи занжирга улаш учун унга металл контакт ўрнатилиши керак. Бунда яримўтказгич ва металл орасида контакт потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Ёруғлик таъсирида яримўтказгичда потенциаллар айирмаси ҳосил бўлиши билан металл ва яримўтказгич контактидаги контакт потенциаллар айирмаси ҳам ўзгаради. Бу иккала потенциаллар айирмаси бир-бирларини компенсациялаши аниқланган.

2.2. Бир жинсли ва бир жинсли бўлмаган яримўтказгичлардаги фотоэлектр юритувчи кучнинг хусусиятлари.

Бир жинсли бўлмаган яримўтказгичга ёруғлик зонди билан таъсир қилинса, у ерда генерацияланган қўшимча заряд ташувчилар ҳар томонга қараб диффузияланади. Ёруғлик зонди тушган жой тешикли яримўтказгичларда мусабт, атрофи эса манфий, электрон яримўтказгичларда аксинча зарядланади. Шундай қилиб, яримўтказгичда бир-бирига қарама-қарши йўналган фото э.ю.к. лар ҳосил бўлади. бир жинсли яримўтказгичларда фото э.ю.к. ларнинг йиғиндиси нолга тенг бўлиб, бир жинсли бўлмаган яримўтказгичларда фото э.ю.к. нинг абсолют қиймати иккинчисидан катта бўлиб, яримўтказгичда натижавий фото э.ю.к. ҳосил бўлади. Бу э.ю.к.

солиштирма қаршилиқ градиенти $\frac{dp}{dx}$ га тўғри пропорционалдир.

$$\varepsilon = \frac{en_{\phi}}{S} L^2 \frac{dp}{dx}, \quad (2.2.1)$$

бунда n_{ϕ} — ёруғлик таъсирида 1 сек да генерацияланаётган қўшимча заряд ташувчилар сони, S — яримўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи, L — заряд ташувчиларнинг диффузияланиб силжиш узунлиги.

Ярим ўтказгич кристалл панжарасига ёт атомларнинг муайян миқдорда кириб қолиши натижасида киришмали ярим ўтказгич ҳосил бўлади. Жуда кам миқдордаги киришмалар ҳам ярим ўтказгичларнинг физик хоссасига катта таъсир кўрсатади. Масалан, тоза кремний кристаллига 0,00001 % Бор атомлари киритилганда унинг электр ўтказувчанлиги хона температурасида 100000 марта ошиб кетади.

Кристалл панжарасидаги киришмалар одатда нуқсон ҳисобланади. Агар киришма кристалл панжарасидаги асосий элемент ўрнини эгаллаб олган бўлса уни ўринбосар қаттиқ эритма дейилади. Киришма кристалл панжарасидаги атомлар

орасига кириб қолган бўлса суқилма қаттиқ эритма деб аталади. Киришма ва асосий модда эффектив атом радиуси орасидаги фарқ 15 % дан ошмаган ҳолларда ўринбосар киришмалар ҳосил бўлади. Ундан ташқари киришма валентлигининг асосий атом валентлигидан фарқи дан ошмаслиги лозим. Суқилма киришма ҳосил бўлиши учун эса киришма атомнинг эффектив радиуси бўлиши керак (- асосий атомларнинг эффектив радиуси). Киришмалар панжара даврийлигини бузади, тақиқланган зона маҳаллий сатҳлар ҳосил қилади. Кўп ҳолларда маълум бир параметрли ярим ўтказгич ҳосил қилиш учун атайлаб киришмалар киритилади, уни ярим ўтказгичларни легирлаш деб аталади. Киришма ҳосил қилган маҳаллий сатҳ ўтказувчанлик ёки валент зонасига яқин жойлашган бўлса саёз сатҳ деб номланади. Агар маҳаллий сатҳлар тақиқланган зона ўртасига яқин жойлашган бўлса чуқур сатҳ дейилади.

Ионланиш жараёнида ўтказувчан зонага қўшимча электрон берувчи киришма донор киришма деб аталади.

Ярим ўтказгичдаги киришма сатҳлари ундаги жуда кўп ва турли туман жараёнларда муҳим ўрин тутди. Ҳозирги замон электроникаси учун ярим ўтказгичларга киришмалар киритиш билан улар параметрини керакли томонга ўзгартириш муҳим масалалардан биридир.

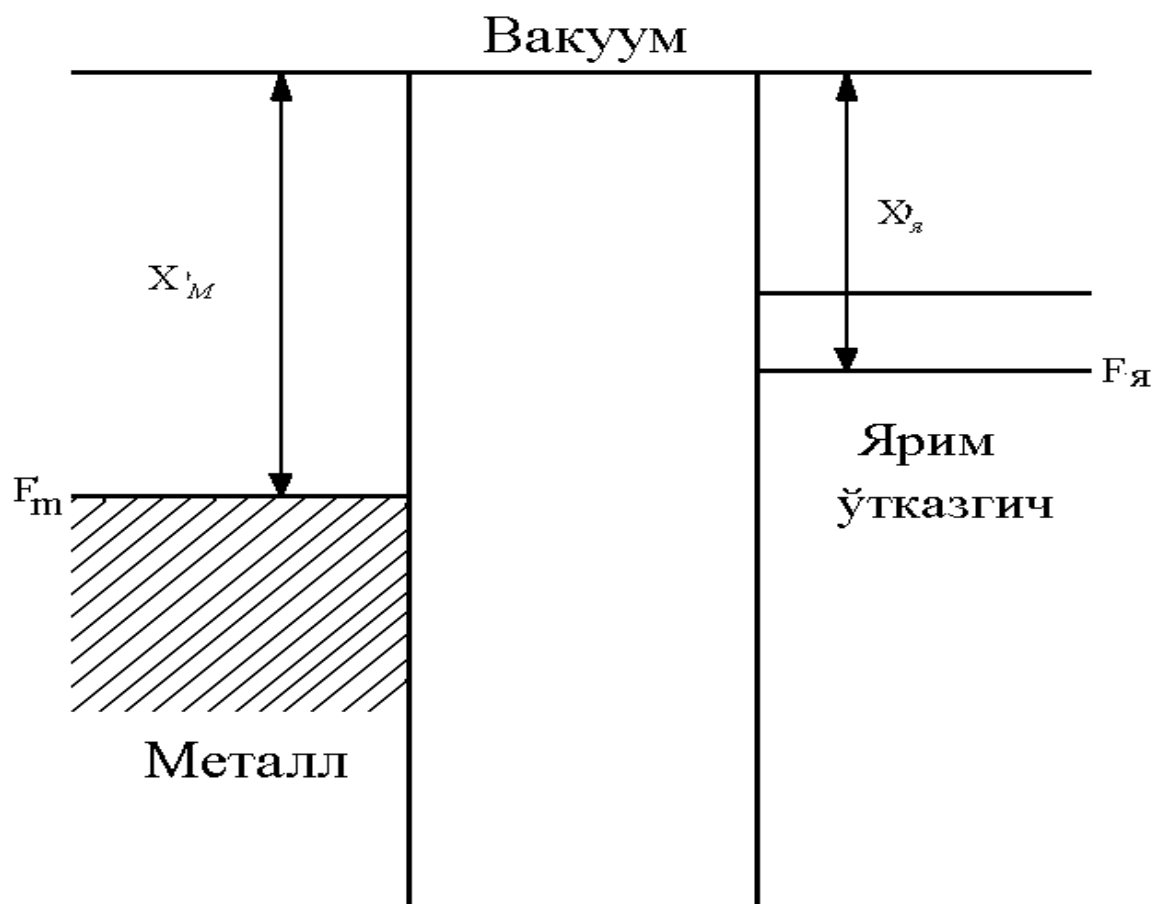
2.3. **Металл-яримўтказгич контакти ва унда фото электр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши.**

Яримўтказгич моддалардан фойдаланганда улар албатта бошқа моддалар билан туташган ҳолда (контактлашган ҳолда) бўлади. Бу бошқа модда металл ёки яримўтказгич бўлиши мумкин. Яримўтказгич диэлектрик билан туташган бўлиши ва айрим ҳолларда эса, эритма ёки электролит билан контактда бўлиши мумкин.

Яримўтказгичнинг металл билан туташган холи муҳим масалалардан биридир, чунки, бундай контактлар электрон асбоблар ишлаб чиқаришда катта ўрин тутди. Контакт (туташиш) қатламида юз берадиган ажоиб ҳодисалар икки модда чегараси орқали заряд ташувчилар алмашилишига боғлиқдир.

Модда вакуум билан чегараланган бўлсин. Маълумки, моддадан электроннинг вакуумга чиқиб кетишига қаршилик кўрсатадиган потенциал (энергиявий) тўсиқ мавжуд. Бу тўсиқнинг баландилигини электроннинг сирт орқали ташқарига чиқиб кета олиши зарур бўлган энергия аниқлайди. Уни чиқиш иши дейилади.

Турли моддалардан электронларнинг чиқиш иши турлича қийматларга эга бўлади. Яримўтказгичлар ҳоссасини аниқлашда чиқиш ишлари ичида кўпроқ **термодинамик чиқиш ишини** билиш муҳим аҳамиятга эга. Термодинамик чиқиш иши ўтказгичнинг ферми сатҳидан вакуум сатҳигача бўлган энергиявий масофани билдиради. Бу ишни металл учун ўтказувчанлик соҳасидаги энг юқориги электрон сатҳлари – Ферми сатҳидан бошлаб ҳисобланса, яримўтказгичларда тақиқланган соҳада жойлашган Ферми сатҳидан бошлаб ҳисобланади(5-расм).



5-расм. Металл-яримўтказгич контакти.

Яримўтказгич сиртидан, энергиявий тўсиқни енгиб, вакуумга чиқаётган электронлар оқими термоэлектрон эмиссиянинг ушбу ифодаси билан аниқланади:

$$j_{\text{я}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^3} \exp\left(\frac{\chi_{\text{я}}}{kT}\right) \quad (2.3.1)$$

бунда $\chi_{\text{я}}$ -яримўтказгичнинг термодинамик чиқиш иши.

Металлдан вакуумга чиқаётган электронлар оқими учун ҳам шунга ўхшаш ифодани ёза оламиз:

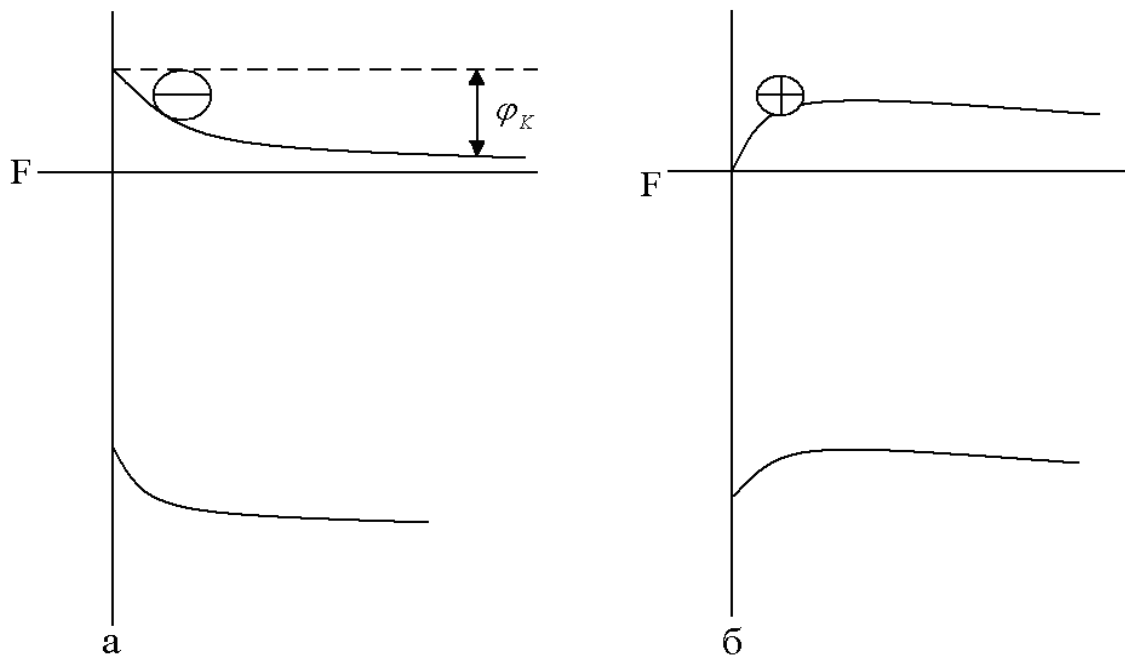
$$j_{\text{м}} = \frac{4\pi m(kT)^2}{h^2} \exp\left(\frac{\chi_{\text{м}}}{kT}\right) \quad (2.3.2)$$

бунда $\chi_{\text{м}}$ -металлнинг термодинамик чиқиш иши. Агар яримўтказгич билан металлни туташтирилса, (2.3.1)ифода билан аниқланадиган электрон оқими яримўтказгичдан металлга, (2.3.2) ифода билан аниқланадиган, электрон оқими эса металлдан яримўтказгичга ўтади. Агар $\chi_{\text{я}} < \chi_{\text{м}}$ деб фараз қилсак, бу ҳолда бўлади, яъни яримўтказгичдан металлга кўпроқ электронлар ўтади ва металл сирти манфий, яримўтказгич сирти эса мусбат зарядланиб қолади. Пайдо бўлган электр майдон ва оқимлар фарқига тенг тескари оқим ҳосил қилгунча ўсиб боради. Электронлар оқими мувозанатлашганда контактидаги потенциал энергияси (контакт потенциаллари айирмаси) чиқиш ишлари айирмасига тенг бўлиб қолади:

Металл сиртида тўпланган электронлар, бинобарин, контактида ҳосил бўлган майдон ҳам унинг ичкарасига деярли кирмайди.

Демак, мазкур майдон яримўтказгичнинг сиртига яқин қатламда жойлашган бўлади(6-расм,а).

Бу қатламнинг кенлиги контактда контакт потенциаллар айирмаси ҳосил қилиш учун мазкур яримўтказгичдан қанча электронни металл сиртига ўтказиш кераклигини аниқлайди.



6-расм. Металл-яримўтказгич контактида беркитувчи ва беркитмовчи қатламларнинг ҳосил бўлиши.

Чунки металлга ўтган электронлар яримўтказгичнинг сирт қатламидан кетган ва бу қатламда киришма ионлардан иборат ҳажмий заряд ва у билан боғлиқ электр майдон ҳосил бўлади. Бу қатламда электрон зичлиги камаяди ва энергия соҳаси юқорига эгриланади. Бинобарин, яримўтказгичнинг ҳажмидаги n_0 ва сиртидаги n электронлар зичлиги орасида

$$n = n_0 \exp(-\varphi_k / kT)$$

боғланиш бор.

Бундай қатламнинг солиштирма қаршилиги катта ва уни **беркитувчи қатлам** дейилади.

Агар $X_m < X_y$ бўлса, яъни металлнинг чиқиш иши яримўтказгичникидан кичик бўлса, у ҳолда $J_y > J_m$ ва металл сирти мусбат зарядланган, яримўтказгич сирт қатлами манфий зарядланган бўлади. Бинобарин, яримўтказгич сирт қатламида (металлдан ўтган электронлар ҳисобига) электронлар зичлиги ортиб кетади, энергия соҳаси пастга эгриланади(6-рasm,б). Бундай контакт қатламнинг солиштирма қаршилиги кичик бўлади ва уни **антиберкитувчи (беркитмовчи) қатлам** дейилади.

Беркитувчи қатламли металл-яримўтказгич контактлари ўзгарувчан токни тўғрилагичлари бўлиб хизмат қила олади.

Металл-яримўтказгич контактида ҳосил бўлган фото электр юритувчи куч.

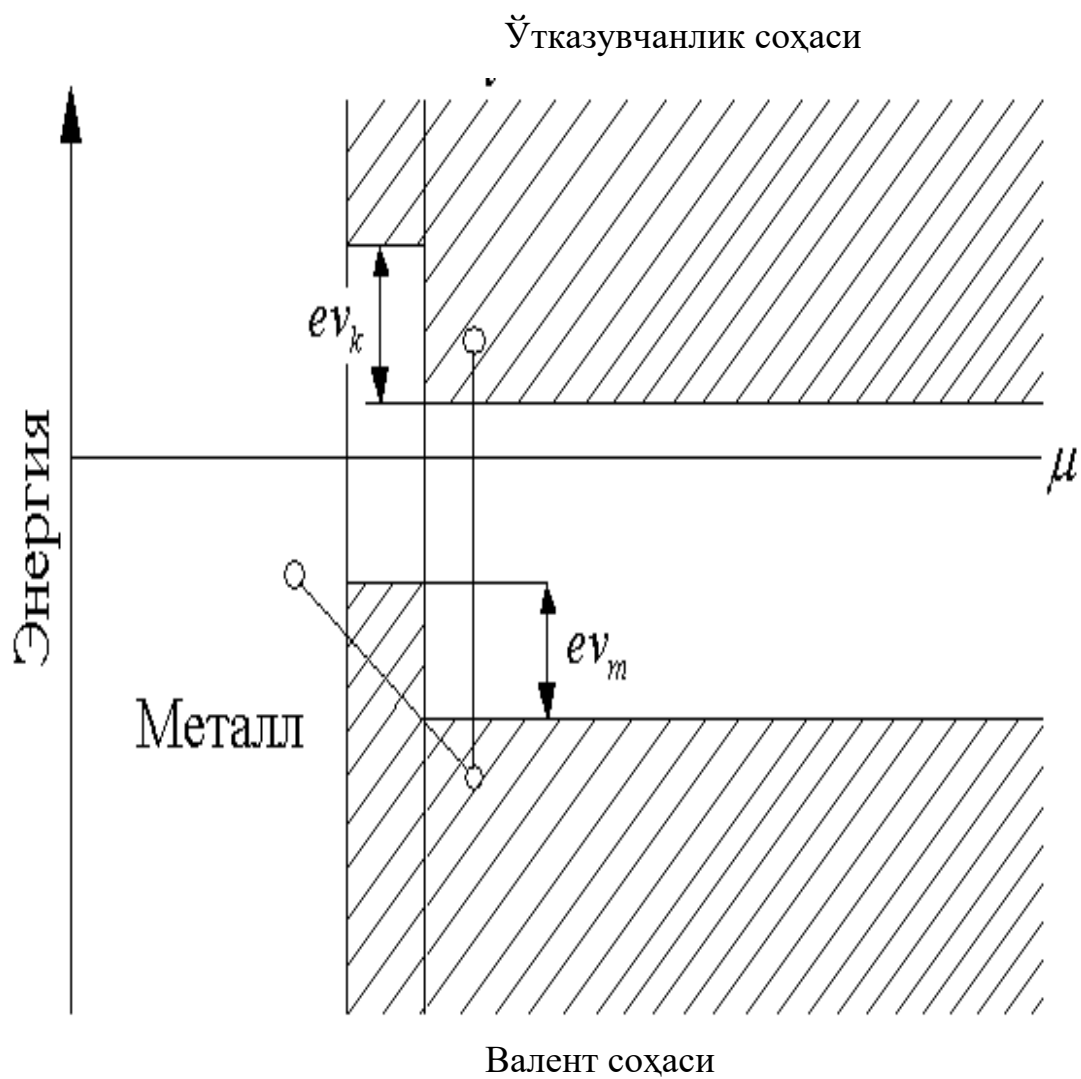
Юқорида яримўтказгичларда каттароқ фото э.ю.к. ҳосил бўлиши учун асосий бўлмаган заряд ташувчилар ёки электрон тешик жуфти генерацияланиши шартлиги кўрсатиб ўтилди. Фотогальваник эффект юз беришилиги учун айтилган шарт етарали бўлмайди. Бу шартдан ташқари яримўтказгичда заряд ташувчиларнинг силжишини характерловчи қўшимча шарт бажарилиши керак. Шундай шартлардан бири яримўтказгичнинг ёритилаётган сирти яқинида электр майдон мавжуд бўлиши керак.

Яримўтказгич ҳажмида бундай электр майдонни ҳосил қилишнинг бир неча усули бор. Масалан, яримўтказгич ва металл, яримўтказгич ва яримўтказгич контактлари ва ҳ..к. Бунда яримўтказгич биржинслилиги бузилади.

Қаттиқ жисмга ёруғлик нури таъсирида э.ю.к.нинг ҳосил бўлиши фотогальваник эффект деб аталади.

Фотогальваник эффект асосида металл-яримўтказгич контактида э.ю.к ҳосил бўлишини Ю.П.Маслоковец тўғри тушунтириб берган. Унинг қисқача мазмуни қуйидагича. Металл билан яримўтказгич контакти яқинида яримўтказгич томонда жуда катта солиштирма қаршиликка эга бўлган заряд ташувчиларга камбағаллашган юпқа қатлам ҳосил бўлади. Бу қатламнинг электр майдони ёруғлик таъсирида генерацияланган асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг қарама-қарши томонларга ажралишида муҳим аҳамиятга эга. Бу зарядлар контакт майдони таъсирида тезланиш олиб беркитилган қатламга, сўнгра металл электродга ўтиб, шу жойда тўпланадилар. Асосий заряд ташувчилар эса электродга ўта олмайди, чунки контактдаги потенциал сакраши улар учун барьер бўлиб ҳисобланади. Шундай қилиб металл электрод асосий заряд ташувчилар зарядига қарама-қарши бўлган заряд билан зарядланиб қолиб, ярим ўтказгич эса асосий заряд ташувчилар зарядига бир хил бўлган заряд билан зарядланади (7-расм). Натижада контактда қўшимча потеницаллар айирмаси ҳосил бўлади. Шу қўшимча потенциаллар айирмаси фото э.ю.к. бўлади. Фото э.ю.к нинг ҳосил бўлиши сабабини В.Е.Лашкарев назарий қараб чиққан. В.Е.Лашкаревнинг ана шу назариясига қисқача тўхталиб ўтайлик.

Икки томони металл электрод билан чегараланган тешикли ярим ўтказгични олайлик. Электродлардан бирини шаффоф қилиб, ўша томондан ёруғлик туширайлик. Ёруғликнинг ярим ўтказгичида ютилиши натижасида ичкарига қараб интенсивлиги камайиб боради. Интенсивлик ичкарига қараб қонун бўйича акамайиб боради деб қарасак бўлади, бу ерда -ютилиши коэффициенти.



7-расм. Металл–яримўтказгич контактида фотоэлектр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши.

У ҳолда 1 секундда бирлик ҳажмида генерацияланган заряд ташувчилари концентрацияси тақсимооти қуйдагича аниқланади:

$$g = (x) = N_0 a e^{-ax}, \quad (2.3.3)$$

бунда N_0 — 1 секундда 1 см² юзга тушаётган фотонлар сони. Бу назарияни ривожлантириб А.И. Губанов қуйидаги ечимни ҳосил қилди:

$$E = - \frac{kTN_0 a L_n}{e u_p p_p E_k (1 + a L_n)} \left(e^{\frac{eV_k}{kT}} - \frac{eV_k}{kT} - 1 \right). \quad (2.3.4)$$

Бунда E_K — яримўтказгичнинг металл электроди билан чегараланган сиртидаги электр майдон кучланганлиги. Бу ифодадан кўринадики E 0 дан фарқли бўлишлиги учун контакт потенциаллар айирмаси V_K — ҳам 0 дан фарқли бўлиши керак.

Контакт қатламда беркитувчи электр майдони ҳосил бўлса, у электронни металл электродга қараб, тешикни эса яримўтказгич ичкарасига хайдайди. Натижада электрод (металл) манфий зарядланиб, p-яримўтказгич мусбат зарядланиб қолади ва улар орасида қуйидаги э.ю.к. ҳосил бўлади:

$$E = V_0 \frac{a L_n}{1 + a L_n}, \quad (2.3.5)$$

бунда V_0 — яримўтказгичга ва ёруғлик интенсивлигига боғлиқ бўлган катталик бўлиб, берилган фотоэлемент ва ёруғлик интенсивлиги учун ўзгармас катталикдир. Демак,

$$E \sim V_0 \frac{a L_n}{1 + a L_n}$$

Бунда α — тўлқин узунлигига боғлиқ бўлганлиги учун E-ёруғлик тўлқин узунлигига ва электроннинг L — диффузияланиб силжиш узунлигига боғлиқ бўлади. Тўлқин узунлиги ортиши билан α — камайиб боради, бинобарин, E ҳам камайиб боради.

III - БОБ. Яримўтказгич билан яримўтказгич орасидаги контакти ва ундаги ёруғлик таъсирида кузатиладиган ҳодисалар.

3.1. Яримўтказгичларда бир жинсли бўлмаган муҳитни юзага келтириш

а).Яримўтказгичнинг яримўтказгич билан контакти ҳақида.

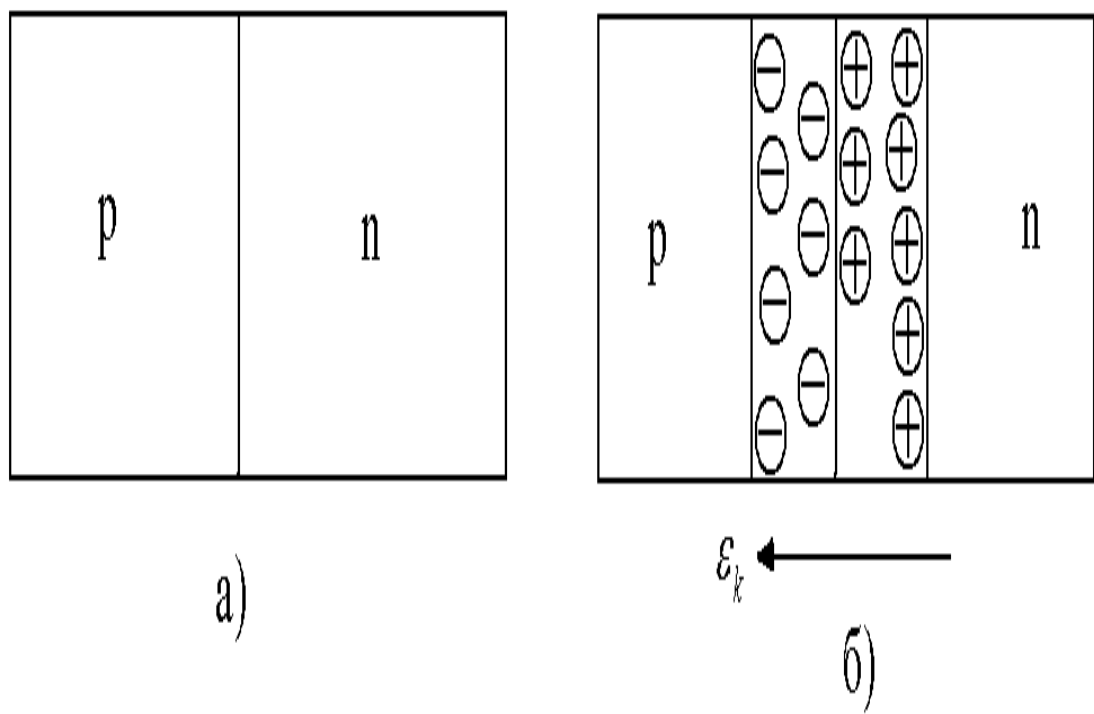
Битта модданинг турли ўтказувчанликка эга бўлган соҳаларнинг чегараси ҳам ажойиб хоссаларга эга бўлади.

Бу хоссалар яримўтказгичлар электроникасининг жуда тез ривожланиб кетишига сабаб бўлган асосий омилдир.

Фараз қилайлик, бир модда кристаллнинг p -тур ва n — тур ўтказувчанликка эга бўлган икки соҳаси бир-бирига туташган бўлсин. Бу ҳолда эркин электронлари кўп n — тур соҳанинг чегарага яқин қатламидан электронлар p -тур соҳага, p -тур соҳадан n — тур соҳага коваклар диффузияланади. Бу диффузияланган ҳаракатчан заряд ташувчилар асло чегара яқинидаги соҳада тўхтаб қолмайди, балки p -тур ва n — тур соҳалар ичкарасида рекомбинацияланиб ғойиб бўлади. Иккала p -тур соҳа n — тур соҳадаги қатламларда, асосан мос равишда, ҳаракатсиз акцептор ва донор ионлари қолади. Бу p -тур соҳа билан n — тур соҳа чегарасидаги вужудга келган соҳа (қатламни) p - n — ўтиш ёки электрон-ковак ўтиш дейилади. Бу соҳа асосан манфий акцептор ва мусбат донор ионларидан иборат ҳажмий заряд соҳаси бўлиб, ундаги электр майдон кучланганлиги n — тур соҳадан p -тур соҳага томон йўналган бўлади. Бу майдон таъсирида вужудга келган зарядлар оқими диффузион оқимларга тенг бўлганда p - n — ўтиш электрмайдони ўзининг мувозантий қийматига эришади.

Қуйида p - n — ўтишнинг асосий хоссаларини санаб ўтамыз:

1. p - n — ўтиш p -тур ва n — тур ўтказгичларга эга бўлган икки соҳанинг чегарасида пайдо бўладиган соҳа (қатлам) дир. Бу соҳанинг бир қисми, умуман айтганда p -тур соҳада, бошқа қисми n — тур соҳада ётади.



8-рaсм. Р-п-ўтиш ва унинг ички электр майдони

1. p -ўтиш соҳадан ҳаракатчан электронлар ва коваклар кетиб қолганлиги (диффузия туфайли) сабабидан, унда қолган кўзғолмас акцептор (манфий) ва донор (мусбат) ионлар ҳажмий заряд ҳосил қилади.

2. p - n — соҳадаги ҳажмий заряд ҳисобига электр майдон вужудга келади. Бу электр майдон электронлар ва ковакларнинг диффузион оқимиға қарши уларнинг дрейф оқимларини ҳосил қилади. Мувозанат шароитида диффузион ва дрейф оқимлар тенг бўлади. ток кучи нолға тенг бўлади.

3. Токдаги қатнаша оладиган эркин зарядлар p - n — ўтишда жуда кам (p -тур ва n — тур соҳалар ҳажмидагина мингларча марта кам) бўлади. бинобарин, p - n — ўтишнинг солиштира қаршилиги жуда катта бўлади.

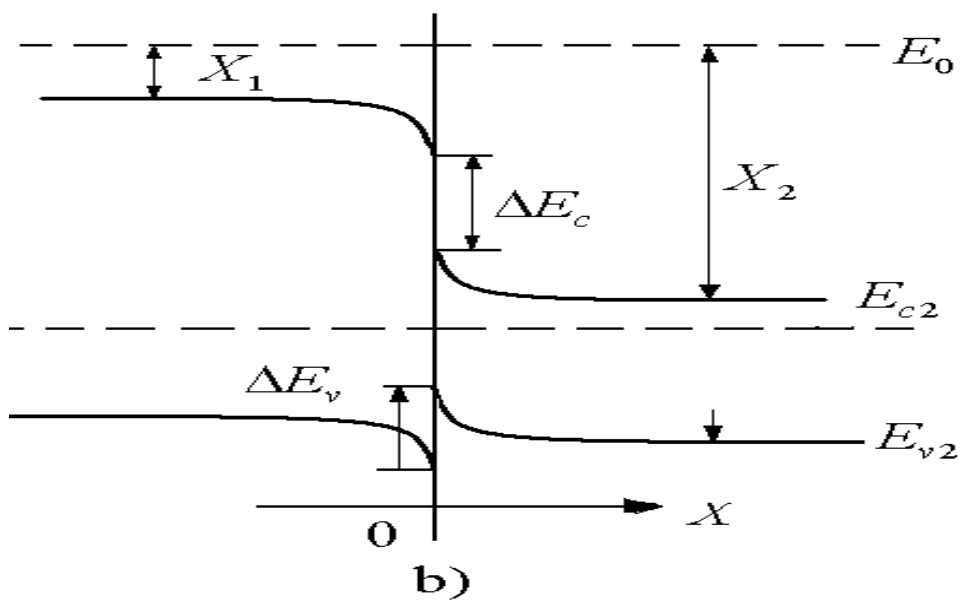
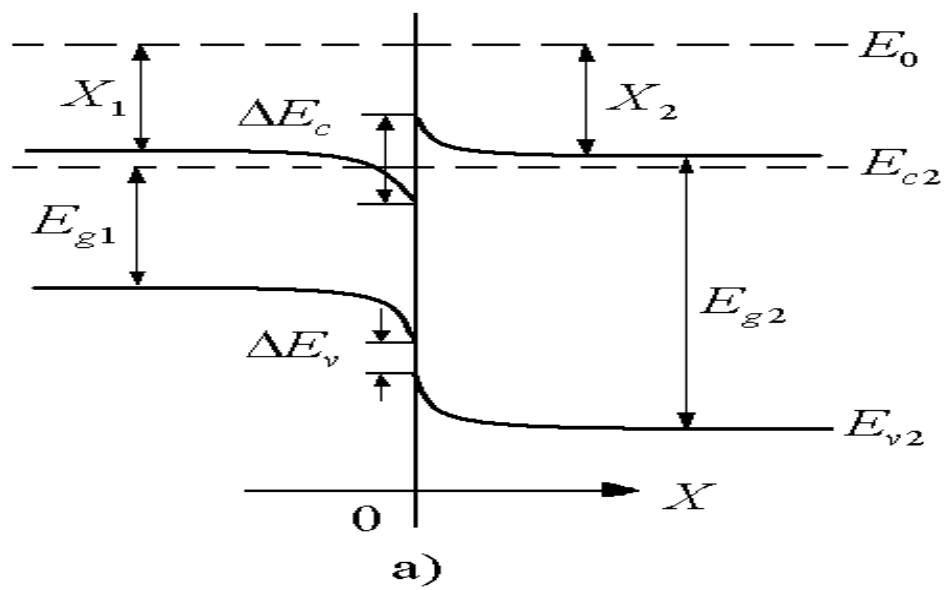
4. p - n — ўтишда электр майдон билан боғлиқ бўлган потенциал координата функцияси бўлади. Унинг p - n — ўтиш четлари орасидаги қийматлари айирмаси контакт потенциаллар айирмаси ёки потеницал тўсиқ баландлиги φ_{p-n} ни аниқлайди.

5. Электр майдон n — тур соҳадан p -тур соҳаға томон йўналганлиги сабали p - n — ўтиш n — соҳа электронлари учун p -тур соҳаға ўтишға, p -тур соҳа коваклари учун n — тур соҳаға ўтишға тўсиқ бўлади.

Энди p - n — ўтишли тизимға ташқи манбадан кучланиш берилган бўлсин. Бунда p - n — ўтишнинг қаршилиги p -тур ва n — тур соҳаларниқидан анча катта бўлганлиги сабабли деярли бутун кучланиш p - n — ўтиш соҳасига тўғри келади.

Кучланишнинг икки йўналиши бўлиши мумкин.

Агар ташқи кучланиш манбанинг мусбат кутби p -тур соҳаға, манфи кутби n — тур соҳаға уланган бўлса (тўғри кучланиш), у вақтда p - n — ўтишда ҳосил бўлган электр майдон, яъни p -тур соҳадан n — тур соҳаға йўналган майдон p - n — ўтишнинг ўз майдониға тескари йўналган бўлади. Бинобарин, потенциал тўсиқ p -тур соҳадан p -тур соҳаға ковакларнинг оқими вужудға келади. Бу эса p -тур соҳадан p -тур соҳаға томон ток оқа бошлайди, демакдир. Бу ток тўғри ток дейилади(9-расм,а).



9-расм. Тўғри(а) ва тескари(б) кучланиш таъсиридаги р-п-ўтиш.

Тўғри ва тескари кучланиш таъсиридаги р-п-ўтиш соҳага электронларнинг, р-тур соҳадан п-тур соҳага ковакларнинг оқими камаяди, тескари йўналишдаги оқимлар (улар кичик) доимийлигича қолгани учун п-тур соҳадан р-тур соҳага йўналган кичик ток оқиб туради. Уни тескари ток дейилади (9 – расм,б).

Агар ташқи кучланиш манбанинг мусбат қутби п-тур соҳага, манфий қутби р-тур соҳага уланса (тескари кучланиш), у вақтда р- n — ўтишда ҳосил бўлган майдон п-тур соҳадан р-тур соҳага йўналган бўлиб, р- n — ўтишнинг ўз майдони билан бир хил йўналган бўлади. Бинобарин, бу соҳада майдон катта бўлиб қолади ва потенциал тўсиқ ортади. Натижада п-тур соҳадан р-тур

Унча каттга бўлмаган кучланишлар (тоқлар) соҳасида бажарилган ҳисоблашлар орқали р- n — ўтишнинг вольтампер ҳарактеристикаси учун

$$j = e \left(\frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n p_p}{L_n} \right) (e^{\frac{eV}{kT}} - 1) = j_s (e^{\frac{eV}{kT}} - 1) \quad (3.1.1)$$

формулада келтириб чиқарилган. Бунда D_p, D_n коваклар ва электронларнинг диффузия коэффициентлари; L_p, L_n -уларга тегишли диффузия узунликлари р-п-ковакларнинг п-тур соҳадаги, p_p –электронларнинг р-тур соҳадаги мувозанатий зичликлари.

Юқоридаги ифодадан кўриниб турибдики, ташқи кучланиш қўйилганда р-п-дан ўтаётган ток кучланиш ортган сари экспоненциал тарзда(тез) ортиб боради ва аксинча, тескари кучланиш берилганда, ток жуда секин ўсади ва $\exp(eV/kT)/\ll 1$ бўлиб қолганда ўзининг кичик тўйинган қийматига эришади.

Металл-яримўтказгич контактида беркитувчи қатлам вужудга келган ҳолдагидек, р-п-ўтиш мусбат пластинаси n — тур соҳа чегарасида, манфий пластинаси р-тур соҳа чегарасида жойлашган ясси конденсатор деб қараш мумкин. Кўриб ўтдикки, р-п - ўтишнинг қалинлиги ташқи майдон кучланишига боғлиқ. Демак, р-п - ўтишнинг электр сифими ҳам ташқи кучланишга боғлиқ ва шу асосда бир қанча асбоблар ишлаб чиқилган.

Шундай қилиб, р-п -ўтишнинг ўзгарувчан токни тўғрилаш ва электр сиғим вазифасини ўташ ҳоссаларидан фойдаланиб, турли хил яримўтказгич доиралар ва бошқа асбоблар (тўғрилагичлар, термоэлементлар, фотоэлементлар ва ҳақозо) ясалган. Иккита р-п-ўтишли тизим транзистор бўлади. бир неча р-п-ўтишли асбоблар ҳам бор.

Мураккаб электроника қурилмаларида масалан, ЭХМ ларда ишлатиладиган микросхемаларда р-п -ўтишлар ва металл яримўтказгич контактлар асосий элементлар хизматини бажаради.

б). Гетероўтишларда ва уларда р-п - ўтишнинг ҳосил бўлиши.

Тақиқланган соҳалар кенглиги ҳар хил бўлган икки яримўтказгич чегарасида вужудга келадиган ўтиш қатлами гетероўтиш дейилади. Масалан, $Ge - GaAs$, $GaAs - GaP$, контактлари гетероўтишлар бўлади. Гетероўтишларни олиш усуллари яхши ишлаб чиқилган. Гетероўтишлар кескин чегарали ёки силлиқ ўзгарувчан чегарали, симметрик ёки носимметрик бўлиши мумкин. Кескин чегарали гетероўтишлар ташкил этган моддалар чегарасида тақиқланган соҳа кенглиги сакраш билан (кескин) ўзгаради, силлиқ ўзгарувчан чегарали гетероўтишлар қандайдир қатлам давомида тақиланган соҳа кенглиги текис ўзгариб боради. (варизон гетероўтишлар). р-п -изотип гетероўтиш, р-п - анизотип гетероўтишларга бўлинади. Уларнинг иккаласи ҳам кескин ўтишлар турига мансуб бўлиб, ўтиш чегарасида ўтказувчанлик соҳаларини ΔE_c , валент соҳалари ΔE_v узилишларга эга.

Гетероўтишларнинг қўлланилиши, гомоўтишлардан фарқли равишда, турли амалий мақсадларда фойдаланиладиган бир қатор ҳодисаларнинг юз беришига олиб келади. Масалан, галлий, арсений ва алюминий элементлари бирикмаси асосида гетеролазерлар ишлаб чиқилган, бунда бир хил, аммо n — ва р-тур ўтказувчанлик икки кристалл орасидаги бошқа тор тақиқланган соҳали яримўтказгич қатлами ҳосил қилган. Ўртадаги қатламда заряд ташувчилар зичлигини катта қилиш осон бўлади ва бу ажойиб лазер хоссаси намоён бўлишига имкон беради.

Гетероўтишларгагигна ҳос яна бир муҳим хусусиятни айтиб ўтиш зарур. Гетероўтишнинг икки модда чегарасида кристалл тузилиши ўзгаради, оқибатда узилган кимёвий боғланишлар пайдо бўлади, бу эса шу чегарада электронлар учун энергия ҳолатлари ҳосил қилади. Ушбу сиртий ҳолатларнинг гетероўтишларда юз берадиган жараёнларда тутган ўрни муҳимдир. Гетероўтиш соҳасидаги майдоннинг шаклланишида бинобарин, бу тизимнинг электр сиғимини аниқлашда сиртий ҳолатлардаги заряд миқдори сезиларли ҳисса қўшиш мумкин. Мазкур сатҳлар орқали рекомбинация жараёнлари амалга ошади. Баъзи ҳолларда уларнинг кўп бўлиши мақсадга мувофиқ эмас. Хуллас, гетероўтиш чегарасидаги сиртий сатҳлар унинг хусусиятларини белгилайдиган муҳим омиллардан бири ҳисобланади.

Фан ва техникада қўлланиладиган яримўтказгич моддалар намуналари анча юпқа қатламлардан иборат бўлади. Бунда сиртнинг таъсири ва бошқа омиллар муҳим аҳамиятга эгадир. Намуна етарлича юпқа бўлганида амалда фойдаланиладиган ёки ўрганиладиган электронлар ва коваклар иштирокидаги жараёнлар бутунлай яримўтказгичнинг сиртки қатламида содир бўлиб, уларнинг ҳажмий ташкил этувчисини деярли назарга олмаса ҳам бўлади.

Ўрганиладиган яримўтказгич модда сиртига ўтказиладиган металллар ёки диэлектрик қатламлари ҳам яримўтказгичнинг сиртий қатлами хоссаларини ўзгартириши мумкин.

Ҳозирги вақтда ишлаб чиқарилаётган асбоблар ва тузилмаларда қалинлигидан бўйлама ўлчамлари анча катта юпқа қатламлар ва контактлар кенг миқёсда қўлланилмоқда.

Яримўтказгич қатламининг қалин ёки юпқа деб ҳисобланиши аниқлаб берадиган муайян махсус ўлчамлар (узунликлари) киритилади, улардан энг муҳимлари қуйидаги тўртта узунликдир:

- 1) номувозанатий заряд ташувчилар диффузия узунлиги L_0 ;
- 2) экранлашнинг эффектив узунлиги $L_{dэ}$;

3) электрон ёки ковакнинг эркин югуриш узунлиги L_{nlp} ;

4) кристаллда электрон ёки ковак тўлқини узунлиги λ_{nlp} ;

Масалан, хона температурасида германий ёки кремний каби яримўтказгичлар учун қуйидаги тенгсизликлар ўринлидир:

$$L_0 \gg L_{d\vartheta} \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} l_{np} \gg \lambda_{nlp} ;$$

Агар яримўтказгич қатламининг кенглиги d диффузия узунлиги L_0 билан таққосланарли бўлса ($d \sim L_0$), у ҳолда қатламнинг ҳажмидаги рекомбинация билан бир вақтда унинг сиртидаги рекомбинацияни эътиборга олиш зарур.

$d \ll L_0$ бўлган ҳолларда номувозанатий заряд ташувчиларнинг эффектив яшаш вақти $\tau_{эфф}$ ва эффектив диффузия узунлиги $L_{эфф}$ мана бундай бўлади:

$$\frac{1}{\tau_{эфф}} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{2s}{d} , \quad (3.1.2)$$

$$\frac{1}{L_{эфф}} = \frac{1}{L_0^2} + \frac{2s}{Dd} , \quad (3.1.3)$$

бундаги S — сиртий рекомбинация тезлиги, D — қўшқутубий диффузия коэффициенти.

Баҳолашлар кўрсатишича миллиметр чамасидаги қалинликни анча намуналар учун сантиметр қалинликли намуналарни қалин деб юзларча ёки ўнларча микрометр чамасидаги намуналарни юпқа деб ҳисобласа бўлади.

Агар $d \sim L_{d\vartheta}$ бўлса, яъни қатлам қалинлиги экранлаш эффектив узунлиги тартибида бўлса, яримўтказгич пардасидаги (юпқа қатламдаги) заряд ташувчилар концентрацияси қалин қатламдаги мувозанатий концентрациядан фарқ қилади. Бу ҳолда хатто юпқа қатламдаги ўтказувчанлик типи қалин қатламдагиникига қарама-қарши бўлиши мумкин.

Қатламнинг қалинлиги заряд ташувчилар эркин югуриш узунлигига таққоланарли ($d \sim L_{nlp}$) бўлган ҳолда сиртда заряд ташувчилар сочилиши ҳажмидаги билан таққосланарли бўлиб қолади. Кремний ва германий учун хона температурасида, киришмалар унча кўп бўлмаганда $L_{nlp} \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ см. Қатламнинг бундай d қалинлигини пардада заряд ташувчилар сочилишига нисбатан чегаравий деб ҳисоблаш мумкин. Агар қатлам қалинлиги де-Бройл тўлқин узунлиги чамасида ($d \sim L_{nlp}$) бўлса, бу ҳолда квант ўлчамлик эффекти пайдо бўлади. Кремний кристалида $L_{nlp} \sim 100 - 200 \text{ \AA}$. Аммо бундай қалинликдаги етарлича мукаммал қатламлар ҳосил қилиш қийин масаладир.

Яримўтказгичлар юпқа қатламларни олишнинг бир неча усуллари мавжуд. Улар ичида энг кўп қўлланиладиган усуллар-газ оқими ёрдамида ёки суюқ фазадан қатламлар ўтказиш (эпитаксия) усуллари дир.

Юқорида айтилганларга кўра, $p - n$ - ўтиш соҳаси қуйидаги асосий хоссаларга эгадир:

1. Термодинамик мувозанат шароитида $p - n$ - ўтиш соҳаси ҳажмий заряд мавжуд бўлган қатламдир. Бу ҳажмий зарядни асосан донор ва акцептор ионлар ташкил қилади.

2. $p - n$ - ўтишнинг ҳажмий зарядига боғлиқ бўлган n - соҳадан p -соҳага томон йўналган электр майдон мавжуд, у эса бу соҳада потенциал ўзгаришини тақозо қилади, бинобарин, $p - n$ - ўтишнинг чегаралари орасида потенциаллар айирмаси вужудга келади.

3. $p - n$ - ўтишнинг электр майдони электронлар n - соҳадан p -соҳа томон ва ковакларнинг p -соҳадан n - соҳа томонга ўтишига тўсқинлик қилади. шунинг учун ҳозирги айтилган $p - n$ - ўтиш потенциал тўсиқ бўлиб, унинг баландлиги $p - n$ - соҳадаги потенциаллар айирмасига тенг.

4. Юқоридагина $p - n$ - ўтиш қатламидаги ички электр майдон электр юритувчи куч ҳосил қилмайди.

5. $p - n$ - соҳасида ҳаракатчан зарядлар-электронлар ва коваклар жуда кам миқдорда бўлади, бинобарин, бу соҳанинг солиштира қаршилиги жуда ҳам катта (солиштира ўтказувчанлик жуда кичикдир).

3.2. Яримўтказгичларда $p-n$ - ўтишда фотоэлектр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши ва $p-n$ -ўтишнинг фотодиод ва фотоэлемент режимида ишлаши.

Металл ярим ўтказгич контактида вужудга келган беркитувчи қатламга асосланиб тайёрланган фото элементлардан олинган фото э.ю.к. ва уларнинг фойдали иш коэффициентлари жуда кичикдир. Юқори эффективли $p-n$ -ўтишли транзисторларнинг тайёрланиши ф.и.к. катта бўлган $p-n$ -ўтишли яримўтказгичли фотоэлементларнинг яратилишига замин бўлади.

Ёруғлик ярим ўтказгичда ютилиши натижасида электрон – тешик жуфтлари ҳосил бўлади. Бу жуфтлар $p-n$ - ўтишга яқин борганда майдон таъсирида ажралади. Генерацияланган жуфтларнинг сони ярим ўтказгичнинг ичкарасига қараб экспоненциал камайиб боради. Ёруғлик таъсирида генерацияланган заряд ташувчиларнинг бир қисмида ҳажмий рекомбинация рўй беради.

Электрон-тешик жуфти $p-n$ -ўтишда ажралиши натижасида электронлар n - соҳага, тешиклар эса p - соҳага ўтиб, у ерда тўплана бошлайдилар. Бу процесс $p-n$ -ўтишда фото э.ю.к. нинг ҳосил бўлишига олиб келади. Агар ташқи занжирга уласак, берк занжирдан ток ўта бошлайди.

$p-n$ - ўтишига эса бўлган ярим ўтказгичга ёруғлик тушиши билан n - соҳада электронларнинг, p - соҳасида эса тешикларнинг ўтиб бориши чексиз давом этмайди, чунки $p-n$ -ўтишдан потенциал барьер пасайиши билан тўғри ток ҳам ҳосил бўлади. $p-n$ -ўтишда ажралаётган электрон

ва тешикларнинг йўналиши тўғри тоқда иштирок этаётган заряд ташувчиларнинг йўналишига қарама-қаршидир.

Демак ёруғлик ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган электрон –тешик жуфти $p-n$ –ўтишда ажралиши натижасида n –соҳадан p -соҳага ўтаётган электронлар сони тенг бўлиб қолса, худди шундай иккала томонга йўналган тешикларнинг сони тенглашиши билан стационар ҳолат юз беради. Шу вақтда $p-n$ –ўтишда ҳосил бўлган э. ю.к. фото э.ю.к. деб юритилади.

Заряд ташувчиларнинг ҳажмий рекомбинацияси билан бир вақтда уларнинг бир қисми билан сиртий рекомбинация ҳам рўй беради. Бу процесс ҳам фотоэлементнинг фойдали иш коэффициентини камайишига олиб келади. $p-n$ –ўтишли реал фотоэлементларда ҳажмий заряд фақат $p-n$ –ўтишда ҳосил бўлмасдан металл яримўтказгич контакт олдида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Бу ҳажмий заряд маълум шароитда $p-n$ –ўтишнинг хусусиятларига таъсир кўрсата олади.

Яримўтказгичли фотоэлементлар фақат ёруғлик энергиянигина электр энергиясига айлантириб бормасдан, балки ҳар хил нурланиш (радиоактив нурлар) энергиясини ҳам электр энергияга айлантириб бера олади.

$p-n$ - ўтишнинг фотодиод ва фотоэлемент режимида ишлаши.

Агар $p-n$ –ўтишли яримўтказгични фотоннинг энергияси $h\omega \geq E_g$ бўлган кучсиз ёруғлик билан ёритилса, унда электрон ковак жуфтлари вужудга келади. Биринчи тартибда асосий заряд ташувчилар концентрациясининг ўзгариши ҳисобга олиномаса ҳам, ёритишнинг таъсири асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг концентрациясини оширишдан иборат бўлади.

Агар $p-n$ –ўтишнинг унинг чегараси бўйлаб ёритилса, у ҳолда наъмунада номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар вужудга келади. $p-n$ –ўтиш соҳасидан диффузион узунлик чамасидаги масофада вужудга келган электрон ковак жуфтлар $p-n$ –ўтиш чегараси томонга

диффузияланади, унинг майдони эса жуфтларни ажратади, яъни электронларни p -соҳадан n -соҳага ўтказди, ковакларни эса n -соҳадан p -соҳага ўтказди. $p-n$ -ўтишдан диффузион узунлик чамасидан нарироқда вужудга келган номувозанатий электронлар ва коваклар $p-n$ -ўтишга етиб келаолмай, рекомбинацияланиб кетадилар.

Ёруғлик $p-n$ -ўтиш текислигига тик тушаётган ҳолда агар $p-n$ -ўтиш ёритилаётган сиртдан унча ичкарида бўлмаса, унинг иккала тарафида ҳам электрон ковак жуфтлар вужудга келади.

Агар $p-n$ -ўтиш ёритилган сиртдан анча ичкарида бўлса, у ҳолда номувозанат ҳолатдаги электрон ковак жуфтлар фақат $p-n$ -ўтишнинг ёритилаётган тарафида вужудга келади. Ўтишнинг электр майдони $p-n$ -ўтиш яқинидаги асосий бўлмаган заряд ташувчиларни тезда бошқа соҳа-ўзлари асосий бўлган осҳага ўтказди.

Агар $p-n$ -ўтиш занжири узоқ бўлса, бу ҳолда ёритиш n -соҳада электронларнинг (манфий зарядларнинг) тўплаишига сабаб бўлади, потенциал тўсиқ eV қадар пасаяди, $p-n$ -ўтишнинг мувозанат ҳолати бузилади. Ёритиш оқибатида $p-n$ -ўтишнинг икки тарафи орасида пайдо бўлган қўшимча V потенциаллар айирмаси салт юриш ЭЮКи дейилади.

$p-n$ -ўтишнинг ёритгандан J_ϕ фототок ҳосил бўлади., у номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар токига мос келади. $p-n$ -ўтишда ёритишда ҳосил бўладиган V_ϕ фото ЭЮК ни аниқлаш учун натижавий токни қуйидагича ёзиб оламиз:

$$j = j_\phi - j_{n,\phi}^{(n)} + j_{n,\phi}^{(p)} - j_{p,\phi}^{(p)} + j_{p,\phi}^{(n)}$$

Мувозанат ҳолатдаги асосий бўлмаган заряд ташувчилартоклари ўзининг қийматини сақлаб қолади:

$$j_{n,\phi}^{(p)} = j_n^{(n)} = j_{ns}; \quad j_{p,\phi}^{(n)} = j_p^{(p)} = j_n^{(p)} = j_{ps}$$

Бирок, потенциал тўсик пасайиши туфайли $p-n$ -ўтиш орқали оқадиган асосий заряд ташувчилар токлари ортади:

$$j_{n,\phi}^{(p)} = j_{ns} \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right); \quad j_{p,\phi}^{(p)} = j_{ps} \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right).$$

Тўйиниш тўла ток зичиги $j_s = j_{ns} + j_{ps}$ бўлишини эътиборга

олсак ва $j_{n,\phi}^{(p)} = j_{ns} \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right); j_{p,\phi}^{(p)} = j_{ps} \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right)$ ни

$$j = j_\phi - j_{n,\phi}^{(n)} + j_{n,\phi}^{(p)} - j_{p,\phi}^{(p)} + j_{p,\phi}^{(n)} \text{ га қўйсак:}$$

$$j = j_s (e^{\frac{eV}{k_0T}} - 1) - j_\phi$$

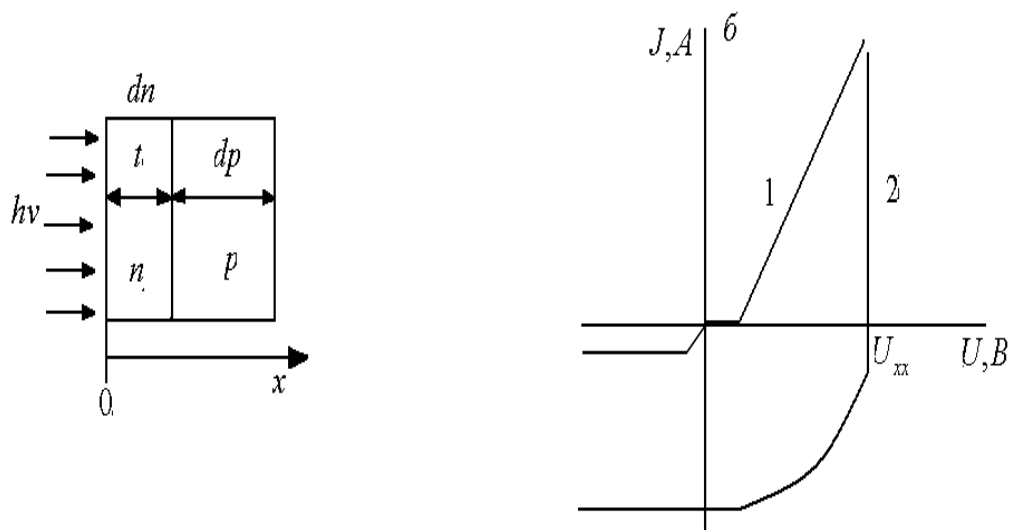
Тўла фототок

$$I = jS_{p-n} = I_s (e^{\frac{eV}{k_0T}} - 1) - I_\phi,$$

Бундан:

$$V = \frac{k_0T}{e} \ln\left(1 + \frac{I_\phi + I}{I_s}\right)$$

Тенгламани ҳар қандай режим учун фотодиод тенгламасидир.



10 - расм. Юпқа $p - n$ – ўтишнинг фотоэлемент (1) ва фотодиод режимидаги вольтампер характеристикаси (2).

Занжир узук бўлга ҳолда ($I = 0, R = \infty$) да $V = V_{\phi, \text{эюк}}$ бўлади:

$$V_{\phi, \text{эюк}} = \frac{k_0 T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi}}{I_s} \right).$$

Қандайдир R қаршилиқ уланган ҳолда

$$V = \frac{k_0 T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi} + I}{I_s} \right) \text{ ифода}$$

$$V_R = \frac{k_0 T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi} - I_R}{I_s} \right)$$

кўриниш олади, бунда $I_R = \frac{V_R}{R}$.

қиска туташув ҳолида $R = 0$, $V = 0$, $I = I_{k.T} = I_{\phi} \cdot p - n -$ ўтишининг бу иш режимини вентиль фотозэлемент режими дейилади.

Агар р-п-ўтишга ётувчи йўналишда U кучланиш берилса, ёритиш шароитида у фотодиод режимида ишлайди.

Бундай ҳолда тескари ВАХ нинг тўйиниш қисми ишлаш қисми бўлади. Тескари кучланиш анча катта бўлган ҳолда $p - n -$ ўтиш орқали оқаётган ток фототок ва тескари токдан иборат.

$$I = I_{\phi} + I_s,$$

занжирдаги ток эса: $I = \frac{U - V}{R}$; фотодиод тенгламаси:

$I_{\phi} = 0$ бўлганда бу диоднинг маълум тенгламасига айланади.

Энди I_v фотонлар оқими р-п -ўтишга тик тушаётган ҳолда $n -$ ва $p -$ соҳаларда номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар хоссаларини қараб

чиқайлик. Ёритилаётган фотодиоднинг назарий ВАХ ини текширишда Кумеров куйидаги фаразларга асосланган.

1. p-n - ўтиш соҳасининг қалинлиги (d_{p-n}) p – n – соҳалар ўлчамига ҳамда бу соҳаларда заряд ташувчиларнинг диффузион узунлиги L_{pn} га нисбатан жуда кичик. Шу туфайли бу ҳолда ён сиртларидаги рекомбинация ҳамда p-n соҳанинг ўзидаги генерация ва рекомбинация ҳисобига олинмайди.

2. p-n - ўтиш соҳасидан ташқарида электр майдон йўқ, бинобарин, заряд ташувчилар фақат диффузион ҳаракат қиладилар.

3. Заряд ташувчилар концентрацияси етралича кичик, шунинг учун ҳам Болцман статистикасидан фойдаланиш мумкин.

Вентиль режимидан ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантиришда ва кичик энергетикада фойдаланилади. Фотодиод режими эса ёруғлик сигналларига айлантиришда қўлланилади ва оптоэлектроникада, ўлчашлар техникасида, автоматикада катта аҳамиятга эгадир.

3.3. Кремнийли ва галлий арсенид асосидаги Қуёш фотоэлементларининг энергетик параметрларини ёруғлик нури оқимида ўрганиш

Тажриба ўтказиш техникаси ва услублари

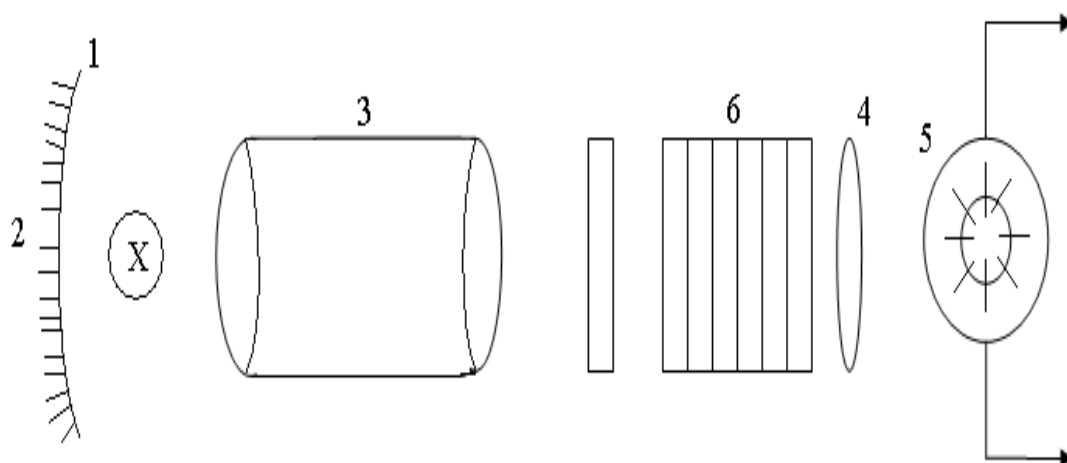
Бизнинг тажрибаларимизда фойдаланилган қуёш фотоэлементи р –тур кремний монокристалидан 0,3 мм қалинликда кесиб олинган ва диаметри 62 ммли айланасимон дисклардан иборат бўлиб, унинг бир томони сирти фосфор билан 0,3 мкм қалинликда қопланган бўлиб, 700⁰С гача тоблаш ва шу усул билан р-п ўтиш ҳосил қилинган. Контакт тўрлари 30 та радиал чизиқлар ва уларни бирлаштирувчи кўндаланг тасма кўринишига эга. ФЭ нинг юзаси 9,4 см² га тенг.

Контакт тасмалар кенглиги 0,5 ммдан ошмайди. Уларнинг умумий сирти ФЭ сиртининг 12% ни ташкил этади. ФЭнинг орқа томони эса алюминий диффузияланиб тайёрланган омик контактли қопламадан иборат. Алюминий устига қалай қопланган. ФЭнинг устки ва остки контактларига уни ташқи занжирга улаш учун чиқиш симларини кавшарлаб туташтириш мумкин.

ФЭнинг устки сирти мусбат, остки қисми манфий ишорали кутблар ҳисобланади. Ушбу турдаги фотоэлементлар Россиянинг Светлородск шаҳридаги электрон асбоблар заводида тайёрланган.

Ушбу кремнийли (Si) Қуёш ФЭларининг иш характеристикаларини лаборатория шароитида ўрганилиб чиқилди. Бунинг учун схемаси 11-расмда кўрсатилган ва оптикадан лаборатория ишлари ўтказиш учун мўлжалланган ишчи қурилмадан фойдаланилди.

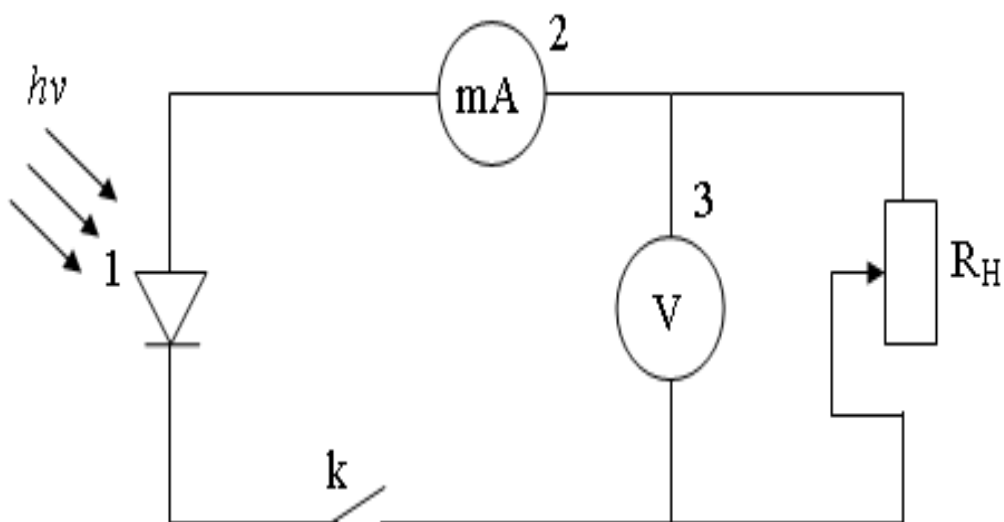
Тажрибаларда кўзда тутилган мақсадларга мослаштириш учун унинг таркибига айрим ўзгартиришлар киритилди. Ёритиш манбаидан (лампочкадан) чиқаётган ёруғлик оқимини ўзгартириб туриш нур йўлига нейтрал филтрлар ўрнатиладиган тутгич ўрнатилди.



11 –расм. Лаборатория шароитида ФЭ ларнинг параметрларини ўрганиш қурилмасининг тузилиши.

Ёруғлик нури лампочка (1) дан чиқиб конденсатор (3) га тушади. Лампочканинг орқа томонига ўрнатилган (2) ботик кўзгу ёруғлик оқимини 30% гача ошириш имконини беради. Конденсатордан ёруғлик параллел нурлар оқими сифатида чиқиб, (4) иссиқлик фильтрига ва ундан ўтиб (5) фотоэлементга тушади. Фильтр инфрақизил нурларни ютиб қолиб, ФЭнинг қизиб кетишдан сақлайди. Инфрақизил нурлар ФЭда фаол ютилмайди. Лекин кристаллни қизитади. Нур йўлига (6) нейтрал шиша пластинкаларни қўйиб, ёруғликнинг турли оқимини ҳосил қилиш мумкин.

Тажриба давомида нурнинг ФЭ сиртига текис тик тушиб туришига аҳамият берилади. Ушбу қурилмадан фойдаланиб фотоэлементларнинг салт ишлаш кучланиши $U_{СИ}$ ва қисқа туташув токи $I_{КТ}$ параметрлари ўлчаб чиқилди. Бунинг учун 12 –расмда келтирилган электр занжиридан фойдаланилди.



12 –рasm. Лаборатория шарoитида ВАХ хaрактеристикaсини олиш схемaси.

1 –фoтoэлемент, 2 –миллиaмперметр, 3 –вольтметр, R_H -юклaмa.

Бундa юклaмa (нaгрузкa) сифaтидa **R-33** мaркaли қaршиликлaр мaгaзинидa, тoк кyчини ўлчaш учун **Ц-4352** мaркaли aмпервольтметрдaн вa кyчлaнишни ўлчaш учун эсa **М -254** мaркaли вольтметрдaн фoйдaлaнилди.

К –кaлит очик бўлгaндa қуёш элементининг салт ишлaш кyчлaниши $U_{СИ}$ ўлчaнaди. К –кaлит улaниб $R_H=0$ бўлгaндa қисқa тутaшув тoки $I_{КТ}$ ўлчaнaди. Қaршиликлaр мaгaзини ёрдaмидa қaршиликни ўзгaртириб ФЭнинг нaгрузкa билaн ишлaш жaрaёни тaдқиқ қилинaди.

Лaборaтория шарoитидa қисқa тутaшув тoки $I_{КТ}$ вa салт ишлaш кyчлaниши $U_{СИ}$ яхши кўрсaтгичгa эгa бўлгaн вa 3 тa ФЭлaр aжaритиб oлинди.

Тaжрибa нaтижaлaри вa улaр тaҳлили.

Тaжрибa йўли билaн лaборaтория вa дaлa шарoитидa ҳaр уч фoтoэлемент учун салт ишлaш кyчлaниши $U_{СИ}$ вa қисқa тутaшув тoки $I_{КТ}$ қиймaтлaри вa ВАХлaри тeкширилиб кўрилaди. 1 –жaдвaлдa шу 3 тa фoтoэлементнинг лaборaтория вa дaлa шарoитидa қисқa тутaшув тoки $I_{КТ}$ вa салт ишлaш кyчлaниши $U_{СИ}$ қиймaтлaри кeлтирилгaн.

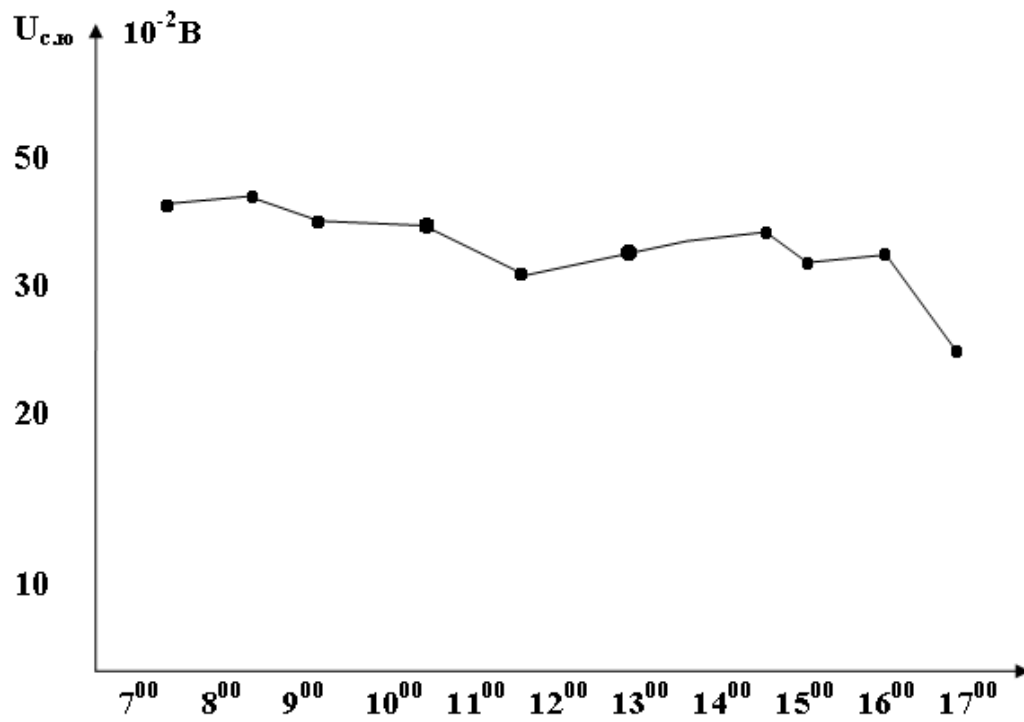
1-жадвал

№	Лаборатория		Дала шароити	
	$I_{к.т.}(mA)$	$U_{си}(mV)$	$I_{к.т.}(mA)$	$U_{си}(mV)$
1	75	460	99	470
2	54	402	102	500
3	64	520	110	550

Тажриба натижаларидан шу нарсани кўриш мумкинки, Бунда № 1 – фотоэлемент лаборатория шароитида 75 мА қисқа туташув токини кўрсатса, дала шароитида 99 мА ни, № 3 – фотоэлемент лаборатория шароитида 64 мА, дала шароитида 110 мА қисқа туташув токини кўрсатади. Шунингдек, № 3 учун салт юриш кучланишлари лаборатория шароитида 520 мВ ва дала шароитида 550 мВ га тенг бўлади. Демак, № 3 – фотоэлементнинг дала шароитида юқори кўрсаткичга эга эканлигини унинг ВАХ сидан ҳам кўриш мумкин.

Хулоса қилиб айтганда фотоэлементнинг чиқиш параметрлари лаборатория шароитида яхши бўлганлариники (№ 1, 3) дала шароитида ҳам яхши. Энергетик параметрлар кескин фарқ қилувчи фотоэлементлардан фотобатареялар ясаб бўлмайди, паст характеристикали фотоэлементлар бошқаларига таъсир кўрсатади. Шу сабабли бу хил фотоэлементлар ташлаб юборилади. Фотоэлементларни турли чиқиш параметрларига эга бўлиши уларни тайёрлаш технологиясидаги четлашишлар ёки фотоэлементнинг асоси бўлган кремнийнинг параметрларида оғишлар (дефектлар) бўлган қисмининг тўғри келиб қолиши сингари ҳоллар билан изоҳлаш мумкин.

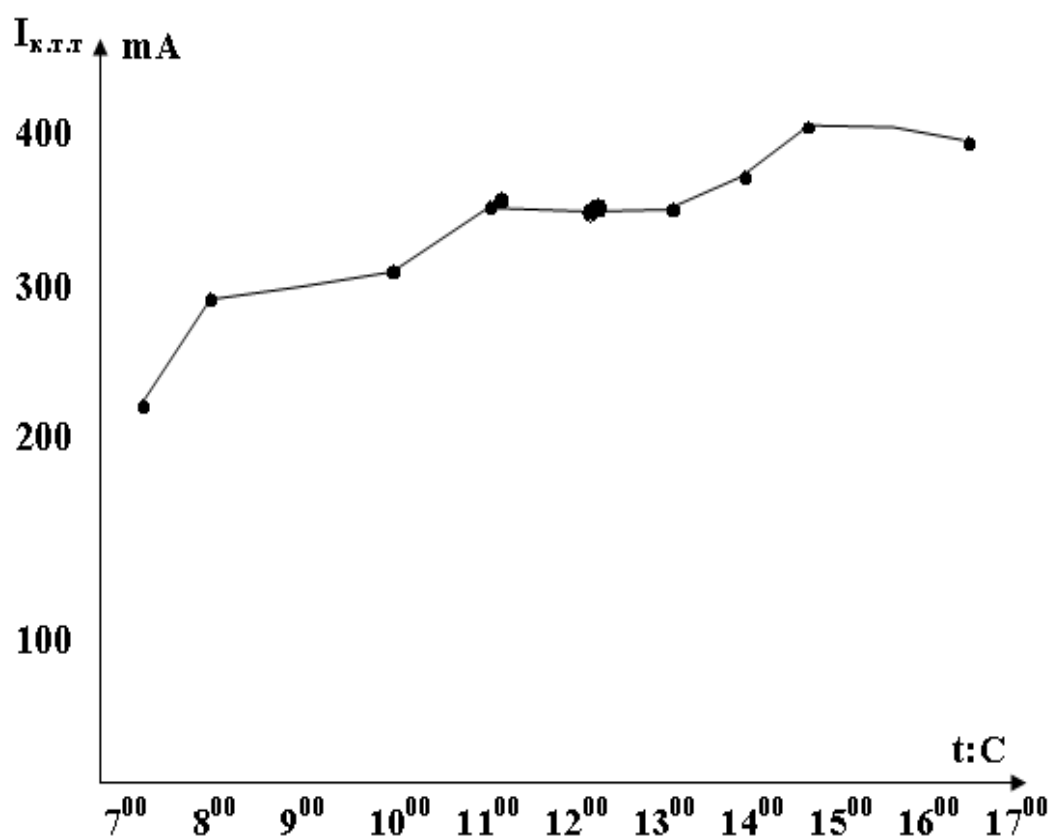
Бундан ташқари дала шароитида фотоэлементларни ҳар бирини алоҳида қисқа туташув токи $I_{кт}$ қийматлари олинади. Ажратиб олинган фотоэлементларнинг дала шароитида ВАХ ўрганилди. Натижалар асосида расмда №3 фотоэлементнинг $U_{с\text{ю}}$ нинг вақтга боғлиқлик графиги келтирилган.



13 –расм. $U_{c.ю}$ нинг вақтга боғлиқлик графиги келтирилган.

Графикдан кўриниб турибдики, куннинг турли вақтида ФЭ нинг салт юриш кучланиши турлича қийматни олар экан. 13-расмдан куринадики айниқса соат 11⁰⁰ даги қиймати 0,35 мВ гача пасайишини фотоэлементнинг қизиб кетиши натижасида унинг структурасида асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг концентрациясининг ошишига, бинобарин ички қаршилигининг пасайишига олиб келувчи сабабларнинг юзага чиқиши билан изоҳлаш мумкин.

14 –расмда №3 фотоэлементнинг қисқа туташув токининг кун бўйи олинган графиги келтирилган



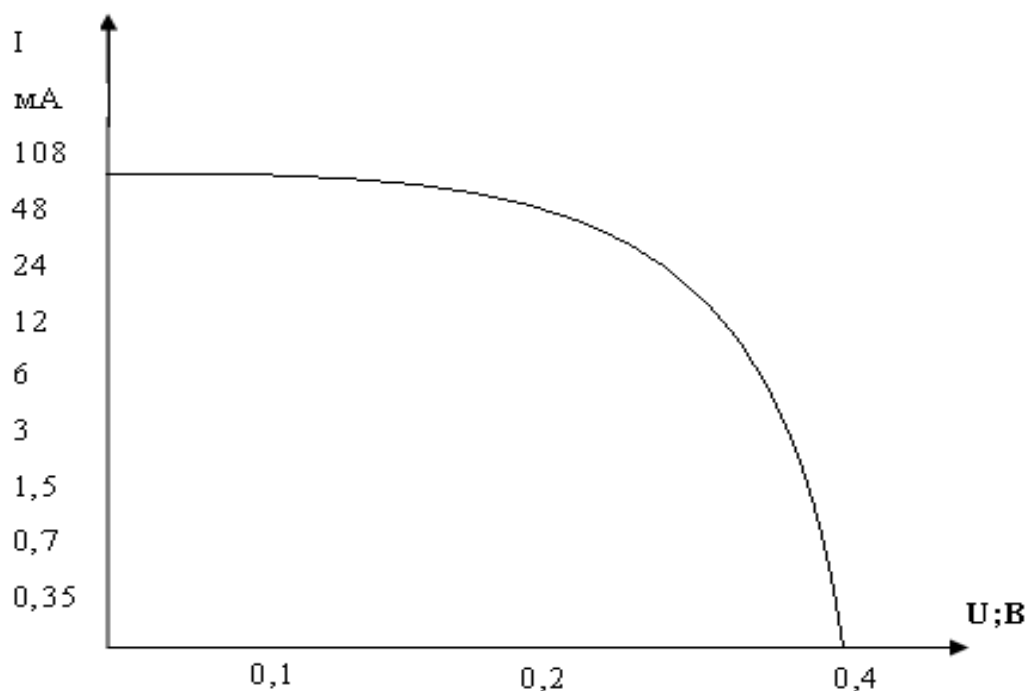
14-расм. №3 фотоэлементнинг $I_{k.t.t.}$ нинг вақтга боғлиқлик графиги.

2-жадвал

R, Ом	U В	I mA	R, Ом	U В	I mA
1000	0,47	0	4	0,15	29
500	0,4	0,7	3	0,14	32
100	0,25	2,1	2	0,9	42
10	0,25	20	1	0,6	48
9	0,23	22	0	0	108
7	0,21	24			
6	0,20	25			
5	0,18	27			

2 –жадвалда №3 фотоэлементнинг лаборатория шароитида олинган ВАХ си келтирилган.

15 –расмда шу 2- жадвал асосида чизилган ВАХсининг графиги келтирилган. Бу графикдан кўриниб турибдики. ФЭ нинг ВАХси



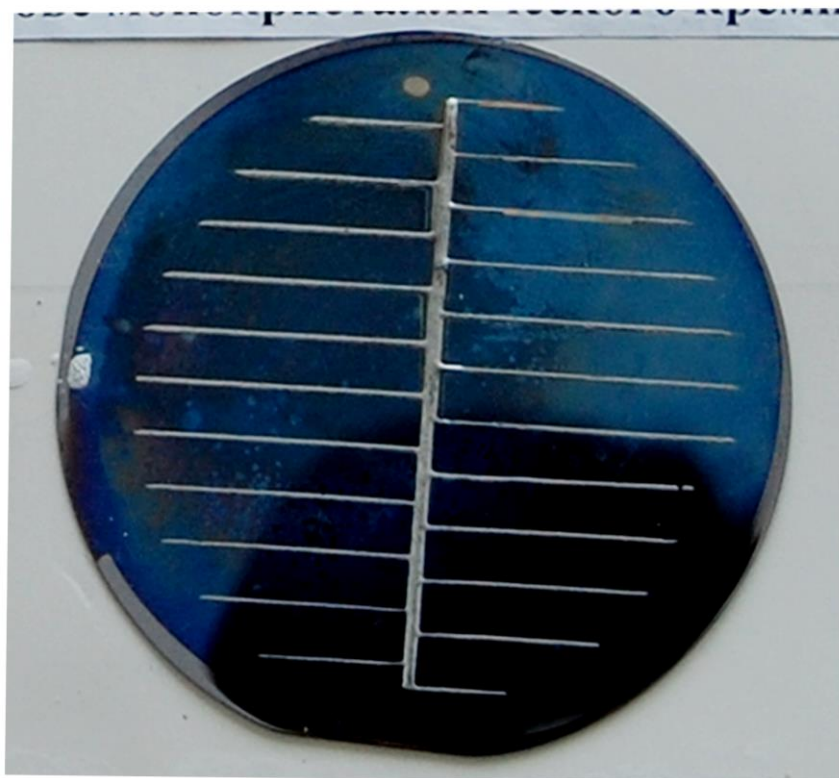
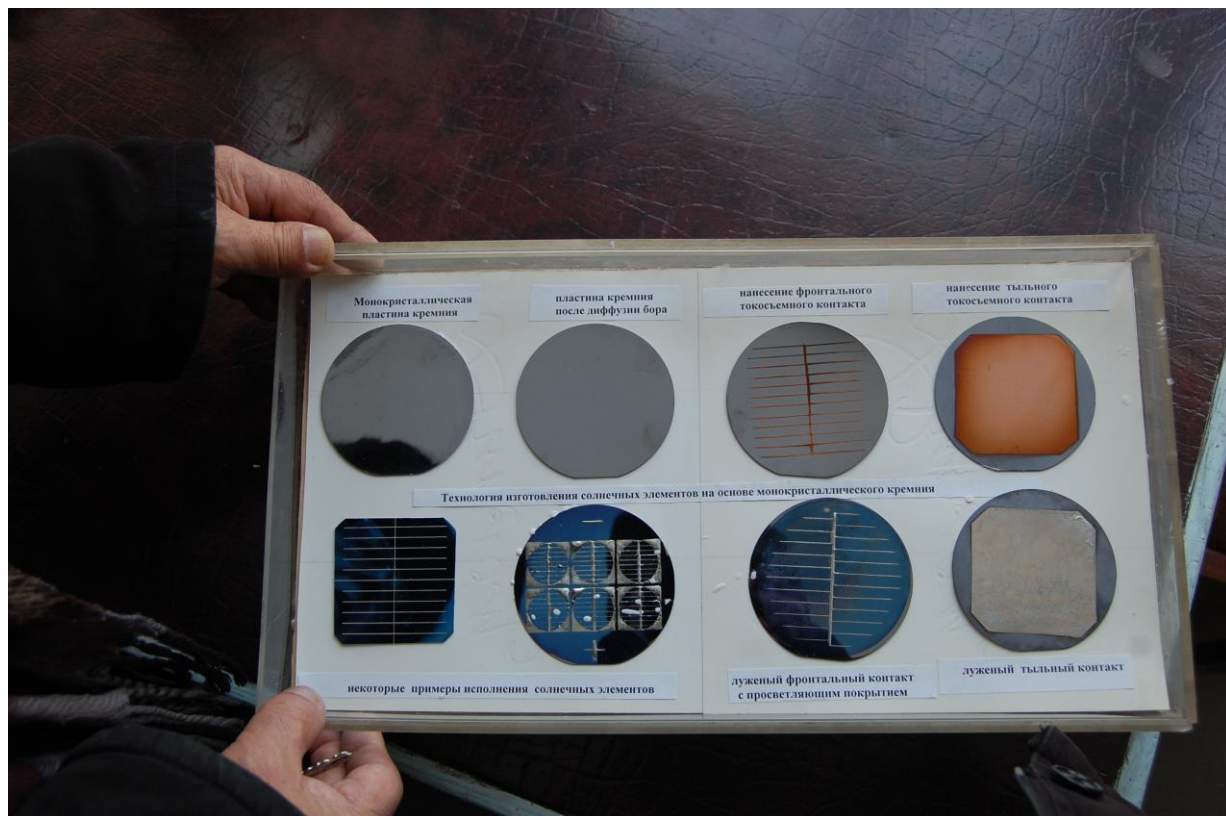
15- расм. №3 ФЭ нинг ВАХ си.

Идеал фотоэлементлар учун ҳисобланган ВАХга ўхшаш кўринишга эга. Олинган натижалар ушбу фотоэлементларни ҳам қуёш энергиясини электр энергиясига айлантирувчи қурилмалар сифатида ишлатиш мумкинлигини кўрсатади.

Қуёшнинг нурланиш энергиясини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантирувчи ярим ўтказгичли фотоэлементлар яқин келажакда электр энергетикасининг асосини ташкил этиши, шубҳасиздир. Бугунги кунда бу борада илмий тадқиқот ишларининг йўналиши фақат фотоэлектрик хоссага эга бўлган янги материалларни яратиш ва уларнинг хусусиятларини ўрганишга қаратилибгина қолмасдан, балки ҳозирги кунда анчагина соҳаларда электр манбаи сифатида ишлатилётган фотоэлектрик ўзгартгичларнинг параметрларини мукаммаллаштирувчи технологияларини яратиш ва

такомиллашган қуёш фотоэлементлари ишлаб чиқариш ҳамда уларнинг хоссаларини турли табиий шароитларда ўрганишга ҳам қаратилган

. Жумладан, дастлабки фотоэлемент ҳисобланган кремний асосидаги фотоўзгартгичларнинг янги хилларини яратиш ва такомиллашган қуёш фотоэлементлари ишлаб чиқариш ҳамда уларнинг хоссаларини турли табиий шароитларда ўрганишга ҳам қаратилган. Жумладан, дастлабки фотоэлемент ҳисобланган кремний асосидаги фотоўзгартгичларнинг янги хилларини яратиш ишларининг ривожига ҳали ҳам сусайган эмас.



Ушбу тажрибада факат Қуёш нурланиши таъсирида ишлашга мўлжаллаб яратилган кремний асосидаги фотоэлементларнинг энергетик хоссаларини тўпланган Қуёш нури таъсирида ўрганиш бўйича олинган натижалар ва уларнинг таҳлили киритилган.

Қуёш фотоэлементи p – тур кремний монокристалидан 0.3 мм қалинликда кесиб олинган ва диаметри 62 мм ли айланасимон дисклардан иборат бўлиб, унинг томонларига махсус ишлов берилиб, силлиқлангандан кейин бир томонига 0.3 мкм қалинликда диффузия усули билан фосфор қопланди ва $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ гача тобланган ва p - n ўтиш ҳосил қилинган. Унинг устига 30 та радиал симлар ва уларни бирлаштирувчи кўндаланг контакт тасмалари ўрнатилган. p – n ўтиш сирти кремний икки оксидидан иборат равшанлантирувчи қатлам билан қопланган.

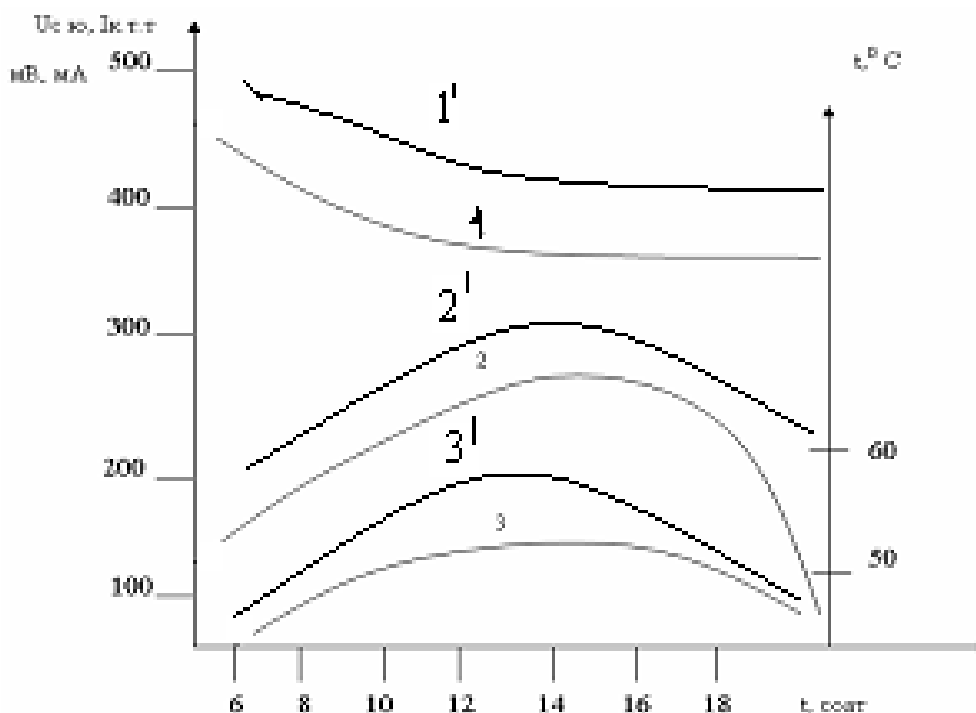
Дискнинг орқа қисми кўрғошинли контакт қатлаmidан иборат. Тажрибалар шундай ФЭ дан уchtаси устида табиий шароитда олиб борилди.

$U_{C.YO}$ –салт юриш кучланиши, $I_{K.T.T}$ –қисқа туташув токи ўрганилди. Табиий шароитда ўтказилган тажрибаларда фотоэлементлар махсус тутқичга ўрнатилди ва тутқич фотоэлементлар текислиги қуёш нурларига тик холда ушлаб турадиган мосламалар билан таъминланади. Қуёш нурини тўплаш учун диаметри 7см дан бўлган 4 та текис кўзгуларни тутиб турувчи махсус қурилма ясалди. Кўзгулар асосга шундай бурчак остида ўрнатилдики улардан қайтган нурлар асосдан 12 см узоқликда тиргак симларга ўрнатилган ФЭ га тушиб туради. Бу қурилма ФЭ нинг энергетик параметрларини тўғри ва тўпланган қуёш нури таъсирида ўрганиш имконини беради (Қурилманинг тўплаш коэффициентини $k = 2.7$ га тенг).

Бунда 1, 2 ва 3 эгри чизиклар $U_{C.YO}$, $I_{K.T.T}$ ва фотоэлемент ҳароратининг кун бўйи ўзгаришини кўрсатса, 1` 2` ва 3` эгри чизиклар шу параметрларнинг тўпланган қуёш нури таъсиридаги ўзгаришини кўрсатади.

Бунда, 1-эгри чизик $U_{C.YO}$ га, 2- эгри чизик $I_{K.T.T}$ нинг кун давомида ўзгаришини кўрсатса, 3- эгри чизик фотоэлементнинг ҳароратини кўрсатади.

16 - расмда кўриниб турибдики, Қуёш зенитга қараб кўтарилиб бориши билан ФЭ ҳарорати ҳам ошиб боради, ҳатто соат 14⁰⁰ да 49 °С га етади, сўнгра ҳарорат пасаяди. Салт юриш кучланиши соат 6⁰⁰ даги 450mV дан соат 13⁰⁰ 360 mV гача пасаяди ва кечга яқин бировз кўтарилади.



16-расм

Қисқа туташув токи эрталабки 100 mA дан соат 13⁰⁰ да 320 mA гача кўтарилади. Бу Қуёш радиациясининг ошиши билан p – n ўтишда ҳосил бўлаётган зарядлар концентрациясининг ошиши билан изоҳланса, салт юриш кучланишининг камайишини ҳарорат ортиши билан ФЭ ясалган кремний ярим ўтказгич материалнинг физикавий параметрларининг, масалан, тақиқланган соҳаси E_g нинг камайиши билан изоҳлаш мумкин. Тўпланган қуёш нури таъсирида ФЭ нинг $U_{с.ю}$, $I_{к.т}$ ва ҳарорати ўртача 20% га ошиши кузатилди. Бу ўсиш ёруғлик оқимининг тўпланиш даражасидан анча кам. Бундай номутаносиблик қўшимча тажрибаларни ўтказишни талаб қилади. Шуни айтиш мумкинки, кремнийли фотоэлементларни ёруғлик оқими 2,5 – 3 карра ортган шароитларда ишлатиш мумкин.

ХУЛОСА ва ТАКЛИФЛАР

Битирув малакавий ишида келтирилган маълумотлар асосида куйидаги хулосаларни чиқариш мумкин.

1. Ҳозирги даврга келиб яримўтказгич асбоблар ва улар асосида тайёрланган қурилмалар ҳаётимизда кенг қўламда ишлатилмоқда. Бунинг асосий сабаби яримўтказгичларнинг ажойиб хоссаларидир. Жумладан, ушбу битирув малакавий ишида уларнинг ёруғлик нури таъсиридаги хусусиятларини ўрганиб чиқиш мақсад қилиб қўйилган.

2. Маълумки, яримўтказгич моддалар ёруғлик таъсирига жуда сезгир бўлади, чунки уларда ютилган электромагнит нурланиш энергияси эвазига заряд ташувчилар зичлиги ва ҳаракатчанлиги анча ўзгариши ва бошқа бирмунча ажойиб ҳодисалар юз беради.

3. Қаттиқ жисмларга ёруғлик нури таъсири билан боғлиқ бўлган ҳодисалар фотоэффект деб ном олган. Қаттиқ жисмларда фотоэлектрик эффект ҳодисаси ўз характери билан ташқи ва ички фотоэлектрик эффектларга бўлинади.

4. Яримўтказгичлардаги фотоэлектрик ҳодисалар асосида нурланиш таъсирида электронларнинг паст энергетик ҳолатдан юқориги энергетик ҳолатга ўтиш жараёни ётади. Ушбу битирув малакавий ишда фотоэффект ҳодисасининг яримўтказгичларда содир бўлиш механизмлари, бу ҳодиса билан боғлиқ бўлган қонуниятлар ва уларга асосланиб яратилган баъзи яримўтказгич асбоблар физикаси ҳақида тушунча бериб ўтилди.

5. Кўрсатиб ўтилдики, хусусий яримўтказгичларда электронларнинг ёруғлик таъсиридаги чиқиш иши термоэлектрон чиқиш ишидан катта бўлар экан. Агар яримўтказгич акцептор ёки донор аралашмали бўлса, ёки хусусий яримўтказгич юқори температурада турса, электронлар ёруғлик таъсирида ўтказувчанлик соҳасидан ва акцепторлар энергетик сатҳидан ҳам эмиссияланади. Бундай ҳолларда фотоэлектрон чиқиш иши термоэлектрон чиқиш ишидан катта бўлади. Демак, яримўтказгичларда фотоэлектрон чиқиш

ишини температурга боғлиқ равишда ўрганиб, яримўтказгичлардаги ман қилинган соҳа кенглигини ва турли аралашмаларнинг таъқиқланган соҳада эгаллаган сатҳлари энергиясини аниқлаш мумкин.

6. Ўтказгичларда ёруғлик ютилиши туфайли унда карама-қарши ишорали зарядлар билан қатламлар юзага келади. Бу қатламлар орасидаги потенциаллар айирмаси ички э.ю.к.ни юзага келиради. Агар яримўтказгич бир жинсли бўлса, бундай фото э.ю.к. ни ташқи занжирга олиш мумкин эмас.

7. Ярмўтказгич ҳажмида биржинсли бўлмаган муҳитни амалга ошириш йўлларида бири яримўтказгичнинг металл ёки бошқа турдаги ўтказувчанликга эга бўлган яримўтказгич билан контакти соҳасида юзага келиши мумкин экан. Бу соҳа р-п- ўтиш деб ном олган. . Ярмўтказгичлардаги контакт соҳа хоссаларига асосланиб хилма-хил асбоблар яратилган.

8.Электрон-тешик жуфти р-п -ўтишда ажралиши натижасида электронлар п- соҳага, тешиклар эса р- соҳага ўтиб, у ерда тўплана бошлайдилар. Бу процесс р-п-ўтишда фото э.ю.к. нинг ҳосил бўлишига олиб келади. Бу ҳодиса яримўтказгичли фотоэлементларнинг яратилишига сабачи бўлди

9.Яримўтказгичли фотоэлементлар фақат ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантириб бормасдан, балки ҳар хил нурланиш (радиоактив нурлар) энергиясини ҳам электр сигналларига айлантириб бера олиш қобилиятига эга. Уларнинг бу хоссалари заминида жуда кўп асбоблар, мураккаб қурилмалар тайёрланади, улар фан ва техниканинг, саноатнинг турли соҳаларида ва инсонларнинг кундалик турмушида кенг қўлланилмоқда.

Яримўтказгичлар асосида келажакда яна ҳам ажойиб хоссаларга эга бўлган асбоблар яратилишига ҳеч бир шубҳа йўқ. Бунинг учун ҳозир таълим даргоҳларида билим олаётган ёшларимизни яримўтказгичлар ва уларнинг ажойиб хоссаларга ҳақидаги билимлар билан мукамал таништириб боришни зарур деб ҳисоблайман.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. A.S.Saidov..Leyderman va boshqalar Alternativnay energetika i ekalogiya 2015yil B7(171) s-55-69
2. A.S.Saidov..Leyderman va boshqalar Applied Solar Energy 2016 Vol 52 issue 2pp.115-117
3. A. Teshaboev va b. Yarimo'tkazgichlar va yarimo'tkazgichli asboblar texnologiyasi. T. 2006 yil.
4. A.T. Mamadolimov., M.N. Tursunov Yarimo'tkazgichli Quyosh elementlari fizikasi va texnologiyasi. T., 2002 yil.
5. Risboev T.R. "Kremniy asosidagi fotoelementlarning Quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish xususiyatlarini tatqiq etish" GulDU to'plami. 2004 yil.
- 6.Азизов М. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1974 йил.
- 7.Акрамов Ҳ ва б. Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар. Т., 1994 йил.
- 8.Шолимова К.В., Физика полупроводников. М. 1985 год.
9. Зайнобиддинов С,Тешобоев А.Яримўтказгичлар физикаси.Т. 1999 йил.
- 10.Таркуша. Ж.М. Основы физики полупроводников. М. 1982 год.
- 11.Абакумов А.А., Захидов Р.А., Харченко В.В. Плавление и кристаллизация слитков поликристаллического кремния с применением гелиоконцентрирующих установок// Гелиотехника. 1997. № 3. С. 78-82.
- 12.Абакумов А.А., Саидов А.С. и др. Труды 3-й международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», Москва, ГНУ ВИЭСХ, 14-15 мая 2003 г. С. 58-62.

13. Саидов А.С., Абакумов А.А., Саидов М.С. Солнечно-радиационная плавка металлургического кремния//Гелиотехника. 2003. № 1. С. 96-97.
14. Турсунов М.Н., Дадамухаммедов С. и др. Кремниевые солнечные элементы с тонкими фронтальными диффузионными слоями// Гелиотехника. 2003 № 2. С. 20-25.
15. Саидов А.С. Термоэлектретные свойства технического кремния, полученного восьмикратной переплавкой на солнечной печи. //международный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 23 (83) 2010. С. 22-25.
16. Колтун. М.М Солнечные элементы . М., «Наука» 1987.
17. Рисбоев Т.Р., Гаимназаров., «Кремний асосидаги қуёш фотоэлементларининг параметрларини табиий шароитда ўрганиш» Замонавий физика ва астрономия муаммолари мавзусидаги республика илмий – амлий анжуман материали, Қарши, 2005 йил 25-май 32 – 34 - б.
18. Ўзбекистон энциклопедияси . Т.4,6 б., Т. 10,407-408,186,399,400,401 бб.
19. Физический энциклопедический словарь. М. 1995 г. 450-455 стр.
20. Фридкин Е.М. Желудес И.С. Фотоэлектреты и электрофотографический процесс. М. 1960 год.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti asarlari.

21. Mirziyoev Sh. M. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Toshkent. "O'zbekiston"-2016y. 56 bet.
22. Mirziyoev Sh. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. Toshkent. "O'zbekiston"-2017y. 488 bet.

23.Mirziyoev Sh. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. Toshkent. "O'zbekiston"-2017y.48 bet.

24.Mirziyoev Sh. M. Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik-har bir raxbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. Toshkent. "O'zbekiston"-2017y.104 bet.

25.O'zbekiston Respublikasi Birinchi Prezidenti Karimov I.A. Ona yurtimiz baxtu istiqboli va buyuk kelajagi yo'lida xizmat qilish – eng oliy saodatdir. Toshkent: "O'zbekiston", 2015.

26.O'zbekiston Respublikasi Birinchi Prezidenti Karimov I.A. O'zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasini qabul qilinganligining 23 yilligiga bag'ishlangan tantanali ma'rosimdagi ma'ruza. 2015 yil 5 dekabr.

27.O'zbekiston Respublikasi Birinchi Prezidenti Karimov I.A. Yuksak ma'naviyat – yengilmas kuch. T: "Ma'naviyat", 2008.

28.O'zbekiston Respublikasi Birinchi Prezidenti Karimov I.A. Mamlakatimizda demokratik islohotlarni yanada chuqurlashtirish va fuqarolik jamiyatini rivojlantirish konsepsiyasi. T: "O'zbekiston". 2010.

Internet ma'lumotlari.

29. [http: www. gduportal.uz](http://www.gduportal.uz) - Guliston davlat universiteti ichki axborot ta'lim partali

30. [http: www. Dissertant.uz](http://www.Dissertant.uz) - Yosh olimlar portali

31. [http: www. Allbest.ru](http://www.Allbest.ru) -Elektron kutubxonalar bibliotekasi

32. [http: www. Edu.ru](http://www.Edu.ru) - Rossiya federatsiyasi ta'lim portali