

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ

**ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ**

**ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
ФАКУЛЬТЕТИ “ФИЗИКА”
КАФЕДРАСИ**

Р Е Ф Е Р А Т

***Мавзу: ЎТКАЗГИЧНИНГ
ЯРИМЎТКАЗГИЧ БИЛАН КОНТАКТИ ВА
УНДА ЁРУҒЛИК ТАЪСИРИДА
КУЗАТИЛАДИГАН ҲОДИСАЛАР.***

Гуруҳ : 9-12

Топширди: Ашуров Х

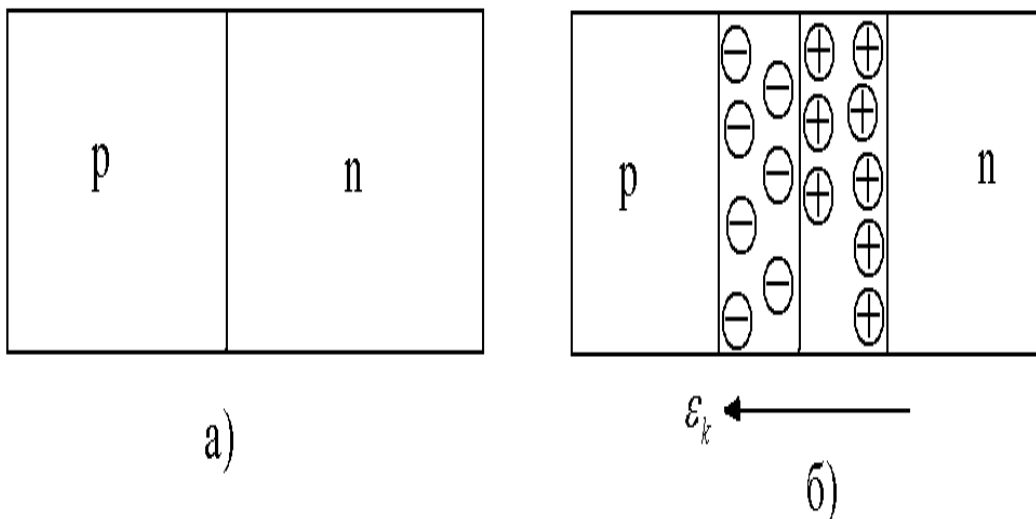
Қабул қилди: Рисбоев Т.

Гулистон 2015

Яримўтказгичда бир жинсли бўлмаган мухитни 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 р-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 р-тур соҳага, р-тур соҳадан n — тур соҳага коваклар диффузияланади. Бу диффузияланган ҳаракатчан заряд ташувчилар асло чегара яқинидаги соҳада тўхтаб қолмайди, балки р-тур ва n — тур соҳалар ичкарасида рекомбинацияланиб ғойиб бўлади. Иккала р-тур соҳа n — тур соҳадаги қатламларда, асосан мос равишда, ҳаракатсиз акцептор ва донор ионлари қолади. Бу р-тур соҳа билан n — тур соҳа чегарасидаги вужудга келган соҳа (қатламни) р- 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 р-тур соҳага томон йўналган бўлади. Бу майдон таъсирида вужудга келган зарядлар оқими диффузион оқимларга тенг бўлганда р- n — ўтиш электр майдони ўзининг мувозантий қийматиغا эришади.



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

Қуйида р- n — ўтишнинг асосий хоссаларини санаб ўтамиз:

1. р- n — ўтиш р-тур ва n — тур ўтказгичларга эга бўлган икки соҳанинг чегарасида пайдо бўладиган соҳа (қатлам) дир. Бу соҳанинг бир қисми, умуман айтганда р-тур соҳада, бошқа қисми n — тур соҳада ётади.
2. р- n — ўтиш соҳадан ҳаракатчан электронлар ва коваклар кетиб қолганлиги (диффузия туфайли) сабабидан, унда қолган кўзғолмас акцептор (манфий) ва донор (мусбат) ионлар ҳажмий заряд ҳосил қилади.
3. р- 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 нолга тенг бўлади.

4. Токдаги қатнаша оладиган эркин зарядлар- n — ўтишда жуда кам (р-тур ва n — тур соҳалар ҳажмидагина мингларча марта кам) бўлади. бинобарин, р- n — ўтишнинг солиштирма қаршилиги жуда катта бўлади.
5. р- n — ўтишда электр майдон билан боғлиқ бўлган потенциал координата функцияси бўлади. Унинг р- n — ўтиш четлари орасидаги қийматлари айирмаси

контакт потенциаллар айирмаси ёки потенциал тўсиқ баландлиги φ_{p-n} ни аниқлайди.

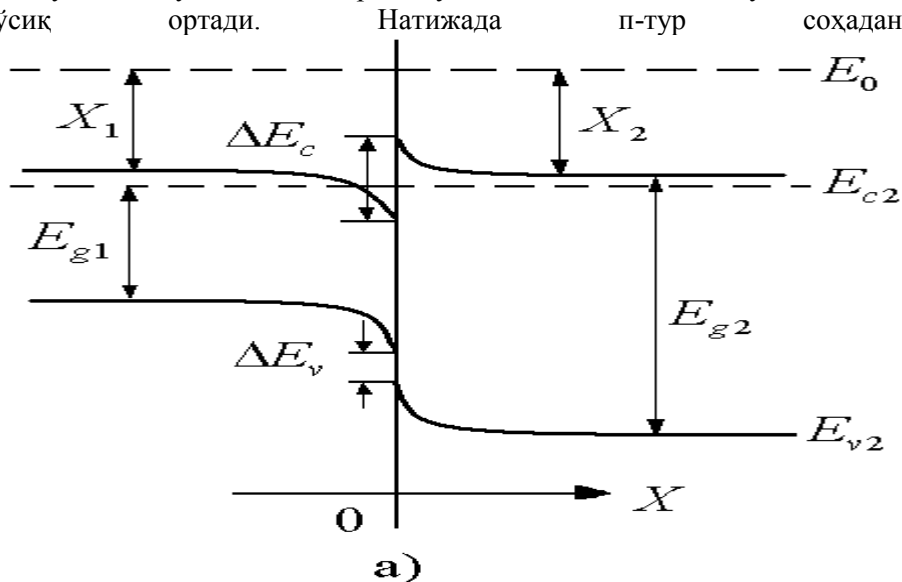
6. Электр майдон n — тур соҳадан р-тур соҳага томон йўналганлиги сабабли р- n — ўтиш n — соҳа электронлари учун р-тур соҳага ўтишга, р-тур соҳа коваклари учун n — тур соҳага ўтишга тўсиқ бўлади.

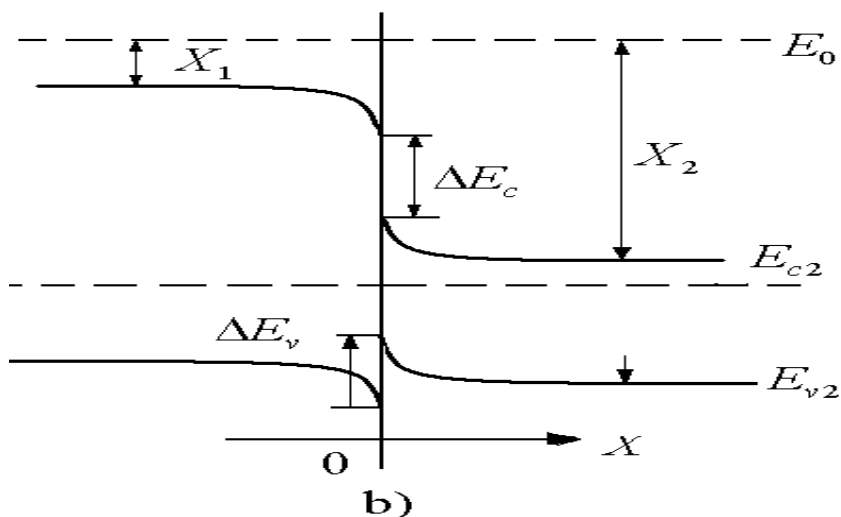
Энди р- n — ўтишли тизимга ташқи манбадан кучланиш берилган бўлсин. Бунда р- n — ўтишнинг қаршилиги р-тур ва n — тур соҳаларниқидан анча катта бўлганлиги сабабли деярли бутун кучланиш р- n — ўтиш соҳасига тўғри келади.

Кучланишнинг икки йўналиши бўлиши мумкин.

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

Агар ташқи кучланиш манбанинг мусбат кутби п-тур соҳага, манфий кутби 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.





9-расм. Тўғри(а) ва тескари(б) 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).

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

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

лтириб 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 кўришиб 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 қийматиға эришади.

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

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

Мураккаб электроника қурилмаларида масалан, ЭХМ ларда ишлатиладиган микросхемаларда р- ***n*** — ўтишлар ва металл яримўтказгич контактлар асосий элементлар хизматиға бажаради.

б). Гетероўтишларда ва уларда р- n — ўтишнинг ҳосил бўлиши.

Тақиқланган соҳалар кенглиги ҳар ҳил 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 силлик ўзгарувчан чегарали, симметрик ёки носимметрик бўлиши мумкин. Кескин чегарали гетероўтишлар ташкил этган моддалар чегарасида тақиқланган соҳа кенглиги сакраш билан (кескин) ўзгаради, силлик ўзгарувчан чегарали гетероўтишлар қандайдир қатлам давомида тақиланган соҳа кенглиги текис ўзгариб боради. (варизон гетероўтишлар). р- n — изотип гетероўтиш, р- n — 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 ҳил, 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.

Гетероўтишларгагина 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 сиртқи 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 (узонликлари) киритилади, улардан энг муҳимлари куйидаги 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 тўлкини узунлиги λ_{nlp} ;

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

$$L_0 \gg L_{dэ} \gtrless l_{np} \gg \lambda_{nlp} ;$$

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:

$$\frac{1}{\tau_{эфф}} = \frac{1}{\tau_0} + \frac{2s}{d} ,$$

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

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

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

Агар $d \sim L_{dэ}$ бўлса, яъни қатлам қалинлиги экранлаш эффектив узунлиги тартибида бўлса, яримўтказгич пардасидаги (юпқа қатламдаги) заряд ташувчилар концентрацияси қалин қатламдаги мувозанатий концентрациядан фарқ қилади. Бу ҳолда ҳатто 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

кристаллида $L_{nlp} \sim 100 - 200 \text{ \AA}$. Аммо бундай калинликдаги 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.

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 коваларнинг 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. Юқоридаги $p-n$ ўтиш қатламидаги ички электр майдон электр юритувчи куч ҳосил қилмайди.
5. $p-n$ соҳасида ҳаракатчан зарядлар-электронлар ва ковалар жуда кам микдорда бўлади, бинобарин, бу соҳанинг солиштира қаршилиги жуда ҳам катта (солиштира ўтказувчанлик жуда кичикдир).

2- §. $p-n$ ўтишда фотоэлектр юритувчи кучнинг ҳосил бўлиши.

Металл ярим ўтказгич контактида вужудга келган беркутувчи қатламга асосланиб тайёрланган фото элементлардан олинadиган фото э.ю.к. ва уларнинг фойдали иш коэффициенти жуда кичикдир. Юқори эффективли $p-n$ ўтишли транзисторларнинг тайёрланиши ф.и.к. катта бўлган $p-n$ ўтишли яраим ўтказгичли 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 ажралаши 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.

3 - §. $p-n$ - 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 олинмаса ҳам, ёритишнинг таъсири асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг концентрациясини оширишдан иборат бўлади.

Агар $p-n$ – ўтишни 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 узок 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 ташувчилар тоқлари ўзининг қийматини сақлаб қолади:

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

Бироқ, потенциал тўсиқ пасайиши туфайли $p-n$ – ўтиш орқали оқадиган асосий заряд ташувчилар тоқлари ортади:

$$j_{n,\phi}^{(p)} = j_{ns} \exp\left(\frac{eV}{k_0 T}\right); \quad j_{p,\phi}^{(p)} = j_{ps} \exp\left(\frac{eV}{k_0 T}\right).$$

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

$$\text{олсак ва } j_{n,\phi}^{(p)} = j_{ns} \exp\left(\frac{eV}{k_0 T}\right); \quad j_{p,\phi}^{(p)} = j_{ps} \exp\left(\frac{eV}{k_0 T}\right) \text{ ни}$$

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

$$j = j_s (e^{\frac{eV}{k_0 T}} - 1) - j_\phi$$

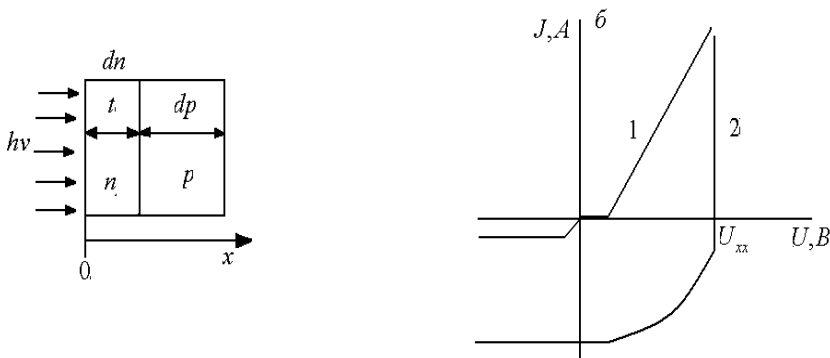
Тўла фототок

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

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. Юпка $p-n$ — ўтишининг фотозлемент (1) ва фотодиод режимидаги вольтампер характеристикаси (2).

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

$$V_{\phi, \text{эюк}} = \frac{k_0T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_\phi}{I_s} \right).$$

Қандайдир R қаршилиқ уланган ҳолда $V = \frac{k_0T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_\phi + I}{I_s} \right)$ ифода

$$V_R = \frac{k_0T}{e} \ln \left(1 + \frac{I_\phi - I_R}{I_s} \right)$$

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

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

Агар $p - n -$ ўтишга ёпувчи йўналишди 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 $p - n -$ 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.