

Ўзбекистон Республикаси

Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги

Андижон давлат университети

Физика-математика факультети

Физика йўналиши, III -босқич Ф1 гуруҳи талабаси

Даминова Нодиранинг

РЕФЕРАТИ

МАВЗУ: ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ФОТОЎТКАЗУВЧАНЛИК ХОДИСАСИ

Илмий раҳбар:

ассис. М.Қўчқарова

Андижон-2015 й.

Кириш

1. Фотоўтаказувчанликнинг асосий тушунчалари

2. Хусусий фотоўтаказувчанлик

3. Фотоўтаказгичларнинг асллиги ҳамда вольт-

ампер характеристикаси

Хулоса

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

Кириш

Ҳозирги замон инсон фаолиятининг бирон бир соҳасини яримўтказгичли асбобларсиз тасаввур қилиб бўлмайди. Улардан оқилона ва самарали фойдалана олиш бугунги кунда ҳар бир ўқимишли ва зиёли инсон учун сув ва ҳаводек зарур бўлиб қолмоқда. Шу нуқтаи назардан қарайдиган бўлсак, яримўтказгичлар, уларда электр токи, яримўтказгичли материаллар ва асбобларнинг ишлаш принципини ўрганиш нақадар долзарб масала ва муаммоларни ҳал этишга бағишланганлиги ўз-ўзидан маълум бўлади.

Яримўтказгич моддалар асосида тайёрланадиган асбоблар, қурилмалар, саноатда, қишлоқ хўжалигида, транспортда, электроникада, микроэлектроникада, компьютерда, энергияни бир турдан иккинчи турга алмаштиришда, алоқада, информатикада, маиший хизмат соҳасида ва жамият фаолиятининг бошқа барча жабҳаларида турли-туман муҳим вазифаларни бажармоқда.

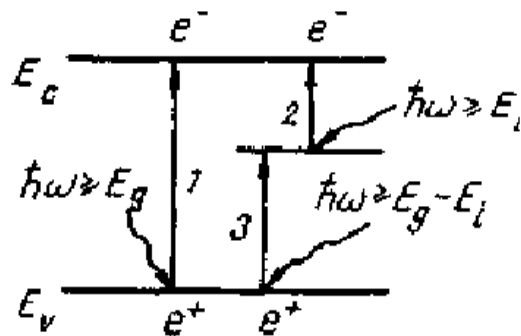
Яримўтказгичлар қўлланилмаётган соҳа ҳозир топилмайди. Бинобарин, яримўтказгич моддалар ва асбобларнинг тадқиқ этиш, уларнинг имкониятларини кенгайтириш ҳамда янги хоссларни кашф қилиш масалалари ҳозирги замон фанида муҳим ўрин тутди.

Биринчи марта яримўтказгичли кристалларни амалий равишда О.В.Лосев ўрганишни бошлаган. У 1923 йилда кристадин деб аталувчи яримўтказгичли радиоприёмникни яратган. Шунингдек, яримўтказгичлар физикасини ўрганишга А.Ф.Иоффе катта ҳисса қўшган.

Яримўтказгич моддалар ва улар асосида тайёрланадиган асбоблар ва қурилмалар тобора кенг кўламда қўлланилишининг асосий сабаблари яримўтказгич моддаларнинг ажойиб хоссаларидир: яримўтказгичлар турли ташқи таъсирларга жуда сезгир, улар заминида ишлаб чиқарилаётган асбобларнинг ўлчамлари, ҳажми кичик, ишлаш муддати катта ва бажариладиган хизматлар доираси жуда кенг. Шу билан бир вақтда улар турли зарбаларга чидамлидир.

1. Фотоўтказувчанликнинг асосий тушунчалари

Яримўтказгич электр қаршилигининг электромагнит нурлар таъсирида ўзгариши ҳодисаси фоторезистив эффект ёки фотоўтказувчанлик ҳодисаси дейилади. Электромагнит нурлар яримўтказгичда ютилиб, қўшимча заряд ташувчиларни юзага келтиради. Ёруғликнинг хусусий ютилиши бунда ёруғлик кванти энергияси ва киришмавий ютилиши заряд ташувчилар жуфтларини ёки бир ишорали заряд ташувчиларни юзага келтиради.



1-расм. Ёруғликнинг яримўтказгичда хусусий ва киришмавий ютилиш.

Шу туфайли фотоўтказувчанликнинг киришмавий ва хусусий турлари мавжуд. Ёруғлик ютилишининг эркин заряд ташувчиларни юзага келтирмайдиган бир неча механизмлари ҳам бор.

Ёруғлик ютилиши ҳисобига пайдо бўлган ортиқча электронлар ва коваклар кристалл панжара тебранишлари ва нуксонлари билан ўзаро таъсирлашиши оқибатида 10^{-10} — 10^{-12} с вақт чамасида энергия ва квазиимпульслар бўйича мувозанат ҳолатдаги заряд ташувчиларники каби тақсимотга эга бўлиб қоладилар. Шунинг учун ҳам номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги мувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар ҳаракатчанлигидан фарқ қилмайди ва ёритилаётган яримўтказгич электр ўтказувчанлигининг ўзгаришига эркин заряд ташувчилар концентрациясининг ортиши сабаб бўлади. Бинобарин, қоронғиликдаги электр ўтказувчанлик

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{ф}} - \sigma_0 = e\mu_n\Delta n + e\mu_p\Delta p \quad (1)$$

катталиқ қадар ортади. Мана шу катталиқ ёруғликдаги ўтказувчанликни ифодалайди.

Номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчиларнинг ортиқча концентрациялари узлуксизлик тенгламаларидан топилади:

$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = g_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} + \frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}_n; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Delta p}{\partial t} = g_p - \frac{\Delta p}{\tau_p} - \frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}_p. \quad (3)$$

Ёруғликнинг хусусий ютилиши ҳолида электронлар ва коваклар генерацияси тезликлари ўзаро тенг, яъни $g_n = g_p = g$. Доимий ёритилганлик шароитида (стационар ҳолатда) $\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = \frac{\partial \Delta p}{\partial t} = 0$ ва $\vec{\mathcal{E}} = 0$ да текис генерациялаш шароитида $\operatorname{div} \vec{j}_n = \operatorname{div} \vec{j}_p = 0$ бўлгани сабабли

$$\Delta n_{\text{ст}} = g_n \tau_n, \quad (4)$$

$$\Delta p_{\text{ст}} = g_p \tau_p. \quad (5)$$

(4) ва (5) ифодаларни фоторезистив эффект учун биринчи характеристик муносабатлар дейилади. Уларни эътиборга олиб, стационар фотоўтказувчанликни

$$\Delta \sigma_{\text{ст}} = e \mu_p (b g_n \tau_n + g_p \tau_p) \quad (6)$$

кўринишда ёзилади, бунда $b = \mu_n / \mu_p$

Оптик генерация суръатининг ифодасини (6) тенгламага қўйсак стационар фотоўтказувчанликнинг

$$\Delta \sigma_{\text{ст}} = e a I_v (1 - R_v) (\tau_n \mu_n \beta_n + \tau_p \mu_p \beta_p) \quad (7)$$

кўринишдаги ифодасини оламиз. Нурланишнинг ютилиш коэффиценти a ва электронлар ҳамда коваклар учун квант чиқишлар тўғрисида олдинги бобларда батафсил гапирилган.

Тутувчи марказлар йўқ ва хусусий генерация мавжуд бўлган ҳолда:

$$\Delta n = \Delta p; \tau_n = \tau_p; \beta_n = \beta_p = \beta$$

$$\Delta\sigma_{\text{ст}} = e\alpha\beta (1-R_v) / \mu_p (1+b) \quad (8)$$

Киришмавий ютилиш ҳолида ёки $\tau_n \gg \tau_p$; $\mu_n \gg \mu_p$ бўлганда (7) ифодадаги ҳадлардан бири ташлаб юборилади:

$$\Delta\sigma_{\text{ст}} = e\alpha\beta (1-R_v) I_{v_0} \mu_n \tau_n. \quad (9)$$

Фотоўтказувчанлик $\sigma_{\text{ст}}$ нинг ёруғлик интенсивлиги I_{v_0} га нисбатини яримўтказгичнинг солиштирма фотосезгирлиги дейилади:

$$S_{\Phi} = \Delta\sigma / I_{v_0}. \quad (10)$$

Фототок зичлигининг стационар қиймати ифодаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\vec{j}_{\Phi} = \vec{j}_{\text{еп}} - \vec{j}_k = \Delta\sigma_{\Phi, \text{ст}} \cdot \vec{\mathcal{E}} = e\mu_p (g_p \tau_p + g_n \tau_n b) \vec{\mathcal{E}}. \quad (11)$$

Агар яримўтказгичнинг майдон йўналишидаги узунлигини l орқали, ундаги кучланишни V орқали ифодаласак, у ҳолда у майдон кучланганлиги $\xi = \frac{V}{l}$, электрон ва ковакнинг дрейф тезликлари мос равишда

$$v_{dn} = \mu_n \vec{\mathcal{E}} = \mu_n \frac{V}{l}, \quad v_{dp} = \mu_p \frac{V}{l}, \quad (12)$$

дрейф вақтлари эса $t_n = l/v_{dn}$, $t_p = l/v_{dp}$ бўлади.

Хусусий ютилиш стационар ҳолда

$$j_{\Phi} = \alpha\beta e I_v (1-R_v) (\tau_n/t_n + \tau_p/t_p) l \quad (13)$$

ёки

$$j_{\Phi} = \alpha\beta e I_v (1-R_v) (\tau_n \mu_n + \mu_p \tau_p) \frac{V}{l} \quad (14)$$

кўринишга эга бўлади. Агар яримўтказгичнинг кўндаланг кесими юзи S бўлса, у ҳолда фототок

$$I_{\Phi} = j_{\Phi} \cdot S = e G_{\tau_{\Phi l}} K, \quad (15)$$

бунда

$$G_{\tau_{\Phi l}} = \alpha\beta I_{v_0} l S (1-R_v); \quad (16)$$

$$K = \left(\frac{\tau_n}{t_n} + \frac{\tau_p}{t_p} \right) = \frac{V}{l^2} (\mu_n \tau_n + \mu_p \tau_p). \quad (17)$$

$G_{\text{тўл}}$ катталиқ заряд ташувчиларнинг бирлик вақтдаги генерациясини ифодалайди. Электронлар ва ковакларнинг дрейф вақтлари t_n , t_p уларнинг мазкур яримўтказгич намунаси орқали учиб ўтиш вақтларидир. Кучайтириш коэффициенти деб аталган K катталиқнинг физикавий маъноси ушбудир: ёруғлик яримўтказгичда вужудга келтирган номувозанат ҳолатдаги ўтказувчанлик ортиқча заряд ташувчилар яримўтказгичда рекомбинацияланиб кетгунча ёки улар контактлар орқали ташқи занжирга чиқиб кетгунча сақланади.

Одатда $\mu_n > \mu_p$ бўлади, V кучланиш етарлича катта бўлганда эса $\tau_n > \tau_p$ бўлиб қолиши мумкин. Фототокнинг кучланишга боғланиши қуйидагича ўзгариб боради: етарлича кичик кучланишлар соҳасида τ ва μ лар майдон кучланганлигига боғлиқ эмас, бинобарин, бу соҳада фототок билан кучланиш орасидаги боғланиш тўғри чизик кесмаси билан тасвирланади. Кучланиш ортиши билан электрон-ковак жуфтнинг эффектив яшаш вақти τ камая бошлайди, бу ўз навбатида фототокнинг суст ўзгаришига ёки ҳатто ўзгармай қолишига олиб келиши мумкин.

Кўп ҳақиқий кристалларда рекомбинацион тутувчилардан ташқари яна ушлаб қолувчи марказлар ҳам мавжуд бўлиши мумкин. Улар ёруғлик пайдо қилган заряд ташувчиларнинг бир қисмини ушлаб қолади. У ҳолда электрнейтраллик шарти қуйидаги кўринишда бўлади: $\Delta p = \Delta n + \Delta n_y$.

Рекомбинация тезликлари тенглигидан:

$$\frac{\tau_p}{\tau_n} = \frac{\Delta p}{n} = 1 + \frac{\Delta n_y}{\Delta n} \quad (18)$$

Демак бу ҳолда $\tau_n \neq \tau_p$ бўлади ва стационар фотоўтказувчанлик ифодаси бошқача бўлиб, фототокнинг ўсиш ва пасайиш жараёнлари характерига таъсир қилади. Бу ҳолда янги характеристик катталиқ — фотоўтказувчанлик бўйича заряд ташувчиларнинг эффектив стационар яшаш

вақти киритилади.

Кичик кучланишлар ва электрон-ковак жуфтлари текис генерацияланадиган хусусий ютилиш учун номувозанат ҳолатдаги фотоўтказувчанликнинг ўзгаришини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\frac{d\Delta\sigma}{dt} = e(\mu_n + \mu_p)g_0 - \frac{\Delta\sigma}{\tau_\phi} \quad (19)$$

(19) бундаги

$$\tau_\phi = \mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p / e(\mu_n \frac{\Delta n}{\tau_n} + \mu_p \frac{\Delta p}{\tau_p})g_0 - \frac{\Delta\sigma}{\tau_\phi} \quad (20)$$

(18)ни эътиборга олсак,

$$\tau_\phi = (\tau_n + \tau_p b) \frac{1}{(1 + b)}. \quad (21)$$

τ_ϕ вақт номувозанат ҳолатдаги фотоўтказувчанликнинг релаксация вақти бўлиб, у $\Delta\sigma$ нинг сўниш суръатини аниқлайди. Стационар ҳолатда

$$\Delta\sigma_{ст} = e(\mu_n + \mu_p)g_0\tau_\phi. \quad (22)$$

Агар $\tau_n = \tau_p$ бўлса, у ҳолда $\tau_\phi = \tau_n = \tau_p = \tau$ (22) ифодадан кўринишича, τ_ϕ қанча катта булса, τ_n шунча катта ва лекин, фотоқабул қилувчи қурилма инерцияси шунча катта, ўтказиш соҳаси шунча кичик бўлади.

$$\Delta f = \frac{2\pi}{\tau_\phi}$$

Фотоқабулқилгичнинг сифатини унинг асиллигини баҳолайди:

$$Q = K \cdot \Delta f. \quad (23)$$

Фототокнинг кўпайиши чизиқли механизм бўйича содир бўладиган ҳар бир фотоқабул қилгич типи учун аслик ўзгармас катталиқдир, чунки бу ҳолда K кучайтириш коэффициентининг ортиши ўтказиш соҳасини кичрайтиради ёки аксинча, Фотоқабулқилгичлар параметрларини оптималлаш уларнинг асиллигини максималлаш демакдир.

2. Хусусий фотоўтказувчанлик

Тушаётган нурланиш яримўтказгич намунаси қалинлиги бўйлаб нотекис ютилаётган ва сирт рекомбинацияси мавжуд бўлган ҳолни қараб чиқайлик.

Кенглиги, қалинлиги ва узунлиги бўлган тўғри тўртбурчакли пластинадан иборат яримўтказгичнинг сирти энергияли фотонлар оқимидан иборат ёруғлик билан y ўқи қалинлик координатаси бўйлаб ёритилаётган бўлсин. Яримўтказгич намунаси етарлича узун бўлсин, бу ҳолда ён сиртлардаги рекомбинацияни назарга олмаслик мумкин. Бинобарин, оптик генерация суръати (тезлиги) қалинлик координатаси y га боғлиқ, яъни

$$g(y) = g_0 e^{-\alpha y} = \alpha \beta I_{\text{н}} (1 - R_s) e^{-\alpha y}, \quad (24)$$

бунда номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар тақсимотини аниқлаш масаласи бир ўлчовли масаладир.

Намунадаги ташқи ва ички майдонлар шунчалик кичикки, улар номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар концентрацияси тақсимотига таъсир кўрсатмайди, деб фараз қилайлик ҳамда, x ўқи йўналишида ташқи электр майдон ҳосил қилайлик. Стационар ҳолатда ток зичлигининг x ўқи бўйлаб ташкил этувчиси:

$$\begin{aligned} \vec{j}_x(y) &= \sigma(y) \vec{\mathcal{E}} = \sigma_0 \vec{\mathcal{E}} + e(\mu_n \Delta n(y) + \mu_p \Delta p(y)) \vec{\mathcal{E}} = \\ &= \sigma_0 \vec{\mathcal{E}} + \Delta \sigma(y) \vec{\mathcal{E}}, \end{aligned} \quad (25)$$

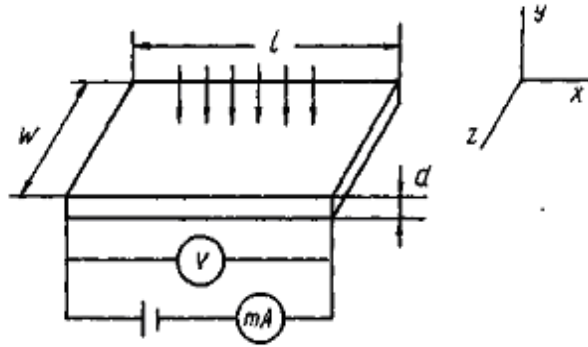
намунадан ўтаётган тўла ток эса

$$I = W \int_0^d j_x(y) dy = W \int_0^d \sigma(y) \vec{\mathcal{E}} dy = (G_0 + \Delta G) V, \quad (26)$$

бунда $V = \mathcal{E} l$ — ташқи кучланиш, $G_0 = \sigma_0 \frac{Wd}{l} = \sigma_0 \frac{S}{l} = R_0^{-1}$ намунанинг қоронғуликдаги ўтказувчанлиги, ΔG —ўтказувчанликнинг ёритилиш туфайли ўзгариши. $\frac{\Delta n(y)}{\Delta p(y)}$ нисбат y га

$$\Delta G = e\mu_p \left(1 + b \frac{\Delta n}{\Delta p}\right) \frac{\Psi}{l} \int_0^l \Delta p(y) dy = e\mu_p \left(1 + b \frac{\Delta n}{\Delta p}\right) \frac{\Psi}{l} \Delta p, \quad (27)$$

боғлиқ эмас деб ҳисобласак, бундаги Δp — бирлик сиртга тўғри келган номувозанат ҳолатдаги ковакларнинг тўла сони.



2-расм. Хусусий фотоўтказувчанликни ҳисоблашга оид чизма.

Демак, стационар фотоўтказувчанликни аниқлаш учун номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар тақсимотини топиш зарур. Диффузия ва дрейф жараёнларини асосий бўлмаган заряд ташувчилар белгилайди. Шунинг учун биз қуйида, масалан, n - типли яримўтказгичдаги номувозанат ҳолатдаги коваклар учун узлуксизлик тенгламасини ечиб, уларнинг концентрацияси тақсимотини топамиз. Бу тенглама стационар ҳолат ($\frac{\partial \Delta p}{\partial t} = 0$) да

$$D_p \frac{d^2 \Delta p}{dy^2} - \frac{\Delta p}{\tau_p} + g_0 e^{-\alpha y} = 0 \quad (28)$$

кўринишни олади. (28) тенгламанинг умумий ечими қуйидагича:

$$\Delta p(y) = A \exp\left(-\frac{y}{L_p}\right) + B \exp\left(\frac{y}{L_p}\right) + \frac{g_0 \tau_p}{1 - \alpha^2 L_p^2} e^{-\alpha y} \quad (29)$$

ёки

$$\Delta p(y) = A \operatorname{sh}\left(\frac{y}{L_p}\right) + B \operatorname{ch}\left(\frac{y}{L_p}\right) + \frac{g_0 \tau_p e^{-\alpha y}}{1 - \alpha^2 L_p^2} \quad (30)$$

ва B ўзгармас коэффициентлар чегаравий шартлар асосида топилади. Агар

намуна етарлича қалин ($d \gg L_p$ ва $d \gg \frac{1}{\alpha}$) бўлса, у ҳолда ёритилаётган сирт яқинидаги қатламда ёруғлик деярли тўла ютилади, намунанинг ёритилмаётган сиртига ёруғлик етиб бормайди. Бундан $y=d$ сиртдаги коваклар концентрацияси мувозанат ҳолатдаги кон концентрацияга тенг бўлади:

$$\Delta p(y)_{y=d} = 0 \text{ ёки } \Delta p(y)_{y \rightarrow \infty} = 0. \quad (31)$$

Бу шарт бажарилиши учун (30) ифодада $B = 0$ деб олиниши керак!

Энди A ни аниқлаймиз. Маълумки, номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар сиртда сирт ҳолатлари орқали рекомбинацияланиши мумкин. Кўриб ўтилган формуладан сиртий рекомбинация суръати

$$r_s = s \cdot \Delta p(y) |_{y=0} \quad (32)$$

бўлади, бунда S — сиртий рекомбинация тезлиги. Бошқа томондан, сиртда рекомбинацияланаётган коваклар сони яримўтказгич сиртига диффузияланиб келаётган коваклар сонига тенг:

$$r_s = s \cdot \Delta p(y) I_{y=0} \quad (33)$$

Бу иккинчи чегаравий шарт асосида A ни топамиз:

$$A = -\alpha \beta I_{v0} (1 - K_v) L_p \tau_p \cdot \frac{\alpha L_p + 1}{(J - \alpha^2 L_p^2)(L_s + L_p)} \quad (34)$$

бу ерда $L_s = D_p / s = L_p^2 / \tau_p s$.

A ва B ларнинг топилган қийматларини (30) га қўйсак,

$$\Delta p(y) = \frac{g_0 \tau_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1} \left[\frac{(\alpha L_p^2 + s \tau_p)}{L_p + s \tau_p} \cdot e^{-y/L_p} - e^{-\alpha y} \right]. \quad (35)$$

Бу ифода асосида ковакларнинг бирлик сиртдаги тўла сонини аниқлаймиз:

$$\Delta \mathcal{P} = \frac{g_0 \tau_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1} \left[\frac{\alpha L_p^2 + s \tau_p}{L_p + s \tau_p} \cdot L_p (1 - e^{-d/L_p}) - \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha d}) \right] \quad (36)$$

Юқорида кўрганимиздек фотоўтказувчанликга пропорционал, демак ифода сиртий рекомбинация тезлигининг фотоўтказувчанликка таъсирини, шунингдек унинг спектрал характеристикаси туфайли баъзи бир хусусиятларини аниқлаш имконини беради.

Хусусий ютилиш чизигини қуйидаги икки қисмга ажратамиз:

1. Кучсиз ютилиш соҳаси: $\alpha d < 1$; $\alpha L_p \ll 1$ ва қалин намунага $d \gg L_p$

Бу ҳолда бинобарин $1 - e^{-\alpha d} \approx \alpha d$, $e^{-d/L_p} = 0$.

$$\Delta \mathcal{P} = g_0 \tau_p \left(d - \frac{(\alpha L_p^2 + s \tau_p)}{L_p + s \tau_p} L_p \right) \sim \alpha. \quad (37)$$

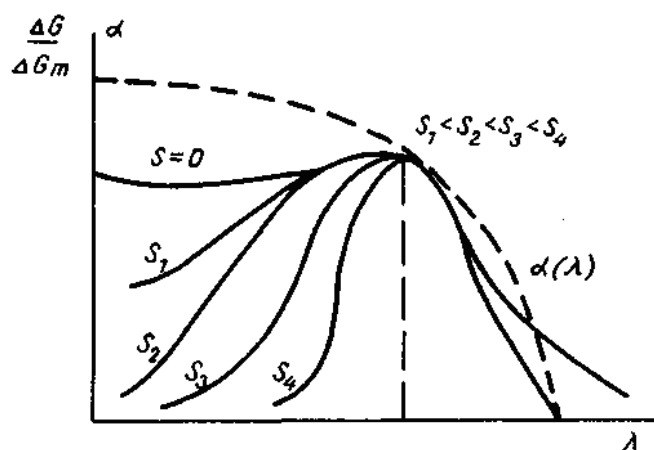
Бу ифодадан кўринишича, кучсиз ютилиш соҳасида ΔG фотоўтказувчанлик α га пропорционал равишда ортади, бўлганда эса сиртий рекомбинация фотоўтказувчанликка кам таъсир қилади. Демак, хусусий ютилиш чегарасидан узун тўлқинли соҳада ютилиш коэффициенти камайиши туфайли фотоўтказувчанлик кескин пасаяди.

Ютилиш коэффицентининг ўртача қийматлари соҳаси: $\alpha d > 1$, аммо $\alpha L_p < 1$ да

$$\Delta \mathcal{P} = \beta (1 - R_v) I_{v_0} \tau_p \left(1 - \frac{\alpha s \tau_p}{L_p + s \tau_p} L_p \right). \quad (38)$$

Равшанки, α ўса бориши билан фотоўтказувчанлик камая боради. Сиртда рекомбинация бўлмаганда фотоўтказувчанлик тўйинишга, яъни ўзгармас қийматга интилади. α нинг етарлича катта қийматлари ($\alpha L_p \gg 1, \alpha L_s \gg 1$) да:

$$\Delta \mathcal{P}_{\alpha \rightarrow \infty} = \frac{\beta I_{v_0} (1 - R_v)}{1 + S L_p / D} = \frac{\beta I_{v_0} (1 - R_v)}{L_s + L_p} L_s. \quad (39)$$



3-расм. Хусусий фотоўтказувчанликнинг ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлиги

Шундай қилиб, фотоўтказувчанлик ΔP ютилиш коэффициенти α га боғлиқ бўлмаган, аммо фотоўтказувчанлик S га боғлиқ бўлган ўзгармас қийматга асимптотик равишда интилади.

Демак, нисбат сиртдаги ва ҳажмдаги рекомбинациялар нисбий салмоғини аниқлайди. Бу нисбат қанча кичик бўлса, хусусий ютилиш соҳасида фотоўтказувчанлик пасайиши шунча кучли бўлади. Бинобарин, сиртий рекомбинациянинг мавжуд бўлиши фотоўтказувчанликнинг спектрга боғлиқлик чизигида максимум пайдо бўлишига олиб келади.

3. Фотоўтказгичларнинг асслиги ҳамда вольт-ампер характеристикаси

Фотоўтказгичнинг сифатини унинг асслиги Q аниқлайди. Формулалардан кўриниб турганидек K кучайтириш коэффициенти, у орқали асслик ҳам, фотоўтказгичга берилган кучланиш ўсиши билан орта боради. Бу ҳолда ташқи кучланиш муайян қийматга эришганда ток ҳажмий зарядга боғлиқ бўлиб қолади, бунда юқоридаги пропорционаллик бузилади.

Маълумки, яримўтказгич устига ўтказилган металллар воситасида контактнинг омик бўлишига эришиш мумкин. Бунинг учун электроннинг n -типли яримўтказгичдан чиқиш иши унинг металлдан чиқиш ишидан каттароқ бўлиши шарт. Омик контактли фотоўтказгичли занжирдаги ток

кучланишга пропорционал бўлади, яъни Ом қонунига бўйсунди. Бир қатор ҳолларда шундай контактни ёритганда Ом қонуни бузилиши, яъни контактнинг хоссаси ўзгариши аниқланган.

Металл билан n - типли яримўтказгич контакти яқинида энергетик зоналарнинг эгриланади. Яримўтказгичга тушаётган ёруғлик оқими кучайган сари кристалл ҳажмидаги электронлар концентрацияси ортади, Ферми квазистационар сатҳи ўтказувчанлик зонаси тубига яқинлашади, аммо электронлар концентрацияси амалда ўзгармай қолаверади.

Чунки у металлдан ва яримўтказгичдан чиқиш ишлари фарқига боғлиқ. Демак, коронғуликда заряд ташувчиларни инжекция қиладиган контакт тегишли ёритилиш шароитида нейтрал ёки ҳатто тўғриловчи контакт бўлиб олиши мумкин. Фотоўтказгичли ток занжирига кучланиш берилганда унинг электр майдони туфайли электродлардан фотоўтказгичга электронлар киради.

Бу электронлар фотоўтказгичнинг ўз электронлари билан биргаликда ток ўтказишда қатнашадилар. Бу ҳодиса фақат ўз заряд ташувчилари концентрацияси кам бўлган юқори омли яримўтказгичларда, айниқса ёритилмаган фотоўтказгичларда муҳим бўлади. Агар контактлар орқали ташқаридан яримўтказгич ҳажмига киритилган ташувчилар заряди тесқари ишорали заряд билан компенсацияланмаса, у ҳолда электрнейтраллик йўқолади, ҳажмий заряд пайдо бўлади.

Ташқи майдон таъсирида анод томонга ҳаракатланаётган ҳар бир электронга ундан олдин анод яқинига етиб келган электронлар заряди итарувчи таъсир кўрсатади. Агар ҳажмий заряд катта бўлса, катод яқинида потенциал минимуми ҳосил бўлади ва қаттиқ жисмдан ўтаётган ток ҳажмий зарядга боғлиқ бўлади. Фотоўтказгичда ҳаракатланаётган ҳамда ушлагичларда мавжуд бўлган электронлар ҳажмий зарядни ташкил қилади. Дастлаб n - типли яримўтказгичда ҳаракатчан зарралар ташкил қилган ҳажмий заряд аниқланадиган ток билан кучланиш орасидаги боғланишни текшираймиз. Бу ҳолда

$$\left. \begin{aligned} i_n &= en\mu_n \mathcal{E}, \\ \frac{d\mathcal{E}}{dx} &= \frac{\rho}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{en}{\epsilon\epsilon_0} \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

тенгламалар системаси ечимини топайлик. $x=0$ да $\xi = 0$ бўлади, деган чегаравий шартдан фойдаланиб, ечимни аниқлаймиз:

$$\xi = \left(\frac{2i_n x}{\mu_n \epsilon_0 \epsilon} \right)^{1/2} \quad (41)$$

$dV = -dx$ бўлишини эътиборга олсак,

$$\xi = \left(\frac{2i_n x}{\mu_n \epsilon_0 \epsilon} \right)^{1/2} \int_0^1 x^{1/2} dx = \frac{2}{3} \left(\frac{2i_n x}{\mu_n \epsilon_0 \epsilon} \right)^{1/2} \quad (42)$$

Бундан:

$$i_n = \frac{9\mu_n \epsilon_0 \epsilon}{8a^3} V^2 \quad (43)$$

Бундай муносабат диэлектрикка электронларни манфий силжиш олган омик контакт орқали инжекция қилинган ҳолдаги вольт-ампер характеристикани ифодалайди. У Мотт-Генри ёки Чайлд қонуни номини олган. Кучланиш кичик бўлганда ток ҳам кичик; аммо у ОМ қонунидан келиб чиқадиган токдан катта, чунки $i \sim V$ Масалан, $V = 10$ В, $t = 10^{-3}$ см, $\mu_n = 10^2$ см²/В·с бўлганда, $i_n \sim 10$ А/см

Қаралаётган ҳолда токни бойиган контакт орқали ўтган номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар ҳаракати белгилаши туфайли ёритиш оқибатида пайдо бўлган номувозанат ҳолатдаги заряд ташувчилар ҳиссаси кичик бўлади. Ҳажмий заряд аниқлайдиган ток соҳаси бошланиш шарти намунага киритилган заряднинг конденсатор зарядига тенглигидан, яъни

$$eN = CV \quad (44)$$

тенгликдан аниқланади; бу ерда C — намунанинг геометрик сифими, (44) ифодани $4\mu_n/t$ га кўпайтириб ҳамда электродлар орасидаги номувозанат ҳолатдаги ташувчилар учиб ўтиш вақти уларнинг концентрацияси, намуна

сиғими, диэлектрик релаксация вақти эканини эътиборга олиб, қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$Q_{\max} = K\Delta t = \frac{\tau}{0} \left(\frac{1}{2\pi\tau} \right) = \frac{1}{2\pi 0} \quad (45)$$

Демак максимал асллиқни диэлектрик релаксация вақти аниқлайди.

K кучайтириш коэффициентлари қанча катта бўлса, ёки τ яшаш вақти қанча кичик бўлса, бундай фотоўтказгичнинг асллиғи шунча катта бўлади.

Ёпишиш марказлари мавжуд бўлган ҳолда ХЗАТ соҳаси бошланадиган кучланиш N_t/n марта ортади, учиб ўтиш вақти ўшанча марта камаяди.

Бироқ, максимал асллиқ ёпишиш сатҳлари мавжуд бўлганда ҳам ўзармас қолаверади, уни ошириш учун қўшимча рекомбинация сатҳлари киритиш лозим бўлади.

Энди токка тегишли ВАХ ни қараб чиқайлик. n - типли, кенг тақиқланган зонали яримўтказгичда N_t концентрацияли рекомбинацион марказлар, Nt концентрацияли электронларни туткичлар бор бўлсин. Фараз қиламиз:

- 1) қоронғуликда рекомбинация марказларини электронлар тўлдирган;
- 2) рекомбинацион марказнинг электронни ушлаб олиш коэффициенти y_{nt} ковакни ушлаб олиш коэффициенти y_{pt} дан анча кичик: $y_{nt} \gg y_{pt}$ валент зонадаги эркин коваклар концентрациясини эътиборга олмаса ҳам бўлади.

Ёруғлик пайдо қиладиган заряд ташувчилар генерацияси тезлиги электронлар рекомбинацияси тезлигига тенглаштирамиз:

$$P_r = \frac{g_0}{y_{nr}n} \quad (46)$$

бу ерда P_r — рекомбинация марказларидаги ковакларнинг мувозанат ҳолатдаги концентрацияси, n — эркин электронларнинг умумий концентрацияси.

Электр майдон ва ёритиш бўлмаганида (мувозанат ҳолатда) туткичлар

ушлаб олган электронлар концентрацияси:

$$n_0 = \frac{n_0}{N_{ct}} \cdot N_t, \quad (47)$$

бундаги

$$N_{ct} = N_c \exp\left(-\frac{\Delta E_t}{k_0 T}\right). \quad (48)$$

Электр майдон ва ёритиш бўлганда бу концентрация ўсади. Бунда туткичлар оз даражада тўлдирилган,

Ферми квазисатҳи ёпишиш сатҳидан пастда, деб фараз қилинади.

Ушланган электронлар концентрацияси эркин электронлар концентрациясидан ортиқ бўлишини эътиборга олсак, ҳажмий заряд зичлиги

$$\rho = e \left(\frac{q_0}{\gamma_n n} - (n - n_0) \frac{N_t}{N_{ct}} \right) \quad (49)$$

кўринишда ифодаланади. Бу ҳол учун бизга маълум бўлган тенгламалар системасидаги ток зичлигининг ўзгармаслиги шarti бўлган

$$\frac{d\bar{j}_n}{dx} = e\mu_n n \frac{d\bar{\mathcal{E}}}{dx} + e\mu_n \bar{\mathcal{E}} \frac{dn}{dx} = 0 \quad (50)$$

тенгламадан ва (40) даги тенгламалардан фойдаланиб,

$$dx = - \frac{j_n \epsilon \epsilon_0}{\mu_n e \rho} \frac{dn}{n^2} \quad (51)$$

тенгламага келамиз. Катод соҳасида эркин электронлар концентрацияси n_k анод соҳасида эса u ва бўлишини ҳисобга олиб, (45) ни интеграллаймиз:

$$\frac{1}{j_n} = \frac{\epsilon \epsilon_0}{e \mu_n l} \int_{n_k}^{n_a} \frac{dn}{\rho n^2}. \quad (52)$$

Аммо, $dV = \mathcal{E} dx$; юқоридаги муносабатлардан қуйидаги топилади:

$$dV = \frac{j_n^2 \epsilon_0 \epsilon}{\rho n} = \frac{j_n^2 \epsilon \epsilon_0}{e^2 \mu_n} \cdot \frac{dn}{\rho n^3}. \quad (53)$$

Буни интеграллаймиз:

$$V_a = \int_{V(0)=0}^{V(t)=V_a} dV = \frac{j_n^2 \epsilon \epsilon_0}{e^2 \mu_n^2} \int_{n_k}^{n_a} \frac{dn}{\rho n^3}. \quad (54)$$

$n_k > n_0$ шарт омик контактга, $n_k = n_0$ шарт нейтрал контактга, $n < n_0$ шарт эса ёпувчи контактга мос келади. Юқорида келтирилган интегралларни ҳисоблаш $i_n = f(n_a)$ ва $V = f(n_a)$ боғланишларни топиш имконини беради. Улардан n_a ни чиқариб юборсак, ВАХ ифодасини оламиз.

Ҳажмий заряд зичлиги ρ ни (45) ифодадан (48) ва (50) ифодаларга қўямиз ва ўлчамсиз катталиклар — ток зичлиги

$$i = j_n \frac{\epsilon \epsilon_0 N_{cl}}{e \mu_n n_0^2 n_t}, \quad (55)$$

оптик уйғотиш тезлиги

$$\varphi = g_0 \frac{N_{cl}}{n_0^2 \gamma_{nr} N_t}, \quad (56)$$

кучланиш

$$U = V_a \frac{\epsilon_0 \epsilon N_{cl}}{e n_0 N_t}, \quad (57)$$

эркин заряд ташувчилар концентрацияси

$$v = \frac{n_0}{n}, \quad v_k = \frac{n_k}{n}, \quad v_a = \frac{n_a}{n} \quad (58)$$

белгиларини киритамиз. Бу ҳолда (48) ва (50) ўрнига:

$$\frac{1}{i} = \int_{v_k}^{v_a} \frac{v dv}{1 - v - \varphi v^2}, \quad (59)$$

$$\frac{U}{i^2} = \int_{v_k}^{v_a} \frac{v^2 dv}{1 - v - \varphi v^2}$$

(60)

ифодаларни оламиз. Бу ифодаларни баъзи хусусий ҳоллар учун таҳлил қиламиз. Генерация бўлмаганда (59) ва (60) ифодалар қоронғулик ВАХ сини тасвирлайди. Кичик кучланиш берилганда қоронғуликдаги ток кучланишга пропорционал. Бу ҳолдаги умумий ток ифодаси:

$$i = U \left(\sqrt{\varphi^*} + \frac{1}{2} \right) \quad (61)$$

бўлади, фототок учун эса

$$i_{\Phi} = i - i_0 = U \left(\sqrt{\varphi^*} - \frac{1}{2} \right), \quad (62)$$

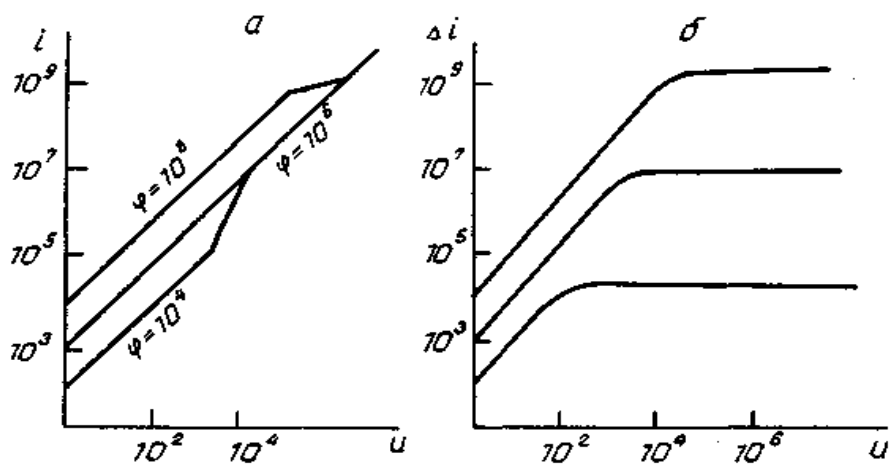
бу ерда $\varphi^* = \varphi + \frac{1}{4}$. (60) ва (61) ифодалардан кўринишича, қоронғуликдаги ток ва фототок кучланишга чизиқли боғланган.

Жуда катта электр майдонлар ҳосил қилинганда ҳажмий заряд соҳаси бутун намунани эгаллайди, катод ва анод яқинидаги эркин зарядлар концентрацияси деярли бирдай. Бу ҳолда ВАХ қуйидаги кўринишга келади:

$$i = \frac{U}{v_k} - \frac{1 - v_k - \varphi v_k^2}{2\varphi_k^2}, \quad (63)$$

$\varphi = 0$ (ёритиш йўқ) бўлганда қоронғуликдаги ток i_0 ифодаси олинади.

Фототок эса $i_{\Phi} = \frac{\varphi}{2}$ (64) бўлади ва катоддаги шароитга боғлиқ бўлмай, фақат ёритилиш интенсивлигига ҳамда яримўтказгич ҳажмида бор бўлган тутқич марказлар хоссаларига боғлиқ бўлади.



4-расм. Умумий ток (а) фототок (б) нинг назарий вольт-ампер характеристикаси.

Расмда $y=10^{-3}$ ва φ нинг турли қийматлари учун ҳисобланган умумий фототокнинг назарий ВАХ лари келтирилган.

Хулоса

Фотоўтказувчанлик ҳодисаларнинг асосий ўзига хос хусусияти шундан иборатки, ташқи ёруғлик таъсирида мувозанатий ток ташувчилар концентрациясини ўзгартириши рўй беради. Ортиқча ток ташувчилар концентрациясини мавжуд бўлиши кўчиш ҳодисасига таъсир қилади. Биринчидан, фотоэлектрик эффект ёрдамида ток ташувчиларнинг рекомбинация механизмлари ва рекомбинация жараёнларини ортиқча заряд ташувчиларнинг яшаш вақтини ўзгартириш имконини беради.

Иккинчидан эса, фотоэлектрик ҳодисасига асосланган яримўтказгичли асбобларни тайёрлаб, уларни фан ва техникани турли тармоқларида қўллаш мумкин. Бу асбобларга фоторезисторлар, фотодиодлар, фототранзисторлар, фототристорлар ва фотоэлементлар киради.

Юқоридаги асбоблардан фотоэлементлардан ташқари барчасидан ташқи манба уланганда ёруғлик таъсирида уларни ҳарактеристикалари ўзгаради. Фоторезисторни ишлаши яримўтказгичларда ички фотоэффект ҳодисаси, яъни фотоўтказувчанликка асосланган.

Фотоэлементлар ёруғлик нурланишини Э.Ю.К ёки электр токига айлантирувчи асбоб. Ишлаши ички эффектга асосланган. Улар гомоген (бир хил яримўтказгичли материал) электрон-ковак ўтишли, яримўтказгичли гетероўтишли (ҳар хил яримўтказгичли) ёки метал-яримўтказгичли асбоблардан тайёрланиши мумкин. Бундай фотоэлементларда оптик нурлар ютилиб, заряд ташувчилар концентрацияси зўраяди ва Э.Ю.К. ҳосил бўлади.

Фотоэлектрик ходисасига асосланган асбоблар автоматика, фотомета соҳаларда кенг қўлланилиб келмоқда.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. С.З.Зайнобидинов, А.Тешабоев. Яримўтказгичлар физикаси. Т. “Ўқитувчи” 1999.
2. А.Тешабоев. Яримўтказгичлар физикасига кириш (Кристаллар. Электрон ҳолатлари спекти. Заряд ташувчилар статистикаси). Т.,1985, ТошДУ наширёти.
3. А. Тешабоев, Р. Алиев «Қайта тикланаётган энергетика» «Андижон» 2006 йил
4. Х. Акрамов, С.Зайнобиддинов, А. Тешабоев «Яримўтказгичларда фотоэлектрик ходисалар» «Ўзбекистон» 1994 йил.

Andijon Davlat Universiteti Fizika yoʻnalishi, III –bosqich F1 guruhi talabasi

Daminova Nodiraning

„Yarimʻtkazgichlarda fotoʻtkazuvchanlik xodisasi ” nomli referatiga

T A Q R I Z

Ushbu referat Yarimʻtkazgich moddalar asosida tayyorlanadigan asboblarda, qurilmalar, sanoatda, qishloq xojaligida, transportda, elektronikada, mikroelektronikada, kompyuterda, energiyani bir turdan ikkinchi turga almashtirishda, aloqada, informatikada, maishiy xizmat sohasida va jamiyat faoliyatining boshqa barcha jabhalarida turli-tuman muhim vazifalarni bajarmoqda.

Yuqoridagi asboblardan fotoelementlardan tashqari barchasidan tashqari manba ulanganda yorugʻlik taʼsirida ularni xarakteristikalarini yzgaradi. Fotorezistorning ishlashi yarimʻtkazgichlarda ichki fotoeffekt xodisasi, yaʼni fotoʻtkazuvchanlikka asoslangan.

ADU „Fizika” kafedrasi dotsenti f.m.f.n.

E. Musayev