

№ 6 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

ФОТОҚАБЫЛДАҒЫШТАРДЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

(Фотокедергілердің, фотодиодтардың, күн элементтерінің және басқа оптоэлектрондық аспаптардың)

Жұмыс мақсаты: әр түрлі фотоқабылдағыштардың спектрлік сезгіштігінің таралуын зерттеу және спектрлік сипаттамалары түрі негізінде фотоқабылдағыштың энергетикалық құрылымын жуықтап беру.

Жұмыста қолданылатын құрал жабдықтар:

1. Монохроматор ИКС-21.
2. Екі координаталық өзжазғыш ЛКД4-003.
3. Фототоктың селективті күшейткіші У2-8М.
4. Модулятор.
5. Жарық көзін қоректендіру блогы.
6. Координаталық үстел.
7. Эталон фотоқабылдағыштар: беті көк түсті үлкен күн элементі, және жарықталынатын квадрат беті, сұр түсті кіші күн элементі.

ФОТОҚАБЫЛДАҒЫШТАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Фотоқабылдағыштар жарық (күн) энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Сәулелену фотонының кристалл атомдарымен әрекеттесу нәтижесі бойынша, осы жұмыста қарастырылатын, сыртқы фотоэффекті бар (фотоэмиссиялық индикаторлар, фотоэлектрондық көбейткіш) және ішкі фотоэффекті бар фотоқабылдағыштар деп ажыратады. Ішкі фотоэффекті бар фотоқабылдағыштар өте кең таралған, себебі олардың бірнеше артықшылықтары бар: жасауға жеңілдігі, әмбебапдығы, кішірейтіп жасауға және біріктіріп жасауға қолайлы. Ішкі фотоэффект фототоктың ішкі күшейтуі жоғары фотоқабылдағыштарды жасауға мүмкіндік береді (фоторезисторлар, тасқынды фотодиодтар), әсер ету жылдамдығын арттыруға мүмкіндік беретін (р-п-диодтар, Шоттки диодтары), күшейткіш және кілттік элементтерді (фототранзисторларды және фототиристорларды) фотодетектормен үйлестіруге мүмкіндік береді.

Фотоқабылдағыштардың параметрлері әдебиетте қарастырылған, біз тек спектрлік сипаттамасына байланысты параметрлерді ғана қарастырамыз.

Спектрлік сезгіштіктің қысқа толқынды (ұзын толқынды) шекарасы фотоқабылдағыштың монохроматтық сезгіштігі оның максимал шамасының 0,1 бөлігіне тең қалатын кездегі сәулелену толқын ұзындығы болып табылады.

Спектрлік сипаттаманың максимумы - сезгіштіктің максимумына сәйкес толқын ұзындығы. Максимумның орны негізгі емес заряд тасымалдаушылардың өмір сүру уақытымен, беттік рекомбинация жылдамдығымен, р-п-ауысының орналасу тереңдігімен, заряд тасымалдаушылардың диффузиялық ұзындықтарымен және т.б. факторларға тәуелді болады.

Токтық монохроматтық сезгіштік $S_{i\lambda}$ (А/Вт) немесе (А/лк) - бір толқын ұзындықтағы сәулеленудің бірлік ағынының фотоқабылдайтын бірлік бетте тұдыратын фототоктың шамасы. Жинау коэффициенті Q - кристалға кірген және фототоктың пайда болуына қатысатын фотондардың үлесі. Q әр уақытта бірден кем немесе бірге тең.

Фоторезисторлар (фотокедергілер) сәуле қабылдағыштың ең қарапайым түрі болып табылады. Олардың жұмысы фотоөткізгіштік құбылысына негізделген. Фоторезисторлардың симметриялы вольтамперлік сипаттамасы былайша

$$I = G_0 * U + G * U = I_{кар.} + I_{\phi} = I_{кар.} + S * \Phi, \quad (1)$$

өрнекпен сипатталады, мұнда $I_{кар}$ - қараңғыдағы ток, S - сезгіштік, Φ - фотондар ағыны. Фототок сәуле ағыны интенсивтілігімен $I_{\phi} = A * \Phi^{\gamma}$ түрінде байланысты, мұнда A - пропорционалдық коэффициенті, γ - энергетикалық сипаттаманың бейсызықтылығын сипаттайтын коэффициент. Әр түрлі жарықталытуда энергетикалық сипаттаманың мынадай учаскелері болуы мүмкін: әсіре сызықтық ($\gamma > 1$), сызықтық ($\gamma = 1$) және субсызықтық ($\gamma < 1$). Заттың құрамын таңдай отырып, сызықтық энергетикалық сипаттамалары бар фоторезисторларды жасауға болады. $I_{кар}$ ток омдық сипатта болғанда, $I_{кар}$ және I_{ϕ} токтардың арасындағы кезкелген қатынас кезінде де жарықтық вольтамперлік сипаттама (ВАС) сызықты болады. Жарықталыну жоғары болған кезде фототоктың өсуі жарық ағынының өсуінен қалыс қалады, энергетикалық сипаттамасында қанығу тенденциясы байқалады, бірақ нағыз қанығу учаскесі жоқ. Фоторезисторларды практикада қолданғанда жарықталыну кезінде, кедергінің өзгерісінің $(R/R_{кар} = I_{кар}/I)$ есілігі және кедергінің салыстырмалы өзгерісі өте маңызды. Сонымен қатар осы шамалар резистордың сезгіштік мөлшері де болып табылады (R - оның жарықтағы кедергісі). $R = f(\Phi)$ тәуелділік сипаты энергетикалық сипаттамаға ұқсас.

Фотодиодтар. Фотодиодтардың ВАС жарықталыну кезінде былайша өрнектеледі:

$$I = I_{кан} * (\exp(e * U / kT) - 1) - I_{\phi}, \quad (2)$$

мұнда I_{ϕ} - фототок, $I_{кан}$ - қанығу тогы, U - кернеу. Фотодиодтар екі режимде қолданылады - фотодиодтық және фото э.к.к. генерациясы режимінде (вентилдік режимде). Фотодиодтық режимде фотодиодқа кері кернеу беріледі, ал құрылым арқылы өтетін ток жарықтың интенсивтілігінің функциясы болып табылады.

Фотодиодтың фототогының шамасын сәулелену р-п-ауысуының п-облысында жұтылатын, және жарық интенсивтігі $\alpha * \omega \ll 1$ қалыңдығында тұрақты болатын, мұнда ω - базаның қалыңдығы қарапайым жағдай үшін бағалайық. Кері ығысу кезінде жарықпен генерацияланған ток тасымалдаушылардың тасымалдау процесі п-базадағы зарядтың тепе-теңдік тасымалдаушыларды тасымалдауынан айырмашылығы жоқ. Фототокты анықтау үшін р-п-ауысуының кері тогы үшін формуланы пайдаланайық, ол $p_p \gg n_n$ жағдайында

$$I_{кан} = e * S * L_p * p_p / \tau_h. \quad (3)$$

болады. Бұл, ені негізгі емес тасымалдаушылардың (кемтіктердің) h_p ұзындығына тең базаның қабатында p_p/τ_n жылдамдықпен шығарылатын зарядтың теңбе-тең емес тасымалдаушыларының тогы. Ұқсастық бойынша фототок

$$I_{\phi} = e * S * (\Delta P / \tau_p) * \omega, \quad (4)$$

болады, мұнда $(\Delta P / \tau_p)$ - жарықтың негізгі емес ток тасымалдаушыларды генерациялау темпі, S - жарық қабылдайтын беттің ауданы, ΔP - жарықпен генерацияланған кемтіктердің концентрациясы. $\omega \ll L_p$ қатынасы орындалады. $\Delta P = \eta * \alpha * \tau_p * \phi$ болатындықтан, мұндағы ϕ - жарық ағыны, η - фотоэффектінің кванттық шығымы, α - жұту коэффициенті, ΔP өрнегін (4)-ке қойып,

$$I_{\phi} = e * \alpha * \omega * \eta * S * \Phi = e * C * \eta * S * \Phi \quad (5)$$

деп аламыз, мұнда $C = \alpha * \omega$ - базада жұтылатын сәулелену үлесін сипаттайтын өлшемсіз коэффициент. (5) формула жарықтың интенсивтілігі экспоненциалдық заң бойынша кемітін нақты жағдайда да дұрыс болып табылады.

Егер фототок үшін (5) өрнекті аудан бірлігіне келтірсек және жарықтандырылатын беттен шағылуын аң болатын шығынды ескерсек, онда

$$I = (1-R) * Q * \eta * e, \quad (6)$$

егер $h\nu$ -ге бөліп фотонның бірлік энергиясына келтірсек, онда монохроматтық сезгіштіктің өрнегін аламыз:

$$S_{i\lambda} = I/E = (1-R) * Q * \eta / h\nu, \quad (7)$$

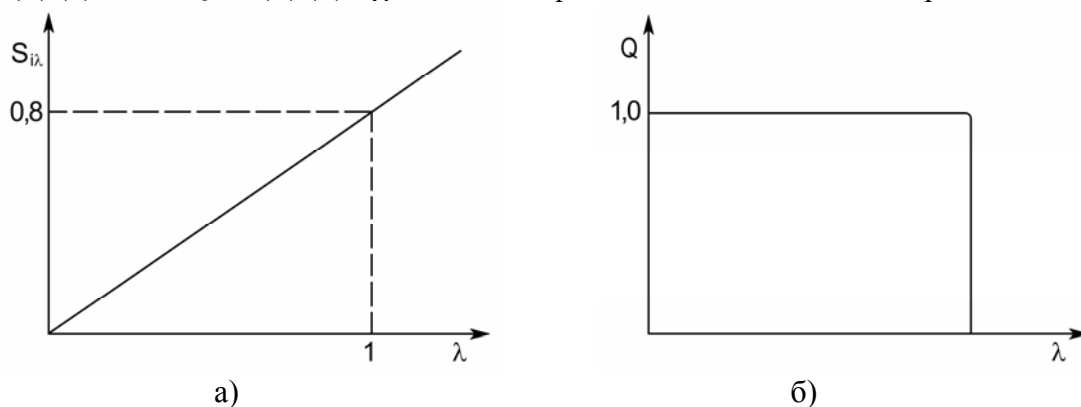
$h\nu = 1.24 / \lambda$ деп қойсақ, онда:

$$S_{i\lambda} = (1-R) * Q * \eta * \lambda / 1.24, \quad (8)$$

η - мұнда фотоэффектін кванттық шығымы, әдетте $\eta=1$.

(8)-ші өрнекте фотоқабылдағыштың спектралдық сезгіштігін сипаттайтын екі сипаттама бар: монохроматтық сезгіштік $S_{i\lambda}$ және жинау коэффициенті Q . Токтық сезгіштік спектрі $S_{i\lambda}(\lambda)=f(\lambda)$ координат басынан өтетін түзу сызық түрінде болады, λ артқанда сезгіштік те артады. Идеал фотоқабылдағыш үшін сезгіштік $S_i=0.8*\lambda$ өрнегімен беріледі. Осыдан реал фотоқабылдағыштардың сезгіштігі әр уақытта $0.8*\lambda$ -дан кем (1 сурет).

$S_i = F(\lambda)$ (а) және $Q = F(\lambda)$ (б) түрінде идеал фотоқабылдағыштың спектрлік сипаттамасы



1 сурет

Идеал фотоқабылдағыштың жинау коэффициентінің толқын ұзындықтары бойынша спектрінің токтық сезгіштіктің спектрінен айырмашылығы - толқын ұзындықтарының осіне параллель және мәні $Q = 1$ түзу сызық атындығында. Спектрлік сипаттамалардың екі түрін пайдаланудың қажеттігі олардың қолданылуында жатыр: токтық сезгіштік спектр белгілі сәулелену спектрі бар жарық көзімен жарықтандырғанда пайда болатын фототокты есептеуге керек, ал жинау коэффициентінің спектрі фототүрлендіргіштің жұмысын талдауға және оның ішкі құрылымын анықтауға қолданады.

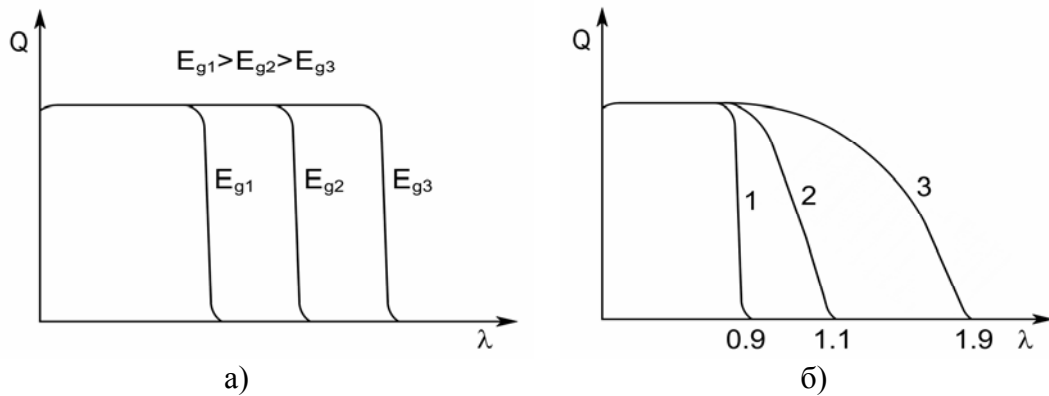
$S_{i\lambda}$ және Q шамалар өз ара $S_{i\lambda}=Q*\lambda/1.24$ қатынасымен байланысқан. Бұл қатынас тек жартылай өткізгішке кірген фотондар үшін ғана дұрыс болатындығын айта кетуіміз керек.

СПЕКТР СИПАТТАМАСЫНЫҢ ТҮРІНІҢ ФОТОҚАБЫЛДАҒЫШ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Фотонның энергиясы $h\nu$ рұқсат етілмеген өңірдің E_g енінен кем болғанда негізгі емес ток тасымалдаушылардың генерациясы және оған сәйкес фототок та пайда болмайды. $h\nu$ және λ шамалар бір бірімен $h\nu = 1.24/\lambda$ қатынасымен байланысты болғандықтан, генерацияның жоқтығы $\lambda > \lambda_{гр}$ ($\lambda_{гр}=1.24/E_g$) кезінде де орындалады. Сонымен, фотоқабылдағыштың спектрлік сипаттамасының ұзынтолқындық шекарасы рұқсат етілмеген өңірдің енімен бізмәнді байланысты. Ұзынтолқынды аумақтағы сезгіштіктің кему тіктілігі біріншіден фотондардың жұтылу дәрежесімен (жұтылу шарттарымен), басқаша айтқанда жарықталынатын бетке түскен фотондардың қандай үлесі жұтылып, р-п-ауысуында бөлінетін негізгі емес ток тасымалдаушылардың пайда болуымен

анықталады. Бұл шарт (толық жұтылу шарты) $\omega \leq 1/\alpha$ немесе $\alpha \cdot \omega \leq 1$ толық жұтылуға сәйкес келетін p-n-ауысуы орныққан тереңдігіне сәйкестігінен немесе ω база қалыңдығының қабат қалыңдығына сәйкестігінен табылады. Одан кейін, егер толық жұтылу шарты орындалса, ұзынтолқындық аудандағы сезгіштік спектрінің барысы, жұтылу спектрінің қисығының барысымен анықталады. Мысалы, егер кремний, германий және галлий арсениді тәрізді, жартылай өткізгіштердің сәулеленуледі жұту спектрлерін салыстырсақ, онда өңірі түзу емес жартылай өткізгіштердің (германий, кремний) спектрлері біркелкі жүрісімен сипатталады, ал жұту өңірі түзу галлий арсенидінің спектрі күрт түседі. Осы сәйкестік осындай жартылай өткізгіштерден жасалған фотоқабылдағыштардың спектрлік сипаттамаларының жүрісінде де қайталады (2 - сурет).

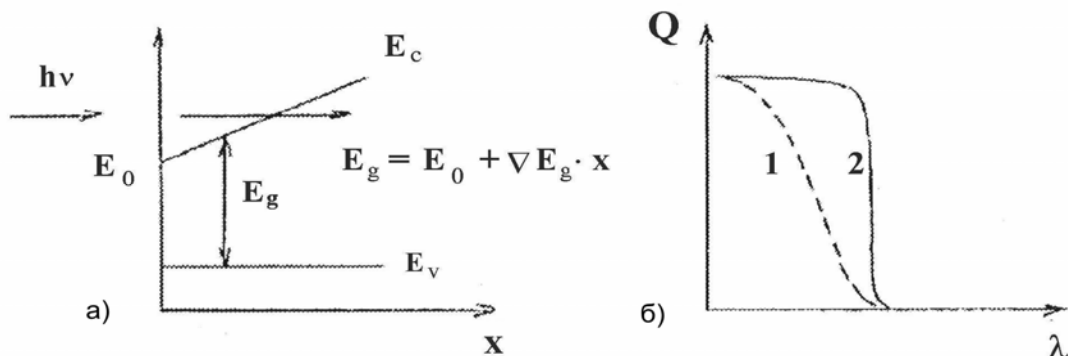
Сезгіштік спектрінің ұзынтолқынды шекарасының фотоқабылдағыштың материалының E_g шамасына тәуелділігі (а) және фотоқабылдағыштың ұзынтолқынды бөлігі (б):



1 - GaAs; 2 - Si; 3 - Ge
2 сурет

Толық жұтылмаған кезде спектрдің ұзын толқынды жиегінің тіктігі жартылай өткізгіштерде жұтылған фотондардың санымен (үлесімен) анықталады және, сәйкес түрде, меншікті жұтылу жиегінің қисығы жайпаңдау болады (3, суреттерді қара). Спектрдің қысқа толқындық шекарасы және қысқа толқындық аумағы келесі факторлардың ықпалымен қалыптасады: p-n-ауысуының орналасу тереңдігімен; жұтылу коэффициентінің сәулелену толқын ұзындығына тәуелділігімен; негізгі емес ток тасымалдаушылардың беттік рекомбинациясының жылдамдығының шамасымен және жарықталынатын беттің манайындағы E_g шамасымен.

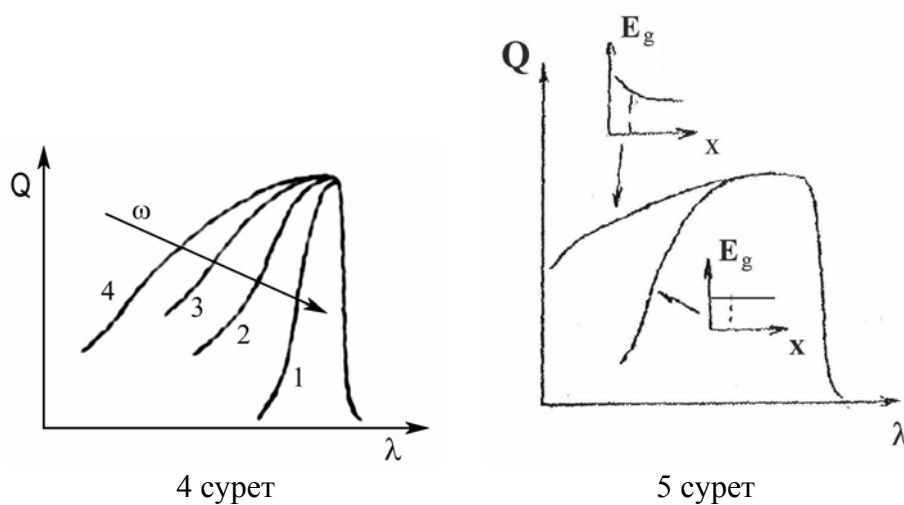
Фотондардың толық емес жұтылудың мысалы:
құрылым, E_g жарық түсетін спектрдің ұзынтолқынды бетінен жартылай өткізгіштің тереңіне бөлігі (пунктирмен) қарай өседі



3 сурет

P-n-ауысуының орналасу тереңдігінің әсері 4 суретте көрсетілген. Электрон-кемтіктік жұптың пайда болуының ықтималдығы фотонның энергия артқан кезде артып отырады ($h\nu > E_g$ кезінде), сондықтан қысқа толқындық сәулелену бетің маңында көбірек жұтылады, ал ұзын толқындық - тереңдікте. P-n-ауысуы бетіне жақындаған кезде p-n-ауысудың жинақтайтын қысқатолқынды фотондар генерациялаған ток тасымалдаушылардың үлесі көбейеді және де спектрдің қысқа толқындық бөлігі артады. P-n-ауысуының орналасуы тереңдеген сайын қысқатолқынды фотондардың үлесі кемиді, себебі олардың жұтылуы бетте, ал ұзын толқынды фотондардың жұтыуы тереңдікте болады. P-n-ауысуының тереңдігі жеткілікті болса, спектрлік сезгіштіктің селективтік сипатта болуы мүмкін.

P-n-ауысуының орналасу тереңдігінің ФК бетіне жақын орналасатын сезгіштік спектрінің қысқа тартқыш өрісінің қысқа толқынды толқынды ауданына тәуелділігі ауданындағы спектрлік сезгіштігіне тәуелділігі



P-n-ауысуы жарықталатын бетке жақын орналасса спектр түріне беттік рекомбинацияның ықпалы өте зор, ол "насос" сияқты әсер етіп қысқатолқынды фотондармен генерацияланған негізгі емес заряд тасушыларды бетке қарай сорып, оларды жойады. Нақты фотоқабылдағыштарда беттік рекомбинацияның әсерінен толқын ұзындығы кемігенде сезгіштік нольге қарай ақырын түседі.

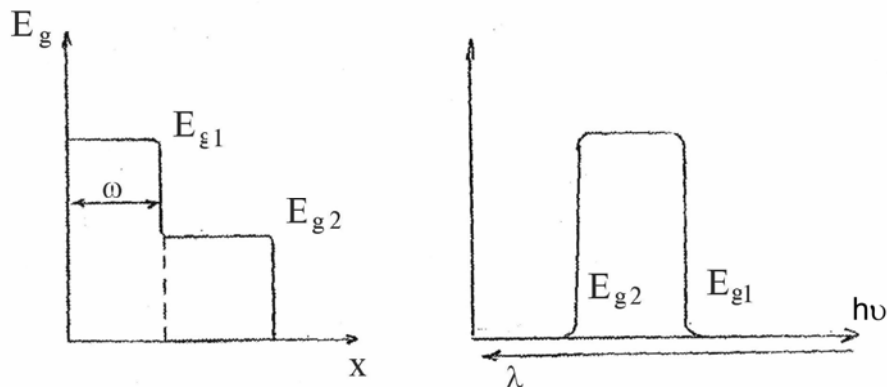
Күн элементтерінде (күн энергиясын электр энергиясына түрлендіруге арналған жарыққабылдағыш) ПӘК-тің көбейту үшін қысқа толқындар жаққа қарай сезгіштік спектрін кеңейтеді. Ол үшін жарықталған беттің манайында рұқсат етілмеген өңірдің енін көбейту жолымен немесе легирлеу дәрежесін өзгерту жолымен тартатын өрістерді жасайды. Мысалы, E_g өзгеруінің әсерінен квазиэлектрлік өрістер пайда болады, олар жарықпен генерацияланған ток тасушыларды p-n-ауысуына қарай ығыстырады, олар беттегі және жартылай өткізгіш көлеміндегі рекомбинацияға кедергі жасайды. Сонымен, қысқа толқындар аумағында спектрдің фотосезгіштігі өседі (сур. 5).

Гетероауысатын фотоқабылдағыштар

Жоғарыда қарастырылған фотоқабылдағыштарда, фотоқабылдағышты E_g -сі тұрақты болатын жартылай өткізгіштен тұрады, басқаша айтқанда фотоқабылдағыш гомозонды болады деп есептедік. Гетероауысылар пайдалану, E_g -нің шамасы басқаша жартылай өткізетін материалдарды қолданғанда фотоқабылдағыштардың сипаттамаларын жақсартуға мүмкіншілік береді, сонымен бірге керек спектрлік сипаттамасын алуға мүмкіншілік береді. Гетероауысу деп E_g -лері әр түрлі, өңірлік құрылымы, заряд тасушылардың эффективтік массалары, қозғалтыштықтары әр түрлі және т.б.

айырмашылықтары бар екі жартылай өткізгіштердің түйеспесін айтады. Фотокабылдағыштың құрылымында өңірі енді терезесі бар болғаны эффективтік (тиімді) фототүрленуінің пайда болуына мүмкіншілік береді, жарықталатын бетте рекомбинациялық шығындарды жояды онымен бірге әсерлесуді тездетеді.

Гетероауысатын фотокабылдағыштың құрылымындағы E_g -ның координаталық өзгеруі (а) және оның спектрлік сипаттамасы (б)



6 сурет

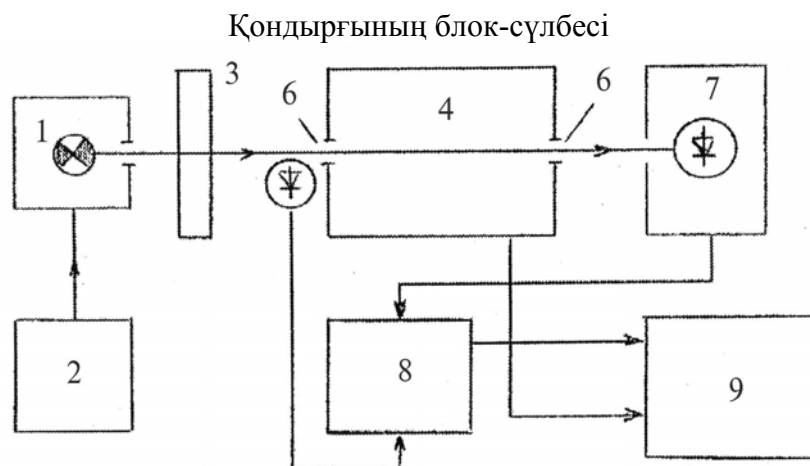
Гетероауысатын фотокабылдағыштардың сезгіштік спектрлерінің қысқатолқынды аумағында өңірі енді "терезесінің" көмегімен қалыптасады. Екі n- және p-типті жартылай өткізгіштерден тұратын жарықталатын қабатының рұқсат етілмеген өңірінің ені екінші қабат рұқсат етілмеген өңірінің енінен үлкен жарыққабылдағышты қарастырайық (сур.6). Жарықталатын қабаттың қалыңдығын жеткілікті үлкен қылып таңдап алайық: оның қалыңдығы негізгі емес ток тасушылардың диффузиялық ұзындығынан көп $d > L_n$. Осындай жағдайда бетке жақын жерде жарық арқылы генерацияланған ток тасушылар p-n-ауысуға жете алмайды да фототоғының пайда болуына қатыспайды. Сонымен спектрдің қысқатолқынды аумағы (спектрдің жиегі) жарықталынған қабаттың E_g шамасымен анықталады $\lambda_{гр} = 1.24/E_g$. Қабаттардағы E_g шамаларын бір біріне жақындата отырып тізбектей мынадай фотокабылдағыштарды алуға болады: түс датчиктерді, жолақты және талғауышты (селективті) фотодиодтарды.

ӨЛШЕУІШ ҚОНДЫРҒЫНЫҢ ЖАЗБАШАСЫ

Өлшеуіш қондырғы ИКС-21 монохроматордың негізінде жиналған. Қондырғының құрылымына монохроматор ИКС-21, екі координатты өзжазғыш ЛКД4-003, фотокабылдағыштың фототоғын күшейткіші У2-8М, жарық көзіні көректендіру блогі, модулятор, координатты үстел кіреді.

КГМ150-24 қыздыру лампасының жарық жиілігі 60 Гц тікбұрышты импульстерге модуляцияланады да монохроматордың кірісіне беріледі (сур. 7). Монохроматордан жіңішке жолақты сәуле шығады, ол шығатын жерінен координат үстелге өлшемі 1*2 мм жарық дағы болып фокустіледі. Координат үстелде зерттейтін фотокабылдағышты қосатын клеммалар орналасқан (онымен бірге фоторезисторларын зерттеуге болады), онымен бірге эталон фотокабылдағыштар: өлшемі үлкен беті көк түсті күн элемент, және жарықталатын бетінің өлшемі кіші квадрат сүр түсті күн элементі орналасқан. Эталондардың спектрлік сипаттамалары белгілі, олар қосымшада келтірілген. Координат үстелдегі фотокабылдағыштар 50 немесе 100 Ом жүктеу кедергісіне қосылған, одан кейін фототоғы талғауышты У2-8М күшейткішімен күшейтіледі. Монохроматордың кірісіне параллель тірек сигналдың датчигі орналасқан, жарық импульстермен жарықталынатын германийден жасалған фотодиод, одан шығатын сигнал У2-8М күшейткішінің детекторлық бөлігіне беріледі. Күшейткіштің шығысынан жағынан тұрақты кернеу

түрінде пайдалы сигнал екі координатты өзжазғыштың Y кірісіне беріледі. Жарықта жұмыс істегенде жарықты модуляциялау фотоқабылдағыштың фототогының тұрақты құраушысын жоюға, сонымен бірге фототокты күшейтетін сұлбенің бөгеулерге орнықтылығын күшейту үшін керек.



1 - жарық көзі, 2 - лампының қоректендіру блогі, 3 - модулятор, 4 - монохроматор, 5 - тіреуіш сигналдың датчигі, 6 - монохроматордың кіру саңылаулары, 7 - фотоқабылдағыш-тарға арналған координаталық үстелі, 8 - селективті күшейткіш, 9 - өзжазғыш.

7 сурет

Монохроматордың автоматикалық түйіні бар, ол спектрдің көк аумағының инфрақызыл аумаққа автоматтық жазбасын беруді қамтамасыз етеді, онымен бірге Y кірісіне барабанның тұтас бөліктерінің шамаларын белгілеу үшін реперлік сигналдарды автоматты түрінде береді. Автоматика түйіні спектрдің жазбасының жылдамдығын таңдап беруге және монохроматорды қолмен басқаруға немесе автоматикалық режимге ауыстыруға мүмкіншілік береді. Фотоқабылдағыштардың коммутациясы У2-8М-нің кірісіне күшейткіш панелінде орналасқан өлшемі кіші эталон - "эталон-1", ауданы үлкен эталон - "эталон-3" кнопкаларымен басқарылады.

ЖУМЫСТЫ ЖАСАУ ТӘРТІБІ

1. Қондырғыны сетке жалғап 10-15 минуттің ішінде қыздыру.
2. Координат үстелдің үлгі тұтқышына зерттейтін фотоқабылдағышты (ЖҚ) орналастыру.
3. Модулятор мен жарықтандырғышты электр желісіне қосу.
4. ИКС-21-дің барабанын 41-00 немесе 40-00 белгілеріне қойып, оны сәуленің жасыл немесе қызыл түсіне сәйкестеп, фотоқабылдағыштың (ЖҚ) бетіне сәулені фокустеу.
5. Талғауышты күшейткіштің күшейту жиілігін "Жиілік" жай және қаттырақ және "Ноль" тұтқаларымен баптау. Одан кейін спектрді бірнеше рет жазу кезінде осы тұтқаларды қозғамау керек. Оның көмегімен біз өзжазғыштың ұшының ауытқу биіктігі Y осі ЖҚ-тан шығатын фототоктың шамасымен пропорционалдық тәуелділігін бекітеміз.
6. Спектрлік сипаттамасы белгілі эталондық ЖҚ-тың салыстырмалы спектрін жазып алыңыз. Ол үшін ИКС-21-дің барабан тұтқасын 45-00 белгісіне қойып, өзжазғыштағы фломастердің ұшын түсіріп, автоматикалық жазуды қосу керек.
7. Барабанның белгілері 37-00-ге жеткенде автоматты жазудың тумблерін ажырату.
Ескерту: 46.20-35.00 белгілердің шектерінен асып жұмыс істеу автоматиканың бұзұылына келтіреді.
8. Тұра осылай зерттелетін фотоқабылдағыштың салыстырмалы спектрін жазу.

9. Салыстырмалы әдіс бойынша - бірдей ауытқуына бірдей ток сезгіштігі сәйкес болады - зерттелетін фотоқабылдағыштың спектрлік сезгіштіктің шамаларын есептеу:

$$S_i = S_{i_{\text{эт}}} * (Y_{\text{үлгі}}/Y_{\text{эт}}) Q_{i_{\text{үлгі}}} = Q_{i_{\text{эт}}} * (Y_{\text{үлгі}}/Y_{\text{эт}})$$

барабан белгілерінің үлестеріне еселік нүктелерінде, ол үшін таблицадан эталондарға арналған анықтамалырды пайдалану керек (қосымшаны қар.).

10. Алынған шамалар бойынша фотоқабылдағыштың спектрлік сипаттамасының графигін салыңыз.

ТАПСЫРМАЛАР

1. Зерттелетін және эталон фотоқабылдағыштардың спектрлік сипаттамалырын түсіру.
2. Зерттелетін фотоқабылдағыштың екі тәуелділік түрінде $Q=F(\lambda)$ және $S_{i\lambda} =F(\lambda)$ спектрлік сипаттамаларының графигтерін салыңыз.
3. Спектрлік сипаттамасының анализін жасау, фотосезгіштіктің қызыл шегін анықтау, р-п-ауысу аумағында E_g -нің шамасын табу және спектрдің түрінен (спектрдің ені, спектрдің пішіні) фотоқабылдағыштың құрылымын және оның түрін жобалап бағалау талғауышты фотоқабылдағыш, жолақты фотоқабылдағыш, күн элемент). Р-п-ауысуының орналасуы бетке жақын немесе тереңдікте, E_{g1} және E_{g2} мәндерін гетероауысатын фотоқабылдағыштың құрылымындағы шамаларын табу.

ЕСКЕРТУ: осы тапсырмаларды оқытушы өзгертуі мүмкін.

Бақылау сұрақтар:

1. Бетіне жарық түскен фоторезистордың өткізгіштік механизмінің түсіндіріп береніз.
2. Дiodқа жарық түскен кездегі фотогальваникалық эффектiнiң пайда болуын түсіндіріп береніз.
3. Жартылай өткізгіштердің сезгіштік спектрінің ұзынтолқынды шекарасының болуы немен түсіндіріледі?
4. Р-п-ауысуының орналасу тереңдігі сезгіштік спектрінің қысқатолқынды аумағына ықпалын қалай түсіреді?
5. Фотоқабылдағыштың бетіне жақын орналасқан тартыс өрісінің әсер ететін механизмін және оның сезгіштік спектрінің қысқатолқынды аумағындағы спектрлік сезгіштігіне ықпалын түсіндіріп береніз.
6. Гетероауысуда фотоқабылдағыштардың сезгіштік спектрінің қысқатолқынды аумағы қалай шектеледі?

ҚОЛДАНЫЛҒАН ШЫҒАРМА КӨЗДЕРІ

1. Полупроводниковые фотоприемники. Ультрафиолетовый, видимый и ближний ИК диапазон спектра. Под ред. Стафеева В.И. - М., Радио и связь, 1984.
2. Бузанова Л.К., Глиberman А.Я. Полупроводниковые фотоприемники. - М., Энергия, 1976.
3. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые преобразователи. - М., Сов.Радио, 1971.
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. - М., Энергия, 1973.