

№ 5 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС
ФОТОҚАБЫЛДАҒЫШТАРДЫҢ ВОЛЬТАМПЕРЛЫҚ
СИПАТТАМАСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІҢ АНЫҚТАУ

Жұмыс мақсаты:

Фотоқабылдағыштың жұмыс істеу принциптері, оның негізгі параметрлерін анықтау.

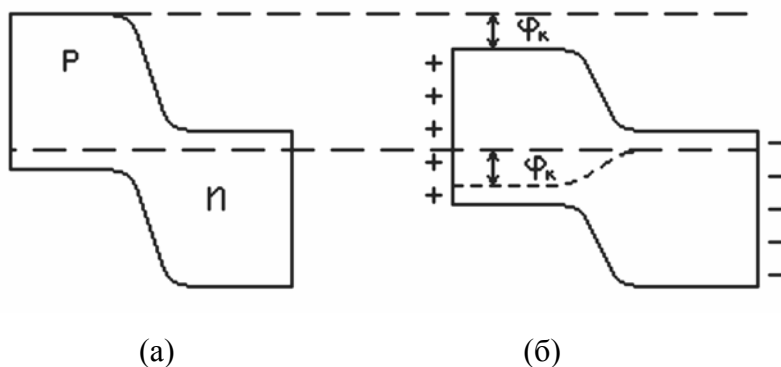
Жұмыста қолданылатын жабдықтар:

1. Сипаттамаларды өлшейтін аспап ППП Л2-56.
2. Реттелетін жарықтандырғыш.
3. Үлгілерге арналған үстел.
4. В7-27 вольтметр (екі дана).
5. Кедергілер магазині Р33.
6. Азықтану блогы БП-591.
7. Қосқыш жабдық.

ҚЫСҚАША ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ:

Жарық р-п -ауысуына түскенде кванттардың энергиясы рұқсат етілген өңір энергиясынан артық болады ол кезде электрон-кемтік жұптарының генерациясы және олардын р-п-ауысуында бөлінуі пайда болады. Егер сыртқы желісі ажыратылған болса, онда р-п-ауысуының екі жағында қарама-қарсы мәнді зарядтар жиналады. Нәтижесінде сур.1 көрсетілгендей Ферми деңгейі ϕ шамасына кемиді, ал сыртқы шығыстарында потенциал айырмашылығы пайда болады (фото э.к.к.). Осы құбылыс фотогальваникалық эффектi деп аталады. Фотогальваникалық эффект фотоэлементтерінде қолданады.

р-п-ауысуы бар күн элементін қарынғыдағы (а) және жарықтандыру кезіндегі (б) зоналық диаграммасы



1 сурет

Күн элементінің вольтамперлік сипаттамасы (ВАС) жартылай өткізгіш диодтың ВАС-нан I_ϕ шамасының пайда болуымен ерекшеленеді, ол жарықтың әсерінен элементпен генерацияланған токты көрсетеді, оның I_d бөлігі р-п-ауысу арқылы өтеді, ал басқа I бөлігі сыртқы жүктеме арқылы өтеді:

$$I_\phi = I_d + I, \quad (1)$$

мұнда

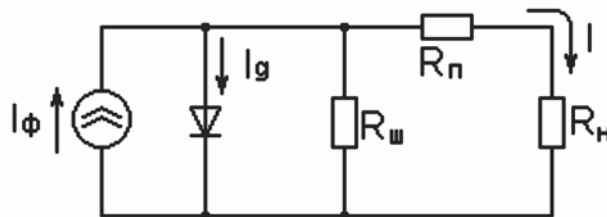
$$I_d = I_0(\exp(qU/kT) - 1) \quad (2)$$

әрқашан қаранғыдағы сипаттамасы, мұндағы: I_0 - р-п-ауысудағы қанығу кері тогі; q - электрон заряды; T - абсолюттік температура (К); k - Больцман тұрақтысы; U - кернеу.

Сыртқы желі үзіліп тұрғанда оның кедергісі шетсіз және $I=0$ болады (1) және (2) теңдеулерден күн элементінің бос жүріс кернеуін $U_{бж}$ анықтауға болады:

$$U_{бж} = (kT/q)\ln(I_\phi/I_0 + 1) \quad (3)$$

Күн элементтің эквиваленттік схемасы



2 сурет

Нақты күн элементіне түйіспе қабаттардың тізбекті кедергісі, элементтің р- және п-аумақтарының әр қайсысының кедергілері, металл-жартылай өткізгіш ауысу кедергілері және шунт кедергісі $R_{ш}$ р-п-ауысуына параллель кедергі бойынша токтың беттік және көлемдік кемуін көрсетеді. Осындай кедергілердің және р-п-ауысуындағы рекомбинация есебі ВАС-ға арналып кеңейтілге келтіріледі:

$$I = I_\phi - I_0(\exp q(U+IR_s)/AkT) - 1) - (U+IR_s)/R_{ш}. \quad (4)$$

Теңдеудегі A коэффициенті нақты прибор параметрлерінің идеал прибордың сипаттамаларына жуықтау дәрежесін көрсетеді.

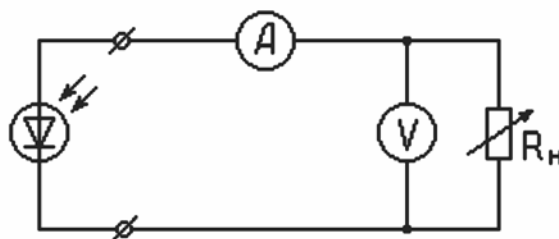
Әдетте шунт кедергісі $R_{ш}$ бірнеше есе R_0 -нен көп, сондықтан оның ықпалын есептемесек те болады. Онда (4) теңдігі мынадай түрде жазылады:

$$I = I_{\phi} - I_0(\exp q(U + IR_{\phi})/AkT) - 1) . \quad (5)$$

ӨЛШЕУІШ ҚОНДЫРҒЫ МЕН ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Күн элементтердің ВАС-ды өлшейтін қондырғысы цифрлік миллиамперметрден, цифрлік вольтметрден және Р33 тәрізді айнымалы жүктеме магазиннен тұрады (сур. 3).

ВАС-дың түсуіне арналған қондырғының принципіалдық схемасы



3 сурет

ВАС-сы жүктемесі өзгеріп режимде үлгіні вольфрам қыздыру лампасымен жарықтағанда түсіріледі. Түсетін қуаты $P_{түс}$ қысқа тұйықталу тогының $I_{кт}$ миллиампермен есептеп $mВт/см^2$ -нен өлшегенде сан бойынша $P_{түс}$ -ге тең эталон үлгісінің көмегімен анықталады.

Келтірілген жұмыста күн элементінің негізгі параметрлері анықталады P_{max} , ξ , η , I_0 , A және R_T .

Толтыру коэффициенті ВАС-тың ішіне жазылған қабырғалары I_{mp} және U_{mp} тікбұрыштың максимал ауданының ВАС-тың сыртынан жазылған қабырғалары $I_{кт}$ және $U_{бж}$ тікбұрышқа қатынасы болып табылады

$$\xi = (I_{mp} U_{mp}) / (I_{кт} U_{бж}), \quad (6)$$

мұнда I_{mp} және U_{mp} - максимал қуаты кезіндегі ток және кернеу.

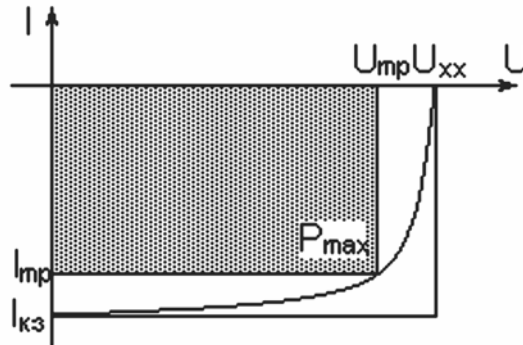
$I_{mp} * U_{mp}$ көбейтіндісі берілген жарық ағыныныңдағы күн элементінің максимал шығу қуатын (P_{max}) көрсетеді.

Фототүрлендіргіштің пайдалы әсер коэффициенті

$$\eta = (P_{max} / P_{түс}) = (\xi U_{бж} I_{кт} / P_{түс}), \quad (7)$$

мұнда P_{Tyc} - күн элементіне түсетін сәуленің қуаты.

Толтыру коэффициентін анықтауға.



4 сурет

A , I_0 , және R_T параметрлері (3) келтірілген әдіспен анықталады, ол азғантай қысқартумен төменде келтірілген.

Есептеуге қолайлы болу үшін $U_t = kT/q$ белгісі кіргізіледі, ол термикалық кернеу деп аталады, бөлме температурасында ($t=25$ °C) ол 0,026 В-ке тең. Онда (4) теңдеуі мынадай түрде болады:

$$I = I_\phi - I_0 \left(\exp \left(\frac{U + IR_T}{AU_t} \right) - 1 \right) - \frac{U + IR_T}{R_{ш}}. \quad (8)$$

Белгілі теориялық нәтижелер бойынша бос жүріс режимінде $A=1$, ал қысқа тұйықталу режимінде A екіден кем емес.

Бос жүріс режимінде ($U=U_{бж}$, $A=1$) жүктелеін ток $I=0$ және (8) теңдеуден мына шығады:

$$I = I - I_0 \left(\exp \left(\frac{U_{бж}}{U_t} \right) - 1 \right) + \frac{U_{бж}}{R_{ш}}. \quad (9)$$

(9)-ші теңдеуді (8)-ге қойғанда қысқа тұйықталу режимінде $U=0$, $I=I$ $A=2$ болғанда және қуаттын максимал генерация режимінде күн элементінің параметрлерінің арасындағы қатынасты алуға болады

$$I_0 \left(\exp \left(\frac{U_{бж}}{U_t} \right) - \exp \left(\frac{I_{кр} R_T}{2U_t} \right) - I_{кр} \left(1 + \frac{R_T}{R_{ш}} \right) + \frac{U_{бж}}{R_{ш}} \right) = 0 \quad (10)$$

Егер $r = 1 + R_T/R_{ш}$ шартты белгіні кіргізсек және $\exp(I_{кр} R_T/2U_t) \ll \exp(U_{бж}/U_t)$ болатынын ескерсек, онда (10)-ші теңдеуі қарапайым болады және мына түрге келтіріледі:

$$I_0 \left(\exp \left(\frac{U_{бж}}{U_t} \right) - \exp \left(\frac{U_{mp} + I_{mp} R_T}{AU_t} \right) \right) - I_{mp} \left(I + \frac{R_T}{R_{ш}} \right) +$$

$$+ ((U_{\text{бж}} - U_{\text{мп}}) / R_{\text{ш}}) = 0 \quad (11)$$

$$I_0 = (I_{\text{кт}} r - (U_{\text{бж}} / R_{\text{ш}})) (\exp (U_{\text{бж}} / U_t))^{-1} \quad (12)$$

(11)-ді және (12)-ні бірге шешіп, А диод коэффициентіне арналған мынадай теңдікті алуға болады, ол қуаттың максимал генерациясы режиміне сәйкес:

$$A = (U_{\text{мп}} + I_{\text{мп}} R_n) / (U_{\text{бж}} + U_t \ln \left(\frac{(I_{\text{км}} - I_{\text{мп}}) r - U_{\text{мп}} / R_{\text{ш}}}{I_{\text{км}} r - U_{\text{бж}} / R_{\text{ш}}} \right)) \quad (13)$$

Жоғары эффективті күн элементтер көбісіне $R_{\text{ш}} > 10^4$ Ом жағдайында орындалатынын ескеріп теориялық анализ жүргізгенде шунт кедергісі шексіз үлкен деп санауға болады. Ол (13) теңдеуді қарапайым түрге келтіруге мүмкіншілік береді де оны мынадай түрде алуға болады:

$$A = (U_{\text{мп}} + I_{\text{мп}} R_n) / (U_{\text{бж}} + U_t \ln((I_{\text{кт}} - I_{\text{мп}}) / I_{\text{кт}})) \quad (14)$$

Қуатты максимал генерация режимінде:

$$\left. \begin{aligned} (dP/dI)_{I=I_{\text{мп}}} &\approx 0 \\ U &= U_{\text{мп}} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

және

$$\left. \begin{aligned} (dU/dI)_{I=I_{\text{мп}}} &\approx 0 \\ U &= U_{\text{мп}} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Мұнда P - күн элементінен шығатын қуат, $I_{\text{мп}}$ және $U_{\text{мп}}$ - максимал қуат кезіндегі ток және кернеу. (8)-ші теңдеуден мына шығады:

$$(dU/dI) = - \{ R_n + [(1/AU_t)(I_{\text{ф}} + I_0 - I - ((U + IR_n) / R_{\text{ш}}) + (1/R_{\text{ш}}))]^{-1} \} \quad (17)$$

(16)-ші және (17)-ші теңдіктердің он жақтары өз ара тең, сондықтан

$$(U_{\text{мп}} / I_{\text{мп}}) = R_n + [(1/AU_t)(I_{\text{ф}} + I_0 - I_{\text{мп}} - ((U_{\text{мп}} + I_{\text{мп}} R_n) / R_{\text{ш}}) + (1/R_{\text{ш}}))]^{-1} \quad (18)$$

мұнда $I = I_{\text{мп}}$ және $U = U_{\text{мп}}$ жағдай орындалатын ВАС-ның А - нүктесіне сәйкес.

$R_{ш}$ шамасы шетсіз үлкен және $I_{ф}=I_{КТ}$ және $I_0 < 10$ А қатыстары дұрыс деп есептесек және (14)-ші және (18)-ші теңдеулер қосып шешсек, R_T -ге арналған келесі теңдеуді алуға болады:

$$R_m = \frac{U_{mp} \left(\frac{1}{U_t} \right) (I_{км} - I_{mp}) [U_{бж} + U_t \ln(1 - \frac{I_{mp}}{I_{км}})] - I_{mp}}{I_{mp} \left(\frac{I_{mp}}{U_t} \right) (I_{км} - I_{mp}) [U_{бж} + U_t \ln(1 - \frac{I_{mp}}{I_{км}})] + I_{mp}}. \quad (19)$$

Белгілерді кіргізген соң

$$I = (1/U_t)(I_{КТ} - I_{mp})(U_{бж} + U_t \ln(1 - (I_{mp}/I_{КТ}))) \quad (20)$$

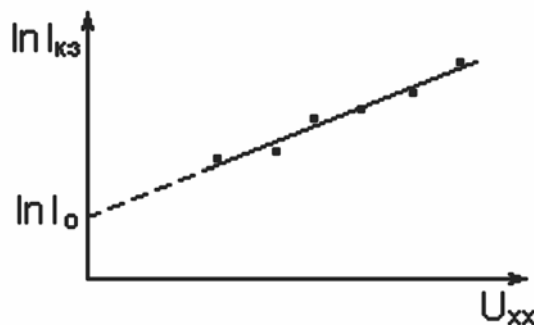
күн элементінің тізбекті кедергісіне арналған соңғы түрі келтіріледі:

$$R_T = (U_{mp}/I_{mp}) [(I - I_{mp})/(I + I_{mp})] \quad (21)$$

Сонымен R_T есептеуі (20) және (21) қатыстардың көмегімен орындалады. Одан кейін (14)-ші теңдеуден А диод коэффициентінің шамасын есептеп алуға болады.

Кері қанығу тоғын I_0 анықтау үшін $I_{КТ} = f(U_{бж})$ тәуелділігін қолданайық. Ол үшін осы тәуелділікті түсу сәулеленудің қуат $P_{гүс}$ деңгейін өзгертетін жарықфильтрлердің жинағы арқылы үлгіге түсетін жарықтандыру кезінде алып графигін саламыз, абсцисс осі бойынша сызықты масштабпен $U_{бж}$ саламыз, ал ординат осі бойынша логарифмдік масштабпен алынған $I_{КТ}$ шамаларын саламыз (сур.5).

I_0 -ды анықтауға



5 сурет

Алынған түзудің $U_{бж}=0$ -ге экстраполяциясын жасап, I_0 шамасын табамыз.

ЖҰМЫСТЫҢ ТАПСЫРМАЛАРЫ:

1. Өлшеуіш қондырғымен танысу.

2. Зерттейтін күн элементін жалғау.
3. ВАС-тың жүктеленетін режимінде жазу.
4. $I_{кт}$, $U_{бж}$, $I_{пр}$, $U_{пр}$, $P_{түс}$, $P_{мах}$, ξ , η , R_0 , A , I_0 -ді анықтау.
5. Өзгертін жарықтандыру режимінде $I_{кт}=f(U_{бж})$ тәуелділігін жазып сәйкесті графикті салу.
6. Графиктен кері қанығу тогының I_0 шамасын анықтау.

Бақылау сұрақтар:

1. Фотоэлементтің фотоЭҚК-тің максимал мәні немен шектелінеді?
 2. Фототоктың және фотоЭҚК-тің мәнінің фотоэлементтің бетіне түсетін жарық ағынынан тәуелділігі қандай?
 3. Жинау коэффициенті деп нені айтады?
 4. Тізбекті және шунт кедергілердің ВАС түріне ықпалы қандай? Фотоэлементтің ЭҚК-ке қандай факторлар ықпалын тигізеді?
1. Чем ограничено максимальное значение фотоЭДС фотоэлемента?
 2. Какова зависимость величины фототока и фотоЭДС от величины светового потока, падающего на фотоэлемент?
 3. Что такое коэффициент собирания?
 4. Каково влияние последовательного и шунтирующего сопротивлений на вид ВАХ? Какие факторы влияют на КПД фотоэлемента?

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. А.Амброзьяк. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов. М., "Сов. радио", 1970г.
2. А.М.Васильев, А.П.Ландсман. Полупроводниковые фотопреобразователи.- М., "Сов. радио", 1971 г.
3. INT.J.ELEKTRONICS, 1982, VOL 52, 6, p.589-595.