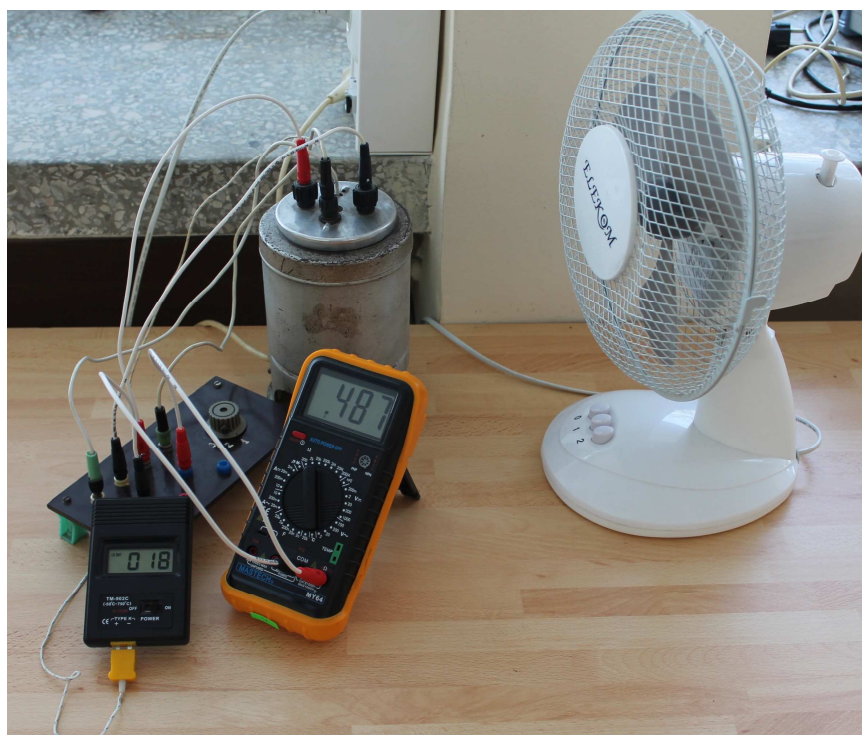
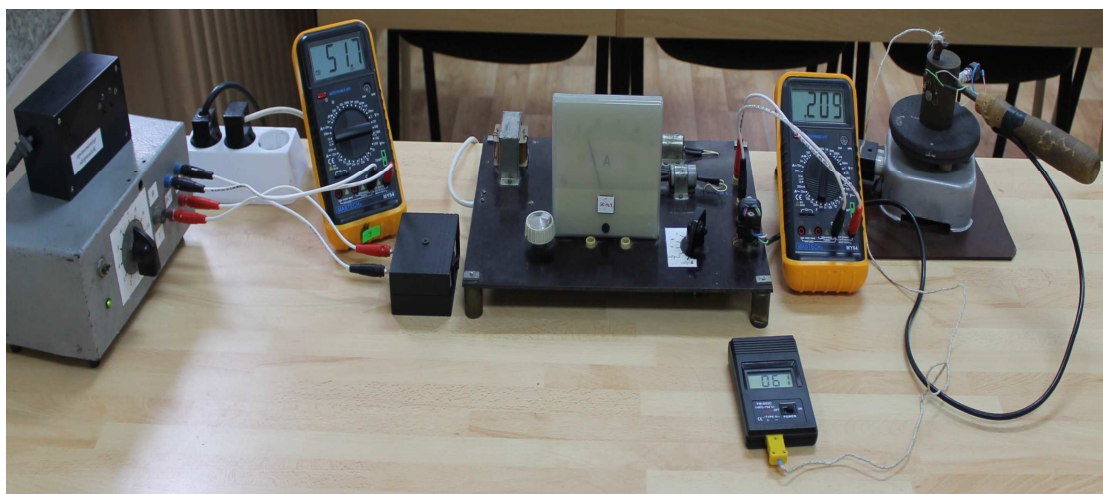


УПРАЖНЕНИЕ № 4

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ МАТЕРИАЛИ И ПАСИВНИ ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ЕЛЕМЕНТИ



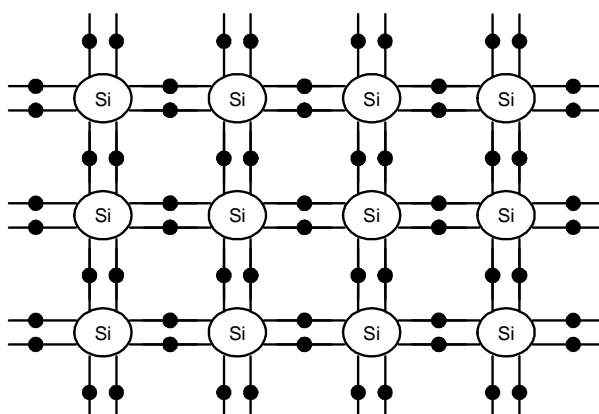
4.1. Основни понятия и определения

Полупроводниците са материали със специфично съпротивление при нормална температура в границите $10^{-5} \div 10^8$, $\Omega \cdot m$. Те, както и металите, притежават електронна проводимост, но преминаването на електричен ток през тях е сложно квантово явление.

Присъщи на полупроводниковите материали свойства са:

- многократно изменение на специфичното съпротивление в резултат на външни енергетични въздействия – светлина, топлина, електрично и магнитно поле, механични напрежения и др.;
- значителна зависимост на електричната проводимост от примеси;
- чрез подходяща технология е възможно реализиране на елемент с еднопосочна електрична проводимост.

За изясняване на механизма на преминаване на електричен ток през полупроводниците ще бъде разгледан равнинен модел на кристал от чист Si (силиций) (един от най-често използваните химични елементи със свойства на полупроводник) (фиг. 4.1). Той е от четвърта група на Менделеевата таблица и атомите му са с по 4 валенции. Всеки валентен електрон в кристала се групира в двойка с електрон от съседен атом. Така чрез електронни двойки даден атом е в ковалентна връзка с 4 свои съседа.



Фиг.4.1

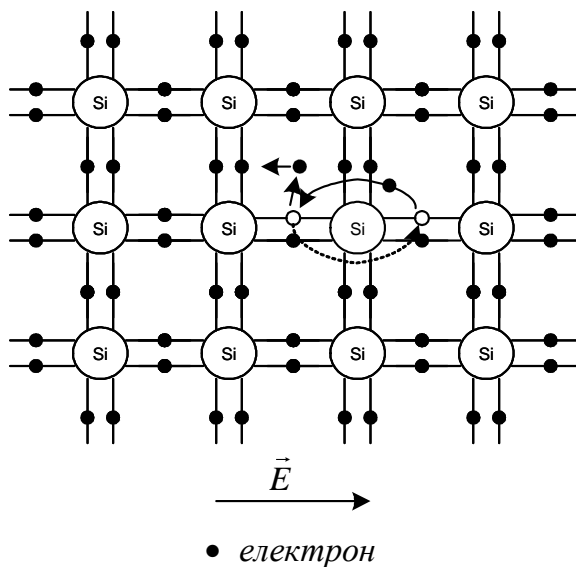
При абсолютна нула (0,К) свободни електрони липсват и полупроводникът е идеален диелектрик.

При външни енергетични въздействия някои от валентните електрони се откъсват от атомите и стават свободни. В същото време в атом, от който се освобождава електрон, остава некомпенсиран положителен заряд. Вакантното място на електрона в една разкъсана връзка се нарича *дупка*. Привличайки съседен електрон, некомпенсираният

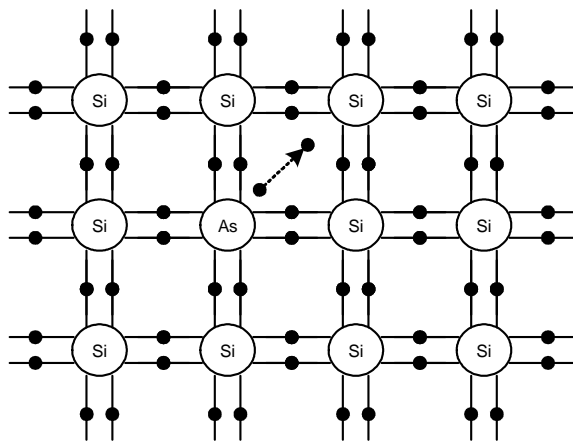
положителен заряд го откъсва и така се възстановява нарушената връзка. Дупката се премества при атома, от който е дошъл новият електрон. Може да се приеме, че дупката е фиктивна частица с положителен електричен заряд $+e$, равен по големина на заряда на електрона $(-e)$.

Очевидно е, че в чист полупроводник броят на свободните електрони е равен на броя на дупките.

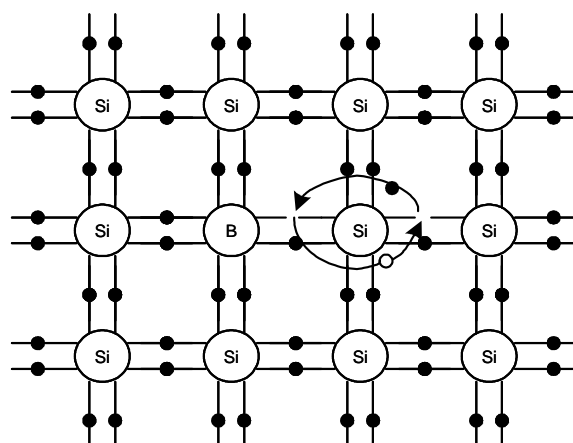
В електрично поле свободните електрони се движат в посока, обратна на посоката на полето, а дупките – в посока на полето – през полупроводника протича електричен ток. (При движение на дупки реално се движат валентни електрони) (фиг. 4.2).



Фиг.4.2



Фиг.4.3



Фиг.4.4

Свободните електрони се наричат *N-токоносители* (от английската дума *negative* – отрицателен), а дупките – *P-токоносители* (от *positive* – положителен).

Електричната проводимост на чист полупроводник се нарича *собствена*, тъй като се обуславя от собствени токоносители.

Много по-голяма концентрация на токоносителите се получава, когато в полупроводника има примеси от атоми на друг елемент.

Ако атом на *Si* в кристалната решетка се замени с атом на 5-валентен елемент, например *As* (арсен) (фиг. 4.3), неговият пет валентен остава несвързан в електронна двойка. Поради това връзката му с атома е слаба и той лесно се откъсва от него. В такъв кристал има свободни електрони. Полупроводникът притежава електронна проводимост (*N-проводимост*) и се нарича полупроводник от *N-тип*.

Некомпенсираният положителен заряд на *As* остава неподвижен и не участва в проводимостта.

Примеси, които довеждат до поява на свободни електрони в полупроводниците, се наричат *донори*.

Нека в кристалната решетка на силиция, силициев атом е заместен с атом на тривалентен елемент, например *B* (бор). Този атом има 3 валентни електрона и чрез тях може да реализира ковалентна връзка с 3 силициеви атома (фиг. 4.4). Връзката с четвърти атом остава неосъществена. Така възниква празно място (*дупка*), към която може да прескочи електрон от

съседна ковалентна връзка и незаемото място (дупката) се премества. Полупроводникът придобива дупчеста проводимост (*P-проводимост*) и се нарича полупроводник от *P-тип*.

Некомпенсиранят отрицателен заряд на борния атом не може да се движи в кристала и да участва в проводимостта.

Примеси, които обуславят дупчеста проводимост, се наричат *акцептори*.

Токоносители, чието количество в даден полупроводник е преобладаващо, се наричат *основни*. В реалните примесни полупроводници винаги има малки количества от другия тип носители. Те се наричат *неосновни*.

Разглежданият механизъм на електричната проводимост обяснява силната ѝ зависимост от външни енергетични въздействия – те увеличават количеството на токоносителите.

В неширок температурен интервал във функция от температурата електричното съпротивление на полупроводник намалява по закона

$$R = R_{\infty} e^{\frac{\Delta W}{2kT}} = R_{\infty} e^{\frac{b}{T}} \quad (4.1)$$

където ΔW е енергия на активация (при чист полупроводник – енергия за генериране на двойка електрон – дупка, а за примесен полупроводник – енергия на активация на примесен атом и получаване на *N*- или *P*-токоносител);

$k = 8,62 \cdot 10^{-5}$, eV/K - константа на Болцман; T – термодинамична (абсолютна) температура; R_{∞} и b са постоянни коефициенти, характерни за даден образец (R_{∞} има смисъл на съпротивление при безкрайно висока температура);

От уравнения (4.1) следва

$$b = \frac{\Delta W}{2k}$$

или

$$\Delta W = 2kb \quad (4.2)$$

Свободните носители на заряд, които възникват за сметка на енергията на топлинните колебания на кристалната решетка, се наричат *равновесни*. Тези токоносители са в термодинамично равновесие с кристалната решетка.

Под въздействие на светлина, йонизиращи лъчения и др. в полупроводника се образуват свободни носители на заряд, които в момента на възникването си имат енергия, значително по-голяма от средната топлинна енергия на решетката, т. е. отсъства термодинамичното равновесие между решетката и новообразуваните токоносители. Затова те се наричат *неравновесни*.

Ако се освети и затъмни образец от полупроводников материал, концентрацията на неравновесните токоносители n в него се изменя във времето t съответно по законите:

$$n = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right); \quad (4.3)$$

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau_0}}, \quad (4.4)$$

т.е. при осветяване и затъмняване концентрацията на неравновесните токоносители не се изменя мигновено от 0 до n_o и от n_o до 0.

В уравнения (4.3) и (4.4) n_o е установена концентрация достатъчно дълго време след началото на осветяването ($t \rightarrow \infty$), а τ_o се нарича *време на живот на неравновесните токоносители*.

Когато към образеца е приложено напрежение, по аналогичен начин се изменя и фототококът през него:

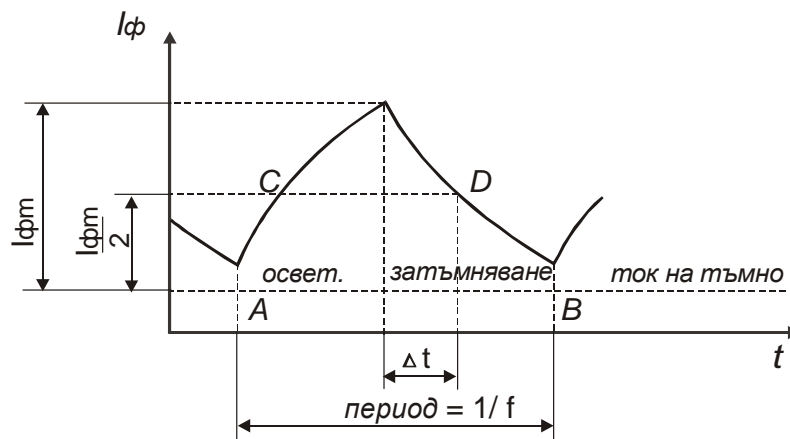
$$I_{\phi} = I_{\phi o} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_o}} \right); \quad (4.5)$$

$$I_{\phi} = I_{\phi o} e^{-\frac{t}{\tau_o}}, \quad (4.6)$$

където $I_{\phi o}$ е установен ток при осветяване.

Съгласно уравнения (4.4), респективно (4.6), времето на живот на неравновесните токоносители е равно на времето, за което концентрацията им и съответно фототококът намаляват e пъти след затъмняване.

На фиг. 4.5 е показана зависимостта $I_{\phi} = I_{\phi o}(t)$ при периодично осветяване и затъмняване с честота f ; $I_{\phi m}$ е максимална стойност на фототока.



Фиг. 4.5

Ако Δt е времето, за което фототококът $I_{\phi m}$ намалява два пъти, то

$$\tau_o = \frac{\Delta t}{\ln 2}. \quad (4.7)$$

Полупроводникови пасивни елементи (полупроводникови резистори) са електронни компоненти, които значително променят съпротивлението си под въздействие на температурата (*терморезистори*), приложеното напрежение (*варистори*), светлината (*фоторезистори*), при механични деформации (*тензрезистори*).

Терморезисторите могат да бъдат с отрицателен температурен коефициент на съпротивлението (ТКР) – *термистори* (при загряване

съпротивлението им намалява) и с положителен ТКР – *позистори* (при загряване съпротивлението им нараства).

Най-често използваните материали за изработване на термистори са оксидни полупроводници – CuO, NiO, Mn₃O₄ и др. С цел получаване на точно определени свойства термистори се изработват от смеси на оксиди CuO - Mn₃O₄, NiO - Co₃O₄ - Mn₃O₄ и др.

Позистори се изготвят от керамичен материал на основата на бариев титанат (Ba TiO₃).

Варисторите са резистори, чието съпротивление намалява при увеличаване на напрежението, приложено върху тях. Изготвят се на основата на силициев карбид (SiC) или цинков оксид (ZnO).

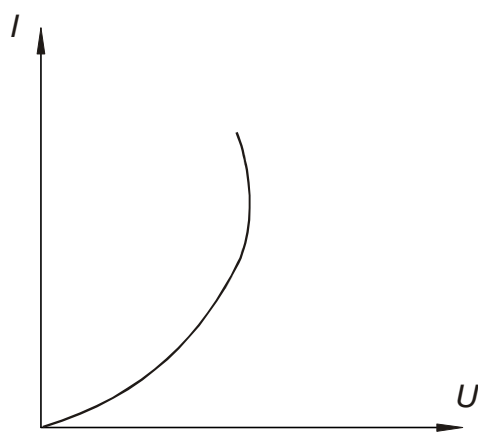
Фоторезисторите са резистори, чието съпротивление намалява под действие на светлинно лъчение. Изработват се най-често с оловен сулфид (PbS), кадмиев сулфид (CdS), кадмиев селенид (CdSe).

Тензорезисторите са резистори, чието съпротивление се променя при изменение на геометричните размери на токопроводящия елемент (полупроводник или проводник) под действие на натиск, опън, усукване и други механични въздействия.

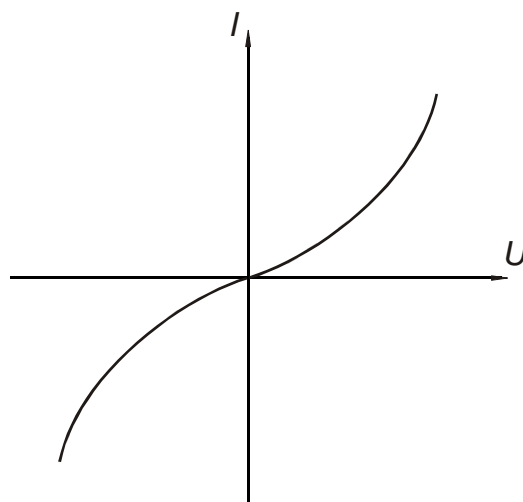
Използвани материали за изработване на чувствителния елемент на тензорезисторите са: примесни полупроводници - P - германий, P - силиций, N - германий, N - силиций; метали и сплави - никел, бисмут, манганин, константан, нихром и др.

Обект за изследване в настоящото лабораторно упражнение са термистор, варистор и фоторезистор.

Волт-амперната характеристика на термистора има вида, показан на фиг.4.6 – при повишаване на напрежението токът бързо нараства нелинейно. Това се обяснява с нагряването му от протичащия през него ток и намаляване на съпротивлението.



Фиг. 4.6



Фиг. 4.7

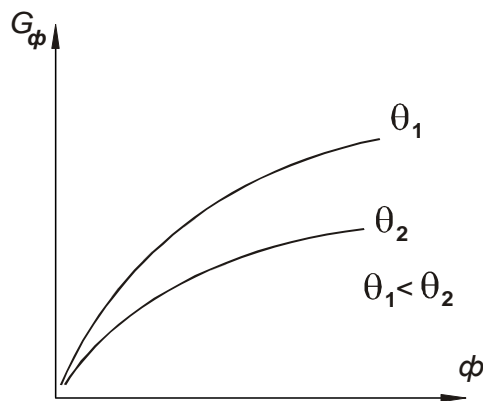
Намаляването на съпротивлението на варистор при увеличаване на приложеното върху него напрежение е причина за нелинейност на волт - амперната му характеристика (фиг.4.7), която е симетрична спрямо началото на координатната система. В първи квадрант тя се подчинява на уравнението

$$I = BU^{\beta}, \quad (4.8)$$

където B и β са постоянни коефициенти за даден варистор при определени условия. β се нарича *коефициент на нелинейност*. Той може да се изчисли с достатъчна точност по уравнение (4.9) :

$$\beta = \frac{\lg \frac{I_2}{I_1}}{\lg \frac{U_2}{U_1}}, \quad (4.9)$$

където U_1 и U_2 са напрежения при токове съответно I_1 и I_2 .



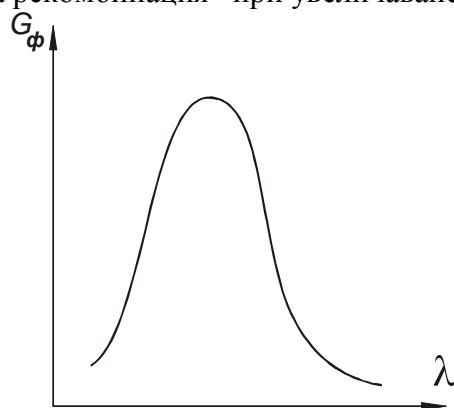
Фиг. 4.8

На фиг.4.8 е показана графично зависимостта на фотопроводимостта G_ϕ от облъчващия фоторезистора светлинен поток Φ : $G_\phi = G_\phi(\Phi)$ при две различни температури. Тя се подчинява на закона:

$$G_\phi = B_\phi \cdot \Phi^x, \quad (4.10)$$

където B_ϕ и x са постоянни коефициенти, характерни за конкретен фоторезистор при определени условия. Обикновено $0 < x < 1$.

Ходът на зависимостта, както и влиянието на температурата върху нея е свързан с два едновременни процеса с противоположно влияние върху електропроводимостта - генериране на токоносителни и нарастване на вероятността за тяхната рекомбинация* при увеличаване на концентрацията им.



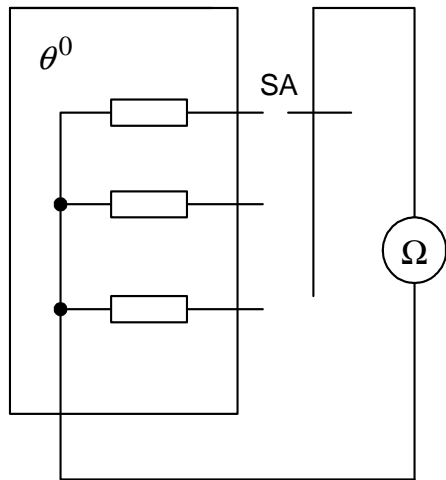
фиг. 4.9

Спектралната чувствителност на фоторезисторите се характеризира със зависимостта на фотопроводимостта от дължината на светлинната вълна λ : $G_\phi = G_\phi(\lambda)$ (фиг.4.9). Максимумът в спектралната характеристика може да бъде във видимата или инфрачервената област на спектъра.

* Рекомбинация - явление, при което изчезват свободни токоносителни с противоположни знаци (в случая електрони и дупки) при тяхното взаимодействие).

4.2. Задачи за изпълнение

1. Изследване на температурната зависимост на електричната проводимост на полупроводникови материали.



Фиг. 4.10

2. Проверка на уравнение (4.1)

$$R = R_{\infty} e^{\frac{b}{T}}$$

3. Определяне на времето на живот на нанеравновесни токоносители.

4. Изследване на полупроводникови резистори.

А. Снемане на волтамперни характеристики на термистор и варистор.

Б. Изследване на влиянието на светлинния поток и температурата върху електропроводимостта на фоторезистор.

В. Изследване на влиянието на дължината на светлинната вълна върху електропроводимостта на фоторезистор.

4.3. Методични указания за провеждане на изпитванията

Задача 1 се изпълнява с опитна постановка, чиято схема е показана на фиг. 4.10. Изследваните образци са поместени в тиглова пещ. Чрез превключвател SA се свързват с омметър. Измерванията се извършват в температурния интервал $(70-20)^{\circ}\text{C}$ при спадане на температурата през 5°C .

Определя се проводимостта G по уравнението

$$G = \frac{1}{R} \quad (4.11)$$

При изпълнение на задача 2 се определят величините R_{∞} и B . За първия образец това се осъществява чрез метода на най-малките квадрати. Уравнение (4.1) се привежда в линейно чрез логаритмуване и смяна на променливите:

$$\ln R = \ln R_{\infty} + \frac{b}{T}$$

Полага се

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\theta + 273} = X,$$

където θ е температура в $^{\circ}\text{C}$;

$$\begin{aligned} \ln R &= Y \\ \ln R_{\infty} &= b_0 \end{aligned} \quad (4.12)$$

Следва

$$Y = b_0 + bX \quad (4.13)$$

От опитните резултати, получени в т.1, се определят величините

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; & \bar{Y} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i; \\ \alpha &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2; & \gamma &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i Y_i. \end{aligned}$$

където X_i и Y_i ; са стойности на X и Y , получени при отделните измервания; n - брой измервания.

Забележка: $X_i, Y_i, \bar{X}, \bar{Y}, \alpha, \gamma$ се изчисляват с точност 6 значещи цифри.

Съставя се системата

$$\begin{cases} b_o + \bar{X}b = \bar{Y} \\ \bar{X}b_o + \alpha b = \gamma \end{cases}$$

чието решение е

$$b = \frac{\gamma - \bar{X}\bar{Y}}{\alpha - \bar{X}^2};$$

$$b_o = \frac{\alpha\bar{Y} - \bar{X}\gamma}{\alpha - \bar{X}^2}.$$

От уравнение (4.12) се определя R_∞ :

$$R_\infty = e^{b_o}.$$

Стойности за b_o, b и R_∞ се заместват в уравнения (4.13) и (4.1); чрез тях се изчисляват \hat{Y} и \hat{R} за температурите, при които са извършени измерванията.

Проверява се адекватността на резултатите. Намира се критерият

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} (n-2).$$

От табл.1 се отчита F_T и се сравнява с F

Таблица 4.1

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F_T	161,4	18,51	10,13	7,71	6,61	5,99	5,59	5,23	5,12	4,96

Ако $F > F_T$, уравненията за \hat{Y} и \hat{R} отразяват експерименталните резултати.

Ако $F < F_T$, уравненията не са адекватни, т.е. допуснати са значителни грешки при експериментите и / или евентуално при изчисленията.

Проверката на уравнение (4.1) за образци 2 и 3 се извършва по опростена методика.

Избират се по 2 от измерванията за всеки образец (препоръчително е да не са крайни и съседни). Съставя се система

$$\begin{cases} R_1 = R_\infty e^{\frac{b}{T_1}} \\ R_2 = R_\infty e^{\frac{b}{T_2}} \end{cases} \quad (4.14)$$

където R_1 и R_2 са съпротивления при температури съответно T_1 и T_2 .

От уравнения (4.14) се определят B и R_∞ :

$$b = \frac{T_1 T_2 \ln \frac{R_1}{R_2}}{T_2 - T_1}; \quad R_\infty = \frac{R_1}{e^{\frac{b}{T_1}}} \quad (4.15)$$

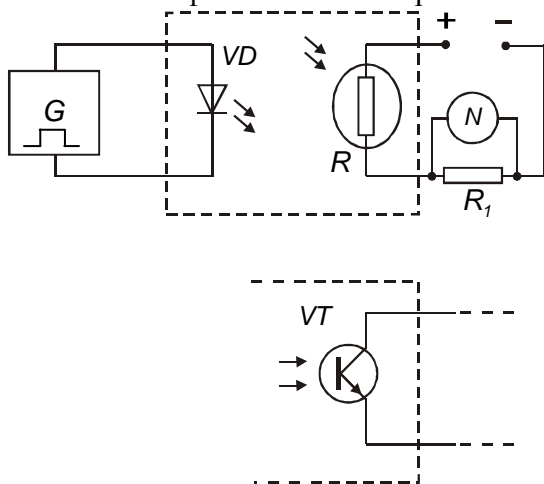
Получените числени стойности за b и R_∞ се заместват в уравнение (4.1) и чрез него се пресмята \hat{R} , за температурите, при които са извършени измерванията.

Определя се относителната разлика между експериментално получените и изчислените стойности на съпротивлението за трите образца по уравнението

$$\delta = \frac{|R_i - \hat{R}_i|}{R_i} \cdot 100\%$$

Изчислява се енергията на активизация ΔW по уравнение (4.2)

Задача 3 от заданието се изпълнява с постановка, чиято схема е показана на фиг.4.11. В камера са поместени светодиоди VD и фоторезистор R



фиг. 4.11.

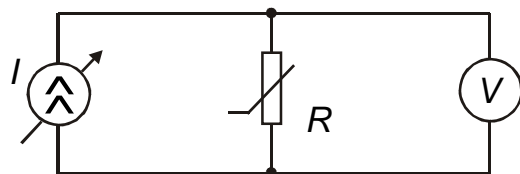
(фототранзистор VT). Светодиодът се захранва от генератор на правоъгълни импулси G. Последователно на изпитвания образец е включен резистор R_1 , в краищата на който се получава напрежение, пропорционално на фототока и върху екрана на осцилоскопа N се наблюдава кривата от фиг.4.5. При известна стойност на честотата f от картината и въз основа на уравнение (4.7) се определя времето на живот на неравновесните токоносители τ_0 :

$$\tau_0 = \frac{\Delta t}{\ln 2} = \frac{1}{\ln 2} \frac{\overline{CD}}{f \overline{AB}},$$

където дължините на отсечките \overline{AB} и \overline{CD} се измерват в скални деления от екрана на осцилоскопа.

По точка 4 от заданието

А. Волтамперните характеристики на термистор и варистори се снимат чрез опитна постановка, чиято схема е показана на фиг. 4.12. Задава се токът и се отчита напрежението в краищата на изследвания елемент.



Фиг. 4.12

Термисторът се загрева от тока, преминаващ през него, съпротивлението му намалява, съответно се изменя и напрежението. Това не се осъществява мигновено, поради което е необходимо при всяка зададена стойност на тока да се изчаква $1,5 \div 2$ min преди отчитане на напрежението.

Изследват се 2 варистора. Габаритните им размери са по-големи, а токът през тях е по-малък и не ги загрева. Затова опитът може да се извършва по-

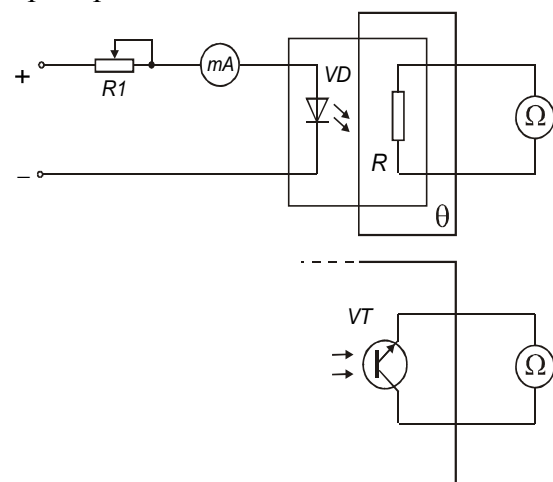
бързо без изчакаване. За всяко измерване се определя съпротивлението по закона на Ом:

$$R = \frac{U}{I} \quad (4.16)$$

За 3 различни участъка от волтамперната характеристика (в началото, средата и края) се изчислява коефициентът на нелинейност β по уравнение (4.9), като се използват по 2 съседни стойности на тока и съответните напрежения.

Б. Зависимостта $G_{\Phi} = G_{\Phi}(\Phi)$ се снима за фоторезистор и фототранзистор.

Източник на светлина е светодиода VD , през който се изменя токът I и пропорционално на него - светлинният поток Φ . Съпротивлението на



изследвания образец R се отчита от омметър (фиг.4.13) и се изчислява проводимостта му.

$$G_{\Phi} = \frac{1}{R} \quad (4.17)$$

Фоторезисторът е поместен в термостат и изпитването му се извършва при 2 различни температури: 20°C и 40°C . Получените зависимости $G_{\Phi} = G_{\Phi}(I)$ имат характера на зависимостта $G_{\Phi} = G_{\Phi}(\Phi)$.

Фиг. 4.13

По точка 4.В от заданието

Влиянието на дължината на светлинната вълна λ върху фотопроводимостта G_{Φ} се изследва чрез опитна постановка, подобна на използваната при изпълнение на задача Б. Фоторезисторът се осветява последователно с три светодиода: зелен ($\lambda = 510\text{nm}$), жълт ($\lambda = 590\text{nm}$) и червен ($\lambda = 690\text{nm}$). Измерва се съпротивлението му и се изчислява G_{Φ} .

Резултатите от измерванията и изчисленията се представят в табличен и графичен вид.

4.4. Тест за самопроверка

1. Кои са носителите на електричен ток в чистите (без примеси) полупроводници?

- Само свободни електрони.
- Дупки и свободни електрони.
- Свободни йони.

2. Какво дупка в полупроводник?

- Положителен йон.
- Липса на електрон във валентна връзка.
- Ваканция в кристала – място, където трябва да има атом, е свободно.

3. Какво е донор?

а) Примесни атоми в полупроводник, които предизвикват дупчеста проводимост.

б) Примесни атоми в полупроводник, които предизвикват електронна проводимост.

в) Примесни атоми, които понижават електропроводимостта на полупроводниците.

4. Как се получава полупроводник с дупчеста проводимост?

а) Под действие на висока температура или на светлина валентни електрони се откъсват от атомите. В атомите се образуват вакантни места – дупки.

б) Чрез легиране с елемент, чиято валентност е по-голяма от валентността на полупроводника.

в) Чрез легиране с елемент, чиято валентност е по-малка от валентността на полупроводника.

5. Какво е акцептор?

а) Примесни атоми в полупроводник, които предизвикват дупчеста проводимост.

б) Примесни атоми в полупроводник, които предизвикват електронна проводимост.

в) Примесни атоми, които понижават електропроводимостта на полупроводниците.

6. При абсолютната нула (0, К) чистият (без примеси) полупроводник е

а) диелектрик;

б) проводник;

в) свръхпроводник.

7. Основни токоносители в *N*-полупроводник са:

а) електрони;

б) дупки;

в) положителни йони;

г) отрицателни йони.

8. Неосновни токоносители в *N*-полупроводник са:

а) електрони;

б) дупки;

в) отрицателни йони;

г) положителни йони.

9. Основни токоносители в *P*-полупроводник са:

а) електрони;

б) дупки;

в) положителни йони;

г) отрицателни йони.

10. Несновни токоносители в P -полупроводник са:

- а) електрони;
- б) дупки;
- в) положителни йони;
- г) отрицателни йони.

11. Посочете правилното уравнение, изразяващо зависимостта на електричното съпротивление на полупроводников материал от температурата (в неширок температурен интервал).

- а) $R = R_{\infty} e^{\frac{b}{T}}$; б) $R = R_{\infty} e^{-\frac{T}{b}}$;
- в) $R = R_{\infty} e^{\frac{T}{b}}$; г) $R = R_{\infty} e^{-\frac{b}{T}}$.

12. Кое твърдение за величината R_{∞} в уравнението, изразяващо зависимостта на съпротивлението на полупроводников образец от температурата, не е вярно?

- а) R_{∞} има смисъл на съпротивление при безкрайно висока температура.
- б) R_{∞} е безкрайно голяма величина.
- в) R_{∞} е малка, но крайна величина.

13. Посочете правилното уравнение за енергията на активация ΔW на полупроводник.

- а) $\Delta W = \frac{2k}{b}$; б) $\Delta W = 2kb$; в) $\Delta W = \frac{2b}{k}$;

14. По какъв закон се изменя концентрацията на неравновесните токоносители n в осветен фоторезистор (фотодиод или фототранзистор) след затъмняване (n_0 установена концентрация при осветяване, t - време, τ_0 - време на живот на неравностните токоносители).

- а) $n = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right)$;
- б) $n = n_0 \left(1 - e^{\frac{t}{\tau_0}} \right)$;
- в) $n = n_0 \left(1 + e^{\frac{t}{\tau_0}} \right)$;
- г) $n = n_0 \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right)$.

15. Как се изменя фототокът I_{ϕ} през осветен фоторезистор (фотодиод или фототранзистор) след затъмняване ? ($I_{\phi 0}$ - установен ток при осветяване).

$$\text{a) } I_{\phi} = I_{\phi 0} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right);$$

$$\text{б) } I_{\phi} = I_{\phi 0} \left(1 + e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right);$$

$$\text{в) } I_{\phi} = I_{\phi 0} e^{-\frac{t}{\tau_0}};$$

$$\text{г) } I_{\phi} = I_{\phi 0} e^{\frac{t}{\tau_0}}.$$

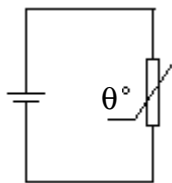
16. Какво е термистор?

а) Вид полупроводников резистор, чието електрично съпротивление нараства с увеличаване на приложеното върху него напрежение.

б) Вид полупроводников резистор, чието електрично съпротивление намалява при повишаване на температурата.

в) Вид полупроводников резистор, чието електрично съпротивление нараства при повишаване на температурата.

17. Как ще се промени електричният ток в схемата, показана на чертежа, ако се загрее термисторът?



а) Токът ще се намали, защото термисторът има отрицателен температурен коефициент на електричното съпротивление.

б) Токът ще се увеличи, защото термисторът има отрицателен температурен коефициент на съпротивлението.

в) Токът ще се увеличи, защото термисторът има положителен температурен коефициент на съпротивлението.

18. Какво е варистор?

а) Вид полупроводников резистор, чието съпротивление нараства при увеличаване на приложеното върху него напрежение.

б) Вид полупроводников резистор, чието съпротивление нараства при повишаване на температурата.

в) Вид полупроводников резистор, чието съпротивление намалява при увеличаване на приложеното върху него напрежение.

19. От какви материали се изработват варисторите?

а) Силициев карбид (SiC) + свързващо вещество.

б) Оксиди (CuO , NiO , Mn_3O_4).

в) Сулфида (CdS , PbS).

20. Посочете правилното уравнение за коефициент на нелинейност на варистор.

$$\text{а) } \beta = \frac{\lg \frac{I_1}{I_2}}{\lg \frac{U_1}{U_2}};$$

$$\text{б) } \beta = \frac{\lg \frac{I_1}{I_2}}{\lg \frac{U_2}{U_1}}$$

$$\text{в) } \beta = \frac{\lg \frac{R_1}{R_2}}{\lg \frac{U_1}{U_2}}$$

$$\text{г) } \beta = \frac{\lg \frac{I_1}{I_2}}{\lg \frac{R_1}{R_2}}$$

21. От какви материали се изработват фоторезисторите?

- а) Силициев карбид (SiC) + свързващо вещество.
- б) Оксиди (CuO, NiO, Mn_3O_4)
- в) Сулфиди (CdS, PbS)

22. Какво е фоторезистор?

а) Вид полупроводников резистор, чието съпротивление се увеличава при осветяване.

б) Вид полупроводников резистор, чието съпротивление намалява при осветяване.

в) Вид полупроводников резистор, който излъчва светлина при преминаване на ток през него.

23. Как се изменя проводимостта на осветен фоторезистор при повишаване на температурата?

а) Намалява.

б) Увеличава се.

в) Влиянието на температурата върху проводимостта на фоторезистор е несъществено.