

WFiiS	Imię i nazwisko: 1. 2.		ROK	GRUPA	ZESPÓŁ
PRACOWNIA FIZYCZNA I i II	TEMAT:				NR ĆWICZENIA
Data wykonania:	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zliczenia:	OCENA

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie szerokości przerwy energetycznej przez pomiar zależności oporności elektrycznej monokryształu germanu od temperatury.

Wstęp teoretyczny:

Półprzewodniki ogólnie mówiąc, są to substancje, które ze względu rezystywność można umiejscowić między izolatorami, a przewodnikami. Podając mały przykład:

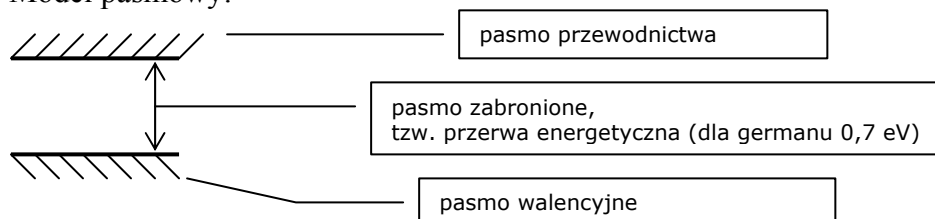
-miedź: $10^{-8} \Omega/m$ (przewodnik);

-mika: $10^{14} \Omega/m$ (izolator);

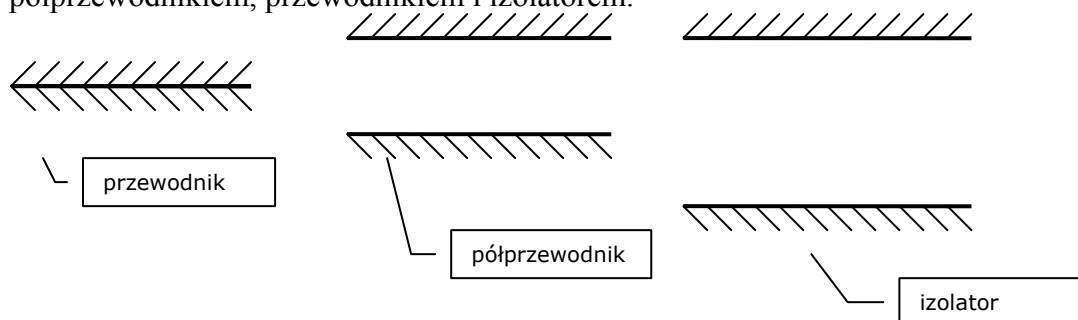
-krzem: $2 \cdot 10^3 \Omega/m$ (półprzewodnik);

można łatwo dostrzec różnicę. Ponadto właściwości półprzewodników silnie zależą od padającego na nie promieniowania oraz temperatury, w której pracują. Wraz z jej wzrostem, wzrasta także liczba swobodnych nośników w półprzewodniku. Za to w przewodniku następuje wzrost rozpraszania nośników na fononach, czyli w efekcie wzrasta rezystywność.

Model pasmowy:



Na poniższym rysunku można zobaczyć różnicę pokazaną na modelu pasmowym między półprzewodnikiem, przewodnikiem i izolatorem.



Półprzewodniki samoistne to półprzewodniki bez dodanych domieszek (krzem, german czy też GaAs), a nośnikami w nich są elektrony i dziury. Wzrost ilości nośników jest spowodowany m.in. temperaturą oraz promieniowaniem (kwanty światła wybijają elektrony). Półprzewodnik samoistny charakteryzuje się tym, że ilość dziur jest równa ilości elektronów. Najczęściej jednak używamy (np.: tranzystory) półprzewodników domieszkowych. Rozróżniamy dwa rodzaje: typu N (donorowe) i typu P (akceptorowe).

Jeżeli półprzewodnik będziemy domieszkować pierwiastkami z grupy V (np.: fosfor, arsen, antymon) otrzymamy półprzewodnik donorowy, w którym nośnikami większościowymi będą elektrony. Model pasmowy takiego półprzewodnika dodatkowo składa się z dodatkowo zjonizowanych poziomów umieszczonych w przerwie energetycznej blisko pasma przewodnictwa.

Półprzewodniki typu P powstają poprzez domieszkowanie pierwiastkami z grupy III (np.: bor, aluminium, gal). W tym przypadku nośnikami większościowymi są dziury, a tzw. Poziomy dozwolone znajdują się bliżej pasma walencyjnego.

Przypadek najbardziej rzeczywisty to taki, w którym mamy domieszki obu rodzajów. W takim przypadku rodzaj półprzewodnika określamy na podstawie ilości domieszek. Jeżeli jest więcej domieszek donorowych to półprzewodnik jest typu N, jeżeli akceptorowych to typu P. Kolejnym przypadkiem, na który należy zwrócić uwagę jest taka sama ilość domieszek donorowych i akceptorowych. Półprzewodnik, w którym zachodzi takie zjawisko nazywamy półprzewodnikiem skompensowanym.

Nośnikami w półprzewodnikach są elektrony i dziury (dziura to „brak” elektronu).

Najlepszą ilustracją koncentracji nośników w półprzewodnikach domieszkowanych od temperatury będzie wykres:

W temperaturze 0-150K wzrasta ilość zjonizowanych atomów domieszek. Kolejnym charakterystycznym przedziałem temperaturowym jest 150-450K (300K to w przybliżeniu temperatura pokojowa), w którym koncentracja jest stała, a wszystkie atomy domieszek są zjonizowane. Powyżej 450K wzrasta koncentracja nośników za przyczyną nośników samoistnych.

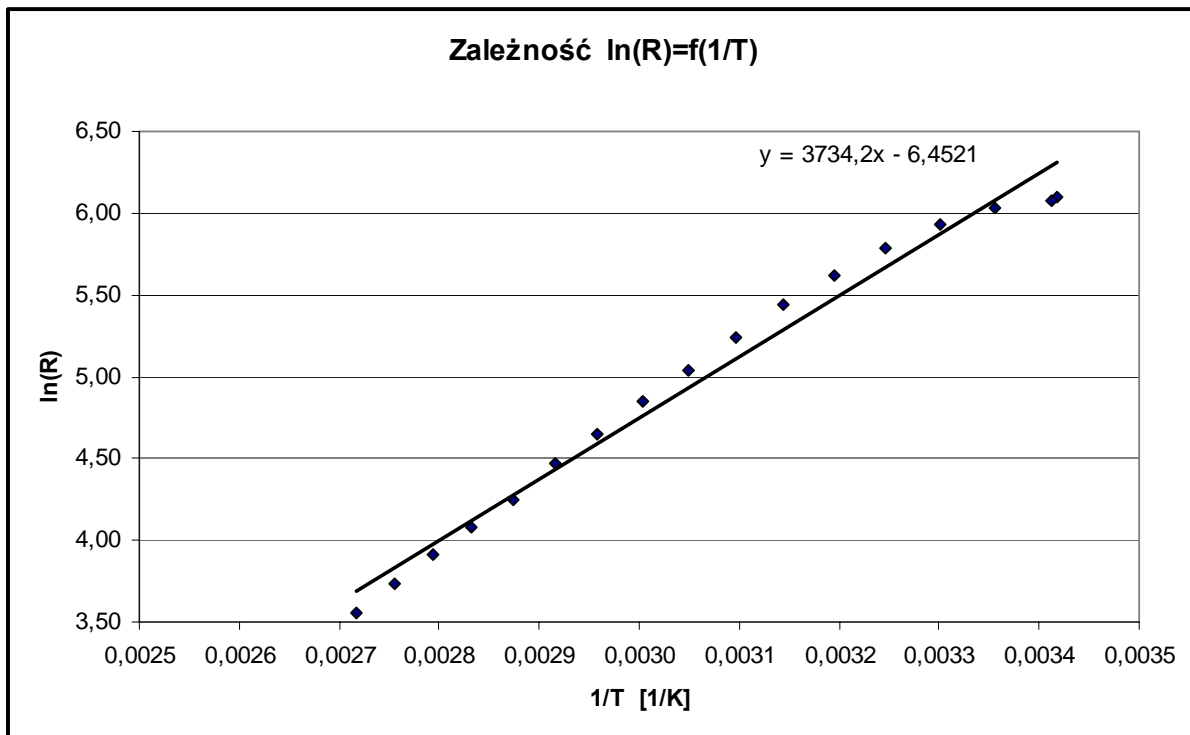
Dla pewnego ciekawego zjawiska można pokazać wykres konduktywności od odwrotności temperatury.

- 1-zakres jonizacji domieszek;
- 2-zakres stałej koncentracji domieszek (wszystkie domieszko są zjonizowane), wraz ze wzrostem temperatury wzrastają efekty związane z rozpraszaniem na fononach;
- 3-zakres wzrostu generacji nośników samoistnych;

Wyniki pomiarów (dla germanu):

t [°C]	R [Ω]	T [K]	1/T [1/K]	logR
19,6	445	292,6	0,0034	6,10
20,0	435	293,0	0,0034	6,08
25,0	415	298,0	0,0034	6,03
30,0	377	303,0	0,0033	5,93
35,0	324	308,0	0,0032	5,78
40,0	275	313,0	0,0032	5,62
45,0	230	318,0	0,0031	5,44
50,0	189	323,0	0,0031	5,24
55,0	155	328,0	0,0030	5,04
60,0	127	333,0	0,0030	4,84
65,0	104	338,0	0,0030	4,64
70,0	87	343,0	0,0029	4,47
75,0	70	348,0	0,0029	4,25
80,0	59	353,0	0,0028	4,08
85,0	50	358,0	0,0028	3,91
90,0	42	363,0	0,0028	3,74
95,0	35	368,0	0,0027	3,56

Opracowanie wyników pomiarów (dla germanu):



Na powyższym wykresie jest przedstawiona zależność logarytmu naturalnego oporu próbki germanu od odwrotności temperatury. Prosta na wykresie jest dopasowana metodą najmniejszych kwadratów. Równanie regresji liniowej:

$$y = 3734,2x - 6,4521$$

Później odpowiednie współczynniki będziemy nazywać:

a = 3734,2 (współczynnik kierunkowy prostej)

b = -6,4521

Wartość przerwy energetycznej została obliczona ze wzoru: $E_g = 2ak$, gdzie a to współczynnik kierunkowy prostej, a k to stała Boltzmana, $k = 8,617 \cdot 10^{-5} [eV/K]$.

Przerwa energetyczna w germanie wynosi:

$$E_g = 0,64eV$$

Niepewność współczynnika kierunkowego u(a) policzyliśmy ze wzoru:

$u(a) = \sqrt{\frac{n}{n-2} \frac{S^2}{W}}$ gdzie n to liczba wykonanych pomiarów, a pozostałe wartości wyrażają się

wzorami: $S^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2$ i $W = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - [\sum_{i=1}^n x_i]^2$.

Po wstawieniu danych do wzorów otrzymaliśmy niepewność u(a)=132,58.

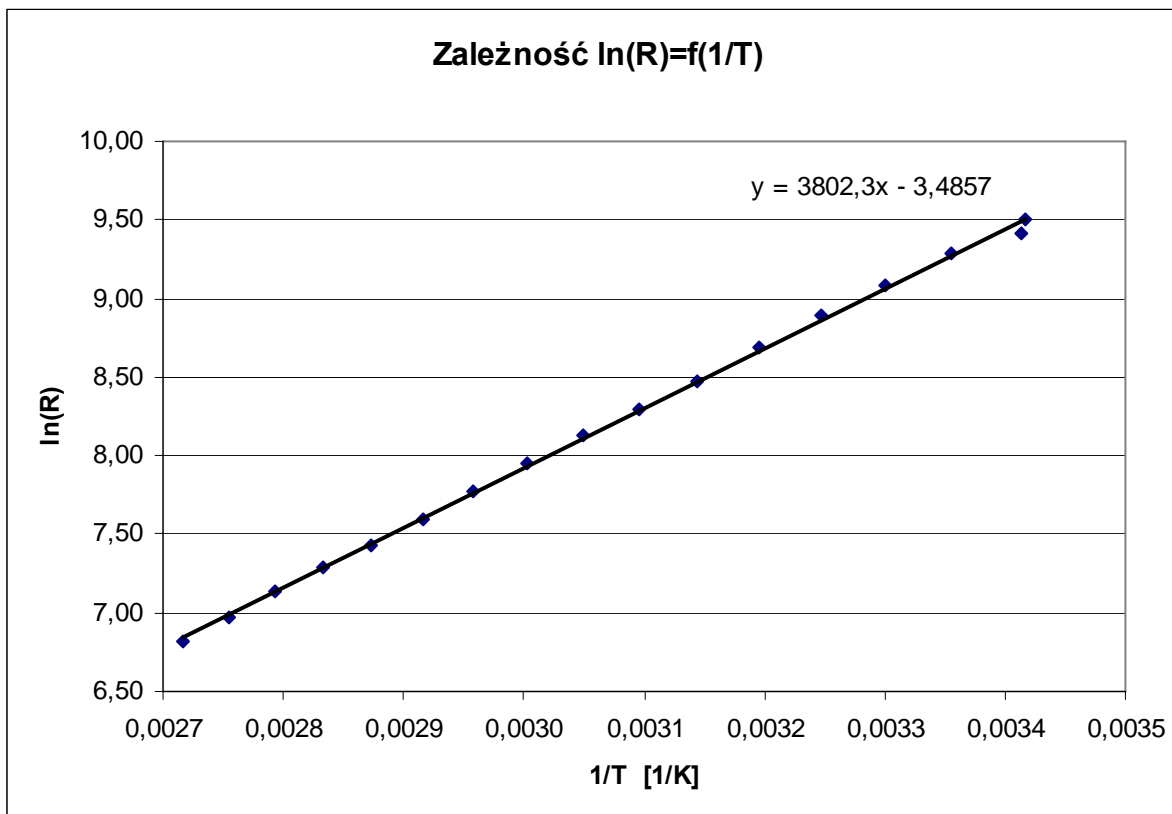
Ostatecznie szerokość energetyczna w germanie wynosi:

$$E_g = 0,64(0,02)eV$$

Wyniki pomiarów (dla termistora):

t [°C]	R [kΩ]	T [K]	1/T [1/K]	logR
19,6	13,34	292,6	0,0034	9,50
20,0	12,25	293,0	0,0034	9,41
25,0	10,82	298,0	0,0034	9,29
30,0	8,78	303,0	0,0033	9,08
35,0	7,25	308,0	0,0032	8,89
40,0	5,96	313,0	0,0032	8,69
45,0	4,79	318,0	0,0031	8,47
50,0	3,98	323,0	0,0031	8,29
55,0	3,38	328,0	0,0030	8,13
60,0	2,83	333,0	0,0030	7,95
65,0	2,36	338,0	0,0030	7,77
70,0	2,00	343,0	0,0029	7,60
75,0	1,69	348,0	0,0029	7,43
80,0	1,46	353,0	0,0028	7,29
85,0	1,25	358,0	0,0028	7,13
90,0	1,07	363,0	0,0028	6,98
95,0	0,92	368,0	0,0027	6,82

Opracowanie wyników pomiarów (dla termistora):



Powyższy wykres przedstawia zależność $\ln(R)=f(1/T)$ dla termistora. Prosta na wykresie została dopasowana za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Oto wzór prostej regresji:
 $y = 3802,3x - 3,4857$

Wiemy, że wartość współczynnika $B=a$, gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej regresji, stąd:

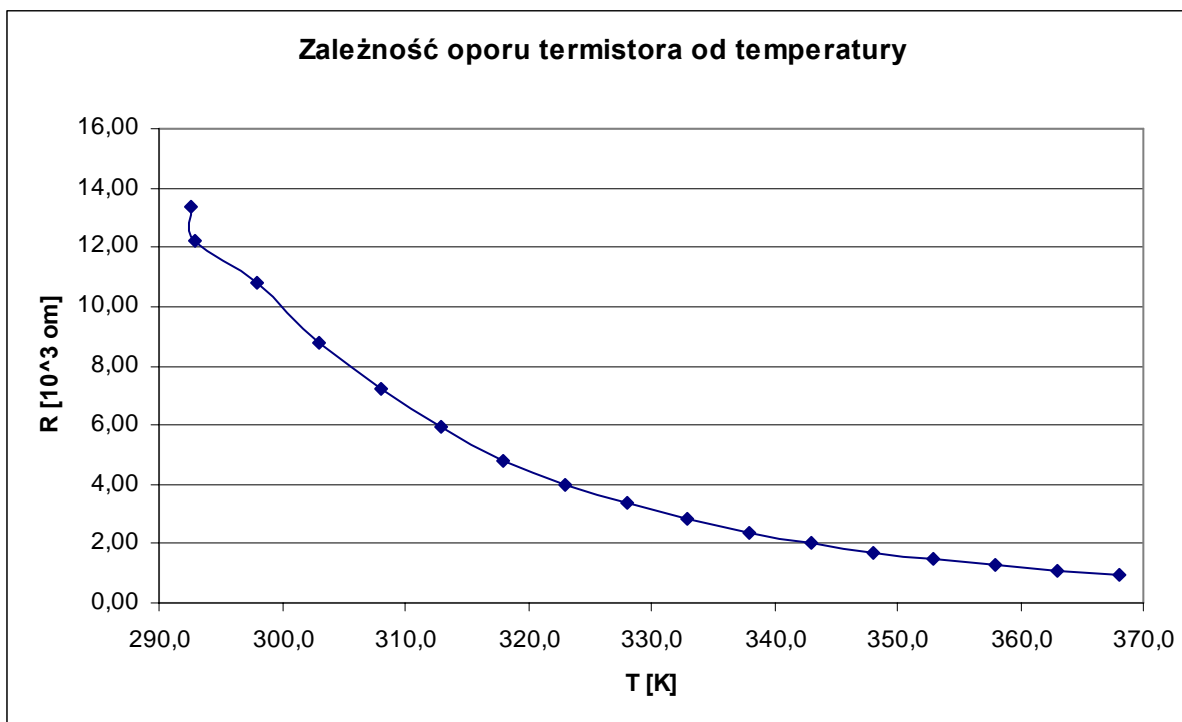
$$B = a = 3802 \text{ [K]}$$

Przeprowadzając identyczne rozumowanie jak dla germanu otrzymujemy wartość niepewności współczynnika kierunkowego:

$$u(a) = u(B) = 27,7 \approx 28 \text{ [K]}$$

Ostatecznie wartość współczynnika B jest równa:

$$B = 3802(28)K$$



Powyższy wykres przedstawia zależność oporu termistora od temperatury. Jak widać jest on bardzo dobrym potwierdzeniem teorii mówiącej o tym, iż wraz ze wzrostem temperatury maleje opór, a w rezultacie rezystywność półprzewodnika.

Wnioski:

Wartość przerwy energetycznej w germanie udało się nam wyznaczyć z dokładnością do 3%. Jednocześnie potwierdziliśmy fakt, że wraz ze wzrostem temperatury maleje opór półprzewodnika. Dzięki dokładności i sprawności dostępnych urządzeń przeprowadzenie tego ćwiczenia było przyjemnością.

Załączniki:

[1] – wykresy zależności $\ln(R)=f(1/T)$ wykonane w pracowni laboratoryjnej dla krzemu i termistora;

Poprawa (wnioski do termistora):

Po wykonaniu ćwiczenia i opracowaniu wyników można stwierdzić, że opór termistora maleje wraz ze wzrostem temperatury. Jest to spowodowane znacznym zwiększeniem ilości nośników swobodnych. Fakt ten doskonale potwierdza założenia teoretyczne.

W wyniku spracowania pomiarów dla termistora otrzymaliśmy następującą wartość współczynnika $B_{25/85} = 3780K$. Analizując poniższą tabelkę:

$R_{25}[k\Omega]$	4,7	6,8	10	12	15	22	33	47	68	100
$B_{25/85}[K]$	3977	3977	3977	3740	3740	3740	4090	4090	4190	4190

możemy dojść do wniosku, że opór termistora w okolicy $25^{\circ}C$ (298K) wynosił w przybliżeniu 10 k Ω , co potwierdzają nasze pomiary.