



Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Katedra Urządzeń Elektrycznych i TWN  
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A  
[www.kueitwn.pollub.pl](http://www.kueitwn.pollub.pl)

---

## LABORATORIUM INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Protokół do ćwiczenia **nr 6**

### Pomiar podstawowych właściwości materiałów półprzewodnikowych

Grupa dziekańska:.....

Data wykonania ćwiczenia: .....

Grupa laboratoryjna: .....

Godzina wykonania ćwiczenia: .....

Skład zespołu wykonującego ćwiczenie:

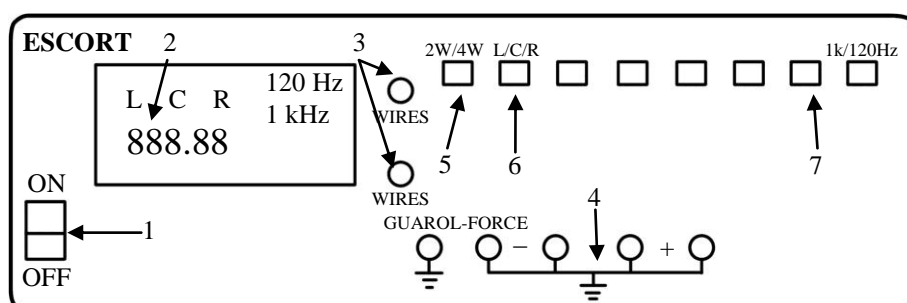
1. ....
2. ....
3. ....
4. ....

## 1. PROGRAM ĆWICZENIA

### 1.1. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne składa się z urządzenia do pomiaru rezystancji, współpracującego z mostkiem RLC ESCORT. Urządzenie to składa się z kadzi wypełnionej olejem, który jest podgrzewany przez grzałkę oraz cylindrycznego pojemnika z próbkami zanurzonego w oleju. Do próbek przymocowane są elektrody, których wyprowadzenia dołączone są do dodatkowych zacisków, dzięki czemu ułatwione jest dołączanie mostka ESCORT.

Pomiar temperatury realizowany jest przez cyfrowy termometr z dołączoną termoparą zanurzoną w oleju.

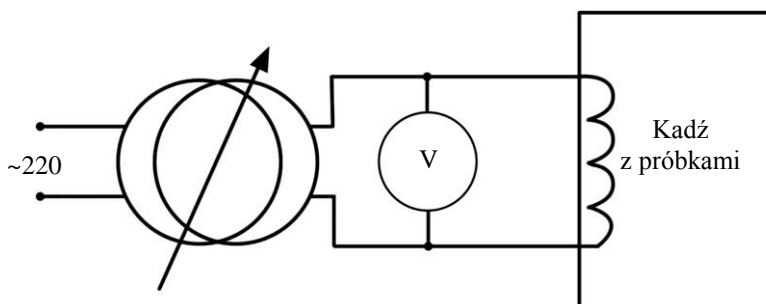


Rys. 1. Wygląd płyty czołowej miernika ESCORT, wraz z przełącznikami wykorzystywanymi podczas pomiarów

Oznaczenia do rysunku 1:

- 1 - zasilanie,
- 2 - wyświetlacz,
- 3 - wskaźniki przełączników przewodów zasilających urządzenie,
- 4 - gniazda przewodów,
- 5 - przełącznik zmiany przewodów zasilających (2 prądowe, 2 napięciowe),
- 6 - przełącznik badanej wielkości (indukcyjność, pojemność, rezystancja),
- 7 - przełącznik zmiany częstotliwości próbkowania 1 kHz/120 Hz.

Bardzo ważna podczas tego ćwiczenia jest szybkość nagrzewania próbek (możliwie wolno), dlatego grzałka zasilana jest przez autotransformator, dzięki czemu mamy możliwość regulacji napięcia zasilania, a więc i mocy grzałki.



Rys. 2. Schemat zasilania grzałki

## 1.2. Próbki do badań

Do badań konduktywności wykorzystano trzy pierwiastki takie jak krzem (Si), german (Ge) oraz arsenek galu (GaAs). Próbki Si i GaAs są płytkami o grubości  $d = 0,5$  mm, natomiast próbka Ge ma kształt prostopadłościanu o długości  $d = 14,2$  mm. Powierzchnie próbek, na które naniesiono elektrody zostały wypolerowane, a następnie umyte acetonem. Elektrody zostały wykonane z pasty srebrnej o powierzchni  $S$  (tabela 1), która po zaschnięciu ma konsystencję ciała stałego i wykazuje właściwości przewodzące zbliżone do srebra, a więc nie ma wpływu na pomiary rezystancji próbki. Próbki zostały połączone z zaciskami, do których podłączamy mostek RLC ESCORT.

Tabela 1. Zestawienie wymiarów próbek istotnych do opracowania wyników badań

	$S, \text{cm}^2$	$d, \text{cm}$
<b>Si</b>	0,001	0,5
<b>Ge</b>	0,0756	1,42
<b>GaAs</b>	0,07069	0,05

## 2. PRZEPROWADZENIE POMIARÓW

### 2.1. Pomiar rezystancji półprzewodników

Pomiary rezystancji próbek półprzewodników przeprowadza się w następujący sposób:

- podłączyć grzałkę kadzi do autotransformatora (rysunek 2),
- umieścić sondę termometru w kadzi w taki sposób, aby nie dotykała dna, a następnie przełączyć termometr na pomiar w  $^{\circ}\text{C}$ ,
- podłączyć miernik do zacisków tak, aby jeden przewód był połączony z zaciskiem N, natomiast drugi umożliwiał przełączanie na zaciski Si, Ge i GaAs, co umożliwi łatwy pomiar rezystancji trzech półprzewodników (krzem, german i arsenek galu),
- podłączyć oba przewody do miernika, do gniazd wyjściowych (+) oraz (-), oznaczonych numerem 4 (rysunek 1),
- przełącznikiem 5 (rysunek 1) przełączyć na pomiar dwoma przewodami (wskaźniki oznaczone numerem 3, rysunek 1),
- przełącznikiem 6 (rysunek 1) ustawić miernik na pomiar rezystancji, na wyświetlaczu LCD zaświeci się „R”,
- pomiary wykonać przy częstotliwości próbkowania 1 kHz, a następnie przełącznikiem 7 (rysunek 1) zmienić częstotliwość na 120 Hz, co zostanie zasygnalizowane informacją na wyświetlaczu miernika i ponownie wykonać pomiary.

Multimetr ESCORT sam dobiera zakres pomiarowy, w związku z czym po przełączeniu próbki należy chwilę zaczekać. Przed przystąpieniem do pomiaru rezystancji (przed włączeniem grzałki) należy połączyć układ oraz ustawić wszystkie parametry na przyrządach.

Pierwszy pomiar rezystancji wykonujemy w temperaturze otoczenia, następnie autotransformatorem regulujemy napięcie w taki sposób, aby próbki półprzewodników nagrzewały się w miarę wolno, umożliwiając równomierne ich nagrzewanie oraz odczyt wartości rezystancji, a z drugiej strony, aby zdążyć wykonać ćwiczenie w przewidzianym czasie.

Wartości napięcia zasilania grzałki wyznaczono doświadczalnie. Dla temperatury  $t < 80^{\circ}\text{C}$   $U = 90\text{ V}$ , natomiast po przekroczeniu  $80^{\circ}\text{C}$  napięcie należy podnieść do  $U = 110\text{ V}$ .

Temperatura w K obliczana jest według wzoru:

$$T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 \quad (1)$$

Wyniki pomiarów i obliczeń należy zanotować w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów rezystancji próbek półprzewodników

$T$	$T$	$1000/T$	$R_{Si}$	$R_{Ge}$	$R_{GaAs}$	$\sigma_{Si}$	$\sigma_{Ge}$	$\sigma_{GaAs}$
$^{\circ}\text{C}$	K	1/K	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$1/\Omega \cdot \text{cm}$	$1/\Omega \cdot \text{cm}$	$1/\Omega \cdot \text{cm}$
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								
95								
100								
105								
110								
115								

120								
125								
130								
135								
140								
145								
150								
155								
160								

## 2.2. Opracowanie wyników pomiarów

Tabelę 2 należy uzupełnić wartościami konduktywności  $\sigma$ , dla badanych półprzewodników, wyliczonymi ze wzoru:

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{l}{S} \quad (2)$$

Po wykonaniu obliczeń należy wykreślić charakterystyki  $\ln\sigma = f(1000/T)$  dla badanych próbek. Z wykresu należy wybrać odcinek prostoliniowy o największej stromości i odczytać wartości  $\sigma_1, \sigma_2$  oraz  $1000/T_1, 1000/T_2$ . Następnie należy obliczyć wartości  $E_g$ , korzystając ze wzoru:

$$\Delta E = E_g = \frac{\ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot 2000k}{\frac{1000}{T_1} - \frac{1000}{T_2}} \quad (3)$$

Wartość stałej Boltzmanna  $k = 8,617 \cdot 10^{-5}$  eV/K.

## 3. OPRACOWANIE SPRAWOZDANIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

- schematy układów pomiarowych,
- tabelę z wynikami pomiarów i obliczeń,
- przykładowe obliczenia,
- charakterystyki  $\ln\sigma = f(1000/T)$ ,
- prostoliniowy fragment charakterystyki, z którego odczytano  $\sigma_1, \sigma_2, 1000/T_1, 1000/T_2$ ,
- obliczoną wartość  $E_g$ ,
- uwagi i wnioski odnośnie otrzymanych wyników z komentarzem.

#### 4. PYTANIA KONTROLNE

- Modele pasmowe dla metalu, półprzewodnika i dielektryka.
- Półprzewodnik samoistny i domieszkowany, rodzaje domieszkowania.
- Zależność koncentracji nośników w zależności od temperatury, wzory.
- Podział diod, charakterystyki.
- Co to jest półprzewodnik?
- Złącze p - n, właściwości.

#### 5. LITERATURA

- Marciniak W.: *Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone*. Warszawa, WNT 1979.
- Streetman B.: *Przyrządy półprzewodnikowe*. Warszawa, WNT 1976.
- Wert C.A., Thomson R.M.: *Fizyka ciała stałego*. Warszawa, PWN 1974.
- Bany B., Tęсны W.: *Diody i tranzystory mocy*. Warszawa, WNT 1988.
- Januszewski S., Świątek H.: *Diody i tyrystory w pytaniach i odpowiedziach*. Warszawa, WNT 1984.
- Kaźmierkowski M.P., Matysik J.: *Podstawy elektroniki i elektroenergetyki*. Warszawa, Wyd. Politechniki Warszawskiej 1990.
- Rusek M.: *Materiałoznawstwo elektroniczne*. Warszawa, Wyd. Wojskowej Akademii Technicznej 1971.