

## Ćwiczenie 5

# BADANIE ZALEŻNOŚCI PRZEWODNICTWA ELEKTRYCZNEGO PÓLPRZEWODNIKA OD TEMPERATURY



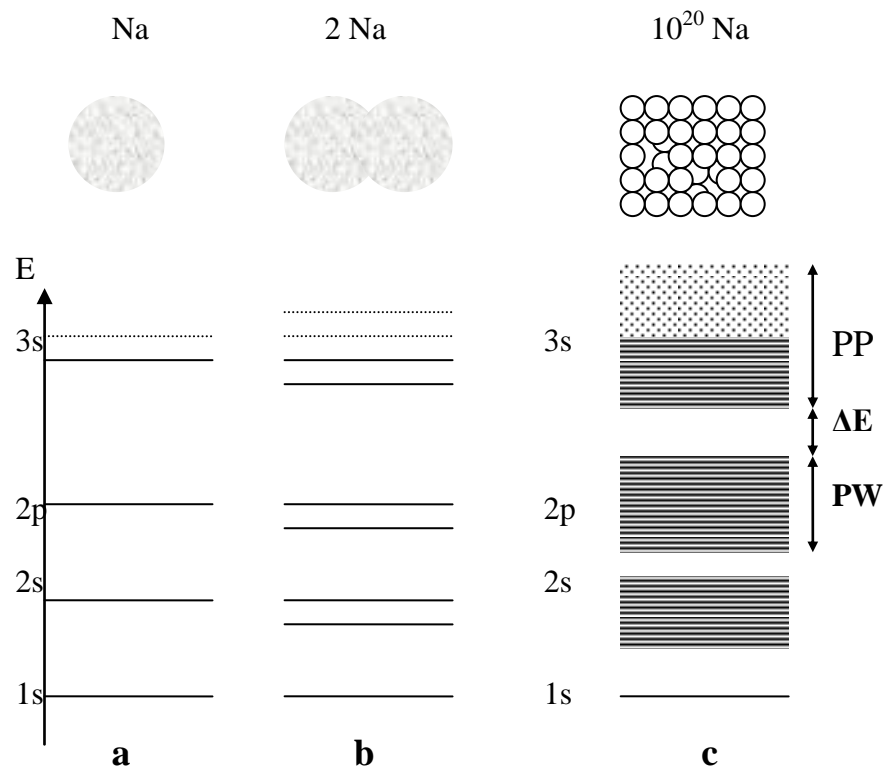
### 1. WIADOMOŚCI OGÓLNE

Przewodnictwo elektryczne ciał stałych można opisać korzystając z teorii pasmowej. W swobodnych atomach elektrony mają ściśle określoną energię i znajdują się w określonym stanie kwantowym. W wyniku zbliżenia swobodnych atomów następuje nakładanie się na siebie chmur elektronów sąsiednich atomów. Ponieważ zgodnie z zakazem Pauliego dwa elektrony nie mogą zajmować tego samego stanu kwantowego, takie oddziaływanie powoduje niewielkie zmiany energii elektronów. Następuje rozszczepienie stanów energetycznych. Gdy kryształ zawiera  $10^{20}$  atomów, wtedy istnieje tak wiele stanów kwantowych, że zlewają się one w continuum energii i tworzą ciągle pasmo energii dozwolonych. Całkowicie wypełnione przez elektrony pasmo o najwyższej energii nazywamy **pasmem walencyjnym**. Jeśli pasmo o najwyższej energii jest częściowo wypełnione takie pasmo nazywamy **pasmem przewodnictwa**. Między pasmem przewodnictwa i walencyjnym istnieje pasmo energii zabronionych zwane przerwą energetyczną  $\Delta E$ .

Materiały, w których w temperaturze 0 K pasmo walencyjne jest całkowicie wypełnione, pasmo przewodnictwa jest całkowicie puste, a przerwa energetyczna  $\Delta E$  jest większa od około 2eV nazywamy **dielektrykami**. Elektrony z wypełnionego pasma walencyjnego nie biorą udziału w przewodzeniu prądu i dlatego dielektryki są dobrymi izolatorami. Wynika to z tego, że wypadkowy ruch elektronów w zewnętrznym polu elektrycznym w ciele stałym może nastąpić, jeśli istnieje możliwość zmiany ich stanów kwantowych.

**Przewodnikami** nazywamy materiały, dla których nawet w temperaturze 0 K pasmo przewodnictwa jest częściowo wypełnione. Elektrony mając do wyboru wiele pustych stanów kwantowych, pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego będą poruszały się w kierunku dodatniego potencjału. Taki uporządkowany ruch nośników ładunku (elektronów) nazywamy prądem elektrycznym.

Na rysunku 1a przedstawiono atom sodu oraz jego strukturę energetyczną. Poziom **1s, 2s** i **2p** jest całkowicie wypełniony przez elektrony (linie ciągłe) natomiast poziom **3s** jest tylko w połowie wypełniony przez jeden elektron. Połączenie dwóch atomów sodu powoduje rozszczepienie poziomów **2s**, **2p** i **3s** ze względu na wzajemne oddziaływanie elektronów (Rys.1b). Elektrony z najgłębszego poziomu **1s** nie wpływają na siebie, więc ich energie nie ulegają zmianie. Kiedy  $10^{20}$  atomów sodu utworzy kryształ powstaną praktycznie ciągłe pasma energii dozwolonych, czyli całkowicie wypełnione pasmo **2s** i pasmo walencyjne **2p** (**PW** -Rys.1c) oraz w połowie wypełnione pasmo przewodnictwa **3s** (**PP**). Ze struktury pasmowej sodu wynika, że należy on do grupy metali. Podobna analiza potwierdza, że diament jest dobrym dielektrykiem.



Rys.1

**Półprzewodniki** są materiałami o podobnej strukturze energetycznej do dielektryków, lecz o mniejszej przerwie energetycznej ( $\Delta E < \text{ok. } 2\text{eV}$ ). Półprzewodniki w temperaturze 0K są izolatorami. W wyższych temperaturach pojawia się przewodnictwo spowodowane wzbudzeniem niektórych elektronów z zapełnionego pasma walencyjnego do pustego pasma przewodnictwa. Co więcej, w ich miejscu powstają nie zapełnione stany kwantowe umożliwiające ruch elektronów w paśmie walencyjnym. Ruch elektronów z pasma walencyjnego można interpretować jako ruch dodatnio naładowanych dziur. W polu elektrycznym takie dodatnie dziury poruszają się w przeciwnym kierunku do kierunku ruchu elektronów. W efekcie, w półprzewodniku pojawia się przewodnictwo elektronowe i dziurowe. W półprzewodnikach samoistnych liczba elektronów jest równa liczbie dziur. Przewodnictwo półprzewodników samoistnych silnie zależy od wielkości szerokości przerwy energetycznej i temperatury

$$\sigma = \frac{1}{R} = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (13.1)$$

gdzie:  $\sigma_0$  - wartość przewodnictwa gdy  $T$  dąży do nieskończoności,  $k$ -stała Boltzmanna, a  $\Delta E$  jest przerwą energetyczną.

Typowymi półprzewodnikami samoistnymi są krzem i german. Domieszkowanie półprzewodników samoistnych pierwiastkami z III i V grupy układu okresowego pierwiastków zmienia koncentrację dziur i elektronów. Otrzymywane są półprzewodniki z nadmiarem elektronów, czyli typu **n** oraz półprzewodniki z nadmiarem dziur, czyli typu **p**. Odpowiednio domieszkowane półprzewodniki służą do budowy większości urządzeń elektronicznych.

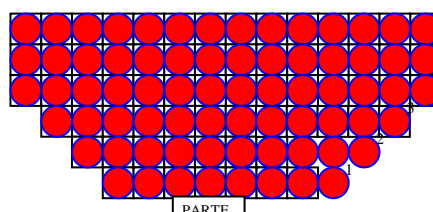
## **Analogia między pasmowym modelem półprzewodnika, a kameralnym kinem.**

**Założenie:** w kinie znajdują się miejsca dla widzów na parterze i na balkonie. Miejsca ustawione są w coraz wyżej ustawionych rzędach (coraz wyższa energia). Balkon znajduje się znacząco wyżej od ostatniego rzędu na parterze. Widzowie zapełniają kino od najniższego rzędu.

**Sytuacja 1.** Parter jest całkowicie zapełniony przez widzów, balkon jest pusty (np. w remoncie).

**Skutek:** z powodu braku miejsc pustych żaden widz **nie** może zmienić miejsca.

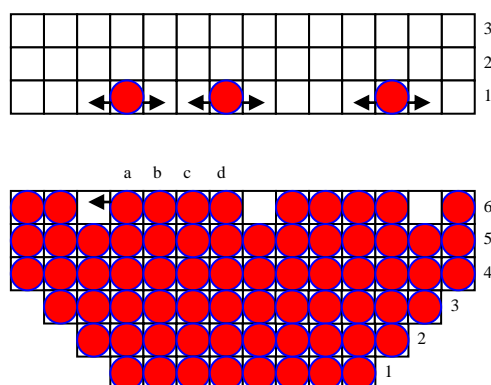
**Analogia:** Jeśli widzowie reprezentują elektrony, a miejsca w kinie dozwolone stany energetyczne to jest to model półprzewodnika w temperaturze 0K gdzie parter jest pasmem walencyjnym, a balkon pasmem zabronionym. Z powodu braku pustych stanów ruch elektronów jest niemożliwy.



**Sytuacja 2.** Z powodu zbyt dużej temperatury panującej w górnych rzędach parteru, mimo problemów trzech widzów wspięło się na balkon.

**Skutek:** trójka widzów na balkonie praktycznie w dowolny sposób może przemieścić się po całym balkonie. Na parterze w ostatnim rzędzie pozostały trzy wolne miejsca. Pozwala to na przemieszczenie się wielu widzów. Na przykład widz **a** na puste miejsce, widz **b** na miejsce po **a**, widz **c** na miejsce po **b** itd. W efekcie takiej sekwencji przesunięcia widzów puste miejsca przewędrowało w prawą stronę. Można powiedzieć, że na balkonie mogą poruszać się widzowie, a na parterze poruszają się puste miejsca.

**Analogia:** wyższa temperatura powoduje wzbudzenie elektronów do pasma przewodnictwa (przejście widzów na balkon) i powstanie dziur w paśmie walencyjnym (puste miejsca na parterze). Możliwy jest ruch elektronów (widzów na balkonie) i dziur (widzów na parterze).



## **2.ZADANIA**

2.1. Wykonać pomiar przewodnictwa elektrycznego próbki półprzewodnika podczas grzania lub chłodzenia. Zakres zmian temperatury podaje prowadzący ćwiczenie, liczba punktów pomiarowych do wyboru.

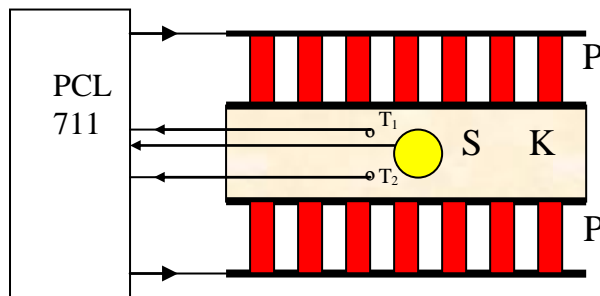
2.2. Wykonać wykresy zależności  $\sigma=f(T)$  i  $\ln\sigma = f(1/T)$ .

2.3. Wyznaczyć metodą regresji liniowej wartość szerokości przerwy energetycznej  $\Delta E$  oraz oszacować niepewność pomiaru.

## **3.ZASADA I PRZEBIEG POMIARU**

Pomiar zależności przewodnictwa próbki półprzewodnika w funkcji temperatury jest realizowany przez sterowany komputerem układ. Dzięki temu można w zadany sposób ustalać temperaturę próbki oraz mierzyć jej przewodność. Dane w postaci pliku tekstowego można przepisać, wydrukować lub opracować za pomocą programów kalkulacyjnych (np. Excel, Origin ...).

**Błąd!**



Rys.1a



Rys.1b

Badana próbka półprzewodnika **S** znajduje się w środku miedzianej komory pomiarowej **K** (Rys.1a). Z obu stron komory pomiarowej znajdują się ogniwa Peltier'a **P**. Ogniwa zbudowane są z wielu elementów półprzewodnikowych znajdujących się między dwoma ceramicznymi płytkami. W wyniku przepływu prądu przez tak zbudowane ogniwo jedna płytka (strona ogniwa) będzie się nagrzewać druga chłodzić. Odpowiednie regulowanie natężeniem i kierunkiem prądu pozwala na sterowanie temperaturą komory w zakresie  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $70^{\circ}\text{C}$ . Pomiar temperatury odbywa się automatycznie za pomocą dwóch czujników półprzewodnikowych **T<sub>1</sub>** i **T<sub>2</sub>** umieszczonych blisko próbki. Wraz z pomiarem temperatury odbywa się standardowy, dwuelektrodowy pomiar oporności badanej próbki. Do sterowania temperaturą i pomiarem oporności zastosowano kartę pomiarową PCL711. Obsługa programu opisana jest w dodatkowej instrukcji przy stanowisku pomiarowym.

*Podstawowym elementem ogniwa Peltier'a jest silnie domieszkowany półprzewodnik (typu p lub n) w kształcie prostopadłościanu (Rys.1b). Każda z podstaw prostopadłościanu jest połączona z metalową elektrodą. W ten sposób tworzą się dwa złącza metal – półprzewodnik (a i b). Przepływowi prądu przez złącze metal- półprzewodnik towarzyszy także przepływ ciepła. Dlatego jedna strona ogniwa ogrzewa się kosztem drugiej. W praktycznym wykonaniu, ogniwa składają się z wielu połączonych półprzewodników n i p znajdujących się między dwiema równoległymi, metalizowanymi płytkami.*

#### 4.ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARU

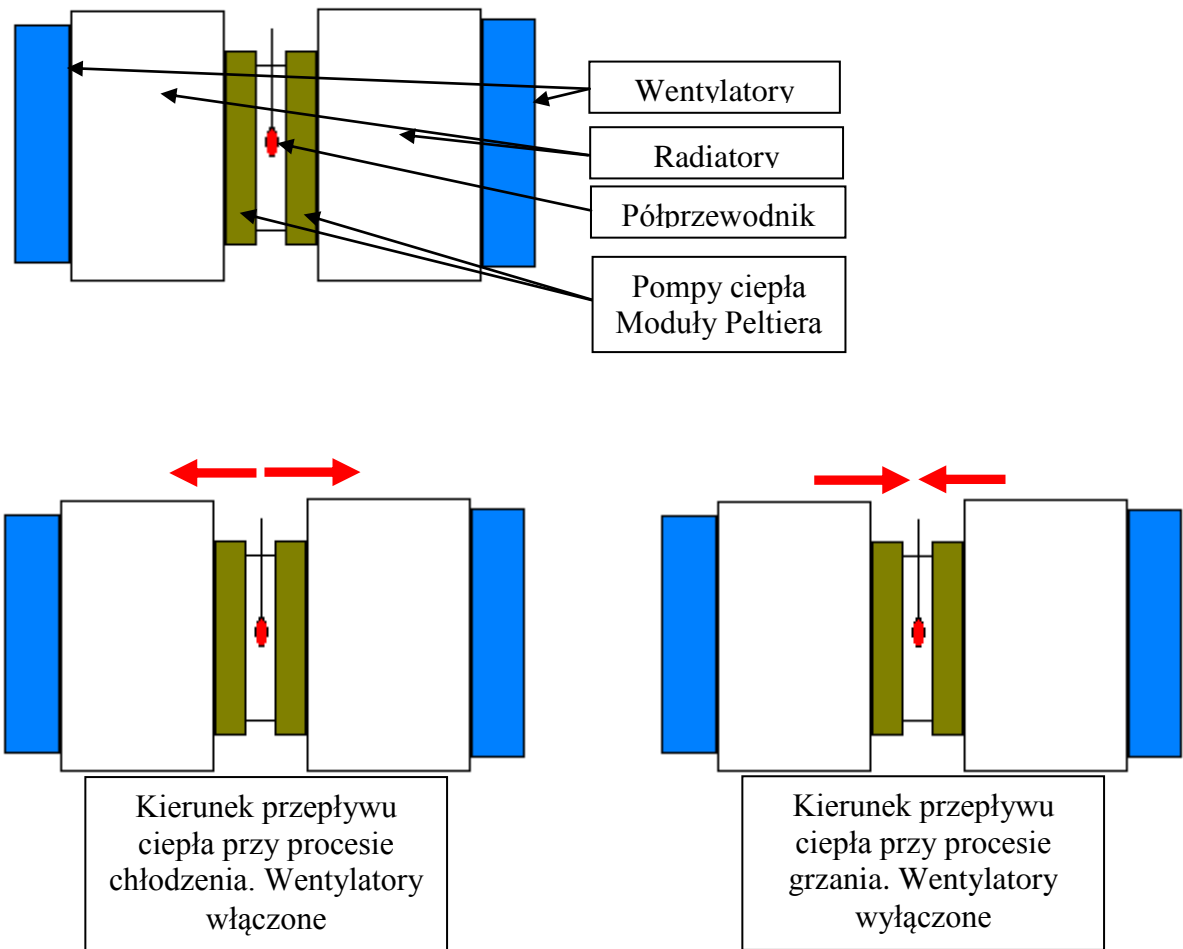
Niepewność wyznaczenia szerokości przerwy energetycznej znajdujemy w postaci odchylenia standardowego **S<sub>a</sub>** współczynnika nachylenia **a** prostej  $\ln\sigma = f(1/T)$ , czyli

$$S_{\Delta E} = 2kS_a . \quad (13.2)$$

Instrukcja wykonania zadania badawczego pt:  
Badanie zależności rezystancji półprzewodnika od temperatury.

Opis układu pomiarowego

1. Komora pomiarowa



2. Program obsługujący ćwiczenie

Program oparty jest na pomiarach napięcia wykonanych za pomocą karty pomiarowej 1208LS.

Aby uruchomić układ pomiarowy należy

1. Włączyć komputer.
2. Włączyć zasilacze układu pomiarowego.
3. Uruchomić program *LAB13*

4. Pomanipulować tak „przyciskami” (start, stop, moc, kierunek..) aby otrzymać wyniki w zakresie podanym przez prowadzącego.