



Politechnika Wroclawska

---

Zakład Kotłów, Spalania i Procesów Energetycznych

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z Konwersji Energii

## **TERMOGENERATOR PÓLPRZEWODNIKOWY**

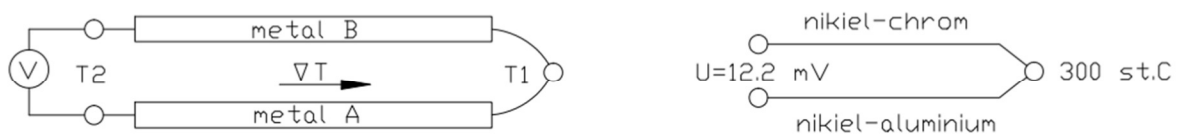
Opracował: **Krzysztof Krochmalny**

Wrocław 2017

## 1. Wstęp teoretyczny

**Zjawiska termoelektryczne** zachodzą w obwodach elektrycznych złożonych z przewodników lub półprzewodników. Charakterystyczne są dla nich zależności pomiędzy procesami cieplnymi i elektrycznymi. Zjawiska termoelektryczne wykorzystywane są do generowania prądu elektrycznego, zmian temperatury materiału oraz pomiaru temperatury. Do najważniejszych zjawisk termoelektrycznych zalicza się: zjawisko Seebecka (1821 r.), efekt Peltiera (1834 r.) oraz efekt Thomsona (1851 r.)

**Zjawisko Seebecka** polega na wytworzeniu się napięcia na styku dwóch metali których końce są ze sobą złączone i znajdują się w różnych temperaturach. Najprostszym urządzeniem które pracuje w oparciu o zjawisko Seebecka jest termopara (Rys.1).

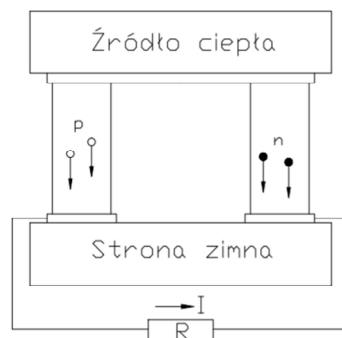


Rys.1 Termopara

Składowe siły termoelektrycznej odpowiedzialnej za efekt Seebecka

**I – Dyfuzja nośników prądu** czyli elektronów (półprzewodnik typu n) i dziur (półprzewodnik typu p) wzdłuż materiału spowodowana różnymi temperaturami na końcach półprzewodników. Dyfuzja jest więc skutkiem różnych koncentracji nośników prądu. Nośniki po stronie cieplejszej dyfundują w kierunku zimnego złącza i odwrotnie, nośniki energii pochodzące z zimniejszego złącza starają się wyrównać koncentrację wzdłuż materiału, dyfundując w stronę cieplejszego końca. Należy pamiętać, że dyfuzję nośników prądu tłumią niedoskonałości struktury, drgania sieci lub zanieczyszczenia. Ponieważ nośniki pochodzące z cieplejszego końca mają większą energię ich dyfuzja zachodzi znacznie szybciej a wspomniane tłumienie jest mniej znaczące. W efekcie powstaje stan nierównowagi ładunków wzdłuż materiału, a tym samym składowa napięcia termoelektrycznego (pole elektryczne przeciwdziałające temu ruchowi) związana z dyfuzją nośników (Rys. 1 i 2).

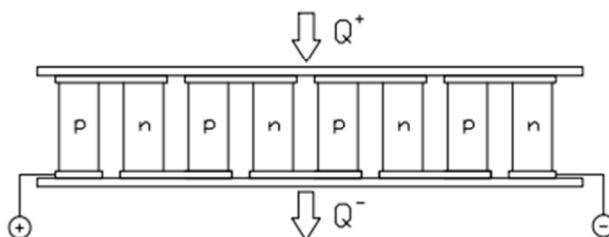
**II – Dryft fononów** (związany z drganiami cieplnymi sieci krystalicznej) powodowany gradientem temperatury. Drgająca („falująca”) sieć krystaliczna przekazuje część swojej energii kinetycznej nośnikom ładunku co pobudza je do przepływu w kierunku niższych temperatur w materiale. Zgromadzone w ten sposób ładunki powodują pojawienie się drugiej składowej siły termoelektrycznej.



Rys. 2 Schemat działania generatora termoelektrycznego

**Współczynnik Seebecka (S)** zwany również termosiałą materiału jest miarą wielkości napięcia termoelektrycznego indukowanego w odpowiedzi na różnicę temperatur na złączach dwóch materiałów. Termosiłę opisuje zależność:  $S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$ . Termosiła materiału zależy od temperatury i struktury krystalicznej materiału. Metale zwykle charakteryzują się małymi wartościami ze względu na w połowie wypełnione pasma. Elektrony i dziury ulegają anihilacji przez co wkład do termosii jest mniejszy. W przypadku półprzewodników możliwe jest ich domieszkowanie dające nadmiar elektronów lub dziur elektronowych, a co za tym idzie duże dodatnie lub ujemne wartości, w zależności od ładunku nośników termosii. O jej znaku decydują nośniki ładunków, które występują w nadmiarze.

**Siła termoelektryczna** jest iloczynem natężenia prądu przez całkowity opór obwodu:  $E_m = I \cdot R$ . W przypadku obwodu otwartego siła ta napędza ładunki wskutek czego na biegunach obwodu tworzy się napięcie przeciwdziałające przepływowi ładunków. Siłę termoelektryczną generowaną przez termoparę przy założeniu, że współczynniki Seebecka są niezależne od temperatury można przedstawić równaniem:  $E_m = (S_A - S_B) \cdot (T_1 - T_2)$ , gdzie  $S_{A \text{ i } B}$  to współczynniki Seebecka użytych materiałów (ich różnica nazywana jest współczynnikiem Seebecka złącza),  $T_1$  – temperatura ciepłego złącza,  $T_2$  – temperatura zimnego złącza.



Rys. 3 Stos termoelektryczny składający się z wielu termopar połączonych szeregowo-elektrycznie i równolegle-termicznie.

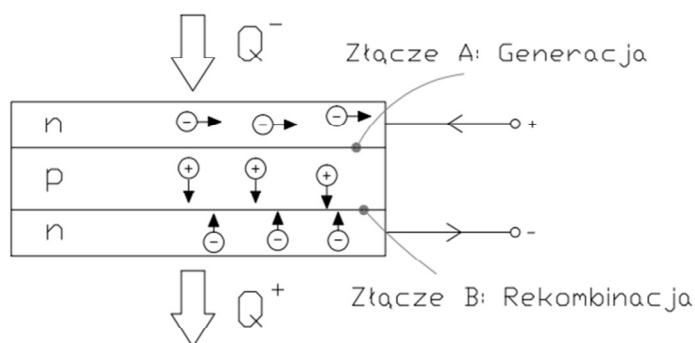
Ponieważ siła termoelektryczna pojedynczej termopary zazwyczaj nie jest duża, w zastosowaniach praktycznych często wykorzystywane są stosy termoelektryczne (Rys. 3). Są to zespoły termopar, które pod względem elektrycznym połączone są szeregowo, zaś termicznie równolegle. Oznacza to, że każda pojedyncza termopara posiada złącze „gorące” oraz „zimne”. Powoduje to zwielokrotnienie generowanej siły termoelektrycznej tyle razy ile złącz zostanie użytych.

**Termogeneratory** służą do bezpośredniej konwersji energii cieplnej w energię elektryczną. Do głównych zalet ich stosowania należy długa i bezobsługowa praca, niezawodność dzięki braku elementów ruchomych oraz bezzwłoczne przejście do trybu pracy.

Termogeneratory spotykane są w systemach pomocniczych zasilania regulatorów, elementów sterowniczych bądź niewielkich pomp, siłowników lub palników. Zastosowanie Termogeneratorów jako źródeł zasilania jest niezwykle szerokie począwszy od zasilania zegarków wykorzystując ciepłotę ciała ludzkiego a kończąc na statkach kosmicznych. Termogeneratory znajdują również zastosowanie jako urządzenia odzyskujące energię cieplną np. w cementowniach, rafineriach lub w nowoczesnych samochodach bądź jako źródła energii odnawialnej np. energia słoneczna i geotermalna. Najbardziej rozpowszechnionym jednak zastosowaniem termogeneratorów jest pomiar temperatury za pomocą termopary.

**Efekt Peltiera** jest zjawiskiem termoelektrycznym odwrotnym do efektu Seebecka. Pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącze wydzielana lub pochłaniana jest energia. Możliwe jest odwrócenie temperatur złączy poprzez zmianę kierunku przepływu prądu.

Strumień ciepła uzyskiwany w ogniwach jest proporcjonalny do przepływającego prądu zgodnie ze wzorem:  $\frac{Q}{\tau} = p \cdot I$ , gdzie  $p$  – współczynnik Peltiera, zależny od rodzaju materiałów złącza i temperatury.

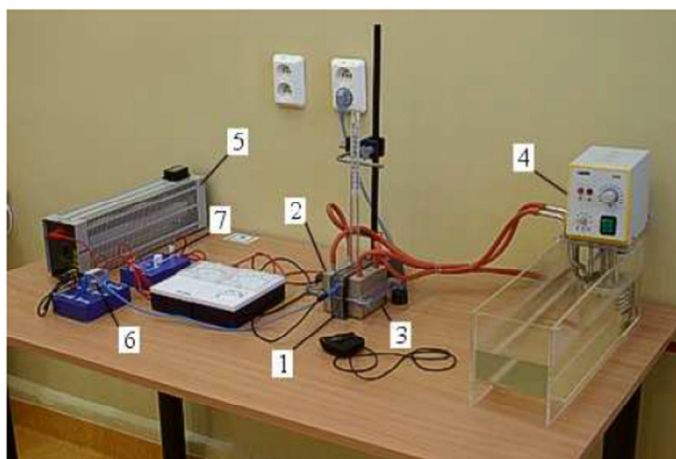


Rys. 4 Mikroskopowa interpretacja zjawiska Peltiera w półprzewodnikach

Kierunek przepływu dodatnich dziur jest przeciwny niż ujemnych elektronów. Dlatego w złączu B, w którym spotykają się strumienie elektronów i dziur, następuje ich rekombinacja. Elektrony zajmują puste poziomy dziurowe, a uwolniona energia wydzielą się w postaci ciepła. Odwrotny proces zachodzi w złączu A. Aby podtrzymać prąd elektronów i dziur następuje tam generacja par elektron–dziura kosztem dopływającego do złącza ciepła (Rys. 4).

Efekt Peltiera (ogniwa Peltiera) wykorzystywany jest w chłodnictwie przemysłowym oraz laboratoryjnym (np. w kondycjonerach do poboru próbki gazowej) zwłaszcza tam, gdzie wymagana jest wysoka czułość urządzeń.

## 2. Opis stanowiska



Rys. 5 Zdjęcie stanowiska

Stanowisko pomiarowe (Rys. 5) przedstawione na składa się z termogenerators (142 złącza krzemowe umieszczone pomiędzy dwiema niklowanymi płytkami miedzianymi) zaopatrzonego w przepływowe wymienniki ciepła. Wymiennik strony zimnej jest chłodzony wodą wodociągową, podczas gdy

wymiennik strony ciepłej utrzymywany jest w żądanej temperaturze za pomocą grzałki i termostatu. Opornik dekadowy stanowi regulowane obciążenie urządzenia. Pomiar natężenia i napięcia odbywa się za pomocą mierników uniwersalnych, pomiar temperatury po stronie ciepłej i zimnej termometrem pt-100.

### 3. Wykonanie pomiarów oraz obliczeń

Po zmontowaniu układu i stabilizacji zadanej temperatury (pomiar wykonujemy dla trzech różnic temperatur strony ciepłej i zimnej) wykonujemy serię pomiarów zmieniając obciążenie odbiornika co: 1, 2 .. 10, 20 .. 100, 200 ... 1000, 2000 .. 10 000  $\Omega$ , mierzymy napięcie generowane przez układ U. Korzystając z prawa Ohma wyznaczamy prąd płynący w układzie I oraz obliczamy moc elektryczną:  $P_{el} = \frac{U^2}{R}$ . Określenie oporności wewnętrznej urządzenia wyznaczamy z charakterystyki  $U(I)$  a następnie równania:  $R_w = \frac{U_0}{I_n}$ , gdzie  $U_0$  – napięcie jałowe  $I_n$  – prąd zwarcia. Aby wyznaczyć moc cieplną dostarczoną do układu należy skorzystać z równania:  $P_{th} = C \frac{d\Delta t}{dt}$ , ciepło właściwe wody należy przyjąć z tablic natomiast masę wody należy zważyć przed pomiarami. Człon  $\frac{d\Delta t}{dt}$  równania dla kolejnych różnic temperatur należy odnaleźć z proporcji przy założeniu, że dla  $\Delta T = 40K$ ,  $\frac{d\Delta t}{dt} = 0,0361 \frac{K}{s}$ . Sprawność układu wyznacza się jako iloraz mocy elektrycznej otrzymanej do mocy cieplnej dostarczonej do układu.

### Zadania

- I. Wykonać schemat stanowiska uwzględniając wszystkie mierzalne wartości, wykonać przykładowe obliczenia, tabele pomiarowe i wynikowe, przedstawić wnioski.
- II. Sporządzić wykres  $U(\Delta T)$  oraz  $I(\Delta T)$  dla trzech różnych temperatur i wyznaczyć wartość stałej Seebecka pojedynczego złącza.
- III. Sporządzić wykresy  $U(I)$  dla stałych różnic temperatur  $\Delta T$ , metodą regresji liniowej określić opór wewnętrzny termogeneratora, napięcie obwodu otwartego oraz prąd zwarcia.
- IV. Sporządzić wykres  $P(R)$  dla stałych różnic temperatur  $\Delta T$ , otrzymane wyniki przybliżyć odpowiednią funkcją. Wyznaczyć położenie punktu maksymalnej mocy oraz odpowiadający mu opór wewnętrzny generatora.
- V. Sporządzić wykres  $\eta(\Delta T)$ ,  $\eta(R)$ ,  $\eta(I)$ .

### Bibliografia oraz Literatura uzupełniająca

A. Królicka, A. Hruban, A. Mirowska, Nowoczesne materiały termoelektryczne przegląd literaturowy, Materiały Elektroniczne, T. 40, Nr 4/2012

Tauc J., Zjawiska fotoelektryczne i termoelektryczne i termoelektryczne w półprzewodnikach, wyd. PWN, Poznań 1966;

W. Marciniak, Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone, wyd. WNT, Warszawa 1984

T. Ohly, Z. Radzinski - "Elementy elektroniczne" Pomoce do laboratorium, cz.II, skrypt, Wrocław 1980, s.39-42.

### **Przykładowe pytania kontrolne**

- ✓ Zjawisko Seebecka
- ✓ Efekt Peltiera
- ✓ Opisz różnicę między zjawiskiem Seebecka a efektem Peltiera
- ✓ Opisz dyfuzję nośników prądu
- ✓ Co to jest współczynnik Seebecka
- ✓ Co nazywamy siłą termoelektryczną
- ✓ Opisz stos termoelektryczny
- ✓ Co to jest, jak działa i do czego służy termogenerator