



Fotoogniwo

1. Zagadnienia

półprzewodniki, pasma energetyczne, energie Fermiego, potencjał dyfuzji, wydajność, akceptor, donor, pasmo walencyjne, pasmo przewodzenia, efekt fotoelektryczny wewnętrzny, pirometr

2. Opis

Charakterystyka prądowo – napięciowa ogniwa fotowoltaicznego stanowi podstawową wiedzę na temat urządzenia przeznaczonego do konwersji energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną. Charakterystykę ogniwa można wyznaczyć w zależności od natężenia promieniowania padającego na powierzchnię baterii, od odległości od źródła i temperatury.



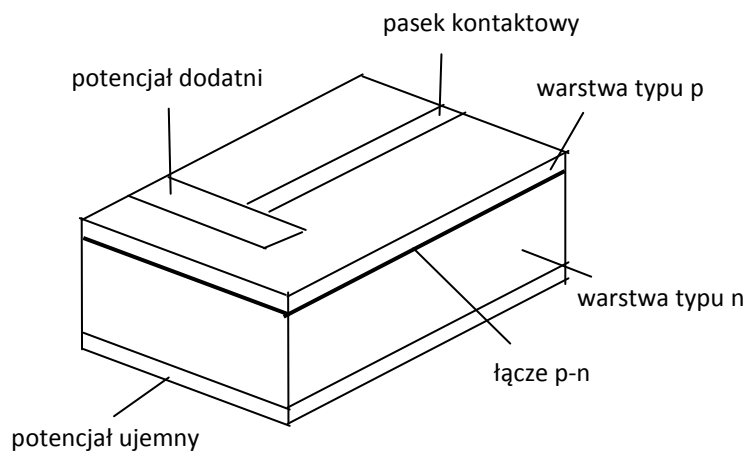
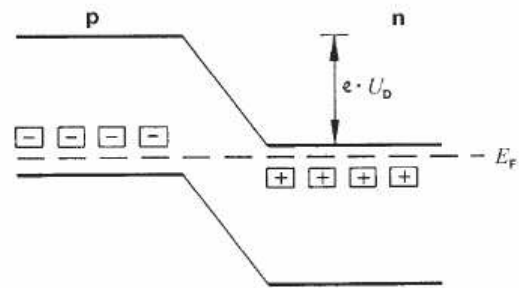
Półprzewodniki wykonuje się na bazie czystego krzemu, który jest domieszkowany atomami z trzema lub pięcioma elektronami walencyjnymi w celu uzyskania półprzewodnika typu n lub p. Połączenie dwóch różnych rodzajów półprzewodników tworzy złącze p-n, które to z powodu swoich elektrycznych właściwości stanowi podstawę działania ogniwa fotowoltaicznego. W stanie równowagi złącza p-n (bez podłączonego napięcia zewnętrznego) charakterystyczny poziom Fermiego E_F dla obu półprzewodników jest taki sam (Rys 1). Z powodu różnej koncentracji elektronów i dziur w obu półprzewodnikach na złączu, elektrony dyfundują do strefy p, a dziury do strefy n. W stanie równowagi tworzy się na złączu potencjał dyfuzji U_D zależny od liczby domieszek i różnicy energii Fermiego obu półprzewodników osobno.

Dystans pomiędzy pasmem walencyjnym a pasmem przewodzenia w krzemie wynosi $E = 1,1$, eV, natomiast potencjał dyfuzji $U_D = 0,5 \div 0,7$ V.



Fotony światła padające na złącze p-n powodują utworzenie się pary elektron – dziura oddzielone ładunkiem przestrzennym. Elektrony wpływają do strefy n a dziury do strefy p.

Fotony są absorbowane nie tylko przez łącze p-n, ale także przez powłokę półprzewodnika p. Wytworzone elektrony są w mniejszości przenoszone do tych przestrzeni: ich ilość jest zredukowana przez rekombinację. Powłoka typu p musi być niezwykle cienka (t) w porównaniu z głębokością dyfuzji elektronów $L_E \gg t$.



Jeżeli jako g oznaczymy ilość par elektron – dziura wytworzonych w jednostce powierzchni a U jako napięcie pomiędzy łączem p-n to strumień elektronów i dziur możemy wyrazić jako

$$i = e \cdot \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right) \left(n_0 D_e t / L_e^2 + p_0 D_h / L_h \right) - e \cdot g \quad (1)$$

gdzie: e – ładunek elektronu; k – stała Boltzmana ; T – temperatura; L – głębokość dyfuzji dziur i elektronów; D – stała dyfuzji dziur i elektronów; n_0 i p_0 – koncentracja ładunków mniejszościowych

Gęstość prądu przy $U = 0$ jest proporcjonalna natężenia promieniowania światła padającego w ustalonej temperaturze i wynosi

$$i_s = -e \cdot g \quad (2)$$

Przy wzroście temperatury g rośnie nieznacznie około 0,01 %/K. Napięcie U musi być niewiększe niż U_D . Koncentracja ładunków n_0 i p_0 rośnie wraz ze wzrostem temperatury (U maleje zazwyczaj o 2,3mV/K).

$$n_0 \sim \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right)$$



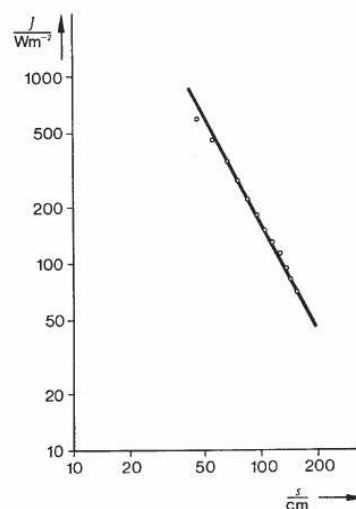
3. Przebieg ćwiczenia

Pomiar natężenia światła za pomocą pirometru i wzmacniacza wyznaczamy w zależności od odległości czujnika od źródła światła. Maksymalne napięcie wzmacniacza wynosi 10 V, a minimalna odległość czujnika od źródła światła to 50 cm.

Ogniwo słoneczne zbiera promieniowanie światła padające bezpośrednio jak również promieniowanie rozproszone. Lampa używana w doświadczeniu wytwarza wąski stożek światła o kącie około 30° . Napięcie i natężenie prądu nieobciążonej ogniwa słonecznego zależy od temperatury. Przy wyznaczeniu charakterystyki ogniwa należy utrzymać ogniwo w stałej temperaturze pokojowej. W przypadku wyznaczenia charakterystyki ogniwa w funkcji temperatury należy skierować strumień gorącego powietrza na fotoogniwo i mierzyć temperaturę bezpośrednio przy fotoogniwie uważając, aby nie dotykać fotoogniwa, ponieważ łatwo można je uszkodzić.

A) Wyznaczenie natężenia światła za pomocą pirometru w zależności od odległości od źródła światła.

Natężenie światła zmienia się wraz ze zmianą odległości źródła światła od ogniwa fotowoltaicznego. Do wyznaczenia natężenia światła za pomocą pirometru należy założyć, iż całe światło wchodzące w otwór (2,5 cm średnicy pirometru) osiąga powierzchnię pomiarową. Czułość miernika wynosi 0,16 V/W. Ekstrapolując linię pomiarową możemy wyznaczyć natężenie światła dla odległości mniejszej niż 50 cm.

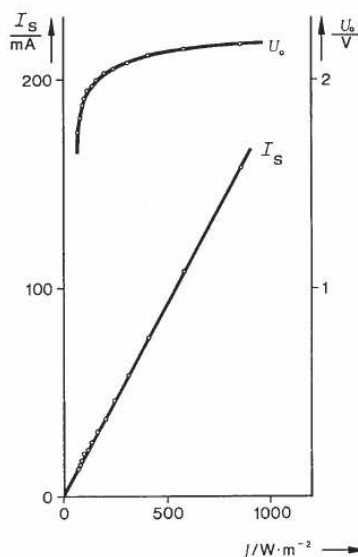


B) Pomiar natężenia prądu fotoogniwa w zależności od odległości od źródła światła.

Korzystając z pomierzonych wartości w poprzednim ćwiczeniu można wyznaczyć zależność pomiędzy natężeniem światła a natężeniem prądu przy obciążeniu i bez obciążenia ogniwa.

Ustawiamy fotoogniwo w różnych odległościach od źródła światła i rejestrujemy wartość napięcia na fotoogniwie za pomocą woltomierza.

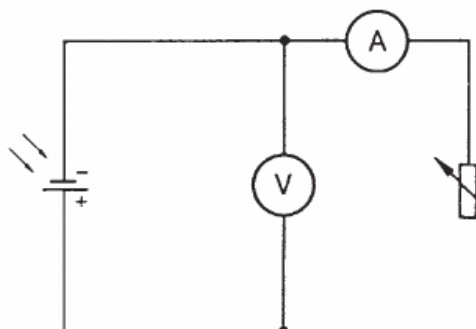
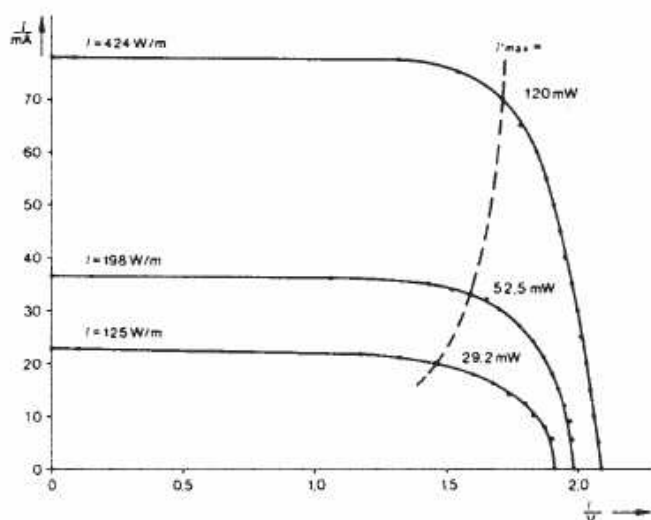
Następnie do fotoogniwa podłączamy obciążenie o znanym oporze R, amperomierz i woltomierz. Dla różnych odległości fotoogniwa od źródła światła rejestrujemy wartości napięcia i natężenia prądu.



C) Wyznaczenie charakterystyki prądowo - napięciowej fotoogniwa przy różnym natężeniu światła.

Bateria słoneczna zawiera 4 fotoogniwa połączone szeregowo, dla której maksymalne uzyskane napięcie wynosi 2 V. Natężenie prądu obciążonej baterii jest wprost proporcjonalne do natężenia promieniowania.

Wyznaczenie charakterystyki prądowo - napięciowej należy wyznaczyć zgodnie ze schematem. Przy stałej odległości fotoogniwa od źródła światła zmieniamy wartość oporu rejestrując za każdym razem wartość napięcia i prądu. Pomiar można powtórzyć dla innych wartości oświetlenia fotoogniwa.

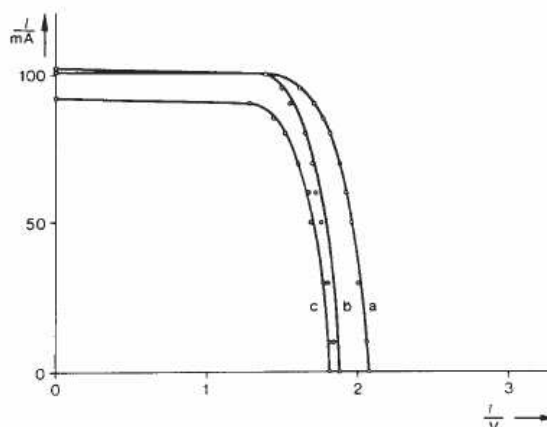


Przykładowe charakterystyki prądowo – napięciowe dla trzech różnych wartości natężenia oświetlenia.

D) Wyznaczenie charakterystyki prądowo – napięciowej w różnych warunkach pracy: z chłodzeniem i bez, z przeszkodą szklaną i bez.

Podczas pomiarów wpływu temperatury fotoogniwa na U_0 i I_s należy wziąć pod uwagę rozkład temperatury. Pomiaru powinny uwzględniać jedynie rząd wielkości. Pomiar napięcia bez obciążenia ze strumieniem ciepłego i zimnego powietrza daje:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta T} = -8 \frac{mV}{K} \text{ co odpowiada } -2 \text{ mV/K dla pojedynczej komórki.}$$



Na przykładowych krzywych charakterystyki fotoogniwa linia a – wykonana została dla strumienia chłodnego powietrza, b – bez chłodzenia, a c – ze szklaną przeszkodą.

Szklana szybka absorbuje światło w zakresie długości fal podczerwonych redukując wzrost temperatury samej baterii słonecznej.

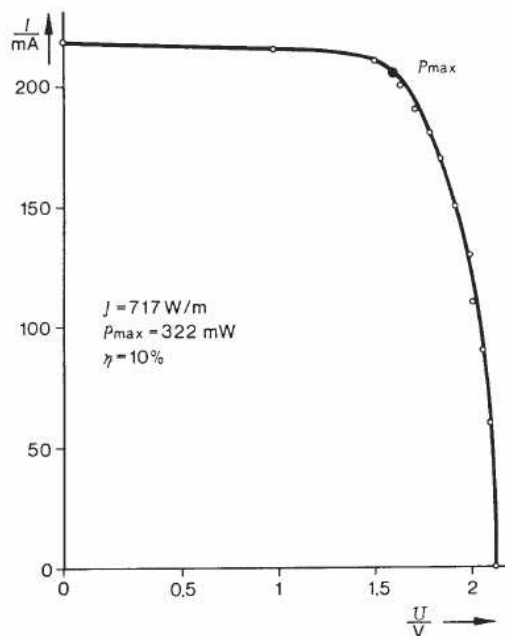
Jeżeli porównamy maksymalną moc uzyskaną z baterii (opór obciążenia równy oporowi wewnętrznemu baterii) z mocą promieniowania padającego możemy wyznaczyć wydajność baterii słonecznej. Powierzchnia baterii fotowoltaicznej wynosi około 50 cm^2 .

E) Wyznaczenie krzywej charakterystycznej podczas napromieniowania światłem słonecznym.

Promieniowanie słoneczne padające na fotoogniwo daje inną charakterystykę prądowo – napięciową. Spowodowane jest to innym widmem promieniowania słonecznego od widma lampy. Takie samo natężenie promieniowania słonecznego daje większy prąd.



Ponieważ promieniowanie podczerwone spektrum słonecznego jest mniejsze, ogniwo fotowoltaiczne nie nagrzewa się tak mocno, a pomiary z i bez strumienia ciepłego powietrza dają taką samą charakterystykę.



Instrukcja obsługi



1. OPIS

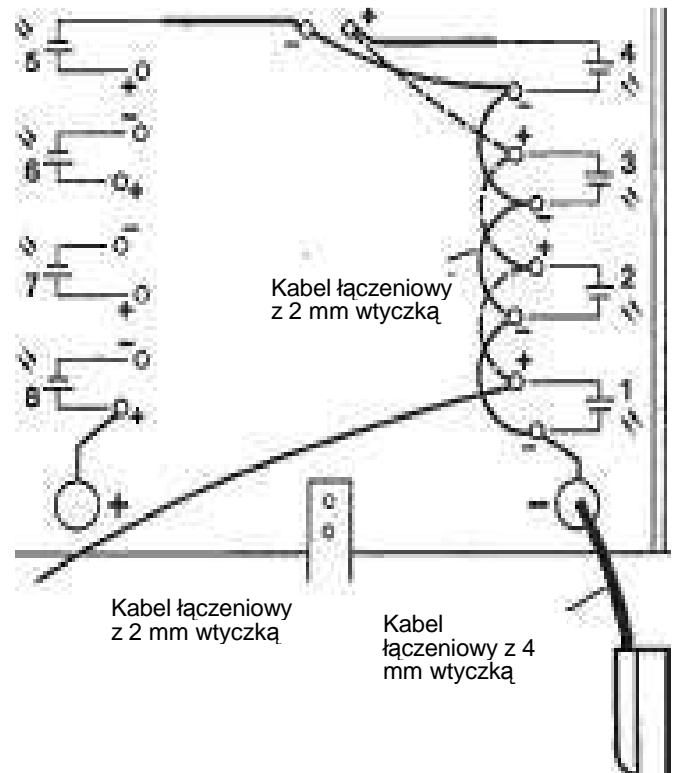
Ogniwo słoneczne i baterie słoneczne zostały wykonane z polikrystalicznego silikonu. Ogniwa zostały naklejone na plastikowej tabliczce umocowanej do końca drążka statywu (odległość pomiędzy końcem statywu a środkiem tabliczki: 180 mm). Przyrządy są odporne na działanie temperatury do około 100 °C, co pozwala stosować oświetlenie ze sztucznym światłem. Ogniwo słoneczne i baterie słoneczne posiadają ochronę przeciw uszkodzeniom mechanicznym wykonaną jako przezroczyste ekrany.

2. OBSŁUGA

Do oświetlania ogniwa optymalna jest lampa świecąca jasnym światłem o mocy 24 V/120 W, z reflektorem oświetlająca pod kątem 10°. Musi być zachowany minimalny dystans 0,5 m, aby nie przekraczać temperatury ponad dopuszczalny limit.

Można wykorzystywać także lampę świecąca jasnym światłem o mocy 200 V/120 W, oświetlającą pod kątem 30°, umiejscowioną w odległości 0,3 m. Starsze reflektory o mocy 150 W mogą być również używane pod kątem 10° lub 30°.

Wzajemne łączenie 8 ogniw baterii słonecznej odbywa się za pomocą kabli podłączeniowych lub 2 mm wtyczek łączeniowych. Schemat umieszczony obok pokazuje dla przykładu: połączenie równoległe gniazd 4 ogniw z 8 ogniwami za pomocą kabli łączeniowych.



Ostrzeżenie:

Intensywnie oświetlane przyrządy chwytać tylko za wspornik gdyż na pozostałych elementach przyrządu mogą wystąpić temperatury do 100 °C

3. SPECYFIKACJA TECHNICZNA

Niniejsze wskazania odnoszą się do ogrzewania promieniami słonecznymi o mocy 1 kW/m^2 bez używania ekranów ochronnych, przy temperaturze ogniwa $28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Oznaczenie	Ogniwo słoneczne	Bateria słoneczna z 4 ogniwami	Bateria słoneczna z 8 ogniwami
Napięcie jałowe	0.6 V	2.4 V	4.8 V
Rozmiar ogniwa	5 cm x 10 cm	2,5 cm x 5 cm	1,25 cm x 5 cm
Pow. użytkowa ogniwa	50 cm ²	4 x 12,5 cm ²	8 x 6,25 cm ²
Natężenie dla $U_K = 0.4 \text{ V}$ /ogniwo	1.1 A	0.26 A	0.13 A
Prąd zwarcia I_K	<1,32 A	< 0,32 A	<0,16 A
Współczynnik sprawności	około 9%	około 9%	około 9%
Współczynnik temperatury			
- dla U_0	-2.1 mV/K	-8.4 mV/K	-16.8 mV/K
- dla I_K	+0.01 %/K	+0.01 %/K	+0.01 %/K
Długość fali przy maks. czułości	0.48 ... 1,0 m	0.48 ... 1,0 m	0.48 ... 1,0 m
Oslabienie mocy przez ekran	11 %	11 %	11 %

4. LITERATURA

Zbiór eksperymentalny Energia

Część 5 Elektr. ogniwa słoneczne 16630.51

University laboratory experiments 00067.72

5. LISTA AKCESORIÓW

Reflektor 24 V/120 W, 10° 06759.05

Reflektor 220 V/120 W, 30° 06759.93

Kabel łączeniowy, 2 mm wtyczka, czerwony 07353.01

Kabel łączeniowy, 2 mm wtyczka, niebieska 07353.04

Wtyczka zwierająca, d = 2 mm, 4 sztuki 11620.35

Wtyczka redukcyjna, 4 mm/2 mm gniazdo, 1 para 11620.27