



# Badanie natężenia prądu fotoelektrycznego w zależności od odległości źródła światła

**E13**

## Przyrządy:

Listwa pomiarowa (1 m), źródło światła, zasilacz źródła światła, , miliamperomierz (multimetr uniwersalny), fotoogniwo.

## Cel:

Celem ćwiczenia jest zbadanie zależności natężenia prądu generowanego światłem w fotoogniwie od odległości od źródła światła.

Wstęp teoretyczny.

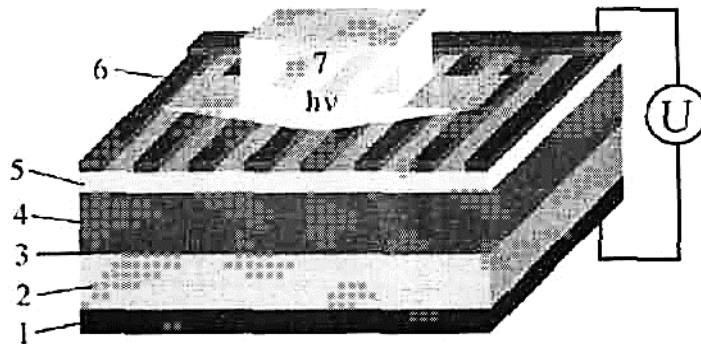
W fotoogniwie energia promieniowania słonecznego zmieniana jest na energię elektryczną. Elektrony w materiałach półprzewodnikowych ze złącem p-n z których wykonana jest bateria na skutek absorpcji promieniowania słonecznego przenoszone są z pasma podstawowego do pasma przewodzenia. W półprzewodniku pasmo walencyjne i pasmo przewodzenia oddzielone są pasmem zabronionym  $E_g$  (przerwą energetyczną). Szerokość tej przerwy określona jest energią wiązania elektronów walencyjnych. Wartość  $E_g$  określa minimalną częstotliwość  $\nu_g$  światła, które może przenieść elektrony z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Warunkiem uwolnienia elektronu jest, aby energia fotonu  $E_f = h\nu_f$  była większa od  $E_g$ .

$$h\nu_f \geq E_g = h\nu_g$$

$h$  - stała Plancka.

Na przykład w selenie szerokość przerwy energetycznej wynosi 2 eV, czyli maksymalna długość fali świetlnej, która jest zdolna do uwolnienia elektronu walencyjnego w tym półprzewodniku, wynosi około 620nm (światło pomarańczowe). Tę wartość można

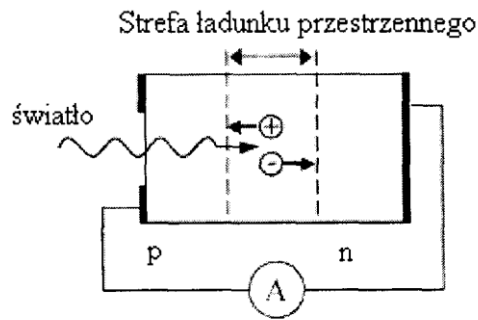
obliczyć z zależności:  $\lambda_{\max} = c/v_g$ . Jeżeli elektron napotka dziurę w półprzewodniku wówczas wypełni wolne miejsce w wiązaniu i obydwa nośniki prądu znikają, proces ten jest zwany rekombinacją. Liczba rekombinacji w jednostce czasu jest zależna od liczby nośników prądu i gdy nośników przybywa to wzrasta również liczba rekombinacji. Po pewnym czasie ustala się równowaga w której dodatkowa liczba nośników zależy od liczby generowanych par elektron - dziura w jednostce czasu, czyli od natężenia oświetlenia. Światło dociera tylko do warstw przypowierzchniowych półprzewodnika i aby w większym stopniu wykorzystać materiał z którego produkuje się ogniwa słoneczne należy stosować jak najmniejszą grubość tego materiału i jak największą powierzchnię. Ogniwa słoneczne działają dzięki występowaniu efektu fotowoltaicznego. Polega on na tym, że oświetlona warstwa podwójna np. złącze p-n staje się źródłem prądu elektrycznego. Schemat ogniwa słonecznego przedstawia rys. 1.



Rysunek 1

Schemat ogniwa słonecznego: 1 - niooświetlona elektroda, 2 - półprzewodnik typu n, 3 - złącze p-n, 4 -półprzewodnik typu p, 5 — warstwa przeciwo odbiciowa, 6 - oświetlona elektroda, 7 — fotony padające na ogniwo.

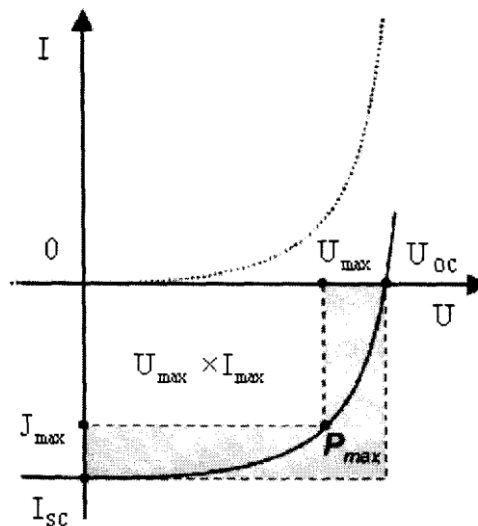
W wyniku dyfuzji elektronów z obszaru n do obszaru p i dziur z obszaru p do obszaru n powstaje ładunek przestrzenny, który wytwarza wewnętrzne pole elektryczne w obszarze złącza. Jeżeli złącze zostanie oświetlone, fotony generują pary nośników ładunku: dziury i elektrony. Dziury unoszone w wewnętrznym polu elektrycznym podążą w kierunku półprzewodnika typu p, a elektrony w kierunku półprzewodnika typu n. Schemat działania baterii słonecznej przedstawiono na rys. 2.



Rysunek 2

Schemat działania fotoogniwa.

Gdy elektrody nie są ze sobą połączone, to w wyniku oświetlenia w półprzewodniku typu n gromadzą się ładunki ujemne, a w typu p dodatnie. Taki rozkład ładunku wytwarza różnicę potencjału nazywaną napięciem obwodu otwartego  $U_{oc}$ . Gdy elektrody ogniwa są zwarte przez amperomierz, tak jak na rys. 2, wówczas napięcie jest równe zero ( $U = 0V$ ) i przez ogniwo przepływa prąd zwarcia  $I_{sc}$  generowany światłem. Określenie podstawowych parametrów ogniwa słonecznego uzyskuje się przez badanie charakterystyki prądowo-napięciowej którą przedstawia wyk. 1.



Wykres 1

Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa nieoświetlonego (linia kropkowana) i oświetlonego (linia ciągła).

O właściwościach fotowoltaicznych ogniwa decyduje kształt charakterystyki prądowo-napięciowej  $I(U)$ . Charakterystyka prądowo-napięciowa dla idealnego fotoogniwa powinna mieć kształt prostokąta o bokach  $I_{SC}$  i  $U_{OC}$ . W praktyce nie spotykamy idealnych fotoogniw.

Maksymalna moc rzeczywistego ogniwa jest zawsze mniejsza od mocy idealnego ogniwa.

$$P_{id} = I_{SC} * U_{OC}$$

Moc maksymalną wyznacza się ze wzoru:

$$P_{max} = I_{max} * U_{max}$$

Typowe ogniwo fotowoltaiczne to płytka półprzewodnikowa ze złączem p-n, wykonana np. z krzemu krystalicznego lub polikrystalicznego. Grubość płytek zawiera się w granicach 200-400 mikrometrów. Metaliczne kontakty naniesione są na przednią i tylną stronę płytki i pozwalają na podłączenie do obwodu elektrycznego.

Strumień świetlny  $\phi$  jest to moc energii promienistej oceniona na podstawie wywołanego przez nią wrażenia świetlnego. Strumień świetlny  $\Delta\phi$  wysyłany w kąt bryłowy  $\Delta\Omega$  przedstawia wzór:

$$\Delta\phi = I\Delta\Omega$$

$I$  - natężenie źródła punktowego.

Jednostką strumienia świetlnego jest lumen (lm), jest to strumień promieniowany przez izotropowe źródło punktowe o natężeniu  $I$  kandeli do kąta bryłowego równego 1 steradianowi:

Iloczyn strumienia świetlnego i czasu jego trwania nazywa się ilością światła,  $I$  lm monochromatycznego strumienia świetlnego którego długość fali jest równa 555nm jest równy strumieniowi promieniowania o mocy 1,47 mW. Oświetlenie jest to strumień świetlny padający na jednostkę powierzchni

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

Jeśli strumień świetlny pada prostopadle to

$$E = \frac{\phi}{A}$$

Oświetlenie jest to ilość energii padająca na jednostkę powierzchni w jednostce czasu. Jednostką oświetlenia jest luks (lx). Jeden lx to oświetlenie takiej powierzchni prostopadłej do promieni świetlnych na której na jeden metr kwadratowy tej powierzchni pada strumień świetlny równy jednemu lumenowi

W wyniku oświetlenia ogniwa popłynie w nim prąd elektryczny, którego natężenie  $I_f$  jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia  $E$  powierzchni fotoogniwa. Natężenie oświetlenia jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości „ $r$ ” od źródła światła:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

gdzie  $I$  - natężenie źródła światła,  $\alpha$  - kąt padania światła. Ponieważ „ $E$ ” jest proporcjonalne do „ $r^{-2}$ ” to wykres zależności prądu fotoelektrycznego „ $I_f$ ” od „ $r^{-2}$ ” jest jednocześnie wykresem zależności „ $I_f$ ” od natężenia oświetlenia „ $E$ ” powierzchni fotoogniwa. Zależność  $I=f(r^{-2})$  powinna być linią prostą.

### **Wykonanie ćwiczenia:**

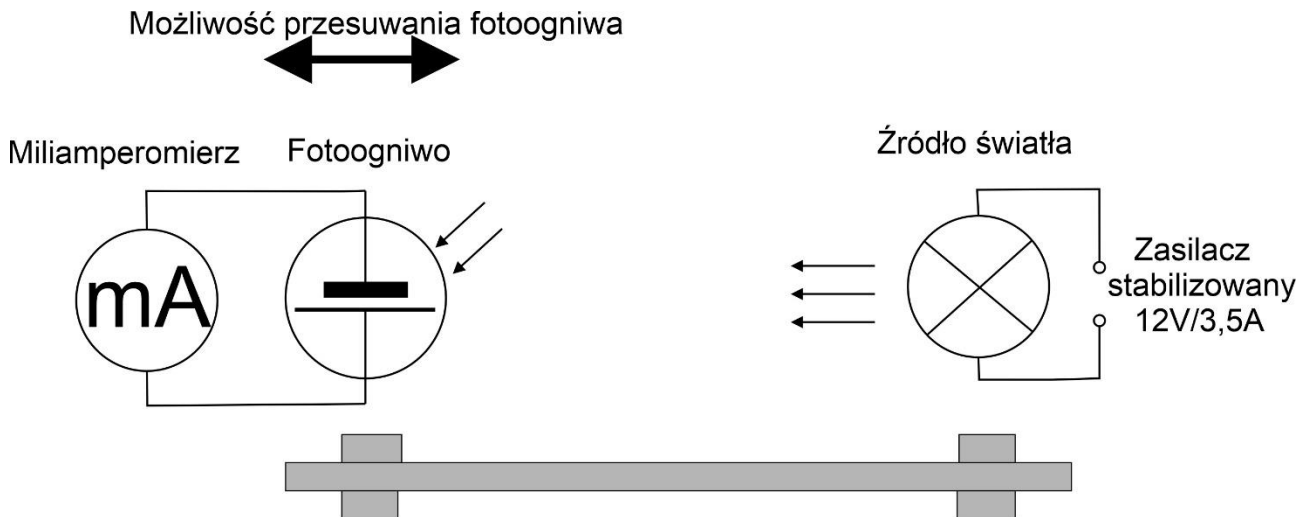
**UWAGA:** Na stronie internetowej I Pracowni Fizycznej i w samej Pracowni jest dostępna skrócona instrukcja obsługi multimetru (miernika uniwersalnego).

**UWAGA:** Główny wyłącznik zasilacza napięcia stałego znajduje się w górnej części ścianki tylnej zasilacza. Ustawianie napięcia wykonujemy pokrętkiem na ściance przedniej, uprzednio wciskając przycisk „V” (wartość napięcia na zasilaczu miga). Ustawianie prądu maksymalnego (jeśli jest taka potrzeba) ustawiamy tym samym pokrętkiem, ale po wciśnięciu przycisku „I”. Aby zasilacz wysłał napięcie zasilające źródło światła należy po ustawieniu napięcia wcisnąć przycisk „Output”.

**Napięcie zasilające źródło światła wynosi 12V.**

**Maksymalny prąd dostarczany przez zasilacz musi być ustawiony na wartość 3,5A.**

1. Montujemy ogniwo na początku ławy optycznej.
2. Na drugim końcu ławy optycznej montujemy źródło światła.
3. Źródło światła ustawiamy tak aby maksimum oświetlenia padało na ogniwo.
4. Do ogniwa podłączamy amperomierz plusem do plusa minusem do minusa. Na amperomierzu ustawiamy pomiar prądu stałego DC, lub „-”.



Rysunek 3

5. Przeprowadzamy pomiar natężenia prądu fotoelektrycznego  $I_{\text{tła}}$  przy wyłączonym źródle światła ustawionym na ławie optycznej. (Pomiary można przeprowadzać przy zapalonym bądź przy zgaszonym oświetleniu w pomieszczeniu (wtedy nie uwzględniamy prądu  $I_{\text{tła}}$ ), należy jednak pamiętać o tym aby wszystkie pomiary były przeprowadzone w jednakowych warunkach).
6. Włączamy lampę i przeprowadzamy pomiar prądu fotoelektrycznego „ $I_f$ ” przy różnych odległościach „ $r$ ” od lampy. Odległości te zmniejszamy co 0,03m aż do odległości 0,7m od źródła światła, następnie co 0,02m do odległości 0,6m od lampy, następnie co 0,01 m aż do odległości 0,12m od lampy.
7. Wyniki pomiarów notujemy w załączonej do instrukcji tabeli.
8. Zanotować klasę miernika użytego do pomiarów i niepewność pomiaru odległości  $\Delta r$  (najmniejsza działka na ławie optycznej).
9. Dokonujemy niezbędnych obliczeń i wyniki umieszczamy w tabeli.
10. Sporządzamy wykres  $I = f(r^{-2})$ .
11. Sporządzamy wykres  $I = f(r)$ .
12. Na wykresach nanosimy niepewności pomiarowe.

**Rachunek błędów:**

Badając zależność  $I = f(r^{-2})$ , błąd bezwzględny  $\Delta r^{-2}$  obliczamy metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta(r^{-2}) = \left| \frac{\partial r^{-2}}{\partial r} \right| * \Delta r \Rightarrow \Delta[(r)^{-2}] = \frac{2 * \Delta r}{r^3}$$

Niepewności  $\Delta I_f$  i  $\Delta I_{t1a}$  obliczamy stosując wzory:

$$\Delta I_f = \frac{K * Z}{100}, \Delta I_{t1a} = \frac{K * Z}{100}$$

Niepewność  $\Delta I$  obliczamy stosując metodę różniczki zupełnej:

$$\Delta I = \left| \frac{\partial I}{\partial I_f} \right| * \Delta I_f + \left| \frac{\partial I}{\partial I_{t1a}} \right| * \Delta I_{t1a} \Rightarrow \Delta I = \Delta I_f + \Delta I_{t1a}$$

**Tabela 1**

Nr	r [m]	$r^{-2}$ [ $m^{-2}$ ]	$I_f$ [A]	$I = I_f - I_{t1a}$ [A]

**Wymagania:**

1. Światło (strumień świetlny, natężenie promieniowania świetlnego, jednostki świetlne)
2. Charakterystyka promieniowania słonecznego (widmo słoneczne)
3. Pasmowa teoria ciała stałego ( rozszczepienie poziomów energetycznych w ciele stałym, model pasmowy przewodnika, półprzewodnika i izolatora)
4. Złącze p-n
5. Zjawisko fotowoltaiczne
6. Efekt Dembera
7. Budowa i zasada działania baterii słonecznych (charakterystyka prądowo-napięciowa baterii, punkt mocy maksymalnej, prąd zwarcia, napięcie otwartego obwodu)

**Literatura:**

[1]. Witold M. Lewandowski - Proekologiczne odnawialne źródła energii - Wydanie trzecie zmienione - WNT - Warszawa 2001, 2006

- [2]. Egbert Boeker, Rienk van Grondelle - Fizyka środowiska - PWN - Warszawa 2002, [3]  
Joseph J. Loferski - Zjawisko fotowoltaiczne i szerokie wykorzystanie energii  
słonecznej - Postępy Fizyki - Tom 26 - Zeszyt 5 - 1975
- [4]. Henryk Rzewuski - Baterie słoneczne - Postępy Fizyki - Tom 32 - Zeszyt 5-1981
- [5]. P. S. Kiriejew - Fizyka półprzewodników - PWN - Warszawa
- [6]. J. Chabłowski, W. Skulimowski - Elektronika w pytaniach i odpowiedziach - WNT –  
Warszawa 1978