



Politechnika Łódzka

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych
i Optoelektronicznych

Niekonwencjonalne źródła energii

Laboratorium

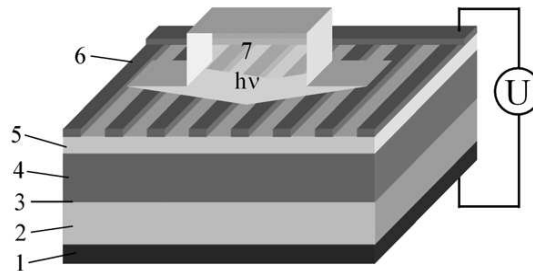
Ćwiczenie 1

**Pomiar charakterystyk jasnych i ciemnych krzemowych
ogniw słonecznych**

I Wstęp teoretyczny

1. Zasada działania i parametry ogniwa słonecznego

Ogniwo fotowoltaiczne jest to przyrząd półprzewodnikowy, którego zasada działania jest oparta na wykorzystaniu złącza p-n. Schemat budowy pojedynczego ogniwa pokazano na Rys. 1. Składa się ono ze złącza p-n, dwóch elektrod oraz warstwy przeciwo odbiciowej. Elektroda metalowa, która jest oświetlana ma odpowiedni kształt, tak aby powierzchnia czynna ogniwa była jak największa.



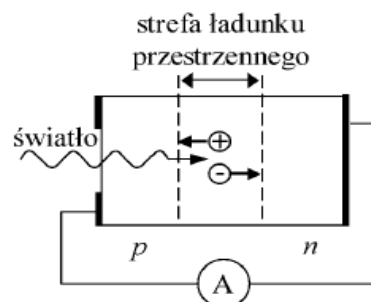
Rys. 1. Schemat ogniwa słonecznego: 1 – nieoświetlona elektroda; 2 – półprzewodnik typu n; 3 – złącze p-n; 4 – półprzewodnik typu p; 5 – warstwa przeciwo odbiciowa; 6 – oświetlana elektroda; 7 – fotony o energii $h\nu$ padające na ogniwo.

Złącze p-n powstaje poprzez zetknięcie półprzewodnika typu p z półprzewodnikiem typu n. 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. 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 ($U = 0 \text{ V}$) i przez ogniwo przepływa prąd zwarcia I_{sc} generowany światłem. Gęstości prądu zwarcia jest zdefiniowana wzorem:

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A},$$

gdzie A jest powierzchnią aktywną fotoogniwa. Prąd ten jest zależny od parametrów materiałowych półprzewodnika i konstrukcji ogniwa.



Rys. 2. Schemat działania fotoogniwa.

Absorpcja fotonów w ogniwach słonecznych wywołuje przejścia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa (absorpcja podstawowa). Energia E_{ph} zaabsorbowanego fotonu musi być większa od przerwy energetycznej E_g półprzewodnika:

$$E_{ph} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} > E_g$$

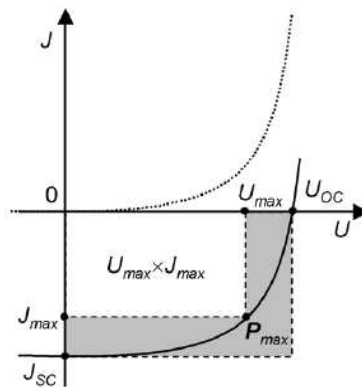
gdzie ν jest częstotliwością drgań fali elektro-magnetycznej, λ długością fali świetlnej, a c jest to prędkość światła w próżni. Po przejściu elektronu z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa powstaje para nośników ładunku: elektron i dziura.

Określenie podstawowych parametrów ogniwa fotowoltaicznego uzyskuje się poprzez badanie charakterystyki prądowo-napięciowej przedstawionej na Rys. 3. O właściwościach fotowoltaicznych ogniwa decyduje kształt charakterystyki prądowo-napięciowej $J(U)$ w IV ćwiartce układu współrzędnych.

Charakterystyka prądowo-napięciowa dla idealnego fotoogniwa powinna mieć kształt prostokąta o bokach J_{SC} i U_{OC} . W praktyce nie spotykamy idealnych fotoogniw. Maksymalna moc rzeczywistego ogniwa jest zawsze mniejsza od mocy idealnego ogniwa $P_{id} = J_{SC} * U_{OC}$, gdyż praktycznie nigdy nie można osiągnąć charakterystyki prostokątnej. Maksymalną moc elektryczną ogniwa rzeczywistego P_{max} wyznaczamy z następującego wzoru:

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

gdzie U_{max} i J_{max} są odpowiednio napięciem i gęstością prądu, dla których pole prostokąta, którego jeden z wierzchołków leży na charakterystyce prądowo-napięciowej (punkt P_{max}), jest największe.



Rys. 3. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa słonecznego nieoświetlonego (linia kropkowana) i oświetlonego (linia ciągła).

Kolejnym parametrem określającym jakość ogniwa słonecznego jest współczynnik wypełnienia FF (fill factor):

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{id}} = \frac{J_{max} * U_{max}}{J_{sc} * U_{oc}}$$

Jest to stosunek powierzchni prostokąta o bokach J_{max} i U_{max} , do powierzchni prostokąta o bokach J_{sc} i U_{oc} na rys. 3. Wielkość tego parametru jest tym bliższa wartości 1, im bardziej kształt charakterystyki prądowo-napięciowej jest zbliżony do prostokąta.

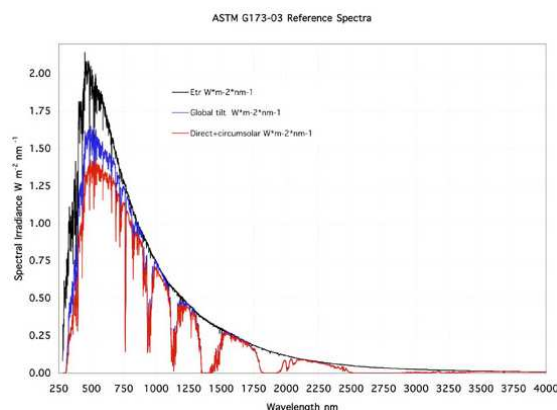
Najważniejszym parametrem ogniwa jest jego wydajność konwersji mocy η , zdefiniowana jako stosunek maksymalnej mocy ogniwa P_{\max} do mocy światła P_{in} padającego na ogniwo:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} = FF \frac{U_{oc} * J_{sc}}{L}$$

gdzie L jest to intensywność padającego światła.

2. AM – masa powietrza

Przedstawiając moc promieniowania słonecznego w funkcji długości fal docierających do zewnętrznej powłoki atmosfery ziemskiej (AM0) lub powierzchni kuli ziemskiej (AMX, gdzie $x \geq 1$), otrzymuje się widmo promieniowania słonecznego.



Rys. 4. Widmo promieniowania słonecznego.

Promieniowanie docierające do powierzchni Ziemi ma do pokonania atmosferę ziemską, której relatywna szerokość ulega zwiększeniu w miarę wzrostu szerokości geograficznej. Relatywna szerokość atmosfery ziemskiej określa wielkość nazywana względną masą powietrza AM (ang. Air Mass). Jednostka AM jest to stosunek drogi pokonanej przez promieniowanie słoneczne przy przechodzeniu przez atmosferę ziemską do jej minimalnej długości (w zenicie nad równikiem). $AM1.5 \Rightarrow H=4,18^0$.

3. Rodzaje ogniw słonecznych

Monokrystaliczne ogniwa mono c-Si :

- Wysokowydajny materiał, krzem
- Wysoka sprawność ~ 16 %, wysoka cena

Polikrystaliczne ogniwa, taśmy, poly c-Si :

- Najczęściej stosowane na rynku (57 % rynku)
- Nieznacznie mniejsza sprawność (~ 14 %)

Cienkowarstwowe ogniwa z krzemu amorficznego a-Si:

- Niższa sprawność ~ 6 %
- Występuje w nich efekt Staeblera-Wrońskiego

Cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne ze związków półprzewodnikowych:

- CdTe (tellurek kadmu)
- CIS (selenek indowo-miedziowy)

II Cel i wykonanie ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar parametrów elektrycznych oświetlonych i nieoświetlonych ogniw fotowoltaicznych. Badaniu zostaną poddane zarówno ogniwa monokrystaliczne jak i polikrystaliczne. Do wykonania pomiarów wykorzystane zostanie nowe stanowisko pomiarowe wyposażone w układ symulatora słońca sprzężonego z komputerem PC. Komputer posiada specjalne oprogramowanie przeznaczone do tego celu o nazwie SolcellTracer. Program służy do zbierania pobranych danych jak i steruje lampą. Dodatkowym systemem jest system podciśnienia wykorzystywany do przytrzymania badanych ogniw na stabilnym marmurowym stole, jak i przytrzymywania czterostrzowych sond wykorzystywanych do badania ogniwa.

1. Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe składa się z następujących elementów:

1. PC z oprogramowaniem Solcelltracer wyposażony w specjalną kartę pomiarowa.
2. Silnik napędzający pompę ciśnieniową połączoną ze zbiornikiem wyrównawczym.
3. Urządzenie pomiarowe z regulowanym obciążeniem, zawierające pomiarowy komunikujący się z komputerem PC.
4. Lampa (sztuczne słońce) zapewniające oświetlenie klasy AM 1.5.



2. Opis przygotowania stanowiska do wykonywania pomiarów

1. Włącz komputer, włącz program SolcellTracer.
2. Włącz pompę ciśnieniową, odkręć zawór umieszczony na zbiorniku.

Uwaga! Zachowaj ostrożność przy obsłudze pompy szczególną uwagę zwróć na pas klinowy łączący trójfazowy silnik z kołem pasowym sprężarki.

3. Włącz urządzenie przetwarzające sygnały pochodzące z sond do komputera (zasilacz pomiarowy).
4. Włącz zasilacz lampy.

Pamiętaj o zasunięciu kotary podczas wykonywania pomiarów oraz o wyłączeniu wszelkich źródeł światła tak aby w pomieszczeniu stanowiska pomiarowego panowała ciemnia.

3. Przebieg ćwiczenia

1. Poproś prowadzącego o badane ogniwa.
2. Policz powierzchnię badanych ogniw.

Uwaga! Nie dotykaj dłońmi badanej powierzchni ogniwa, trzymaj ogniwo za krawędzie.

3. Starannie ułóż badane ogniwo na stole pomiarowym.



4. Zamieść sondy pomiarowe na badanym ogniwie tak aby ich końcówki w chwili pomiaru, gdy sondy będą opuszczone, umieszczone były na kontaktach ogniwa (można to sprawdzić przy użyciu ręcznego przycisku bądź za pomocą programu 'sondy on off').

5. Pierwszą czynnością po uruchomieniu programu którą należy wykonać jest justowanie (kalibracja) lampy.

Po naciśnięciu przycisku autokalibracja wyświetli się wartość odchyłki oraz komunikat „obniż lampę” lub „podnieś lampę”. Z prawej strony uchwytu lampy znajduje się pokrętko którym regulowana jest wysokość lampy dokonuj korekt do momentu, w którym „odchyłka” będzie na żółtym tle. Wtedy można przystąpić do pomiaru. Pamiętaj o zapisaniu ustawień.

6. Ustaw parametry ogniwa jak na poniższej tabeli, wpisując odpowiednio powierzchnię badanego ogniwa, liczbę próbek w punkcie i nazwę identyfikatora serii.

7. Zasłoń kotarę do pomieszczenia z zestawem pomiarowym.

8. Wykonaj serię pomiarów dla każdego z ogniw po trzy pomiary dla oświetlonych ogniw oraz nieoświetlonych ze zmiennym parametrem „liczba próbek w punkcie”.

9. Zapisz charakterystyki I-V oraz parametry badanych ogniw wg tabeli na końcu instrukcji (Potrzebne do wykonania sprawozdania)

10. Zaobserwuj jaki wpływ na wyniki ma wykonanie pomiarów z uwzględnieniem:

- Korekcji natężenia oświetlenia.
- Korekcji temperaturowej.

11. Sprawdź co dzieje się z charakterystyką ogniwa przy zakłócaniu światła lampy np. ręką

12. Wnioski zamieść w sprawozdaniu.

Otrzymane wyniki pomiarów zapisz do tabeli (wzór na końcu instrukcji).

4. Wykonanie sprawozdania.

1. Oceń czas i dokładność pomiarów w zależności od ilości pomiarów w punkcie
2. Zamieść wykresy uzyskane z pomiarów dla każdego ogniwa charakterystyka ciemna oraz jasna.
3. Porównaj wartości parametrów uzyskanych w wyniku pomiarów ogniwo mono oraz polikrystalicznego.
4. Wnioski.

Otrzymane parametry badanych ogniwo fotowoltaicznych

Ogniwo numer	1			2			3		
Typ ogniwa									
Powierzchnia [cm ²]									
Próbek w punkcie	1	3	10	1	3	10	1	3	10
I _{sc} [A]									
V _{oc} [A]									
I _m [A]									
V _m [V]									
P _m [W]									
FF [-]									
Eff (η) [%]									
Moc lampy [mW/cm ²]									
Temp. ogniwa [°C]									