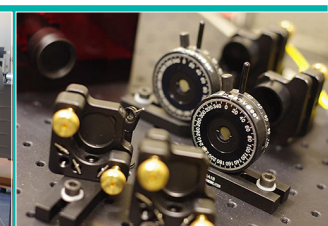
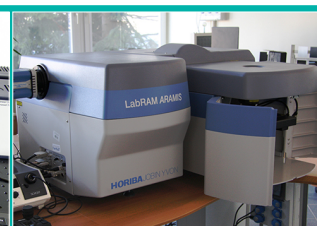


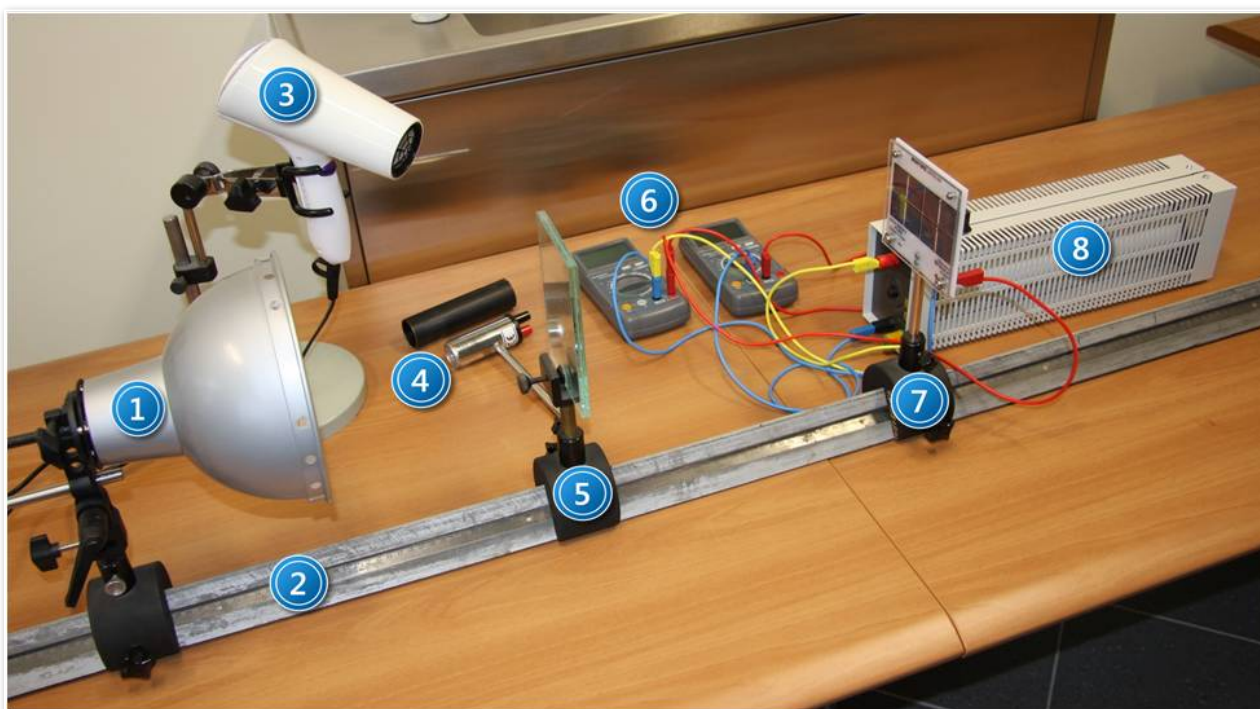
Ćwiczenie 5

Badanie własności krzemowego modułu fotowoltaicznego



I. Zagadnienia do opracowania.

1. Struktura pasmowa ciał stałych.
2. Klasyfikacja ciał stałych w oparciu o teorię pasmową.
3. Półprzewodniki:
 - a) samoistne;
 - b) domieszkowe;
 - c) złącze p – n.
4. Promieniowanie elektromagnetyczne Słońca.
5. Fotoogniwo:
 - a) zjawisko fotowoltaiczne;
 - b) rodzaje ogniw fotowoltaicznych;
 - c) zastosowania ogniw fotowoltaicznych;
 - d) parametry ogniw: MPP , I_{SC} , J_{SC} , U_{OC} , P_{ID} , I_{MP} , J_{MP} , U_{MP} , P_{MP} , FF , η .
6. Jednostki fotometryczne.
7. Układ doświadczalny do wyznaczania charakterystyk opisanych w części II.



Zdjęcie 1. Stanowisko pomiarowe do badania własności modułu fotowoltaicznego: 1 – lampa żarowa; 2 – ława optyczna; 3 – dmuchawa; 4 – czujnik natężenia promieniowania – termostos; 5 – dwie tafle szklane; 6 – mierniki cyfrowe; 7 – moduł fotowoltaiczny; 8 – rezystor suwakowy.

II. Zadania doświadczalne.

1. Zapoznać się z układem pomiarowym na *Zdjęciu 1*.
2. Wykonać pomiar zależności natężenia oświetlenia od odległości od źródła światła.
3. Wykonać pomiar prądu zwarcia ISC oraz napięcia obwodu otwartego UOC dla różnych odległości od źródła światła.
4. Wykonać pomiary charakterystyk prądowo – napięciowych ($I - U$) dla różnych odległości od źródła światła zestawiając układ według schematu z *Rysunku 2* w *Dodatku*.
5. Wykonać pomiary charakterystyk prądowo – napięciowych dla odległości 50 cm od źródła w różnych warunkach eksploatacji:
 - bez chłodzenia,
 - z chłodzeniem,
 - z szybą.
6. Na podstawie wyników uzyskanych w punktach II.4. i II.5. wyznaczyć parametry ogniwa fotowoltaicznego: PID, PMP, FF, η .
7. Porównać przebiegi charakterystyk uzyskanych w różnych warunkach eksploatacji z charakterystykami uzyskanymi w punkcie II.4.

Opisać różnice uzyskanych wyników.



Wskazówka

Czynności z punktów II.2. – II.6. wykonać według szczegółowych instrukcji zamieszczonych w Dodatku.

III. Zestaw przyrządów.

1. Moduły fotowoltaiczne.
2. Czujnik natężenia promieniowania – termostos.
3. Rezystor suwakowy.
4. Lampa żarowa.
5. Dmuchawa.
6. 3 mierniki uniwersalne.
7. Termometr.
8. Dwie tafle szklane.
9. Ława optyczna.

IV. Literatura.

1. A. Baran – Praca magisterska „Wyznaczanie charakterystyk krzemowego modułu fotowoltaicznego”, UG, 2009.
2. E. Helbig – „Podstawy fotometrii”, WNT, Warszawa 1975.
3. H. Ibach, H. Lüth – „Fizyka ciała stałego”, PWN, Warszawa 1996.
4. G. Jastrzębska – „Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne”, WNT, 2007.
5. Z. M. Jarzębski – „Energia słoneczna: konwersja fotowoltaiczna”, PWN, Warszawa 1990.
6. C. Kittel – „Wstęp do fizyki ciała stałego”, PWN, Warszawa 1999.
7. E. Klugman, E. Klugmann – Radziemska – „Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii”, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2005.
8. J.I. Pankove – „Zjawiska optyczne w półprzewodnikach”, WNT, Warszawa 1974.
9. K.W. Szalimowa – „Fizyka półprzewodników”, PWN, Warszawa 1974.
10. Podstawy fotometrii: <http://www.lepla.edu.pl/pl/modules/Activities/m29/m29-theo.htm>.
11. M. Fox – “*Optical Properties of Solid*”, Oxford University Press, Oxford 2001.
12. M.A.Green – “*Solar Cells–Operating Principles, Technology and System Applications*”, Ed. Univ.of New South Wales, Australia 1992.
13. C. Kittel – “*Introduction to Solid State Physics*”, Wiley, New York 2004.
14. Everything about Photovoltaic’s: <http://www.abc-pv.com>.
15. PHYWE Systeme GmbH & Co.KG – “*Characteristic Curves of a Solar Cell*”, Laboratory Experiments, Physics 4.1.09, 2008.

Dodatek

Przeprowadzenie doświadczenia

Ad II.2. Wykonać pomiar zależności natężenia oświetlenia od odległości od źródła światła.

- a) Po wyzerowaniu woltomierza, dobrać odpowiedni zakres pomiarowy. Podłączyć termstos do woltomierza i ustawić na ławie optycznej, prostopadle do lampy, w odległości 50 cm od lampy.



UWAGA!

Maksymalne napięcie na woltomierzu nie może przekroczyć 10 V.

- b) Po ustabilizowaniu się wskazań miernika (około 10 s) odczytać jego wartość.
 c) Powtórzyć pomiary zwiększając odległość lampa – detektor. Uzyskać około 20 punktów pomiarowych.
 d) Obliczyć natężenie oświetlenia korzystając z zależności:

$$E = \frac{U_T}{A_T S} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

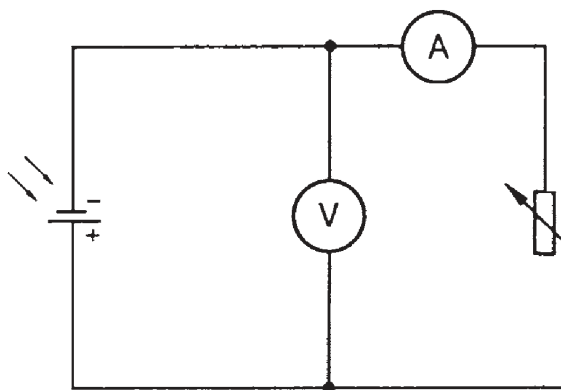
gdzie: U_T – napięcie prądu płynącego przez termstos [V],
 A_T – powierzchnia termstosu [m^2], średnica $d = 2,5$ cm,
 S – czułość napięciowa, $S = 0,16$ V/W

Uzyskane wyniki umieścić w tabeli.

- e) Sporządzić wykres zależności $E = f(r^2)$ w skali logarytmiczno – logarytmicznej. Określić błędy wyznaczonych wielkości i zaznaczyć je na wykresie.

Ad II.3. Wykonać pomiar prądu zwarcia I_{SC} oraz napięcia obwodu otwartego U_{OC} dla różnych odległości od źródła światła.

- a) Podłączyć układ według schematu na Rysunku 2..



Rysunek 2. Schemat układu do pomiaru charakterystyk prądowo – napięciowych.

- b) Umieścić moduł w odległości 50 cm od lampy.
- c) Zmierzyć wartość napięcia obwodu otwartego U_{oc} przy rozwartym obwodzie obciążenia ($R \rightarrow \infty$).
- d) Zmierzyć wartość prądu zwarcia I_{sc} przy zwartym obwodzie obciążenia ($R \rightarrow 0$).
- e) Powtórzyć pomiary z punktów Ad II.3 c) – II.3 d) zwiększając odległość modułu od lampy. Uzyskać około 20 punktów pomiarowych.
- f) Wykonać wykresy zależności $U_{oc}(E)$ oraz $I_{sc}(E)$ we wspólnym układzie współrzędnych. Otrzymane wykresy dopasować do odpowiednich krzywych teoretycznych. Określić błędy wyznaczonych wielkości.

Ad II.4. Wykonać pomiary charakterystyk prądowo – napięciowych ($I - U$) dla różnych odległości od źródła światła.

- a) Umieścić moduł na ławie optycznej w odległości 50 cm od lampy.



UWAGA!

Odległość pomiędzy lampą i modułem nie powinna być mniejsza niż 50 cm ze względu na możliwość przegrzania modułu.

Nie dotykać modułu, ponieważ jego cienka fotoczuła warstwa może zostać łatwo uszkodzona.

- b) Nastawić minimalny opór na rezystorze suwakowym.
- c) Oświetlić moduł przy pomocy lampy i odczekać kilka minut w celu ustabilizowania się temperatury modułu.
- d) Włączyć nadmuch chłodnego powietrza, aby utrzymywać moduł w temperaturze otoczenia.
- e) Zmierzyć temperaturę modułu fotowoltaicznego.
- f) Zwiększając opór rezystora przeprowadzić serię pomiarów. Każdorazowo notować wskazania woltomierza i amperomierza. Odczekać za każdym razem około 30 s przed dokonaniem odczytu. Uzyskać około 30 punktów pomiarowych. Gęstość punktów pomiarowych dobrać zgodnie z dynamiką zmian natężenia prądu. W obszarze od 0 do 1.2 V uzyskać co najmniej 8 punktów pomiarowych.
- g) Powtórzyć pomiary dla dwóch innych odległości od źródła, dla których zmierzono natężenie oświetlenia.

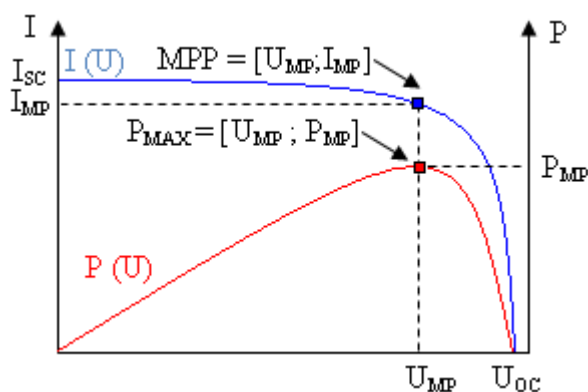
Ad II.5. Dla odległości 50 cm od źródła wykonać pomiar charakterystyki prądowo – napięciowej w różnych warunkach eksploatacji.

- a) Przeprowadzić pomiary zgodnie z punktami Ad II.4a) – II.4f), gdy ogniwo nie jest chłodzone dmuchawą.
- b) Powtórzyć pomiary jak w punkcie Ad II.5a), gdy ogniwo jest oświetlane przez szybę.
- c) Sporządzić wykresy charakterystyk $I - U$ w różnych warunkach eksploatacji:
 - bez chłodzenia,
 - z chłodzeniem,

- z szybą.

Ad II.6. Wyznaczyć parametry ogniwa fotowoltaicznego.

- Na podstawie pomiarów napięcia U oraz natężenia prądu I obliczyć moc P wydzieloną na rezystancji obciążenia. Uzyskane wyniki przedstawić w tabelach.
- We wspólnym układzie współrzędnych sporządzić wykresy $P(U)$ oraz $I(U)$ (Rysunek 3).



Rysunek 3. Wyznaczanie punktu mocy maksymalnej (MPP).

Z przebiegu krzywej $P(U)$ określić położenie punktu maksymalnej mocy P_{MAX} .

Wyznaczony punkt, maksimum krzywej, przesunąć pionowo do krzywej $I(U)$ i wyznaczyć położenie punktu MPP.

c) Wyznaczyć:

- maksymalną moc $P_{MP} = I_{MP} \cdot U_{MP}$ (2)

- maksymalną gęstość mocy $P_{MP}^D = P_{MP}/A = I_{MP} \cdot U_{MP}$ (3)

- idealną moc $P_{ID} = I_{SC} \cdot U_{OC}$ (4)

- idealną gęstość mocy $P_{ID}^D = P_{ID}/A = I_{SC} \cdot U_{OC}$ (5)

- rezystancję optymalną $R_{OPT} = \frac{U_{MP}}{I_{MP}}$ (6)

- współczynnik wypełnienia $FF = \frac{P_{MP}}{P_{ID}}$ (7)

- sprawność konwersji $\eta = \frac{I_{MP} \cdot U_{MP}}{E \cdot A} \cdot 100\%$ (8)

d) Czynności z punktów Ad II.6 a) – II.6 c) powtórzyć dla zmierzonych odległości oraz dla różnych warunków eksploatacji.

Wszystkie otrzymane wyniki zebrać w tabeli.

e) Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.