



Wyznaczanie własności elektrycznych krzemowych ogniw fotowoltaicznych

M. Prokopiuk vel Prokopowicz, M. Szindler, L.A. Dobrzański, A. Drygała

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie

email: marzena.prokopiuk@polsl.pl; marek.szindler@polsl.pl; leszek.dobrzanski@polsl.pl; aleksandra.drygala@polsl.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono urządzenia umożliwiające wyznaczanie własności elektrycznych krzemowych ogniw fotowoltaicznych, które wykorzystywane są do optymalizacji, kontroli i diagnozowania technologii wytwarzania fotoogniw.

Abstract: The paper presents devices to enable determination of electrical properties of silicon photovoltaic cells, which are used for the optimization, control and diagnosis photovoltaic cells technology.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, krzemowe ogniwa fotowoltaiczne, charakterystyki prądowo-napięciowe

1. WSTĘP

Energia może być pozyskiwana z różnych źródeł i w różny sposób. Jednym z alternatywnych rozwiązań energetycznych jest wykorzystanie zasobów Słońca. Fotowoltaika to dziedzina zajmująca się przetwarzaniem energii słonecznej w energię elektryczną przy wykorzystaniu zjawiska fotowoltaicznego. Dzięki temu, że Słońce jest ogólnodostępnym odnawialnym źródłem energii można produkować prąd nie wytwarzając przy tym hałasu, nie zanieczyszczając środowiska i nie zużywając zasobów nieodnawialnych. W sektorze energii odnawialnej to właśnie fotowoltaika jest najszybciej rozwijającą się dziedziną. Urządzeniem umożliwiającym bezpośrednią zamianę energii promieniowania słonecznego na elektryczność jest ogniwo fotowoltaiczne. W celu oceny jakości wytworzonych fotoogniw konieczna jest kontrola ich własności elektrycznych na różnych etapach ich wytwarzania [1].

2. STANOWISKO DO POMIARU CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Podstawowe własności elektryczne ogniwa fotowoltaicznego uzyskuje się przez pomiar jego charakterystyki prądowo-napięciowej. Na podstawie zmierzonych charakterystyk możliwe jest wyznaczenie między innymi: prądu zwarcia ogniwa słonecznego I_{SC} , prądu w punkcie mocy maksymalnej I_M , napięcia obwodu otwartego U_{OC} , napięcia w punkcie mocy

maksymalnej V_M , mocy maksymalnej P_M , współczynnika wypełnienia charakterystyki FF , sprawności przetwarzania promieniowania słonecznego na energię elektryczną E_{ff} . W laboratorium Fotowoltaiki i Badania Własności Elektrycznych Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych w Gliwicach znajduje się stanowisko do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych ogniw fotowoltaicznych SS I-V CT-02 (rys. 1).



Rysunek 1. Stanowisko do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych ogniw SS I-V CT-02

Figure 1. Solar cells current –voltage curve tracer SS I-V CT-02

Stanowisko składa się z: symulatora światła słonecznego, układu pomiarowego wraz z systemem akwizycji danych, stolika pomiarowego z sondami oraz jednostki kontroli temperatury stolika. Symulator światła słonecznego pracuje w klasie pomiarowej AAA określonej zgodnie z normą IEC 60904-09. Jednorodność natężenia światła gwarantowana jest na powierzchni $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$. Symulator słoneczny wraz z systemem pomiarowym charakterystyk I-V umożliwia pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych ogniw fotowoltaicznych w warunkach STC (z ang. Standard Test Conditions) wg normy europejskiej o numerze IEC 61853-1 czyli w temperaturze $25\text{ }^\circ\text{C}$, przy natężeniu promieniowania słonecznego 1000 W/m^2 oraz dla widma AM1,5. System pomiarowy umożliwia pomiar zarówno ogniwa oświetlonego (charakterystyka "jasna"), jak i nieoświetlonego (charakterystyka "ciemna") [2].

O własnościach ogniwa fotowoltaicznego decyduje kształt charakterystyki prądowo-napięciowej. Jasna charakterystyka prądowo-napięciowa dla idealnego ogniwa powinna mieć kształt prostokąta o bokach I_{SC} i U_{OC} (rys. 2). Maksymalna moc P_{id} takiego ogniwa to iloczyn

prądu zwarcia I_{SC} i napięcia obwodu otwartego U_{OC} . W praktyce maksymalna moc rzeczywistego ogniwa P_m jest zawsze mniejsza od mocy idealnego ogniwa (rys. 2) i wynosi [2,3]:

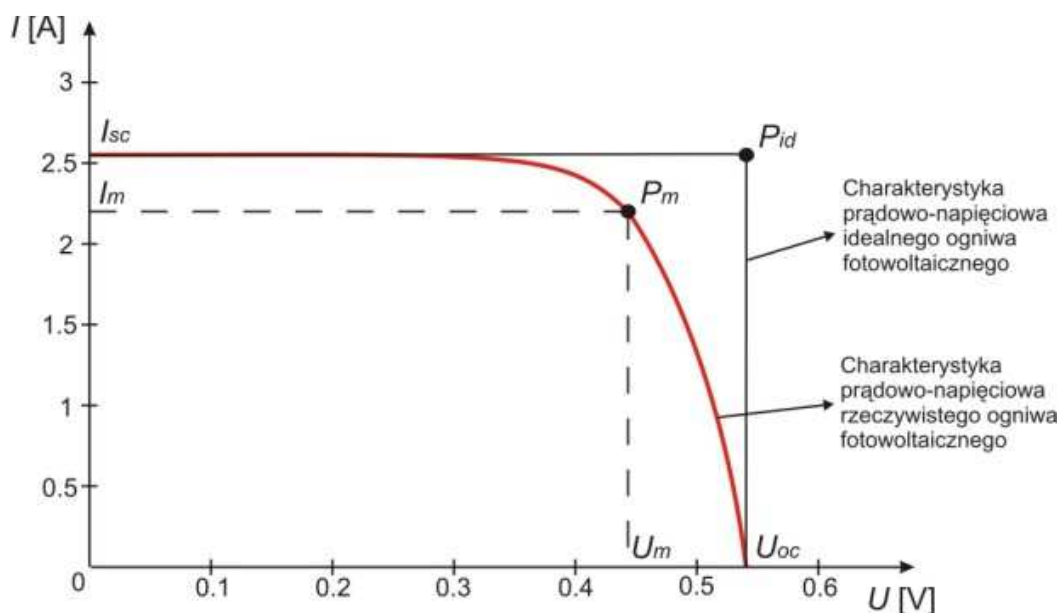
$$P_m = I_m * U_m, \quad (1)$$

gdzie:

I_m – prąd w punkcie maksymalnej mocy,

U_m – napięcie w punkcie maksymalnej mocy.

Kolejną wielkością określającą jakość ogniwa fotowoltaicznego jest współczynnik wypełnienia FF , który zdefiniowany jest jako stosunek maksymalnej mocy ogniwa rzeczywistego P_m do maksymalnej mocy ogniwa idealnego P_{id} . Im bardziej kształt charakterystyki prądowo-napięciowej jest zbliżony do prostokąta tym bardziej współczynnik wypełnienia dąży do jedności. Najważniejszym parametrem ogniwa jest sprawność E_{ff} przetwarzania promieniowania słonecznego na energię elektryczną definiowana jako stosunek maksymalnej mocy ogniwa P_m do mocy światła padającego na ogniwo [1-3].

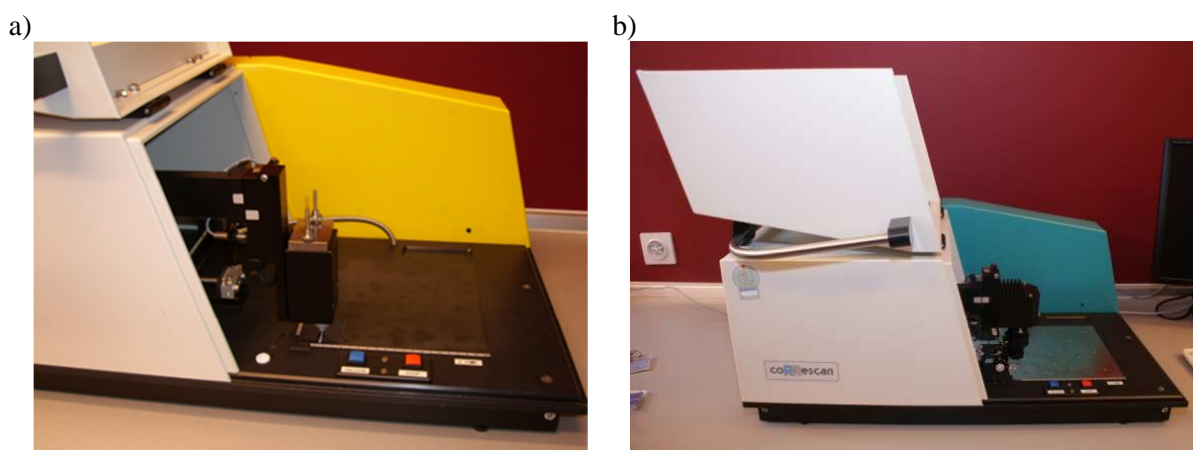


Rysunek 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa słonecznego

Figure 2 Current-voltage characteristic of solar cells

3. SHERESCAN I CORESCAN

W celu wytworzenia wydajnych i opłacalnych ogniw fotowoltaicznych z minimalnymi stratami ważne jest zmierzenie ich własności elektrycznych na specjalnych aparaturach badawczych. Urządzenia Sherescan (rys. 3a) i Corescan (rys. 3b), które są jednymi z najnowszych urządzeń dostępnych na rynku, wykorzystywane są do optymalizacji, kontroli i diagnozowania technologii wytwarzania ogniw fotowoltaicznych.

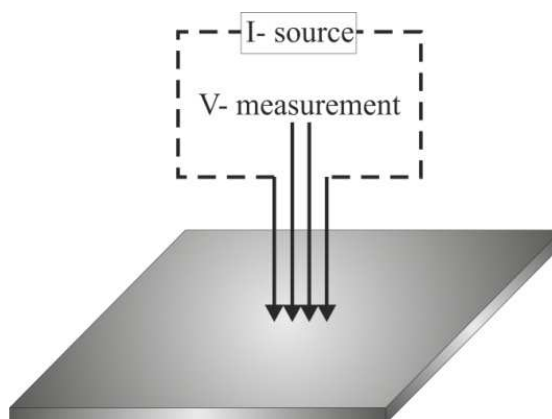


Rysunek 3. Zdjęcie urządzenia a) Sherescan, b) Corescan
 Figure 3. Photograph of the a) Sherescan b) Corescan instrument

Urządzenie Sherescan umożliwia pomiar [4]:

- rezystancji powierzchniowej emitera na powierzchni pojedynczej płytki krzemowej,
- typu przewodnictwa p/n półprzewodnika,
- przewodności metalu.

Do pomiaru rezystancji powierzchniowej urządzenie Sherescan wykorzystuje standardową metodę sondy czteroostrowej nazywaną metodą czterech prób Jandela, która polega na dociśnięciu do płytki krzemowej głowicy pomiarowej składającej się z 4 ostrzy, a następnie wymuszeniu przepływu prądu przez dwa zewnętrzne ostrza. W wyniku tego między ostrzami wewnętrznymi powstaje różnica potencjałów U . Zasadę pomiaru przedstawiono na rysunku 4 [4].



Rysunek 4. Schemat zasady pomiaru rezystancji powierzchniowej z wykorzystaniem urządzenia Sherescan [4]

Figure 4. Scheme of operation principle of measuring the surface resistance with the use of Sherescan instrument [4]

Tryb pomiaru typu przewodnictwa materiału półprzewodnikowego (rys. 5) mierzy pojedynczy punkt metodą rektyfikacji, w której są wykorzystywane trzy z czterech ostrzy.

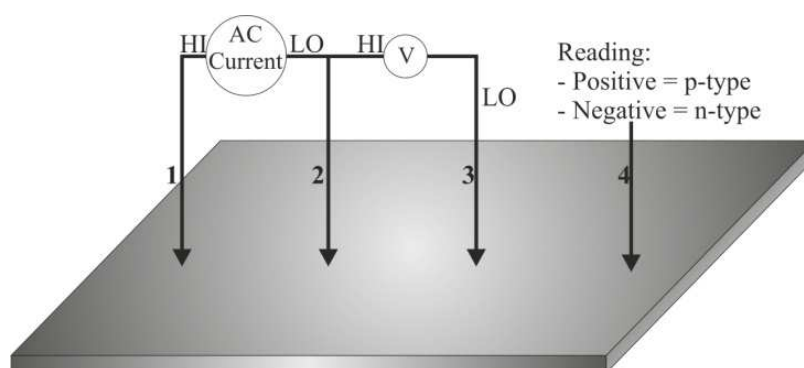
Ostatnim trybem pomiaru na urządzeniu Sherescan jest pomiar przewodności metalu, który w konsekwencji umożliwia wyznaczenie rezystancji powierzchniowej [Ω/\square] metalowych

kontaktów elektrycznych ogniwa fotowoltaicznego. Zasada pomiaru oparta jest na zeskanowaniu sondą czteroostrzową kilku punktów w centralnej części metalowej powierzchni. W wyniku czego mierzona jest rezystancja metalu [5,6].

Tablica 1. Różnice w trybach pomiaru na urządzeniu Corescan [5,6]

Table 2. Differences in Corescan methods [5,6]

Tryb pomiaru	Warunki pracy	Pomiar	Schemat
Corescan	zwarcie, lokalnie oświetlony	rezystancji kontaktów	
Shuntscan	~300mV polaryzacja przewodzenia w ciemności	prądu bocznikowego	
V _{oc} scan	obwód otwarty, lokalnie naświetlony	miejsc zwiększonej rekombinacji	
LBIC scan	zwarcie, lokalnie oświetlony	regionów z niższym czasem życia nośników mniejszościowych	



Rysunek 5. Schemat zasady pomiaru trybu rozpoznawania typu przewodnictwa P/N urządzeniem Sherescan [5]

Figure 5. Scheme of operation principle of Sherescan mode used in P/N recognition [5]

Urządzenie Corescan jest niezbędnym instrumentem w optymalizacji wydajności ogniw słonecznych, wykrywaniu defektów, miejsc wysokiej rekombinacji lub upływu prądu w ogniwie fotowoltaicznym. Urządzenie Corescan oferuje cztery tryby pomiaru [5,6]:

- Corescan (z ang. COn tact REsistance scan),
- Shuntscan
- Voc scan,
- LBIC scan (z ang. Light Beam Induced Current scan).

Trzy z metod pomiarowych na urządzeniu Corescan czyli Corescan, Shuntscan oraz Voc scan oparte są na potencjalnym mapowaniu przedniej powierzchni ogniwa fotowoltaicznego i różnią się od siebie warunkami pracy ogniwa słonecznego, które przedstawiono w tabelicy 1. Metoda LBIC scan umożliwia pomiar prądu zwarcia przy pomocy wiązki światła o średnicy 9 mm skanującej całą powierzchnię ogniwa słonecznego.

4. PODSUMOWANIE

W celu oceny jakości wytworzonych ogniw słonecznych konieczna jest kontrola własności elektrycznych na różnych etapach ich wytwarzania. Urządzenia przedstawione w niniejszej pracy czyli stanowisko do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych, Corescan i Sherescan stanowią doskonałe narzędzia do optymalizacji i diagnozowania technologii wytwarzania ogniw fotowoltaicznych.

5. LITERATURA

1. M.T. Sarniak, Podstawy fotowoltaiki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
2. Dokumentacja techniczna urządzenia Solar Cells I-V Curve Tracer SS I-V CT-02.
3. E. Klugmann - Radziemska, Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wydawnictwo BTC, Warszawa-Legionowo, 2010.
4. Dokumentacja techniczna urządzenia Sherescan firmy Mechatronics BV.
5. Strona internetowa producenta: <http://www.sunlab.nl/>.
6. Dokumentacja techniczna urządzenia Corescan firmy Mechatronics BV.