



Uniwersytet
Młodych Wynalazców

Badanie ogniw fotowoltaicznych

Mikołaj Kordowski¹, Maciej Jabłoński², Kamil Bartosiewicz³, Jarosław Rybusiński⁴

¹Gimnazjum nr 77 im. Ignacego Domeyki w Warszawie, ul. Staffa 3/5, 01-891 Warszawa

²XIV LO im. Stanisława Staszica, ul. Nowowiejska 37A, 02-010 Warszawa

³Zespół Szkół nr 40, Technikum Mechaniczne nr 5 im. Stefana Starzyńskiego, ul. Objazdowa 3, 03-771 Warszawa

⁴Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

Przeprowadzono serię pomiarów mających na celu wskazanie na jakie aspekty należy zwrócić uwagę w domowym i przemysłowym stosowaniu ogniw. Sprawdzono doświadczalnie czy ogniw poddane badaniu działały zgodnie z teoretyczną charakterystyką zjawiska fotoelektrycznego. Badaniu poddano ogniw krzemowe monokrystaliczne i polikrystaliczne. Otrzymane wyniki wykazały, że ogniw monokrystaliczne wykazują zdecydowanie większą sprawność. Stwierdzono zatem, że ich stosowanie jest bardziej opłacalne, pomimo wyższej ceny ogniw monokrystalicznych. Obserwując punkt mocy maksymalnej ogniw w zależności od natężenia światła zauważono, że moc maksymalna zależna jest od obciążenia ogniw przy danym oświetleniu. Sugeruje się więc stosowanie zmiennego obciążenia w zależności od natężenia światła (np. dołączając dodatkowy odbiornik). Obserwując parametry ogniw krzemowych zauważono, że ich maksymalna sprawność jest mniejsza od sprawności ogniw opartych np. na arsenku galu, jednak krzem wciąż wygrywa stosunkiem wydajności do ceny produkcji.

Wstęp

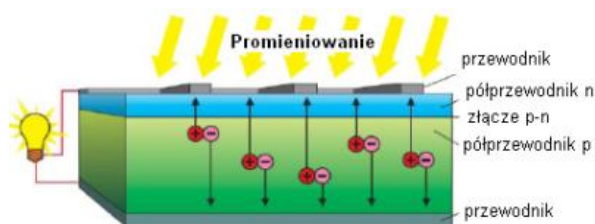
Wykorzystywanie klasycznych źródeł energii takich jak węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny wiąże się z wyczerpywaniem zasobów, które odnawiają się bardzo powoli lub wcale. Aby uniknąć sytuacji kiedy światowa energetyka napotka na niedobór paliw, coraz częściej wykorzystywane są odnawialne źródła energii. Według danych z 2015 roku [1] odnawialne źródła energii zaspokajały 9.3% zapotrzebowania ludzkości na energię. Energetyka oparta na źródłach odnawialnych koncentruje się obecnie głównie na wykorzystywaniu energii grawitacyjnej wody. Jednak to energia słoneczna jest tą, której wykorzystywanie rośnie najszybciej. Od początku XXI wieku energetyka słoneczna rozwija się w tempie ok. 40% rocznie [2]. Jest to związane z faktem, iż moc energii słonecznej, która w ciągu roku dociera do Ziemi to około 86 tys. TW. Jest to ponad 5700 razy

więcej niż aktualne światowe zapotrzebowanie (wynoszące ok. 15 TW rocznie) [3]. W ciągu dwóch miesięcy Słońce dostarcza tyle energii ile zawierają wszystkie znane nam złoża węgla, ropy i gazu razem. Dlatego właśnie energetyka słoneczna rozwija się tak dynamicznie. Przewiduje się również, że od 2025 roku fotowoltaika będzie najtańszym źródłem energii [4].

Ogniw fotowoltaiczne

Podstawowym elementem układu wykorzystującego energię słoneczną jest ogniwo fotowoltaiczne. Jest to element półprzewodnikowy, w którym następuje konwersja energii słonecznej w postaci światła w energię elektryczną (zjawisko fotowoltaiczne). Konwersja ta następuje w wyniku wystąpienia efektu fotoelektrycznego wewnętrznego. W efekcie tym nośniki ładunku przenoszone są pomiędzy

pasami energetycznymi w wyniku naświetlania promieniowaniem elektromagnetycznym (np. światłem widzialnym). Zjawisko zachodzi jedynie wówczas, gdy energia fotonu jest większa niż szerokość przerwy energetycznej półprzewodnika. Rozdzielenie nośników ładunku w złączu powoduje powstanie na nim zewnętrznego napięcia elektrycznego [5].



Rys. 1. Schemat ogniw fotowoltaicznych.
Źródło: <http://www.kotly.krakow.pl>

Powstawanie siły elektromotorycznej pod wpływem światła zachodzi w różnych typach ogniw. Wyróżnia się fotoogniwa I generacji (krzemowe), II generacji (gdzie wykorzystuje się złącza P-N innych półprzewodników np. CdTe, GaAs) oraz barwnikowe i polimerowe. Pod względem wydajności najlepsze wyniki dają ogniwa II generacji np. ogniwa oparte na arsenku galu. Dużo niższą wydajność mają ogniwa barwnikowe i polimerowe. Ich zaletą jest jednak bardzo niski koszt produkcji dlatego są one przedmiotem wielu badań. Na chwilę obecną najbardziej popularne w przemyśle energetycznym są ogniwa krzemowe ze względu na dobry stosunek wytwarzanej przez nie energii do kosztów produkcji, a także mnogość zastosowań [6]. Te cechy zdecydowały o wyborze ogniw krzemowych jako przedmiotu badania.

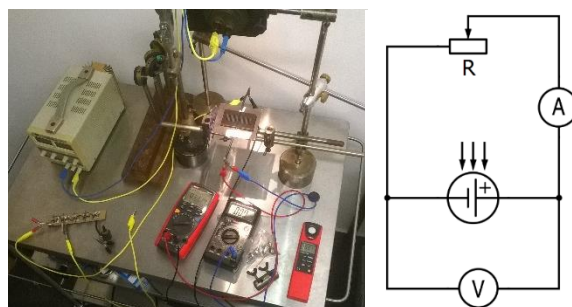
Przedmiot badań

Głównym celem projektu było sprawdzenie jakie czynniki zewnętrzne należy wziąć pod uwagę korzystając z ogniw fotowoltaicznych i jak te czynniki wpływają na ich wydajność [7]. W panelach słonecznych stosuje się dwa rodzaje fotowoltaicznych ogniw krzemowych: monokrystaliczne oraz polikrystaliczne. Aby scharakteryzować oba rodzaje ogniw

krzemowych postanowiono wyznaczyć ich charakterystykę prądowo-napięciową

Układ doświadczalny i pomiary

W celu przeprowadzenia eksperymentu skonstruowano układ pomiarowy. Do pomiaru wartości napięcia i natężenia zbudowano obwód przedstawiony na rysunku (Rys. 2.)



Rys. 2. Zdjęcie układu pomiarowego wraz ze schematem obwodu służącego do pomiaru napięcia i natężenia

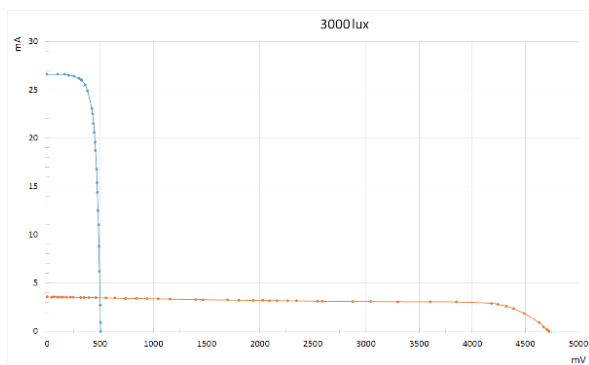
Do oświetlania ogniw wykorzystano lampę halogenową o regulowanej mocy świecenia. Natężenie oświetlenia mierzono za pomocą luksomierza. Opór w obwodzie mógł być regulowany dzięki zastosowaniu potencjometru. W skonstruowanym układzie za pomocą woltomierza mierzono napięcie na zaciskach ogniw. Amperomierz służył zaś do mierzenia prądu płynącego przez potencjometr. Opór podłączony do ogniw zmieniano w zakresie 0-50 kΩ w celu wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej ogniw. Zmierzono również napięcie obwodu otwartego oraz dokonano pomiaru prądu zwarcia. Wszystkie pomiary przeprowadzono w całkowicie zaciemnionym pomieszczeniu tak by jedynym źródłem światła był halogen. Pomiary wykonano jednakowo dla obu rodzajów ogniw.

Wyniki doświadczenia

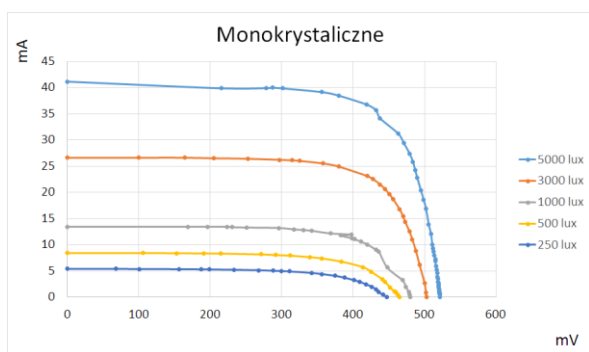
Wyznaczono charakterystykę prądowo-napięciową przy świetle o natężeniu 3000 luksów (Rys. 3.) oraz charakterystyki ogniw dla różnego natężenia światła. Wyniki przedstawiono na rysunkach:

Rys. 4. - ogniwo monokrystaliczne

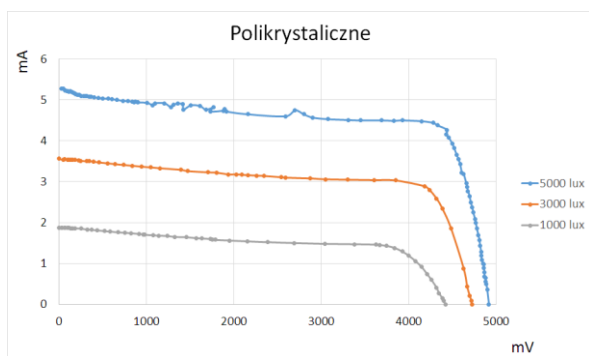
Rys. 5. - ogniwo polikrystaliczne



Rys. 3. Charakterystyka prądowo-napięciowa dla obu rodzajów ogniw. Kolorem niebieskim zaznaczono ognio monokrystaliczne. Kolorem pomarańczowym – ognio polikrystaliczne



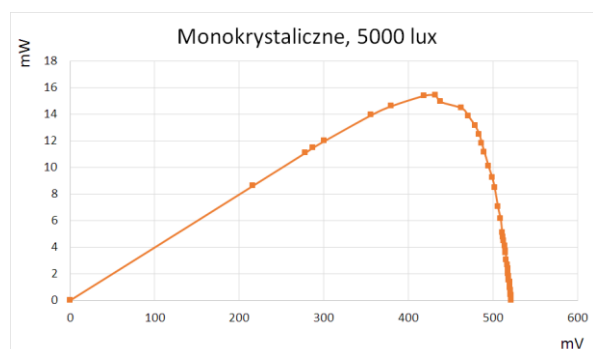
Rys. 4. Charakterystyka prądowo-napięciowa ognia monokrystalicznego w zależności od natężenia światła



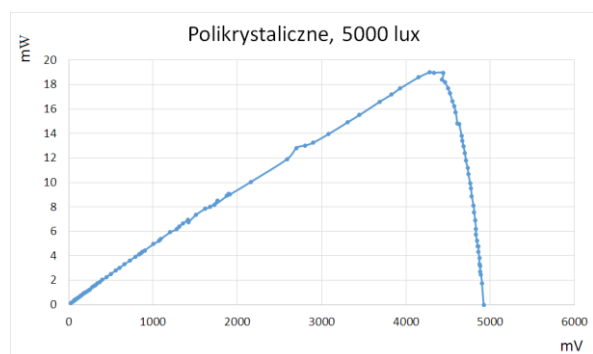
Rys. 5. Charakterystyka prądowo-napięciowa ognia polikrystalicznego w zależności od natężenia światła

Na powyższych wykresach charakterystyk prądowo-napięciowych zauważyć można, że ognio polikrystaliczne osiągnęło najwyższą moc w oświetleniu o wartości 5000 lux. Tę samą moc uzyskuje ognio monokrystaliczne w oświetleniu 250 lux czyli przy świetle o natężeniu dwadzieścia razy mniejszym. Jest to szczególnie istotna różnica jeśli ognio może być narażone na pracę w słabym oświetleniu np. ze względu na warunki pogodowe.

Kolejno otrzymano zależność mocy dostarczonej przez ognio od zmierzonego na nim napięcia (Rys. 6. - 7.) i przyłożonego oporu (Rys. 8.). Za różnice w zachowaniu ogniw odpowiada bezpośrednio ich budowa. Ognio monokrystaliczne zbudowane było z pojedynczego kawałka krzemu o powierzchni 11.34 cm². Ognio polikrystaliczne zbudowane było z 10 mniejszych kawałków krzemu, o łącznej powierzchni 25.2 cm², połączonych szeregowo.



Rys. 6. Zależność mocy ognia monokrystalicznego od zmierzonego na nim napięcia przy natężeniu światła o wartości 5000 luksów



Rys. 7. Zależność mocy ognia polikrystalicznego od zmierzonego na nim napięcia przy natężeniu światła o wartości 5000 luksów

Badane ognia osiągnęły moc maksymalną odpowiednio:

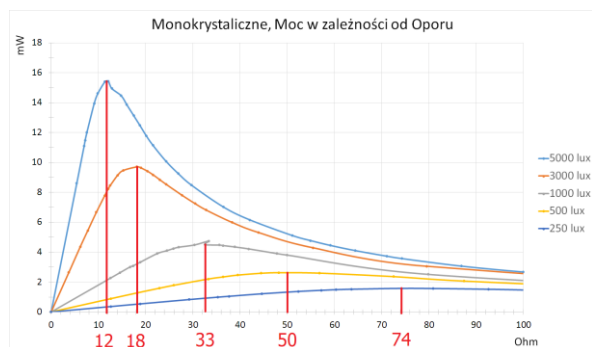
Monokrystaliczne	15.4 mW
Polikrystaliczne	19 mW

W przeliczeniu na jednostkę powierzchni:

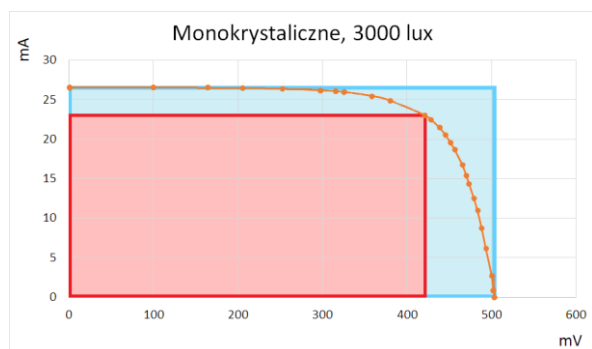
Monokrystaliczne	1.36 mW/cm ²
Polikrystaliczne	0.75 mW/cm ²

Ognio monokrystaliczne charakteryzuje się zatem sprawnością większą o ok. 81%.

Na rysunku (Rys. 8.) zaznaczono zależność mocy ogniwa monokrystalicznego w zależności od obciążenia ogniwa (przyłożonego oporu) dla różnych wartości natężenia światła. Zauważono, że punkt mocy maksymalnej uzyskuje się dla innego oporu w zależności od natężenia światła.



Rys. 8. Wykres zależności mocy ogniwa monokrystalicznego od przyłożonego oporu dla różnych wartości natężenia światła



Rys. 9. Współczynnik Fill Factor wyznaczony dla ogniwa monokrystalicznego (czerwony) w porównaniu do ogniwa idealnego (niebieski)

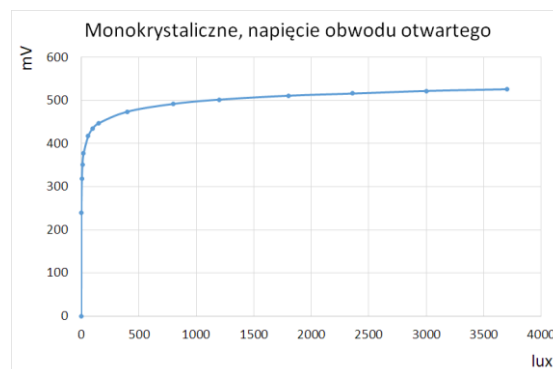
Współczynnik Fill Factor

Współczynnik FF (Fill Factor) jest charakterystyczną wielkością każdego ogniwa fotowoltaicznego. Wielkość ta równa jest stosunkowi mocy maksymalnej ogniwa do iloczynu jego maksymalnego napięcia i natężenia. Idealne ogniwo ma współczynnik FF równy 100% [8]. Dla badanego ogniwa monokrystalicznego współczynnik ten wyniósł 70.2% (Rys. 9.). Jest to stosunkowo dobry wynik jednakże ogniwa oparte na arsenku galu osiągają współczynnik FF nawet 90%.

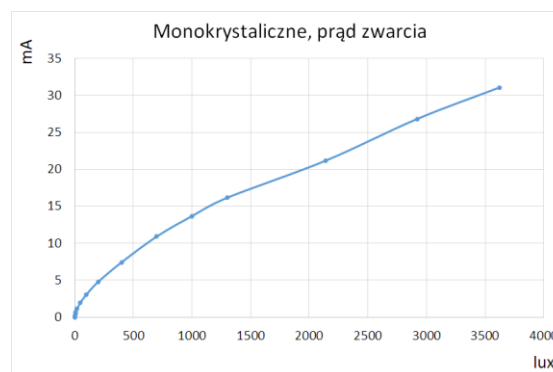
Zgodność pomiarów z teorią

Dane przedstawione na wykresie (Rys. 10.) potwierdzają, że napięcie pomiędzy zaciskami ogniwa zależy jedynie od wielkości przerwy

energetycznej będącej charakterystyczną cechą każdego złącza P-N i nie zależy od natężenia światła.



Rys. 10. Wykres zależności napięcia obwodu otwartego od natężenia światła dla ogniwa monokrystalicznego



Rys. 11. Wykres zależności prądu zwarcia od natężenia światła dla ogniwa monokrystalicznego

Na kolejnym wykresie (Rys. 11.) przedstawiono wyniki pomiaru prądu zwarcia dla ogniwa monokrystalicznego przy zmiennym oświetleniu ogniwa. Można zauważyć, że prąd płynący przez ogniwo jest w przybliżeniu proporcjonalny do ilości padających fotonów. Wyniki pomiarów napięcia obwodu otwartego oraz prądu zwarcia pokrywają się więc z teoretycznymi założeniami działania ogniw fotowoltaicznych.

Wnioski

Na podstawie przedstawionych wyników można wysnuć wniosek, który jest niezmiennie istotny dla wszystkich użytkowników ogniw fotowoltaicznych. Zauważono, że osiągnięcie maksymalnej wydajności ogniwa uzależnione jest od obciążenia ogniwa w zależności od natężenia światła padającego na panel. Należałoby więc stosować we wszystkich ogniwach układy, skalibrowane odpowiednio dla ogniwa o danej charakterystyce,

dołączające dodatkowy odbiornik po wykryciu zmiany natężenia światła. W ten sposób ogniwo pozostanie zawsze w punkcie mocy maksymalnej i ograniczone zostaną straty energii. Nadmiar mocy ogniwa wykorzystać można np. na ładowanie dodatkowych akumulatorów. Istotną sprawą, którą należy wziąć pod uwagę jest również budowa wykorzystywanego ogniwa. Ogniwa monokrystaliczne mają zdecydowanie większą wydajność. Warto więc zastanowić się czy nie warto zainwestować w nieco droższe ogniwo monokrystaliczne ze względu na korzyści płynące z jego wydajności nawet przy słabym oświetleniu. Porównując wydajność ogniw krzemowych z ogniwami GaAs nasuwa się wniosek, iż być może ogniwa krzemowe mimo swoich zalet zostaną niedługo zastąpione przez inne rodzaje ogniw. Jednak do czasu gdy technologia wytwarzania ogniw np. GaAs nie będzie odpowiednio tania, należy maksymalnie wykorzystać energię, którą dostarcza nam słońce wykorzystując potencjał powszechnie dostępnych ogniw krzemowych.

Przypisy

- [1] *BP Statistical World Energy Review 2015*
- [2] *Annual Solar Photovoltaics Production by Country 1995-2011*, Earth Policy Institute
- [3] *Quantifying Global Exergy Resources*, W. Hermann, Energy vol. 31, Sept. 2006
- [4] Fraunhofer ISE (2015): *Current And Future Cost Of Photovoltaics. Long-Term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE Of Utility-Scale PV Systems*. Study on behalf of Agora Energiewende.
- [5] *Fotowoltaika: w teorii i praktyce*, E. Klugmann-Radziemska, BTC 2010
- [6] *Nadchodzi era słońca*, M. Nowicki, PWN 2012
- [7] *Ogniwa słoneczne. Wpływ środowiska na ich pracę*, M. Waclawek, T. Rodziewicz WNT 2015
- [8] *What is the Fill Factor of a solar panel?*, T. Bazouni, 2009
- [9] *Kolektory słoneczne i fotoogniwa w twoim domu*, W. Oszczak. WKŁ 2012

[10] *Jak wykorzystać дарowaną energię: o kolektorach słonecznych i ogniwach fotowoltaicznych*, F. Wolańczyk, KaBe 2011

[11] <http://www.kotly.krakow.pl>

Projekt został zrealizowany na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod opieką Jarosława Rybusińskiego, w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Uniwersytet Młodych Wynalazców”.