

Grażyna FRYDRYCHOWICZ-JASTRZĘBSKA*
Artur BUGAŁA*

OGNIWA Z DISELENKU INDOWO-MIEDZIOWEGO (CIS) I ICH MODYFIKACJE (CIGS, CIBS)

W pracy zaprezentowano cienkowarstwowe ogniwa z diselenku indowo - miedziowego CuInSe_2 (CIS) i ich modyfikacje. Scharakteryzowano ich własności elektryczne i optyczne. Przedstawiono zjawiska zachodzące w tych rozwiązaniach, a także problemy związane z doбором warstw absorpcyjno - generującej i okiennej oraz możliwości ich wyeliminowania celem uzyskania wysokiej wydajności konwersji fotowoltaicznej, która aktualnie w warunkach laboratoryjnych osiąga już 22,3% [22].

SŁOWA KLUCZOWE: ogniwo słoneczne, CIS, heterozłącze, efekt Light Soaking

1. WPROWADZENIE

W fotowoltaice poszukuje się ogniw charakteryzujących się własnościami elastycznymi, niską masą i kosztami, a przede wszystkim bardzo wysokim współczynnikiem absorpcji. Takie własności umożliwiają szeroki zakres aplikacji, jak integracja ogniw z elementami elewacji budynków, karoserii pojazdów, powierzchniami tekstylnymi, plastikowymi. Wymienione kryteria spełniają cienkowarstwowe ogniwa z diselenku indowo - miedziowego i ich modyfikacje.

Technologia cienkowarstwowych ogniw heterozłączowych jest tańszym rozwiązaniem, w porównaniu do najbardziej rozpowszechnionej technologii, bazującej na homozłączu p - n w krzemie monokrystalicznym [2, 7, 18].

Ogniwa cienkowarstwowe CIS o grubości warstwy 2 – 3 μm umieszczone są na warstwie szklanej o grubości 3 mm [23], co zapewnia znaczną oszczędność w zakresie materiałowym jak i energetycznym (proces produkcyjny).

Aktualnie ogniwa tego typu, w szczególności struktury w połączeniu z galem ($\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$) stają się coraz bardziej popularne wśród ogniw cienkowarstwowych [17].

Badania struktur homozłączowych CIS były prowadzone od lat siedemdziesiątych XX wieku [1, 9]. Pierwsze badania, dotyczące ogniw heterozłączowych $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ w wersji cienkowarstwowej przeprowadzili Kazmerski i współpracownicy [8]. W odniesieniu do sprawności ogniw krystalicznych tego typu osią-

* Politechnika Poznańska.

gającej wówczas 12%, sprawność tych ostatnich nie była imponująca, wynosiła zaledwie 5,7%. Kilka lat później wartość sprawności dla rozwiązania opracowanego w USA (Boeing Aerospace Thin Film Laboratory) osiągnęła 9,4%, a w przypadku zastosowania dodatkowej warstwy przeciwo odbiciowej – odpowiednio – 11%. Podobne wyniki osiągnięto w połowie lat osiemdziesiątych podczas badań w Solar Research Institute Golden Colorado. Charakterystyczne dla tego ostatniego rozwiązania są podwójne warstwy CuInSe_2 i CdS , o zróżnicowanych grubościach i rezystywnościach. Ogniwo z podwójnymi warstwami opisano dalej [8, 9]. W ciągu kolejnych lat uzyskiwano cienkowarstwowe ogniwa heterozłączone $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ o coraz wyższej sprawności, i tak 12% (NREL, 2000 rok), a w warunkach laboratoryjnych (2005 rok) - odpowiednio - 19,9% [14]. Maksymalna sprawność teoretyczna określana jest na 27%, na skalę masową – odpowiednio – 17%. W 2014 roku, jak podano w Raporcie Fraunhofer, osiągnięto sprawność w przypadku jednego ogniwa o powierzchni 1 cm^2 równą 21%, a dla modułu – odpowiednio – 17,5%, a najnowszy wynik to 22,3% [22].

2. CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI OPTYCZNYCH I ELEKTRYCZNYCH OGNIW CIS

Diselenek indowo - miedziowy CuInSe_2 jest materiałem polikrystalicznym cienkowarstwowym, w strukturze chalkopiryty, charakteryzującym się bardzo wysokim współczynnikiem absorpcji, w wyniku czego aż 99% padającego światła jest absorbowane już w warstwie o grubości jednego mikrometra. Barwa ogniwa jest czarna, w module brak wyróżniających się ogniwa, które tworzą jednolitą powierzchnię. Przerwa energetyczna ogniwa z diselenku indowo – miedziowego jest równa 1,05, różni się zatem znacząco od przerwy optymalnej i nie gwarantuje tak wysokiej sprawności jaka osiągana jest w innych rozwiązaniach [11].

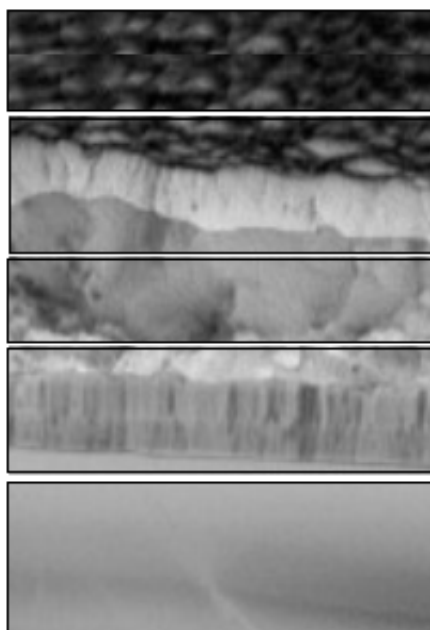
Parametry ogniwa są stabilne w czasie, ale wyłącznie w temperaturze nie przekraczającej wartości 90°C [13]. W celu ochrony przed czynnikami zewnętrznymi ogniwa umieszczane są w szklanej obudowie, ale nawet wówczas ich trwałość nie przekracza 10 lat.

Należy mieć również na uwadze, że selen i ind są pierwiastkami toksycznymi. Ponadto zasoby indu w przyrodzie są ograniczone. Produkcja indu w skali roku wynosi 500 ton [9, 13, 16]. Cena ogniwa CIS jest relatywnie niska, według firmy konsultingowej szacuje się ją na 0,8 USD/ W_p . Nie została ona jednak potwierdzona przez producentów.

Na rysunku 1 pokazano strukturę warstwową ogniwa słonecznego z diselenku indowo - miedziowego, na podstawie [9, 21].

Własności diselenku indowo – miedziowego, zarówno optyczne jak i elektryczne, zależą w znacznym stopniu od struktury krystalicznej materiału i od udziału w nim obu składników, miedzi i indu. Koncentracja dziur maleje wraz

ze zmniejszaniem się udziału miedzi w stosunku do indu, przy czym ruchliwość dziur może osiągać nawet $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ [6, 17].



Rys. 1. Ogniwo słoneczne z diselenku indowo - miedziowego, struktura warstwowa

W tabeli 1 podano przykładowe parametry fizyczne i elektryczne modułów CIS [15].

W Laboratorium Ångströma Uniwersytetu w Uppsali uzyskano ogniwa na bazie związków miedzi, indu i selenu o grubości aktywnych warstw 4 mikrony. W związku z tym już 20 – 30 gramów materiału zapewnia pokrycie takimi ogniwami powierzchni 1 m^2 . W przypadku tradycyjnego ogniwa krzemowego jest to odpowiednio około 1 kg krzemu. Ogniwa z diselenku indowo - miedziowego zastosowano do pokrycia dachu kościoła w Tybindze w Niemczech. Znalazły również zastosowanie w Szwecji, Francji i Szwajcarii [20].

Przykładowe ogniwo CIS charakteryzuje się następującymi parametrami: gęstość prądu zwarcia $I_{zw} = 38 \text{ mA/cm}^2$, napięcie obwodu otwartego $U_0 = 0,49 \text{ V}$, współczynnik wypełnienia $FF = 0,60$ oraz sprawność $\eta = 12\%$ [10]. Charakteryzuje się też dobrą tolerancją na temperaturę. Nie występuje tu efekt Stablera - Wronskiego, w wyniku, którego następuje obniżenie wydajności ogniw krzemowych amorficznych [8], a korzystne zjawisko *Light Soaking Effect*, opisane dalej.

Tabela 1. Wybrane parametry modułów CIS produkcji Shell

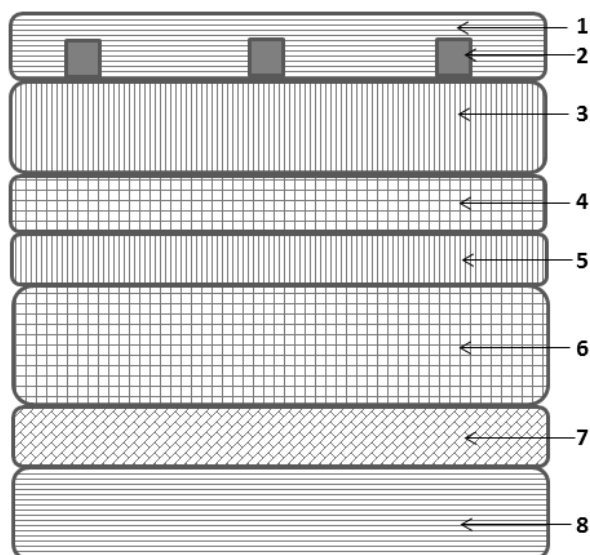
Typ modu- łu	Shell ST5	Shell ST10	Shell ST20	Shell ST36	Shell ST40
Charakterystyka modułu					
Liczba ogniw	42	42	42	42	42
Typ ogni- wa	CIS cienko- warstw.	CIS cienko- warstw.	CIS cienko- warstw.	CIS cienko- warstw.	CIS cien- kwarstw.
Charakterystyka elektryczna					
Moc mak- symalna [W _p]	5	10	20	36	42
Napięcie w PMM* [V]	15,6	15,6	15,6	15,8	16,6
Napięcie obwodu otwartego [V]	22,9	22,9	22,9	22,9	23,3
Prąd zwar- cia [A]	0,39	0,77	1,54	2,68	2,68
Napięcie znamionowe [V]	12	12	12	12	12
Parametry konstrukcyjne					
Długość [mm]	329	359	748	1293	1293
Szerokość [mm]	206	329	329	329	329
Masa [kg]	1,4	2,4	4,1	7	7
Typowe aplikacje					
	Autonomiczne/ przemysłowe	Autonomiczne/ przemysłowe	Autonomiczne/ przemysłowe	Autonomiczne/ przemysłowe	Sieciowe

*PMM - Punkt Mocy Maksymalnej

3. RÓŻNE ROZWIĄZANIA OGNIW CIENKOWARSTWOWYCH CIS ZWIĘKSZAJĄCE ICH WYDAJNOŚĆ

Na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych powstały liczne, różniące się od pierwowzoru modyfikacje, mające zapewnić zwiększoną wydajność opisywanych ogniw [9].

W dalszym ciągu przedstawiono przykładowe rozwiązania ogniw CIS. Jedno z pierwszych ogniw z dwuselenku indowo - miedziowego i siarczku kadmu zaproponowali w 1985 roku naukowcy z Solar Research Institute Golden Colorado. Przekrój przez ogniwo pokazano na rysunku 2 [9].



Rys. 2. Struktura wielowarstwowa $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ zaproponowana przez Solar Research Institute Golden Colorado Oznaczenia: warstwa przeciwo odbiciowa (1), kratowa elektroda Al, o grubości $2\ \mu\text{m}$ (2), warstwa CdS ($2\ \mu\text{m}$) (3), CdS ($0,8\ \mu\text{m}$) (4), CuInSe_2 o grubości $0,8\ \mu\text{m}$ (5), CuInSe_2 o grubości $3\ \mu\text{m}$ (6), elektroda molibdenowa uzyskana metodą napyłania (7), podłoże z tlenku glinu (8)

Warstwy (4) i (5) charakteryzują się dużą rezystywnością, warstwy (3) i (6) - małą.

Jak widać z rysunku 2, charakterystyczną cechą skonstruowanego ogniwa są podwójne warstwy materiału CIS (absorbera) i CdS. Warstwa CuInSe_2 ($0,8\ \mu\text{m}$), o dużej rezystywności posiada nieznaczny niedomiar Cu (w granicach 5%). Nałożenie jej na warstwę CdS ($0,8\ \mu\text{m}$), posiadającej również dużą rezystywność, miało zapobiec tworzeniu się bryłek miedzi w obszarze złącza.

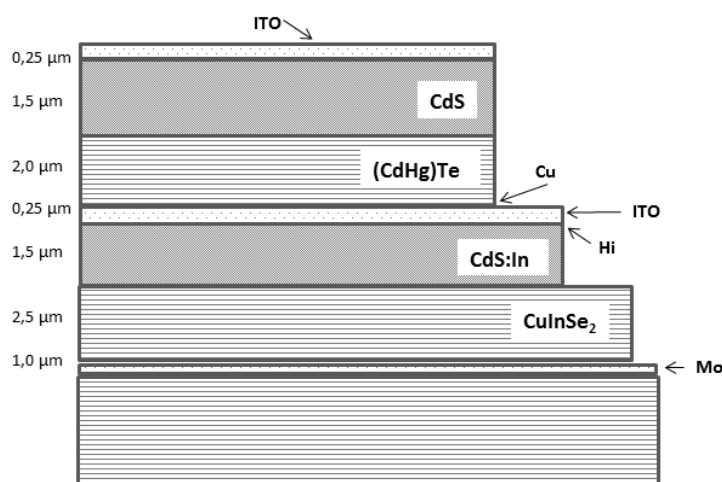
Warstwy CIS (absorber, $3\ \mu\text{m}$) oraz CdS, o małych rezystywnościach, pozyskane w wyniku technologii naporowania mają skutkować zmniejszeniem niepożądanego rezystywności szeregowego ogniwa. Warstwa CuInSe_2 (absorber, $3\ \mu\text{m}$), o składzie zbliżonym do stechiometrycznego, nałożona jest na podłoże z tlenku glinu metalizowane molibdenem. Druga z warstw CdS zawiera domieszkę indy (około 3%) [9].

Obie warstwy CuInSe_2 różnią się między sobą koncentracją nośników i ich ruchliwością, rezystywnością, a także typem przewodnictwa. Pomiędzy tymi warstwami samoistnie powstaje dodatkowa warstwa o własnościach pośrednich [8].

Wydajność opisanego ogniwa osiągnęła 7%, a po przeprowadzeniu dodatkowych procesów technologicznych powiększono ją do 10% [8].

Jak już podano w poprzednim rozdziale, w rozwiązaniach homozłączowych możliwa jest absorpcja większości fotonów o energii $h\nu > E_g$. Takich ograniczeń nie ma w ogniwach tandemowych, gdzie możliwa jest również absorpcja fotonów z zakresu różnicy energii przerw energetycznych ogniw składowych. Już nawet rozwiązanie dwuogniowe może teoretycznie osiągnąć sprawność 36%.

Pierwsze ogniwo tandemowe, o warstwach CdS/(CdHg)Te i CdS/CuInSe₂ zostało skonstruowane w 1985 roku przez R.W. Birkmire'a. Jego sprawność wynosiła jednak zaledwie 3% [8]. Ogniwo przedstawiono na rysunku 3 [8].



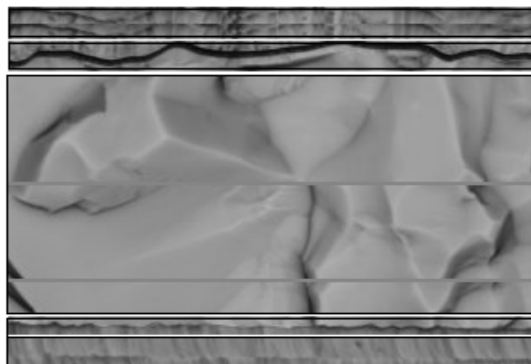
Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez ogniwo tandemowe

4. MODYFIKACJE OGNIW CIS Z GALEM LUB BOREM

Stosuje się również rozwiązania z galem (CIGS), co można zapisać $\text{Cu-In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$, przy czym $x = 1$ (*Copper Indium Selenide*) do 0 (*Copper Gallium Selenide*). Gal zwiększa stosunkowo małą przerwę energetyczną materiału. Przerwa energetyczna wynosi od 1,0 eV (CIS) do 1,7 eV (CIGS). Ze względu na duży współczynnik absorpcji, $10^5/\text{cm}$, charakteryzujący ogniwa CIGS, możliwe jest ograniczenie warstwy absorbującej do 0,5 μm (absorbuje wówczas aż 90% światła słonecznego), a w niektórych rozwiązaniach nawet do 0,2 μm, (tj. około 100 razy w porównaniu do krzemu krystalicznego) [12, 19].

CIGS produkowane są jako cienkowarstwowe ogniwa polikrystaliczne o strukturze heterozłączowej, gdzie Cu (In,Ga)Se₂ pełni rolę absorbera ZnO – warstwy okiennej, a CdS swoistego bufora. Niekiedy stosuje się domieszkowanie siarką. Te modyfikacje zwiększają przerwę energetyczną do 1,7 eV i podwyższają sprawność [5, 8].

Na rysunku 4 pokazano strukturę warstwową ogniwa - CIGS.

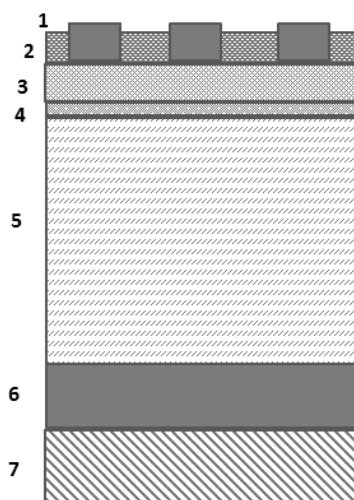


Rys. 4. Ogniwo słoneczne z diselenku indowo - miedziowego z galem, struktura warstwowa

Ostatecznie struktura CIGS jest wielowarstwowa, przy czym sama warstwa CuInGaSe_2 stanowi półprzewodnik typu p. Rolę półprzewodnika typu n pełnią CdS i ZnO [12].

Zarówno w przypadku omawianych ogniw CIS jak i CIGS zastosować można podłoże twarde (szkło) oraz elastyczne (stal nierdzewna, molibden - polepsza kontakt omowy lub plastik, poliamid). W przypadku warstwy molibdenowej ma ona grubość od 0,5 do 1,5 μm .

Przekrój przez strukturę warstwową ogniwa pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. CIGS ze zmodyfikowaną warstwą okienną ($\text{ZnO}+\text{CdS}$), przekrój przez warstwy: (1) kontakt przedni, (2) MgF_2 jako warstwa antyrefleksyjna o grubości 0,08 - 0,12 μm , (3) warstwa okienna ZnO o grubości 0,25 - 0,50 μm , (4) warstwa okienna CdS (buforowa) o grubości 0,05 μm , (5) warstwa absorbująca CIGS 2 - 4 μm , (6) Molibden jako tylny kontakt 1 μm , (7) podłoże szklane

Szczególnie korzystnie jest stosować jako absorber CIGS o składzie $\text{Cu-In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Se}_2$. Mimo niezbyt dużej przerwy energetycznej (1,2 eV) osiągnięta jest wysoka wydajność (20 %). Warstwę okienną stanowi wówczas CdS, a buforową – ZnO.

Jednym z możliwych rozwiązań jest również Lightfoil. Jest to ogniwo cienkowarstwowe typu CIGS (*Copper Indium Gallium Diselenide*) na cienkim podłożu tytanowym. Ogniwa te charakteryzują się niezwykle silną absorpcją, co pozwala na wykonanie ich w wersji o unikalnie małej grubości (1 – 2 μm), równej grubości folii aluminiowej oraz znacznej plastyczności. Osiągają sprawność 15,2% w warunkach atmosferycznych (AM0). Lightfoil znajduje zastosowanie głównie w wojsku i astronautyce. Produkowany jest m. in. przez Day Star Technologies [3, 9].

Najnowsze eksperymenty opisane przez autorów pracy [4] dotyczą zastąpienia atomu indu atomem boru (CIBS).

5. ZJAWISKO *LIGHT SOAKING EFFECT*

Ogniwa CIS i CIGS charakteryzują się występowaniem korzystnego zjawiska *Light Soaking Effect* (*Efekt Wygrzewania/Nasylenia Światłem*), które skutkuje zwiększeniem ich mocy pod wpływem padającego światła, o wartość 1 – 3%, w odniesieniu do ich mocy znamionowej, co daje swego rodzaju zyski energetyczne. Standardowe moduły z krzemu, wręcz przeciwnie, na początku pracy zmniejszają moc znamionową o 1 – 3% [8]. W przypadku modułów typu CIS i CIGS wzrost wydajności jest wynikiem nasylenia fotonami zewnętrznej warstwy złącza p – n, dzięki czemu staje się ona „podobna” do warstwy typu n. Powstaje ograniczenie bariery dla przemieszczania się elektronów z obszaru CIGS do elektrody górnej. Kolejnym skutkiem jest zwiększenie wartości prądu (nieznaczne) i napięcia w punkcie mocy maksymalnej PMM ogniwa a w efekcie wzrost mocy [8].

Charakterystyczną cechą omawianych modułów jest wysoka wydajność w warunkach słabego oświetlenia, np. przy zachmurzeniu. Najwyższa reakcja widma pozwala tym ogniwom zachować wydajność także w warunkach dobrego oświetlenia słonecznego. Zastosowanie ogniw słonecznych CIGS jest bardzo korzystne w naszych warunkach klimatycznych [9].

6. PROBLEM HETEROINTERFEJSU

Ogniwa fotowoltaiczne cienkowarstwowe o popularnej nazwie CIS i CIGS najlepiej funkcjonują na bazie heterozłącza.

W cienkowarstwowych ogniwach jeden z materiałów złącza (ten o mniejszej przerwie energetycznej) stanowi absorber, drugi – to okno, materiał o szerokiej

przerwie energetycznej. Powinowactwo elektronowe warstwy stanowiącej okno musi być dopasowane do analogicznego - warstwy absorpcyjnej. Niedopasowanie w każdym przypadku jest przyczyną zmniejszenia się wydajności ogniwa.

Warunkiem koniecznym budowy heterozłącza jest taki dobór materiałów, aby miały one zbliżone stałe sieci, co ogranicza defekty. Oba materiały (absorber i okno) powinny charakteryzować się także zbliżonym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, ważny jest również przebieg pasm przewodnictwa [8].

Materiał stosowany na okno musi charakteryzować się ponadto możliwością silnego domieszkowania, tak aby zapewniać absorpcję przy granicy rozdziału (tam bowiem efektywność procesu jest największa).

Wynikiem nie najlepszego dopasowania dwóch struktur może być tzw. heterointerfejs – kiedy to skutkiem defektów i dyslokacji zachodzi bowiem proces rekombinacji.

Należy również mieć na uwadze, że własności fotowoltaiczne złącza są bardzo podatne na jakiegokolwiek zmiany w składzie stechiometrycznym, a także na wszelkie zmiany materiałowo – technologiczne, również skutkujące wzrostem defektów i ograniczające wydajność ogniwa [8]. Zapewnienie stosunkowo dużej wydajności ogniwom $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ wymaga zatem rozwiązania zagadnienia nieciągłości krawędzi pasm przewodnictwa, która w tym przypadku wynosi $\Delta E = 0,2$ eV (krawędź pasma przewodnictwa absorbera CuInSe_2 znajduje się powyżej odpowiedniej krawędzi CdS o 0,2 eV) [8].

W związku z tym, że problem nieciągłości krawędzi pasm przewodnictwa nie występuje w ogniwach tandemowych, gdzie kolejno umieszcza się ogniwa o zmniejszającej się stopniowo przerwie energetycznej, warto rozpatrzyć takie rozwiązanie.

W przypadku zastosowania CIGS jako absorbera, bardzo dobrą warstwą okienną jest warstwa ZnO o grubości 300 – 400 nm, z domieszką Al. Dobrze sprawdzają się też w tych heterostrukturach ZnS oraz ZnSe . Ich przerwy energetyczne osiągają duże wartości, od 2,7 eV do 3,54 eV. Najlepsze własności w tym zakresie charakteryzują ZnO , ale pod warunkiem zastosowania warstwy buforowej, pomiędzy nim a absorberem. Szczególnie korzystna jest w tym wypadku warstwa CdS o grubości 40 – 50 nm. Warstwa buforowa ma za zadanie lepsze dopasowanie krawędzi obu materiałów.

7. PODSUMOWANIE

Ogniwa CIS i ich modyfikacje charakteryzuje wysoka wydajność, zarówno w warunkach niskiego jak i wysokiego natężenia światła, a także dobra tolerancja na wzrost temperatury.

Technologia tych ogniw jest stosunkowo prosta oraz materiałowo – i energooszczędna. Porównanie wymaganych minimalnych grubości warstw poszczegól-

nych materiałów na ogniwa słoneczne, pozwalających zapewnić sprawność na poziomie około 15%, pozwala stwierdzić, że dla krzemu wymagane jest kilka milimetrów, dla arsenku galu – odpowiednio - kilkadziesiąt mikrometrów, dla CdS/Cu₂S i CdS/CuInSe₂ wystarczy zaledwie kilka mikrometrów.

CIS należy do technologii fotowoltaicznych z dużymi perspektywami na przyszłość. Potwierdzają to w pełni badania przeprowadzone w Krajowym Laboratorium Energii Odnawialnej w USA, gdzie stwierdzono, że aktualnie technologia CIS jest najkorzystniejszą wśród rozwiązań ogniw cienkowarstwowych.

Firma Solar Frontier z Japonii, w zakładzie w Kunitomi produkuje moduły CIS o sprawności 13,8%, jak również zredukowała koszty produkcji ogniw cienkowarstwowych CIGS o 30% w stosunku do wyrobów innych producentów. W miejscowości Tohoku uruchomiono w ubiegłym roku nowe linie produkcyjne modułów fotowoltaicznych CIGS o sprawności 15%, o łącznej mocy 150 MW_p [23].

Najnowszym natomiast osiągnięciem Solar Frontier jest ogniwo CIGS 5 mm x 5mm o wydajności 22,3% uzyskanej w warunkach laboratoryjnych. Żadne inne ogniwa cienkowarstwowe nie osiągnęły dotąd takiego wyniku.

Do znanych producentów ogniw cienkowarstwowych CIS należą również Shell i Würth Solar a także Global Solar (USA), która wytwarza elastyczne przyrządy fotowoltaiczne na bazie związków CuIn_xGa_(1-x)Se₂.

LITERATURA

- [1] Bube R.: Photovoltaic materials, Imperial College Press Londyn, 135 - 136, 1998.
- [2] Czaja I., Czyż R., Zdrojkowska M.: Cienkowarstwowe ogniwa słoneczne, Projekt info nano, Centrum Kongresowe Politechniki Śląskiej, 19.05.2009, 1 - 23.
- [3] Dąbrowski M., Frydrychowicz - Jastrzębska G.: Nowe materiały w fotowoltaicznym przetwarzaniu energii, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, 51, 2006, 41 - 64.
- [4] Exstrom Ch.L., Darveau S.A., Soukup R.J., Ianno N.J.: Final Technical Report – Grant DE-FG02-06ER64235, CIBS Solar Cell Development 2011.
- [5] Frydrychowicz - Jastrzębska G., Tadaszak M.: Modelling characteristics of photovoltaic module load for various light intensity and wavenlength, Przegląd Elektrotechniczny, 7, 2011, 167 - 169.
- [6] Green S.: Reaching new heights, Power Engineering International, 9, 2002.
- [7] Janowski H., Kenig T., Maksymowicz L., Pisarkiewicz T., Warzecha M.: Technologia heterozłącza CIS/CdS do zastosowań fotowoltaicznych, Elektronika konstrukcje, technologie, zastosowania, 48, 2007, 32 - 34.
- [8] Jarzębski Z.M.: Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna. PWN, Warszawa 1990.
- [9] Jastrzębska G.: Ogniwa słoneczne WKiŁ, Warszawa 2013.

- [10] Klugmann E., Klugmann- Radziemska E.: Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii, Wydawnictwa Ekonomia i Środowisko, Białystok 2005.
- [11] Nelson J.: The Physics of Solar Cells, 2003, London, Imperial College Press.
- [12] Panek P.: Fotowoltaika Polska 2011, Materiały bazowe i producenci, Fotowoltaika 2012.
- [13] Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Quicle For Installers Architects and Engineers by DGS, Ecofys, James & James, Earthscan, 2004.
- [14] Repins I., Contreas M., Romero M., Yan Y., Metzger W., Li J., Johnston S., Egas B., DeHart C., Sharf J., McCandless B.E., Noufi R.: Characterization of 19,9 % Efficient CIGS Absorbers, 33 rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference May 11 - 16 2008, San Diego California, 5 - 9.
- [15] Shell Cis thin - film product range prospekt.
- [16] Systemy Solarne FOTTONCENTROPOL.SJ, Fotowoltaika 2011, 1, 44.
- [17] Szymański B. Czy ogniwa II generacji oparte na CIGS i CdTe staną się początkiem końca ogniwo krzemowych, GLOBEnergia, 2010, 4, 36 - 37.
- [18] Warzecha M: Opracowanie modelu wspomagającego proces obróbki termicznej materiałów fotowoltaicznych, Autoreferat pracy doktorskiej, 2006.
- [19] www.naukawpolsce.pap.pl
- [20] www.originenergy.com
- [21] www.solarserver.de Hahn - Meitner Institut Berlin
- [22] [solar - frontier.com](http://solar-frontier.com)
- [23] www.sunenergysite.eu/en/technologies.php

DISELENIDE INDIUM – COPPER SOLAR CELLS (CIS) AND MODIFICATIONS (CIGS, CIBS)

The paper presents a thin - film cells of diselenide indium - copper CuInSe_2 and their modifications. The electrical and optical properties are characterized. The phenomenon in these solutions, as well as problems related to selection of proper absorption - generation layer and possibilities to eliminate them, in order to obtain a high efficiency of the photovoltaic conversion, are presented.

(Received: 22. 02. 2016, revised: 2. 03. 2016)