

[opis]

„Fotowoltaika jest niezwykle interesującą i aktualną dziedziną nauki i techniki zajmującą się konwersją energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Dotyczy ona jednocześnie dwóch istotnych w ostatnim czasie zagadnień, mianowicie energetyki i ochrony środowiska. Zastosowanie fotowoltaiki stanowi praktyczną alternatywę dla niszczących środowisko naturalne metod produkcji energii elektrycznej w warunkach stale zwiększającego się zapotrzebowania światowego. Z tego powodu jest ona niewątpliwie ważną i ciekawą dziedziną wiedzy dla bardzo szerokiego grona odbiorców.” Fragment Wstępu do książki Postępy w fotowoltaice Wydawnictwo PWN zaprasza tym samym do lektury z dawna wyczekiwanego kompendium z zakresu budowy i działania różnych ogniw słonecznych, jak również podstawowych zasad projektowania i konstrukcji instalacji fotowoltaicznych. Czytelnik będzie mógł w nim znaleźć bardzo różnorodne i praktyczne zagadnienia dotyczące fotowoltaiki, w tym na przykład: podstawy fizyczne działania przyrządów fotowoltaicznych, sposoby i przykłady projektowania i konstrukcji instalacji fotowoltaicznych, ale również zadania praktyczne do realizacji wraz z kluczem poprawnego rozwiązania. Postępy w fotowoltaice kierowana jest do studentów uczelni technicznych, ale również do praktyków – projektantów, instalatorów i użytkowników instalacji fotowoltaicznych, a także wszystkich zainteresowanych tematyką nowoczesnych OZE.

[autor]

Katarzyna Znajdek

Swoją edukację akademicką rozpoczęła w roku 2002 podczas jednolitych studiów magisterskich na kierunku „Elektronika i Telekomunikacja” realizowanych na Wydziale Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej. W trakcie studiów, od roku 2005 była członkiem Koła Naukowego Młodych Mikroelektroników. W roku 2008 ukończyła studia uzyskując tytuł magistra inżyniera ze specjalnością „Technologie w Elektronice Użytkowej”. Jej praca dyplomowa obejmowała zagadnienia związane z fotowoltaiką i dotyczyła pomiarów oraz symulacji pracy ogniw słonecznych. W 2009 roku ukończyła studia podyplomowe na kierunku „Technologie Optoelektroniki” realizowane przez Politechnikę Łódzką. W tym samym roku rozpoczęła studia doktoranckie na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Informatyki (EEIA) w Katedrze Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych pod opieką promotorską prof. dr hab. inż. Zbigniewa Lisika. W sierpniu 2014 roku obroniła z wyróżnieniem pracę doktorską pt. „Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne”, a we wrześniu decyzją Rady Wydziału EEIA uzyskała tytuł doktora nauk technicznych. Od października 2014 dr Katarzyna Znajdek jest zatrudniona na stanowisku badawczo-dydaktycznym jako adiunkt w Katedrze Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Informatyki PŁ. Realizuje ona prace badawcze w obszarze technologii wytwarzania elastycznych ogniw słonecznych, mające na celu zwiększenie ich sprawności oraz poprawę parametrów optoelektrycznych. Tematyka jej zainteresowań naukowych obejmuje zagadnienia dotyczące nowych rozwiązań materiałowych, technologicznych i konstrukcyjnych dla elastycznych półprzewodnikowych ogniw PV.

W ramach dotychczas zrealizowanych badań dr Katarzyna Znajdek opracowała nowe procesy technologiczne umożliwiające wykonanie elastycznych ogniw fotowoltaicznych na bazie stabilnych związków półprzewodnikowych CdTe (tellurek kadmu) i CdS (siarczek kadmu). Aktualnie, wspólnie ze swoim zespołem badawczym opracowuje i optymalizuje procesy wytwarzania aktywnych warstw luminescencyjnych do konwersji energii, mających na celu poprawę parametrów cienkowarstwowych, elastycznych ogniw słonecznych. W tej tematyce prowadziła prace badawcze, które zaowocowały cyklem publikacji zaprezentowanym w postępowaniu habilitacyjnym. Jednym z głównych celów naukowych dr Katarzyny Znajdek jest wysoka funkcjonalność i efektywność wytwarzanych ogniw PV oraz możliwość ich integracji z mobilnymi urządzeniami elektroniki użytkowej, elementami architektonicznymi, elementami ubioru, etc. Dr Katarzyny Znajdek jest autorką lub współautorką ponad 100 publikacji, w tym artykułów w czasopismach naukowych, popularno-naukowych i referatów konferencyjnych. Posiada sześć zgłoszeń patentowych i dwa przyznane patenty krajowe. Recenzowała prace naukowe w czasopismach takich jak: "Solar Energy", "Thin Solid Films", "Applied Thermal Engineering" czy "Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics". Pełni funkcje promotora pomocniczego w jednym otwartym przewodzie doktorskim, była promotorem 7 ukończonych prac dyplomowych magisterskich, w tym 3 międzynarodowych, oraz 8 prac inżynierskich. Uczestniczyła łącznie w 9 krajowych i międzynarodowych projektach naukowo-badawczych (w tym dwa razy jako kierownik i dwa razy jako lider zespołu) oraz 3 międzynarodowych projektach edukacyjnych Erasmus Plus dotyczących programów i inicjatyw związanych z nowoczesnymi metodami kształcenia na poziomie akademickim. Jest laureatką szeregu nagród naukowych, konferencyjnych oraz stypendystką w programach krajowych i europejskich, m. in. stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnego młodego naukowca, stypendium Marszałka Województwa Łódzkiego dla wybitnego młodego naukowca, nagrody za najlepszą pracę na międzynarodowej konferencji Energy Future (EF3): Fundamental and Applied Science for Alternative Energy Technologies w Sydney (Australia), nagrody Inteligentnego Rozwoju w kategorii Naukowiec Przyszłości, stypendium Rządu Francuskiego na pobyt badawczy we Francji i inn.

W swojej pracy badawczej i działalności dydaktycznej dr Katarzyny Znajdek współpracuje lub współpracowała między innymi z takimi jednostkami jak INSA Lyon we Francji, University of Vigo w Hiszpanii, Tallinn University of Technology TalTech w Estonii, University College London w Wielkiej Brytanii, University of Alberta w Kanadzie, University of Tromsø (the Arctic University of Norway) w Norwegii czy Australian National University.

[spis]

Wstęp 9

1. Struktura i zasada działania ogniwa słonecznego 11

1.1. Energia słoneczna jako źródło odnawialne 11

1.2. Efekt fotowoltaiczny w złączu półprzewodnikowym 18

1.3. Konstrukcja bazowa i podstawowe parametry elektryczne modelowego jednozłączowego ogniwa PV na bazie homołącza p-n	24
1.3.1. Budowa modelowego ogniwa słonecznego	24
1.3.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa	28
1.3.3. Rezystancja szeregową i rezystancja równoległa	38
1.3.4. Charakterystyka pojemnościowa	40
1.3.5. Charakterystyka wydajności kwantowej	43
1.3.6. Modele elektryczne rzeczywistych ogniw słonecznych	46
1.4. Limity teoretyczne i metody poprawy sprawności fotokonwersji w ogniwach słonecznych	50
1.5. Literatura	54
2. Przekrój rozwiązań konstrukcyjnych łączonych ogniw fotowoltaicznych	58
2.1. Podstawowe struktury fotowoltaiczne oparte na półprzewodnikach mono- i polikrystalicznych	60
2.2. Ogniwa PV wykorzystujące heterozłącze półprzewodnikowe	66
2.3. Fotowoltaiczne struktury cienkowarstwowe na bazie związków nieorganicznych	71
2.3.1. Ogniwa słoneczne na bazie heterozłącza CdS/CdTe	77
2.3.2. Struktury fotowoltaiczne wykorzystujące związki CIS, CIGS i CIGSS	82
2.3.3. Przyrządy z krzemu amorficznego i materiałów pochodnych	86
2.3.4. Wykorzystanie CuO i Cu ₂ O oraz innych związków alternatywnych	91
2.4. Ogniwa organiczne, hybrydowe oraz bazujące na materiałach perowskitowych	93
2.5. Alternatywne konstrukcje struktur fotowoltaicznych	98
2.6. Systemy PVT jako rozwiązanie problematyki wymiany ciepła w instalacjach fotowoltaicznych	105
2.7. Literatura	109
3. Rozwój zastosowań systemów fotowoltaicznych	117
3.1. Rys historyczny zastosowań kosmicznych i aplikacji naziemnych	117
3.2. Elektrownie fotowoltaiczne i systemy rozproszone (off-grid)	120
3.3. Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV)	125
3.4. Fotowoltaika elastyczna w zastosowaniach mobilnych	133
3.5. Fotowoltaika w instalacjach na wodzie	137
3.6. Literatura	139
4. Projektowanie instalacji słonecznych	142
4.1. Instalacje sieciowe i wyspowe	142
4.2. Współpraca z innymi źródłami energii w systemach wydzielonych	165

4.3. Budowa instalacji fotowoltaicznej – etapy praktycznej realizacji	173
4.3.1. Wymagania prawne	174
4.3.2. Projekt instalacji PV	176
4.3.3. Wykonanie instalacji PV	178
4.4. Literatura	186
5. Projektowanie instalacji fotowoltaicznych w praktyce	188
5.1. Zawartość projektu instalacji słonecznej	190
5.2. Mikroinstalacje i system prosumencki	194
5.3. Wymagane kwalifikacje wykonawców i obowiązki inwestora	196
5.4. Metody i zasady projektowania instalacji fotowoltaicznych	198
5.5. Narzędzia CAD wspierające wymiarowanie instalacji fotowoltaicznej	202
5.5.1. Aplikacja PV*SOL online	203
5.5.2. Program SolarGIS pvPlanner	208
5.5.3. Interaktywna baza meteorologiczna PVGIS	217
5.5.4. Oprogramowanie Archelios Pro Free	222
5.5.5. Program sieciowy PV Watts	225
5.5.6. Profesjonalne oprogramowanie PV*SOL premium	229
5.6. Analiza przykładowego projektu PV	232
5.6.1. Specyfikacja projektowanej instalacji	233
5.6.2. Symulacja komputerowa	237
5.6.3. Analiza finansowa	244
5.7. Literatura	251
6. Przykładowe zagadnienia i pomiary laboratoryjne z zakresu praktycznego zastosowania ogniw i systemów PV	253
6.1. Pomiary podstawowych parametrów i charakterystyk elektrycznych ogniw słonecznych	253
6.1.1. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych	254
6.1.2. Charakterystyki pojemności złączonej	260
6.1.3. Pomiar i znaczenie charakterystyk wydajności kwantowej	264
6.2. Wpływ warunków oświetlenia, temperatury i obciążenia na pracę ogniw słonecznych	266
6.2.1. Pomiary transmitancji optycznej w ogniwach fotowoltaicznych	267
6.2.2. Zależność parametrów ogniw PV dla różnych warunków oświetlenia	271
6.2.3. Wpływ kąta padania światła na pracę ogniw słonecznych	280
6.2.4. Wpływ temperatury na pracę ogniw i modułów fotowoltaicznych	282

- 6.3. Konfiguracja robocza modułów fotowoltaicznych i efekty niedopasowania 287
 - 6.3.1. Rezystancja szeregową i równoległą w ogniwach słonecznych 287
 - 6.3.2. Konfiguracja ogniw i modułów fotowoltaicznych oraz wpływ zacielenia na parametry pracy instalacji 290
 - 6.3.3. Niedopasowanie prądowe i napięciowe w instalacjach PV 294
- 6.4. Systemy hybrydowe ogniwo – kolektor słoneczny 298
- 6.5. Literatura 301