
Spis treści

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	9
WYKAZ UŻYWANYCH SKRÓTÓW	13
WSTĘP	17
1. ENERGIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO I JEJ WYKORZYSTANIE	21
1.1. Wpływ odległości Ziemi od Słońca oraz położenia geograficznego na właściwości promieniowania słonecznego	21
1.2. Struktura promieniowania słonecznego	24
1.2.1. Wpływ ukształtowania terenu	24
1.2.2. Wpływ atmosfery na widmo promieniowania słonecznego	26
1.3. Zasoby energii słonecznej w Polsce i w innych krajach europejskich	28
1.4. Wykorzystanie promieniowania słonecznego w siłowniach fotowoltaicznych Europy Środkowej	33
2. PODSTAWY FIZYCZNE DZIAŁANIA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH	37
2.1. Wstęp	37
2.2. Zjawisko fotowoltaiczne w złączach $p-n$	38
2.3. Odbicie światła od powierzchni ogniwa PV	40
2.4. Absorpcja światła i generacja nośników ładunku	41
2.5. Procesy rekombinacyjne	43
2.6. Wydajność kwantowa i charakterystyka widmowa ogniwa PV	47
2.7. Charakterystyka prądowo-napięciowa ($I-V$) oświetlonego ogniwa PV	49
2.7.1. Podstawowe parametry	49
2.7.2. Ciemna charakterystyka prądowo-napięciowa ogniwa. Modele zastępcze ogniwa słonecznego	51
2.8. Czynniki ograniczające sprawność przetwarzania w ogniwie PV	54

2.9.	Wpływ natężenia promieniowania słonecznego oraz temperatury otoczenia temperaturę znamionową pracy ogniw w module fotowoltaicznym (NOCT)	60
2.10.	Wpływ temperatury na parametry ogniw fotowoltaicznych	62
3.	STRUKTURY WSPÓŁCZESNYCH OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH	65
3.1.	Monolityczne ogniwa krzemowe krystaliczne i multikrystaliczne wykonywane w technologii grubowarstwowej	65
3.2.	Wysokosprawne ogniwa z krzemu krystalicznego	66
3.2.1.	Ogniwa typu PERL/PERT	67
3.2.2.	Ogniwa z tylnym kontaktem	68
3.2.3.	Ogniwa typu HIT	69
3.3.	Jedno- i wielozłączowe ogniwa cienkowarstwowe z krzemu amorficznego	70
3.4.	Ogniwa cienkowarstwowe polikrystaliczne	74
3.4.1.	Ogniwa cienkowarstwowe z CdS/CdTe	74
3.4.2.	Ogniwa cienkowarstwowe typu CIS i CIGS	76
3.4.3.	Ogniwa cienkowarstwowe jedno- i wielozłączowe z arsenku galu	79
3.5.	Inne konstrukcje ogniw PV	83
3.5.1.	Ogniwa typu SLIVER™	83
3.5.2.	Ogniwa typu SPHELAR®	87
4.	OGNIWA FOTOWOLTAICZNE Z MATERIAŁÓW ORGANICZNYCH ORAZ UCZULANE BARWNIKIEM	93
4.1.	Wprowadzenie	93
4.2.	Charakterystyka organicznych ogniw fotowoltaicznych	94
4.2.1.	Struktura pasmowa materiałów organicznych	94
4.2.2.	Procesy zachodzące w czasie pracy organicznych ogniw fotowoltaicznych	95
4.2.3.	Kontakty omowe i prostujące	96
4.2.4.	Działanie organicznych ogniw fotowoltaicznych	97
4.3.	Architektura organicznych ogniw fotowoltaicznych	99
4.3.1.	Wprowadzenie	99
4.3.2.	Heterozłącze dwuwarstwowe	100
4.3.3.	Heterozłącze przestrzenne	101
4.4.	Ogniwa fotowoltaiczne uczulane barwnikiem	104
4.5.	Perspektywy materiałów organicznych w fotowoltaice	107
5.	MODUŁY FOTOWOLTAICZNE	109
5.1.	Konstrukcja modułów fotowoltaicznych	109
5.2.	Sposoby hermetyzacji modułów PV	111
5.3.	Wpływ hermetyzacji ogniw PV na ich właściwości optyczne	115
5.4.	Wpływ zacinienia na pracę modułów fotowoltaicznych	116

6.	WPŁYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH NA PRACĘ MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH	123
6.1.	Systemy pomiarowe i zbierania danych Uniwersytetu Opolskiego	123
6.1.1.	Stanowisko badawcze monitorujące pracę systemu fotowoltaicznego oraz dane meteorologiczne	123
6.1.2.	Stanowisko badawcze do testowania modułów fotowoltaicznych	127
6.2.	Badanie wpływu temperatury modułu T_c i otoczenia T_{amb}	128
6.3.	Wpływ zawartości pary wodnej w atmosferze	132
6.3.1.	Badania symulacyjne	132
6.3.2.	Badania doświadczalne	133
6.3.3.	Wpływ zawartości pary wodnej oraz średniej energii fotonów promieniowania słonecznego na parametry modułów PV	135
6.4.	Wpływ kąta padania promieniowania słonecznego	137
6.5.	Wpływ wiatru	139
7.	OGNIWA FOTOWOLTAICZNE WIELOZŁĄCZOWE I OPTIMALIZACJA SPRAWNOŚCI	141
7.1.	Analiza ilościowa ogniwa PV wielozłączowego	141
7.2.	Optimalizacja szerokości przerw energetycznych absorberów jedno- i wielozłączowych ogniw PV dla charakterystycznych warunków pracy	144
7.2.1.	Rozkłady widma promieniowania słonecznego dla dni zdefiniowanych projektem normy IEC 61853 (draft 82/254)	144
7.2.2.	Rzeczywista temperatura pracy modułów PV w różnych warunkach pracy	147
7.2.3.	Optimalizacja szerokości przerwy energetycznej jednozłączowych ogniw PV dla różnych warunków pracy	147
7.2.4.	Optimalizacja szerokości przerwy energetycznej dwuzłączowych i wielozłączowych ogniw PV dla różnych warunków pracy	149
7.3.	Wpływ współczynnika masy powietrza (AM) na pracę ogniw/modułów jedno- i wielozłączowych	152
7.3.1.	Wpływ szerokości przerwy energetycznej ogniw PV na ich pracę w warunkach zmiennego współczynnika masy powietrza	152
7.3.2.	Wpływ kształtu charakterystyk czułości widmowej ogniw PV na ich pracę w warunkach zmiennego współczynnika masy powietrza	154
7.4.	Optimalizacja szerokości przerwy energetycznej absorberów jedno- i wielozłączowych ogniw PV w warunkach klimatycznych Polski Południowej	156
8.	ANALIZA WIELOLETNIEJ PRACY MODUŁÓW FOTOWOLTAICZNYCH	159
8.1.	Analiza warunków meteorologicznych w okresie testowania modułów	159
8.1.1.	Rozkład wartości napromieniowań	159
8.1.2.	Rozkład wartości temperatury oraz natężenia promieniowania słonecznego ..	160
8.1.3.	Rozkład chwilowych wartości indeksu składowej rozproszonej promieniowania słonecznego	161

8.1.4.	Rozkłady zawartości pary wodnej i średniej wartości energii fotonów światła	163
8.2.	Analizy sprawności energetycznej	165
8.3.	Analiza zmian wartości współczynnika <i>PR</i>	166
8.4.	Zdolność kumulacji ładunku i energii	168
8.5.	Analiza uzysku energii z pozycjonowania modułów w warunkach Polski Południowej	171
8.5.1.	Krótkoterminowa analiza uzysku energii	171
8.5.2.	Długoterminowa analiza uzysku energii	175
8.6.	Podsumowanie badań	176
9.	NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA I PERSPEKTYWY ROZWOJU FOTOWOLTAIKI	177
9.1.	Najnowsze rekordy świata w zakresie sprawności ogniw i modułów PV	177
9.2.	Perspektywy rozwoju fotowoltaiki	184
10.	PODSUMOWANIE	189
	BIBLIOGRAFIA	191
	SKOROWIDZ	203