

## Spis treści

Streszczenie .....	9
Summary .....	10
Spis oznaczeń .....	11
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>17</b>
1.1. Dlaczego cienkie warstwy krzemu? .....	17
1.2. Niestabilność urządzeń bazujących na cienkowarstwowym krzemie .....	19
1.3. Uwagi porządkowe .....	19
<b>2. Narastanie krzemowych warstw amorficznych, mikro- i polikrystalicznych .....</b>	<b>20</b>
2.1. Osadzanie RF PECVD .....	21
2.1.1. Przykład opracowanych parametrów nakładania warstw i aparatura RF PECVD .....	24
2.2. Przykłady algorytmów technologicznych kontrolujących przejście materiał amorficzny/mikrokrystaliczny .....	27
2.3. Reaktywne magnetronowe rozpylenie (RMS) .....	30
2.3.1. Optymalizacja procesu RMS .....	31
2.4. Porównanie metod osadzania .....	35
2.5. Systemy produkcyjne PECVD .....	38
2.6. Wnioski .....	38
<b>3. Pomiary i własności cienkich warstw krzemowych .....</b>	<b>40</b>
3.1. Warstwy a-Si:H badane metodą bariery Schottky'ego .....	42
3.1.1. Przykład badań z wykorzystaniem bariery Schottky'ego .....	43
3.1.2. Przykład analizy gęstości stanów za pomocą bariery Schottky'ego .....	46
3.2. Fotoprzewodnictwo .....	47
3.2.1. Absorpcja podpasmowa .....	50
3.2.2. Dziurowa ruchliwość dryftu w a-Si:H .....	53
3.2.3. Rozkład gęstości stanów a parametry procesu wytwarzania warstw a-Si:H .....	56

3.3. Wpływ wodoru na parametry warstw a-Si:H .....	58
3.3.1. Ocena zawartości wodoru w warstwach a-Si:H .....	58
3.3.2. Badanie własności warstw a-Si:H metodą ewolucyjnych pomiarów w podczerwieni .....	59
3.3.3. Optymalizacja struktury Al/a-SiN <sub>x</sub> /a-Si:H .....	62
3.3.4. Efuzja wodoru z cienkich warstw krzemowych .....	69
3.3.5. Wnioski z badań NMR .....	71
3.4. Mikrokrystaliczne i polikrystaliczne cienkie warstwy krzemowe .....	72
3.4.1. Spektroskopia w podczerwieni i spektroskopia Ramana .....	73
3.4.2. Orientacja i rozmiary ziaren na podstawie dyfrakcji promieniowania X .....	75
3.4.3. Badania struktur Al/n <sup>+</sup> /i i TCO/p <sup>+</sup> /i a-Si:H techniką niskokątowej analizy X .....	77
3.4.4. Badanie przejścia faza amorficzna/faza mikrokrystaliczna metodą AFM .....	80
3.4.5. Przerwa wzbroniona E <sub>g</sub> , jasne, σ <sub>ph</sub> , i ciemne, σ <sub>d</sub> , przewodnictwo i energia aktywacji E <sub>A</sub> .....	82
3.4.6. Eksperymenty z krystalizacją laserem warstw amorficznych .....	84
3.5. Domieszkowane warstwy krzemowe .....	87
3.5.1. Technologia krzemowych warstw domieszkowanych .....	87
3.5.2. Przewodnictwo warstw domieszkowanych a-Si:H .....	89
3.6. Analiza domieszkowanych warstw krzemowych metodą elektronowego rezonansu spinowego .....	91
3.6.1. Efektywność złącz p/i oraz i/n w optoelektronicznych strukturach .....	94
3.6.2. Zestawienie parametrów warstw krzemowych i krzemogermanowych dla procesów RF PECVD i RMS .....	97
3.7. Wnioski .....	100
<b>4. Metastabilność, równowaga termodynamiczna i rola wodoru w a-Si:H .....</b>	<b>102</b>
4.1. Wstęp .....	102
4.2. Proces kreacji i wygrzewania defektów .....	103
4.3. Przykłady efektów Staeblera–Wronskiego (SWE) w a-Si:H .....	105
4.4. Warstwy a-Si:H a metastabilność .....	111
4.4.1. Konwersja z udziałem wodoru pomiędzy słabymi a niewysyconymi wiązaniami w warstwach a-Si:H .....	111
4.4.2. Rozkład energetyczny defektów i rozkład energetyczny stanów wodoru w warstwie a-Si:H .....	112
4.4.3. Stany z udziałem H w a-Si:H .....	114
4.5. Nowe eksperymentalne fakty a metastabilność .....	115

4.6. Metoda ograniczania efektu SWE .....	117
4.7. Wnioski .....	119
<b>5. Amorficzne, mikrokrystaliczne i polikrystaliczne cienkowarstwowe krzemowe tranzystory .....</b>	<b>121</b>
5.1. Tranzystory TFT a-Si:H	
opisane za pomocą modelu tranzystorów MOSFET .....	124
5.1.1. Charakterystyki udoskonalonych tranzystorów a-Si:H TFT .....	127
5.1.2. Metoda pomiaru tranzystorów wytworzonych w formie linijki .....	134
5.2. Jak ograniczyć przesunięcie progu włączania TFT .....	136
5.3. Badanie wpływu promieniowania X na charakterystyki oraz przesunięcia progów przełączania tranzystorów a-Si:H TFT .....	140
5.4. Modelowanie zachowania tranzystora a-Si:H TFT .....	146
5.5. Tranzystor a-Si:H z bramką jonową (ISFET) .....	153
5.6. Porównanie parametrów tranzystorów a-Si:H TFT autora z osiągnięciami światowymi w tym zakresie .....	157
5.7. Nowe rozwiązania stosowane do redukcji niestabilności TFT .....	165
5.8. Wnioski i wymagania dotyczące TFT .....	169
<b>6. Fotodioda p<sup>+</sup>-i-n<sup>+</sup>, jako sensor .....</b>	<b>172</b>
6.1. Analiza charakterystyki I-V-C fotodiod a-Si:H .....	173
6.2. Stabilność prądowa .....	181
6.2.1. Sensory bazujące na fotodiodach dużej grubości .....	182
6.2.2. Przyczyny opóźnienia obrazu .....	183
6.3. Zastosowanie wielkopowierzchniowych sensorów obrazu do detekcji i zobrazowania promieniowania X .....	183
6.3.1. Podział detektorów .....	183
6.3.2. Wymagania dotyczące detektorów X ze względu na medyczne zastosowania .....	185
6.3.3. Scyntylatory i fotoprzewodniki promieniowania X .....	186
6.3.4. Przykłady matrycowych detektorów promieniowania X .....	188
6.3.5. Inteligentne sensory .....	192
6.3.6. Osiągnięcia autora i nowe pomysły na zastosowania struktur a-Si:H .....	194
6.4. Wnioski .....	195
<b>7. Cienkowarstwowe krzemowe ogniwa słoneczne .....</b>	<b>198</b>
7.1. Zasada działania cienkowarstwowego krzemowego ogniwa słonecznego .....	200
7.1.1. Analiza działania klasycznej komórki a-Si:H .....	200
7.1.2. Niestabilności i metody ulepszania cienkowarstwowych ogniw słonecznych .....	206

7.2. Elektryczne i optyczne modelowanie urządzeń .....	208
7.2.1. Programy symulacyjne: AMPS i Simul-SC .....	209
7.2.2. Model biegunowy rozkładu defektów i rekombinacyjne statystyki w amorficznym krzemie .....	211
7.2.3. Analiza ciemnego prądu przewodzenia .....	213
7.2.4. Przykład modelowania komórek fotowoltaicznych .....	218
7.2.5. Optyczne własności oraz modelowanie warstw w ogniwie słonecznym a-Si:H .....	220
7.3. Optymalizacja konstrukcji cienkowarstwowych krzemowych ogniw słonecznych .....	223
7.3.1. Frontowy system obejmujący podłoże, warstwy antyrefleksyjne, TCO i teksturyzację .....	224
7.3.2. Przykład zwiększenia wydajności ogniw słonecznych przez zastosowanie podwójnych pokryć antyrefleksyjnych .....	227
7.3.3. Pojedynczy lub wielozłączowy system p <sup>+</sup> -i-n <sup>+</sup> a-Si:H w konfiguracji <i>superstrate</i> i <i>substrate</i> .....	229
7.3.4. Systemy elektrody tylnej .....	231
7.4. Wielozłączowe amorficzne i mikrokrystaliczne ogniwa słoneczne .....	235
7.4.1. Wielozłączowe ogniwa słoneczne wytworzone przez autora .....	235
7.4.2. Przykład optymalizacji ogniwa typu tandem .....	241
7.5. Pomiary i analizy charakterystyk I-V cienkowarstwowych krzemowych ogniw słonecznych .....	246
7.5.1. Modele zastępcze do analizy ogniw słonecznych .....	249
7.5.2. Analiza krzywej I-V przy zmieniającym się oświetleniu .....	250
7.5.3. Ekstrakcja parametrów ogniwa słonecznego .....	256
7.6. Przykłady najlepszych krzemowych cienkowarstwowych ogniw słonecznych na świecie .....	259
7.6.1. Cienkowarstwowe krzemowe ogniwa o najwyższej wydajności ...	259
7.6.2. Cienkowarstwowe krzemowe moduły PV .....	261
7.7. Wnioski .....	262
<b>8. Podsumowanie .....</b>	<b>265</b>
8.1. Analiza zmian degradacyjnych w tranzystorach i przykłady elementów matrycowych. ....	265
8.2. Ograniczenie zmian degradacyjnych w ogniwach wytworzonych przez autora .....	266
8.3. Komentarz autorski .....	267
<b>Literatura .....</b>	<b>271</b>