
Grundlagen der photovoltaischen Energiewandlung

Solarstrahlung, Halbleitereigenschaften
und Solarzellenkonzepte

Von Prof. Dr.-Ing. Hans-Günther Wagemann
Technische Universität Berlin

und Dr.-Ing. Heinz Eschrich
Hahn-Meitner-Institut, Berlin

Mit 88 Abbildungen



B. G. Teubner Stuttgart 1994

Inhaltsverzeichnis

Symbole

1. Geschichtliche Entwicklung der Photovoltaik in Stichworten	1
2. Die Solarstrahlung als Energiequelle der Photovoltaik	4
2.1. Strahlungsquelle Sonne und Strahlungsempfänger Erde	4
2.2. Die Sonne als Schwarzer Strahler	5
2.3. Leistung und spektrale Verteilung der terrestrischen Solarstrahlung	6
3. Halbleitermaterial für die photovoltaische Energiewandlung	13
3.1. Absorption elektromagnetischer Strahlung durch Festkörper	13
3.2. Photovoltaischer Grenzwirkungsgrad	15
3.3. Beschreibung der Ladungsträgergeneration durch Absorption von Strahlung	18
3.4. Grundlagen der Halbleitertechnik für Solarzellen	21
3.5. Überschußladungsträgerprofil in homogenem Halbleitermaterial	23
3.6. Strategien zur Trennung der generierten Überschußladungsträger	28
3.7. Reflexionsverluste	31
4. Grundlagen für Solarzellen aus kristallinem Halbleitermaterial	33
4.1. Die Halbleiter-Diode als Solarzelle	33
4.2. Grundmodell einer kristallinen Solarzelle	34
4.2.1. Elektronenstrom	36
4.2.2. Löcherstrom	38
4.2.3. Gesamtstrom	40
4.2.4. Spektrale Empfindlichkeit	42
4.3. Bestrahlung mit einem Standardspektrum	43
4.4. Technische Solarzellen-Parameter	44
4.5. Das Ersatzschaltbild einer kristallinen Solarzelle	45
5. Monokristalline Silizium-Solarzellen	47
5.1. Diskussion der spektralen Empfindlichkeit	47
5.2. Temperaturverhalten der Generatoreigenschaften	57
5.3. Parameter einer optimierten c-Si-Solarzelle	59
5.4. Kristallzüchtung	61
5.5. Präparation	63
5.6. Hochleistungs-Solarzellen	65
6. Polykristalline Silizium-Solarzellen	69
6.1. Vergleich der Herstellungsverfahren	69
6.2. Kockillenguß-Verfahren für polykristalline Silizium-Blöcke	70
6.3. Modell der Korngrenze im polykristallinen Silizium	73
6.3.1. Berechnung der spektralen Überschußladungsträgerdichte	76
6.3.2. Zweidimensionales Randwertproblem der Photoströmdichte eines einzelnen Mikrokristalliten	77
6.4. Bewertung von spektraler Empfindlichkeit und Photoströmdichte	82
6.5. Präparation	86

Inhaltsverzeichnis

7. Galliumarsenid-Solarzellen	89
7.1. Vergleich der Solarzellenmaterialien Silizium und Galliumarsenid	89
7.2. Konzept der GaAs-Solarzelle mit AlGaAs-Fensterschicht	89
7.3. Modellrechnung zur AlGaAs/GaAs-Solarzelle	90
7.4. Kristallzüchtung	96
7.5. Flüssigphasen-Epitaxie für GaAs-Solarzellen	98
7.6. Präparation	99
8. Dünnschicht-Solarzellen aus amorphem Silizium	102
8.1. Eigenschaften des amorphen Siliziums	102
8.2. Dotieren des amorphen Siliziums	105
8.3. Physikalisches Modell der a-Si:H-Solarzelle	109
8.3.1. Dunkelstrom	110
8.3.2. Photostrom	112
8.4. Präparation	119
8.5. Verringerung der Degradationseffekte	123
8.6. Herstellung von a-Si:H-Solarzellen	124
9. Alternative Solarzellen-Konzepte	127
9.1. MIS-Solarzelle aus kristallinem Silizium	127
9.2. Solarzellen aus Kupferindiumdiselenid (CuInSe_2)	128
9.3. a-Si:H/c-Si-Solarzellen	129
9.4. Kugelelement-Solarzelle	130
9.5. Elektrochemische Solarzellen	131
10. Ausblick	132
A. Anhang	133
A.1. Lösung des Integrals zur Berechnung des Grenzwirkungsgrades	133
A.2. Lösung der Diffusionsgleichung	135
A.3. Das Standardspektrum AM1.5global	139
Literatur	140
Stichwortverzeichnis	142
Verzeichnis der Tafeln	
Detektoren zur Vermessung der terrestrischen Sonnenstrahlung	11
Messung der Spektralen Empfindlichkeit	50
Messung der Generator-Kennlinie	101