

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Photovoltaik (IEK-5)

Untersuchung und Optimierung der Serienver- schaltung von Silizium-Dünnschicht-Solarmodulen

Stefan Haas

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 91

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-680-4

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	9
2.1	Aufbau und elektrisches Verhalten der p-i-n-Dünnschichtsolarzelle . . .	9
2.2	Integrierte Serienschaltung	18
2.2.1	Analyse der Ohm'schen Serienwiderstandsverluste eines Dünnschicht-Solarmoduls	20
2.2.2	Erweiterung des Gupta-Modells	24
2.3	Funktionale Schichten	29
2.3.1	Frontkontakt	29
2.3.2	Absorber	32
2.3.3	Rückkontakt	35
2.4	Grundlagen der Laserablation	36
3	Laserstrukturierung	41
3.1	Strukturierungssystem	41
3.2	Charakterisierung der Laserquellen	43
3.3	Strukturierung von Dünnschicht-Solarmodulen	51
3.3.1	Frontkontaktstrukturierung P1	52
3.3.2	Absorberstrukturierung P2	53
3.3.3	Rückkontaktstrukturierung P3	54
4	Resultate zur Absorberstrukturierung P2	57
4.1	Bestimmung des Kontaktwiderstandes	58
4.2	Optimierung der Strukturierungsparameter	63
4.2.1	Variation der Laserpulsenergie \bar{E}_{Puls}	63
4.2.2	Einfluss der relativen Pulsüberlappung	69
4.2.3	Variation des Rückkontaktes	71
4.3	Nachbehandlung	74
4.3.1	Nasschemisches Ätzen	74
4.3.2	Ultraschallbehandlung	77
4.4	Einfluss auf Zelleigenschaften	79
4.5	Analyse der Barrierschicht	84
4.5.1	Niederohmiger Kontakt - Probe 1	86

4.5.2	Hochohmiger Kontakt - Probe 2	89
4.5.3	Nasschemisch nachbehandelter Kontakt - Probe 3	93
4.6	Entstehung der Barrierschicht	97
4.6.1	Simulation	97
4.6.2	Modellexperiment mit wasserstofffreiem Silizium	104
5	Resultate zur Rückkontaktstrukturierung P3	107
5.1	Ablationsverhalten des Rückkontaktsystems	109
5.1.1	Verifikation des Ablationsmodells	111
5.2	Einfluss der Strukturierung auf die Zelleigenschaften	113
5.2.1	Standardprozess	115
5.2.2	Einfluss der Pulsdauer	126
5.2.3	Variation der Wellenlänge	134
5.3	Strukturanalyse des Grabenrandbereichs	146
6	Strom-/Spannungsverteilung innerhalb eines Dünnschicht-Solarmoduls	153
6.1	Modellentwicklung	153
6.2	Modellvalidierung	157
6.3	Untersuchung der Ohm'schen Verluste	164
7	Alternative Verschaltungskonzepte	169
7.1	Vergößerung der aktiven Fläche	169
7.2	Nachträgliche Serienverschaltung	181
8	Zusammenfassung und Ausblick	189