

MOCVD von ZnSe für Sperrkontakte in Heterosolarzellen auf der Basis von Chalkopyriten

im Fachbereich Physik
der
Freien Universität Berlin
eingereichte Dissertation

von

Timon Kampschulte

angefertigt am
Hahn-Meitner-Institut Berlin

September 1998

1. Gutachterin: Prof. Dr. M. Ch. Lux-Steiner
2. Gutachter: Prof. Dr. D. Bräunig

Tag der mündlichen Prüfung: 10.02.1999

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
2 Materialeigenschaften	8
2.1 Kristallstruktur	8
2.2 Optische Eigenschaften	10
2.3 Elektrische Eigenschaften	13
3 Metallorganische chemische Gasphasendeposition	15
3.1 Prinzip des MOCVD-Prozesses	15
3.2 MOCVD-Anlage	19
3.3 Organische Ausgangsverbindungen	22
4 Charakterisierungsmethoden	27
4.1 Materialcharakterisierung	27
4.2 Solarzellencharakterisierung	29
5 MOCVD von ZnSe	30
5.1 ZnSe auf GaAs-Substraten	30
5.1.1 Optimierung undotierter ZnSe-Schichten	31
5.1.2 n-Dotierung von ZnSe	39
5.1.2.1 Dotierung von ZnSe auf GaAs(001)	40
5.1.2.2 Dotierung von ZnSe auf GaAs(111)	45
5.1.3 Niedertemperatur-Deposition von ZnSe	52
5.2 Wachstum von ZnSe auf Chalkopyrit-Substraten	62
5.2.1 ZnSe auf einkristallinen CuGaSe ₂ -Substraten	62
5.2.1.1 ZnSe auf epitaktischen CuGaSe ₂ (001)-Schichten	62
5.2.1.2 ZnSe auf CuGaSe ₂ -Einkristallen	72
5.2.2 ZnSe auf polykristallinen Chalkopyrit-Substraten	76
6 Solarzellen mit ZnSe-Sperrkontakten	85
6.1 ZnO/ZnSe/CuGaSe ₂ -Solarzellen	85
6.1.1 Aufbau der Solarzellen	87
6.1.2 Strom-Spannungs-Charakteristik	90
6.1.3 Spektrale Quantenausbeute	95
6.1.4 EBIC-Tiefenprofil	104
6.2 ZnO/ZnSe/Cu(In,Ga)(S,Se) ₂ -Solarzellen	110

6.2.1 Einfluß der Abscheidetemperatur	110
6.2.2 Einfluß der Abscheidedauer	112
6.2.3 Einfluß des PAG-Effekts und weitere Optimierung	115
7 Zusammenfassung	120
8 Anhang	124
8.1 Partialdrücke und Flüsse im MOCVD-Reaktor	124
8.2 Strom-Spannungs-Charakteristik einer Solarzelle	125
8.3 Quantenausbeute	126
9 Literaturverzeichnis	127

Lebenslauf

Timon Alexander Kampschulte

02. Juni 1967	geboren in Herne
1973 - 1977	Grundschule, Herne
1977 - 1980	Gymnasium, Herne
1980 - 1986	Gymnasium, Witten/Ruhr
Juni 1986	Abitur
1986 - 1988	Zivildienst, Diakonisches Werk, Witten/Ruhr
1988 - 1995	Studium der Physik, Ruhr-Universität Bochum
1993 - 1995	Diplomarbeit „Stufendynamik an Si(111) oberhalb von Raumtemperatur - Eine rastertunnelmikroskopische Untersuchung“
Mai 1995	Abschluß der Diplomprüfung
1995 - 1998	Promotion, Hahn-Meitner-Institut Berlin, Abteilung Festkörperphysik - Heterogene Materialsysteme

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit direkt oder indirekt beigetragen haben, bedanken. Besonders bei:

Frau Prof. Dr. M. Ch. Lux-Steiner für die Aufnahme in eine junge und dynamische Arbeitsgruppe, für das Aufzeigen vieler interessanter Aspekte in der Themenstellung der Arbeit, für ihre stete Diskussionsbereitschaft und den Optimismus, den sie auch bei den scheinbar unlösbaren Problemen vermittelte.

Herrn Prof. Dr. D. Bräunig für das Interesse am Thema meiner Arbeit und die Übernahme des Koreferats.

Dr. Ulf Blieske für die ansteckende Begeisterung für die Solarenergie, seine stete Ansprechbereitschaft und sein Engagement für den Teamgeist der MOCVD-Gruppe.

Andreas Bauknecht für die intensiven fachlichen Diskussion, die Unterstützung bei den PL-Messungen und die vielen gemeinsamen Stunden im Labor und im Büro.

Jürgen Albert für seinen Einsatz im MOCVD-Labor und die Erledigung der vielen mühsamen Kleinigkeiten.

Dr. Mueen Saad für die Unterstützung bei den PL-Messungen, seine Diskussionen zur Photovoltaik, die Einweihung in die Geheimnisse der Einkristallsolarzellen und die Einsatzbereitschaft in der „heißen Phase“.

Andreas Gerhard, Ulrich Fiedeler und Sven Tober für die freundliche Atmosphäre im MOCVD-Team und die Unterstützung an den elektrischen Meßplätzen.

Dr. Susanne Siebentritt für die Übernahme der Betreuung in der „heißen Phase“.

Christof Sommerhalter für die Diskussionen zum AFM.

Dr. Reiner Klenk und Imke Hengel für die Diskussionen zur Photovoltaik.

Herrn Dr. A. Krost und Frau K. Schatke von der TU Berlin für die Rocking-Messungen.

Herrn K. Diesner für die XRD-Messungen.

Dr. D. Su für die TEM- und TED-Messungen

Herrn M. Wilhelm für die Einweisung in SEM- und EDX-Methoden, Frau I. Sieber für die hochauflösenden SEM-Messungen.

Dr. Roland Scheer für die Unterstützung bei den EBIC-Messungen.

Dr. Mario Birkholz und den Leuten vom ERDA-Team für die Messungen der Chlorkonzentrationen.

Dr. Wolfgang Harneit für die Unterstützung bei der Quantenausbeute.

Michael Kirsch, Jörg Beckmann und allen Kollegen und Kolleginnen der Abteilung FH für die freundliche Atmosphäre.

Cornelia Baumermann für ihre Geduld.