

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.