

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen	3
1 Herstellung und Charakterisierung von Solarzellen	4
1.1 Aufbau und Herstellung der Chalkopyrit-Solarzellen	5
1.1.1 Chemische Gasphasendeposition	8
1.1.2 Metallorganische CVD	9
1.2 Funktionsweise von Chalkopyrit-Solarzellen	9
1.2.1 Banddiagramm der Solarzelle	10
1.2.2 Ladungsträgergeneration	11
1.2.3 Stromtransport in der Solarzelle	13
1.3 Meßmethoden	14
1.3.1 Quanteneffizienzmessungen	14
1.3.2 IU-Messungen	16
1.4 Bekannte Einflüsse der Abscheidetemperatur der ZnSe-Pufferschicht auf die Solarzellenparameter der CIGSSe-Zellen	18
2 Einfluß der Herstellung der ZnSe-Pufferschichten auf die Solarzelle	21
2.1 Experimentelle Bedingungen zur thermischen Nachbehandlung von ZnSe/CIGSSe-Solarzellen	21
2.2 SZ-Parameter als Fkt. der therm. Nachbehandlung	23
2.3 Effektive Sammlungslänge in CIGSSe-Solarzellen in Abhängigkeit von der thermischen Nachbehandlung	24
2.4 Rekombinationsmechanismen in CIGSSe-Solarzellen mit ZnSe-Pufferschichten	26
2.4.1 Anpassung der Dioden-Modelle an die IU-Messungen von CIGSSe-Solarzellen	26

2.4.2	Entwicklung der Sperrsättigungsstromdichte J_{02} im 2 Dioden-Modell in Abhängigkeit von der thermischen Nachbehandlung	27
2.4.3	Entwicklung der offenen Klemmenspannung im 2 Dioden-Modell in Abhängigkeit von der thermischen Nachbehandlung	29
2.5	Ergebnisdiskussion	30
II	ERDA-Untersuchungen	32
3	Prinzip und Realisierung der ERDA	33
3.1	Physikalische Grundprinzipien	33
3.1.1	Kinematischer Faktor	35
3.1.2	Streuquerschnitt	36
3.1.3	Abbremsvermögen	38
3.1.4	Energieverluststreuung	38
3.2	Aufbau des verwendeten HI-TOF-ERDA Meßplatzes	39
3.2.1	Historische Entwicklung der ERDA-Technologie und Möglichkeiten des Meßaufbaues	39
3.2.2	Erzeugung der Projektile für die ERDA-Messungen	40
3.2.3	ERDA-Meßplatz	41
3.2.4	Flugzeitteleskope	41
3.3	Erfassung der Daten und deren Auswertung	45
3.3.1	Datenerfassung und Darstellung im Scatterplot	45
3.3.2	Umwandlung der Daten in Energiespektren	48
3.3.3	Interpretation der Energiespektren	49
4	Auflösungen von ERDA-Messungen für Chalkopyrit-Absorber	51
4.1	Maximale Informationstiefe	51
4.2	Massenselektivität	53
4.3	Nachweisgrenze für Konzentrationen	54
4.3.1	Zeitliche Stabilität der Proben	56
4.4	Tiefenauflösung	56
4.4.1	Einfluß der Energieverluststreuung	57
4.4.2	Energieunschärfe des Projektilstrahls	58
4.4.3	Auflösungen der Detektorsysteme	59
4.4.4	Winkelabhängigkeit des kinematischen Faktors	60
4.5	Wahl der Betriebsparameter	62

5	Simulation rauher Oberflächen	64
5.1	Beschreibung von Oberflächenrauigkeiten	65
5.1.1	Bestimmung und Klassifizierung von Oberflächenrauigkeiten	66
5.1.2	Höhenverteilung auf der Oberfläche im Größenbereich lokaler Rauigkeiten	67
5.1.3	Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen Δd_{in} und Δd_{out} mit der Autokorrelationsfunktion	69
5.1.4	Beschreibung von $(\Delta d_{in}, \Delta d_{out})$ mit der 2-dimensionalen Wahrscheinlichkeitsdichte	71
5.1.5	Wahrscheinlichkeitsdichte als Funktion mittleren Rauigkeit ς und der Korrelation κ	73
5.1.6	Diskussion der Näherungen im Modell für rauhe Oberflächen	76
5.2	Modelle zur Simulation von Rauigkeiten	78
5.2.1	Simulation mittels Trajektorien	78
5.2.2	Alternative Simulationsmethoden	79
5.2.3	Diskussion der Simulationsansätze	80
5.3	Simulation rauher Oberflächen	81
5.3.1	Funktionsweise der Simulation	81
5.3.2	Einordnung der Simulationsmethode	84
III	Nachweis atomarer Diffusionsprozesse	86
6	Resultate aus ERDA-Messungen	87
6.1	Verunreinigungen in Chalkopyrit-Absorbern	88
6.2	Depositionsabhängige Verunreinigungen in ZnSe-Pufferschichten	90
6.3	Qualitativer Nachweis der In-Diffusion	96
6.4	Einfluß der Rauigkeit auf ERDA-Energiespektren	102
6.5	Diffusion im Referenzsystem In/ZnSe-Einkristall	107
6.6	Auswirkungen der In-Diffusion auf Solarzellen	111
	Zusammenfassung	117
	Materialparameter	121
	Abkürzungen und Symbole	122
	Abbildungsverzeichnis	126

Tabellenverzeichnis	129
Literaturverzeichnis	131
Index	139
Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge	141
Lebenslauf	143
Danksagung	145