

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Chalkopyritdünnschichtsolarzellen	5
2.1	Aufbau von $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ -Solarzellen	5
2.2	Banddiagramm einer Solarzelle auf der Basis von $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$	6
2.3	Eigenschaften des Chalkopyritabsorbermaterials	10
3	Chemische Badabscheidung von $\text{Zn}(\text{Se,OH})$-Pufferschichten	13
3.1	Eigenschaften von ZnSe	13
3.2	Naßchemischer Depositionsprozess	14
3.3	Reaktionen im chemischen Bad	16
4	Oberflächenmodifikationen und Bindungsstruktur	18
4.1	Grundlagen der Photoelektronenspektroskopie	19
4.2	Experimentelles	22
4.3	Photoelektronenspektroskopische Messungen	23
4.4	Zusammenfassung	30
5	Tiefenprofile und Komposition von Pufferschicht und Absorber	31
5.1	Tiefenprofil des Wasserstoffgehalts	32
5.1.1	^{15}N -Methode	32
5.1.2	Bestimmung des Wasserstofftiefenprofils in Pufferschichten	33
5.2	Komposition der $\text{Zn}(\text{Se,OH})$ -Pufferschicht und Tiefenprofil des CIGSS-Absorbers	37
5.2.1	Elastische Rückstreuanalyse	37
5.2.2	Zusammensetzung der $\text{Zn}(\text{Se,OH})$ -Pufferschicht	37
5.2.3	Tiefenprofil des CIGSS-Absorbers	39
5.3	Zusammenfassung	41
6	Morphologie und Struktur	42
6.1	Morphologie des Absorbers und der abgeschiedenen Schichten	42
6.2	Struktur von $\text{Zn}(\text{Se,OH})$ -Pufferschichten	46
6.2.1	Prinzip der Transmissionselektronenmikroskopie	47

6.2.2	Untersuchungen der Zn(Se,OH)-Pufferschicht mittels Transmissionselektronenmikroskopie	48
6.3	Zusammenfassung	55
7	Wachstumsprozesse	56
7.1	Analyse des Niederschlags im chemischen Bad	56
7.2	Wachstumsmodelle für Pufferschichten	59
7.2.1	Oberflächenmodell des Absorbers	59
7.2.2	Heterogener und homogener Wachstumsprozeß	60
7.2.3	Modell für das Wachstum von Zn(Se,OH)-Pufferschichten	63
7.3	Zusammenfassung	65
8	Elektrische Eigenschaften von Cu(In,Ga)(S,Se)₂-Solarzellen	66
8.1	Strom-Spannungscharakteristik	67
8.1.1	Solarzellenparameter	67
8.1.2	Rekombinationsmechanismen	69
8.1.2.1	Rekombination in der Raumladungszone	69
8.1.2.2	Grenzflächenrekombination	71
8.1.2.3	Diodenidealitätsfaktor und Aktivierungsenergie	73
8.1.3	Eindiodenmodell	74
8.1.4	Experimentelle Strom-Spannungscharakteristiken	76
8.2	Spannungsabhängige Kapazität	88
8.2.1	Kapazität der Raumladungszone	88
8.2.2	Kapazitive Messungen	89
8.3	Spektrale Quantenausbeute	93
8.3.1	Gärtnermodell	93
8.3.2	Spannungsabhängige Quantenausbeute und Verluste der Photostromsammmlung	95
8.3.3	Optische Verluste	100
8.3.4	Experimenteller Aufbau	102
8.3.5	Bestimmung der Quantenausbeute ohne Vorspannung	103
8.3.6	Spannungsabhängige Quantenausbeute	108
8.4	Zusammenfassung	114
9	Lichtinduzierte Effekte	116
9.1	Veränderung der Strom-Spannungscharakteristik durch Beleuchtung	117
9.1.1	I-U-Kennlinien	117
9.1.2	Temperaturabhängige I-U-Messungen	119
9.2	Kapazitive Messungen vor und nach Beleuchtung	122
9.3	Spannungsabhängige Quantenausbeute vor und nach Beleuchtung	123
9.4	Modell für lichtinduzierte Effekte in ZnO/Zn(Se,OH)/CIGSS-Solarzellen	126

9.4.1	Numerische Simulationen	126
9.4.2	Erläuterung der lichtinduzierten Effekte anhand des Banddiagramms . . .	133
9.5	Zusammenfassung	137
10	Modell für die Funktionsweise der Pufferschicht	139
10.1	Numerische Simulationen	139
10.2	Diskussion der elektrischen Eigenschaften von Solarzellen auf der Basis von Cu(In,Ga)(S,Se) ₂	143
10.3	Zusammenfassung	149
11	Zusammenfassung und Ausblick	150
	Anhang	155
	Symbole und Abkürzungen	157
	Literaturverzeichnis	161
	Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge	173
	Lebenslauf	175
	Danksagung	177

