

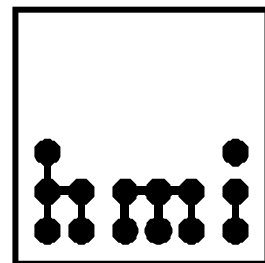
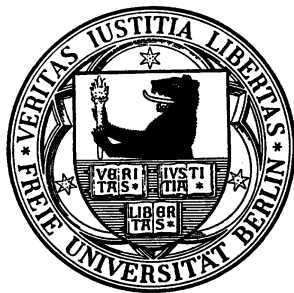
Generation und Rekombination von Ladungsträgern in CuInS₂-basierten Dünnschicht-Solarzellen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

von

Joachim Reiß



eingereicht im Fachbereich Physik der
Freien Universität Berlin

angefertigt am
Hahn-Meitner-Institut, Berlin

November 2002

Arbeit eingereicht am: 22. November 2002

Gutachter: 1. Prof. Dr. M. Ch. Lux-Steiner
2. Prof. Dr. J. Luther

Datum der Disputation: 27. Januar 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	5
2.1	Sulfid-basierte Chalkopyrit-Solarzellen.....	5
2.1.1	Materialeigenschaften der Chalkopyrit-Verbindungshalbleiter	5
2.1.2	Aufbau und Wirkungsweise der Dünnschicht-Solarzellen.....	7
2.1.3	Präparation der Chalkopyrit-Solarzellen.....	11
2.1.3.1	Sequentieller Präparations-Prozess von CuInS ₂ -Absorberschichten.....	12
2.1.3.2	PVD-Präparation von Cu(In,Ga)S ₂ -Absorberschichten.....	13
2.2	Elektrischer Transport in Chalkopyrit-Solarzellen.....	14
2.2.1	Transport in einem pn-Übergang.....	14
2.2.2	Transport in Hetero-Übergängen	18
2.2.3	Bandverlauf des Hetero-Übergangs.....	22
2.2.4	Rekombinations-Mechanismen in Dünnschicht-Solarzellen.....	27
2.2.4.1	Thermisch aktivierte Rekombination.....	28
2.2.4.2	Tunnelunterstützte Rekombination.....	33
2.2.5	Generation in Dünnschicht-Solarzellen.....	38
2.2.6	Ladungsträger-Transport über Korngrenzen	41
3	Kennlinien-Analyse	47
3.1	Fehlerdiskussion.....	51
4	Rekombination und Transport	53
4.1	Ladungsträger-Transport in CuInSe ₂ - und CuGaSe ₂ -basierten Solarzellen.....	53
4.2	Dioden-Charakteristika in CuInS ₂ -basierten Solarzellen.....	57
4.2.1	Einfluss der Absorber-Präparation.....	58
4.2.2	Dotierung des CuInS ₂ -Absorbers.....	62
4.2.3	Bandlücken-Variation in Cu(In,Ga)S ₂ -basierten Solarzellen.....	65
4.2.4	Vergleich und Diskussion der Dioden-Charakteristika.....	69
4.3	Parallel- und Serienwiderstand	76
4.3.1	Physikalische Ursachen des Serienwiderstandes	77
4.3.2	Einfluss der Korngrenzen auf die Transporteigenschaften	80
4.4	Diskussion der Transporteigenschaften.....	87
4.5	Zusammenfassung.....	91

5	Strom-Spannungs-Charakteristika unter negativen Spannungen	95
5.1	Beobachtung des Durchbruchverhaltens von Chalkopyrit-Solarzellen.....	95
5.2	Numerisches Modell von CdS-Kanälen durch den CuInS ₂ -Absorber.....	97
5.3	Morphologie-Unabhängigkeit des Strom-Spannungs-Verhaltens	102
5.4	Separation der Variablen Temperatur und Spannung.....	104
5.5	Beleuchtungs-Abhängigkeit des exponentiellen Anstiegs der Stromdichte	107
5.6	Relation der Transport-Eigenschaften unter positiven und negativen Spannungen...	112
5.7	Generations-Tunnel-Modell.....	115
5.8	Verbessertes Abschattungs-Verhalten von Solarmodulen.....	122
5.9	Zusammenfassung und Folgerungen.....	126
6	Zusammenfassung	129
	Anhang A: Quantenausbeute	133
	Anhang B: Kelvinsonden-Kraftmikroskopie	135
	Anhang C: Fallbetrachtungen zu den dominierenden Rekombinations-Mechanismen	139
	Anhang D: Symbole und Abkürzungen	145
	Literaturverzeichnis	151
	Lebenslauf	161
	Publikationen	163
	Danksagung	165