

**Kelvinsondenkraftmikroskopie im
Ultrahochvakuum zur Charakterisierung
von Halbleiter-Heterodioden
auf der Basis von Chalkopyriten**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
(Dr. rer. nat.)

von

Christof Sommerhalter

eingereicht im Fachbereich Physik der
Freien Universität Berlin

angefertigt am
Hahn-Meitner-Institut, Berlin

Oktober 1999

Arbeit eingereicht am:
Tag der mündlichen Prüfung:
Referenten:

29.10.1999
15.12.1999
1. Prof. M. Ch. Lux-Steiner
2. Prof. G. Kaindl

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Chemische Gasphasendeposition von ZnSe	5
2.1	Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen	5
2.1.1	Aufbau der Solarzellen	5
2.1.2	Solarzellen mit ZnSe als Pufferschicht	6
2.2	Prinzip des CVD Prozesses von ZnSe	7
2.2.1	CVD-Anlage	7
2.2.2	Bestimmung der Transport- und Wachstumsraten	9
2.2.2.1	Transportraten	9
2.2.2.2	Wachstumsraten	11
2.3	Charakterisierung der ZnSe-Schichten	13
2.4	Solarzellen mit CVD-ZnSe-Pufferschichten	17
2.4.1	Optimierung der Abscheidebedingungen	17
2.4.2	Langzeitstabilität der Solarzellen	19
2.5	Zusammenfassung und Diskussion	19
3	Rasterkraftmikroskopie im Ultrahochvakuum	21
3.1	Contact-AFM	21
3.2	Non-contact-AFM	23
3.3	Kräfte zwischen Spitze und Probenoberfläche	27
3.4	Kelvinsondenkraftmikroskopie	28
3.4.1	Prinzip eines Kelvinsondenkraftmikroskops	28
3.4.2	Experimentelle Realisierungen im UHV	30
3.4.2.1	Frequenzmodulations-Detektion (FM-KPFM)	30
3.4.2.2	Amplitudenmodulations-Detektion (AM-KPFM)	31
3.4.2.3	Modifikationen am UHV-AFM	32
4	Grundlegende Untersuchungen zur Kelvinsondenkraftmikroskopie im UHV	35
4.1	Punktspektroskopie mittels AM-KPFM	35
4.1.1	Variation der Probenspannung	35
4.1.2	Abstandsabhängigkeit	38
4.1.3	Zeitauflösung	41
4.2	Vergleich von Amplituden- und Frequenzmodulations-Detektion	42
4.3	Quantitative Bestimmung von Austrittsarbeiten	44
4.3.1	Kalibrierung der Cantilever	44
4.3.2	Einfluß der Wechselspannungsamplitude	45
4.3.3	Einfluß der Beleuchtung	47
4.4	Laterale Auflösung	48
4.5	Zusammenfassung und Diskussion	51

5	Kelvinsondenkraftmikroskopie an <i>in situ</i> präparierten Oberflächen	53
5.1	Austrittsarbeitsvariationen an Stufen von HOPG	53
5.2	Lokalisierte Defektzustände an Stufen von III-V-Halbleitern	55
5.3	Dotanden in p-WSe ₂	58
5.4	Zusammenfassung und Diskussion	61
6	Kelvinsondenkraftmikroskopie an II-VI/CuGaSe₂-Heterostrukturen	63
6.1	Grundlagen zur Kelvinmethode an Heterostrukturen	63
6.2	Probenpräparation	66
6.2.1	CuGaSe ₂ -Absorber	66
6.2.2	Pufferschicht	67
6.2.3	ZnO-Fensterschicht	68
6.3	Kelvinsondenkraftmikroskopie	68
6.3.1	CuGaSe ₂ -Absorber	68
6.3.2	Heterostrukturen mit MOCVD-ZnSe als Pufferschicht	71
6.3.3	Heterostrukturen mit CVD-ZnSe als Pufferschicht	72
6.3.4	Heterostrukturen mit CBD-CdS als Pufferschicht	75
6.4	Zusammenfassung und Diskussion	78
7	Zusammenfassung	81
	Anhang	87
A	Experimentelles: UHV-System, Cantilever- und Probenpräparation	87
B	Wachstum von C₆₀ und C₅₉N auf Schichtgittersubstraten	89
C	Abkürzungen und Symbole	93
C.1	Symbole	93
C.2	Abkürzungen	95
	Literaturverzeichnis	97
	Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge	105
	Lebenslauf	109
	Danksagung	111