

Andreas Stadler

Analysen für Chalkogenid- Dünnschicht- Solarzellen

Theorie und Experimente

VIEWEG+TEUBNER RESEARCH

1 Inhalt

2	Einleitung	7
2.1	Die Nutzung des Sonnenlichts.....	7
2.2	Literatur zur Einleitung	10
3	Theorie	11
3.1	Optische Grundlagen für Grenzflächen und Volumina von Festkörpern	11
3.1.1	Transmissions- t und Reflexionskoeffizienten r	11
3.1.2	Transmissions- T , Absorptions- A und Reflexionsgrade R	21
3.2	UV/Vis/NIR-Spektroskopie an Ein- und Zwei-Schicht-Systemen	34
3.2.1	Physikalische Größen für Ein-Schicht-Systeme	34
3.2.2	Das erweiterte Ein-Schicht-System	56
3.2.3	Das exakte Zwei-Schichten-System	61
3.2.4	Grundlegendes zum Vermessen von Mehr-Als-Zwei-Schichten-Systemen.....	67
3.3	Der Vergleich mit dem Keradec/Swanepoel-Modell	67
3.3.1	Parameter des Substrats	67
3.3.2	Die wellenlängenabhängige Transmissionsrate $T(n_{\text{Sch}}, \alpha_{\text{Sch}}, d_{\text{Sch}})$ nach Keradec.....	68
3.3.3	Brechungsindex n_{Sch} und Absorptionskoeffizient α_{Sch} nach Swanepoel	71
3.4	Quantenmechanisches Modell.....	77
3.4.1	Quantenmechanisches Modell für ein Ein-Schicht-System	77
3.4.2	Quantenmechanisches Modell für Zwei-Schichten-Systeme	82
3.5	Elektrische Bestimmung des spezifischen Widerstandes dünner Schichten	84
3.5.1	Van-der-Pauw Methode.....	84
3.5.2	Lineare Vier-Spitzen-Methode	86
3.5.3	Zwei-Spitzen-Methode.....	88
3.5.4	Einfluss des Substrats und der Meßspitzen	90
3.6	Dotierstoffkonzentrationen, Beweglichkeiten und Stoßzeiten	90
3.6.1	Dotierstoffkonzentrationen n , p und Energieniveaus E	90
3.6.2	Beweglichkeit μ und Stoßzeit τ	99
3.7	Strom-Spannungs-Messungen an Solarzellen.....	103
3.7.1	Theoretische Strom-Spannungs-Kennlinie und Ersatzschaltbild.....	103
3.7.2	Einfluss des Lichtspektrums auf die $I(U)$ -Kennlinie.....	110

3.7.3	Alterung	117
3.8	Literatur zur Theorie	119
4	Experimente	121
4.1	Das Materialsystem der Sulfide	121
4.1.1	Allgemeines zu Sulfiden für die Photovoltaik	121
4.1.2	Auswahl der Materialien, Produktionsverfahren und Analysemethoden.....	122
4.1.3	Untersuchte Materialien	123
4.2	UV/Vis/NIR-Spektroskopie an transparenten und opaken Schichten.....	125
4.2.1	Transparente isolierende Glas- und BSG-Substrate	125
4.2.2	Transparente, leitende Oxide TCO (Transparent Conducting Oxides).....	127
4.2.3	Opake, absorbierende Sulfide	141
4.3	Elektrische Bestimmung des spezifischen Schichtwiderstandes	157
4.3.1	Aluminiumdotierte Zinkoxid (ZnO:Al) Schichten.....	158
4.3.2	Zinnsulfid (Sn _x S _y) Schichten	159
4.4	Strom-Spannungs-Messungen an Solarzellen.....	161
4.4.1	Solarzellen mit Zinnsulfid Sn _x S _y Absorberschichten	161
4.5	Literatur zu den Ergebnissen	174
5	Zusammenfassung	181
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	181
5.2	Literatur zur Zusammenfassung.....	190
6	Anhänge	191
	Anhang A: Exaktes Lösen eines Polynoms 3. Grades.....	191
	Anhang B: Exaktes Lösen eines Polynoms 4. Grades.....	195
	Anhang C: Perkin Elmer Lambda 750 UV/Vis/NIR Spektrometer	197
	Anhang D: Strom-Spannungs-Meßplatz mit Sonnensimulator	199
	Anhang E: Verbindungen, ausschließlich mit Zink Zn und Sauerstoff O, entsprechend der Inorganic Crystal Structure Database ICSD 2009/1	201
	Anhang F: Verbindungen, ausschließlich mit Zink Zn, Sauerstoff O und Aluminium Al entsprechend der Inorganic Crystal Structure Database ICSD 2009/1.....	203
	Anhang G: Verbindungen, ausschließlich mit Zink Zn, Sauerstoff O, Stickstoff N und Aluminium Al entsprechend der Inorganic Crystal Structure Database ICSD 2009/1	204
	Anhang H: Verbindungen, ausschließlich mit Zinn Sn und Schwefel S, entsprechend der Inorganic Crystal Structure Database ICSD 2009/1.....	205
	Anhang I: Verbindungen, ausschließlich mit Bismut Bi und Schwefel S, entsprechend der Inorganic Crystal Structure Database ICSD 2009/1.....	206
7	Schlagwortverzeichnis	207