

# 1 Inhalt

<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
2.1	Die Nutzung des Sonnenlichts.....	7
2.2	Literatur zur Einleitung .....	10
<b>3</b>	<b>Theorie.....</b>	<b>11</b>
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 $n_{\text{Sch}}$ und Absorptionskoeffizient $\alpha_{\text{Sch}}$ 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 $\mu$ und Stoßzeit $\tau$ .....	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
<b>4</b>	<b>Experimente.....</b>	<b>121</b>
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 ( $\text{Sn}_x\text{S}_y$ ) Schichten .....	159
4.4	Strom-Spannungs-Messungen an Solarzellen.....	161
4.4.1	Solarzellen mit Zinnsulfid $\text{Sn}_x\text{S}_y$ Absorberschichten .....	161
4.5	Literatur zu den Ergebnissen .....	174
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>181</b>
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	181
5.2	Literatur zur Zusammenfassung .....	190
<b>6</b>	<b>Anhänge .....</b>	<b>191</b>
	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
<b>7</b>	<b>Schlagwortverzeichnis .....</b>	<b>207</b>