

## Kapitel 9

### Photo-Hall-Messungen an polykristallinen CuGaSe<sub>2</sub>-Schichten

Wie in Abschnitt 2.4 bereits beschrieben, existieren zwei konkurrierende Modelle für die elektronische Struktur von Korngrenzen in polykristallinem CuGaSe<sub>2</sub>. In beiden Modellen wirken die Grenzen als Barrieren für Löcher. Das erste Modell geht auf Seto[Set75] zurück. Es besagt, dass an den Korngrenzen lokalisierte Ladungen eine Erhöhung des dortigen elektrischen Potenzials bewirken. In diesem Modell sollte es möglich sein, die Grenzflächenladungen durch freie Elektronen zu kompensieren und somit die Barriere für die Löcher aufzuheben. Das zweite, von Persson[Per05] vorgeschlagene Modell besagt, dass eine Bandlückenaufweitung an den Korngrenzen existiert. Es besteht die Hoffnung, durch Beweglichkeitsmessungen unter Beleuchtung zu entscheiden, welches der beiden Modellen die Situation in CuGaSe<sub>2</sub> am besten beschreibt.

In [Mey02] wurde persistente Photoleitfähigkeit von Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Schichten mittels Leitfähigkeits- und Hall-Messungen untersucht. Es zeigte sich, dass die persistente Photoleitfähigkeit durch Erhöhung der Ladungsträgerdichte verursacht wird, während die „normale“ Photoleitfähigkeit sowohl durch Änderung der Ladungsträgerdichte als auch durch eine Erhöhung der Beweglichkeit verursacht wird.

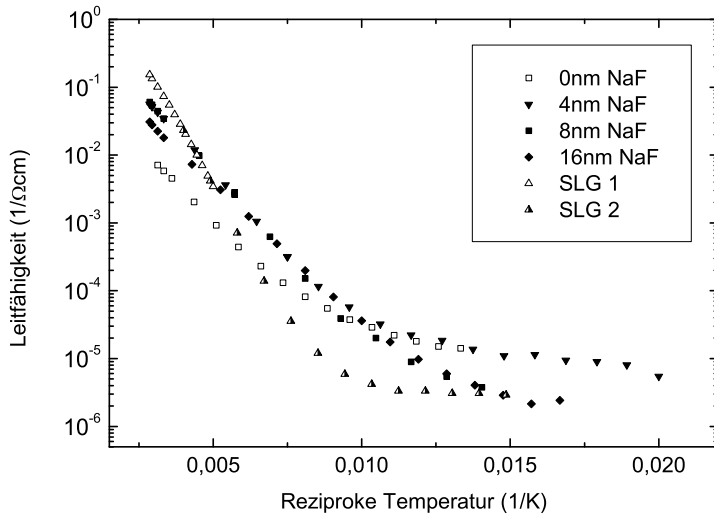
#### 9.1 Photo-Hall-Messungen an polykristallinen CuGaSe<sub>2</sub>-Schichten

Es wurden CdS beschichtete, mittels PVD präparierte CuGaSe<sub>2</sub>-Proben auf unterschiedlichen Glassubstraten untersucht. Es handelt sich um die bereits in Kapitel 7 behandelten Proben. Ihr genauer Aufbau lässt sich aus Anhang D.2 entnehmen (Probennummer 6 bis 11). Die Proben wurden während der Messung mit grünem Laserlicht (Wellenlänge: 514nm) bestrahlt. Die Strahlungsdichte betrug  $2,6 \cdot 10^{16}$  Photonen/cm<sup>2</sup>. Wie in Abschnitt 5.5.3 bereits dargestellt, wird der Großteil des beleuchtenden Lichtes bereits in den ersten 300nm der Schicht absorbiert.

Abbildung 9.1 zeigt die unter Beleuchtung gemessenen Leitfähigkeiten. Für Temperaturen unterhalb von 100K ( $T^{-1} > 0,01K^{-1}$ ) sind die gemessenen Leitfähigkeiten nahezu konstant, was darauf hindeutet, dass der Ladungstransport in diesem Temperaturbereich weitgehend durch photogenerierte Ladungsträger erfolgt.

Unter Beleuchtung tragen sowohl Löcher, als auch Leitungselektronen zum Ladungstransport bei. Der Einfluss der Leitungselektronen wird aber erst bei tiefen Temperaturen ( $T < 125K$ ) sichtbar, wenn die Anzahl der thermisch erzeugten Löcher gering ist. Er äußert sich in negativen bzw. stark streuenden Hall-Koeffizienten. Die unter Beleuchtung gemessenen (scheinbaren) Ladungsträgerdichten finden sich in den Anhängen C.3 und C.4. Das Vorzeichen des Hall-Koeffizienten wird durch offene (negativ) und ausgefüllte Symbole (positiv) dargestellt. Alle gemessenen Proben weisen bei tiefen Temperaturen ( $T < 80K$ ) negative Hall-Koeffizienten auf.

Die Aktivierungsenergien der Leitfähigkeiten unter Beleuchtung wurden daher für Temperaturen über 125K ( $T^{-1} < 0,008K^{-1}$ ) bestimmt. Der Einfluss der Leitungselektronen auf den Hall-Koeffizienten ist in diesem Temperaturbereich zu vernachlässigen. Bis auf den Fall der Schichten auf Soda-Lime-Glas sind die Aktivierungsenergien durchgehend wesentlich geringer als die entsprechenden Aktivierungsenergien im Dunkeln (siehe Tabelle 9.1).



**Abbildung 9.1:** Leitfähigkeiten von CuGaSe<sub>2</sub>-Schichten mit unterschiedlichem Na-Gehalt unter Beleuchtung mit grünem Laserlicht ( $\lambda=514\text{nm}$ ).

**Tabelle 9.1:** Aus den Hall-Messungen unter Beleuchtung ( $\lambda=514\text{nm}$ ) gewonnene Aktivierungsenergien polykristalliner CuGaSe<sub>2</sub>-Schichten mit unterschiedlichem Na-Gehalt.

Probe	$E_A$ aus Leitfähigkeit (meV)		$E_A$ aus Ladungsträgerdichte (meV)	
	hell	dunkel	hell	dunkel
0nm NaF	80±20	216±30	-	-
4nm NaF	96±16	157±10	128±19	156±2
8nm NaF	100±20	139±20	140±20	149±13
16nm NaF	80±20	140±14	130±20	147±15
SLG	156±17	171±5	150±20	170±14

Die Beweglichkeiten unter Beleuchtung (nicht abgebildet) streuen sehr stark und zeigen keine thermische Aktivierung, wie sie in [Sch02a] beobachtet wurde. Allerdings wurde schon bei den Messungen im Dunkeln nur für Schichten auf Soda-Lime-Glas-Substraten eine thermische Aktivierung beobachtet.

## 9.2 Diskussion

Da sich in den Messungen keine thermische Aktivierung der Beweglichkeiten feststellen lässt, erfolgt der Ladungstransport bei den untersuchten CuGaSe<sub>2</sub>-Schichten offenbar nicht durch thermionische Emission über Barrieren an den Korngrenzen. Theoretisch wäre es auch möglich, dass die Beweglichkeit durch andere Effekte als Barrieren an den Korngrenzen begrenzt wird. Streuung an neutralen oder geladenen Defekten kommen hierfür allerdings nicht in Frage, da die Defektdichten dafür extrem hoch sein müssten ( $N \gg 1 \cdot 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ). Die Änderung der Aktivierungsenergien der Ladungsträgerdichten unter Beleuchtung weist auf eine Änderung der Defektdichten hin.