

1 Einleitung

Eine vielversprechende Alternative zu kristallinem Silizium als Halbleitermaterial für Solarzellen stellen - neben amorphem und multikristallinem Silizium und CdTe - Cu-III-VI₂-Chalkopyritverbindungen dar. Aufgrund ihres hohen Absorptionskoeffizienten eignen sie sich für Dünnschichtanwendungen und bieten somit ein großes Kostenreduktionspotential. Solarzellen auf der Basis von CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ erreichen heute Wirkungsgrade von 17,7% im Labormaßstab, 14,2% für Minimodule auf 52 cm² und bis zu 11,2% auf einer Fläche von 3830 cm² [Fuh98].

Ein weiterer Vorteil dieser Materialklasse ist die Möglichkeit, in dem quinternären System Cu(In,Ga)(S,Se)₂ über den Gehalt von Indium zu Gallium und Schwefel zu Selen die Bandlücke des Halbleiters im Bereich zwischen 1 und 2,5 eV zu variieren. Daraus ergibt sich die interessante Option, Tandemsolarzellen aus Chalkopyritverbindungen herzustellen. Eine geeignete Kombination hierfür ist CuInSe₂/CuGaSe₂ mit Bandlücken von 1,02 eV und 1,68 eV. Dadurch läßt sich ein maximaler theoretischer Wirkungsgrad von 36,6% erzielen [Lew95].

Bei der Herstellung von Chalkopyritsolarzellen wird üblicherweise auf dem p-leitenden Absorber vor dem Aufbringen der transparenten, n-leitenden ZnO-Schicht eine dünne CdS-Pufferschicht als Sperrkontakt aus der chemischen Badabscheidung aufgetragen. Mit dieser Methode werden bisher die höchsten Wirkungsgrade erreicht. Dennoch wird an der Entwicklung alternativer Pufferschichten gearbeitet, da mit CdS diverse Nachteile verbunden sind, wie: Absorptionsverluste infolge einer zu geringen Bandlücke von 2,4 eV, eine ungünstige Bandanpassung an Chalkopyrite mit großer Bandlücke und auch die Toxizität von Cd. Ferner ist die naßchemische Abscheidung schwieriger in einen automatisierten, industriellen Prozeß zu integrieren [Fuh98].

Mit einer Bandlücke von 2,7 eV und einer geringen Gitterfehlpassung an CuInSe₂ und CuGaSe₂ ist ZnSe ein Kandidat für eine alternative Pufferschicht (Abb. 1.1). Für die Abscheidung von ZnSe-Pufferschichten auf Cu(In,Ga)(S,Se)₂-Substraten wurde bisher Sputtertechnik [Nou87], thermisches Verdampfen [Yoo91], chemische Badabscheidung [Kes93, Enn98], sequentielles Aufdampfen [Oht94] und metallorganische Gasphasendeposition [Ols93, Ols94, Hah98b] eingesetzt. Dabei demonstriert der bisher höchste Wirkungsgrad von 13,7% mit ZnSe aus der chemischen Badabscheidung [Enn98] die generelle Eignung dieses Materials.

Die Abscheidung mittels metallorganischer Gasphasendeposition (MOCVD, metalorganic chemical vapour deposition) hat den Vorteil, daß der Abscheideprozeß leicht auf größere Flächen hochskaliert werden kann und daher auch von

wirtschaftlicher Relevanz ist. Ferner bietet ein MOCVD-Prozeß aber auch die Möglichkeit durch epitaktische Abscheidung auf einkristalline Substrate, Referenzsysteme herzustellen, an denen modellhaft Material- oder Solarzeleigenschaften frei von den Einflüssen von Korngrenzen studiert werden können.

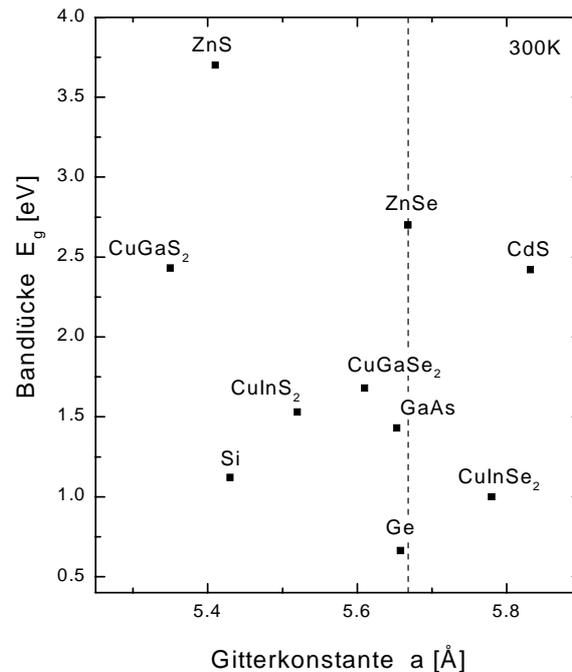


Abb. 1.1: Bandlücke E_g und Gitterkonstante a einiger Halbleitermaterialien mit photovoltaischer Anwendung.

Daraus leitet sich die Fragestellung für diese Arbeit ab, die Anwendungsmöglichkeit von ZnSe, welches mittels MOCVD abgeschieden wird, als Sperrkontakt in Chalkopyrit-Solarzellen zu untersuchen. Dazu werden zunächst die Schichteigenschaften von ZnSe auf verschiedenen Substraten in Abhängigkeit von den Parametern des MOCVD-Prozesses studiert. Anschließend werden die photovoltaischen Eigenschaften von Chalkopyrit-Solarzellen mit ZnSe-Sperrkontakten charakterisiert und die Probleme und Möglichkeiten des ZnSe-MOCVD-Prozesses für eine Anwendung in der Photovoltaik diskutiert.

Die Arbeit gliedert sich im einzelnen so:

Nach einem Überblick über die für diese Arbeit wichtigsten Materialeigenschaften von ZnSe in Kap. 2 erfolgt in Kap. 3 eine Einführung in das Prinzip der MOCVD. Ferner wird hier die benutzte Anlage vorgestellt sowie die Auswahl der organischen Ausgangs-

stoffe begründet. Eine Auflistung der benutzten Charakterisierungsmethoden findet sich in Kap. 4.

In Kap. 5 werden in der ersten Hälfte die Experimente zur ZnSe-Abscheidung auf GaAs-Substraten erörtert. Die inhaltlichen Schwerpunkte liegen in der Optimierung undotierter ZnSe-Schichten beim Einfahren des Prozesses, der n-Dotierung mit Chlor, sowie der Abscheidung bei niedrigen Temperaturen. In der zweiten Hälfte von Kap. 5 wird das Wachstum von ZnSe auf verschiedenen Chalkopyritsubstraten vor allem hinsichtlich der Morphologie und Textur der Schichten untersucht.

Die Ergebnisse aus der Charakterisierung der Solarzellen folgen in Kap. 6. Die Besonderheiten von ZnO/ZnSe/CuGaSe₂-Solarzellen mit epitaktischen, Einkristall- und polykristallinen Absorbern werden im ersten Teil beschrieben. Der Einfluß der MOCVD-Abscheideparameter auf die photovoltaischen Eigenschaften der ZnO/ZnSe/Cu(In,Ga)(S,Se)₂-Solarzellen mit Absorbern von Siemens Solar Industries wird im zweiten Teil diskutiert.

Eine Zusammenfassung befindet sich in Kap. 7.