

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass durch die Substitution der i-ZnO-Schicht durch eine $\text{Zn}_{0.70}\text{Mg}_{0.30}\text{O}$ -Legierung der Wirkungsgrad der pufferfreien Solarzellen um etwa 50% angehoben wird. Die so in einem komplett trockenen Prozess hergestellten Solarzellen zeigen vergleichbare Eigenschaften bezüglich der Solarzellenparameter und der Stabilität wie hocheffizienten $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ -Solarzellen mit nass-chemisch abgeschiedener CdS-Pufferschicht. Dadurch kann der Herstellungsprozess ökologisch und ökonomisch verbessert werden. Die in dieser Arbeit entwickelte Heterostruktur eröffnet damit durchaus vielversprechende Perspektiven für die Weiterentwicklung der Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzelle.

Die vorliegende Arbeit ging von der Frage aus: „Kann der positive Einfluss der $\text{Zn}_{0.70}\text{Mg}_{0.30}\text{O}$ -Legierung auf die Solarzellenparameter durch eine Optimierung der Bandanpassung in der Heterostruktur erklärt werden? Wenn ja, worin liegt diese Optimierung?“

Zur Klärung dieser Frage wurden einerseits Messungen an den einzelnen Oberflächen der Heterostrukturen durchgeführt. Mit Hilfe von normaler und inverser Photoelektronenspektroskopie wurden die Austrittsarbeit sowie die energetischen Positionen des Leitungsbandminimums und des Valenzbandmaximums bestimmt. Differenzen bei der Bestimmung der Austrittsarbeit dieser Schichten konnte durch die detaillierte Analyse der Oberflächen durch Kelvinsondenkraftmikroskopie erklärt werden. In den orts aufgelösten Messungen des Oberflächenpotentials hat sich gezeigt, dass laterale Inhomogenitäten der Austrittsarbeit die Hauptursache dieser Unterschiede sind.

Erstmals wurden direkte Messungen der Grenzflächeneigenschaften von Heteroübergängen mit dem Kelvinsondenkraftmikroskop durchgeführt. Dazu wurde eine geeignete Präparation von Querschnitten und deren Reinigung im Ultrahochvakuum entwickelt und erprobt. Die Querschnitte von drei Heterostrukturen, den pufferfreien Solarzellen mit $\text{Zn}_{0.70}\text{Mg}_{0.30}\text{O}$ - und mit i-ZnO-Schicht sowie der herkömmlichen Solarzelle mit CdS-Pufferschicht, wurden hinsichtlich ihres Potentialverlaufs vermessen. Dabei hat sich gezeigt,

dass die Spitzen-Proben-Wechselwirkung einen erheblichen Einfluss auf die Messergebnisse hat. Durch Simulationen der Wechselwirkung konnten die gemessenen Potentialverläufe semi-quantitativ beschrieben werden.

Die Verbesserung der Solarzellenparameter der pufferfreien Solarzelle mit $\text{Zn}_{0.70}\text{Mg}_{0.30}\text{O}$ anstelle des standardmäßig verwendeten i-ZnO ist teilweise auf eine Optimierung des Bandverlaufs an der Grenzfläche zurückzuführen. Der Grund hierfür ist die Aufweitung der optischen Bandlücke der $\text{Zn}_{0.70}\text{Mg}_{0.30}\text{O}$ -Legierung im Vergleich zum i-ZnO durch die Legierung mit MgO . An der Heterogrenzfläche werden dadurch die Barriere erhöht und die Rekombinationsprozesse vermindert, die die Effizienz der Solarzellen limitiert.

Die durchgeführten Untersuchungen haben bereits mehrere Forschungsgruppen und auch die Industrie angeregt, sich intensiver mit der Substitution der i-ZnO -Schicht sowie der CdS -Pufferschicht durch $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$ in Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen zu befassen.

Eine zukünftige wissenschaftliche Herausforderung ist die direkte Messung der Banddiskontinuitäten zur Überprüfung des in dieser Arbeit vorgestellten Modells. Eine Möglichkeit stellt die Kelvinsondenkraftmikroskopie an den Querschnitten dar, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf Minimierung der parasitären Einflüsse durch die Probenstruktur und die Präparation gelegt werden sollte.