

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 1: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Nr. 2: Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **16595 BG**

***Grenzflächenoptimierung zwischen transparenten Zinkoxidelektroden und photovoltaisch  
aktiven Schichten***

(Bewilligungszeitraum: 01.05.2010 - 31.07.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

EFDS e.V.

Dresden, 14.11.2013

Ort, Datum

Prof. Andreas Kolitsch

Dr. Klaus Ellmer

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Inhalt**

1. Zusammenfassung
2. Wissenschaftlich-Technische und Wirtschaftliche Problemstellung
3. Stand der Forschung
4. Forschungsziel und Ablauf
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen
6. Ergebnisse
7. Gegenüberstellung der Zielsetzung und Ergebnissen
8. Verwendung der Zuwendung
9. Wissenschaftlich-Technischer Nutzen
10. Wirtschaftlicher Nutzen für KMU
11. Innovativer Beitrag der Ergebnisse zu Industriellen Anwendungsgebieten
12. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft
13. Veröffentlichungen im Rahmen des Vorhabens
14. Durchführende Forschungsstellen
15. Symbole/Abkürzungen
16. Literaturverzeichnis

## 1. Zusammenfassung

Das Projekt ist auf die Untersuchung der Möglichkeiten einer industriell akzeptierten Technologie, wie dem reaktiv gepulsten Magnetronspattern, für die Herstellung einer maßgeschneiderten Oberflächenmorphologie und Austrittsarbeit von ZnO-basierten TCOs - ZnO:Al (AZO), ZnO:Ga (GZO) - unter Beibehaltung ihrer bestmöglichen elektrischen und optischen Eigenschaften, ausgelegt. Im Rahmen des Projektes wurden neue Ansätze in Bezug auf die Prozesskontrolle während der Schichtabscheidung, sowie Charakterisierungsmethoden der TCO-Schichten und TCO/PV-Absorber-Grenzflächen, untersucht. Im Fokus lag vor Allem die Verbesserung der Reproduzierbarkeit der TCO-Schichteigenschaften und des Verständnisses der physikalischen Prozesse während des Schichtwachstums. Dazu wurden die folgenden Teilziele identifiziert:

- Untersuchung und Verständnis des Einflusses der Prozessparameter auf die Magnetron-Plasmacharakteristik, sowie die schichtbildenden Teilchenflüsse
- Optimierung der TCO-Schichteigenschaften, wie Transparenz und elektrische Leitfähigkeit
- Senkung der Substrattemperatur bei der Schichtabscheidung auf unter 300°C
- gezielte Beeinflussung von Morphologie, Phasenzusammensetzung, Einbau und Aktivierung von Donatoren in die TCO-Schicht
- Herstellung und Charakterisierung von Labor-Mustern mit optimierten TCO/PV-aktiven Grenzflächen.

Im Projekt wurden die folgenden Ergebnisse erzielt:

- ein alternatives Verfahren zur Stabilisierung des Übergangsmodus des reaktiven Sputterns für die Herstellung von ZnO-Dünnschichten wurde entwickelt und erfolgreich angewandt
- die Unterschiede in Massen- und Energieverteilungen positiver und negativer Ionen zwischen dem reaktiven DC-Sputtern metallischer und nicht-reaktiven DC-Sputtern keramischer Targets wurden systematisch nachgewiesen
- ZnO-basierte Schichten mit elektrischen Eigenschaften nahe dem oberen physikalischen Limit realisiert
- eine Präzisions-Methodik zur exakten Bestimmung der Al- und Ga-Konzentration und elektrische Aktivierung in ZnO-basierten Dünnschichten entwickelt; die Ergebnisse bilden eine Basis für effizientere Dotierungsstrategien
- Strategien zur Realisierung ZnO-basierter Schichten mit definierter Morphologie entwickelt
- einfache und robuste Methode zur Abschätzung der Austrittsarbeit ZnO-basierter Schichten unter Verwendung ihrer Kontakte zu Silizium entwickelt
- TCO/Si- und TCO/Chalkopyrit-Grenzflächen sowie Chalkopyrit-Solarzellen wurden hergestellt und untersucht.

Zwar konnten wir ZnO:Al-, ZnO:Ga- und ZnMgO:Al-Schichten mit sehr guten elektrischen Eigenschaften abscheiden und charakterisieren, die mit diesen Schichten hergestellten Solarzellen, zeigten allerdings keine höheren Wirkungsgrade, wie in diesem Projekt angestrebt. Die Ursache ist, dass die Leerlaufspannungen  $V_{oc}$  der  $CuInS_2$ -Solarzellen nicht erhöht werden konnten. Die zu niedrigen Leerlaufspannungen von  $CuInS_2$ -Solarzellen und die damit verbundene Limitierung des Wirkungsgrades sind in der Literatur seit mehr als 10 Jahren bekannt. Es gibt jedoch keine klaren Erklärungen und Theorien für diesen Befund (siehe S. Siebentritt, U. Rau (Eds.), *Wide-Gap Chalcopyrites*, Springer, Berlin, 2006). Nach einer Hypothese von Rau et al. (U. Rau, M. Turcu, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 763 (2003) 335) ist die Bandanpassung am Heteroübergang  $CuInS_2/ZnO$  energetisch ungünstig, so dass ein Teil der Leerlaufspannung hier verloren geht. Diese Hypothese haben wir im vorliegenden Projekt geprüft, indem wir die ZnO durch ZnMgO-Fensterschichten ersetzt haben. Leider konnte die erwartete Erhöhung von  $V_{oc}$  nicht gemessen werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aufgrund der intrinsischen Eigenschaften der  $CuInS_2$ -Absorber und/oder des Heteroübergangs  $CuInS_2/ZnO$  die Projektzielstellung nicht vollständig erreicht werden konnte.

Das Ziel des Vorhabens wurde teilweise erreicht.

Das IGF-Vorhaben 16595 BG der Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.