

**Titel:** Analyse und Optimierung von Plasmaquellen mittels Simulation: Herstellung mikromorpher Solarzellen

**Name des Antragstellers:** Stephan Danko

**Kurzfassung:**

Mit der von der neuen Bundesregierung Ende 2012 angekündigten Kürzung im Rahmen des Energie-Einspeise-Gesetzes (EEG) nimmt der Druck auf die Photovoltaikindustrie weiter zu. Insbesondere Dünnschicht-Silizium-Photovoltaikmodule haben seit dem Preisverfall von hochreinem monokristallinem Silizium für wafer-basierte Siliziumsolarzellen einen schweren Stand und können nur schwer mit diesen Modulen konkurrieren. Ein entscheidender Grund dafür sind die niedrigeren Wirkungsgrade bei zwar geringeren, aber nicht ausreichend niedrigen Kosten. Um weiter eine Rolle am Markt zu spielen, müssen die Herstellungskosten weiter gesenkt werden. In dieser Arbeit wird die Abscheidung dünner Siliziumfilme mittels Niedertemperaturplasmen, der zentrale Produktionsschritt von Dünnschicht-Silizium-Solarzellen, numerisch untersucht und optimiert. Dieser Schritt hat das größte Kostensenkungspotenzial bei der Fertigung solcher Solarzellen. Es besteht einerseits Bedarf an einer optimierten Materialausnutzung. Andererseits müssen höhere Abscheideraten zu kürzeren Taktzeiten führen, die deutliche Einsparungen mit sich bringen.

Für die numerische Abbildung des Plasma-unterstützten Abscheideprozesses wird ein allgemeingültiges globales Modell entwickelt. Mit diesem Modell können die Plasmazusammensetzung, Gasausnutzung und Abscheiderate abhängig von den Prozessparametern, dem Prozessgas und der Reaktorgeometrie in weniger als 30 s berechnet werden.

In einem ersten Schritt erfolgt eine Validierung und Potenzialeinschätzung des globalen Modellansatzes im Vergleich mit alternativen Simulationsansätzen und experimentellen Messungen anhand einer nicht-beschichtenden Edelgasentladung (Argon). Der simulative Vergleich bescheinigt dem entwickelten Modell quantitativ gute Ergebnisse bei stark reduzierten Rechenzeiten. Darüber hinaus wird eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment erreicht.

In einem zweiten Schritt wird die beschichtende Silan-Wasserstoff-Entladung, wie sie für die Solarzellenfertigung verwendet wird, untersucht. Die Modellergebnisse werden mit experimentellen Messungen verglichen und der Zusammenhang zwischen Plasmaprozessbedingungen und der resultierenden Plasmazusammensetzung wird analysiert. Es wird eine Korrelation zwischen der Plasmazusammensetzung und der damit einhergehenden Schichteigenschaften abgeleitet. Darauf basierend erfolgt eine Optimierung des Abscheideprozesses hinsichtlich guter Schichteigenschaften bei hohen Abscheideraten. Diese zeigt, dass ein hoher Prozessdruck zu hohen Abscheideraten führt, wenn ausreichend Leistung zur Verfügung gestellt wird. In dem prognostizierten Prozessfenster mit einem Druck von 500 Pa, einer Leistungsdichte von 1.3 W/cm<sup>2</sup> und einer Silankonzentration von 10 % können gute Schichten mit einer Rate von 4 nm/s abgeschieden werden. Diese Bedingungen werden im öffentlich geförderten Projekt Quick  $\mu$ -Si experimentell erfolgreich umgesetzt.