

## Inspire

Integrated Sputtering of Inexpensive top-layers for Resource-Efficient solar cells

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 24. AS PdZ nationale Projekte 2017	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.03.2018	<b>Projektende</b>	29.05.2020
<b>Zeitraum</b>	2018 - 2020	<b>Projektlaufzeit</b>	27 Monate
<b>Keywords</b>	CIGS Technology; Thin-film Photovoltaics; Cadmium-free buffers; Sputtering; Roll-2-Roll Fabrication;		

### Projektbeschreibung

Dünnschicht-Photovoltaikmodule basierend auf einem CIGS-Absorber sind bereits auf dem Markt erhältlich und zeigen eine Rekord-Leistungsumwandlungseffizienz von bis zu 16,5%. Sowohl auf Modul- als auch auf Zellebene ist die CIGS-Effizienz auf dem gleichen Niveau wie c-Si: 22,6% für CIGS gegenüber 25,3% für c-Si (für Zellen). Im Vergleich zu c-Si hat CIGS viele Vorteile, wie z. B. eine begrenzte Temperaturempfindlichkeit, ein besseres Schwachlichtverhalten und eine geringe Schattierungsempfindlichkeit, die für verschiedene klimatische Bedingungen und für den Einsatz in bebauten Umgebungen attraktiv sind. Überdies sind die Kosten der CIGS-Module auf dem Level von c-Si, aber bei einem deutlich niedrigeren kumulativen Produktionsvolumen, was eine Marge für eine drastische Kostensenkung entlang der CIGS-Lernkurve ermöglicht. Die CIGS-Technologie ist auch mit kostengünstigen flexiblen Substraten wie Polyimid kompatibel, was den Durchsatz vergrößern und weitere Anwendungen in neuen Marktgebieten wie der Automobilindustrie ermöglichen kann. Der Wirkungsgrad von flexiblen CIGS-Modulen liegt derzeit bei 8%.

Sunplugged verfolgt eine CIGS, R2R Entwicklung auf Polyimidsubstrat. Die derzeit beste Effizienz des Unternehmens beträgt 11% auf Zellebene und steigt stetig mit der Verbesserung des Absorbers an, der mit einem einzigartigen Hybrid-Sputter / Co-Verdampfungsansatz verarbeitet wird. Ebenfalls entscheidend für die Zelleffizienz sind die Heteroübergangseigenschaften zwischen der p-CIGS und der n-Typ-Pufferschicht. Cadmiumsulfid (CdS) wird überwiegend als Puffer verwendet und in einem chemischen Bad Prozess abgeschieden. Der Erfolg von CdS ist auf die spezifische induzierte Grenzflächenchemie zurückzuführen, was zu großen Leerlaufspannungen und Füllfaktoren führt. Auf der anderen Seite verursacht CdS optische Verluste im UV aufgrund seiner geringen Bandlücke (beeinflusst den extrahierten Strom) und Cd wird als hochgiftig eingestuft. Parallel dazu versucht Sunplugged, die CBD durch Sputterabscheidung zu ersetzen, um damit die gesamte Zellherstellung im Vakuum zu bewerkstelligen. Dies verringert die Verunreinigung des Absorbers und erspart zusätzliche Kosten im Zusammenhang mit der Verwaltung von Cd-kontaminierten CBD-Abfällen. Gleichzeitig wird angenommen, dass sich mit der Vakuumabscheidung auch die Pufferdickenhomogenität verbessert.

"Inspire" wird sich mit den oben erwähnten Problemen auseinandersetzen, indem gesputterte und Cd-freie Puffer basierend auf Zn(O,S), ZnMgO und TiO<sub>2</sub>, welche energetisch mit CIGS übereinstimmen, entwickelt werden. Darüber hinaus bieten Zn(O,S) und ZnMgO durch ihre Zusammensetzung die Möglichkeit, die Energie-Level so abzustimmen, dass sie genauer mit verschiedenen Zusammensetzungen des CIGS-Absorbers übereinstimmen. Obwohl viele Berichte über Zn(O,S) und ZnMgO

vorliegen, streuen die Ergebnisse stark aufgrund von verschiedene Abscheidetechniken. Die Literatur zeigt, dass diese Puffer das Potenzial haben genauso hohe Wirkungsgrade wie mit CdS zu erreichen. Auf der anderen Seite gibt es keine Berichte über gesputterte TiO<sub>2</sub>-Puffer, nur einen einzigen Bericht über ALD-TiO<sub>2</sub>, der das große Potential dieses Puffers zeigt. Der Erfolg des Projekts bei der Entwicklung einer Cd-freien, gesputterten Pufferschicht durch sorgfältige Dünnschichtverarbeitung und Heterojunction-Engineering ermöglicht es Sunplugged, eine Rolle-zu-Rolle und ausschließlich Vakuum-basierte Produktionslinie von flexiblen CIGS-Solarzellen, mit angepeilter Effizienz von über 12%, zu erreichen.

## **Abstract**

Thin film photovoltaic modules based on the CIGS absorber are already in the market, with record power conversion efficiencies of 16.5%. Both on module and on cell level, CIGS efficiency is close to crystalline Silicon (c-Si) technology. On cell level, record efficiencies of 22.6% for CIGS and 25.3% for c-Si were marked. Compared to c-Si, CIGS has many advantages, such as limited temperature sensitivity, better low light performance and low shading sensitivity, which are attractive for various climatic conditions and for deployment in the built environment. Also the cost of CIGS modules is on par with c-Si, but at much lower cumulative production volume, which gives margin for drastic cost-reduction along the CIGS learning curve. CIGS technology is also compatible with low-cost flexible substrates, such as polyimide. This can further increase the throughput and open opportunities in new market areas, such as the automotive industry. Flexible CIGS efficiencies are currently at 8%.

Sunplugged pursues CIGS, R2R development on polyimide substrate. The company's current best efficiency is 11% on cell level, steadily increasing with the improvement of the absorber, which is processed with a unique hybrid sputtering/co-evaporation approach. Also crucial for the cell efficiency is the heterojunction properties between the p-CIGS and the n-type "buffer" layer. Cadmium sulphide (CdS) is predominantly used as buffer, deposited in a chemical bath. The success of CdS is due to the specific interface chemistry that it induces, leading to large open circuit voltages and fill factors. On the other hand, CdS induces optical losses in the UV due to its low bandgap (affecting the extracted current) and Cd is classified as highly toxic.

In parallel, Sunplugged seeks to replace the CBD with sputter-deposition, thus keeping the whole cell fabrication in vacuum conditions. This will reduce the contamination of the absorber and spare the extra cost related to the management of Cd-contaminated CBD waste. At the same time, also the buffer thickness homogeneity is expected to improve with vacuum deposition.

"Inspire" will address the issues aforementioned by developing sputtered, Cd-free buffers, based on Zn(O,S), ZnMgO and TiO<sub>2</sub>, materials which match the energetics of the CIGS. Additionally, Zn(O,S) and ZnMgO offer energy level tunability through their composition, so that they can more accurately match different compositions of the CIGS absorber. Zn(O,S) and ZnMgO are widely reported, but the results scatter through various deposition techniques. Literature shows that these buffers have the potential to achieve efficiencies as high with CdS. On the other hand, there are no reports on sputtered TiO<sub>2</sub> buffer, but a single report on ALD-TiO<sub>2</sub>, showing the high potential of this buffer.

The success of the project in developing a non-toxic, Cd-free, sputtered buffer layer through meticulous thin-film processing and heterojunction engineering, will enable Sunplugged to adapt their production line to a roll-to-roll, entirely vacuum-based production line of flexible CIGS solar cells, with a targeted efficiency above 12%.

## **Projektkoordinator**

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

## **Projektpartner**

- Sunplugged - Solare Energiesysteme GmbH
- PhysTech Coating Technology GmbH
- Universität Innsbruck