

## InnovaSteel4CIGS

Innovative coatings on flexible steel used as substrate for highly efficient and cost-effective thin film photovoltaics

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 32. AS PdZ - Nationale Projekte 2019	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.04.2020	<b>Projektende</b>	31.03.2022
<b>Zeitraum</b>	2020 - 2022	<b>Projektlaufzeit</b>	24 Monate
<b>Keywords</b>	Glasschicht ; Stahlisolierung ; CIGS ; flexible Dünnschichtphotovoltaik ; Hocheffizienz		

### Projektbeschreibung

Dünnschicht-Photovoltaik-Module haben sich in den letzten 10 Jahren zu einem glaubwürdigen Mitbewerber der Siliziumtechnologie entwickelt. CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Selen) ist sicherlich die vielversprechendste Dünnschicht-Solarzellentechnologie. Der höchste Wirkungsgrad einer CIGS-Solarzelle liegt derzeit bei 23,3%, sehr nahe am Silizium-Rekord von 25,3%. Dünnschicht CIGS-Solarmodule mit einem Wirkungsgrad von 16,5% sind bereits auf dem Markt. Die meisten von ihnen sind auf Glassubstraten abgeschieden, die hohen Temperaturen von bis zu 550 °C standhalten. Diese sind für CIGS Dünnschichten mit hoher Qualität erforderlich. Dafür bleibt Glas aber schwer und unflexibel (steif).

Interessante neue Anwendungen in der Photovoltaik werden von flexiblen Dünnschicht CIGS Solarmodulen erwartet, insbesondere in den Bereichen der Automobil-, Aeronautik- und Gebäudeintegration. CIGS flexible Solarmodule weisen zahlreiche Vorteile auf, wie (i) geringes Gewicht, (ii) Flexibilität, (iii) geringen Materialverbrauch bei der Herstellung (folglich niedrige Produktionskosten).

Sunplugged verfügt über umfangreiche Erfahrung in der Entwicklung von flexiblen CIGS Solarzellen auf Polyimid und erreichte bereits einen Zellwirkungsgrad von 12%. Die Verwendung von Polyimid-Substrat begrenzt jedoch die Abscheidung von CIGS wegen einer Maximaltemperatur von 450°C, wodurch Defekte in dem Material erzeugt werden.

Edelstahlfolien halten hohe Temperaturen von bis zu 600°C stand. Außerdem können sie Rolle-zu-Rolle (R2R) verarbeitet werden, bleiben für lange Zeit stabil und ihre Kosten sind niedriger als bei Polyimid. Damit stellen Stahlfolien eine vielversprechende Alternative zu Polyimid dar. Die Verwendung von Stahlsubstraten zur Herstellung von CIGS Solarmodulen hat jedoch zwei Hauptprobleme, die im Rahmen InnovaSteel4CIGS behandelt werden:

1. Im Gegensatz zu Polyimid ist Edelstahl elektrisch leitfähig. Um eine serielle monolithische Verschaltung der Solarzellen zur Herstellung von Solarmodulen verwenden zu können, ist somit eine vollständige elektrische Isolierung des Stahlsubstrats von dem Molybdän-Rückkontakt der CIGS-Zellen notwendig.
2. Durch Diffusion von Verunreinigungen, hauptsächlich Eisenatome aus Stahl, in die CIGS-Schicht entstehen tiefe Defekte, die die Leistung der Solarzellen verringern.

Um die oben genannten Probleme zu lösen, wird im Rahmen von InnovaSteel4CIGS eine Multilayer-Struktur aus isolierenden Oxiddünnschichten entwickelt, die zwischen dem Edelstahlsubstrat und dem Rückkontakt der Solarzellen abgeschieden wird. Diese Isolationsschicht wird zusätzlich als Barriere wirken, die die Diffusion von Eisen in die CIGS-Schicht verhindert. Im

Rahmen InnovaSteel4CIGS werden die Materialien SiO<sub>x</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und ZrO<sub>2</sub> als Isolationsschichten entwickelt. Kompakte, sowie poröse Strukturen derselben Dünnschichtmaterialien werden untersucht. Die Anwendung der Isolationsschichten in industriellem Maßstab ist durch Techniken wie Slot-Die-Coating und Sputtern möglich.

Darüber hinaus wird eine schnelle und präzise Prüfmethode verwendet, um mögliche Löcher (Pinholes) oder Risse in den Isolationsschichten zu identifizieren. Das Setup für dieses Inspektionstool wird von Dritten hergestellt und an Sunplugged geliefert. Dort werden alle im Rahmen dieses Projekts von AIT und Sunplugged hergestellten Proben geprüft und charakterisiert. Eine Weiterentwicklung dieses Inspektionstools zur Verwendung für die Inline-Qualitätskontrolle während der Abscheidung der Isolationsschichten im industriellen Maßstab bei Sunplugged ist möglich.

Die erfolgreiche Entwicklung einer Edelstahl-Substratfolie mit funktionellen Schichten für die Abscheidung hocheffizienter CIGS-Solarmodule, innerhalb des Projekts InnovaSteel4CIGS, wird es Sunplugged ermöglichen dieses Substrat in seiner Rolle-zu-Rolle-Produktionslinie für flexibles CIGS einzusetzen. Eine Zelleffizienz von über 15% und eine Modul-Effizienz von über 10% wird dadurch erreicht.

## **Abstract**

Thin film photovoltaic modules have risen over the last 10 years as a credible competitor of silicon technology. CIGS (Copper-Indium-Gallium-selenium) is undoubtedly the most promising thin film solar cell technology. Indeed, the highest efficiency recorded on a CIGS solar cell is currently 23,3%, very close to the silicon record with 25,3%.

Thin film CIGS solar modules with an efficiency of 16,5% are already on the market. Most of them are deposited on glass substrates that withstand high temperatures up to 550°C, necessary for the deposition of high-quality CIGS films, but glass is rigid and heavy.

High-potential, novel applications in photovoltaics are expected from flexible thin film CIGS solar modules, particularly in the fields of automotive, aeronautics, and building integration. CIGS flexible solar modules show numerous advantages, such as: (i) light weight, (ii) flexibility, (iii) high production-throughput and low raw-material consumption (low costs).

Sunplugged has extensive experience in the development of CIGS flexible solar cells, mainly on polyimide, reaching cell efficiencies up to 12%. However, the use of polyimide substrate limits the deposition of CIGS at 450°C, creating defects in the material.

Stainless-steel foils support high temperatures up to 600°C. They can be processed roll-to-roll (R2R), remain stable over long time-periods and their cost is lower than polyimide. However, the use of steel substrates for CIGS solar modules involves two main issues, that will be addressed in InnovaSteel4CIGS:

1. In contrast to polyimide, stainless-steel is electrically conductive. Thus, in order to enable a serial, monolithic interconnection of cells to produce modules, a complete insulation of the steel substrate from the molybdenum back-contact of the CIGS cells is necessary.
2. Diffusion of impurities, mainly iron from steel, into the CIGS material creates deep defects that reduce the performance of the solar modules.

To address the above issues, InnovaSteel4CIGS introduces multilayer structures of insulating oxide thin layers that will be deposited between the stainless-steel and the solar cells' back-contact, also acting as barrier that prevents the diffusion of iron into the CIGS. The most promising coatings that will be developed are SiO<sub>x</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and ZrO<sub>2</sub>, in the form of compact and mesoporous layers. Their application at industrial large scale is possible by using techniques like slot-die-coating and

sputtering.

3. A fast inspection method to identify possible pinholes in the insulation layers will be developed. It will allow for quality control of the deposited coatings on steel, while taking into account industrial requirements in terms of fast and precise quality control.

The success of the project InnovaSteel4CIGS in developing a stainless-steel substrate foil with functional layers for the deposition of highly efficient CIGS solar modules, will enable Sunplugged to adopt this type of substrate in its R2R production line of flexible CIGS solar modules, targeting cell efficiency above 15% and module efficiency above 10%.

## **Endberichtkurzfassung**

The project InnovaSteel4CIGS gave the opportunity to the involved partners (AIT and Sunplugged GmbH) to develop an innovative metallic substrate for the deposition at high temperature of flexible CIGS solar cells with high efficiency. The developed metallic substrate is based on stainless steel foils insulated by the deposition of one or several oxide layers. The project has led to the following major results and breakthroughs:

For the first time worldwide a monolithically integrated photovoltaic module is fabricated according to industrial methods (roll-to-roll) on metallic substrate.

A coating layer for metallic substrate has been developed and industrially produced. The coating layer is totally closed, i.e. contains no pinholes or uncovered areas. It fulfils the following roles: (i) The electrical insulation of the metallic substrate to allow for monolithical integration of solar cells to fabricate cost-effective and highly efficient flexible PV-modules and (ii) passivates the steel foil so that no detrimental, such as iron, would diffuse into the solar cells.

The use of steel foils allows for reaching high temperatures (> 500°C) during the deposition of the CIGS layer, which increases drastically the quality of the material and thus the efficiency of the produced photovoltaic modules.

An inline inspection tool able of measuring the thickness of the isolation layer deposited on steel foil. Inline means directly during the deposition. This allows for a high degree of control over the process parameters and to correct in real-time any deviation if necessary.

Thanks to the use of the insulated steel substrates developed in the framework of the project InnovaSteel4CIGS, the solar cells produced at Sunplugged have reached an efficiency of 14,3% !

## **Projektkoordinator**

- Sunplugged - Solare Energiesysteme GmbH

## **Projektpartner**

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH