



## Solarzellen mit Laser bearbeiten

Neues Verfahren zur Kontaktierung der Zellrückseite steigert Effizienz von Siebdrucksolarzellen



*Laser-Technik ermöglicht es, Solarzellen mit einem höheren Wirkungsgrad herzustellen. Sie ersetzt bzw. erspart bisher erforderliche aufwendige Bearbeitungsschritte. Forscher haben ein Verfahren zur Laserkontaktierung der Solarzellenrückseite entwickelt, das in bestehende Produktionslinien für Siebdrucksolarzellen integriert werden kann. Mit der neuen Technik können die Zellen kostengünstiger hergestellt werden, es reduziert den Energie- und Materialeinsatz und verzichtet auf zuvor erforderliche umweltbelastende Chemikalien.*

Wichtiges Ziel bei der neuen Entwicklung war, dass die Laserbearbeitung schnell in die Praxis überführt und einfach in Produktionsanlagen, die die verbreitete Siebdrucktechnologie nutzen, integriert werden kann.

Forscher vom Fraunhofer ISE entwickelten ein neues Laserverfahren zur Kontaktierung der Zellrückseite. Während früher für die Strukturierung der Kontaktöffnungen von Funktionsschichten oft noch mehrere aufeinanderfolgende Bearbeitungsschritte mit photolithographischen und nasschemischen Prozessen und anschließender Temperung erforderlich waren, kann dies nun durch einen einzigen Laserarbeitsschritt erfolgen. Eine neu entwickelte Anlage setzt innerhalb von wenigen Sekunden auf der Rückseite einer Zelle im Standardformat 100.000 Kontaktpunkte. Diese Anlage für den sogenannten Laser-fired-Contact (LFC) Prozess wurde bei einem Hersteller erprobt und dort 2012 in die Serienfertigung integriert.

Der LFC-Prozess wird zur Herstellung von sogenannten PERC-Solarzellen (Passivated Emitter and Rear Contact Cell) eingesetzt, die Wirkungsgrade von über 20 % erreichen. Diese Silizium-Solarzellen sind auf der Rückseite mit dielektrischen Schichten passiviert und werden danach lokal kontaktiert. Bei diesen Zellen reduziert die



## Laser in der PV-Produktion

Laser werden als wichtige Werkzeuge in der Solarzellen-Herstellung für einige Arbeitsschritte eingesetzt:

- Strukturierung und gezielte Öffnung von Anti-Reflex- und Passivierungsschichten
- Selektive Erhöhung der Dotierung im Bereich der Kontaktfinger
- Kontaktieren, Löten und Schweißen von Zellverbinderbändchen in Solarmodulen
- Kantenisolation (elektrische Trennung von Vorder- und Rückseite nach der Dotierung)
- Hochrate-Bohren für Zellkonzepte wie Metal Wrap-Through (MWT) und Emitter Wrap-Through (EWT)
- Schneiden von Wafern und Zellen
- Markieren von Solarzellen

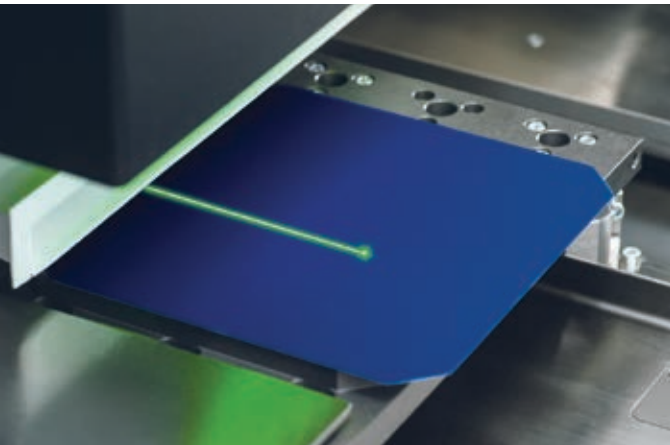


Abb. 1 Laserbearbeitung einer Solarzelle.

Passivierung, die heute meist aus einem 100 nm dicken Schichtensystem aus Aluminiumoxid und Siliziumnitrid besteht, die optischen und elektrischen Verluste; dadurch steigt die Ausgangsleistung relativ um bis zu 5 %. Um die Elektrode durch die Passivierungsschicht mit dem Wafer zu verbinden, ist eine hohe Zahl punktförmiger Kontakte erforderlich, ideal ist eine Struktur mit 400 Kontakten pro Quadratzentimeter – das entspricht 100.000 Kontakten pro Standardwafer (156 x 156 mm<sup>2</sup>). Die Kontakte beanspruchen nur 1 % der Fläche, beeinträchtigen die Passivierungsschicht also kaum.

### Laser Fired Contact- Prozess

Der LFC-Prozess vereinfacht die sonst aufwendige Kontaktierung der Zellrückseite. Er stellt effizient und schonend punktförmige Kontakte zwischen dem Silizium und der Metallisierungsschicht über der Passivierung her. Die Kontaktierung erfolgt in drei Prozessschritten: Nach der dielektrischen Passivierungsschicht wird eine Aluminiumschicht aufgebracht, anschließend öffnet der Laser durch die Passivierung hindurch die Kontaktpunkte. Dabei wird das Aluminium der Siebdruckpaste mit dem darunterliegenden Silizium umgeschmolzen und erzeugt innerhalb der laserkontaktierten Fläche einen hochdotierten Bereich. Seine Tiefe kann durch die Anpassung

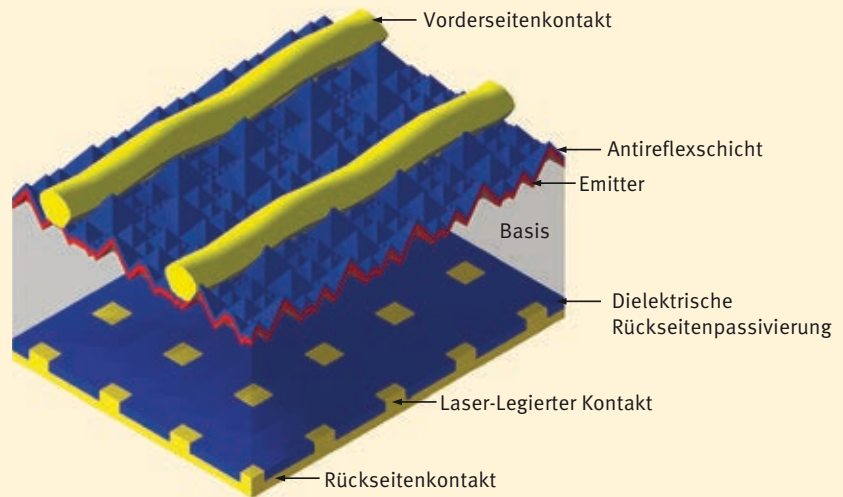
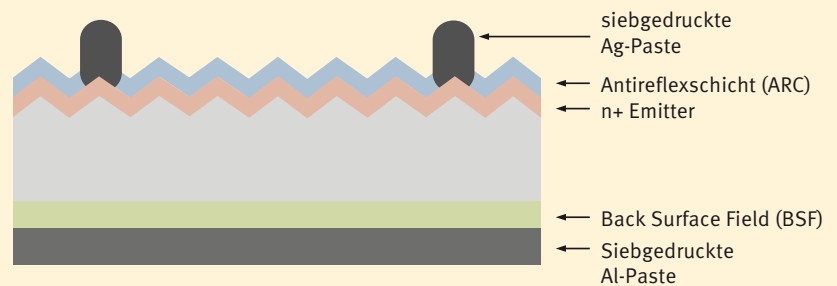


Abb. 2 Aufbau einer hocheffizienten Solarzelle, deren Rückseitenkontakt mit dem LFC-Prozess hergestellt wird.

### Standard-Solarzelle



### PERC-Solarzelle

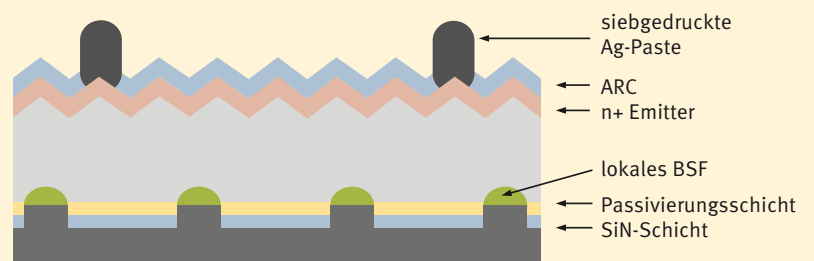


Abb. 3 Vergleich einer typischen Industriesolarzelle mit ganzflächigem Al-BSF und einer PERC-Solarzelle mit Rückseiten-Passivierung und siebgedruckten lokalen Aluminiumkontakten zu der Zellrückseite. Der Emitter auf der texturierten Vorderseite ist mit einer Anti-Reflex-Schicht bedeckt.

des Laserprozesses eingestellt werden. Die Forscher untersuchten dazu verschiedene Strahlprofile, neben einem Gauss-Profil auch ein abgeflachtes, sogenanntes Top-Hat-Profil. Es zeigte sich, dass mit dem Top-Hat-Profil, welches durch ein diffraktives optisches Element erzeugt wurde, eine sehr flache Kontaktstruktur erzeugt werden kann. Es bildet sich ein tiefer hochdotierter Bereich aus.

### Laserprozess für Siebdruckzellen angepasst

Für die Entwicklung des LFC-Verfahrens wurden Ralf Preu, Jan Nekarda und Martin Graf vom Fraunhofer ISE 2014 mit dem ersten Preis des internationalen Innovation Award Laser Technology ausgezeichnet. Ausschlaggebend für den Erfolg war, dass sie den Laserprozess zur Rückseitenkontaktierung auf



## Laser verbessert Si-Solarzelle

Eine Silizium-Solarzelle setzt sich aus einem Stapel von Funktionsschichten zusammen. Um diese zu erzeugen, müssen an den richtigen Stellen geringe Mengen von Fremdatomen als sogenannte Dotierung eingebracht werden. Dazu werden in der direkt unter den Kontaktfingern und der Antireflexschicht liegenden oberen Schicht an einigen Stellen Si-Atome ersetzt, beispielsweise durch P-Atome. Dabei ermöglicht eine schwache Dotierung zwar grundsätzlich einen hohen Wirkungsgrad, doch andererseits auch hohe Widerstände am Übergang zu den Kontaktfingern. Um diesem Wirkungsgrad-Verlust entgegenzuwirken, wird per Laser im Bereich der Kontakte eine hohe Dotierung eingebracht. Eine weitere Verbesserung bringt die Passivierung (und Verspiegelung) der Zell-Rückseite durch eine Schutzschicht, genannt PERC (Passivated Emitter and Rear Cell). Diese muss dann wieder mit einem Laser geöffnet werden, damit der erzeugte Solarstrom weitergeleitet werden kann. Dabei wird der siebgedruckte Aluminium-Rückseitenkontakt an tausenden Kontaktpunkten beispielsweise durch lokales Laserlegieren (LFC) mit dem p-dotierten Siliziummaterial verbunden.



Abb. 4 Rück- und Vorderseite einer 156 x 156 mm<sup>2</sup> großen Industriosolarzelle mit rückseitiger Passivierungsschicht und aufgelaseter Elektrode aus konventioneller Aluminiumfolie.

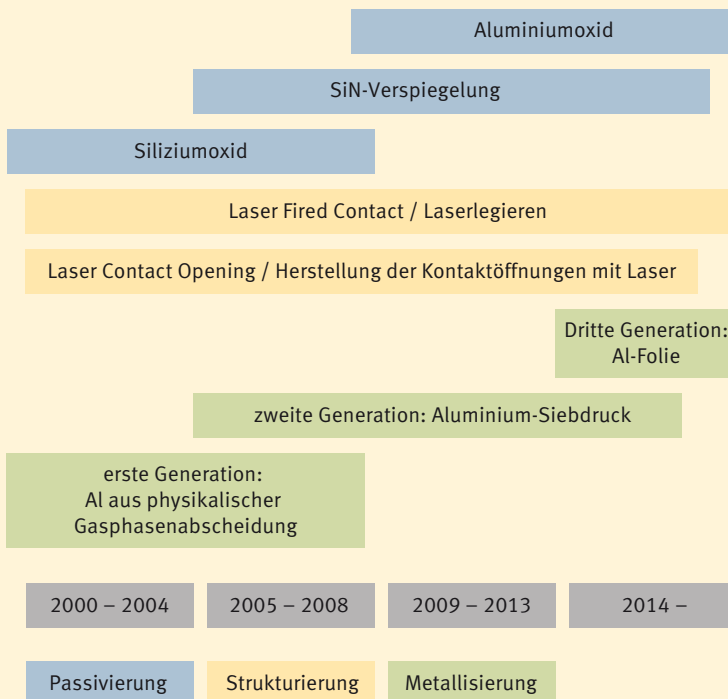


Abb. 5 Die verschiedenen Generationen der PERC-Zellen: von PVD- über Siebdruck- zu Aluminiumfolien-Rückseitenbeschichtung.

die speziellen Erfordernisse von industriellen PERC-Zellen angepasst und in die Produktion überführt hatten.

Die Grundlagenentwicklung zur Kontaktierung der siebgedruckten Zellen erfolgte im Projekt LFCC in dem das Fraunhofer ISE mit mehreren deutschen Solarzellenherstellern zusammenarbeitete. Zuvor waren nur mit dem PVD-Prozess (physikalische Gasphasenabscheidung) beschichtete Solarzellen mit lasergefeuerten Kontakten bestückt worden. Die siebgedruckten Metallschichten sind deutlich dicker, das macht höhere Pulsängen und größere Pulsenergien nötig. Es zeigte sich, dass längere Laserpulse bis in den Mikrosekundenbereich erforderlich sind, um die im Siebdruck aufgetragenen Dickfilmelektroden aus einer 20 bis 30 µm dicken porösen Aluminium-Schicht zu durchdringen. Diese Kombination von längeren Pulsen mit ho-

hen Energien erreichten sie durch den Einsatz von Scheibenlasern. Da diese Schicht zum größten Teil abgetragen werden muss, werden tiefere Strukturen erzeugt. Insbesondere die lokale Kontaktierung mittels LFC-Technologie erbringt Wirkungsgradvorteile gegenüber dem Standard mit ganzflächigem Aluminium Back Surface Field (Al-BSF). Mit einem neuen langpulsigen Scheibenlaser, kombiniert mit einer Strahlführung durch piezo-elektrisch gesteuerte Galvo-Spiegel, konnte die Prozesszeit für großflächige Solarzellen mit mehr als 100 cm<sup>2</sup> von einigen Minuten auf wenige Sekunden verkürzt werden. Auf rein gedruckten industrienahen Solarzellen erzielten die Forscher bereits Wirkungsgrade bis 20,6 %.

In einem Nachfolgeprojekt (GRIPS) wurde die LFC-Technologie zur Industriereife entwickelt und von 2009 bis 2010 in einer Pilotlinie getestet. Seit 2012 ist sie in die Serienfertigung integriert. Inzwischen wurden damit über 30 Millionen Solarzellen produziert. Mit dem LFC-Verfahren konnte der Solarzellenhersteller mehrere Effizienz-Weltrekorde aufstellen: 19,5 % für großflächige multikristalline Silizium-Solarzellen und 18,5 % für Module in Standardgröße. Mit einem ähnlichen laserbasierten Strukturierungs-Ansatz hat die Solarworld AG 2015 einen neuen Rekord-Wirkungsgrad von 21,7 % für industriell produzierte PERC-Solarzellen aufgestellt.

In den Projekten konzentrierten sich die Untersuchungen auf die in der Industrie verbreitet eingesetzte Siebdruck-Metallisierung, da das zuerst eingesetzte PVD-Verfahren zu aufwendig war. Inzwischen arbeiten die Forscher in einem Folgeprojekt gemeinsam mit einem Laserhersteller daran, die Rückseitenmetallisierung von Siebdruckpasten auf Aluminiumfolie umzustellen und für die industrielle Fertigung anzupassen (Abb. 4). Dieser Ansatz weist sowohl Kosten- als auch Wirkungsgradvorteile auf.



## Forschung für die Solarindustrie der Zukunft

In der Innovationsallianz Photovoltaik und der Forschungsinitiative F&E für Photovoltaik entwickeln Experten aus Wissenschaft und Industrie gemeinsam Konzepte für die Photovoltaik-Industrie. Ihr Ziel ist es, neue Entwicklungen schneller in die Praxis zu überführen, um Hochleistungs-Solarzellen möglichst kostengünstig produzieren zu können. Dafür untersuchen sie, welche Verbesserungen und Vereinfachungen erreichbar sind. Einzelprojekte zu speziellen Fragestellungen ergänzen sich mit Vorhaben, die die gesamte Produktionskette analysieren und optimieren. Neu entwickelte Prozessschritte sollten sich außerdem möglichst einfach in bestehende Fertigungslinien integrieren lassen.

Im Rahmen des Projektes Rück-Si entwickelte das Institut für Photovoltaik der Universität Stuttgart (IPV) einen Laserprozess zur Herstellung von Rückseitenkontaktzellen ohne jegliche Maskierschritte. Das macht fast die Hälfte der bisher notwendigen Prozessschritte überflüssig. Die Forscher konnten auf einer 20 x 20 mm<sup>2</sup> großen kristallinen Silizium-Zelle den Wirkungsgrad auf 23,2 % steigern. Im Nachfolgeprojekt arbeiten sie daran, den Prozess auf eine industrierelevante Fläche von 125 x 125 mm<sup>2</sup> zu skalieren.

Ziel des Verbundprojektes UltraLas ist ein Laserbearbeitungssystem, das Siliziumwafer mit einer Kantenlänge von 156 Millimetern innerhalb von fünf Sekunden bearbeiten kann. Das erfordert Strahlableitgeschwindigkeiten von über 100 Metern pro Sekunde. Dabei will das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) erstmals hochrepetierende Ultrakurzpulslaser im Megahertz-Bereich für Einzelpulsanwendungen nutzen.

Ein Forscherteam von Fraunhofer ISE und Industriepartnern hat im Vorhaben FeinPass eine Feinlinienmetallisierung und einer beidseitige Passivierung für c-Si-Solarzellen bis zur Anwendungsreife gebracht: Die beidseitige Beschichtung der Solarzelle mittels eines hoch produktiven PECVD Beschichtungs-Tools sowie ein neuartiges Verfahren zur gezielten Abtragung und Umwandlung der Passivierungsschicht mittels Lasertechnik.

Im Projekt FutureFab arbeitet ein Forscherteam an der Solarfabrik der nächsten Generation. Es untersucht neue Technologien für die Fertigung kristalliner Solarzellen wie Laser-Dotierung, passivierte Rückseiten, Feinlinienmetallisierung und Modulbau. Ziel sind Zellwirkungsgrade oberhalb von 20 % und eine Senkung der Herstellkosten pro Watt-Peak um 30 %.

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Klaus Prume  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
0325241, 0327572C

**ISSN**  
0937 - 8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Gerhard Hirn

**Urheberrecht**  
Titelbild, Abb. 2, 4, 5: Fraunhofer ISE  
Abb. 1: Solarstromforschung.de/Manz  
Abb. 3: Institut für  
Solarenergieforschung Hameln ISFH

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Projektbeteiligte

### » Grundlagenentwicklung für Industriennahe Passivierte Siliciumsolarzellen (GRIPS):

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg,  
Dr. Andreas Wolf, andreas.wolf@ise.fraunhofer.de

### » Entwicklung einer laserkontaktierten Rückseite zur Effizienzsteigerung von

**Siebdruksolarzellen (LFCC):** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg,  
Dr. Ralf Preu, ralf.preu@ise.fraunhofer.de

## Links

- » Laser Innovationspreis [www.innovation-award-laser.org](http://www.innovation-award-laser.org)
- » Innovationsallianz Photovoltaik [www.innovationsallianz-photovoltaik.de](http://www.innovationsallianz-photovoltaik.de)
- » F&E für Photovoltaik [www.solarstromforschung.de](http://www.solarstromforschung.de)
- » Photonikforschung [www.photonikforschung.de](http://www.photonikforschung.de)

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Hocheffiziente Solarzellen und Module entwickeln. BINE-Projektinfo 10/2013
- » Energie von tausend Sonnen. BINE-Projektinfo 02/2014
- » Monokristalline Halbleiter energiesparend produzieren. BINE-Projektinfo 01/2015
- » Photovoltaik-Innovationen. BINE-Themeninfo II/2011
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_08\\_2015](http://www.bine.info/Projektinfo_08_2015)

*BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)*

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages