

Laser Fired Contact (LFC) Technologie für die Produktion von hocheffizienten Silizium-Solarzellen

Mitglieder des Projektteams

- Dr. Ralf Preu, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, D (Teamsprecher)
- Dr. Jan Nekarda, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, D
- Dipl.-Phys. Martin Graf, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, D

Anwendungsfelder

Wesentliche Industriebranchen, die aus der Innovation einen Nutzen ziehen:

- Solarzellenhersteller
- Lasersystemanbieter
- Laserstrahlquellenhersteller

Technologische Auswirkungen

- Reduzierte Herstellkosten für bestehende Produkte
- Verbesserte Produktqualität
- Reduzierte Fertigungskosten

Zusammenfassung

Solarzellen aus kristallinem Silizium profitieren sehr stark von einer dielektrischen Passivierungsschicht auf ihrer Rückseite. Die sogenannte PERC-Zelle (passivated emitter and rear contact cell) wurde schon vor 25 Jahren von Andrew Blakers an der Australian University of New South Wales vorgeschlagen. Derartige Schichten, die meist aus einem 100 nm dicken Schichtensystem aus Aluminiumoxid, Siliziumnitrid oder Siliziumoxid bestehen, reduzieren optische und elektrische Verluste der Zelle und erhöhen dadurch die Ausgangsleistung relativ um bis zu 5%. Um das zu ermöglichen, wird eine Vielzahl lokaler Strukturen benötigt, um die Elektrode durch die Passivierungsschicht mit dem Siliziumwafer zu verbinden. Ideal ist eine Struktur mit 400 Kontakten pro Quadratzentimeter, was 100.000 Kontakte pro Standardwafer (156x156 mm²) entspricht. Seit mehr als 10 Jahren wurde dafür ein Verfahren benutzt, das auf fotolithografischer Strukturierung, nasschemischem Ätzen und Metallbedampfung beruht.

Ralf Preu und sein Team entwickelten im Jahr 2000 die Laser Fired Contact (LFC) Technologie. Dabei wird die Elektrode, bestehend aus einer nur 2 µm dicken aufgedampften Aluminiumschicht, lokal mit einer Serie von Laserpulsen erhitzt. Die Laserpulse stoßen das Aluminium durch die Passivierungsschicht und erzeugen darunter eine Aluminium-Silizium-Verbindung mit sehr guten Kontakteigenschaften. Nach der Rekristallisierung der Verbindung entsteht eine hoch dotierte p-Kontaktzone, die von fundamentaler Bedeutung für hohe Kontakt- und Zellenqualität ist. Dieser Prozess war die erste einfache und schnelle Alternative zu dem vorher benutzten aufwändigen und teuren Mehrschrittverfahren.

Um das neue Verfahren für die industrielle Massenfertigung anzupassen, wurde in einem ersten Schritt ein Galvo-Scanner eingebracht. Damit ließen sich bereits mehrere Tausend Kontakte pro Sekunde herstellen. Gegenüber dem vorherigen Verfahren wurden so 2 Sekunden pro Wafer eingespart. 2008 änderten sich die wirtschaftlichen Umstände für die Einführung von PERC-Zellen maßgeblich, so dass die Verwendung von 2 µm dicken aufgedampften Elektroden mehr und mehr unwahrscheinlich wurde.

Stattdessen zeigte sich, dass die bereits etablierten Dickfilmelektroden mit einer 20-30 µm dicken siebgedruckten porösen Aluminium-Schicht auch für die Fertigung von PERC-Zellen benutzt werden können. Dementsprechend musste der Laserprozess völlig neu angepasst werden. Diese Entwicklung wurde erfolgreich im Verbundprojekt "Laser Fired Contact – Cluster" (LFCC) ausgeführt, das vom

deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU gefördert wurde. In dem Projekt arbeitete das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE mit den damals 5 größten deutschen Herstellern für Solarzellen zusammen. Diese erwarben auch alle Lizenzen für das LFC-Patent. Ein Schlüsselement für den Erfolg des Verfahrens war die Verwendung längerer Laserpulse bis in den Mikrosekundenbereich, um die porösen siebgedruckten Schichten zu durchdringen. Darüber hinaus waren Pulsenergien von mehreren Millijoules nötig, um eine ausreichende Menge der Silizium-Aluminium-Verbindung an der Schnittstelle zu erzeugen. Die Kombination von längeren Pulsen mit hohen Energien wurde in den letzten Jahren durch die Kommerzialisierung des Scheibenlasers verfügbar.

In einem Nachfolgeprojekt wurde der LFC Prozess von 2009 bis 2010 im Entwicklungszentrum der Firma Q Cells in eine Pilotlinie integriert. Entsprechend wurden der Prozess und die gefertigten Solarmodule über ein Jahr lang bei dem Solarzellenhersteller erfolgreich getestet. Mit der Nutzung des LFC-Verfahrens konnte Q-Cells mehrere Weltrekorde aufstellen: Zellen- und Moduleffizienzen von 19,5% für großflächige multikristalline Silizium-Solarzellen und 18,5% für Module in Standardgröße wurden erreicht. Schließlich wurde die LFC-Technologie in die Serienfertigung mit einer Kapazität von 200 MW im Jahr 2012 integriert. Inzwischen wurden etwa eine Million Photovoltaik-Module mit LFC-Technologie produziert und verbaut. Die herausragende Leistung dieser Module im Vergleich zur Standardtechnologie wurde bei mehreren Feldtests bestätigt. Der höchste Leistungsfaktor von 93,3% für PV-Module aus multikristallinem Silizium wurde erst kürzlich bei einem Test mit 151 Modulen bestätigt.

Bilder



Bild 1 (Bildquelle: Fraunhofer ISE, Freiburg)

Bild 1: Dr. Ralf Preu (Teamsprecher), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, D

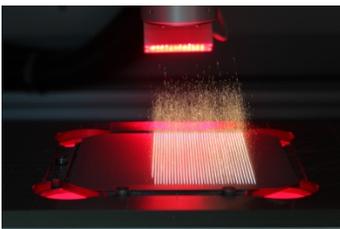


Bild 2 (Bildquelle: Fraunhofer ISE, Freiburg)

Bild 2: Der Laser Fired Contact (LFC) Prozess mit einem JenLas[®] Scheibenlaser und einem Galvo-Scanner ermöglicht die Herstellung von bis zu 20.000 Kontakten pro Sekunde in PERC-Solarzellen

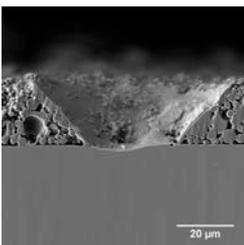


Bild 3 (Bildquelle: Fraunhofer ISE, Freiburg)

Bild 3: Mit der Laser Fired Contact (LFC)-Technologie erzeugte Rückseitenkontakte von PERC-Solarzellen. Die Laserpulse treiben das Aluminium durch die etwa 100 nm dünne Passivierungsschicht und erzeugen darunter eine Aluminium-Silizium-Verbindung mit sehr guten Kontakteigenschaften.