

**SUNdidactics**  
**SolarEnergyDidactics**  
**SolarEducation**  
**SolarEngineering**  
**Photovoltaics+Solarthermal**  
**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**  
**innovative solar- systems for school, college, technical education**

NILS ISFH  
 Kooperationspartner NILS-ISFH  
 Vertrieb  
 Auslieferung  
 Rechnungsservice  
 Solartechnik  
 Solardidaktik  
 Solare Wissenschaft  
 Sales  
 Delivery  
 Accounting  
 Solar didactics  
 Solar science

**Photovoltaik-System SUSE**  
 Solartechnik  
 Experimentiergeräte  
 Solare Experimente von der Grundschule bis zum Abitur  
 Solar technology  
 Experimentation devices  
 Solar experiments

**BNE**  
 Bildung für nachhaltige Entwicklung  
 Education for Sustainable Development

Solardidactic – Solarzellen – Solarmodule – PV- Experimentiergeräte – PV –Experimentieranleitungen – Solarthermie- Experimentiergeräte  
 didaktische Konzepte – Solarberatung – Fortbildung – solare Aus- und Weiterbildung – Solarspielzeug  
 Solardidactics + solar cells + solar modules + photovoltaic experiment devices + solar toys + solar education and training

**SUNdidactics Solar Systems W.R. Schanz, OStR aD, Hildesheim, Germany**

Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de

**Die Herstellung einer Standard- Industrie- Siebdruck- Solarzelle (Grundprinzip)**

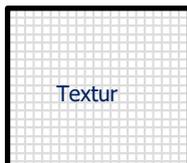
**1. Silizium (Si) -Wafer** p- dotiert mit Bor bei der Herstellung des Wafers



Siliziumscheibe, hochreines Si monokristallin oder polykristallin, Standardmaß 156,75 x 156,75 mm (6 Zoll) Dicke ca. 0,18 mm. In der PV- Industrie werden bereits größere Wafermaße bis 210 mm verwendet! p- Dotierung mit **Bor** (wird bereits in die Schmelze bei der Herstellung eingefügt).

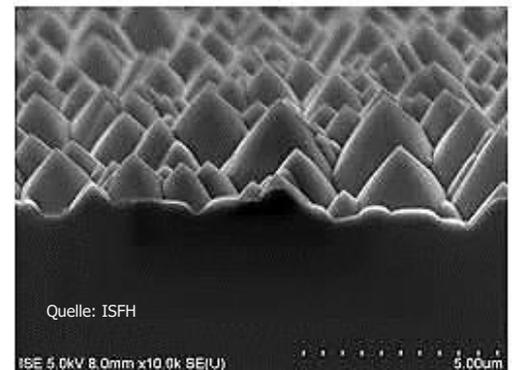


**2. Texturierung mit Lauge**



Die Oberseite wird mit Lauge behandelt, dadurch wird die glatte Oberfläche rau. Auf Grund der Kristallorientierung bilden sich bei einem monokristallinen Wafer Pyramiden mit einer Höhe von 1 – 3 µm aus. Die Textur dient zur Minderung der Lichtreflexion an der Oberfläche. Die Aufnahme rechts mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) zeigt die Textur von der Seite.

pyramidenförmige Texturierung der Wafer- Oberfläche



**3. n- Dotierung mit Phosphor (P)**



In einem Ofen strömt bei 900°C - 950°C Phosphoroxychlorid (POCl<sub>3</sub>) über die Oberfläche des Si- Wafers. Die [P]- Atome dringen in die Oberfläche **ca. 0,2 µm** tief ein. Dort bildet sich der **p-n-Übergang**, der für die Ladungstrennung in der Solarzelle wichtig ist.

**4. Beschichtung der Vorderseite mit Antireflexschicht aus Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (Siliziumnitrid)**



Im Vakuum wird in einem Plasmaprozess bei ca. 300 °C eine **transparente** ca. 75 nm (= 0,000075 mm) dicke Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - Schicht aufgebracht, **diese Schicht ist durchsichtig, wir sehen aber blau- schwarz**, sie verhindert die Reflexion des einfallenden Lichts an der Si-Oberfläche, d.h. es taucht möglichst viel Licht in den Si-Wafer ein. Die sichtbare dunkelblaue Farbe ist ein optischer Effekt: siehe „Farben dünner Plättchen“.

**5. Beschichtung der Rückseite mit Antireflexschicht-Stapel**

Im einem Plasmaprozess werden eine ca. 5 – 20 nm dicke Aluminiumoxid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Schicht aufgebracht, auf der wiederum eine 70 – 120 nm dicke Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Schicht aufgebracht wird. Wie auf der Vorderseite ist das Ziel die Passivierung zu verbessern, d.h. die erzeugten Ladungsträger nicht zu verlieren, und gleichzeitig Lichtverluste zu verringern. Im Falle der Rückseite bedeutet das, dass

Licht, das auf der Vorderseite in die Solarzelle eintritt an der Rückseite nochmal reflektiert wird, umso ein weiteres Mal durch den Si- Wafer zu wandern und Ladungsträger erzeugen zu können.

## 6. Kontaktöffnung mittels Laserprozess

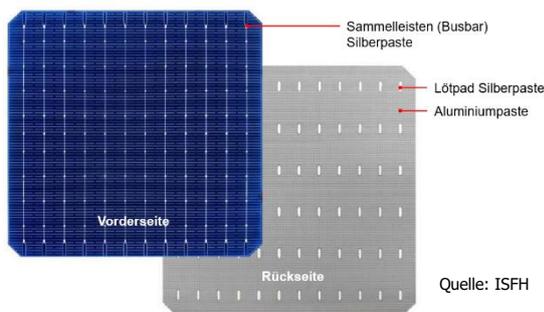
Die dielektrische  $Al_2O_3$ - Schicht auf der Rückseite der Solarzelle wird mit einem Laserprozess geöffnet, d.h. es werden mit einem Laserstrahl die Schichten lokal verdampft. Die Öffnungen sind Punkte mit einem Durchmesser von 20 – 50  $\mu m$ .

## 7. Beschichtung der Rückseite mit Aluminium und lokalen Silberpads = Pluspol der Solarzelle



Die **Rückseite** der Solarzelle wird im Siebdruckverfahren mit einer dünnen Aluminiumschicht (10 – 20  $\mu m$ ) überzogen, sie ist der Pluspol der Solarzelle. Weil man Aluminium nicht löten kann, erhält die Rückseite zusätzliche Flächen aus reinem Silber (Löt pads), an die Leiter gelötet werden können.

## 8. Aufbringen des Vorderseitenkontaktgitters aus Silber = Minuspol der Solarzelle



Im Siebdruckverfahren werden sehr dünne parallel verlaufende elektrische Leiter aus Silber aufgedruckt, sowie breitere Leiter als Sammelschiene (Busbars) zum Anlöten elektrischer Leiter.

Die Kontaktfinger müssen sehr dünn sein (20–30  $\mu m$ ), weil durch Silber kein Licht in die Solarzelle eindringen kann. Die Silberdrucke werden anschließend bei 800–900 °C eingebrannt.

## Nun ist die Solarzelle fertig und einsatzbereit.

Bei strahlendem Sonnenschein ( $S = 1000 \text{ W/m}^2$ ) ist ihre Leerlaufspannung  $U_{oc}$  ca. 0,68 V und die maximale Stromstärke  $I_{sc}$  (Kurzschlussstrom) ca. 10 A, die elektrische Leistung beträgt ca. 5,5 W. Die Kosten liegen aktuell bei 1,3 € (0,25 €/W<sub>p</sub>) durch Massenfertigung, größter Produzent weltweit ist China. Anschließend werden (meist) 60 Solarzellen mit verzinnnten Cu- Zellverbindern maschinell zu strings in Reihe geschaltet und unter hagelfestem Glas und einem stabilen Aluminium- Rahmen zu einem Solarmodul verbaut, die derzeitigen Leistungen liegen bei ca. 300 – 500 W pro Modul, teilweise schon > 500 W! In den Anschlusskästen sind Bypassdioden integriert. Viele Solarmodule werden dann auf Dächern oder im Freiland zu großen Solargeneratoren verschaltet, Leistungen bis zu vielen MW.

<p><b>Solarmodul von Solarwatt</b>  <b>Leistung ~320 W</b>            60 Solarzellen in interner Reihenschaltung in 6 Reihen mit je 10 Solarzellen.</p>	<p><b>Solarmodul von Hanwha Q Cells ~335 W mit 120 Halbzellen</b>            Reihenschaltung von 60 halben Solarzellen in strings. Die beiden Teilmodule mit je 60 Solarzellen werden parallel geschaltet, Trennungslinie in der Mitte.</p>	<p><b>Beispiel eines bifacialen Solarmoduls</b>            d.h. Lichteintrag von Vorder- und von Rückseite in das Solarmodul.</p>