



Die Si-Solarzelle

Daniel Niesler

Was erwartet mich ?

- Warum eigentlich Solarstrom ?
(Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile)
- Geschichte der Solarzelle
- Funktionsprinzip Photovoltaik
- Typen und Herstellungsverfahren
- Woraus kann man noch Solarzellen herstellen?
- Wirtschaftlichkeit in Deutschland
- Die Zukunft der Photovoltaik

Warum eigentlich Solarstrom ?

- „Regenerative Energiequelle“
- Unbegrenzte Verfügbarkeit
- Unabhängigkeit von fossilen und atomaren Energieträgern
- Schneller Ausgleich der Energiebilanz
- Annähernd CO₂-freie Stromerzeugung

Warum eigentlich Solarstrom ?

- Netz- und infrastrukturunabhängige Stromversorgung
- Möglichkeit der dezentralen Versorgung
- Versorgung von Raumfahrzeugen
(ISS, Satelliten, Raumsonden...)
- Gute Skalierbarkeit
- „Unkritische“ Technologie

Nachteile von Solarstrom

- Großer Flächenbedarf
- Keine kontinuierliche Stromerzeugung
- Nur schlechte Möglichkeiten „Strom zu Speichern“
- Leistung stark ortsabhängig
- Schlechte „Transportwege“
(Verlustleistung bei langen Leitungen)



11.05.2006

Daniel Niesler

6



11.05.2006

Daniel Niesler

7



11.05.2006

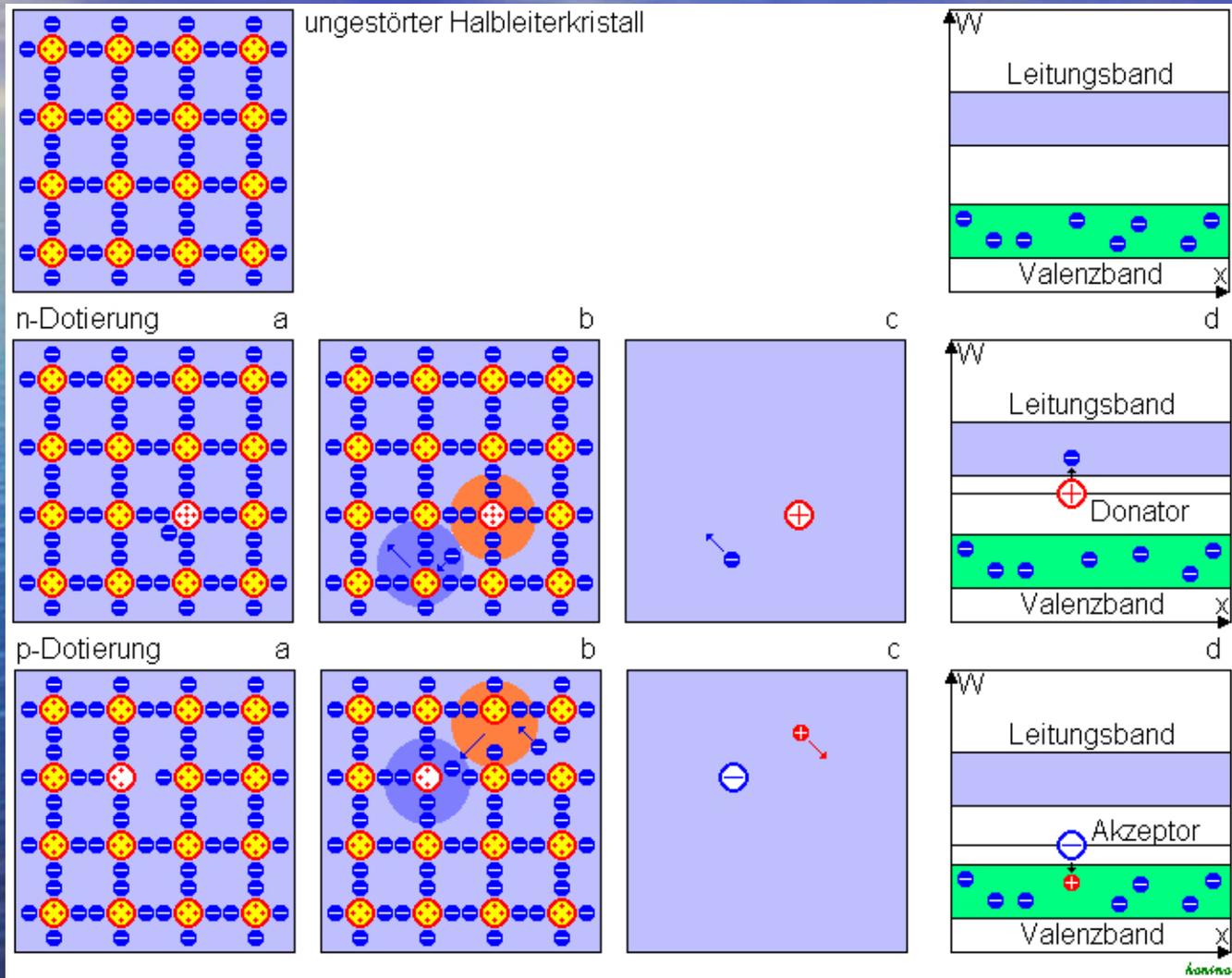
Daniel Niesler

8

Geschichte der Solarzelle

- 1839 entdeckt Alexandre Edmond Becquerel den fotoelektrischen Effekt
- 1904 veröffentlicht Philipp Lenard eine erste theoretische Erklärung (Nobelpreis 1905)
- 1905 veröffentlicht Albert Einstein seine Werke zur Quantentheorie (Nobelpreis 1921)
- 1949 entdecken William B. Shockley, Walther H. Brattain und John Bardeen den „p-n Übergang“
- 1954 wird „zufällig“ die erste Solarzelle in den „Bell Laboratories“

Funktionsprinzip Photovoltaik



Funktionsprinzip Photovoltaik

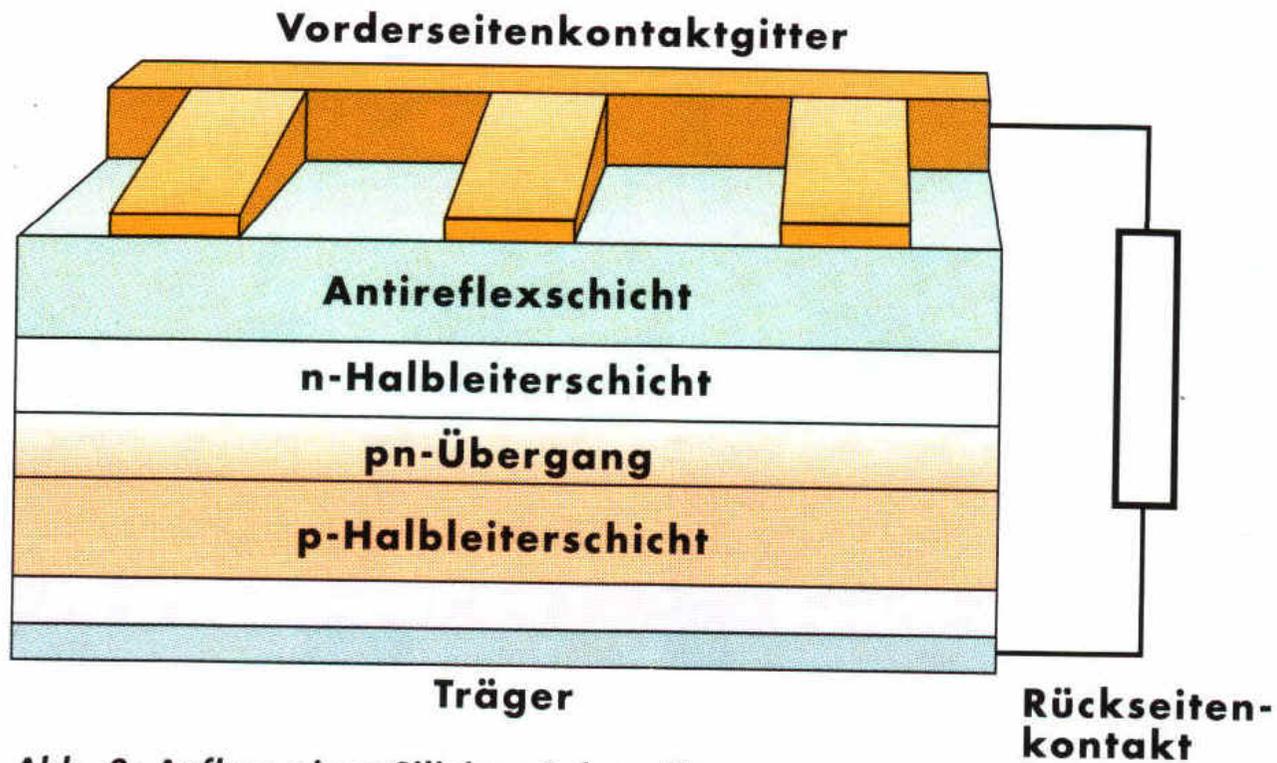
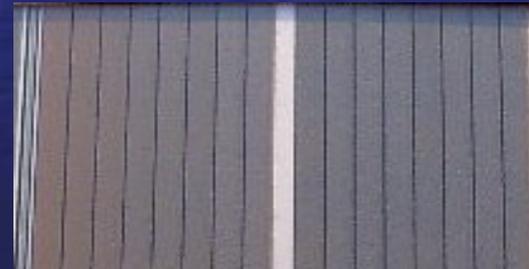


Abb. 2: Aufbau einer Silizium-Solarzelle

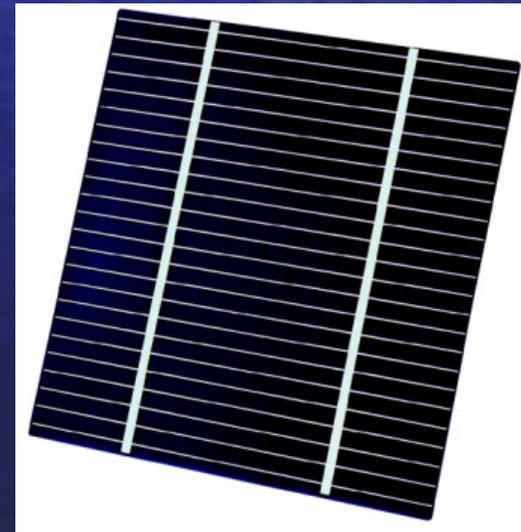
Typen der Si-Solarzelle

- Amorph
 - Dünne, nichtkristalline (amorphe) Si-Schicht
 - Einfache Herstellung (Aufdampfen)
 - Sehr preiswert
 - Geringe Effizienz (6-10%), dafür Leistung schon bei geringer Beleuchtung
 - Anwendung:
 - Taschenrechnern
 - Armbanduhren
 - Spielzeug



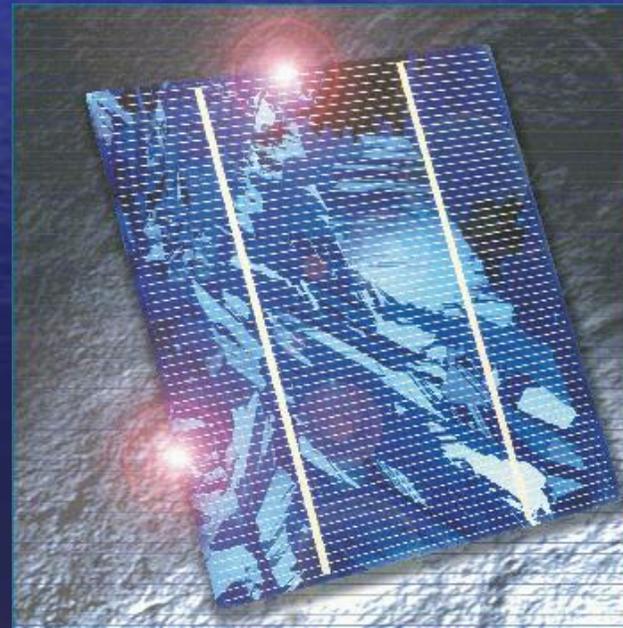
Typen der Si-Solarzelle

- Monokristallin
 - Sehr hohe Effizienz (bis 20%)
 - (noch) Extrem teuer
 - Herstellung aus hochreinen, einkristallinen Wafern (vergleichbar mit Wafern der Chipindustrie)
 - Anwendung:
 - Raumfahrt
 - Militär
 - PV-Anlagen mittlerer Größe



Typen der Si-Solarzelle

- Polykristallin
 - Höchster Verbreitungsgrad
 - Gute Effizienz (16-19%)
 - Kristallscheiben mit nicht einheitlicher Kristallausrichtung
 - Mittlere Herstellungskosten
 - Anwendung:
 - PV-Anlagen jeder Größe



Typen der Si-Solarzelle

- Tandem-Zellen
 - Kombination von polykristallinen und amorphen Zellen
 - Ausnutzung der „Schwachlichteigenschaften“ der amorphen Zelle
 - Wirkungsgrad zwischen beiden „Reinformen“ anzusiedeln
- Mikrokristalline Zellen
 - Dünnschichtzellen mit Kristallstruktur
 - Effizienter als amorphe Systeme
 - Wenig Materialaufwand

Beide Typen sind (noch) nicht in großen Stückzahlen verfügbar und noch deutlich zu teuer.

Herstellungsverfahren

- Gießverfahren
 - Herstellung von polykristallinen Säulen
 - Ablauf:
 - Si verflüssigen (Induktionsheizung)
 - Gießen in (meist) 50cm x 50cm x 30cm große Wannen
 - Langsam abkühlen
- Bridgman-Verfahren
 - Herstellung von polykristallinen Säulen
 - Größere Zonen gleicher Kristallausrichtung
 - Ablauf:
 - Si verflüssigen (Induktionsheizung)
 - Heizzone langsam nach oben verschieben
 - Si erstallt langsam vom Behälterboden an

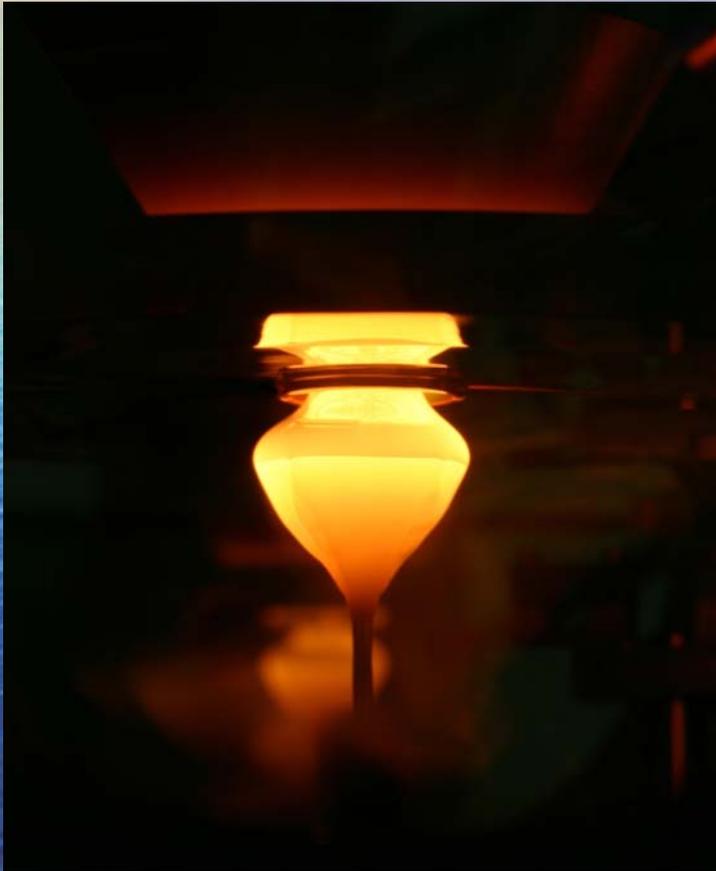
Herstellungsverfahren

- Czochralski-Verfahren
 - Herstellung monokristalliner Säulen
 - Ablauf:
 - Impfkristall wird an Metallstab in flüssiges Si eingetaucht
 - Ausrichtung des Impfkristalls gibt Ausrichtung des Monokristalls vor
 - Metallstab mit Monokristall wird langsam nach oben gezogen
 - Geschwindigkeit und Temperatur entscheiden über Produktdurchmesser (max. 30 cm)
 - Säulen max. 2m lang

Herstellungsverfahren

- **Zonenschmelzverfahren (Float-Zone Melting)**
 - Herstellung monokristalliner Säulen
 - Extrem hohe Reinheit
 - Sehr teuer
 - Ablauf:
 - Säule aus polykristallinem Si wird in Schutzatmosphäre rotierend aufgehängt
 - Erhitzung einer schmalen Zone mit Induktionsheizung
 - Aufgeschmolzene Zone wird mit Impfkristall in Berührung gebracht
 - Heizzone wird durch Kristall verschoben
 - Schmelze erstarrt hinter Heizzone monokristallin
 - Verschmutzungen wandern in Schmelzzone mit (99,9 %) und lagern sich am Ende des Kristalls ab
 - Durch mehrfaches Wiederholen erhöht sich die Reinheit
 - Dotierung durch Einbringen der Elemente in die umgebende Gasphase

Herstellungsverfahren



Herstellungsverfahren

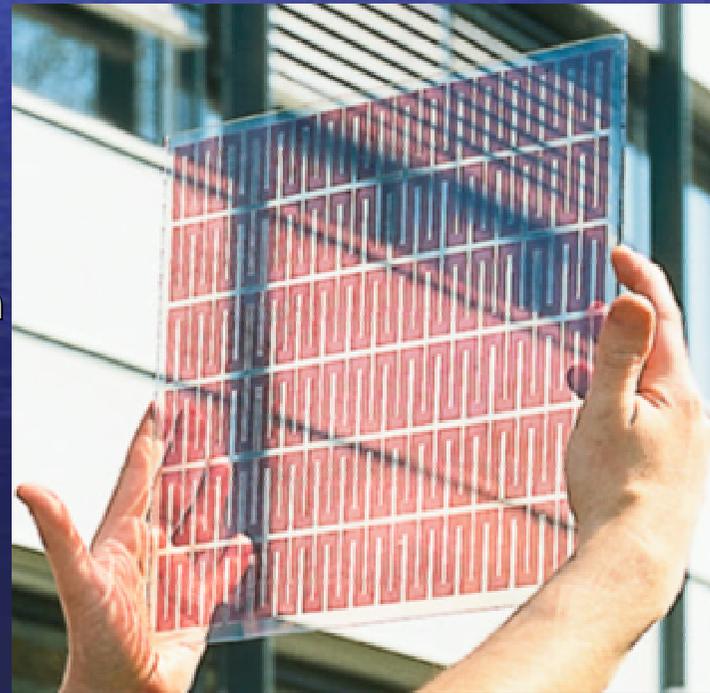
- **EFG-Verfahren (Edge-defined Film-fed Growth)**
 - „säulenfrei“ (hierdurch weniger Sägeverluste)
 - Polykristalline Produkte
 - Hochreines Silizium wird in achteckiger Form kristallisiert (Kantenlänge 10cm, Wandstärke 280 μm) max. 50cm
 - Oktaeder wird an den Kanten mit Nd:YAG-Laser geschnitten
 - Entstandene Rechtecke können in beliebige Länge geschnitten werden (10cm x Xcm)

Herstellungsverfahren

- „String-Ribbon“-Verfahren
 - „säulenfrei“
 - Monokristalline Produkte
 - Si wird an „Faden“ aus Schmelze „ausgezogen“
 - Kristall wächst durch Ausziehen des Fadens
 - Hohe Ergiebigkeit
- Schichttransferverfahren
 - 20 μm dicker Monokristall wird auf Träger gezüchtet
 - Träger: Keramik bzw. präpariertes Si
 - Abtrennen des Wafers vom Träger verlustfrei
 - Träger mehrfach verwendbar

Andere Solarzellen...

- Aluminium/Gallium/Indium + Phosphor oder Arsen
- Chalkopyride (CIS)
- Kadmiumtellurit
- Farbstoffe oder Organische Materialien



Wirtschaftlichkeit in Deutschland

- Anteil an Nettostromerzeugung: 0,1% (Vergleich Windkraft: 5,5%)
- Zu erwartende Jahresleistung (Standort Münsterland): 800 kWh/kW_{peak}
- Zu hohe Kosten für Erwerb und Aufstellung (ca. 5€/W_{peak})
- Amortisierung erst nach 20-25 Jahren
- Zusicherung von 0,5€/ kWh durch EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
- Zinsfreie Finanzierung durch KfW-Bank
- Marktwachstum (2003) etwa 10%

Literaturangaben

- „Photovoltaik - Status und Perspektiven“, Joachim Luther, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
- „Bundesverband Deutscher Solarstrom“
www.solarstromverband.de
- BP Solar, Deutsche BP
www.deutschebp.de
- Bundesverband der Energieversorger
Broschüre „Regenerative Energieerzeugung“
- FVS Workshop 2002
www.hmi.de



Vortragsfolien im Internet unter:

www.cheming-st.de