

6 Realisierungskonzepte (Übersicht Kapitel 6)

6.1. Si-Solarmodul Herstellungssequenz

6.1.1 Herstellung von reinem Silizium

6.1.2 Kristallzuchtverfahren für Si (CZ, FZ, EFG, Blockgießverfahren)

6.1.3 Herstellung von Si-Scheiben

6.1.4 Herstellung von Si-Bändern

6.1.5 Neue Verfahren (EG-Si-SG-Si) und experimentelle Grenzen

6.2 Industrielle Fertigung von Si-Solarzellen
(Standard Siebdruck-Solarzelle)

6.3 Hochleistungskonzepte für Si-Solarzellen

6.4 Von der Zelle (Wafer) zum Modul, Modultechnik

6.5 Standardisierte Tests (IEC-Norm)

- 6.6 Dünnschichtsolarzellen
 - 6.6.1 Kristalline Si-Dünnschichttechnik (Abscheideverfahren für c-Si)
 - 6.6.2 a-Si Solarzellen
 - 6.6.3 CdTe-Solarzellen
 - 6.6.4 Cu(In,Ga)Se₂-Solarzellen
 - 6.6.5 Kontaktschichten: Transparent leitfähige Oxyde

- 6.7 Solarzellen unter konzentriertem Licht
 - 6.7.1 Optik
 - 6.7.2 III-V-Solarzellen

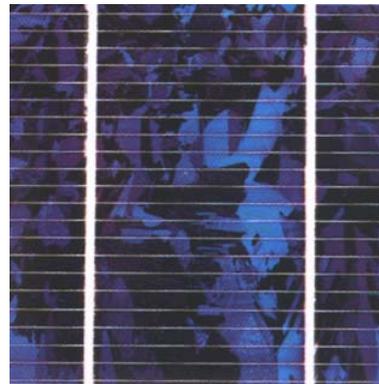
- 6.8 Neue Solarzellenkonzepte
 - 6.8.1 Organische Solarzellen
 - 6.8.2 Farbstoff-solarzellen

- 6.9 Neue Ideen zur Überwindung der prinzipiellen Limits

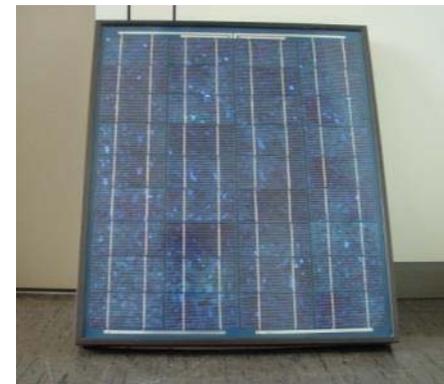
6.1 Si-Solarmodul-Herstellungskette



Scheibe/
Wafer

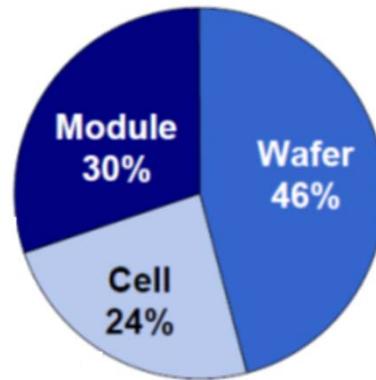


Zelle



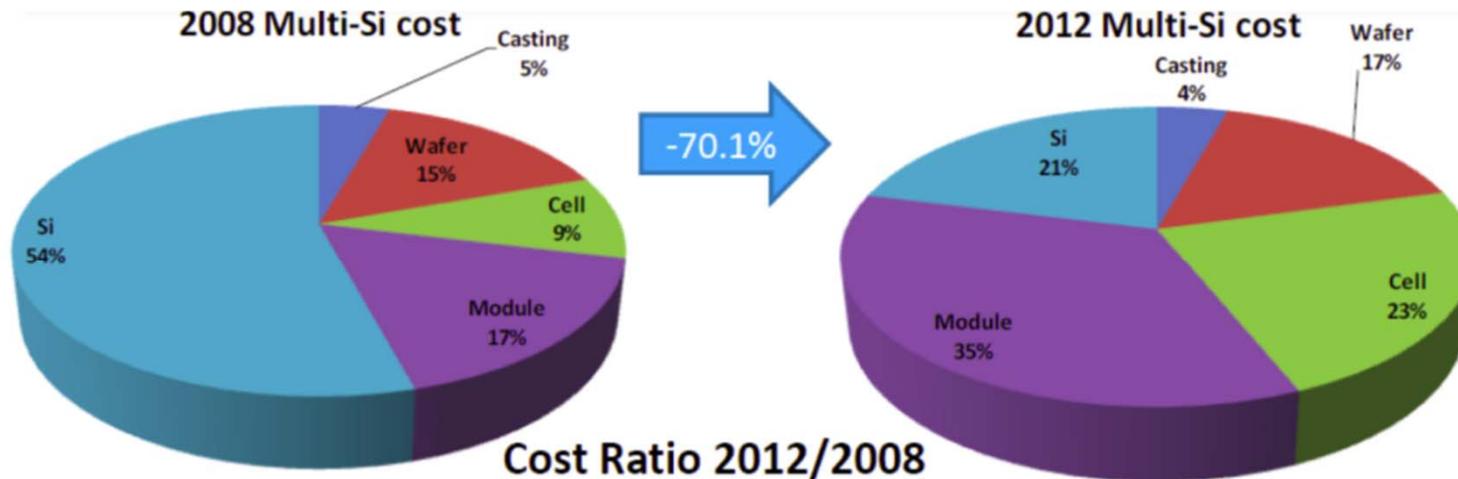
Modul

Kostenanteile in der Wertschöpfungskette



(Data from: Photon Intern. 1/2010, p. 83)

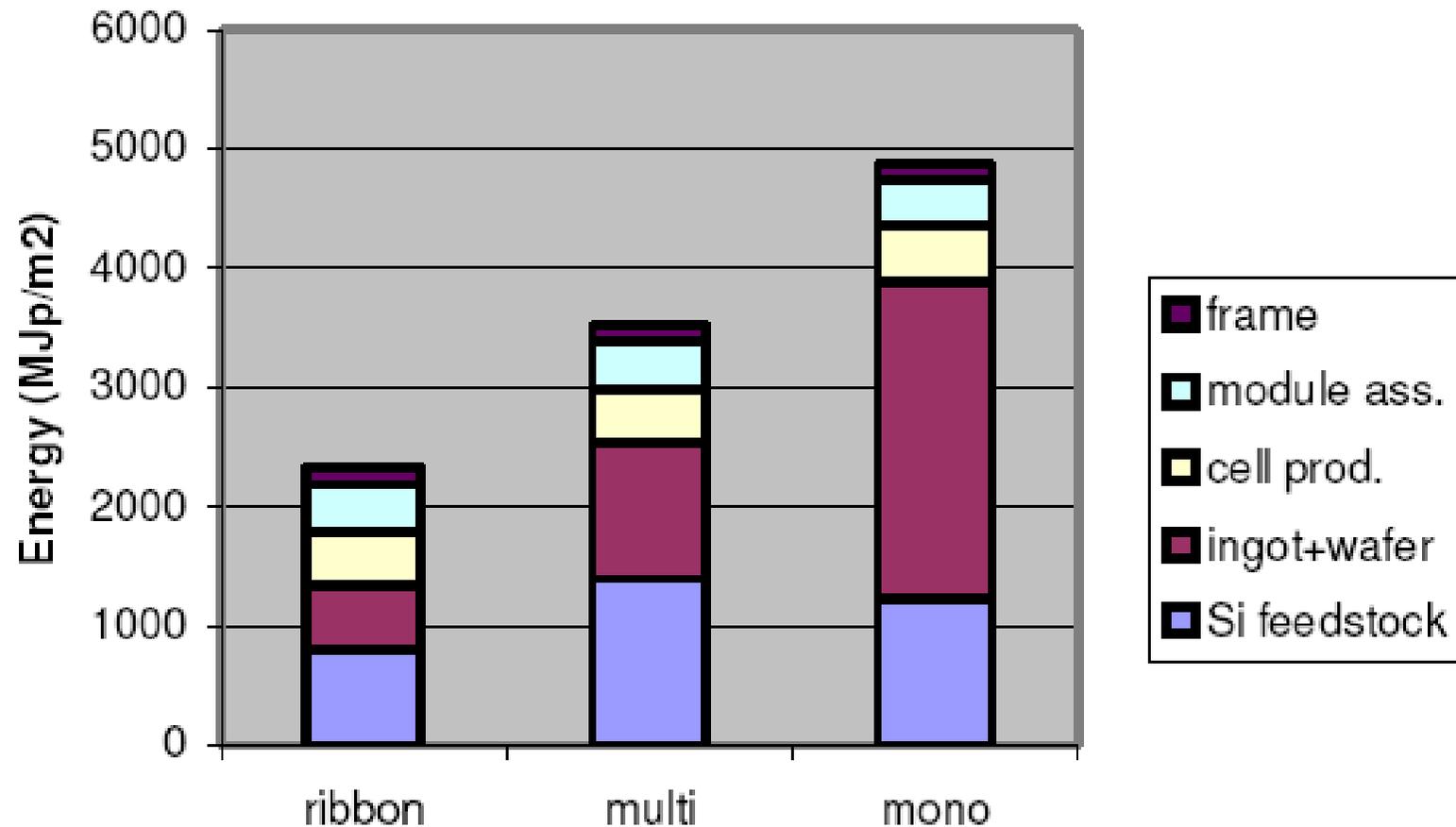
Unterschiedliche Quellen (Unterschiede in mono/poly Si etc.),
Kostenstrukturen ändern sich



P. Verlinden, PVSEC 2013

→ Flächenbezogene Kosten wichtig → η

Anteil der Komponenten am Energieinhalt bei unterschiedlichen Si-Wafer Technologien

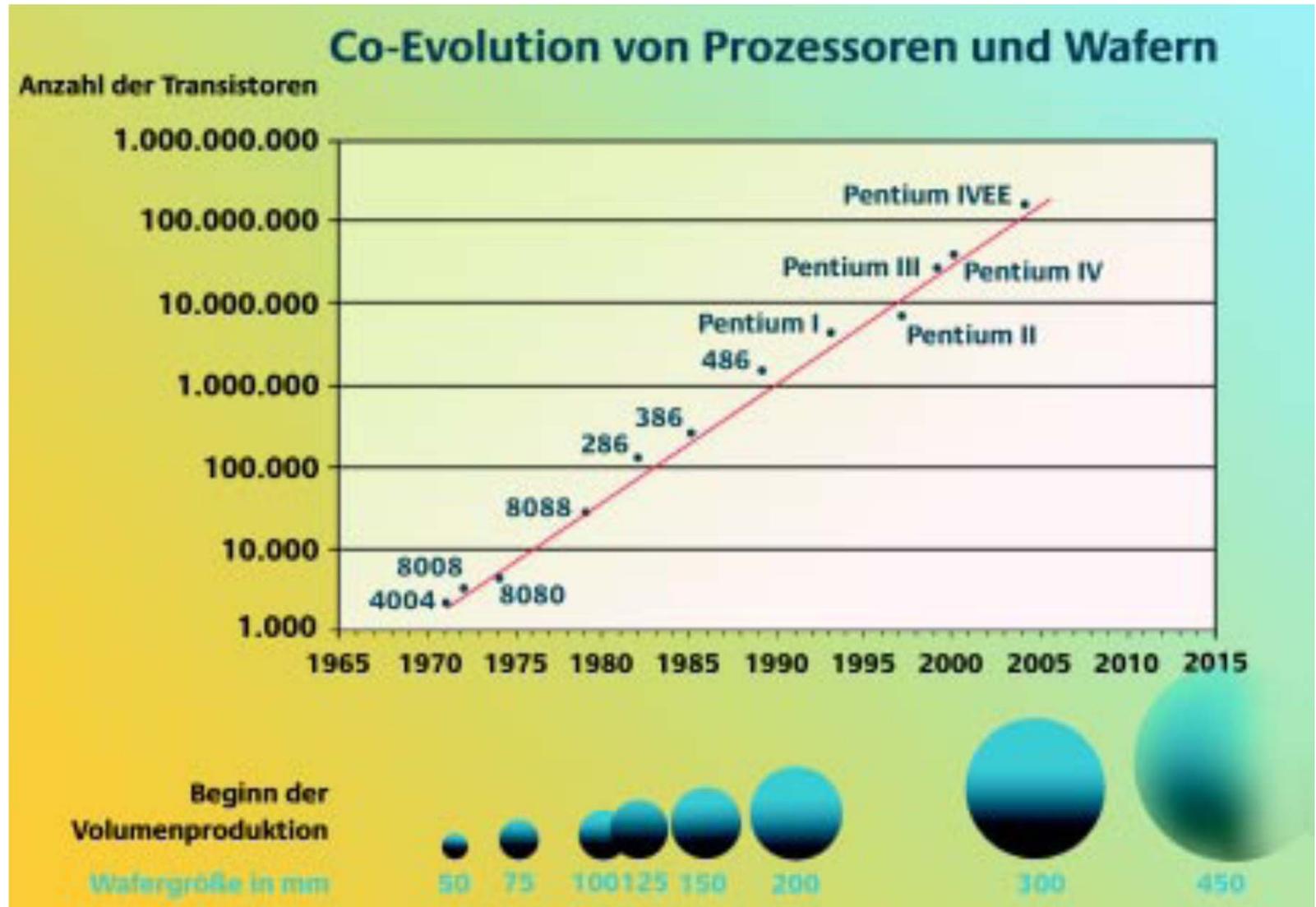


Vom Sand zum Superchip: 300mm-Wafer für die Nanoelektronik

Der Blick über den Zaun in die Elektronikindustrie:

Wertdichte:
Ca. 10 t€/g

Moore's Law:
Alle 18 Monate
Verdopplung
der Rechen-
leistung



Chip- Herstellung:

4 Grundprozesse:

- **Layering:**
Aufbringen einer Schicht eines bestimmten Materials
- **Patterning:**
Strukturierung der Oberfläche durch Lithographie
- **Doping:**
Dotieren bestimmter Bereiche mit Fremdatomen
- **Heat Treatment:**
Hitzebehandlung

Anwendung in verschiedener Reihenfolge und Kombination

Für heutige Bauelemente ca. 1000 Prozessschritte in 4 Wochen für 300mm Wafer → z.B. Logic Bauelemente

Si-Solarzellen

Der Weg zum Wafer (in PV und Elektronikindustrie gleich)

1. Herstellung von „unreinem“ sog. metallurgischem Si
2. Reinigung (Siemensprozess) → electronic grade Si
3. Herstellung von polykristallinen Stäben
4. Kristallzucht
5. Vereinzelung in Scheiben = Wafer

Hohe Anforderungen an Reinheitsgrad

Reinst Silizium (ppb-Bereich) wird in 3 Schritten aus Quarz (SiO_2) gewonnen!

(Großer Vorteil: SiO_2 ist in beliebigen Mengen verfügbar! Si zweithäufigstes Element der Erdkruste 27,7%, in Natur nur als Oxid oder Silikat etc.)

Bedarf an Si: ca. 10-15 t pro MWp, (modernste Zellen: 7g/Wp))

Übersicht: Silizium Herstellung vom Quarz zum Wafer

Trichlorsilan für Dünnschicht-Si kann abgezweigt werden

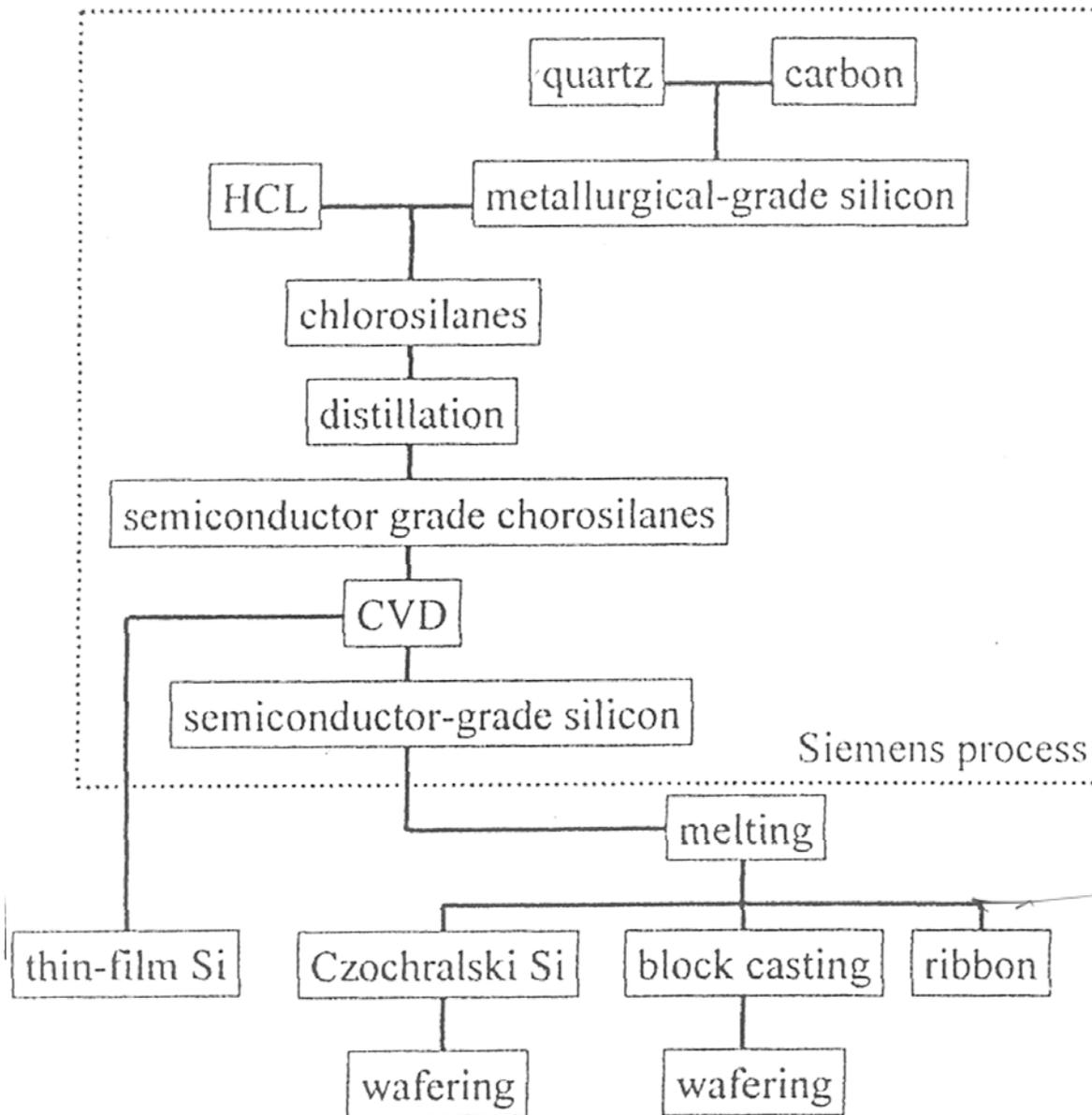


Figure 5.15. Thin-film deposition from chlorosilanes has the advantage of utilizing the well established Siemens process while avoiding one crystallization step and wafering. Redrawn from Ref. [339].

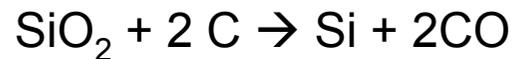
[78]

Reinigung von Si aus SiO₂

hoher Energieverbrauch!



1. Reduktion von SiO₂ im Lichtbogen (1900-2000 °C, 14 kWh/kg Si)



Kohlenstoffelektrode als Reduktionsmittel

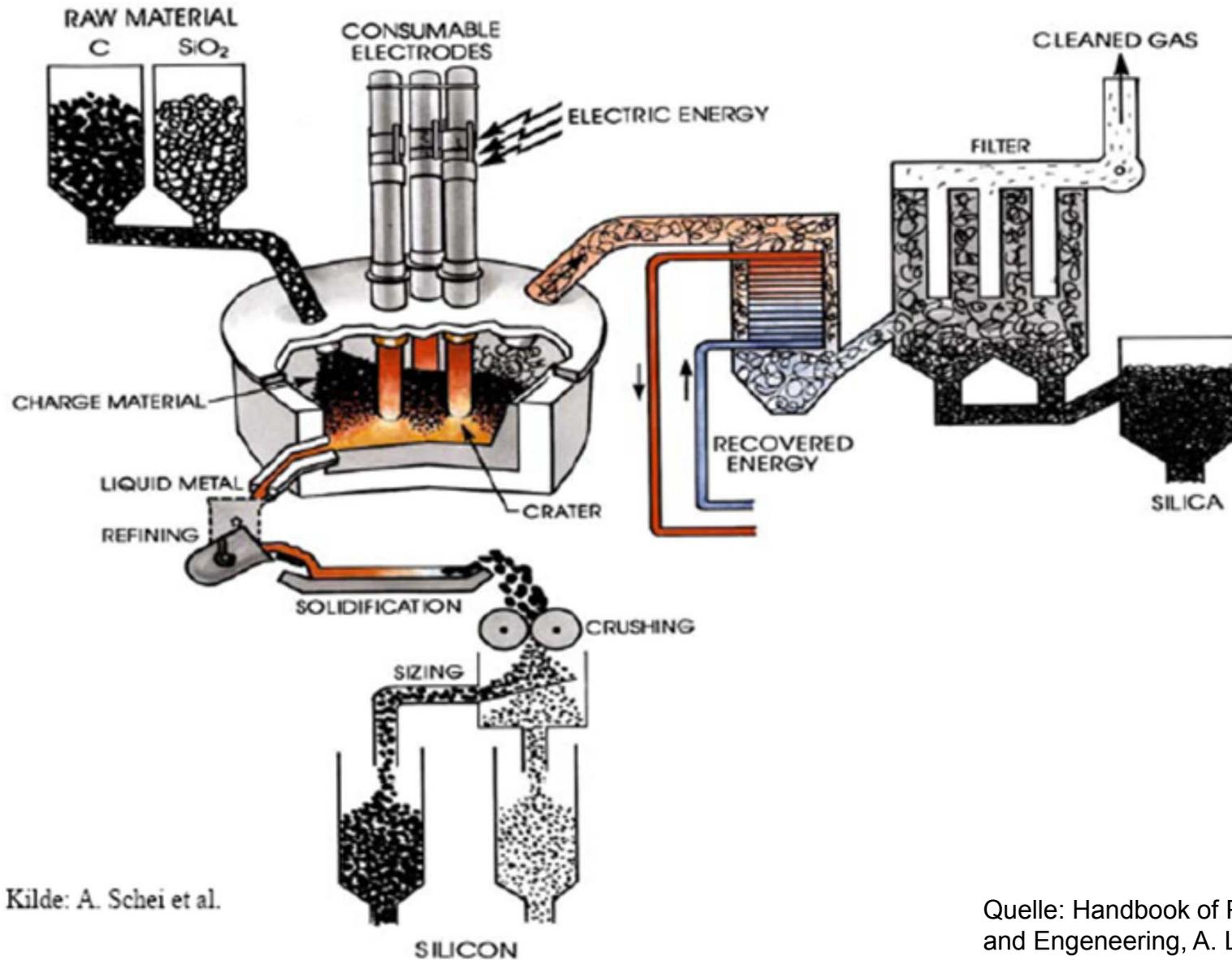
→ sog. metallurgisches Si (MG-Si ca. 98.5 % Reinheit)

→ Verbrauch: 0,5 Mio. Tonnen/a in Stahl + Al-Industrie

(Schmelzpunkt 1415 °C)-> MG-Si -> ca. 4 % in EG-Si

(aufwändiges Reinigungsverfahren)

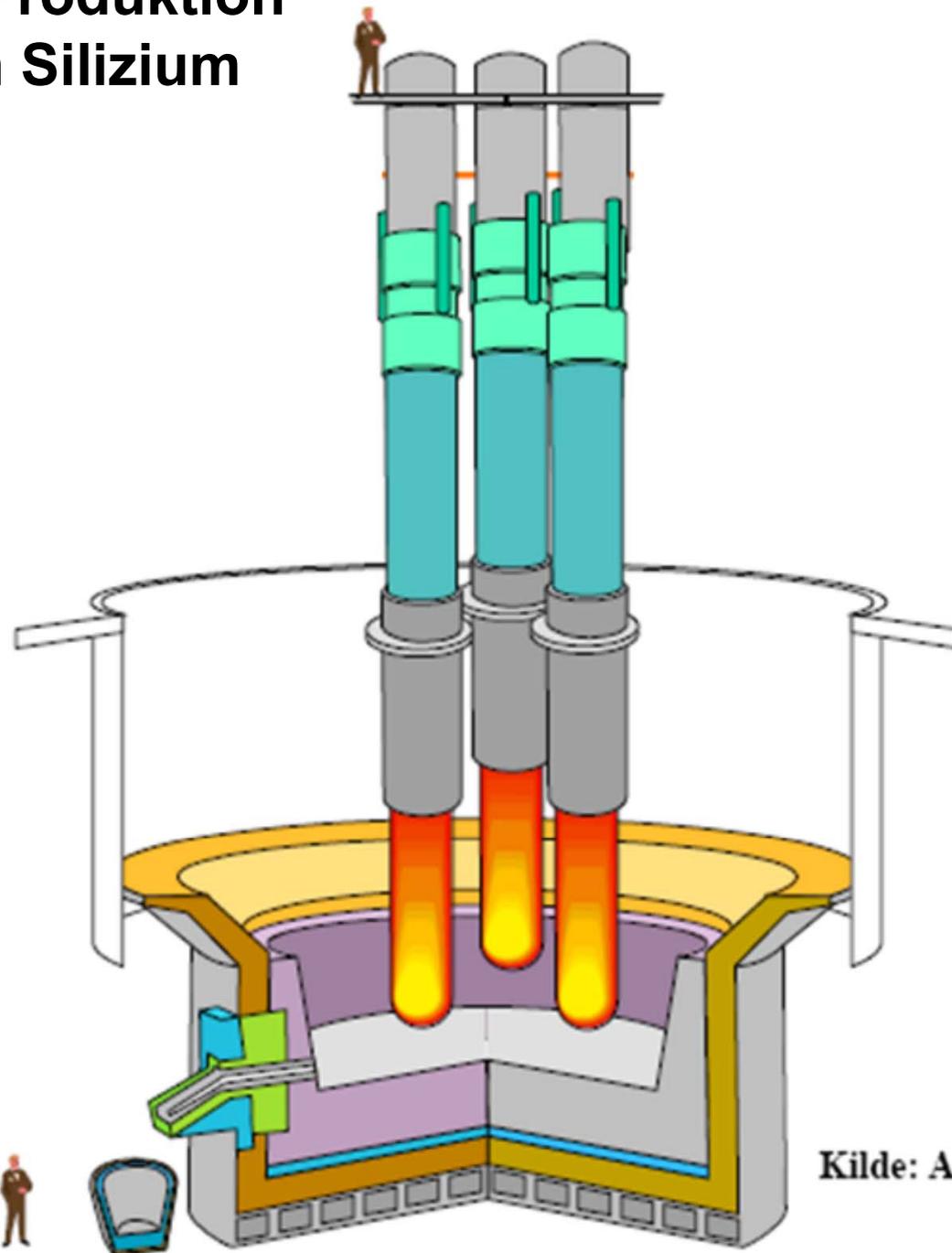
Produktion von metallurgischem Silizium



Kilde: A. Schei et al.

Quelle: Handbook of PV Science and Engineering, A. Luque, Wiley Schei, Tused, Trondheim 1998

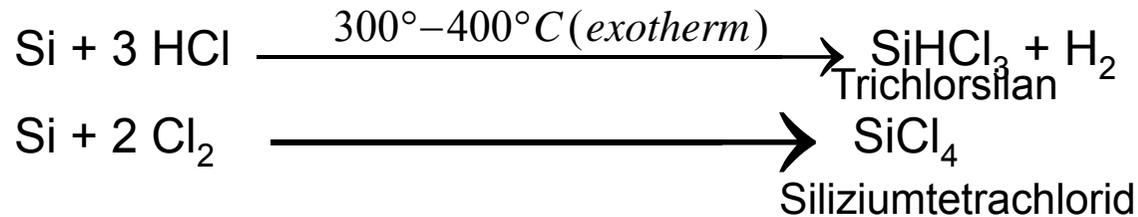
Lichtbogenofen zur Produktion von metallurgischem Silizium seit 1905



Quelle: Handbook of PV Science and Engineering, A. Luque, Wiley Schei, Tused, Trondheim 1998

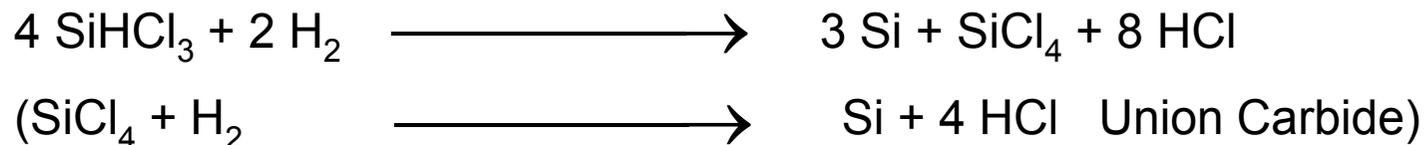
Kilde: A. Schei et al.

2. Elementspezifische Chlorierung (wiederholte Destillation)



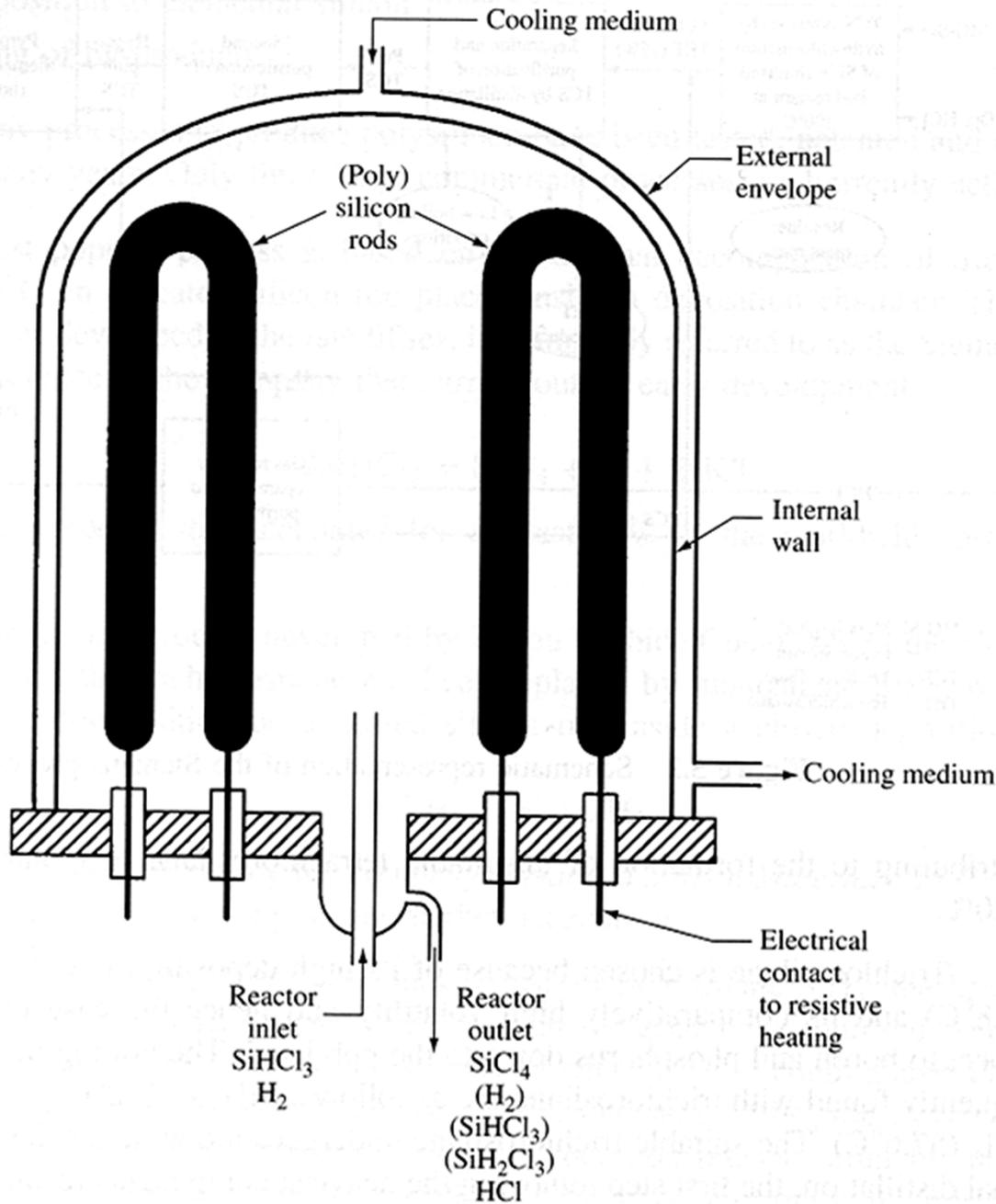
Verunreinigungen (Alkali, Erdalkalimetalle) bilden Salze mit Chlor;
SiCl₄ ist gasförmig und lässt sich abscheiden (SiHCl₃ siedet bei 32 °C)

3. Reduktion in H₂-Atmosphäre bei 950 °C (CVD)



(Siemens reaktiv, Wirbelbett → Entwicklung)

Siemens-Verfahren in 2001
60% der Produktion

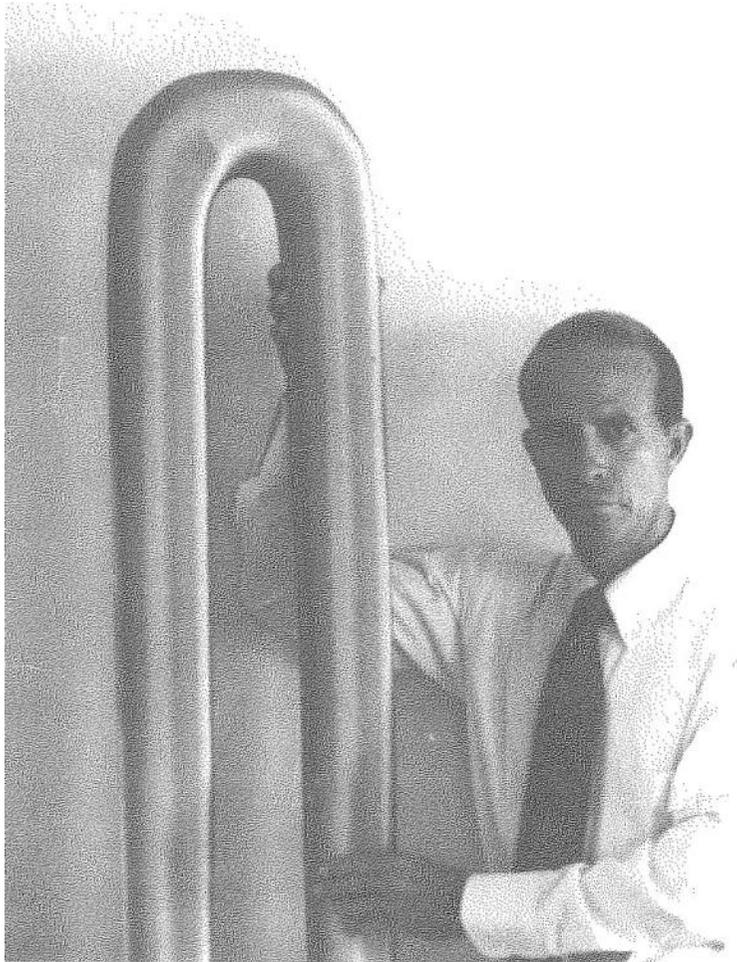


„Siemens-Reaktor“

Nach der chemischen Gasphasenabscheidung muss der Reaktor abgeschaltet, der Stab abgekühlt und sorgfältig in kleinere Brocken gebrochen werden (Zykluszeit ca. 100h).

	€/kg	Reinheitsgrad (ppm)
mg-Si	1,5	10000
sg-Si	30	0,01
eg-Si	40	0,0001

Reinigung → electronic grade Si



Quelle: Mara et al. „Handbook of Semiconductor Silicon Technology“

WACKER **POLYSILICON**

Verunreinigungen im Si wirken sich drastisch auf den Wirkungsgrad aus

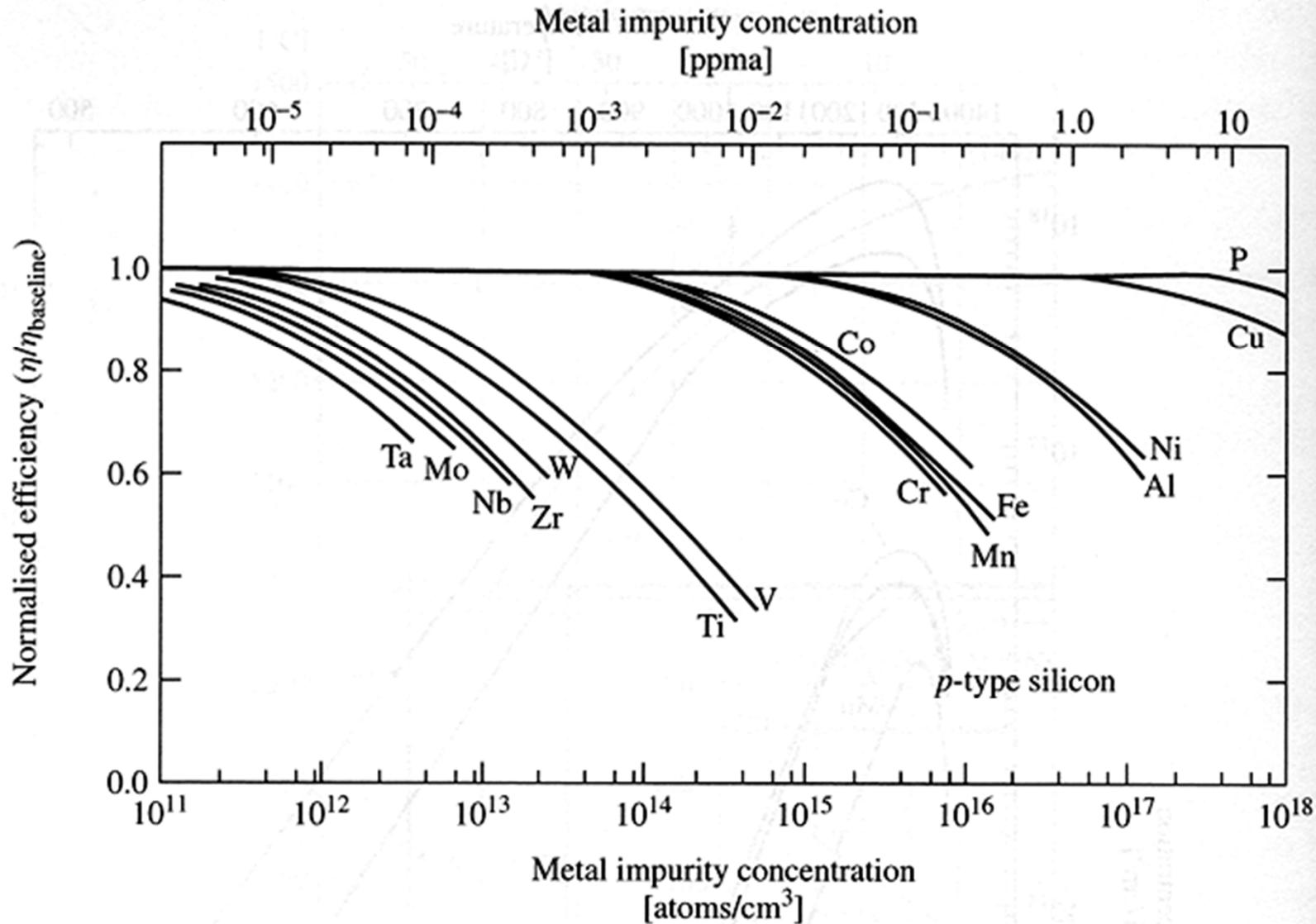


Figure 5.11 Solar cell efficiency versus impurity concentration for 4 ohm cm p-base devices [30].

Reproduced from Davis Jr. J *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices* © 1980 IEEE

Quelle: Handbook of PV Science and Engineering, A. Luque, Wiley

Historische Entwicklung und Siliziumpreise

< 1998: Abfälle aus EG-Si (Seit 1998 kann der weltweite Bedarf der PV Industrie nicht mehr durch Abfälle der Elektronikindustrie gedeckt werden.)

2003: 7 000t Si , 2005: ca. 10 000 t für PV → 2004/2005 wird mehr Si im PV Markt verarbeitet als in der Elektronikindustrie

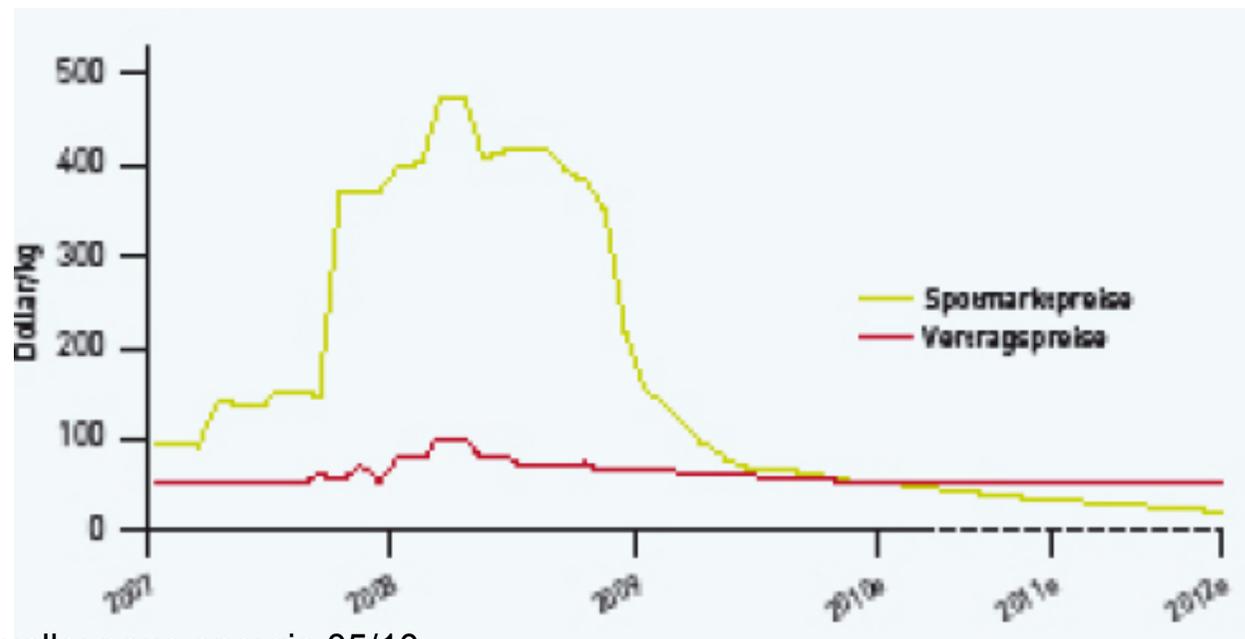
2005 bis 2007 Verknappung von Silizium

Silizium für die PV-Modulproduktion (Siliziumknappheit führt zu Verdoppelung des Siliziumpreises von 24 US\$/kg (2003) auf 50 US\$/kg (2006))

Spotmarkt Oktober 2008 400\$/kg, Durchschnittswert April 2010 55\$/kg

2011ff sehr viele neue Unternehmen hauptsächlich in Asien

→ starke Überkapazität, starker Preisverfall



Quelle: neue energie 05/10

„Electronic Grade (EG)“ - Si ↔ Solar Grade - Si

EG-Si Abfall: Wafer-Firmen -> internes Recycling

-> verbesserte Verfahrenstechnik

neue Wege zu SG-Si:

Reinigung von MG-Si (auch auf metallurgischem Weg)

- Säure-Laugung, Schmelzen mit Schlackenextraktion, gerichtete Erstarrung
- Vakuum entgasen
- Plasma-Behandlung mit H₂O Gas

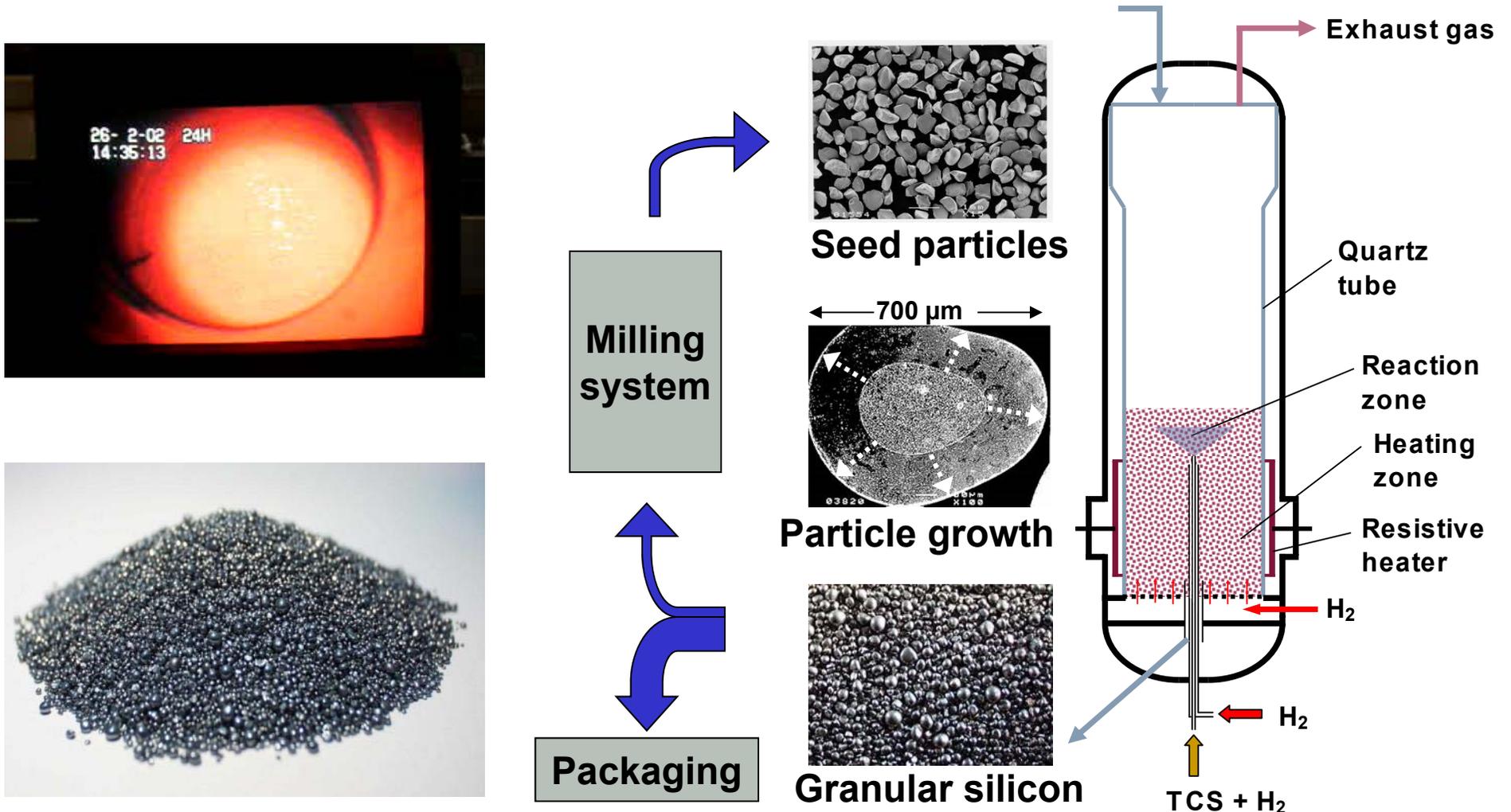
(Wacker Siltronic, Bayer AG, Elkem, Kawasaki Steel) -> keine Wirtschaftlichkeit

→ Bayer (Deutsche Solar) Wirbelbettverfahren

Alternativkonzept: Wacker Herstellung von Solarsilizium

CVD von poly-Si, Vorteil: Brechen und Ätzen, nicht nötig, Solar grade Si:
Kostenreduktionspotenzial 25%

FLUIDIZED BED GRANULAR DEPOSITION: A CONTINUOUS PROCESS



WACKER

POLYSILICON

Quelle: Schulze, PV Crystallox, Wacker

Wirbelschichtverfahren (Kontinuierlicher Prozess)

Trichlorsilan-Silizium scheidet sich an kleinsten Silizium-Körnchen (0,3 bis 0,7 Millimeter Durchmesser), die eine spezifisch größere Oberfläche als der Silizium-Stab des Siemens-Verfahrens haben, ab.

Das Granulat aus Poly-Silizium kann kontinuierlich aus dem Reaktor "geerntet" werden.

Das Wirbelschichtverfahren ist damit aus mehreren Gründen für „solares“ Poly-Silizium wirtschaftlicher:

1. scheidet sich in derselben Zeit mehr Silizium ab als im Siemens-Prozess
2. ist die elektrische Heizleistung geringer
3. muss der Reaktor zur Entnahme nicht abgekühlt und geöffnet werden
4. entfällt das aufwändige Brechen der Stäbe
5. eignet sich das Granulat auch besser für eine Weiterverarbeitung.

→ Bisher nur Einsatz in der Entwicklung bzw. Pilotproduktion

6.1.2 Kristallzuchtverfahren für Si

(Si-Schmelze sehr reaktiv)

Czochalski-Verfahren

Floatzone-Verfahren

Monokristalline

Blockgieß-Verfahren (70 - 75 % Ausbeute des Blocks)

(Schmelz/Kristallisieren anlagentechnisch getrennt)

Bridgman-Verfahren (60 % Ausbeute des Blocks)

(Schmelzen/Kristallisieren in einer Einheit)

Neu :

- quasi mono Silizium Abkühlen über Saatkristall
- „high performance“ mc-Si mit kleinen Körnern

Multikristalline

Züchten von Einkristallen aus gereinigtem Si

Czochalski-(Cz)-Verfahren

- Stab mit Si-Kristallkeim → eintauchen in Si-Schmelze, Schmelze in Quarz-Behälter
- Quarz-Behälter befindet sich in Grafitmantel
- Induktive Heizung auf $\sim 1415\text{ }^{\circ}\text{C} = T_{\text{Schmelz}}$ (Si)
- Aus Schmelze kristallisiert Si unter Abkühlung aus
- Ziehen erfolgt durch langsames Emporziehen!
($1\mu\text{m/s}$ bis 0.1 mm/s , bis zu 3 Tage)
- Gleichzeitiges langsames Drehen 10 - 40 U/min
- Im Vakuum oder Inertgas

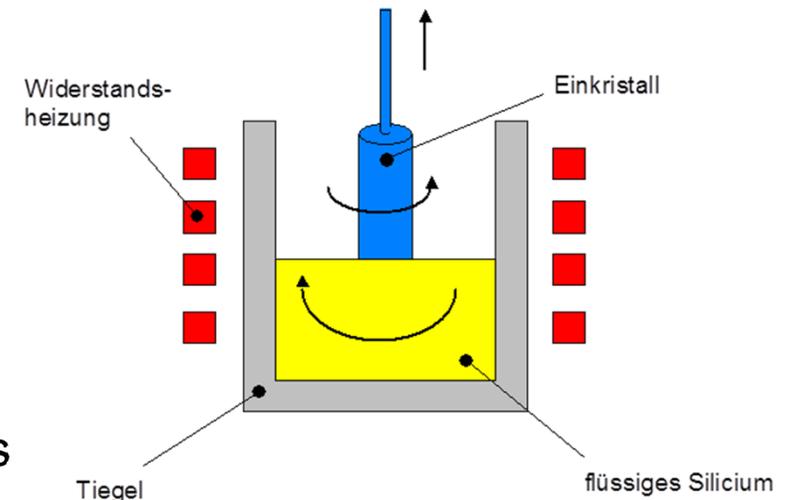
wichtig: Parameteroptimierung: T_{Schmelze} , Ziehrate, v_{rot}

→ Barren mit 30 cm Durchmesser; mehrere Meter lang!

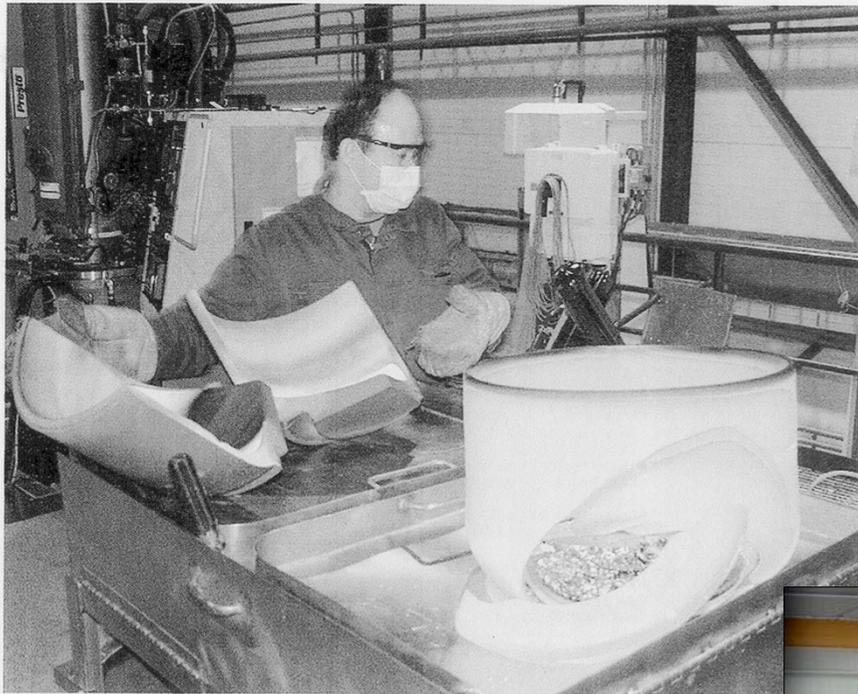
problematisch: O am Quarz löst sich in Schmelze
(SiO_2 wird bei $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ weich!)

→ Dotierung durch Zugabe der Dotierstoffe in der Schmelze

Quelle: Handbook of PV Science and Engineering, A. Luque, Wiley



Quelle: Wacker Siltronic



Ziehöfen Fa. Solarworld (eh. Bosch, Ersol)

The silicon waste (pot scrap) remaining in the quartz crucible after the crystallization process of mono-line ingots for the semiconductor industry is one of several silicon sources to the PV industry.

Quelle: Photon



Float-Zone-Verfahren (FZ) = tiegelfreies Zonenschmelzen

- Herstellung von Si-Einkristall aus polykristallinem Si
- polykristallines Si erhält man aus Abkühlen der Schmelze oder durch Zersetzung von SiCl_4 auf Stab oder Draht
- Vermeidung von Kontamination aus Tiegel !!
- Si-Einkristallkeim \leftrightarrow wird an polykrist. Si über Schmelze verbunden

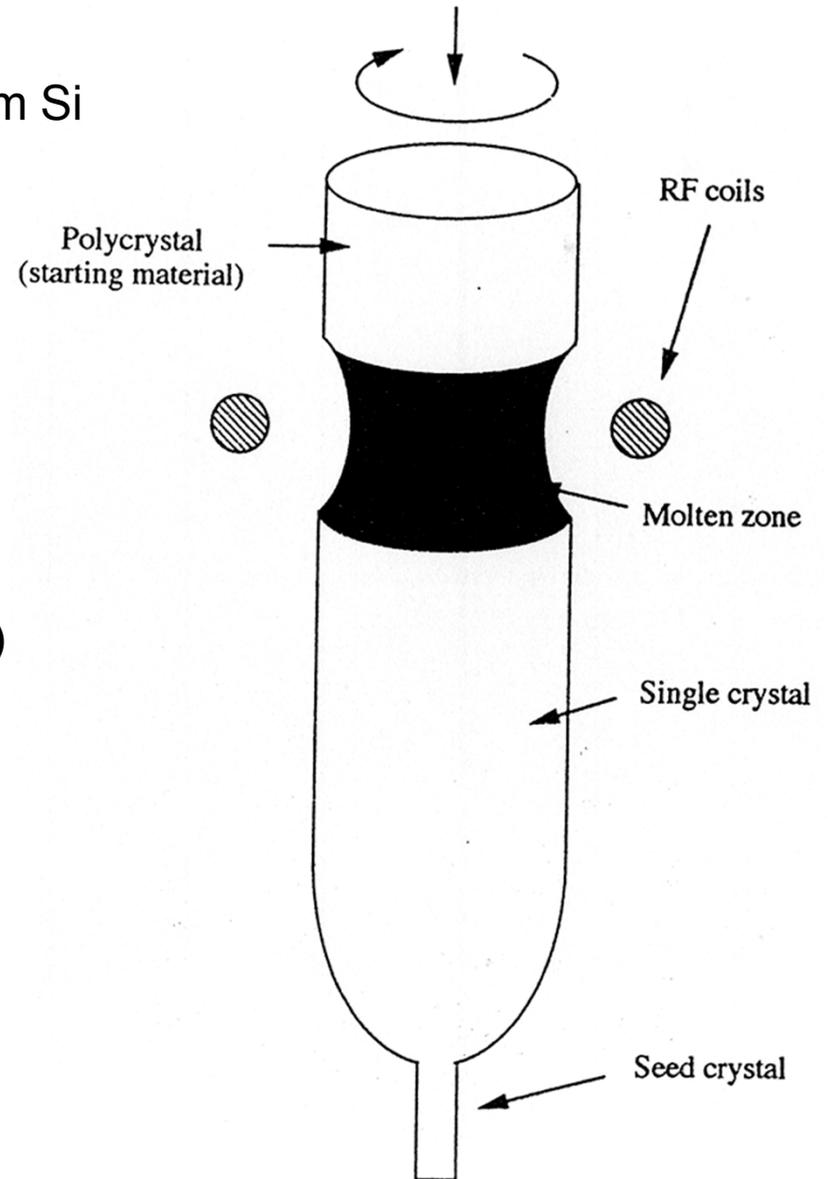
→ ringförmige Induktionsheizung (Breite ca. 2 cm!)

vorhandene Verunreinigungen werden mit der flüssigen Zone aufwärts geschoben (Löslichkeit in Schmelze größer)

Wiederholung des Reinigungseffektes möglich

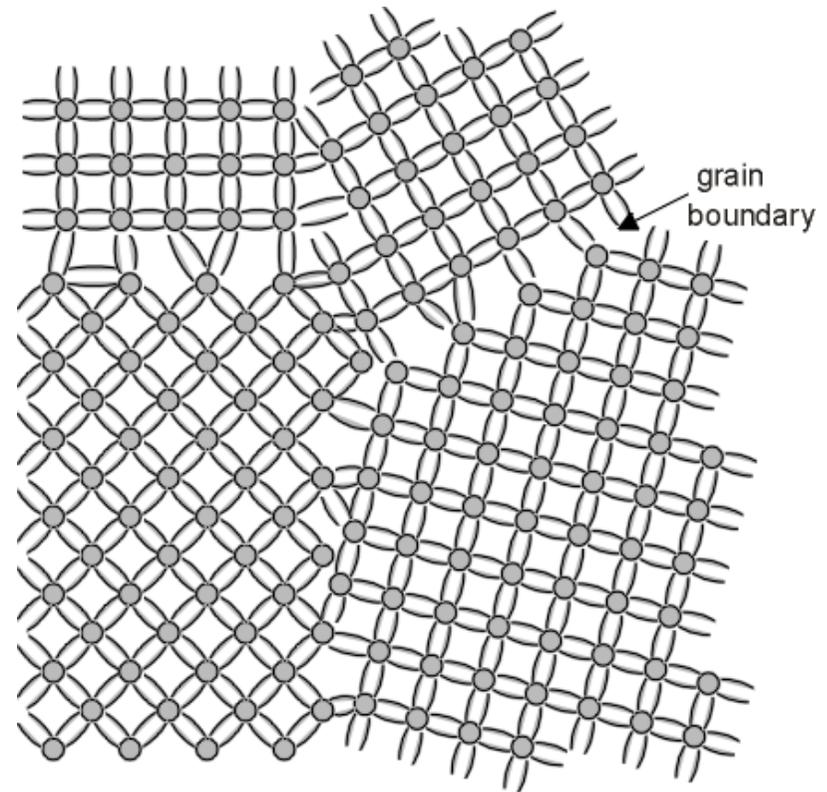
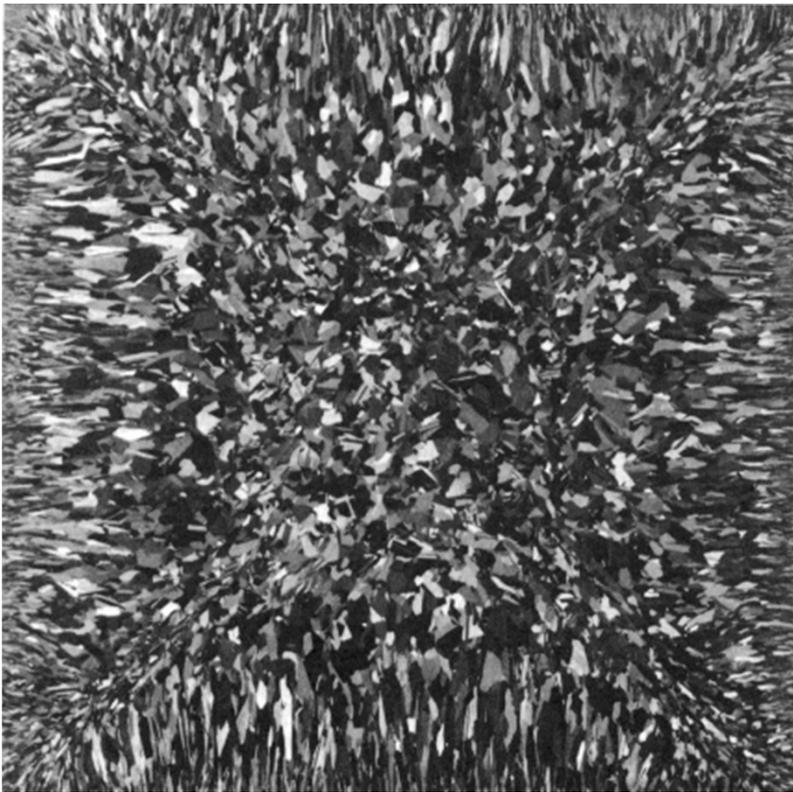
→ Reinigung durch Segregation und Abdampfung

Dotierung $\left. \begin{array}{l} \rightarrow \text{PH}_3 \\ \rightarrow \text{B}_2\text{H}_6 \end{array} \right\}$ zum Schutzgas

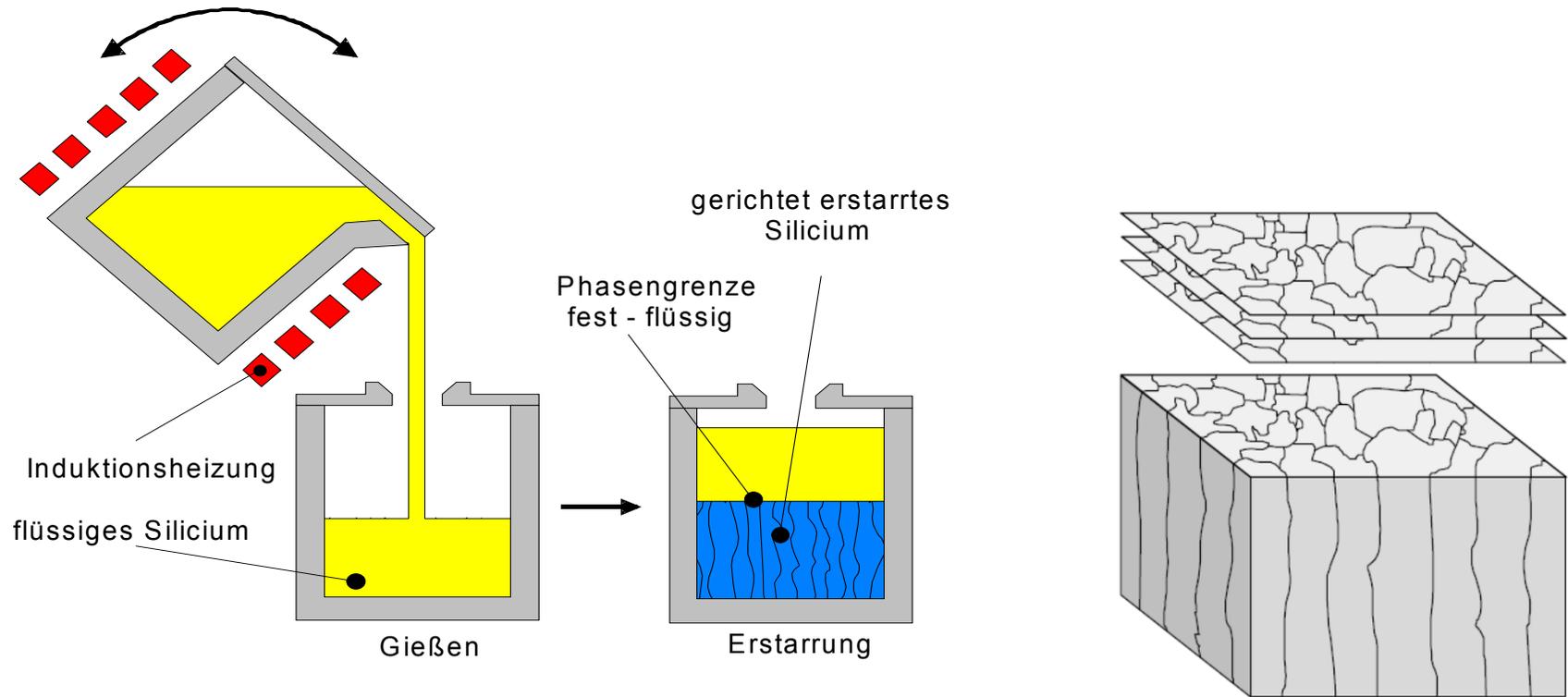


Quelle: Möller, Semiconductors for Solar Cells

Wege zu polykristallinem Si



Gieß- und Kristallisationsverfahren

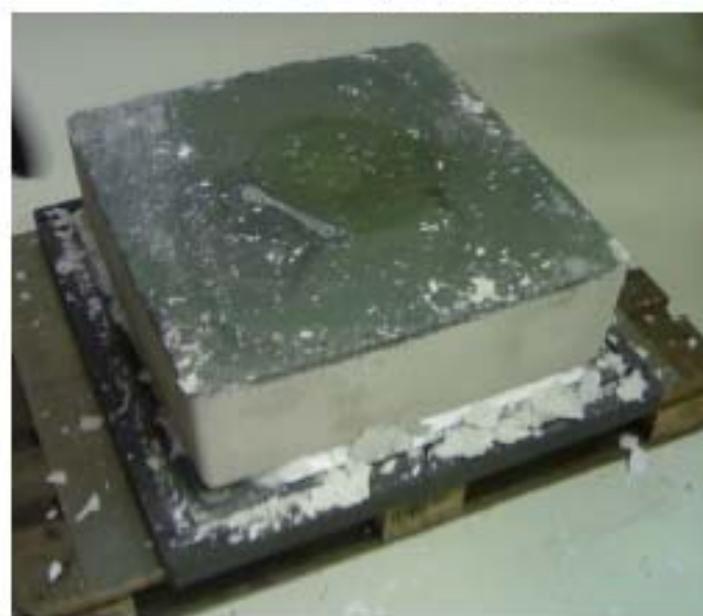


Trennen von Schmelzen und Erstarren

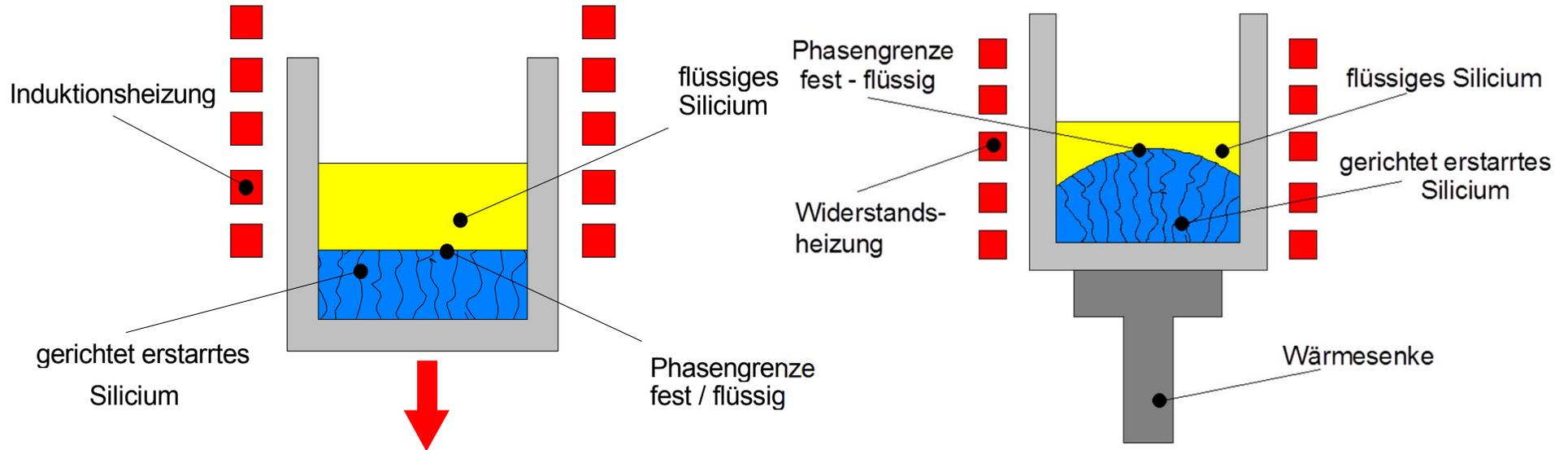
240 kg

250 x 250 mm

Multikristalline Siliziumblock Kristallisation



Bridgman-Verfahren



Blockgießverfahren

Bridgman

Blockgewicht 240 - 300 kg

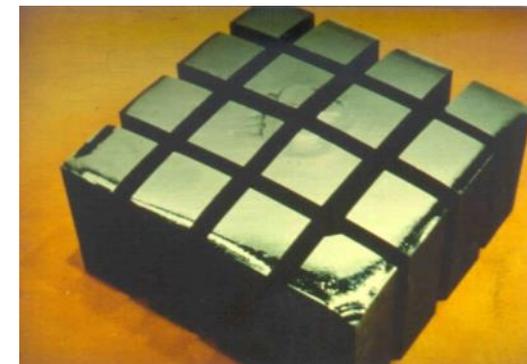
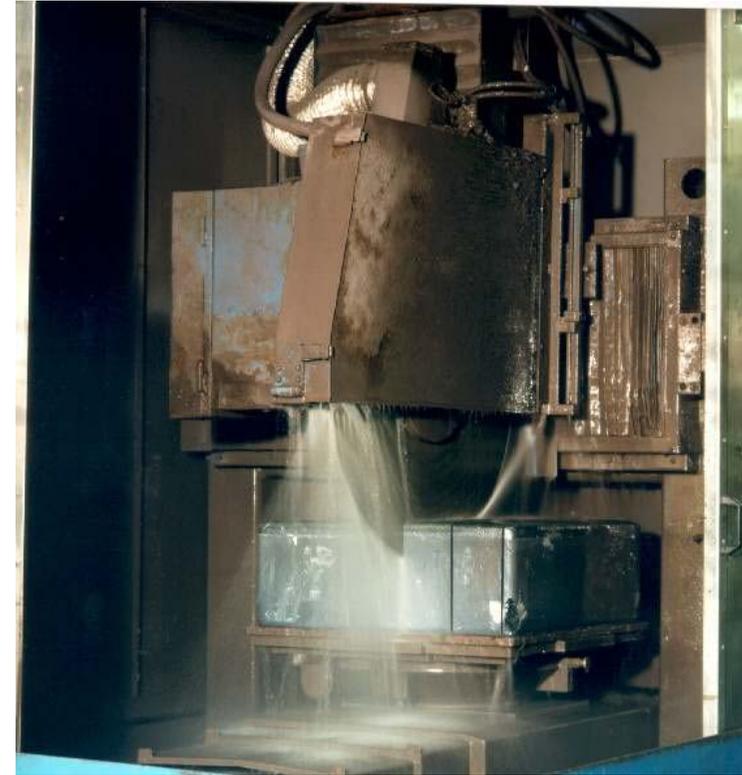
248 kg

Format 550 x 550 cm²

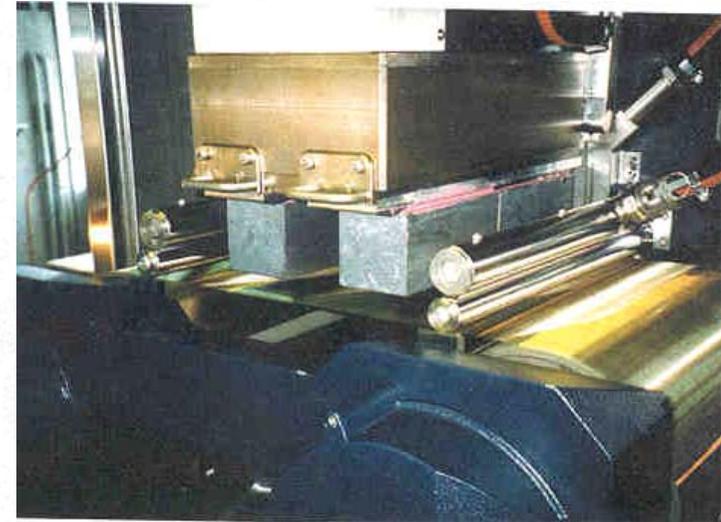
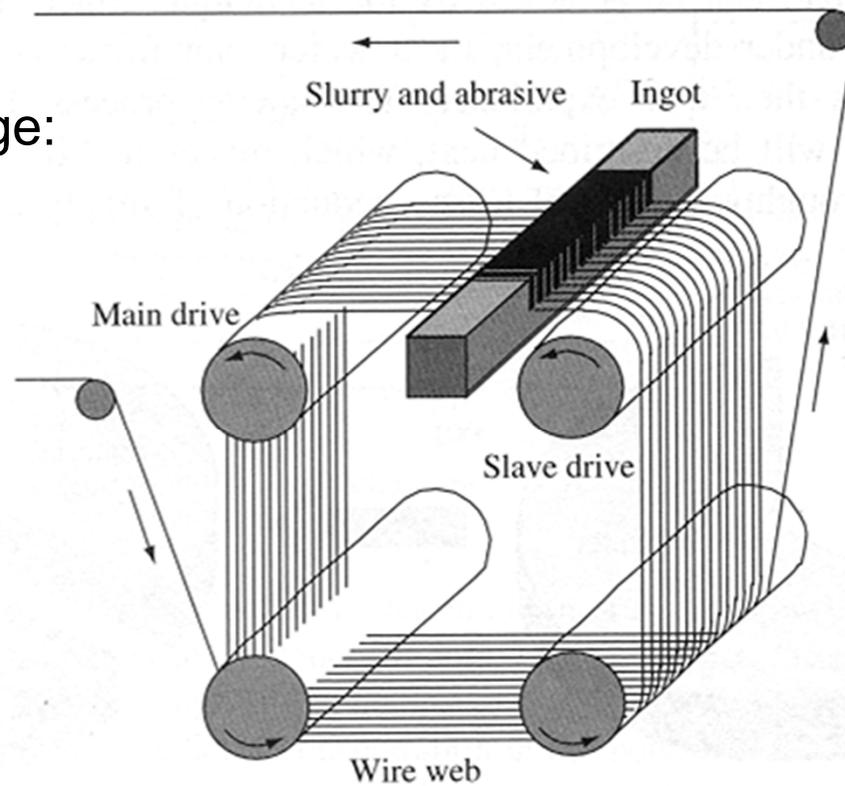
660 x 660 cm²

6.1.3 Herstellung von Si-Scheiben: Weiterverarbeitung der Blöcke

- Zersägen der Blöcke
Bandsägen → Scheiben (Abtrennen der Kappen und Bänder)
- Aufkleben der Si-Säulen
- Sägen mit SiC-Suspension → durchgeläppt, abgelöst, vereinzelt
- Kantenbearbeitung
- Reinigung



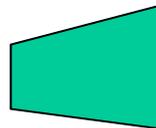
Drahtsäge:



Schematic diagram depicting the principle of the multi-wire sawing technique

Sägeschnitt: 200-220 μ m (Draht 150-200 μ m)

Keiligkeit
Welligkeit
Krümmung



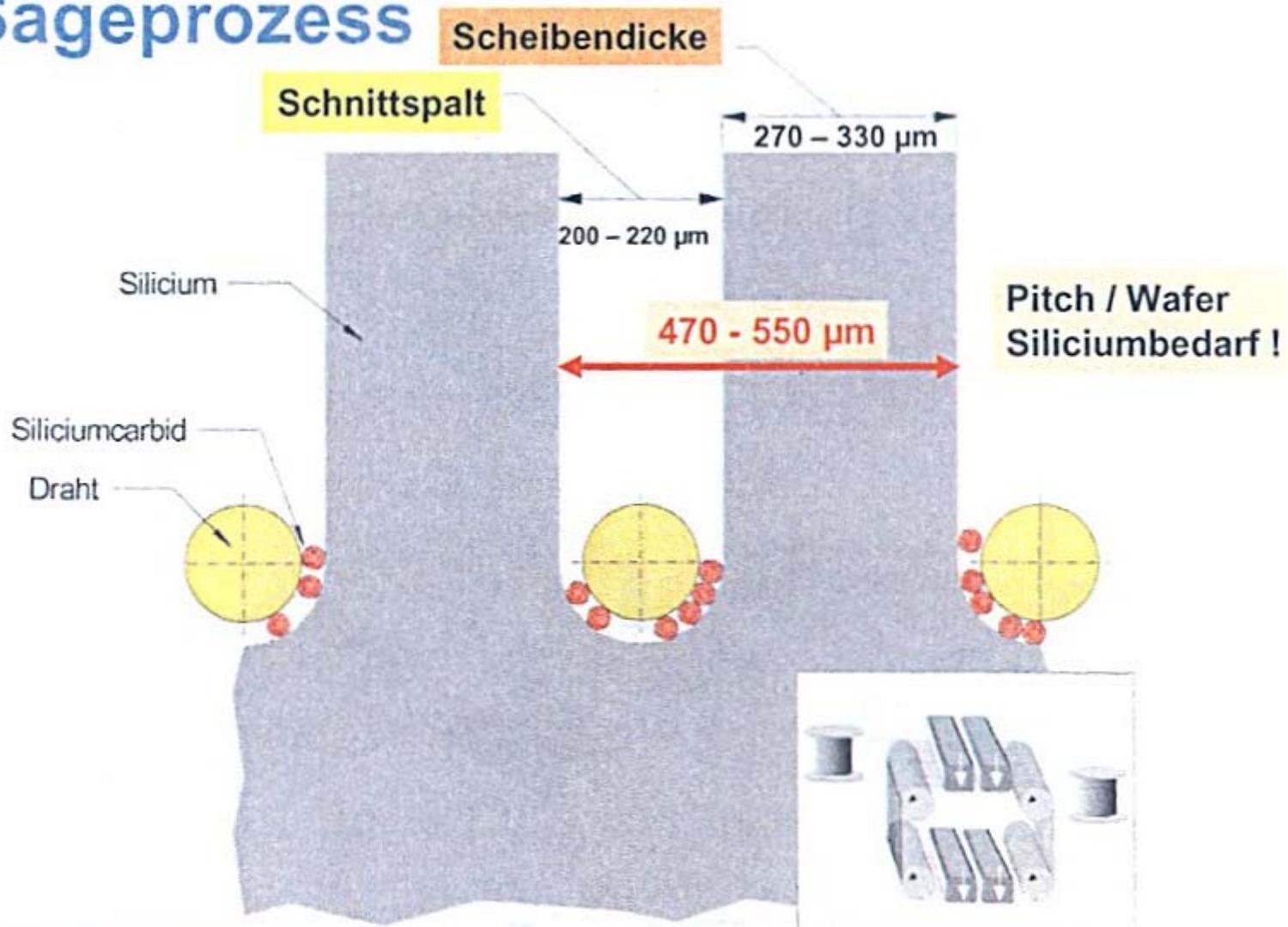
Delta = 20-30 μ m

Total thickness variation (TTV)

Drahtgeschwindigkeit: 5-15m/s
Drahtlängen: 100-500km

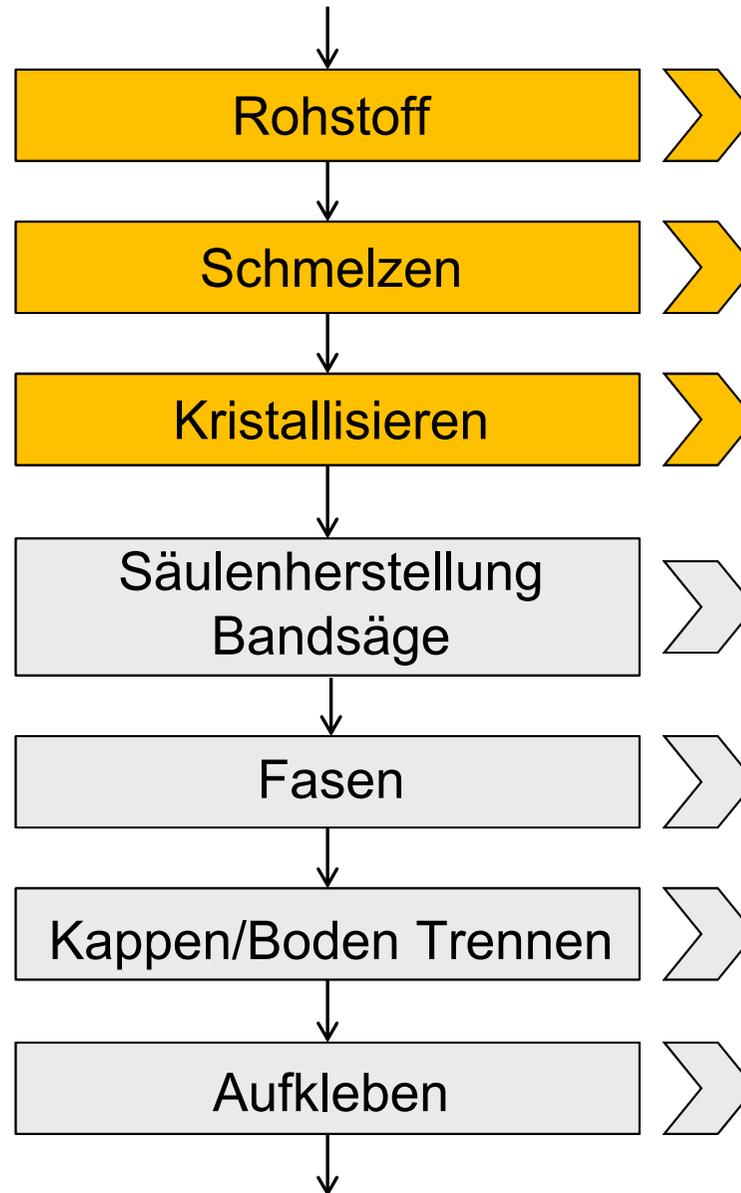
Sägeslurry: Öl oder Glykol
SiC, 8-20 μ m

Sägeprozess

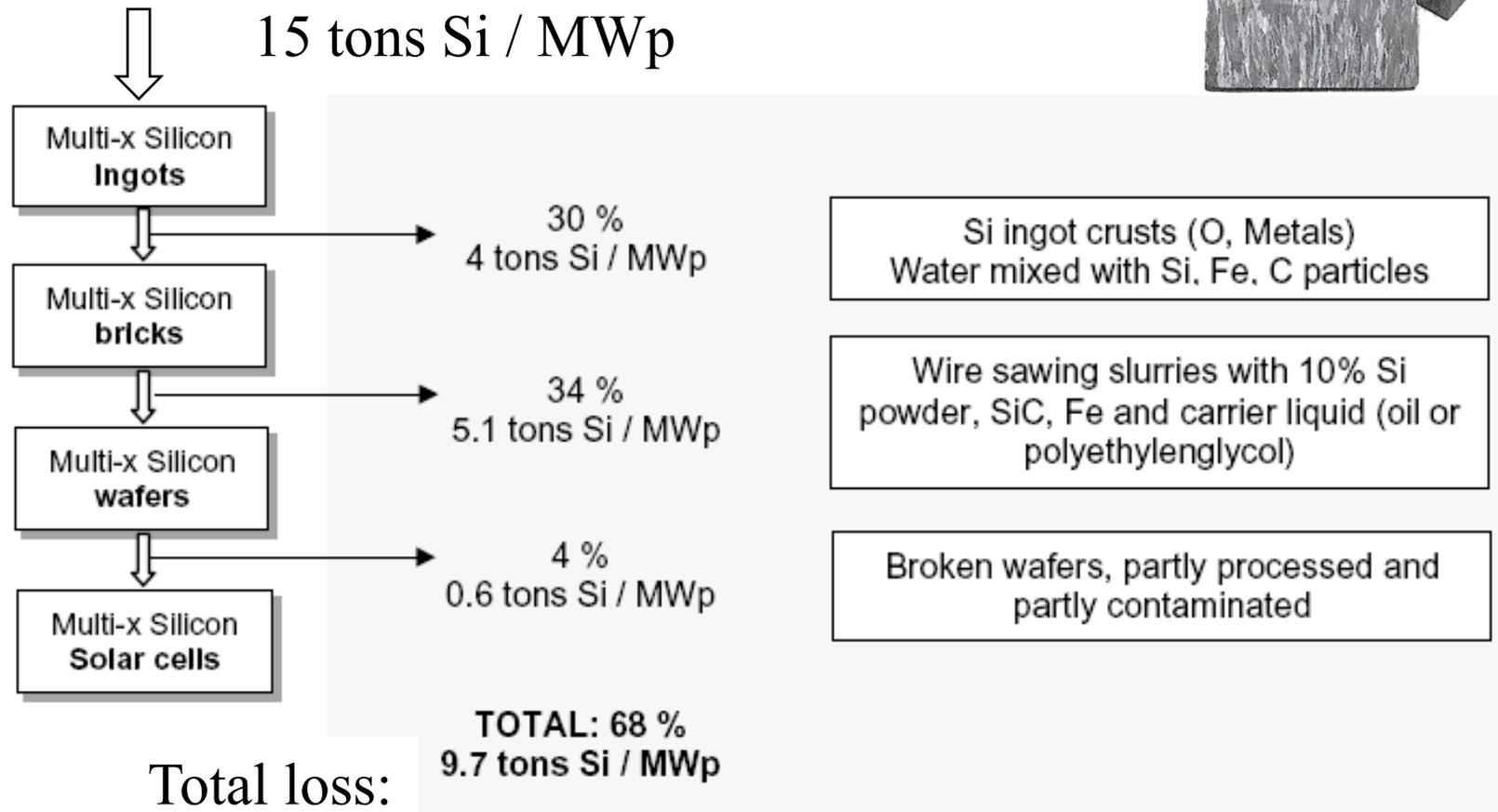


Quelle: Deutsche Solar

Produktionsschritte in der Scheibenherstellung (1)



Silizium-Verluste



Source: D. Sarti and R. Einhaus, Photowatt (2002)

Rohstoffeinsparung

(dickenproportional gerechnet)

330 μm	100 %	7,7 g / dm ² Wafer - ca. 20 g Si / dm ² Wafer-	100%
300 μm	90 %	6,9 g / dm ² Wafer - ca. 19,2 g Si / dm ² Wafer-	96 %
270 μm	82 %	6,3 g / dm ² Wafer - ca. 18,6 g Si / dm ² Wafer-	93 %
200 μm	60 %	4,6 g / dm ² Wafer - ca. 16,1 g Si / dm ² Wafer-	80 %
100 μm	30 %	2,3 g / dm ² Wafer - ca. 14,6 g Si / dm ² Wafer-	73 %

Aufgrund niedrigerer Ausbeuten in der Waferfertigung und im Zellprozess ist die Rohstoffeinsparung nichtdickenproportional!

*Weitere Technologieentwicklung zur Ausbeutesteigerung
Rohstoff -> Wafer ist dringend erforderlich :*

- *Halbierung Schnittverlust beim Drahtsägen*
- *Erhöhung Ausbeute Rohstoff -> Säulenherstellung (Blöcke mit 1000 kg)*

6.1.4 Herstellung von Si-Bändern

Ziel dieser Entwicklungen ist einen flächigen „dünnen“ Si-Kristall herzustellen, ohne Sägen.

Bisher im kommerziellen Einsatz sind EFG, Ribbon Growth on Substrate, String Ribbon (vertikal oder horizontaler Zug aus der Schmelze)

EFG-Si

Edge - defined Film - Fed Growth, entwickelt in Billerica

Oktagon Röhren in 5-6 m Länge, 8 Seiten à 10 cm (→ 12,5 cm)

EFG 80 % des Rohsiliziums in Scheiben

(50 - 60 % des Rohsiliziums geht bei SZ, FZ + Sägen verloren)

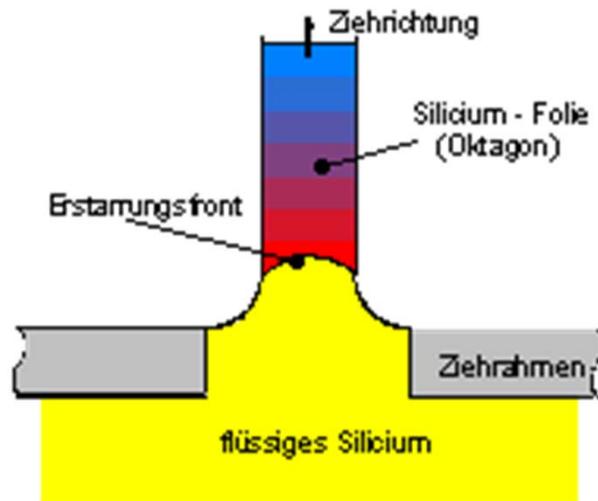
geringe Restmenge an Si in Tiegel!

Tiegel enthält 1 kg Si (automatisches Nachfüllen 150 - 200 kg)

Zerschneiden mit Nd:Yag-Laser

Scheiben: 200 bis 600 µm; Vorschub 5 cm/s

Edge defined film fed growth (EFG), Schott Solar



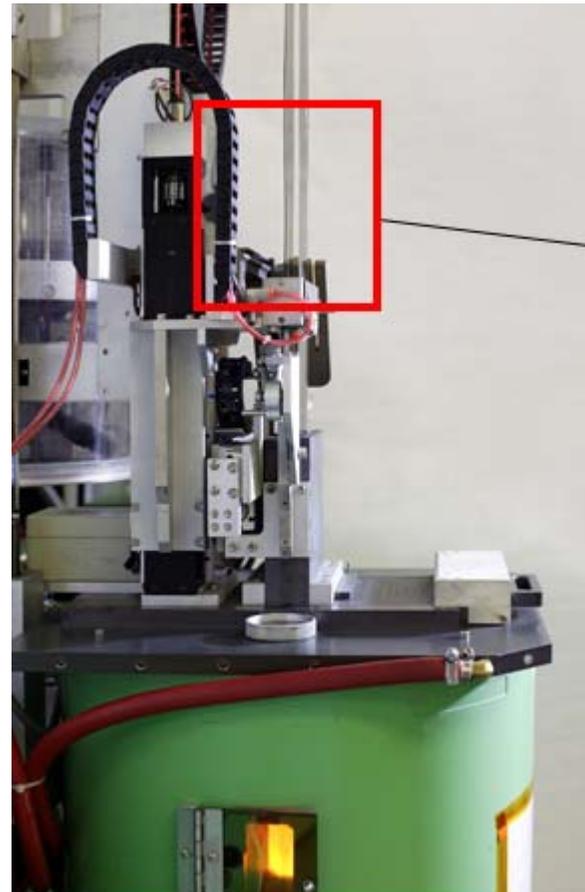
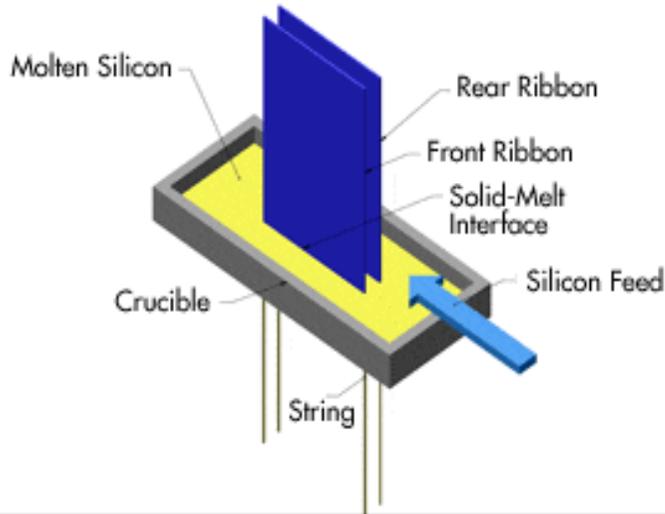
EFG enthält viel C (->Sättigung)

→ unebene Scheiben; erhöhte Versetzungsdichte!

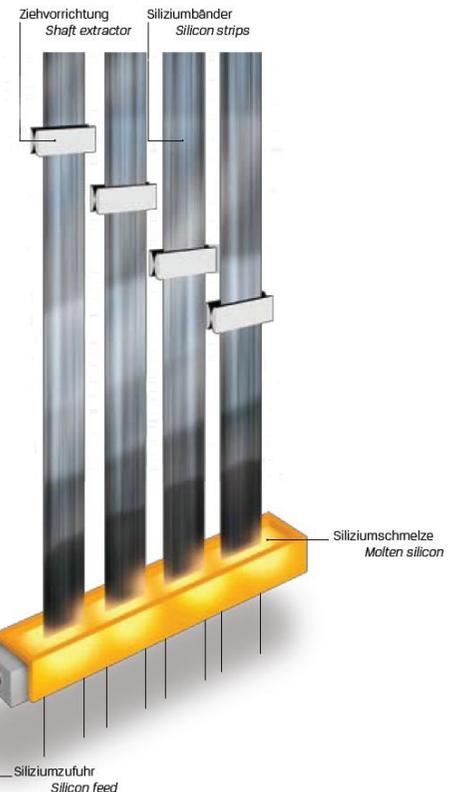
→ angepasste Fertigungstechnik für Scheibenprozessierung nötig



String Ribbon (Evergreen, EverQ, Sovello)



2 growing silicon ribbons

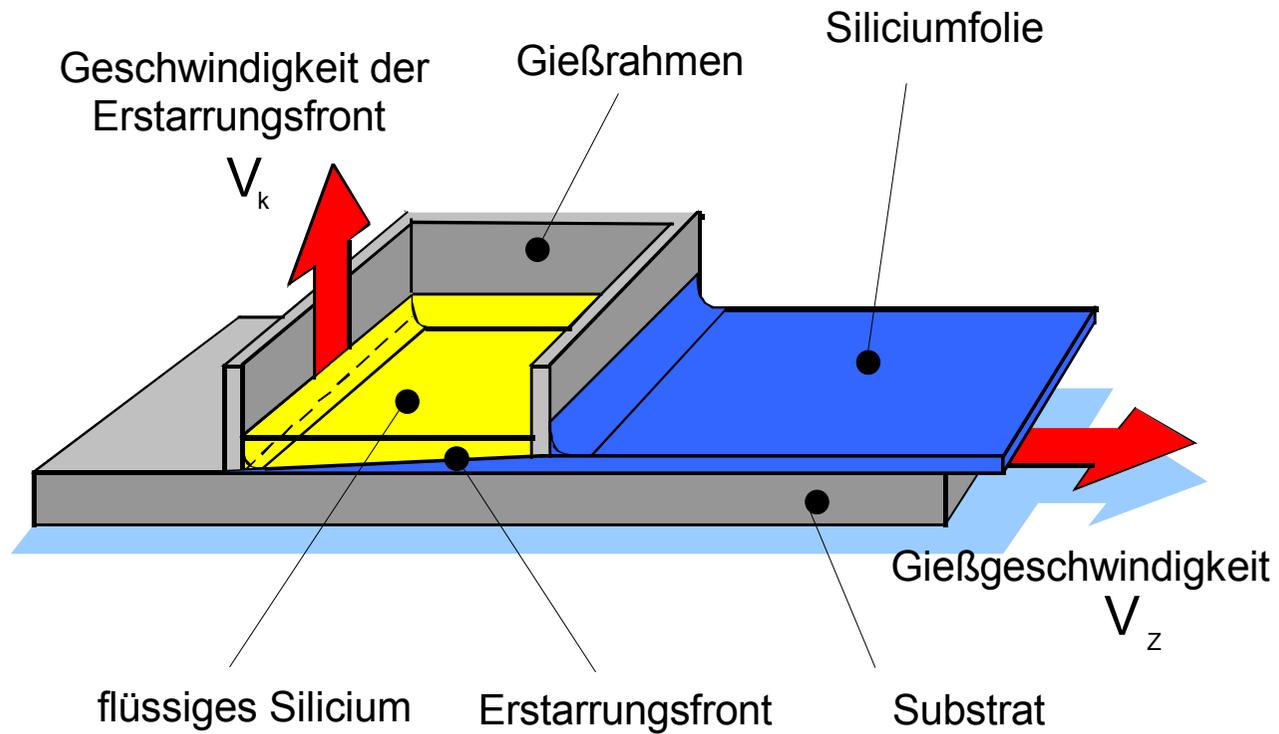


Das String-Ribbon-Verfahren basiert auf einem hydrostatischen Effekt: Zwischen zwei Drähten, welche durch flüssiges Silizium gezogen werden, bildet sich ein Silizium-Meniskus. Das Silizium erstarrt in Form eines Bandes, welches dann in Scheiben geschnitten wird ("Seifenblasen").

- 3.2-inch- breite Bänder (~ 1 inch pro Minute)
- Prozessierung kontinuierlich
- alle 90 Minuten → 6-foot langes Band
- Neu *Pro Quad*-Schmelzofen entstehen vier Bänder aus polykristallinem Silizium (0,2mm dick, 80mm breit)

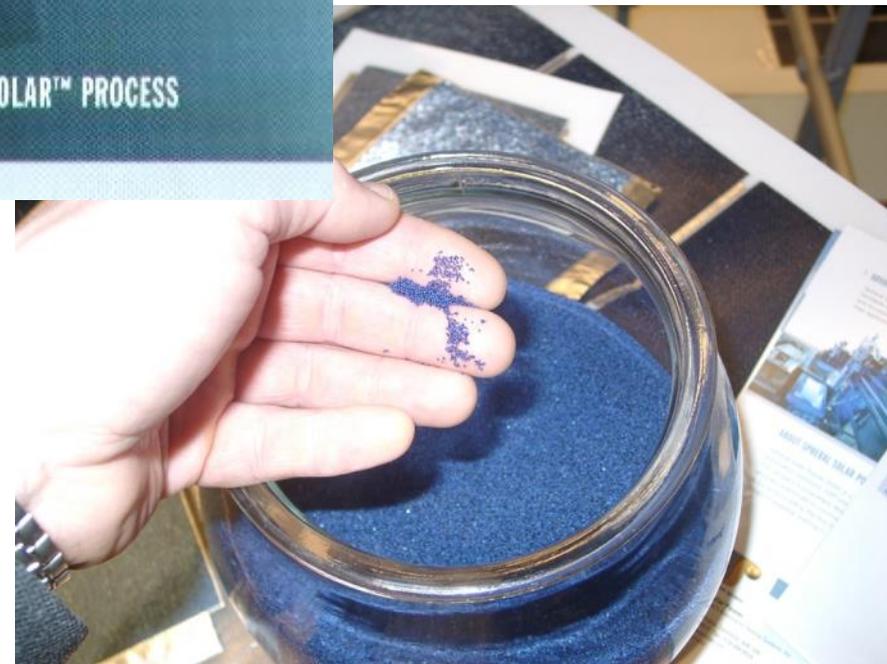
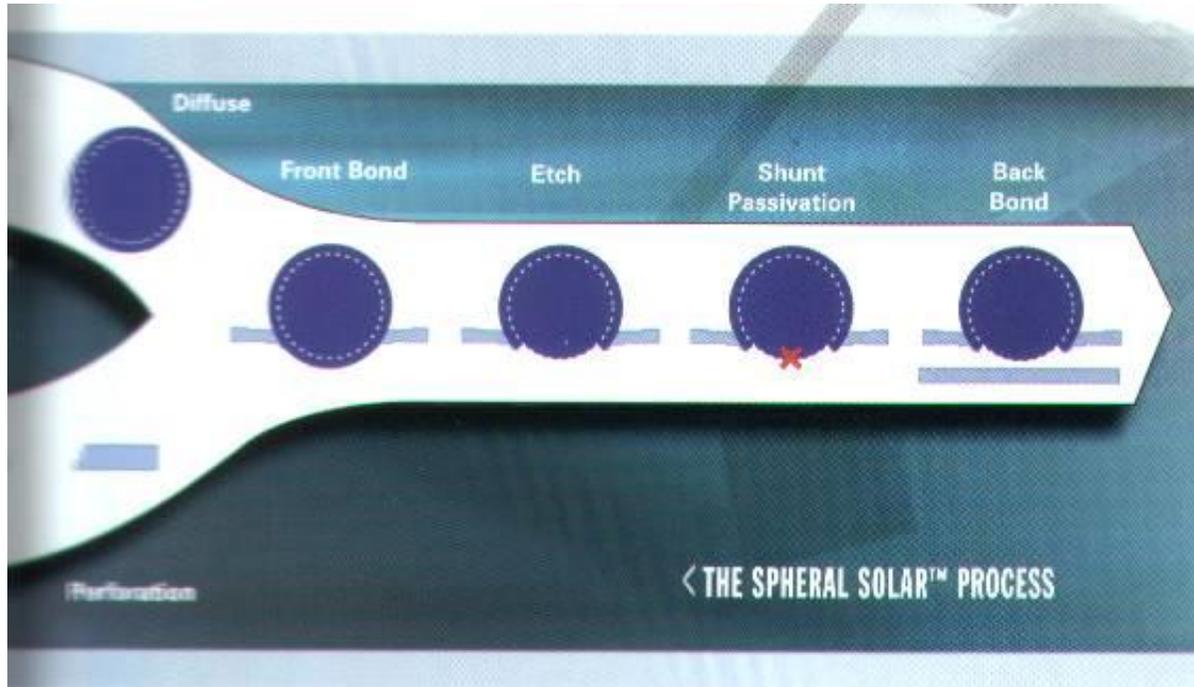
Source: Evergreen Solar, Sovello

Ribbon Growth on Substrate



Spherical Cells

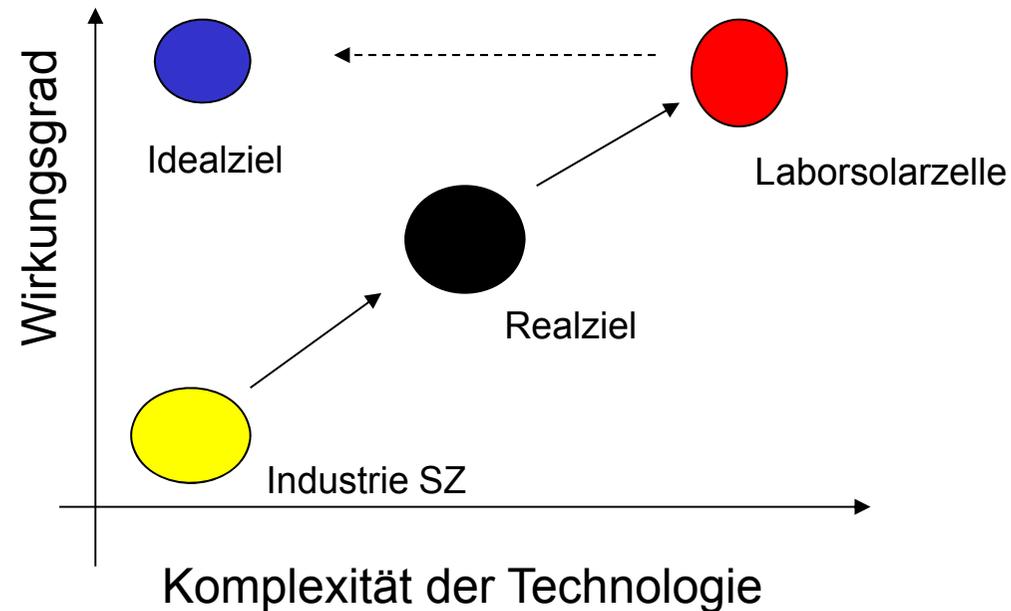
Si-Kügelchen (Durchmesser ca. 1mm) werden zwischen zwei Al-Folien gepresst



6.1.5 Experimentelle Grenzen Si

Si	Korngröße	Dicke	η	
Einkristall	unendlich	300	25	} alles dazwischen
Polykristall grobkörnig	~ 1 cm	$w = 300 \mu\text{m}$	20	
Polykristall feinkörnig	$g \sim 10$ nm	$w = 2 \mu\text{m}$	10	

6.2 Industriell gefertigte Si-Solarzellen



Descriptor	Symbol	Grain Size	Common Growth Techniques
Single crystal	sc-Si	>10cm	Czochralski (CZ) float zone (FZ)
Multicrystalline	mc-Si	1mm-10cm	Cast, sheet, ribbon
Polycrystalline	pc-Si	1 μ m-1mm	Chemical-vapour deposition
Microcrystalline	mc-Si	<1 μ m	Plasma deposition

Si-Historie

- 1953 Erste SZ aus krist. Si, $d=1\text{mm}$, p auf n, Emitter Wrap-Around, $\eta=6\%$
- 1956 **10%**-Si-Solarzelle
- 1958 Erster solarbetriebener Satellit
- 1962 n auf p, Frontfingergrid, $\eta=13\%$
- 1968 Back Surface Field BFS
- 1968 Blockgussexperimente für Infraroptik
- 1974 Flachere ($0.25\ \mu\text{m}$) Emitter, Zufallspyramidenfronttextur, $\eta=17.5\%$
- 1975 Siebdruckkontakte
- 1976 Oxid-Oberflächenpassivierung

Heute: Vergleich mit Mikroelektronik

CMOS: 300mm c-Si Wafer

1000-3000 Chips/Wafer

300 Prozessschritte

7-9 Metallebenen

Kleinste Geometrie 90nm

Standard Siebdruck Solarzelle

Solarzellenfertigung – Hauptprozessschritte

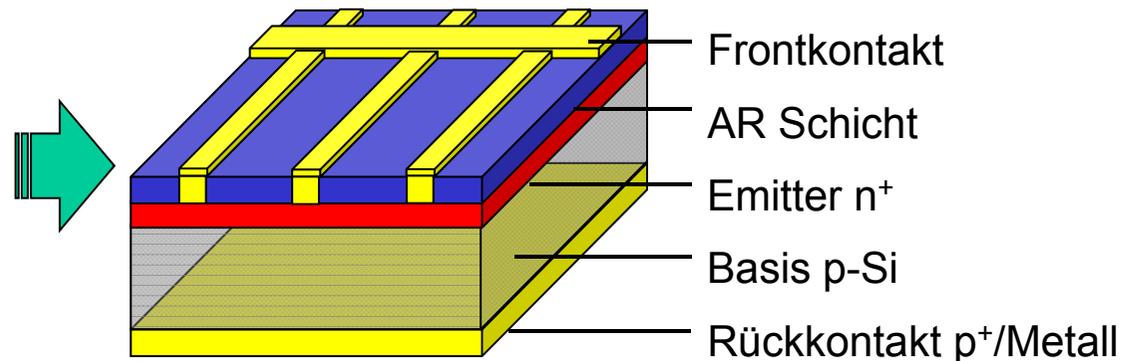
Ausgangsmaterial:

- Kristalline Si-Wafer
- 125 x 125 mm² oder 150 x 150 mm²
- 180-300 µm dick



Solarzellen:

- 14 % Wirkungsgrad
- Verschiedene Farben möglich



(Oberflächenstrukturierung hier nicht gezeigt)

1. Sägen von einkristallinen oder multikristallinen Blöcken
2. Ätzen
zum Entfernen von Sägerückständen (20µm werden auf jeder Seite entfernt)
3. Nur bei mono Si
<100> Orientierung → Texturätzen oder Strukturätzen (vor P-Diffusion)
Pyramiden mit 1-10µm Höhe mit KOH
4. Phosphor-Diffusion
p-Emitter in Si (B-dotiert), im Rohofen bei 900°C
a) Plasmaätzen der Kanten
b) Ätzen (Reinigung) Phosphor Glas
5. Passivierung
Oberflächenpassivierung mit SiOx, Si₃N₄ manchmal auch TiO₂
nicht immer, kann auch weggelassen werden

6. Aufdrucken
von Pasten, die Metallpartikel enthalten durch eine Maske
5-10 μm Ag oder Al (niederschmelzendes Glaspulver \rightarrow ätzt durch Nitrid (4b))

7. Feuerung
Trocknen und Fixierung der Paste bei hohen T
Glaspulver verbessert Haftung
Vorteil von „Screen Printing“ \rightarrow hoher „Metall Yield“
Nachteil: - Grids können nicht schmaler als ca. 100 μm sein
 - Partikeleigenschaft limitiert Leitfähigkeit

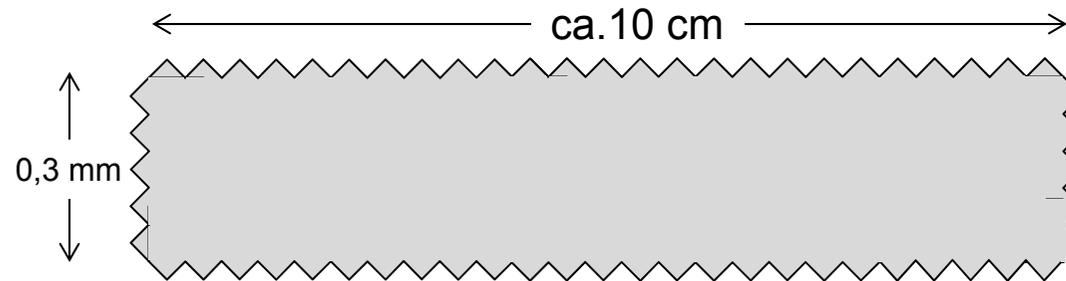
Trotzdem Standardtechnik der Industrie

6. und 7. werden zweimal durchlaufen, 1. Rückkontakt, 2. Frontkontakt

8. Vermessung im Sonnensimulator und Sortierung („matching im string“)

Zusätzlich: Al oder B dotierte Schicht am Rückkontakt
BSF

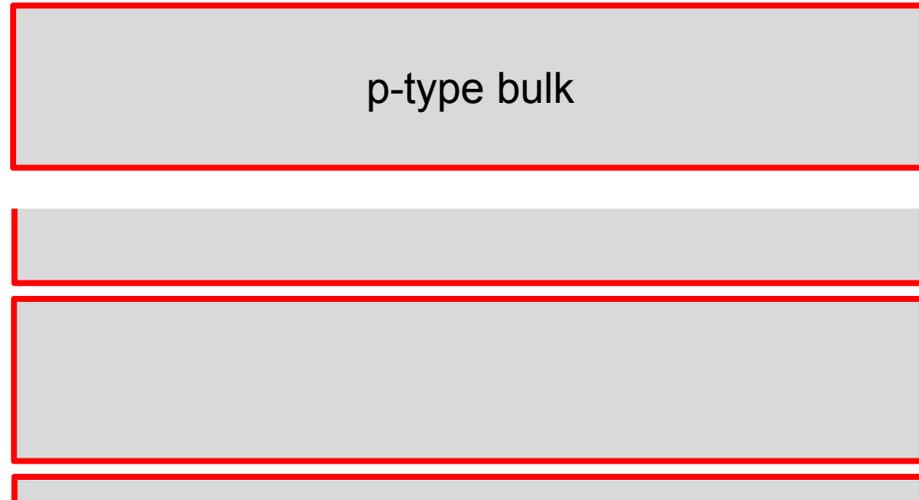
Es werden p-Typ ($1e 16$ Atome/cm³, Bor)
mit ca. 180-300 μ m Dicke eingesetzt.



Wegätzen der Sägerückstände



p-n Kontaktbildung in Phosphor
Atmosphäre bei 800 – 1000 °C



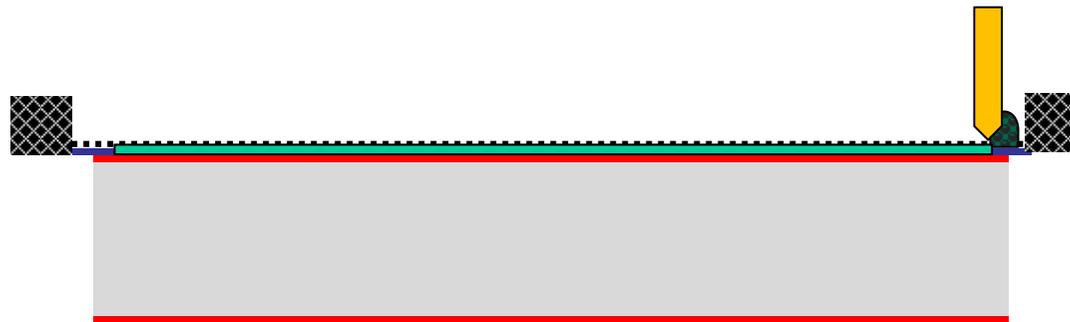
Zellen werden zur Kantenisolation
übereinander gestapelt
Reaktives Plasmaätzen



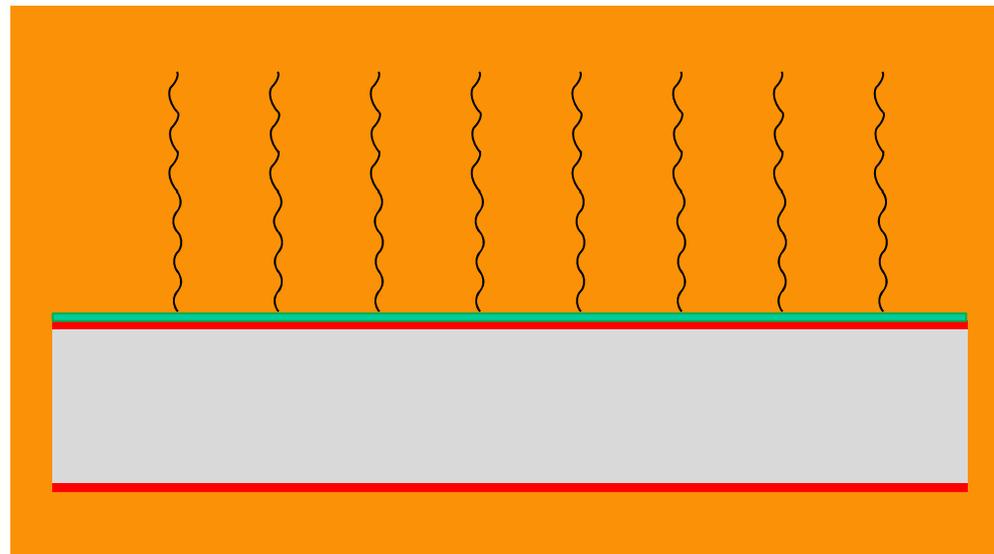
Siebdruck des Rückkontaktes
Eine Maske wird über den Rückkontakt
gelegt. Eine Al und/oder Ag Paste ...



... wird durch die Maske gedrückt.



Die Maske wird entfernt. Die zurückbleibende nasse Metallpaste wird anschließend im Ofen getrocknet. Dabei verdampfen die organischen Bindemittel.



Bei etwas höheren Temperaturen wird der Metallkontakt mit dem Si verbunden (Diffusion).



Dabei wird die rückseitige n-Schicht p-leitend (Konversion).

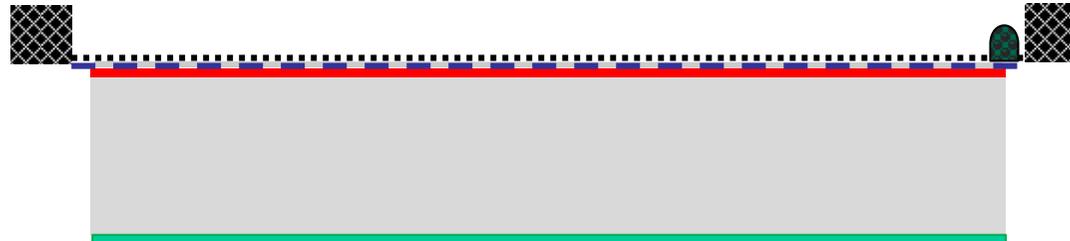


Danach wird die Zelle zum Drucken des Frontkontaktes gedreht.

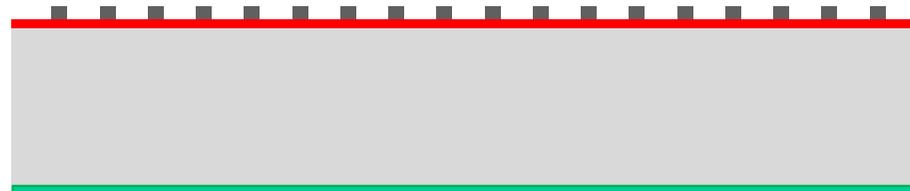


Frontkontakt

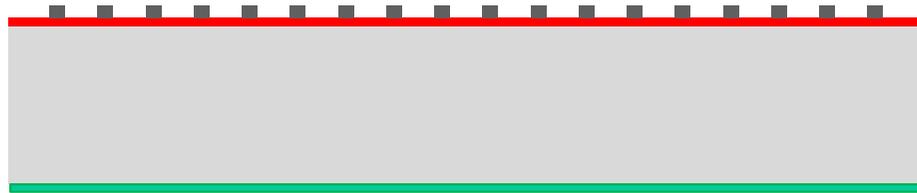
Die Herstellung des Frontkontaktes erfolgt analog, lediglich mit einer modifizierten Maske.



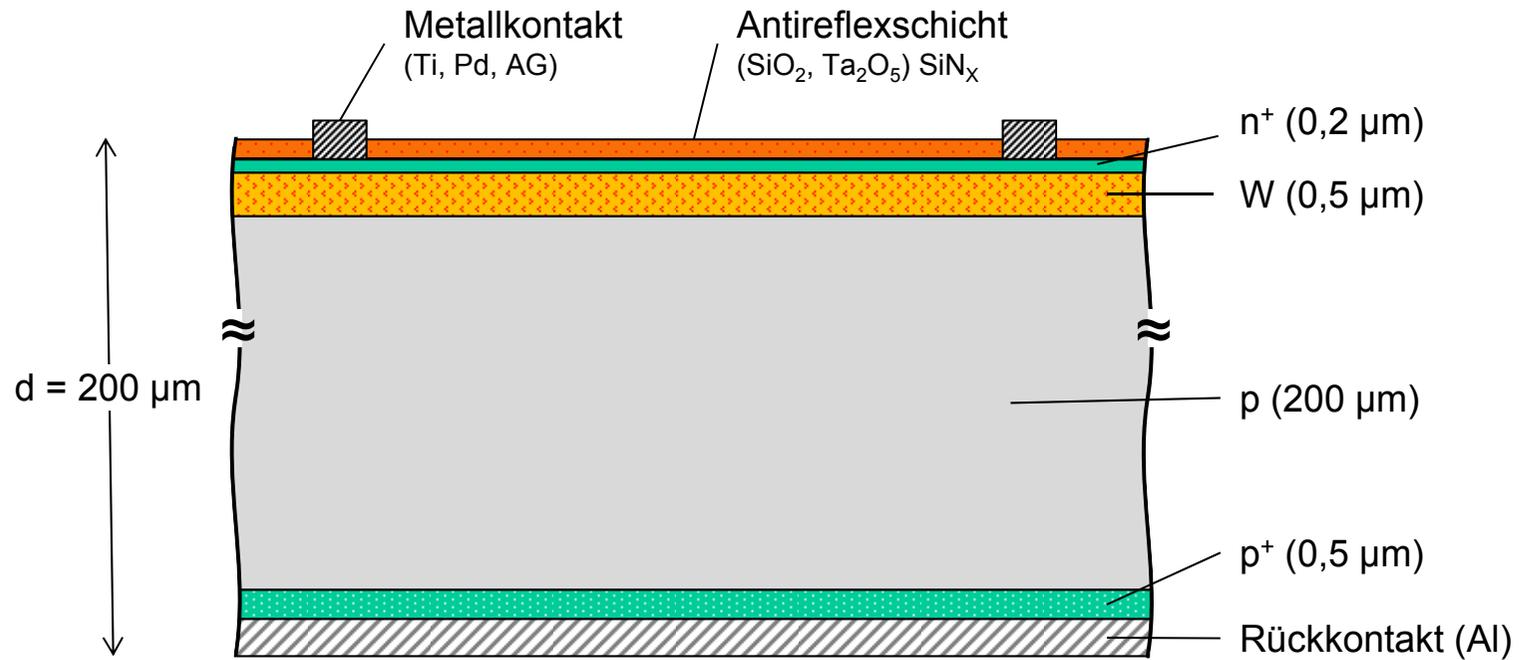
Dieses Muster der Kontaktlinien soll möglichst wenig verschatten. Danach
Feuerung



Die fertige Solarzelle



Aufbau einer kommerziell erhältlichen Solarzelle aus x-Si



Phosphor Diffusion: p-n Übergang

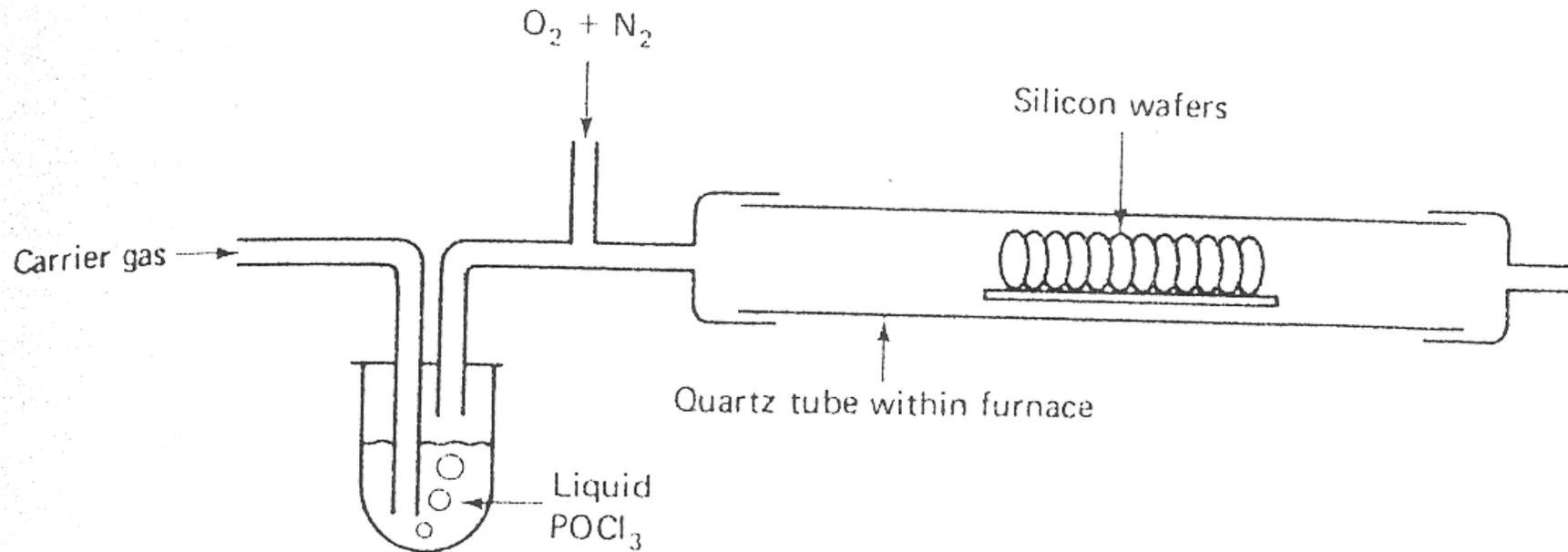


Figure 6.4. Phosphorus diffusion process.

- Verdampfen von flüssigem POCl_3
- Transport mit Trägergas
- Deposition einer P dotierten Glasschicht auf Wafer
- Eindiffusion von P bei $T = 800\text{-}900^\circ\text{C}$

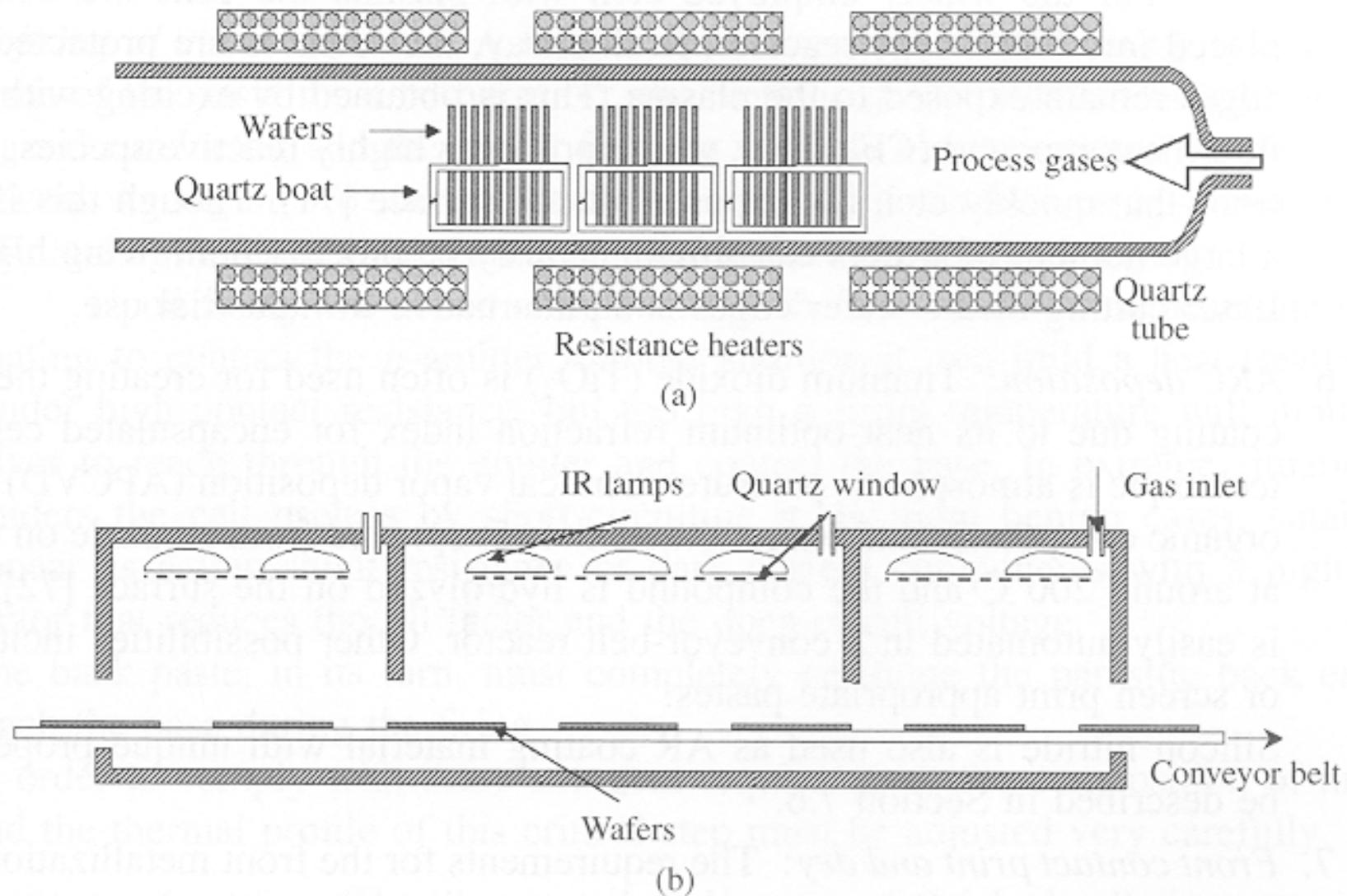


Figure 7.7 (a) A quartz furnace; and (b) a belt furnace for the diffusion of phosphorus

Diffusionsöfen mit hoher Produktivität



Mehrstockofen



Durchlaufofen

Kontakte

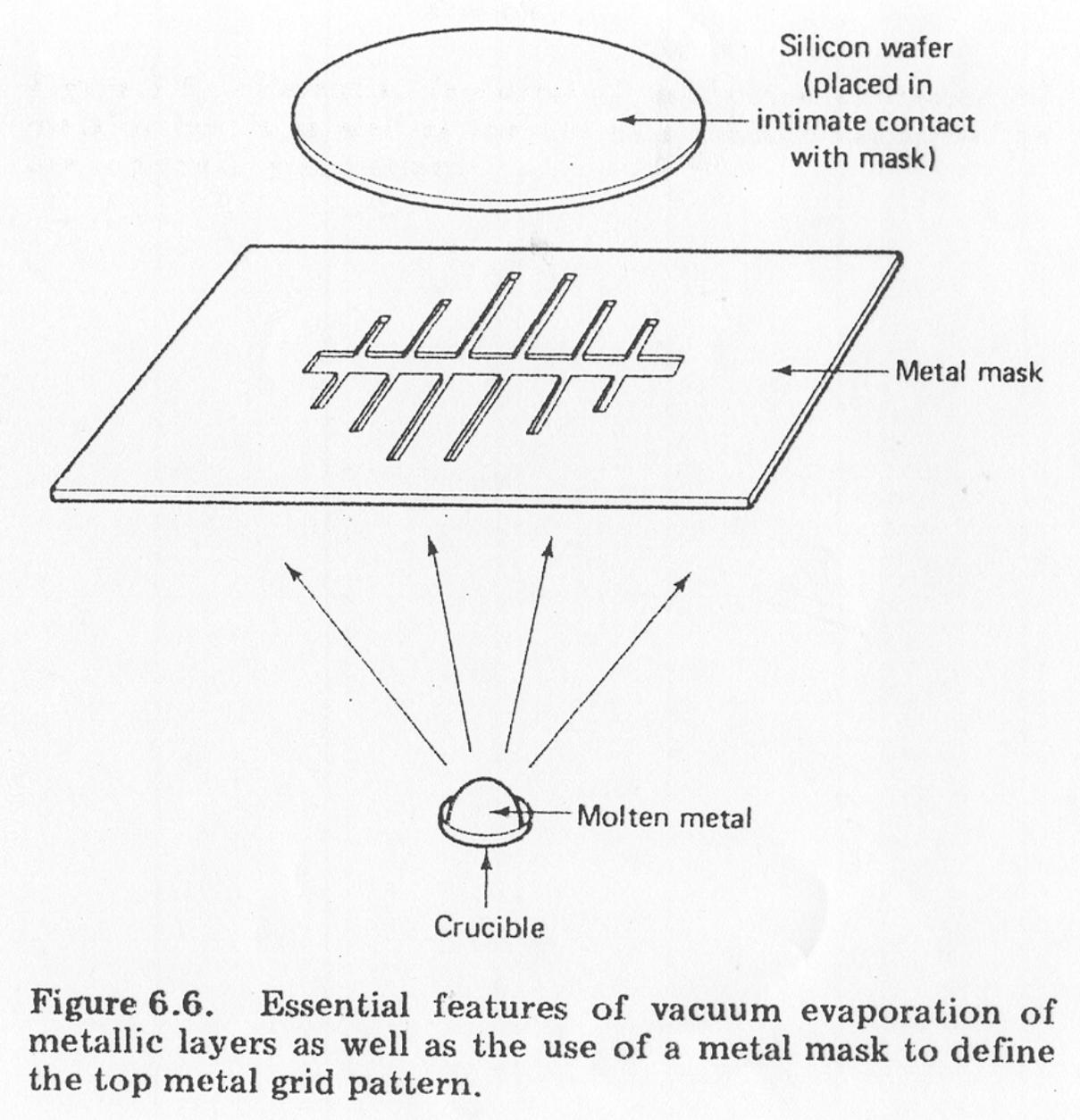


Figure 6.6. Essential features of vacuum evaporation of metallic layers as well as the use of a metal mask to define the top metal grid pattern.

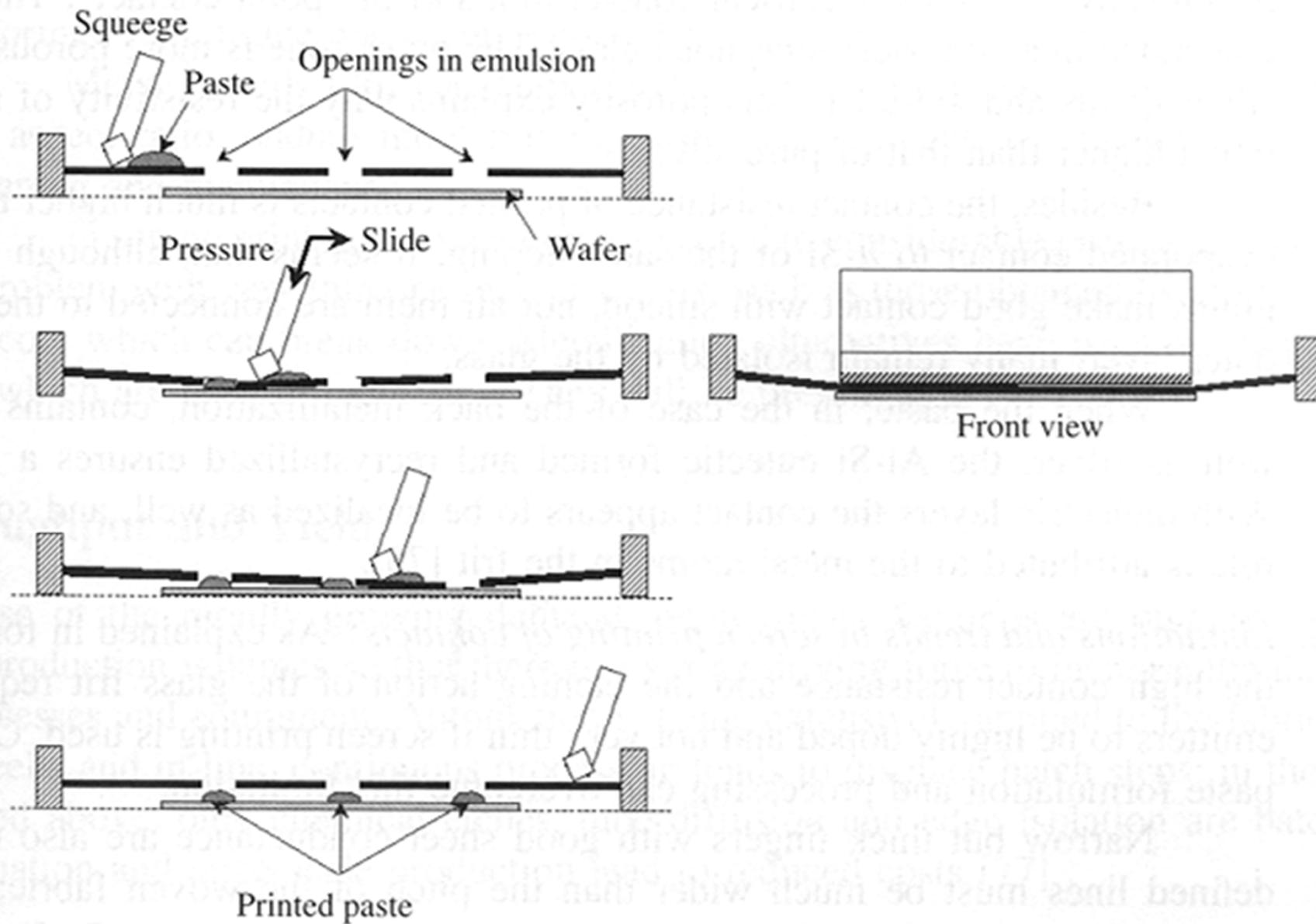
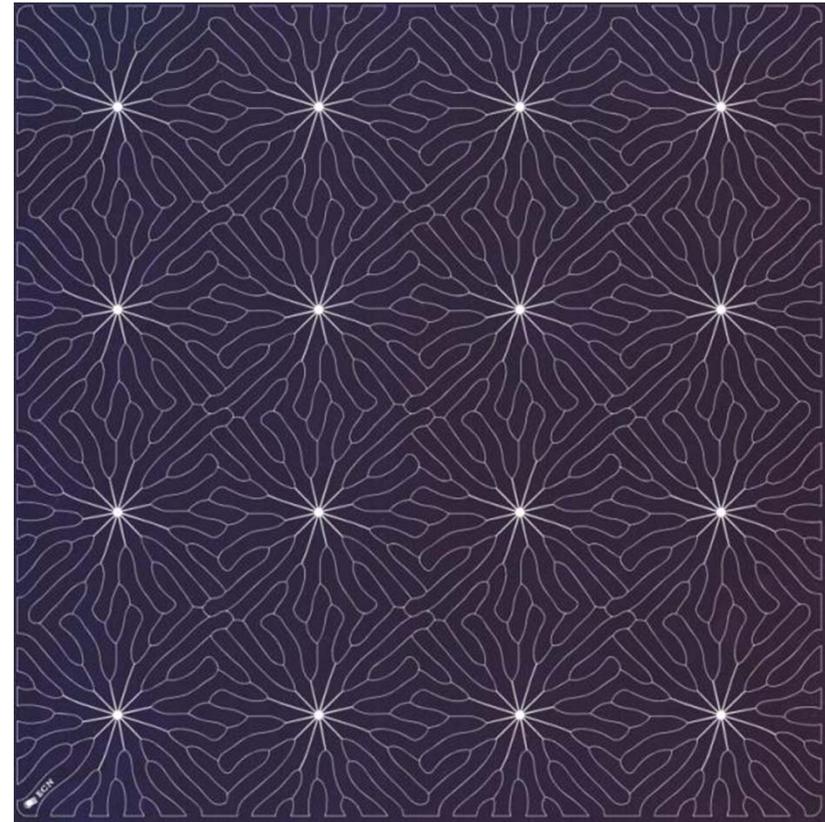
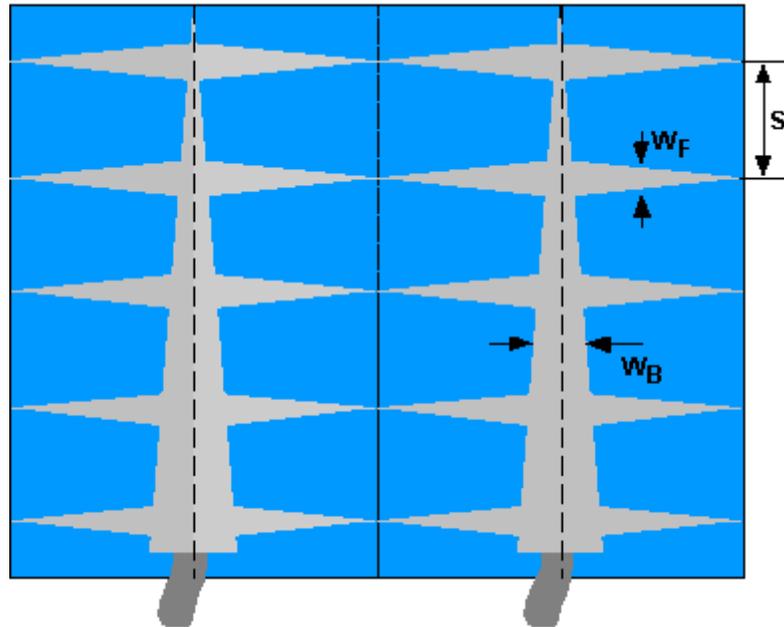
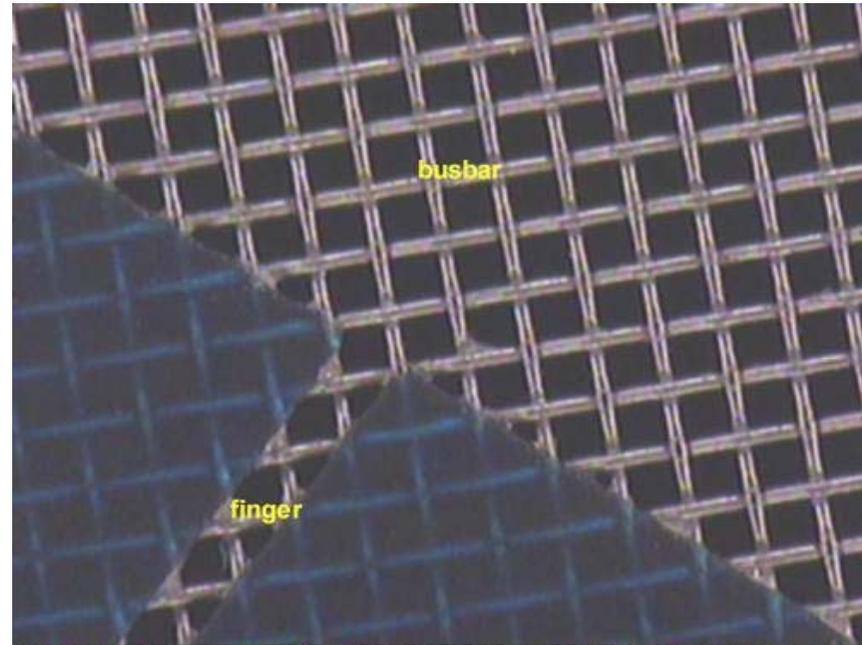
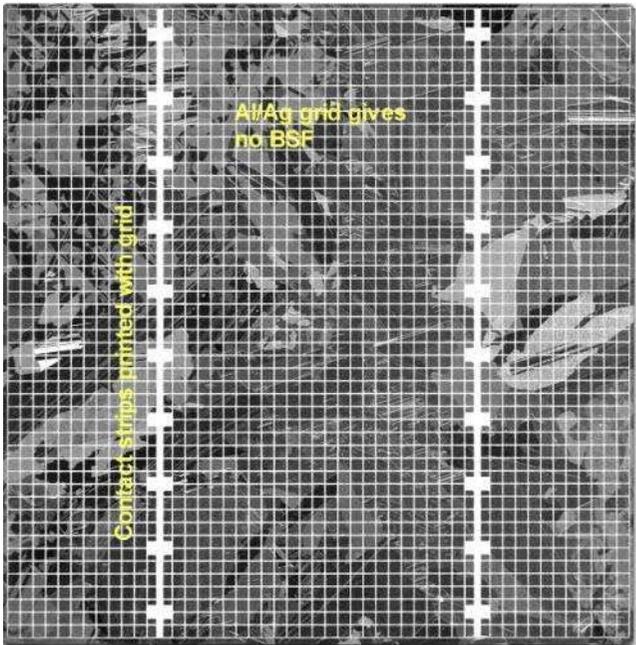
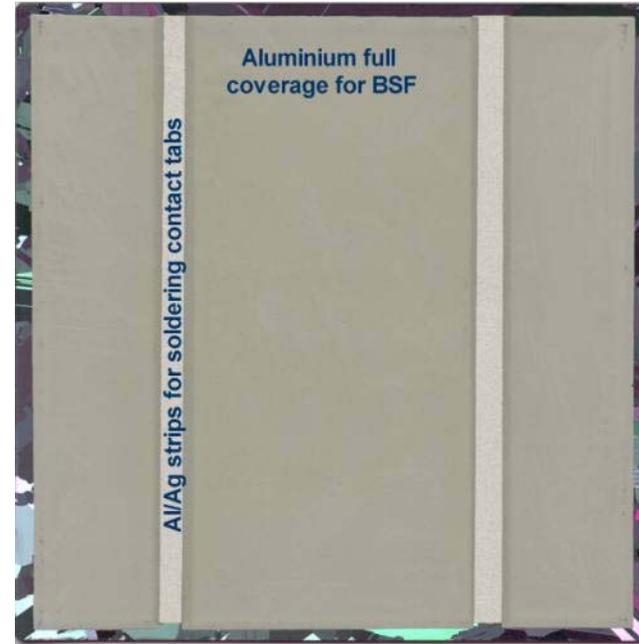
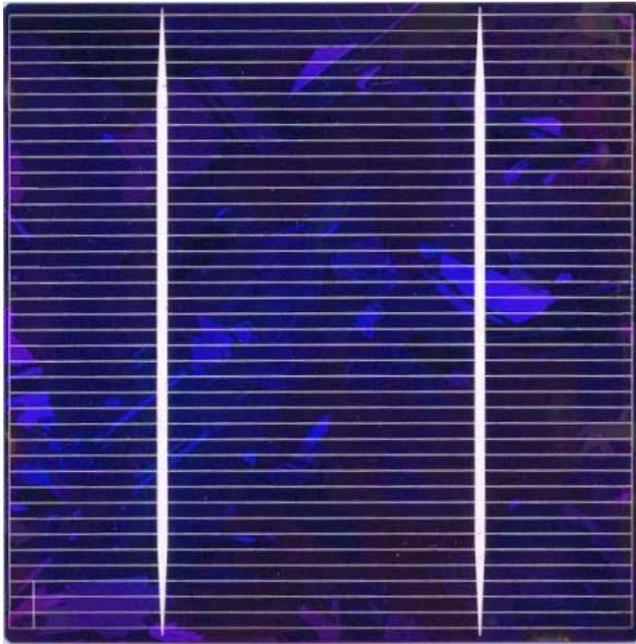


Figure 7.9 Illustration of a printing sequence

Griddesign



Spezielle Strukturen für Rückkontaktzelle



Zusammenfassung: Konventionelle Zelle

Nur ein Hochtemperaturschritt (P-Diff. Bei 900°C)

Sintern benötigt nur 400°C

→ relativ günstig

→ Oberflächen haben eingeschränkte elektrische und optische Qualität

Frontkontakt:

kleine Lebensdauer im hochdotierten Emitter

unstrukturierte Oberfläche hat hohe Reflektivität

Rückkontakt:

hohe Rekombinationsrate für Elektronen

resistive Verluste, da kein ohmscher Kontakt

optische Verluste durch unerwünschte Absorption am Metall/HL Interface
und niedrige Reflektivität

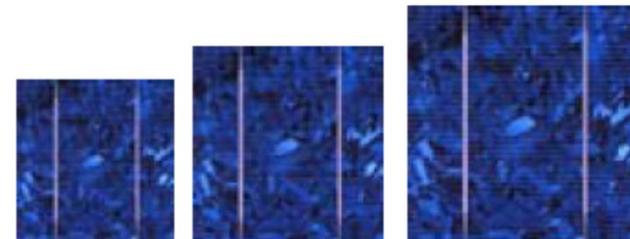
→ deshalb KOH Ätzen zur Oberflächenstrukturierung

Größe:

4 inch 100 x 100 mm² I_{sc} ~ 3,0 A

5 inch 125 x 125 mm² I_{sc} ~ 4,9 A

6 inch 156 x 156 mm² I_{sc} ~ 8,5 A



Vorteil von Siebdruck

Hohe Metallausbeute, Kosten

Nachteil

- Grids können nicht schmaler als 100µm sein
- Partikeleigenschaft limitiert die Leitfähigkeit

Verbesserungen der Siebdrucksolarzelle

- Verbesserte Kontakte Siliziumnitrid-Antireflexschicht und Passivierung
- Oberflächenstrukturierung durch KOH-ätzen Pyramiden Verringerung der Reflexion
- Aluminium auf der Rückseite Rückseitenfeld, p+ doping
- Selektiver Emitter
- RTP (Schnelles Prozessieren mit optisch beheizten Öfen)
- Reduzierung der Kontakt-Fingerbreite auf unter 100 µm
- Wrap-around Metallisierung

Solarworlds dünne Silberfinger

Mit einem neuen patentierten Druckverfahren will der Solarworld-Konzern die Leistung seiner PV-Zellen deutlich steigern.

Die Breite der Silberkontakte auf der Oberfläche der Solarzelle wird auf 30 Mikrometer halbiert. Laut Holger Neuhaus, Forschungschef bei SolarWorld, hat das mehrere Vorteile: „Wir verringern die Abschattung der Oberfläche und die Verluste durch Widerstände in den Kontakten. Auch der Verbrauch an Silber, einem der Hauptkostentreiber in der Solarzellenfertigung, sinkt.“

Neu ist das Verfahren in dem die Silberkontakte auf die Vorderseite der Solarzellen aufgebracht werden. Im heute üblichen Siebdruckverfahren wird eine Silberpaste auf die Solarzelle gedruckt. Nach einem Sinterschritt bildet sie die Kontakte der Solarzelle. SolarWorld nutzt nun ein Extrusionsverfahren, bei dem die Silberpaste zusammen mit einem organischen Stützmaterial auf die Solarzelle gedruckt wird. Dies soll ein Auslaufen der Silberpaste verhindern, so dass extrem feine Linien von 30 Mikrometern möglich werden. Beim Sintern der Silberkontakte verdampft das Stützmaterial wieder. Weil die entstehenden Kontakte höher sind, weisen sie eine bessere Leitfähigkeit auf. Die Leistung der Module soll durch das neue Verfahren um 5 Watt steigen.

Quelle: Solarthemen April 2013

Neueste Trends: „Multi Wire“

