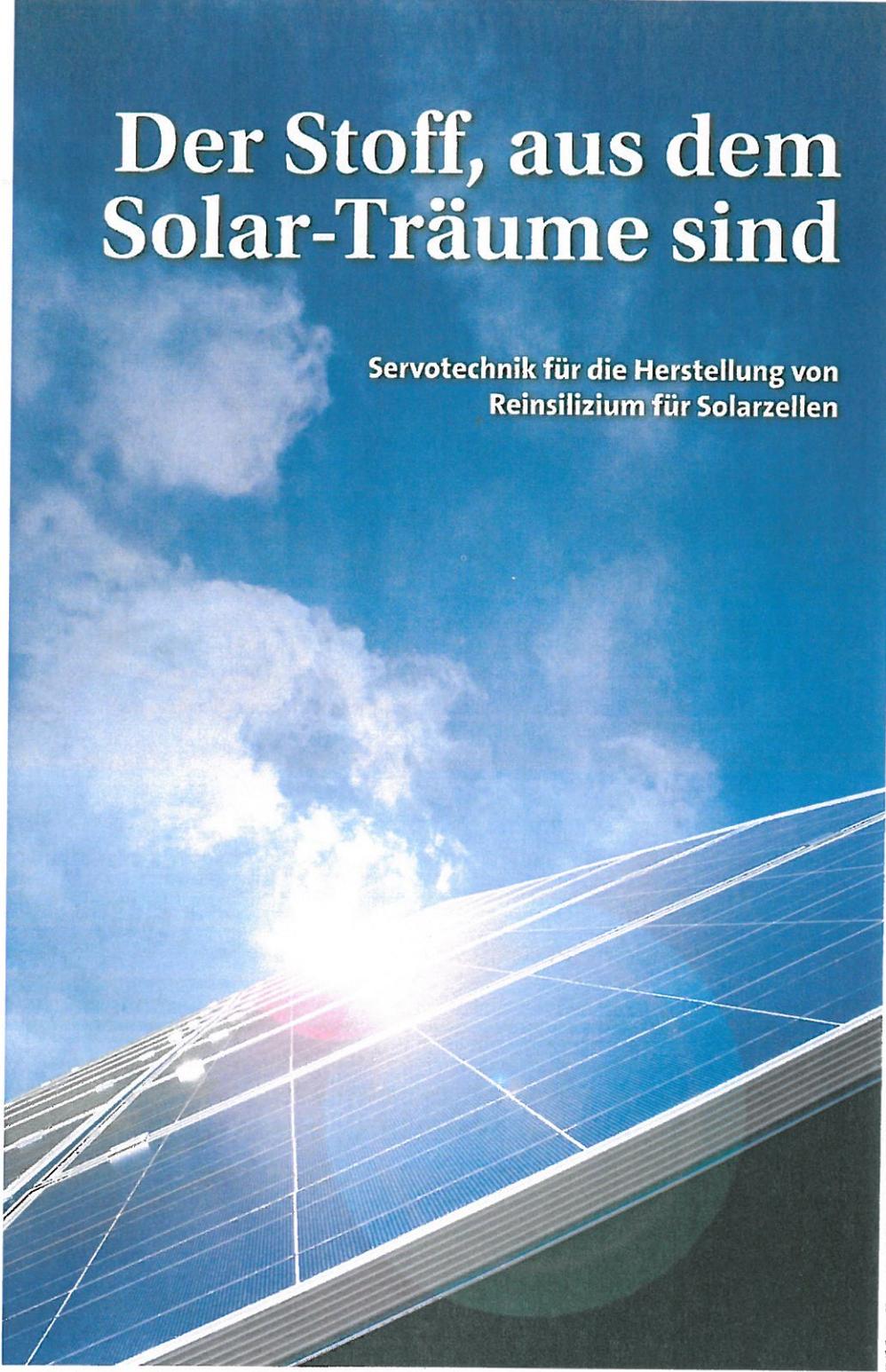


Der Stoff, aus dem Solar-Träume sind

Servotechnik für die Herstellung von Reinsilizium für Solarzellen



Volker Goritzka

Nicht zuletzt durch das Energieeinspeisegesetz und die öffentliche Förderung regenerativer Energien boomt der Markt für Photovoltaikanlagen. Die Basis für Solarzellen bilden sogenannte Ingots, dunkel schimmernde Säulen (Bild 2) aus polykristallinem Reinsilizium, die im Tiegelziehverfahren nach Czochralski entstehen. Bei diesem Prozess kommt moderne Servotechnik zum Einsatz, von der höchste Präzision gefordert ist.

Volker Goritzka ist im Lenze Vertrieb in Herborn tätig.

Das Tiegelziehverfahren wurde bereits 1916 vom polnischen Wissenschaftler Jan Czochralski entdeckt. Bei diesem Prozess wird hochreines, polykristallines Silizium in den Quarztiegel einer Einkristallzuchtanlage (EKZ, Bild 3) eingebracht, anschließend wird der Prozessraum evakuiert und unter einer Argon-Schutzgas-Atmosphäre mit Hilfe einer Widerstandsheizung eingeschmolzen. Nach einer Temperaturstabilisierung der Schmelze bei etwa 1420 °C taucht von oben ein rotierender einkristalliner Silizium-Impfkristall mit leichter Benetzung und Temperaturabsenkung in die Schmelze ein – die Kristallisation beginnt. Mit dem langsamen Herausziehen nach oben bildet sich schließlich ein am Impfling hängender, zylindrischer Silizium-Einkristall (Bild 2).

Präzise geregelt

Voraussetzung dafür ist die exakte Regelung von Ziehgeschwindigkeit und Temperatur. Durch Variation dieser beiden Parameter lassen sich in den Anlagen der Crystal Growing Systems GmbH (CGS) die Größe und physikalischen Eigenschaften des Kristalls beeinflussen (Bild 4). Die Baureihe EKZ des Aßlarer Unternehmens ist mit Feinwerktechnik im größeren Maßstab zu vergleichen: Um einen sogenannten Einkristall herzustellen, ist ein Höchstmaß an Präzision und Prozess-Know-how erforderlich.

Für die Servo-Antriebstechnik leiten sich daraus die Forderungen nach einer sehr hohen Rundlaufgüte und Positioniergenauigkeit ab. Am Kopf der Anlage treibt ein Synchron-Servomotor (Bild 5) die Winde mit dem Wolfram-Seil an, die den wachsenden Ingot aus der Schmelze zieht. Die Servomotoren der Baureihe MCS von Lenze tragen maßgeblich dazu bei, dass der Durchmesser der Siliziumsäule durchgängig konstant bleibt.

Ein weiterer MCS-Motor dreht dabei den Seilkopf. Die Regelung beider Motoren übernehmen Lenze-Servo-Umrichter der Reihe 9300. Als Rückführung für den geschlossenen Regelkreis nutzt CGS die standardmäßig in den MCS-Motoren integrierten robusten Resolver. Die Anbindung der Regler an die Anlagensteuerung erfolgt über Profibus.

Optimale Rundlaufeigenschaften ohne Vibrationen

Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl der Antriebsachsen war der hohe erforderliche Regelbereich von 1:10 000 bei 0,2 bis 2 000 min⁻¹. Hintergrund: Im Prozess wachsen die Kristalle mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 mm/min. Diesen „Schleichgang“ müssen Regler und Motoren exakt beherrschen.

Ebenso müssen sie in der Lage sein, im Chargierbetrieb – also dem Beladen des

Bildquelle: Simon Kraus, foto124.de

Tiegels für einen neuen Ingot – auch 1 000 mm/min zur Verfügung stellen, um die Prozessnebenzeiten zu senken.

„In früheren Maschinengenerationen haben wir mit zwei Achsen und zwei Getriebemotoren gearbeitet. Das war allerdings mechanisch sehr aufwendig“, blickt Tomas Baumecker, Konstruktionsleiter Elektrotechnik und Automation bei CGS, zurück.

Die Synchron-Servomotoren sind in der Sinus-Einzelpol-Technologie mit speziell ausgeformten Magnetpolen sowie Neo-

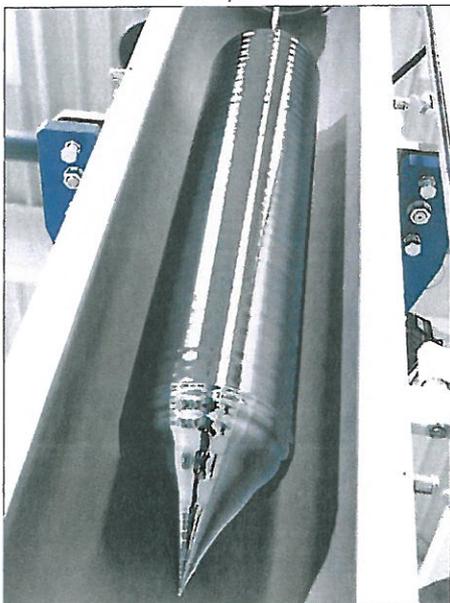
**„Der hohe Stellbereich der
Lenze-Lösung ist
antriebstechnisch sicher als
Highlight zu betrachten.“**

dym-Eisen-Bor-(NdFeB)-Permanentmagneten auf dem Rotor aufgebaut. Daraus resultieren optimale Rundlaufeigenschaften durch größtmögliche Regelkreisverstärkung und minimale Rastmomente, ein geringes Massenträgheitsmoments des Rotors sowie sehr gute Dynamikeigenschaften.

Zudem drehen die Synchronservos nahezu vibrationsfrei. „Schwingungen und Vibrationen können wir uns bei keiner Achse leisten. Sie würden sich negativ auf die möglichst glatte Oberfläche des Schmelzbades auswirken und die Kristallisation beeinträchtigen“, erläutert Baumecker.

**Erster Schritt zur
Photovoltaikanlage**

Zwischen 60 und 150 kg beträgt das Chargengewicht in den Quarzschmelztiegeln mit ihren, je nach Baugröße, 360 bis 540 mm



2: Die Ingots, Säulen aus polykristallinem Reinsilizium, stellen nach der Herstellung des Rohsiliziums den ersten Schritt auf dem Weg zur Photovoltaikanlage dar.

www.industrie-service.de

schnell, übersichtlich, aktuell



**Kreative Lösungen
für Ihre
Anwendungen!**

In Getrieben, Elektromotoren, Fördertechnik, Windenergieanlagen, Fahrmotoren von Schienenfahrzeugen, Pumpen, Landmaschinen... – überall finden Sie NKE-Wälzlager im Einsatz.

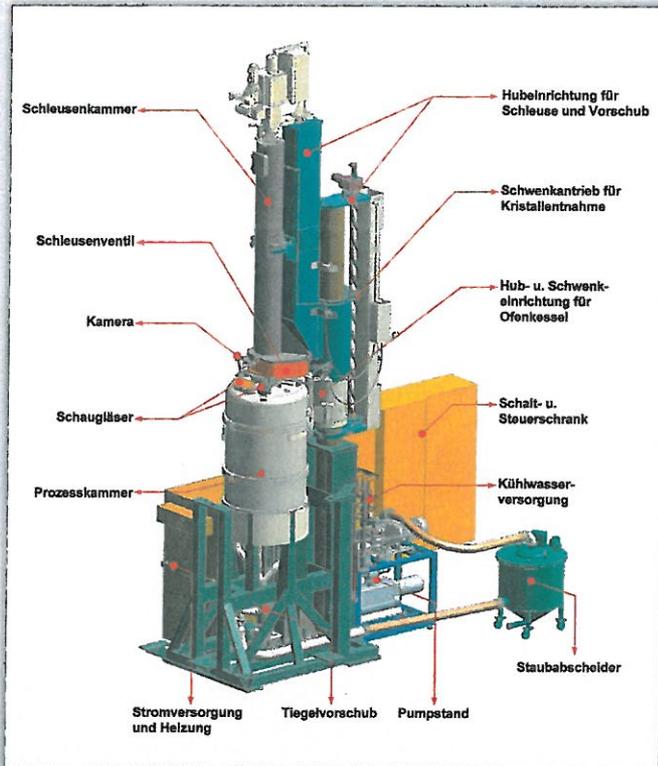
Wir entwickeln und produzieren Wälzlager in der Premium-Klasse, auch für Ihre Anwendungen.

Bestellen Sie jetzt unseren 1.300-seitigen Hauptkatalog – kostenlos unter www.nke.at/Katalog

NKE AUSTRIA GmbH
Im Stadtgut C4
A-4407 Steyr, Austria
Tel: +43 7252 86667
Fax: +43 7252 86667 59
E-mail: info@nke.at
www.nke.at



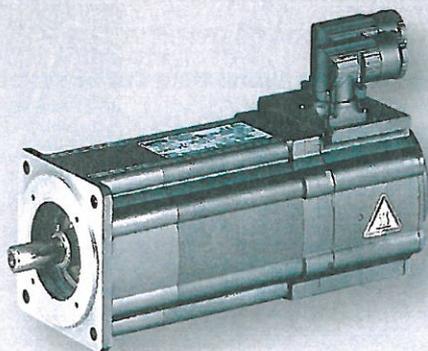
NKE
BEARINGS



3: Übersicht über eine EKZ-Anlage: Am Kopf der Anlage treibt ein Synchron-Servomotor die Winde mit dem Wolfram-Seil an, die den wachsenden Ingot aus der Schmelze zieht.



4: Blick in eine Produktionshalle mit Einkristallzuchtanlagen: Die Antriebs- und Automatisierungstechnik ist so konzipiert, dass sich die Kristallisation optimal beherrschen lässt.



5: Die Synchron-Servomotoren in der Sinus-Einzelpol-Technologie tragen maßgeblich dazu bei, dass der Durchmesser der Siliziumsäule durchgängig konstant bleibt.

Durchmesser. Weil bei der Kristallisation der Füllstand durch den Materialaustrag kontinuierlich abnimmt, gleicht CGS dieses mit einer weiteren Vertikalachse aus. Der Hubantrieb – auch hier eine Kombination aus MCS-Motor und Servoregler 9300 – hält die Oberfläche entsprechend der Produktionsgeschwindigkeit immer exakt auf der gleichen Höhe.

Was für den Seilantrieb gilt, trifft auch beim Tiegelvorschub zu. Während bei der Kristallisation überaus langsam verfahren wird, stellt die Servo-Achse bei der Beschickung für einen neuen Ingot deutlich höhere Geschwindigkeiten zur Verfügung. Die Sollwerte erhalten die Regler in allen Prozessen per Profibus über die zentrale SPS.

Die Antriebs- und Automatisierungstechnik der EKZ-Anlagen ist so konzipiert, dass sich die Kristallisation optimal beherrschen lässt. In der Praxis entsteht durch Variation von Temperatur und Ziehgeschwindigkeit zunächst ein Dünnhals, bevor anschließend ein verstärktes Breitenwachstum für die Schulter eingeleitet wird.

Ist der gewünschte Enddurchmesser erreicht, geht es bei konstantem Durchmesser in die Länge. Den Abschluss bildet ein ke-

Vom Wafer zur Solarzelle

Die Siliziumeinkristalle werden mechanisch rundgeschliffen und Markierungen zum Erkennen der Kristallorientierungen angebracht. Diamant- oder Drahtsägen zersägen den Werkstoff in dünne Scheiben, die anschließend mit feinkörnigen Diamantschleifscheiben planparallel geschliffen werden. Oberflächendefekte lassen sich auch durch Plasma wegätzen, um eine kristallographisch fehlerfreie Oberfläche zu erhalten. Die dadurch bedingte Aufrauung der Scheibe wird durch Polieren in Reinräumen entfernt.

Solarzellen können sowohl aus mono- als auch aus multikristallinem Silizium bestehen. In beiden Fällen wird bereits bei der Produktion der Kristalle das Silizium mit Bor dotiert, um eine der stromleitenden Schichten der Solarzelle zu erzeugen. Nach der Herstellung der Wafer wird in einer phosphorhaltigen Atmosphäre eine weitere stromleitende Schicht auf der Oberfläche erzeugt. Diese beiden Schichten bilden den pn-Übergang der Solarzelle. Die Waferdicke (p-leitend) liegt im Bereich von 300 µm, die der Phosphorschicht (n-leitend) bei 1 µm. Die Solarzelle wird nun mit einer Anti-Reflex-Schicht versehen, um durch höhere Lichtabsorption an der Oberseite die Effizienz zu erhöhen. Abschließend versieht ein Filmdruckverfahren die Vorder- und Rückseite der Solarzelle mit Leiterbahnen zur Stromabnahme.

geliger Endkonus, der dafür sorgt, dass die thermische Belastung des mehr als 2 m langen Ingots so gering wie möglich bleibt. Der ganze Prozess dauert – je nach Länge und Dicke – zwischen 30 und 60 h.

Die Ingots selbst stellen nach der Herstellung des Rohsiliziums den ersten Schritt auf dem Weg zur Photovoltaikanlage dar. Auch in den weiteren Verarbeitungsschritten kommt Technik von Lenze zum Einsatz – beispielsweise beim exakten Sägen und Schleifen des teuren Werkstoffes bis hin zu den fertigen Wafern (siehe Kasten).

LENZE
4553390

WWW
www.vfv1.de/#4553390



Synthetische Spezialschmierstoffe

WCI Deutschland GmbH

Vorster Heidweg 4 D-47661 Issum-Sevelen
Telefon +49(0)2835-95744 Fax +49(0)2835-95743
E-Mail: info@wci.de Home: www.wci.de

Weitere Informationen 4411470
www.vfv1.de/#4411470

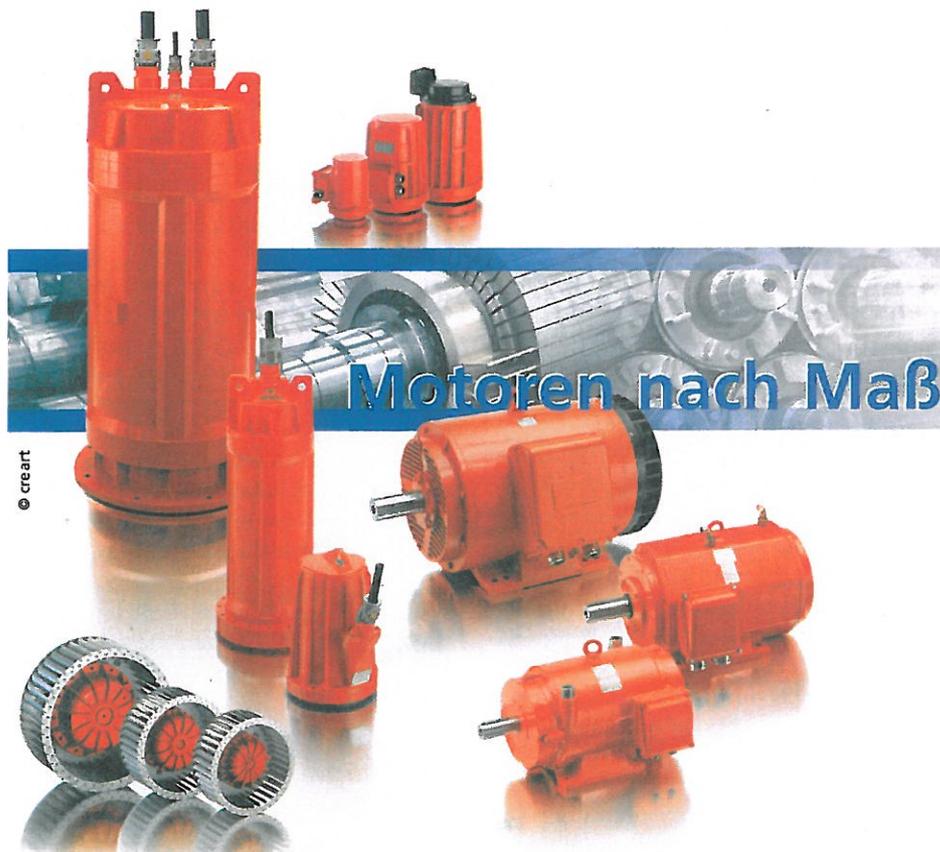
Wie aus Quarzsand Silizium entsteht



Um reines Silizium zu erhalten, muss dem Quarzsand (SiO_2) unter Zuhilfenahme von Kohlenstoff der Sauerstoff entzogen werden. Da Silizium und Sauerstoff atomar sehr fest miteinander verbunden sind, verbinden sich Kohlenstoff und Sauerstoff des Quarzsands erst bei sehr hohen Temperaturen (rund 1 800 °C) zu Kohlendioxid. Dieses wird abgeleitet und Silizium bleibt zurück. Dieses Verfahren ist sehr energieaufwendig und erfordert pro Kilogramm Rohsilizium etwa 14 kWh.

Das so gewonnene Rohsilizium enthält noch etwa 1 % Verunreinigungen. Da für Computer- oder Photovoltaikzwecke jedoch eine Reinheit von mindestens 0,0000001 % (1 ppb) erforderlich ist, wird das Rohsilizium mit reiner Salzsäure zu Trichlorsilan umgesetzt – einer bei rund 30 °C siedenden Flüssigkeit, die in großen, über 30 m hohen Anlagen destilliert wird. Das Destillat, der „Siliziumbrand“, enthält jetzt nur noch Verunreinigungen unter 1 ppb.

Die Rückführung in festes Silizium gelingt über eine Reaktion des Trichlorsilans mit hochreinem Wasserstoff. Dazu wird ein Gemisch der Gase in Kontakt mit heißen „Dünnstäben“ aus hochreinem Silizium gebracht, an denen sich neues Silizium in kleinen, ungeordneten Kristallen als Polysilizium abscheidet. Die Stäbe werden dabei immer dicker. Bei etwa 180 mm Durchmesser wird der Prozess beendet und der Stab zerkleinert. Allerdings fehlt es dem Silizium jetzt noch an innerer Ordnung. Hierfür gibt es im Wesentlichen vier Verfahren – eines davon ist das von Czochralski.



Motoren nach Maß

Außenläufermotoren,
Drehstrommotoren IP 55/23,
Drehstrom-
Schleifringläufermotoren,
Drehstrom-Servomotoren,
Frequenzregelbare
Drehstrommotoren,
Thyristorregelbare
Drehstrommotoren,
Wassergekühlte
Drehstrommotoren,
Einphasenmotoren,
Fahr- und Hebezeugmotoren,
Feingangantriebe,
Flachmotoren,
Rotierende Frequenzumformer,
Gleichstrommotoren IP 44/23s,
Positionierantriebe,
Reluktanzmotoren,
Schiffsmotoren,
Tauchmotoren,
Topfmotoren

EMOD Motoren GmbH · Elektromotorenfabrik
D-36364 Bad Salzschlirf · Fon: 06648/51-0 · Fax: 06648/51143
<http://www.emod-motoren.de> · E-Mail: info@emod-motoren.de

...die treibende Kraft

EMOD[®]
M O T O R E N

Weitere Informationen 3858450 www.vfv1.de/#3858450