

Links: Verfahrensschritte der Kristallisation: Einschmelzen des Siliziumgranulats, Ziehen des Dünnhalses und der Schulter, Längenwachstum.

Mitte: Silizium ist der Grundstoff für die Stromerzeugung aus Sonnenstrahlen.

Rechts: Hervorgegangen aus einer 1 420 Grad heißen Schmelze: Die dunkel schimmernden Ingots bilden die Basis für Solarzellen.

Bild: Fotolia, Thant Images

Der Stoff, aus dem Energie wächst

Servotechnik von Lenze lässt Ingots aus der Schmelze entstehen. Ingots sind Siliziumkristallsäulen, die im Tiegelziehverfahren nach Czochralski aus polykristallinem Reinsilizium entstehen. Der Prozess selbst erfordert von der Lenze-Servotechnik höchste Präzision.

von Volker Goritzka

Silizium ist der Werkstoff, aus dem die Wafer für die Solarzellen der Photovoltaikanlagen entstehen. Hergestellt wird hochreines Silizium durch einen Prozess, den bereits 1916 der polnische Wissenschaftler Jan Czochralski entdeckt hat. Dabei wird hochreines, polykristallines Silizium in den Quarztiegel einer Einkristallzuchtanlage (EKZ) eingebracht, anschließend der Prozessraum evakuiert und unter einer Argon-Schutzgas-Atmosphäre mit Hilfe einer Widerstandsheizung eingeschmolzen. Nach einer Temperaturstabilisierung der Schmelze bei etwa 1 420 °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. 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. Die Baureihe ‚EKZ‘ des Aßlärer Unternehmens ist im Grunde genommen mit Feinwerktechnik im größeren Maßstab zu vergleichen. Einen so genannten Einkristall herzustellen, erfordert ein Höchstmaß an Präzision und Prozess-Know-how. Für die Servo-Antriebstechnik leiten sich daraus sowohl eine exzellente Rundlaufgüte und als auch die Positioniergenauigkeit ab.

Am Kopf der Anlage treibt ein Synchron-Servomotor die

Winde mit dem Wolfram-Seil an, die den wachsenden Ingot aus der Schmelze zieht. Die Lenze-Reihe ‚MCS‘ trägt damit 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.

Wesentliches Kriterium bei der Auswahl der Antriebsachsen war der hohe erforderliche Regelbereich von 1:10 000 bei 0,2 bis 2 000 Umdrehungen pro Minute. Hintergrund: Im Prozess wachsen die Kristalle mit einer Geschwindigkeit von etwa einem Millimeter in der Minute. Diesen ‚Schleichgang‘ müssen Regler und Motoren überaus exakt beherrschen, im Chargierbetrieb – also dem Beladen des Tiegels für einen neuen Ingot – aber auch 1 000 mm in der Minute 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 aufwändig“, blickt Tomas Baumecker, Konstruktionsleiter Elektrotechnik und Automation bei CGS, zurück. „Der hohe Stellbereich der Lenze-Lösung ist antriebstechnisch sicher als Highlight zu betrachten.“

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

„Dies ist eine gelungene Lenze Antriebslösung: mit weitem Stellbereich und exakten Bewegungen.“

Dr. Edwin Kiel, Lenze





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

Tomas Baumecker, CGS

dym-Eisen-Bor (NdFeB) Permanentmagneten auf dem Rotor aufgebaut. Daraus resultieren optimale Rundlaufeigenschaften durch größtmögliche Regelkreisverstärkung und minimale Rastmomente, ein geringes Massenträgheitsmoment 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.

Dank Servo-Achse höhere Geschwindigkeiten

Zwischen 60 und 150 Kilogramm beträgt das Chargengewicht in den Quarzschmelztiegeln mit ihren – je nach Baugröße – 360 bis 540 Millimeter 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 gleicher Höhe. Was für den Seilantrieb gilt, trifft auch beim Tiegelvorschub zu. Wird bei der Kristallisation überaus langsam verfahren, stellt die Servo-Achse bei der Beschickung für einen neuen Ingot deutlich höhere Geschwindigkeiten zur Ver-

fügung. Die Sollwerte erhalten die Regler in allen Prozessen per Profibus über die zentrale SPS.

Antriebslösungen aus Hameln

Die Antriebs- und Automatisierungstechnik der ‚EKZ‘-Anlagen beherrscht die Kristallisation optimal. 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 kegelförmiger Endkonus, der dafür sorgt, dass die thermische Belastung des mehr als zwei Meter langen Ingots so gering wie möglich bleibt. Der ganze Prozess dauert – je nach Länge und Dicke – zwischen 30 und 60 Stunden.

Antriebslösung nach Bedarf

Die Ingots selbst sind nach der Herstellung des Rohsiliziums ein erster Schritt auf dem Weg zur Photovoltaikanlage. Auch bei den weiteren Verarbeitungsschritten kommt Lenze zum Einsatz – beispielsweise beim exakten Sägen und Schleifen des teuren Werkstoffes bis hin zu den fertigen Wafern. Sie werden von Antriebslösungen aus Hameln im Beschichtungsprozess unter einer Plasmaflamme exakt positioniert.

Dazu Dr. Edwin Kiel, Leiter Innovation bei Lenze: „Diese Anwendung zeigt, was Lenze unter einer Antriebslösung versteht: Durch einen weiten Stellbereich und exakte Bewegungen konnten wir die Antriebsaufgabe genau so lösen, wie CGS es benötigt.“

ke-webCODE

www.konstruktion.de

Lenze

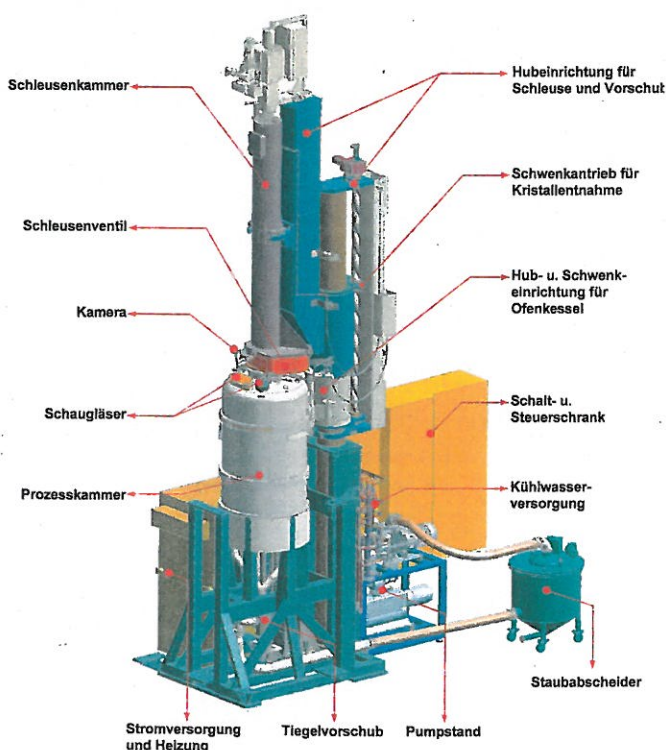
www.lenze.de

Crystal Growing Systems GmbH

www.cgs-gmbh.de

Code eintragen und go drücken

ke10015



Antriebslösung im ‚Schleichgang‘

Synchron-Servomotoren

Die Synchron-Servomotoren sind in Sinus-Einzelpol-Technologie mit speziell ausgeformten Magnetpolen sowie Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) Permanentmagneten auf dem Rotor aufgebaut. Daraus resultieren optimale Rundlaufeigenschaften durch größtmögliche Regelkreisverstärkung und minimale Rastmomente, ein geringes Massenträgheitsmoment des Rotors sowie sehr gute Dynamikeigenschaften. Zudem drehen die Synchronservos nahezu vibrationsfrei.

Servomotoren der Reihe ‚MCS‘ mit guten Rundlaufeigenschaften treiben am Kopf der Einkristallzuchtanlagen den Seilkopf an.



Links: Feinwerktechnik im größeren Maßstab: prinzipieller Aufbau der Einkristallzuchtanlage, in der ein einkristalliner Silizium-Impfkristall gezogen wird.