

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
1/12

### Deutsche Version

## Bild 1 - Aufmacherbild

### Außentrennsäge

Fluidgelagerte Trennscheibe in Dünnschicht-Technologie

## Effizienter Schnitt

Extremer Kostendruck in der Waferfertigung ebnet wiederentdeckter Dünnschicht-Sägetechnologie den Weg. Prozesssichere, wartungsarme Lösungen für automatisierte Bearbeitung multikristalliner Silizium-Bricks eröffnen hohe Einsparpotenziale.

Der internationale Photovoltaikmarkt befindet sich in einem gewaltigen Umbruch. Galt in den letzten Jahren noch der hohe Siliziumpreis als Entscheidungskriterium, ist heute der gesamte Fertigungsprozess entscheidend für den Preis pro Wafer. Um eine drastische Kostensenkung zu erreichen, müssen alle Produktionsprozesse auf den Prüfstand. Hohe Prozesssicherheit, Zuverlässigkeit, deutlich reduzierte Wartungsintervalle, geringe Verbrauchskosten und eine flexible Integration in teil- und vollautomatisierte Linien sind Mindestanforderungen marktführender Hersteller. Selbst bislang noch als Niedriglohnländer angesehene Regionen suchen nach Einsparpotentialen, um den hohen Personalanteil und die mittlerweile auch in Asien steigenden Personalkosten zu drosseln. Weitere Vorteile durch eine Automatisierung in der Brickfertigung liegen in der höheren Auslastung, optimalen Ausnutzung der Investition, im höheren Ertrag durch Reduzierung von Beschädigungen am Material und nicht zuletzt in der 100prozentigen Rückverfolgbarkeit und Qualitätskontrolle.

Die effiziente Waferproduktion beginnt bereits in der Herstellung der Silizium-Bricks. Die aufwändigen Vorstufen der Waferfertigung beeinflussen entscheidend die nachgesetzten Prozessschritte. Insbesondere aber die Qualität der Wafer und damit die Güte der daraus hergestellten Photovoltaik-Module. Um Kosten und Aufwand einschätzen zu können, lohnt sich zunächst ein Blick auf den aufwändigen Produktionsweg vom Sand zum Wafer.

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
2/12

### Deutsche Version

Bevor aus Silizium-Bricks hauchdünne Wafer entstehen, fallen zahlreiche Fertigungsschritte an. Diese variieren je nach Bearbeitungstechnik und sind abhängig vom gewählten Ausgangsmaterial. Wafer aus monokristallinem Silizium (Czochralski-Verfahren<sup>(1)</sup>) weisen den höchsten Wirkungsgrad auf. Zunächst werden zylinderförmige Rohsäulen zur Weiterverarbeitung aufbereitet. Dann werden die Endstücke (Top and Tail), danach die Testwafer von etwa einem bis zwei Millimeter zur Material- und Qualitätsprüfung abgetrennt, auch „Croppen“ genannt. Anschließend werden die gezogenen Rohsäulen für die Weiterbearbeitung in Segmente zugeschnitten und in das handelsübliche Waferformat (125 x 125 oder 156 x 156 Millimeter) quadriert. Multikristallines Silizium dagegen wird in quadratischen Quarztiegel in heute üblichen Größen (Länge x Breite x Tiefe, Maße in Millimeter) wie beispielsweise 878 x 878 x 480 (G5) geschmolzen. Der Rohbrick wird nach der „Kristallisation“ auf einer Trennsäge (heute überwiegend einer Drahtsäge) zu quaderförmigen Rohblöcken (Bricks) in das Waferformat zugeschnitten. Nach dem Schleifen der Mantelflächen und dem Fasen der Kanten erfolgt auch hier der Cropingschnitt, der das Abtrennen der Kappen- und Bodenschicht der Säule bezeichnet. Wegen ihrer Verunreinigungen, Siliziumkarbideinschlüsse und der verminderten Leitfähigkeit eignen sich diese Endstücke nicht für die Weiterverarbeitung zum Wafer. Hersteller sind deshalb auf innovative Lösungen angewiesen, um bereits in vorgelagerten Prozessschritten die „Spreu vom Weizen“ zu trennen. Das heißt, schon während der Brickfertigung werden schadhafte Stellen des Siliziums herausgetrennt, um ausschließlich einwandfreies Silizium weiterzuverarbeiten. Bereits zu diesem Zeitpunkt wird „spätere Ausschussware“ vermieden. Durch das vorab geprüfte und ausgewählte Material wird die Maschinenauslastung wesentlich optimiert. Letztlich werden die Produktionskosten dadurch erheblich reduziert. Der Preis pro Wafer wird bei gleichbleibend guter Qualität spürbar günstiger.

Die Zeit des hochpreisigen Siliziums mit dem Spitzenpreis 500 US-Dollar pro Kilogramm sind längst vorbei. Derzeit variiert der Einkaufspreis des Rohmaterials auf dem Spotmarkt um rund 20 US-Dollar pro Kilogramm. Viele Jahre beeinflussten die bizarren Bewegungen im Rohstoffpreis maßgeblich die Technologien zur Brickbearbeitung. Galt es lange, den Schnittverlust des teu-

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
3/12

### Deutsche Version

ren Rohmaterials zu reduzieren, greift man heute wieder auf die über viele Jahrzehnte bewährte Methoden zurück. Lange verkannt, jetzt wiederentdeckt, entpuppt sich die Außentrennsäge mit der innovativen Dünnsäge-Technologie als Trendsetter. Etablierte Methoden wie Band-, Innenloch- und Drahtsägen werden durch die neue Ausführung der altbewährten Außentrennsäge abgelöst. Zur Entscheidungsfindung, welche der möglichen Technologien in der Silizium-Brickfertigung künftig eingesetzt wird, ist es ratsam, die gängigen Verfahren mit der neuen Dünnsäge-Technologie abzuwägen und deren Integrationsmöglichkeit in den Automatisierungsprozess kritisch zu überprüfen. Denn ohne Prozess-Automation und Robotics ist eine optimierte Fertigung mit hoher Prozess- und Qualitätsstabilität nicht möglich.

### Bild 2 - Innenansicht Brick

IR-Messung von Silizium-Bricks

### Schnittverlust ohne Bedeutung

Die Außentrennsäge, der Vorläufer der neuen „Dünnsäge-Technologie“ zählt zu den ältesten Trennverfahren. Seit vielen Jahrzehnten wird die Säge, bestückt mit einer 3,5 Millimeter starken Diamanttrennscheibe, industriell für spröde Werkstoffe wie Glas, Keramik und Metall verwendet. Diese Technologie bietet nicht nur maximale Prozessstabilität, sondern überzeugt durch die einfache und vor allem robuste Anwendung. Das Werkstück kann speziell in der Photovoltaik ohne komplizierte Spanntechnik in einer einfachen Prismenaufgabe positioniert werden und gewährleistet einen spannungs- und damit ausbruchfreien Schnitt (cut without chipping). Zu den Pionieren dieser Bearbeitungstechnik zählt weltweit gesehen die deutsche Arnold Gruppe. In den frühen 1980er-Jahren wurden schon speziell für die Anforderungen der Siliziumhersteller unterschiedliche Trennmaschinen hergestellt. Bereits 1995 wurden erste Sägezentren mit automatischen, robotergestützten Arbeitsvorgängen für das Be- und Entladen ausgeliefert. In Zeiten des hohen Siliziumpreises verlor allerdings die nahezu wartungsfreie und extrem robuste Außentrennsäge wegen des sägeblattbedingten erhöhten Materialverbrauchs für Jahre ihre Bedeutung. Andere zum Teil wesentlich aufwändigere Technologi-

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvC)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
4/12

### Deutsche Version

en, die einen geringeren Siliziumverbrauch versprochen, verdrängten die bewährte Außentrennsäge.

Die traditionelle Technik der Bandsäge kommt aus der Holzbearbeitung. Neben Jaespa, einem bekannten deutschen Unternehmen, bieten auch asiatische Hersteller Bandsägen an. Im Vergleich zu anderen Sägetechniken ist die Anschaffung einer Bandsäge zwar günstig, die Folgekosten dagegen umso höher. So stellt beispielsweise die Bandführung eine große Herausforderung dar. Die Umlenkrollen des Bandes laufen durch das aggressive, hoch abrasive Wasser-Siliziumgemisch. Wegen des hohen Verschleißes muss die Bandführung in regelmäßigen Abständen ausgewechselt werden. Zudem unterliegt das aneinander geschweißte Sägeband hohen Spannungen, gerissene Bänder während der Produktion sind keine Seltenheit. Obwohl eine Reparatur einfach und schnell durchgeführt werden kann, sind Prozesssicherheit und Prozessstabilität erheblich eingeschränkt. Die diamantbelegten Sägebänder müssen im Durchschnitt alle acht Stunden ausgetauscht werden. Bei einer durchgängigen, täglichen Produktion (24/7) belaufen sich alleine diese Werkzeugkosten bei einem niedrig angesetzten Preis pro Sägeband von EUR 100,-/Stück auf nahezu EUR 110.000,- pro Jahr; Stillstand, Personal, Logistik noch nicht eingerechnet. Obwohl der Wechsel und die erneute Inbetriebnahme mit relativ geringem Zeitaufwand durchgeführt werden, treiben die Sägebänder die Betriebskosten spürbar in die Höhe. Nicht zu unterschätzen ist der qualitative Nachteil. Bei hoher Vorschubgeschwindigkeit (größer als 40 Millimeter/Minute) leidet die Schnittqualität. Der relativ ungenaue Trennschnitt verursacht meist einen weiteren Prozessschritt. Oft werden die Stirnflächen der Siliziumbricks nachgeschliffen. Das bedeutet nicht nur das Investment in zusätzliche Schleifmaschinen, sondern bedingt auch weitere Kosten in Medien, Verbrauchsmaterial, Wartung und Personal. Bandsägen können in automatisierte Linien integriert werden. Ihre häufigen Ausfallzeiten erfordern aber einen höheren Personaleinsatz, um die Unterbrechungen entsprechend gering zu halten.

In den siebziger Jahren wurde die Innenlochsäge für das Trennen von Wafern in der Halbleiterindustrie, vorneweg von dem schweizerischen Unternehmen Meyer Burger, entwickelt und später auch für die Photovoltaik-

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvC)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
5/12

### Deutsche Version

Industrie verwendet. Auch die Innenlochsäge ist ein spezielles Trennverfahren für spröde Werkstoffe. Es erlaubt extrem präzise Schnitte mit schmaler Schnittbreite von 0,5 Millimeter und weniger und zeichnete sich so durch den geringen Siliziumverlust aus. Gegenüber konventionellen Sägen unterscheidet sich die Innenlochsäge durch ihre innen liegende Trennfläche. Vereinfacht beschrieben ist das Innenlochtrennen eine spezielle Kreissägetechnik. Die Scheibe ist am äußeren Rand wie ein Trommelfell im Schlagzeug eingespannt. In der Mitte verfügt das Sägeblatt über ein Loch, dessen mit Diamantsplittern beschichtete Innenkante die Schneidfläche bildet. Je nach Vorschubgeschwindigkeit und den geforderten Qualitätsansprüchen rechnet man mit einem durchschnittlichen Zeitaufwand von rund sieben Minuten pro Schnitt bei einem Säulenformat von 156 x 156 Millimeter. Nach rund 1.000 Schnitten muss das Sägeblatt manuell ausgetauscht werden. Selbst für einen geübten Werker dauert der Ein- und Ausbau samt Einrichtung mehrere Stunden. Der Materialwert des Sägeblattes liegt bei rund EUR 500,--, netto, das bedeutet rund EUR 35.000,-- Werkzeugkosten pro Jahr; zusätzlich muss der Stillstand der Produktion gerechnet werden. Als vor Jahren extrem hohe Siliziumpreise den Markt bestimmten, war die Innenlochsäge trotz aufwändiger und kostenintensiver Technik vorteilhaft. Der wartungsintensive Sägeprozess zeigt sich gerade bei steigenden Produktionsvolumina als ungeeignet zur Integration in automatisierte Anlagenkonzepte.

Führend bei Drahtcroppingsägen sind die Schweizer Spezialisten HCT, die vor wenigen Jahren von Applied Materials, USA, übernommen wurden. Eindeutiger Vorteil der Drahtsäge ist auch hier der geringe Siliziumverlust im Sägeprozess. Gerade bei dieser Sägetechnologie muss man aber mit einem extrem hohen manuellen Aufwand für die Nebenarbeiten rechnen. Zunächst werden bis zu 35 Bricks unter dem Drahtfeld der Säge platziert. In einem Durchgang, das heißt mit 70 Schnitten, werden bei allen Säulen Tops und Tails gleichzeitig abgesägt. Das eigentliche Trennen der Siliziumbricks erledigt die sogenannte Slurry. Ein teures Gemisch aus Polyethylenglykol (PEG) und Siliziumkarbid, das am Schneidedraht der Säge haftet. Reißt der Draht, muss das gesamte Drahtfeld der Säge komplett neu aufgespult werden; ein zeitintensiver Maschinenstillstand und teurer Produktionsausfall bleiben nicht aus. Enorm hoch sind die Rüstzeiten für das manuelle Bestücken. Auch die

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvC)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
6/12

### Deutsche Version

notwendigen Reinigungen des Schneidtisches nach jedem Durchgang sind äußerst zeitintensiv. Das teure Slurry im Sägeprozess durch einen diamantbesetzten Draht zu ersetzen, ist noch in der Entwicklungsphase. Unabhängig ob mit oder ohne Slurry bleibt dieses Verfahren sehr unflexibel. Die Kosten für Diamantdraht sind ebenso erheblich. Die Integration von Drahtsägen in Automationsprozesse ist logistisch sehr aufwändig und daher mit hohen Investitionskosten verbunden. Mittelfristig wird diese Sägetechnik aus Kostengründen nicht mehr für das Croppen eingesetzt.

### Dünoblatt-Säge setzt Maßstab

Mit der neuen Produktgeneration der „Dünoblatt-Sägetechnik“ findet in der Brickfertigung die Renaissance des ältesten Trennverfahrens statt. Diese alte, aber dennoch neue Technologie der Außentrennsäge wird von Arnold Gruppe für das Croppen von multikristallinen Siliziumbricks vorgesehen. Zudem werden Maschinen für das Croppen und Quadrieren von monokristallinen Bricks angeboten. Manuelle, halbautomatische und vollautomatische Abläufe sind möglich. Die Dünoblatt-Sägetechnik mit neu konzipierter Trennscheibenführung baut zwar auf der bewährten und vertrauten Kreissägeblatt-Technik auf, wurde aber mit zusätzlichen Vorteilen ausgestattet, die eine kostenbewusste Brickfertigung zulässt. Statt der marktüblichen Blattstärke von 3,5 Millimeter sind diese Sägen mit schlanken 1,5 Millimeter Sägeblättern ausgestattet. Dabei wird der Siliziumverlust um etwa 50 Prozent reduziert. Das Herzstück der Säge-Technologie ist die Trennscheibe aus einem speziell entspannten und behandelten Stahlkern von knapp 1,2 Millimeter. Auf dessen Rand werden Segmente einer metallisch gebundenen Diamantkonzentration aufgelötet. Die Belaghöhe der Trennscheibe beträgt 6,5 Millimeter und ist für bis zu 15.000 Schnitte ausreichend dimensioniert. Der Wechsel des Sägeblattes benötigt maximal eine halbe Stunde. Die seitens Industrie geforderten engen Toleranzen der Parallelität – Trennscheibe zum Werkstück – kleiner als 0,2 Millimeter, Winkligkeit kleiner als 0,3 Millimeter und Chipping (Abplatzungen) kleiner als 0,6 Millimeter werden selbst im Dauereinsatz bei dem gängigen Waferformat von 156 x 156 Millimeter eingehalten. Zu den wesentlichen Vorteilen dieser Sägetechnik zählen nicht nur geringe Verbrauchs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten, sondern vor allem eine extrem hohe Prozessstabilität und ebenso hohe Maschinenverfügbarkeit von 97

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
7/12

### Deutsche Version

Prozent. Die reduzierten Verbrauchskosten, geringe Kosten für Energie, Druckluft und die äußerst niedrigen Werkzeugkosten (kleiner als 8.000,-- EUR/Jahr) und nicht zu vergessen der geringe Personaleinsatz, bieten ein überragendes Einsparpotential gegenüber anderen Sägetechniken von bis zu 80 Prozent.

### Intelligente Automation

Gerade in kritischen Zeiten lohnt sich der Blick auf andere, erfolgreiche Branchen. Vorbildlich zeigt sich die Automobilindustrie, die unter permanentem Wettbewerbs- und Erfolgsdruck steht. Deren Erfolgsgaranten sind tadellose Qualität, korrekte Einhaltung vorgegebener Entwicklungszyklen, optimale und ausfallsichere Prozesse und pünktliche Lieferung nach dem „Just-in-Time“-Prinzip. Zulieferanten sind gefordert, „Null-Fehler-Strategien“ zu bieten. Diese können allerdings nur mit einem extrem hohen Automationsgrad erreicht werden.

Zurück zur Photovoltaik. Ohne einen ähnlich hohen Automationsgrad sind auch in der Photovoltaik-Industrie vergleichbare Ziele nicht erreichbar. Automation bedeutet keineswegs nur die Einbindung von Robotern in Teilprozesse, sondern weit mehr. Jede Maschine selbst muss nicht nur hohe Prozesssicherheit, sondern anspruchsvolle Sensortechnologie, hochintelligente Steuerungstechnik und Schnittstellen zur Peripherie wie beispielsweise zum MES (Manufacturing Execution System) liefern.

### Bild 3 – Fertigungslinie Brick

Vollautomatisierte Fertigungslinie für multikristalline Silizium-Bricks - Schleifen, Trennen (Sägen) und Kleben

Das Beispiel einer vollautomatisierten Fertigungslinie für Schleifen, Trennen mit Dünnblatt-Sägetechnologie und Kleben von multikristallinen Bricks verdeutlicht Vorteile für Hersteller. Drei nacheinander angeordnete Zentren sind mit einem Förderband verbunden, zentral ist jeweils ein Industrie-Roboter platziert. Die Kommunikation zwischen Maschinensteuerung und Roboter er-

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
8/12

### Deutsche Version

folgt über ein übergeordnetes Produktions- und Qualitätssteuerungssystem (PQS).

Zwischen den Fertigungsschritten Schleifen und Trennen ist ein manueller Inspektionsplatz mit drei Bildschirmen vorgesehen. Der Werker kann von hier aus auf einzelne Prozessdaten und Maschinenparameter der einzelnen Prozessstufen zugreifen und je nach Bedarf Veränderungen vornehmen. Arpat, das Prozessanalysetool der Schleif- und Trennmaschinen mit offener Schnittstelle zum MES erfasst, analysiert, speichert und visualisiert die Prozesse und Einstellungen. Auf den anderen zwei Bildschirmen sind die Daten aus der Lebenszeit- und Widerstandsmessung ersichtlich, die noch beschrieben werden. Alle Maschinen sind mit eigenen Sicherheitsbereichen und zusätzlichen Sicherheitsschleusen ausgestattet. Diese erlauben ungehinderte Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten auch im laufenden Betrieb.

### Schleifen, Trennen, Kleben

Jeder Brick, der die vollautomatisierte Fertigung durchläuft, wird zu Beginn mit einer Identifikationsnummer ausgestattet. Damit können jedem gefertigten Brick die entsprechenden Prozess- und Messdaten zugeordnet werden. Im Schleifzentrum befinden sich Oberflächen- und Fasenschleifmaschinen, die im Halbkreis zum Förderband angeordnet sind. Der Roboter übernimmt die kompletten Handlingsarbeiten. Die Werkstücke werden eingespannt und durch ein Lasermeßsystem vermessen. Auf der Basis der erfassten Messdaten werden die Schleifscheiben automatisch zugestellt. Danach befüllt der Roboter exakt nach Vorgabe die einzelnen Maschinen. Zwischen den jeweiligen Schleifprozessen erfolgt die zweite Messung des Bricks, um alle einzelnen Vorgänge zu dokumentieren. Auch während des anschließenden Fasenschleifens findet eine 100prozentige Dokumentation der Fertigungsqualität vor und nach der Bearbeitung durch Messsysteme innerhalb der Maschine statt.

Nach dem kompletten Schleifprozess geht's mit Hilfe des Roboters zur Infrarot (IR)-Messstation. Jeder einzelne Brick wird durchleuchtet, um bereits zu diesem Zeitpunkt Verunreinigungen, beispielsweise Einschlüsse aus Siliziumkarbid, aufzuspüren. Anschließend wird auf dem Förderband die integrier-



## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
9/12

### Deutsche Version

te Lebenszeit- und Widerstandsmessung durchgeführt. Hier findet eine umfassende Qualitätskontrolle der Bricks statt. Auf der Basis der Ergebnisse aller vorab erfolgten Messungen und Prüfungen werden die Schnittpositionen automatisch errechnet und der Brick-Identifikationsnummer hinterlegt.

Im vollautomatischen Trennzentrum wird jeder einzelne Brick vom Roboter direkt vom Förderband in eine der Außentrennsägen in die exakte Position zum Trennschnitt eingelegt. Die Abschnitte vom Croppen werden – unabhängig wie viele Einzelteile aus einem Brick herausgeschnitten werden - mit entsprechender Zusatzkennung über einen Laser- oder Inkjetdrucker ausgestattet. Eine spätere Rückverfolgung ist somit lückenlos möglich.

Das Kleben nimmt als Vorstufe in der Waferherstellung einen hohen Stellenwert ein. Noch immer werden rund 90 Prozent dieser Klebearbeiten in der Industrie händisch erledigt. Dieser individualisierte Prozess ist somit noch vom einzelnen Werker abhängig. Im automatisierten Klebeprozess kann der Klebstoffbedarf gegenüber dem manuellen um mindestens 30 Prozent gesenkt werden. Gerade in diesem Bereich wird noch mit einer hohen Fehlerquote gearbeitet. Jeder kleine Fehler kann die Bruchrate – sei es beim Wafern oder beim nachfolgenden Entkleben – drastisch erhöhen. Erst eine Standardisierung des Klebeprozesses durch Automation kann nicht nur die Bruchraten von Wafern, sondern damit verbundene Kosten spürbar senken.

### **Bild 4 – Messprotokoll (ohne Prozessoptimierung)**

Messprotokoll (Schleifen) ohne Prozessoptimierung

### **Bild 5 – Messprotokoll (mit Prozessoptimierung)**

Messprotokoll (Schleifen) mit Prozessoptimierung - Nullfehlerstrategie

### **Vollautomatische Prozessabläufe**

Herzstück der vollautomatisierten Linie ist die intern entwickelte Prozessautomation der Schleif- und Trennmaschinen. Mit dem Ziel, die hohe Prozessstabilität zu sichern und zu erhöhen, wurde der Begriff „close loop process

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvC)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
10/12

### Deutsche Version

development“ geprägt. Konkret: aktuelle Produktions- und Prozessdaten werden gesammelt, visualisiert, analysiert, mit Hilfe dieser Daten Prozessparameter geändert, um Optimierungen vorzunehmen.

Mit dem Prozessanalysetool ausgestattet ist es möglich, Daten im laufenden Prozess der einzelnen Maschinen zu sammeln und zu protokollieren. Es werden unter anderem geometrische Werkstückdaten, allgemeine kundenabhängige Werkstückinformationen, Prozessparameter, Maschinenstatus nach SEMI E10, etc., festgehalten und ausgewertet. Die Maschinen sind mit Hilfe der intelligenten Software in der Lage, Korrekturen wie Anpassungen der Schleifscheibe, automatisch vorzunehmen. Bei Maßabweichungen - beispielsweise durch äußere Temperatureinflüsse - wird automatisch eine Prozess-Fehlerkompensationen durchgeführt. Mittels dieser umfangreichen Datenerfassung kann beispielsweise beim Schleifprozess eine sehr gute Prozessfähigkeit von kleiner als 1,67 cpk bei einer Toleranz +/- 0,05 Millimeter erreicht und gehalten werden.

### Prozessautomation sichert Wettbewerbsfähigkeit

Automation ist ein geschlossenes System, das zur Optimierung der Bearbeitung dient und gleichzeitig dafür sorgt, dass ausschließlich „wafertaugliches“ Material zum nachgesetzten Prozessschritt gelangt. Im Photovoltaikmarkt hat die Dünnblatt-Sägetechnologie sowohl bei kleinen und mittleren Produktionskapazitäten als auch im hart umkämpften Volumenmarkt beste Chancen. Neben den bekannten Produktvorteilen spricht die einfache, auch nachträgliche Integrierbarkeit von Dünnblatt-Sägen in automatisierte Fertigungsanlagen für die wiederentdeckte Technologie.

Investitionsentscheidungen sind vorausschauende Unternehmensentscheidungen. Nicht der einzelne Preis einer Maschine oder gar der Siliziumverbrauch während der Bearbeitung entscheidet über eine Investition, sondern die gesamten Investitionskosten im Zusammenwirken mit allen Kosten der Produktion. Erfolgsgaranten sind technisch ausgereifte Maschinen mit vollautomatisierten Prozessen in Kombination mit einem automatischen Handlingsystem und eine umfassende Datenerfassung. Hiermit werden gleiche reproduzierbare Voraussetzungen mit einer kontinuierlichen Wiederholgenauigkeit,

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
11/12

### Deutsche Version

Standardisierung ohne manuelle Einflüsse und vor allem eine 100prozentige Qualitätskontrolle in allen Fertigungsschritten geschaffen. Bezieht man alle Kosten in Betracht, erweisen sich höherpreisige Maschinen mit Automation als die profitablere Investition. Kostenreduzierungen mit gleichzeitig, kontinuierlichen Qualitätsverbesserungen können nur mit einem hohen Maß an Automation entlang des gesamten Fertigungsprozesses erreicht werden.

### Quelle:

1 – Czochralski-Verfahren,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process)

## Autor

Peter Weier, Leiter der Business Unit Silizium, Arnold Gruppe  
([www.arnold-gruppe.de](http://www.arnold-gruppe.de))

Peter Weier ist Leiter der Business Unit Silizium der Arnold Gruppe ([www.arnold-gruppe.de](http://www.arnold-gruppe.de)), die Prozess- und Automatisierungstechnologie für das breite Spektrum der Silizium-Brickbearbeitung mit Kernkompetenz: mechanisches Trennen, Schleifen und Polieren aus einer Hand anbietet. Weier verfügt über 20 Jahre internationale Projekterfahrung in den Bereichen Quarzglas- und Glasfaserindustrie; ab 1995 schwerpunktmäßig Photovoltaik. Weier ist maßgeblich an Konzepten, Entwicklung und Vertrieb von Maschinen für die Glas-, Quarzglas- und Siliziumbearbeitung beteiligt.

## Fachbeitrag

pv magazine Chinesische Ausgabe (pvc)  
Ausgabe: Dezember 2012 (4-12)

### «Effizienter Schnitt»

Autor: Peter Weier, Leiter Business Unit Silizium,  
Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland  
12/12

### Deutsche Version

### Bildunterschriften:

Motive, 300 dpi

#### **Bild 1 – Aufmacherbild (Außentrennsäge)**

Fluidgelagerte Trennscheibe in Dünnschicht-Technologie

#### **Bild 2 - Innenansicht Brick**

IR-Messung von Silizium-Bricks

#### **Bild 3 – Fertigungslinie Brick**

Vollautomatisierte Fertigungslinie für multikristalline Silizium-Bricks -  
Schleifen, Trennen (Sägen) und Kleben

#### **Bild 4 – Messprotokoll (ohne Prozessoptimierung)**

Messprotokoll (Schleifen) ohne Prozessoptimierung

#### **Bild 5 – Messprotokoll (mit Prozessoptimierung)**

Messprotokoll (Schleifen) mit Prozessoptimierung - Nullfehlerstrategie

#### **Bild 6 - Autor**

Peter Weier, Leiter der Business Unit Silizium, Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland

### Bildquellen:

#### **Bilder: 1, 3, 4, 5, 6**

Arnold Gruppe, Weilburg/Deutschland

#### **Bild: 2**

Intego GmbH, Erlangen/Deutschland

### Unternehmenskontakt:

Arnold Gruppe  
Herbert Arnold GmbH & Co. KG  
Peter Weier  
Leiter Business Unit Silizium  
Weilstraße 6  
35781 Weilburg  
Deutschland  
Telefon: +49 (0)6471 939426  
Telefax: +49 (0)6471 2065  
peter.weier@arnold-gruppe.de  
www.arnold-gruppe.de

### Pressekontakt:

Benson GmbH  
Agentur  
für angewandte Kommunikation  
Gisela Benson  
Brucker Straße 4  
82266 Inning am Ammersee  
Deutschland  
Telefon: +49 (0)8143 44 44 73  
Telefax: +49 (0)8143 44 47 61  
info@agentur-benson.de  
www.agentur-benson.de