

Bei der sächsischen Waferproduktion zu Besuch

Eindrücke und Randbedingungen

Von außen machen der „silicon hill Freiberg“ und die *Bayer Solar GmbH* mit ihren neuen Produktionsanlagen einen sehr ruhigen Eindruck. Ganz so, als sei nach dem großen Bahnhof mit Kurt Biedenkopf vom 2. Juni dieses Jahres wieder alles zur Normalität des ganz gewöhnlichen Alltags zurückgekehrt. Stutzig wird der Besucher eigentlich erst, wenn er nach ausdrücklicher Voranmeldung und genehmigtem Besuchstermin an den diffizilen Schließanlagen der Eingangstüren zu scheitern droht. Was haben die hier eigentlich zu verbergen, nachdem am Tag der offiziellen Inbetriebnahme schon Scharen von Journalisten durch die Werkhallen zogen?

Eine Firma übt Zurückhaltung

Dr. Ingo Schwirtlich, Geschäftsführer der *Bayer Solar GmbH*, gibt dazu bereitwillig Auskunft. „Bei uns laufen in sechster Generation Produktions- und Kontrollprozesse zur Herstellung von Solarsilizium, die unsere internationalen Konkurrenten nervös machen. Gegenwärtig werden im Ausland zwei Großanlagen konzipiert. Da möchten wir die innovativen Gedanken unseres eigenen Verfahrens gar nicht so sehr in den Vordergrund stellen.“

Wer ist dieser Dr. Ingo Schwirtlich, der hier mit seinem Team, gut unterstützt aber auch wohl behütet von der großen *Bayer AG*, an der solaren Zukunft Deutschlands arbeitet?

Ingo Schwirtlich wurde nach dem Abitur Elektriker, studierte erst danach an der Stuttgarter Universität Physik, promovierte am *Max-Planck-Institut* und nahm 1981 als Festkörperphysiker seine Arbeit bei *Bayer* in Uerdingen auf. „Was Sie hier in Freiberg sehen, ist unser Arbeitsergebnis aus den letzten 15 Jahren“, sagt er mit sichtlicher Zufriedenheit. Aber dann wiegelt er gleich wieder ab und ergänzt: „In Freiberg erfolgt nur das Schmelzen des Siliziums, das Kristallisieren und Schneiden der Scheiben. Nur der Wafer wird hier hergestellt. Alles andere ist Sache des Kunden.“

Aber genau dort beginnt auch die hohe Kunst der hier installierten Produktionsprozesse: Der Wafer, geschnitten und gereinigt; dabei kostengünstig mit hoher Produktivität und guten physikalischen Eigenschaften hergestellt. In Verfahrensschritten, die ohne Halbheiten eine Großproduktion ermöglichen. Der Rest bleibt vorläufig mit Ausnahme weniger bereits veröffentlichter Prinzipdarstellungen Produktionsgeheimnis.

Angst vor der Zukunft?

Trotzdem wird das eine ganz schnell deutlich: Das Herstellen dieser Wafer mit entsprechend hohen Qualitätskennziffern scheint man hier auf dem Siliconhügel ganz gut zu beherrschen. Denn alles was in diesem und bis weit in das nächste Jahr bei der *Bayer Solar GmbH* unter dem Namen Baysix® hergestellt wird, ist schon längst verkauft. Wen wundert es da, wenn gegenwärtig die Kostenabschätzung für die nächste Ausbaustufe mit Hochdruck läuft. „Gleich nach dem Abschluß der Kostenanalysen wird unmittelbar investiert werden. Die Anlagenerweiterung ist bereits jetzt dringend notwendig geworden, denn der Markt hat unerhört angezogen“, schließt Dr. Schwirtlich die Situationsbeschreibung. Pläne für eine ruhigere Gangart beim Aufstocken auf 16 Millionen Scheiben pro Jahr scheinen offensichtlich vom Tisch zu sein.

Bayer Solar verwendet gegenwärtig für seine Waferproduktion noch die Abfälle aus der Elektronikindustrie. Über die von vielen beschworene Materialverknappung scheint man sich hier offenbar keine besonderen Gedanken zu machen. Denn erstens ist *Wacker* als Produzent von Ausgangsmaterialien gleich nebenan zu finden und außerdem gibt es für das Ausgangsmaterial einen internationalen Markt, den etwa 10 Unternehmen beliefern.

Über manches läßt sich reden

Doch zurück zum Produktionsverfahren: Bei den Schneide- und Kontrollprozessen ist der Unternehmenschef dann doch etwas auskunftsbereiter als zuvor. Genau genommen stammen die messingbeschichteten Drähte, mit denen die Kristallblöcke zu Scheiben zersägt werden, aus der Fahrzeugtechnik. Schließlich handelt es sich hierbei um abgewandelte Reifendrähte. Die Produktionseinrichtungen für dieses Material wurden zunächst von einem Schweizer Maschinenbauunternehmen auf den

Markt gebracht. Heute gibt es bereits mehrere Anbieter aus Europa und Übersee. Aber die Erkenntnisse von *Bayer* sind auf dem Gebiet der Drahtsägetechnik schneller vorangeschritten als bei den Maschinenbauern. Um diese Ergebnisse umzusetzen, muß *Bayer Solar* schon wieder zugunsten selbstentwickelter Schneidekomponenten umbauen. Immerhin steht der Schnitt an wesentlich dickeren Siliziumblöcken ins Haus, der erheblich höhere Anforderungen an die Präzision der Schnittführung stellen wird. „Warum wir Laserstrahlen nicht verwenden?“, beantwortet Dr. Schwirtlich eine Frage. „Das ist eigentlich ganz einfach. Der Laser eignet sich wegen seiner begrenzten Eindringtiefe nur für dünne Körper. Bei hohen Eindringtiefen braucht man sehr hohe Leistungen. Dann wird der Laserstrahl divergent.“

Ohne Kontrolle kein Erfolg

Auch das Kontrollsystem wird *Bayer Solar* trotz eines bereits heute sehr umfangreichen Kontrollprogramms weiter verbessern. Einige Dinge müssen ganz einfach wegen des erheblich wachsenden Produktionsvolumens verändert werden. „Denken Sie doch einmal an die derzeit noch manuell erfolgende Endkontrolle vor dem Versenden. Acht Scheiben pro Minute: Wieviel Kontrolleure sollen denn dann bei noch größerem Produktionsumfang an der Endabfertigung sitzen?“

Andere Kontrollsysteme sind dagegen in ihrem Automatisierungsgrad recht gut ausgebaut. Während die „sichtbaren Ausscheidungen“ routinemäßig mittels Infrarotdurchleuchtung am Block untersucht werden, wird der Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalt des Siliziums zwar auch verfahrensintegriert mit Infrarotmessungen, aber an extra präparierten Probescheiben bestimmt.

Die Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentration ist einer der Schlüsselparameter für das Erreichen hoher photovoltaischer Wirkungsgrade. Das in Freiberg erzeugte Baysix®-multi zeichnet sich insbesondere durch einen sehr geringen Sauerstoffgehalt aus.

Gegenwärtiges Ziel ist es, die Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalte über einen Prozessor zu steuern, dem nur noch exemplarische Untersuchungsbefunde zur Kontrolle zugeführt werden brauchen.

Ein ganz wesentliches Kontrollinstrument in der Waferproduktion von *Bayer Solar* ist auch die topographische Bestimmung des elektrischen Widerstandes.

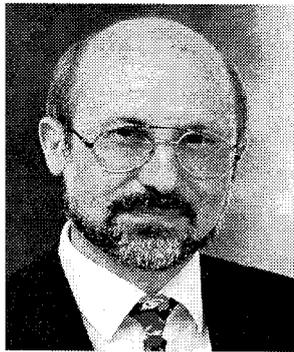


Abb. 1: Dr. Schwirtlich

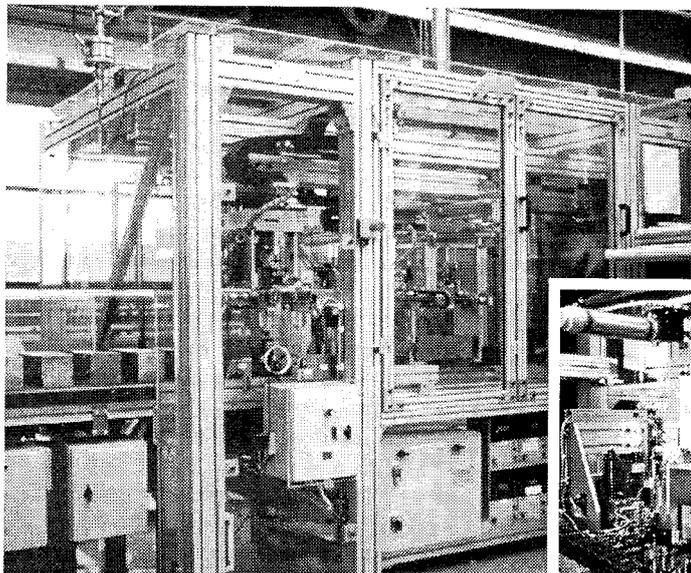
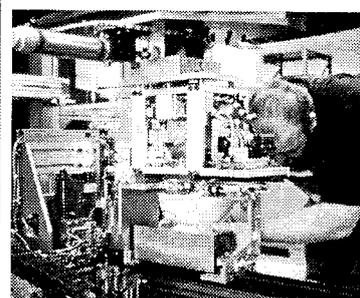


Abb. 2 (links):
Blick zum Meßraum

Abb. 3 (unten):
Infrarotmeßplatz



Die Siliziumscheibe reflektiert nämlich das Erstarrungsverfahren wie einen Fingerabdruck. Man sieht, wie die Kristalle gewachsen sind und erkennt den Temperaturverlauf beim Kristallisationsvorgang. „Sie können sogar feststellen, ob die Scheibe bei uns hergestellt worden ist oder nicht“, sagt Dr. Schwirtlich mit Befriedigung.

Die hochaufgelösten Messungen des spezifischen Widerstandes in Vierspitzentechnik zeigen bei Baysix®-Materialien eine homogene Widerstandsverteilung und die außerordentlich geringe

Anzahl von elektrisch aktiven Korngrenzen: Ein Ausdruck hoher Waferqualität.

Die Dichte von Gitterversetzungen wird nach speziellen Polier- und Ätztechniken mittels mikroskopischer Bildanalyse ermittelt. Dabei sind computergesteuerte Verfahrtsysteme und Autofokussysteme zur Untersuchung großer Flächenbereiche eingesetzt. Die gewonnenen Daten werden zusammen mit einer numerischen Simulation der Blockkristallisation zur ständigen Verfahrensoptimierung genutzt. Baysix®-multi weist eine geringe Dichte von Kristallversetzungen auf.

Dünnschichttechnik oder Wafer – die Antwort eines Spezialisten

SE: Herr Dr. Schwirtlich, Sie leiten eine nagelneue Produktionsanlage für Siliziumscheiben und denken zusammen mit Ihrer Muttergesellschaft intensiv über eine baldige Erweiterung dieser Anlage nach. Aber die in diesem Jahr stattgefundenen 14. EUPVSEC-Tagung in Barcelona vermittelte ganz intensiv den Eindruck, daß angesichts des knapper werdenden Siliziums wieder alle auf die Dünnschichttechnik schauen. Und Erfolge des ISE in Freiburg, bei Sanyo, Antec und ZSW scheinen diesen veränderten Blickwinkel zu rechtfertigen.

Dr. Ingo Schwirtlich: Auch Bayer beschäftigt sich mit dem schnellen Folienziehprozeß einer kristallinen Dünnschichttechnik und hat dabei sogar für eine Produktionsgeschwindigkeit von 1 Wafer/sec einen Wirkungsgrad von 11 % erreicht. Aber das sind Einzelergebnisse. Obwohl damit ein vergleichbarer Wirkungsgrad erreicht wird und bei den Kosten keine Nachteile entstehen werden, ist man von der Kommerzialisierung noch ein Stückchen weg.

Bei der Produktion von **amorphen Dünnschichtzellen** gibt es eigentlich gleich mehrere Probleme. Zum einen fängt man an, um die

Nachteile eines geringeren Wirkungsgrades auszugleichen, wieder wie vor 5 oder 6 Jahren mehrere Schichten übereinander anzuordnen. Dabei steigen die Kosten aber enorm an. Man hat bei drei Schichten nicht nur mit dem dreifachen, sondern mit einem viel höheren Kostenfaktor zu rechnen. Das bringt für den Markt keine ökonomischen Fortschritte.

Bei der Produktion von amorphen Dünnschichtzellen braucht man Silan in großen Mengen. Für eine entsprechend große Produktion sind das hunderte von Kubikmetern. Und das ist dann schon ein logistisches Problem. Denn dabei bestimmt der Aufwand an erforderlicher Sicherheitstechnik die Kosten des Produktionsprozesses maßgeblich. Man kann eine auf dieser Basis arbeitende solare Produktionsanlage nur in unmittelbarer Nähe geeigneter chemischer Fabriken einrichten. Das wird von den meisten der im Labormaßstab arbeitenden Wissenschaftler offensichtlich bisher nicht gesehen. Auf alle Fälle wird darüber nicht diskutiert. Bayer wäre dazu von der Sache her in der Lage, sieht aber keine Vorteile, wenn es an die Großproduktion gehen soll.

Auch bei den **Verbindungshalbleitern** gibt es wegen der Verfügbarkeit der erforderlichen Rohstoffe eigentlich keine echten Ansätze. Es handelt sich bei diesen Substanzen um Begleitelemente der Aluminium-Zink-Produkti-

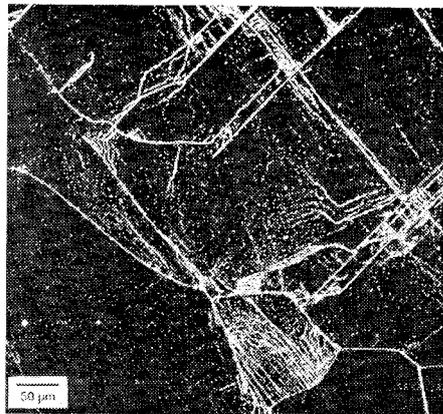


Abb. 4: Versetzungsdichteverteilung

Abgesang

Eng ist bei allen Fragen der Weiterentwicklung des Produktionsverfahrens sowie der Automatisierungs- und Kontrollprozesse die Zusammenarbeit mit dem Uerdinger Bayer-Werk, in dem die Gesamtentwicklung einmal begonnen hat. Aber auch zur *Technischen Universität Bergakademie Freiberg* sind die Verbindungen erstaunlich fest geknüpft. Es kocht und brodelt in Freiberg nicht nur in den Schmelztiegeln der *Bayer Solar GmbH*. Da wird in aller Stille ein Süppchen zubereitet, das den „Köchen“ beim Ringen um eine internationale Spitzenposition auch in Zukunft noch schmecken soll.

Heinz Langer

on. Da diese Produktion nicht allein wegen der Begleitelemente beliebig erhöht werden kann, gibt es ganz einfach Mengenbegrenzungen für Indium und Cadmium. Die Galliumproduktion beträgt sogar auf der ganzen Welt nur etwa 70 t pro Jahr.

Aber gehen wir mit den Betrachtungen weiter: Dünne Siliziumschichten brauchen ein gutes **Substrat** als Träger. Nun steigt aber die Abscheidetemperatur für dünne Schichten auf etwa 600 °C an. Damit steht das normalerweise verwendete Glas nicht mehr zur Verfügung. Man braucht teurere Gläser oder man nimmt gleich den noch teureren Graphit. Beides bringt keinerlei Kostenentlastung. Schließlich sind auch keramische Träger keine echte Lösung. Als einziges brauchbares Substrat käme Aluminiumoxid in Betracht, das aber nicht unter 1 DM/dm erhältlich ist. In dieser Größenordnung liegt man auch bei Siliziumbändern.

All diese Überlegungen schließen nicht aus, daß sich auch Bayer in 15 oder 20 Jahren auf die Großproduktion von kristallinen Dünnschichtsubstraten orientiert. Für die gegenwärtig in Betrieb gegangene Wafer-Produktion und deren geplante Erweiterung brauchen wir aber aus der Sicht der Dünnschichtzellen keine Bedenken zu haben.

Das Gespräch führte Heinz Langer.