

EKZ 3500 – Czochralski-Puller für die  
Produktion von monokristallinen Silizium-  
kristallen



# WAS BLEIBT VOM HYPE?



EKZ 3500 – Hohe Produktivität für den Kunden

Hoch-kratzfeste Lacke, künstliche Muskeln oder Fahrstühle bis zum Mond – die Liste potenzieller Nanotechnologie-Anwendungen liest sich wie ein Kapitel aus einem Science-Fiction-Roman.

Selbst nüchterne Wissenschaftler geraten angesichts der sagenhaften Eigenschaften ins Schwärmen. Und so nutzen inzwischen einige Unternehmen den verkaufsfördernden Marketingeffekt und adeln ihre Produkte mit dem Namenszusatz „Nano“. Wer jedoch kritisch hinter die Kulissen schaut, entdeckt schnell: Die heute populären Nano-Produkte basieren in erster Linie auf der mehr oder minder erfolgreichen Übertragung des sogenannten Lotus-Effekts auf Oberflächen. Herausragende technische Leistungen auf

anderen Gebieten dringen dagegen weit weniger ins Licht der Öffentlichkeit. Zu Unrecht wie wir finden! Schließlich entsteht großer wirtschaftlicher Nutzen erst durch große, millionenfach bewährte Anwendung. Wenn zum Beispiel in Drucksinteröfen aus Wolfram und Kobalt eines der härtesten Materialien der Welt entsteht, das sich später als Bohrer durch Kalk, Sand und Gestein tief in die Erde zu den Gas- und Erdöllagerstätten frisst, oder halbtunnenschwere Silizium-Einkristalle in perfekter Reinheit aus einer Schmelze wachsen und

damit den Grundstein für unsere digitale Welt legen, dann profitieren von diesen anspruchsvollen Prozessen Milliarden von Menschen. Und das nicht morgen oder erst übermorgen, sondern heute, jeden Tag und in vielen Bereichen des Lebens! Und genau diese anspruchsvollen und bewährten Technologien sind es, auf die sich die PVA TePla AG spezialisiert hat: Wir konstruieren, bauen und betreuen Anlagen und Systeme, in denen hochwertige Werkstoffe, Materialien und Oberflächen unter schwierigsten Bedingungen hergestellt werden.

Aus dem Physikunterricht ist vielen vielleicht noch das Phänomen bekannt, dass Ungleichgewichte nach Ausgleich streben: Milch verteilt sich von selbst im Kaffee, Wärme, Gase verteilen sich gleichmäßig im Raum. Kurzum – die Natur will Harmonie. Die Anlagen der PVA TePla-Gruppe wirken dieser Kraft genau entgegen. Sie schirmen die Außenwelt zuverlässig ab. Und das auch über lange Prozesszeiten hinweg. In ihrem Inneren erzeugen sie Temperaturen bis zu 3.000°C und Vakuen von bis zu einem Milliardstel bar. In diesen Atmosphären, die fast frei von Partikeln sind, kann hochreaktives Plasmagas gezielt auf Oberflächen geführt werden und bei Bedarf Edelgas zugeführt werden. Dabei liegt eine weitere Herausforderung in der Größe der

Anlagen. Denn es handelt sich nicht um Miniaturen und um Mikroklimata. Vielmehr geht es darum, große Grenzflächen anlagentechnisch zu beherrschen. So können sich die Kristallzuchtanlagen in der Photovoltaik- und Halbleiterindustrie zum Beispiel über mehrere Stockwerke erstrecken. Dieser äußerst komplexen Aufgabe sind nur sehr wenige Hersteller auf der Welt gewachsen. Die PVA TePla AG gehört dazu.

### Hat der Professor aus Hamburg Recht?

In seinem Bestseller „Bildung“ schließt Professor Schwanitz die Naturwissenschaft explizit aus dem Kanon zur Allgemeinbildung zählender Sachgebiete aus. Das finden wir schade, denn im rechten Licht betrachtet hat angewandte Physik – eng mit unserer Welt verflochten – jede Menge Faszinierendes zu bieten. Eine der Schlüsselindustrien unserer Zeit – die Halbleiterindustrie – ist so ein Beispiel. Hier entstehen Prozessoren, Speicherchips und Solarzellen unter extrem anspruchsvollen Bedingungen. Gegenwärtig sind insgesamt drei Herstellungsverfahren für den entscheidenden Schritt – das Ziehen oder Gießen von Siliziumkristallen – im Einsatz. Die PVA TePla AG ist übrigens eines der wenigen Unternehmen, das alle wesentlichen Verfahren beherrscht. Am weitesten verbreitet

ist das Czochralski-Verfahren. Hierbei taucht ein winziger Silizium-Impfkristall von oben in eine ungefähr 1.450 °C heiße Siliziumschmelze. Die Schmelze liegt in einem Quarzglas-Tiegel vor, der von außen seinerseits von einem Graphit- oder CFC-Tiegel gestützt wird. Die Atmosphäre ist absolut sauerstofffrei, es herrschen Reinraumbedingungen. Das heißt, nur noch wenige hundert Partikel pro Kubikmeter befinden sich im Prozessraum. Die Quarzglas- und die sie

umgebenden Graphittiegel sind ebenfalls hochrein: Störende Fremdmetalle wie Eisen oder Kupfer sind auf den Gehalt von eins pro Milliarden Teilchen gesenkt. Man spricht von Reinheiten im ppb-Maßstab (parts per billion). Dieser hohe Aufwand ist unumgänglich, da jedes Fremdmetall im Siliziumkristall zu Fehlfunktionen im fertigen Chip oder der Solarzelle führt. Da Verunreinigungen jeglicher Art aus der Atmosphäre oder den das Silizium berührenden



Siliziumstangen verschiedener Größe, fertig zur Weiterverarbeitung



Flächen in den Einkristall eindringen (diffundieren) können, hilft nur, sie strikt zu vermeiden.

Der Quarzglasiegel mit samt der 1.450 °C heißen Siliziumschmelze sowie der eintauchende Impfkristall drehen sich langsam schraubenförmig gegeneinander. Über einen Zeitraum von einigen Tagen können solche Anlagen schließlich einen etwa zwei Meter langen, einkristallinen Siliziumzylinder von 30 cm Durchmesser aus

der Schmelze heben. Um einen Kristall dieser Größe zu bilden, müssen während des Prozesses etwa  $10^{27}$  Siliziumatome ihren Platz im Kristallgitter einnehmen. Eine unvorstellbar große Zahl. Wären alle diese Atome Menschen, ließe sich aus der gesamten Weltbevölkerung lediglich ein Kristallzylinder von etwa einem Hundertmilli-onstel Nanometer Länge bilden! Selbst mit einem guten Mikroskop wäre eine solche Scheibe nicht zu erkennen. In der Schmelze

dürfen möglichst keine Temperaturschwankungen auftreten. Dadurch induzierte Strömungen würden den Fluss der Atome stören und das Kristallwachstum behindern. Dabei schwebt über dem gesamten Prozess latent die Gefahr, dass selbst bei kleinsten Vibrationen oder Erschütterungen der Siliziumzylinder abreißt, den Schmelztiegel zertrümmert und sich heißes Silizium über die Anlage ergießt. Tatsächlich hängt nämlich der gesamte Siliziumeinkristall buchstäblich am seidenen Faden, denn der anfangs eingetauchte Impfkristall besitzt lediglich einen Durchmesser von 4–5 mm

und muss Kristalle bis etwa 200 kg tragen. Für die noch größeren Kristalle setzt PVA TePla eine besondere, ausgeklügelte Halterungstechnik ein, die den Absturz von schweren Kristallen verhindert. Am Ende des Prozesses lasten etwa 450 kg Silizium an einer Haltevorrichtung. Anlagenausfälle, wie etwa der Ausfall der Heizung, bergen ein ähnliches Risiko. Die Tiegel würden bersten, da sich das heiße Silizium, wie Wasser, beim Einfrieren ausdehnt. Hohe Prozessgenauigkeit, absolute Verlässlichkeit und größte Ausfallsicherheit sind die alles entscheidenden Faktoren – oder kurz: PVA TePla.



Inzwischen hat sich die PVA TePla AG auch an anderer Stelle einen Namen gemacht: bei der zerstörungsfreien Untersuchung von Werkstoffen und Materialien mittels Ultraschall. In der Halbleiterfertigung werden solche Systeme unter anderem dazu eingesetzt, um in einen Silizium-Einkristall hineinzuschauen. Dabei lassen sich vorhandene Fehlstellen im Kristallgitter erkennen und die entsprechenden Segmente aussortieren. Im Anschluss an das Bonding, einem weiteren Arbeitsschritt in einer Chipfabrik, bei dem die Mikrochips ihre Metallanschlüsse erhalten, liefern Ultraschall-Rastermikroskope von PVA TePla Analytical Systems Auskunft über eine einwandfreie Kontaktierung. Mit diesen innovativen Analysesystemen ist das Tor zu neuen Märkten weit aufgestoßen. Die Qualitätsüberprüfung von Hartmetall oder der Einsatz in der medizinischen Diagnose sind Beispiele für solche neuen Anwendungen.

Es ist schwer zu sagen, ob diese Zusammenhänge die Einstellung von Herrn Professor Schwanitz hätten ändern können. Leider ist er bereits Ende 2004 verstorben, so dass keine Chance mehr besteht, den Funken auf ihn überspringen zu lassen. Wenn es uns aber gelungen ist, Sie mit diesem Text bis hierher zu fesseln, dann ist vielleicht ein kleines Stück von

der Begeisterung bei Ihnen angekommen, die uns tagtäglich bei der Lösung technischer Aufgabenstellungen antreibt. Wir wissen heute nicht, wohin uns die Wege in der Material- und Werkstoffentwicklung noch führen werden. Oft sind es Evolutionen wie die Kombination vorhandener Materialien und deren Eigenschaften zu neuen Qualitäten. Die Übertragung der hohen elektrischen Leitfähigkeit von Metallen auf Kunststoffen oder die Synergie aus der Korrosionsbeständigkeit keramischer Werkstoffe waren solche Weiterentwicklungen, die wir anlagentechnisch begleitet haben. Manchmal bringt die Werkstofftechnik aber auch Revolutionäres hervor. Die eingangs erwähnte Nanotechnologie wäre so ein Thema. Zurzeit scheint es noch völlig offen, ob wir tatsächlich jemals mit einem Fahrstuhl aus Carbon-Nanotubes in den Weltraum fahren. Wir sind jedoch sicher: Wenn zur Herstellung dieser Materialien anspruchsvolle Anlagen benötigt werden, die im Vakuum, bei hohen Temperaturen oder unter der Einwirkung von Plasma wirtschaftliche, reproduzierbare und hochwertige Ergebnisse liefern, dann werden Unternehmen der PVA TePla-Gruppe den Kreis der Anbieter anführen.







Unsere Kunden profitieren von unserer langjährigen Erfahrung in der Produktion von Hochtemperatur-Vakuumanlagen

