



Metallische Verunreinigungen in Silizium für photovoltaische Anwendungen reduzieren die Lebensdauer und den Wirkungsgrad von Solarzellen. Halbleiterphysiker am IV. Physikalischen Institut der Universität Göttingen arbeiten im Rahmen eines bundesweiten Verbundprojektes an grundlegenden Fragen der Wechselwirkung solcher Verunreinigungen mit eingewachsenen Kristalldefekten – Versetzungen, Korngrenzen und Mikrodefekten. Ferner wird daran geforscht, die Verunreinigungen räumlich so umzuverteilen, dass sie die Wirkung der Solarzellen nicht länger beeinträchtigen. Elektrische Messmethoden, räumlich hochauflösende Elektronenmikroskopie sowie numerische Simulationen bilden die Eckpfeiler der Forschungsarbeiten. Ziel ist ein optimiertes »defect engineering« für Solarzellen, die bei geringeren Produktionskosten mehr Leistung bringen sollen.

Kristallines Silizium ist seit Jahrzehnten die dominierende Halbleiter-Substanz in der Mikroelektronik. Aufgrund ihrer Auswirkungen auf Eigenschaften der Bauelemente waren und sind Defekte in diesem Material seither ein Thema grundlegender und angewandter Forschung. Neben gezielt eingebrachten Verunreinigungen wie Bor oder Phosphor, die die elektrische Leitfähigkeit des Materials im Bereich um Raumtemperatur einstellen, spielen Sauerstoff, Kohlenstoff und seit einigen Jahren zunehmend auch Stickstoff eine große Rolle. Sie werden vor allem dazu eingesetzt, die mechanischen Eigenschaften des Siliziums zu verbessern. Fast ausschließlich schädliche Auswirkungen haben hingegen metallische Verunreinigungen, die während des Prozesses der Kristallzucht und der Solarzellenherstellung ungewollt in das Material gelangen.

Die am häufigsten auftretenden metallischen Verunreinigungen sind

Auf der Sonnenseite

Kristallines Silizium für Solarzellen

Michael Seibt

die Elemente der so genannten 3d-Übergangsreihe, beispielsweise Titan, Chrom, Eisen und Nickel. In der Mikroelektronik hat man gelernt, diese Verunreinigungen durch den Einsatz aufwändiger Reinraumtechnologie weitgehend zu vermeiden und durch gezielte Umverteilung aus den aktiven Bauelementbereichen zu entfernen.

Neue Herausforderungen stellt dagegen die Anwendung kristallinen Siliziums in der Photovoltaik dar. Die hier eingesetzten Materialien sind mit ausgedehnten Defekten behaftet. Deren Wechselwirkung mit metallischen Verunreinigungen ist bis heute nur in Ansätzen verstanden, spielt aber eine wesentliche Rolle für den Wirkungsgrad der Solarzellen. In der Forschergruppe am IV. Physikalischen Institut – Halbleiterphysik der Universität Göttingen konnten kürzlich erstmals die Charakteristika metallischer Fremdatome im stark gestörten Kristallgitter in der Nähe von Versetzungen eindeutig identifiziert werden. Die Mechanismen der Bildung metallischer Ausscheidungen an Versetzungen wurden auf atomarer Skala analysiert. Sie geben Aufschluss darüber, unter welchen Bedingungen bei der Her-

stellung von Solarzellen aus diesen Ausscheidungen Verunreinigungen austreten. Ferner können Strategien für eine Beseitigung der Verunreinigungen in Solarzellen abgeleitet werden. Diese können mit Hilfe eines an der Universität Göttingen entwickelten Simulators weitgehend quantitativ beschrieben werden und so Anhaltspunkte für Prozess- und Materialoptimierung geben. Die Göttinger Forschungsaktivitäten sind Teil des Verbundprojektes »Alternatives Silizium für Solarzellen« (ASiS), das vom Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit finanziert wird. In dem Vorhaben arbeiten elf Forschergruppen aus Universitäten sowie der Fraunhofer- und Max-Planck-Gesellschaft mit deutschen Industrieunternehmen aus dem Bereich der Silizium- und Solarzellenproduktion zusammen.

Photoeffekt: Nobelpreis für Albert Einstein

Werden Metalle mit Licht beleuchtet, dessen Energie oberhalb einer materialspezifischen Grenze liegt, so treten Elektronen – negativ geladene Elementarteilchen – aus dem Metall aus. Im Jahre 1921 wurde Albert Einstein der Nobelpreis für Physik für seine

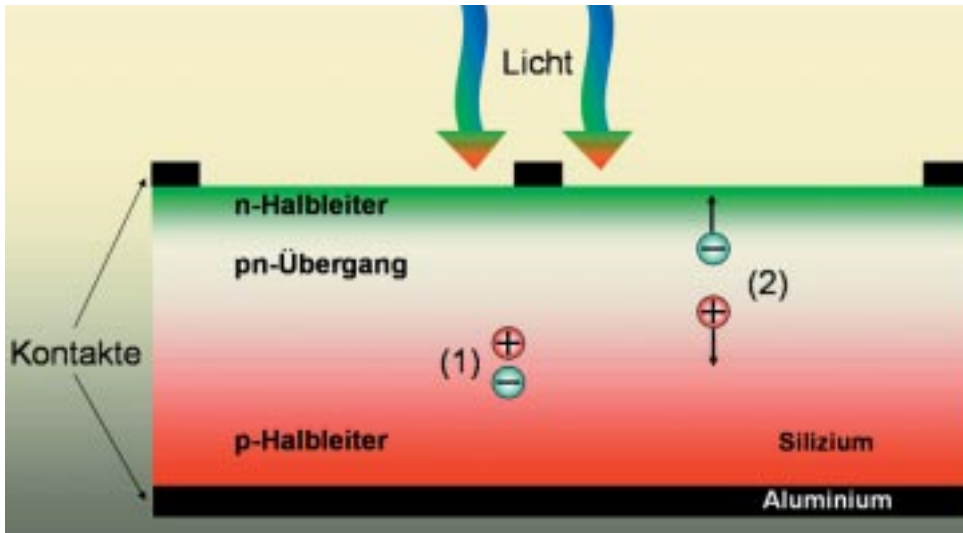


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer einfachen Solarzelle. In einer etwa $300\ \mu\text{m}$ (Mikrometer) dicken Scheibe aus p-leitendem Silizium wird ein etwa $1\ \mu\text{m}$ dicker n-leitender Bereich hergestellt. Durch Lichteinstrahlung werden Elektronen und Löcher im Volumen der Scheibe erzeugt (1). Sie verbreiten sich in den Bereich des pn-Übergangs, dessen elektrisches Feld für eine Ladungstrennung (2) sorgt. Auf diese Weise entsteht eine Photospannung, oder – bei Zuschaltung elektrischer Verbraucher – eine Photostrom.

Arbeiten zu diesem »Photoeffekt« genannten Phänomen verliehen. Sie legten den theoretischen Hintergrund für das Verständnis von Solarzellen, die durch Licht erzeugte Ladungsträger innerhalb eines Halbleiters nutzbar machen. Aus diesem Grund wird der photovoltaische Effekt auch häufig als »innerer Photoeffekt« bezeichnet.

Es existieren heute zahlreiche Konzepte für das Design von Solarzellen. Für die Massenanwendung wird jedoch nach wie vor ein sehr einfacher Zellaufbau verwendet (Abbildung 1): Das Ausgangsmaterial ist Silizium, dem während der Kristallzucht Elemente wie etwa Bor in kleinen Mengen zugesetzt wurde. Die hierdurch fehlenden Bindungselektronen verhalten sich wie bewegliche positive Ladungen, so genannte Löcher. In diesen Halbleitern mit einer typischen Dicke von $300\ \mu\text{m}$ wird auf einer Seite eine hohe Konzentration Phosphor eingebracht, so dass eine maximal einem Mikrometer dicke Schicht entsteht, in der Elektronen im Überschuss

vorliegen. Der zwischen dem n- und p-Halbleiter entstehende pn-Übergang verursacht ein elektrisches Feld, in dem die durch Lichteinstrahlung erzeugten Elektronen und Löcher getrennt werden. Auf diese Weise entsteht der an den Kontakten abnehmbare Photostrom.

Damit die lichtgenerierten Ladungsträger für den Photostrom zur Verfügung stehen, müssen sie also das Gebiet des pn-Übergangs erreichen. Dies geschieht durch die so genannte Diffusion, das heißt durch einen vom Konzentrationsgefälle der Ladungsträger getriebenen Strom. Insbesondere dürfen die Elektronen und Löcher auf ihrem Weg zum pn-Übergang nicht miteinander reagieren und sich so gegenseitig auslöschen. Dieser »Rekombination« genannte unerwünschte Prozess wird vor allem von Materialdefekten und Verunreinigungen beschleunigt.

Warum Silizium?

Die Frage »Warum Silizium?« wird nicht nur in der Mikroelektronik sondern auch in der Photovoltaik immer wieder gestellt. In der Tat gibt es eine Vielzahl von Halbleitermaterialien, die aufgrund ihrer elektronischen und optischen Eigenschaften für viele Anwendungen besser geeignet wären. Auch für photovoltaische

Anwendungen gibt es Alternativen, die höhere theoretische Wirkungsgrade besitzen. Aufgrund seines nahezu unbegrenzten Vorkommens in der Erdkruste in Form von Silizium-Oxiden und Silikaten, seiner Umweltverträglichkeit sowie des seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts gesammelten Wissens über das Material ist kristallines Silizium jedoch auch in der Photovoltaik die dominierende Halbleiter-Substanz. Aktuell werden für unterschiedliche Siliziummaterialien Wirkungsgrade zwischen 13 und 24 Prozent im Labormaßstab erreicht. In der Produktion liegen sie deutlich unter diesen Werten, nämlich zwischen fünf und 17 Prozent.

Bevor Siliziumkristalle aus der Schmelze gezogen werden können, müssen die Ausgangsstoffe – zumeist Siliziumoxid – reduziert, über aufwändige chemische Prozesse gereinigt und zu polykristallinem Rohsilizium verarbeitet werden. Die abschließende Herstellung kristalliner Siliziummaterialien aus der Schmelze wird heute mit großer Perfektion beherrscht. Das beeindruckendste Beispiel ist einkristallines Silizium für mikroelektronische Anwendungen, das frei von Versetzungen hergestellt werden kann. Diese Materialien sind die reinsten Substanzen, die gegenwärtig produziert werden können. Metallische Verunreinigungen liegen hier in Konzentrationen unter $1\ \text{ppt}$ (ppt : parts per trillion) vor, das bedeutet, dass auf 10^{12} ($=1.000.000.000.000$) Siliziumatome weniger als ein Metallatom vorkommt.

Derartig aufwändig hergestellte Materialien sind für photovoltaische Anwendungen unwirtschaftlich. Dies ist vor allem auf den hohen Materialanteil an den Herstellungskosten von Solarmodulen zurückzuführen. Je nach Kristallisierungsprozess beträgt er zwischen 25 und 45 Prozent der Gesamtkosten. Aus diesem Grund werden kristalline Siliziummaterialien für die Photovoltaik mit

deutlich reduziertem Aufwand hergestellt. Die zur Zeit wichtigsten Herstellungsverfahren sind die Czochralski-Einkristallzucht, der Blockguss (Abbildung 2) sowie das Ziehen von Bändern aus der Schmelze. Die so hergestellten Materialien enthalten ausgedehnte Kristalldefekte – vor allem Versetzungen. Sie sind deutlich stärker verunreinigt (metallische Verunreinigungen bis zu 0,1 ppm (ppm: parts per million, entsprechend einem Verhältnis von 1 zu 1.000.000), Sauerstoff und Kohlenstoff bis zu 100 ppm) und liegen, abgesehen vom Czochralski-Silizium, nicht in einkristalliner Form vor. Vielmehr erhält man multikristallines Silizium (mc-Si) mit typischen Korngrößen von einem bis zehn Millimetern.

Metallische Verunreinigungen: wenig Atome mit großer Wirkung

Metallische Fremdatome – insbesondere Atome der Elemente Chrom, Eisen, Nickel und Kupfer – besitzen in kristallinem Silizium erstaunliche Eigenschaften: Ihre Löslichkeit ist klein und beträgt etwa 100 ppm für Kupfer und 0,01 ppm für Titan bei etwa 1.200 Grad Celsius und jeweils weniger als ein Atom pro Kubikzentimeter bei Raumtemperatur. Sie sind vorwiegend in den freien Räumen zwischen den auf dem Gitter angeordneten Siliziumatomen gelöst, das heißt auf den »interstitiellen« Plätzen. Als Folge ist ihre Beweglichkeit sehr groß, vergleichbar etwa mit Atomen und Molekülen in Flüssigkeiten. Dies führt dazu, dass wenige Minuten bei 1.000 Grad Celsius ausreichen, um eine 0,3 Millimeter dicke Siliziumscheibe homogen mit Nickel oder Kupfer zu verunreinigen. Dies ist die typische Zeit und die typische Temperatur für den Herstellungsprozess einer Solarzelle, so dass die unkontrollierte Verunreinigung in der Fertigung nahezu unvermeidlich ist. Eine weitere Folge der hohen Mobilität metallischer Fremdatome ist ihre deutliche



Umverteilung während des Abkühlens von der Prozesstemperatur auf die Raumtemperatur: Die Bildung metallischer Einschlüsse (Ausscheidungen) – bevorzugt an Versetzungen und Korngrenzen – sowie die Segregation (Anhäufung) in den Verzerrungsfeldern von Versetzungen sind die Folge.

Die schädliche Wirkung dieser Fremdatome ist auf die mit ihnen verbundenen tiefen Störstellen zurückzuführen. Sie erhöhen die Wahrscheinlichkeit dafür, dass durch Licht erzeugte Ladungsträger miteinander rekombinieren. Sie erreichen daher nicht den pn-Übergang der Solarzelle und tragen nicht zur elektrischen Leistung der Zelle bei. Die Folge ist, dass der Wirkungsgrad der Solarzelle herabgesetzt ist. In der Solarzellenforschung und -entwicklung wird die so genannte Lebensdauer der generierten Elektron-Loch-Paare dazu benutzt, die Qualität des Solarzellenmaterials zu beschreiben. In Silizium ist die Lebensdauer ein direktes Maß für die Dichte tiefer Störstellen und damit für die Konzentration der vorhandenen metallischen Verunreinigungen.

Wechselwirkung metallischer Verunreinigungen mit Versetzungen

Die Wechselwirkung metallischer Fremdatome mit Versetzungen äußert sich in zahlreichen Phänomenen, von denen hier nur die Ausscheidungsbildung an Verset-

zungen sowie die Anlagerung metallischer Punktdefekte an Versetzungen näher erläutert werden. Die in Göttingen durchgeführten Arbeiten haben insbesondere das Ziel, die grundlegenden und für die jeweiligen Verunreinigungen spezifischen physikalischen Vorgänge aufzuklären und möglichst quantitativ zu beschreiben.

Segregation im Verzerrungsfeld

Eine der prominenten Verunreinigungen in Silizium ist Gold, das – anders als die Elemente der 3d-Übergangsreihe – vorwiegend auf Gitterplätzen gelöst vorliegt. Der Transport von Goldatomen in Silizium geschieht jedoch über solche Gitterplätze, die auf Zwischengitterplätzen vorliegen und einen Bruchteil von etwa 1/1.000 der Gesamtkonzentration ausmachen. Das Verhalten dieser Fremdatome in defektfreien Siliziumkristallen ist eingehend untersucht worden und heute wohlbekannt. Um zu untersuchen, in welcher Form Goldatome bevorzugt an Versetzungen angelagert werden, wurden in der Forschergruppe an der Universität Göttingen Versetzungen in einkristallines, ursprünglich versetzungsfreies Silizium eingebracht und anschließend unter kontrollierten Bedingungen mit Gold kontaminiert. Die Abkühlung auf Raumtemperatur erfolgte unter Bedingungen, die eine Anreicherung der metallischen Fremdatome an den Versetzungen

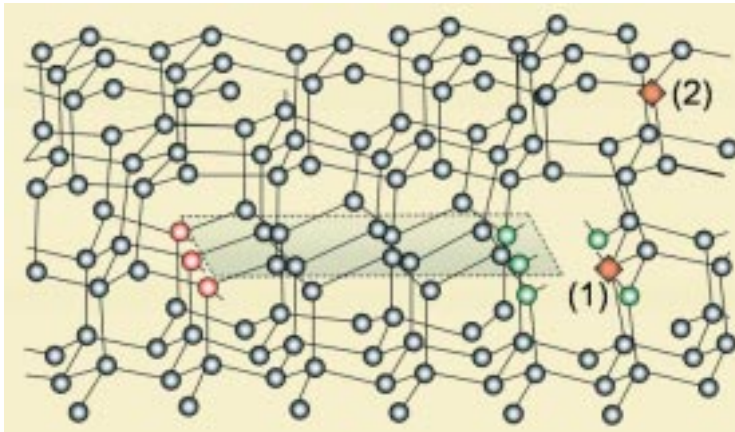
Abbildung 2: Herstellung multikristalliner Siliziumscheiben für Solarzellen. Das Bild zeigt den Blockguss als eines von drei Verfahren: multikristallines Silizium wird in Blöcken gegossen, die durch Drahtsagen in quadratische Scheiben geteilt werden.

erlauben und die den in der Solarzellenherstellung vorkommenden Abkühlprozessen nahe kommen.

ten: zum einen die Anreicherung im gestörten Gitter um die Versetzung (Verzerrungsfeld) und zum

Goldverunreinigungen demonstriert – ist bis heute nicht möglich, so dass strukturelle Methoden wie die Transmissionselektronenmikroskopie zum Einsatz kommen (Abbildung 4). Nach Abschrecken (Abkühlrate etwa 2.000 Kelvin pro Sekunde) werden polyedrische Ausscheidungen an Versetzungen beobachtet, die mit Hilfe der Elektronenbeugung sowie Röntgenspektroanalyse (EDXS: energy dispersive X-ray spectroscopy) als Nickeldisilid (NiSi_2) identifiziert werden können. Üblicherweise wird bei Ausscheidungsbildung vor allem eine beschleunigte Keimbildung an Versetzungen beobachtet, ein Prozess, der physikalisch der beschleunigten Bildung von Wassertropfen an Staubteilen in der Atmosphäre gleicht. Im gestörten Kristall um die Versetzungen existieren sowohl Bereiche, in denen das Gitter aufgeweitet ist, als auch solche, in denen es komprimiert ist. Aus diesem Grund können mechanische Spannungen mit beiden Vorzeichen in der Nähe von Versetzungen verringert werden. Im vorliegenden Fall tritt darüber hinaus eine starke Wechselwirkung der Versetzungen mit den wachsenden Ausscheidungen auf. Sie führt zu starken lokalen Krümmungen der Versetzungen sowie zu Bereichen, in denen die Gleitversetzung des Siliziums innerhalb der NiSi_2 -Ausscheidungen verläuft. Dies hat zu der Hypothese geführt, dass der Versetzungskern der Siliziumversetzungen als Transformationskanal für den Einbau interstitieller Nickel-Atome in NiSi_2 fungiert. Die Konsequenz wäre ein massiver Einbau von Nickel-Atomen in den Versetzungskern mit der Folge verstärkter Rekombinationsaktivität der so kontaminierten Versetzungen.

Abbildung 3: Modell einer aufgespaltenen 60-Grad-Versetzung im Silizium mit Stapelfehler (schraffierte Ebene), Siliziumatomen im Kern der 30-Grad-Partialversetzung (rot) und 90-Grad-Partialversetzung (grün) sowie möglichen Plätzen der Goldatome (Rauten) im Versetzungskern (1) und im Verzerrungsfeld der Versetzung (2)



Das Energiespektrum der so gezielt mit Gold verunreinigten Versetzungen wurde mittels DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) untersucht, eine spektroskopische Methode, mit der sehr empfindlich der Einfang und die Emission von Ladungsträgern an tiefen Störstellen in Halbleitern untersucht werden kann. Es können zwei grundlegend verschiedene Arten der Anreicherung von Fremdatomen an Versetzungen auftreten:

andererseits der direkte Einbau in den Versetzungskern, dessen Struktur sich fundamental von der Struktur des Kristallgitters unterscheidet. Aus dem spektroskopischen Verhalten der an Versetzungen angereicherten Goldatome kann geschlossen werden, dass die Anlagerung im Verzerrungsfeld – also die erste mögliche Variante – dominiert (Abbildung 3).

Ausscheidung an Versetzungen

Ein typischer Vertreter der hochbeweglichen, interstitiell gelösten Fremdatome in Silizium ist Nickel. Es zählt zu den häufigsten ungewollten Kontaminationen, da es in vielen technischen Bauteilen vorkommt, die beispielsweise aus Stahl hergestellt werden. Es ist seit langem bekannt, dass Nickel bereits während sehr schnellem Abkühlen von Prozesstemperatur Ausscheidungen in Form eines Silizids bildet, das aufgrund seiner Gitterstruktur nahezu perfekt in das Siliziumgitter eingepasst ist. Für die mit Versetzungen behafteten Siliziummaterialien für die Photovoltaik ist es von großer Bedeutung, das Ausscheidungsverhalten bei diesen Defekten zu kennen und möglichst grundlegend zu verstehen. Ein direkter Nachweis metallischer Ausscheidungen über elektrische Methoden – wie oben am Beispiel der

Gezielte Umverteilung durch Gettern

In der Halbleitertechnologie werden seit langem so genannte Getterschritte in die Prozesskette inte-

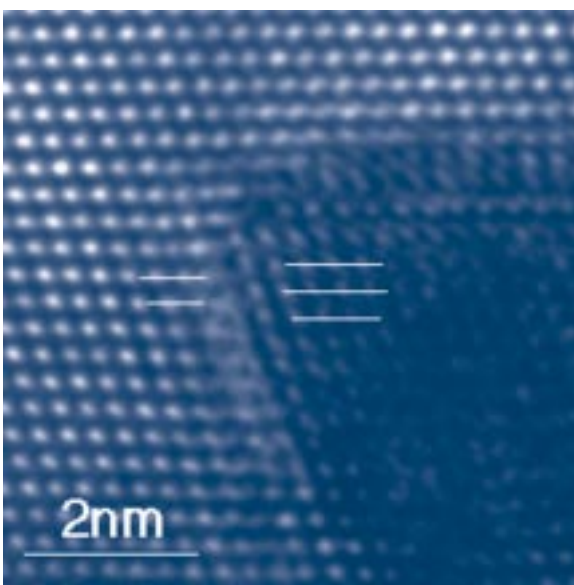


Abbildung 4: Hochauflösende und analytische Transmissionselektronenmikroskopie an NiSi_2 -Ausscheidungen an Versetzungen in Silizium. Direkte Gitterabbildung einer Versetzung innerhalb einer polyedrischen Ausscheidung. Die eingeschobene Ebene ist durch die weißen Linien schematisch markiert, wobei zwei Ebenen im Silizium in drei Ebenen der Ausscheidung übergehen.

Das Sonnenlicht legt 148.900.000 km bis zur Erde zurück. Trotz dieser weiten Reise strotzt sie immer noch vor Energie: Die jährliche Einstrahlung auf der Erde könnte z. B. den weltweiten Energiebedarf 10.000 mal decken. Ob als Photovoltaik-Anlage zur Stromerzeugung oder als Solarthermie-Anlage, um Warmwasser und Heizungsenergie zu gewinnen: Mit Hilfe von intelligenten Conergy Produkten und Systemen müssen Sie nicht endlos lange warten - sondern können die endlose Energie effizient nutzen.



UNSERE WELT STECKT VOLLER ENERGIE.

Millionen von Kilometern gereist.

Von Conergy gebührend empfangen.

griert. Der Begriff *Gettern* stammt aus der Vakuumtechnik und beschreibt beispielsweise das Wegfangen ionisierter Atome des Restgases durch ein elektrisches Feld. In der Siliziumtechnologie bezeichnet dieser Begriff die gezielte Umverteilung metallischer Verunreinigungen in Gebiete einer Siliziumscheibe, die für die Funktionsweise des Bauelementes keine Rolle spielen. Für Anwendungen in der Photovoltaik muss berücksichtigt werden, dass im Fall der Solarzellen das Bauelement den gesamten Siliziumwafer umfasst. Als Wafer werden in der Halbleiterindustrie kreisrunde, sehr dünne Silizium-Scheiben bezeichnet, auf der elektronische

Bauelemente aufgebracht werden. Aus diesem Grund kommen lediglich solche Verfahren zum Einsatz, bei denen die metallischen Fremdatome im hoch phosphordotierten Emitterbereich (Phosphordiffusionsgettern) oder in der auf der Rückseite vorliegenden Aluminiumschicht (Aluminiumgettern) angesammelt werden. Es ist eine besondere Herausforderung, diese Getterschritte gerade so zu führen, dass sie für eine effektive »Reinigung« des Materials sorgen und gleichzeitig die Funktion der Solarzelle nicht verschlechtern.

Die physikalischen Grundlagen dieser Getterprozesse sind in den vergangenen Jahren intensiv untersucht worden und gelten

heute als weitgehend identifiziert und verstanden. So beruht das Aluminiumgettern auf einer im Vergleich zum Silizium um Größenordnungen höheren Löslichkeit metallischer Fremdatome in der aus Aluminium und Silizium bestehenden Schmelze, die als Quelle für die Herstellung des hoch p-dotierten Bereichs an der Scheibenseite dient. Das Phosphordiffusionsgettern hingegen findet seine Ursache in der elektronischen Struktur metallischer Fremdatome in Silizium, die eine erhöhte Löslichkeit der Metallatome auf Gitterplätzen in hoch n-dotierten Bereichen nach sich zieht. Bei sehr hohen Phosphorkonzentrationen kommt es zudem zur Bildung von Metallsilizid-Ausscheidungen im Emitterbereich – das ist der phosphordotierte Bereich an der Vorderseite der Solarzelle –, die die Effektivität des Prozesses nochmals erheblich steigern. Die aktuellen Arbeiten zielen vor allem darauf, die Getterprozesse quantitativ zu beschreiben und über numerische Simulationen die für Solarzellen relevanten Größen zu berechnen. Nur auf diese Weise wird es möglich, für die verschiedenen Solarzellenmaterialien optimierte Bedingungen der Prozessführung zu finden. Dieser »Gettersimulator« beschreibt in der aktuellen Version den zeitlichen Verlauf der Reinigung der Solarzelle von metallischen Verunreinigungen wie Gold oder Eisen bei Eindiffusion von Phosphor in die Scheibenvorderseite. In Verbindung mit einem einfachen Rekombinationsmodell kann auf diese Weise die Qualität der Solarzelle mit Hilfe der so genannten »spektralen Antwort« berechnet werden. Somit wird es möglich, Temperatur-Zeit-Verläufe »am Schreibtisch« so zu gestalten, dass ein möglichst großer Reinigungseffekt erzielt wird, ohne die Funktion der Solarzelle zu beeinträchtigen.

Kompetenz in Quarzglas





Als **Partner** für die Herstellung und Beschaffung von Konstruktionsteilen aus Quarzglas für die **Photovoltaik- und Halbleiter-Industrie** haben wir uns einen europaweiten Ruf erworben.

Bewährte **Standardprodukte** für gängige Spezifikationen sowie **spezielle Anwendungen**, die individuell zu entwickelnde Bauteile benötigen, bieten wir Ihnen in jedem Stadium: von der **Konstruktion**, über **Prototypen** bis hin zur **Fertigung und Lieferung von Einzelstücken und Serien**.

Hervorragende **Qualität**, **Zuverlässigkeit**, **Flexibilität** und **Preiswürdigkeit** bilden in jedem Fall die Grundlage unseres Handelns.



ZELL
QUARZGLAS UND TECHNISCHE KERAMIK
TECHNOLOGIE GmbH

www.zell-quarzglas-keramik.de

Fazit

Die zukünftige grundlegende und angewandte Forschung an Defekten in kristallinem Silizium lässt weitere deutliche Verbesserungen von Solarmaterialien erwarten. Solarzellen der

Zukunft werden besser und wirkungsvoller bei sinkenden Produktionskosten sein. Das optimierte »defect engineering« dieser Materialien ist eine anspruchsvolle und reizvolle Aufgabe für zukünftige Forschungsvorhaben. Die komplexen Wechselwirkun-

gen der verschiedenen Fremdatome untereinander und mit Kristalldefekten benötigen den kombinierten Einsatz von Experimenten, ortsaufgelöster struktureller und elektrischer Methoden sowie leistungsfähiger numerischer Simulationen. ◀

Crystalline silicon has for decades been the dominating semiconductor material of microelectronic technology. Because of their tremendous effects on device performance, defects have been a major topic of research and development in the silicon area from the very beginning. On the one hand, group III and group V elements, which are deliberately introduced to control and adjust the material conductivity, oxygen, carbon and lately also nitrogen, are used to improve the mechanical properties of crystalline silicon. On the other hand, metal impurities reduce the lifetime of light-induced charge carriers and thus affect the efficiency of the solar cells currently produced. The physics of interaction of such impurities with grown-in crystal defects such as dislocations and grain boundaries is being studied by a research group of Göttingen University. In

addition, processing steps suitable for a controlled redistribution of metal impurities are under investigation. These so-called »gettering« processes are included into processing schemes of solar cell manufacturing in order to improve the efficiency of energy conversion. Highly sensitive electrical techniques, high-resolution and analytical transmission electron microscopy and predictive simula-

tions are the corner stones of these research activities. They are performed as part of the national research network »ASiS«, sponsored by the German Ministry of Environment and Reactor Security. In addition to German wafer and solar cell manufacturers, the network includes eleven German research groups from universities, the Max-Planck-Gesellschaft and the Fraunhofer-Gesellschaft.



Privatdozent Dr. Michael Seibt, Jahrgang 1958, studierte Physik an der Universität Göttingen, an der er 1986 promoviert wurde. Nach Forschungsarbeiten in enger Zusammenarbeit mit der deutschen Mikroelektronikindustrie folgte ein Aufenthalt als Feodor-Lynen-Stipendiat im Microphysics Department der AT&T Bell Laboratories in New Jersey (USA) und die Habilitation im Fach Physik an der Universität Göttingen. Seine Forschungsschwerpunkte sind die elektronische und atomare Struktur der Defekte und Grenzflächen in Halbleitern sowie die quantitative hochauflösende Transmissionselektronenmikroskopie.

Anzeige

Nach 3 erfolgreichen Runden startet nun die vierte Auflage unseres Traineeprogrammes. Wir suchen daher für den Ausbau bestehender Exportmärkte engagierte Verkaufstalente als

Trainee Vertrieb-Export m/w

mit

- sehr erfolgreich absolvierten betriebswirtschaftlichen, technischen oder forstwissenschaftlichen Studium
- sehr guten Sprachkenntnissen – gern auch mehr Muttersprachen/n
- hohem Maß an Kontakt- und Kommunikationsfähigkeit
- Durchsetzungsvermögen und Überzeugungsfähigkeit

Wir bieten ein individuell ausgerichtetes und sehr intensives 6-monatiges Traineeprogramm in einem modernen Arbeitsumfeld, bei dem der tägliche Umgang mit unserem Produkt und SAP R3 einen festen Bestandteil bilden. Ein Mentor steht Ihnen jederzeit zur Verfügung. Mit Blick auf unsere mittelständische Struktur – sehr flache Hierarchien – übernehmen Sie sehr zügig Verantwortung. Leistung ist gefragt, wird gefördert und honoriert. Sie werden in unser junges Team eingebunden und haben vom ersten Tag an die Möglichkeit, Ihre innovativen und kreativen Ideen einzubringen.

Unsere Personalreferentin Christina Döring freut sich auf Ihre Bewerbung. Mehr Infos und weitere interessante Stellenaussagen unter www.pollmeier.com/
Tel. +49 36926 945-411 oder christina.doring@pollmeier.com

■ Seit unserem Markteintritt vor 8 Jahren gehen wir konsequent neue Wege und haben uns damit in einem rasanten Tempo von einem Newcomer zum Marktführer entwickelt. Zusehends sind wir europaweit führend in der Verfertigung von weichen Laubholzholzprodukten.

Kunden in über 60 Ländern profitieren von der Wirtschaftlichkeit unseres Holzes. Der weitere Ausbau unserer weltweiten Exportmärkte und die Bildung von neuen Vertriebs- und Länderteams erfordern einen innovativen und bestandsintensiv ausgerichteten Vertrieb, der mit unseren anwendungsorientierten Marktesprodukten auf die Anforderungen unserer Kunden ausgerichtet ist.

Eine intensive Einarbeitung sowie die fortwährende Entwicklung unserer Mitarbeiter durch gezielte Qualifikationsmaßnahmen sind feste Grundzüge unserer Personalarbeit. Eine geringe Fluktuationsrate versteht sich damit von selbst.

pollmeier

Pollmeier Massivholz GmbH • Pferdörfelder Weg 6 • 99831 Kreuzburg/Germany • Tel. +49 36926 945-0 • www.pollmeier.com