

Zwischenbericht (2)
Ende 1982

P r o j e k t 2

"Flächensilizium"

Teilvorhaben 2.1 "S-Web-Technik"

Teilvorhaben 2.2 "Sintertechnik"

Projektleiter: Dr. J. Grabmaier

Vorhabenbeschreibung

1. Gesamtziel des Vorhabens

Die photovoltaische Energieumwandlung von Solarenergie in Elektrizität ist von großer Bedeutung bei der langfristigen Lösung globaler Energieprobleme. Der großtechnischen Anwendung der Photovoltaik sind aber zur Zeit noch enge Grenzen gesetzt durch die im Vergleich zu anderen Energiequellen hohen Systemkosten. Die für eine kommerzielle Anwendung von Solarzellen unerläßliche Senkung der Systemkosten um einen Faktor 10-20 erfordert entsprechende Kostensenkungen auf allen Produktionsebenen von photovoltaischen Energieumwandlungsanlagen.

Kurz- und mittelfristig werden in größerem Umfang nur Solarzellen aus kristallinem Si zum Einsatz kommen. Zur Herstellung dieser Solarzellen sind beim bisherigen Stand der Technik Si-Scheiben oder -Platten möglichst großer Fläche und mit Dicken im 150 μm -Bereich erforderlich. Diese Si-Scheiben werden bisher durch Zersägen von großvolumigen Si-Kristallen hergestellt (mit Dicken um 350 μm); ein Verfahren, das zwar technisch ausgereift, jedoch material- und arbeitsintensiv ist und dadurch erhebliche Kosten verursacht.

Ziel dieses Vorhabens ist es, neue Techniken zur kostengünstigen Herstellung von "Flächensilizium" in einem Direktverfahren, d.h. ohne formgebende Zwischenschritte, zu erarbeiten.

2. Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

Flächensilizium, das zur kostengünstigen Herstellung von Solarzellen geeignet sein soll, muß mehreren Bedingungen genügen, die einerseits aus Kostengründen, andererseits aus technischen Gründen gestellt werden müssen. Ganz allgemein gilt, daß das Flächensilizium in einem Direktverfahren (d.h.

ohne Materialverlust und ohne formgebende Produktionsschritte) und mit möglichst hoher Flächengeschwindigkeit (= erzeugte Fläche pro Maschine und Zeiteinheit) hergestellt werden sollte, ohne daß dabei der Wirkungsgrad von daraus hergestellten Solarzellen nennenswert leidet.

Bisher sind keine Verfahren bekannt, die dieser Forderung genügen. Während sogenannte "ingot"-Verfahren i.a. zu Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden (12-15 %) führen, sind die durch das Zersägen der "ingots" bedingten Kosten (Materialverlust von ca. 50 % plus Sägekosten) nur sehr bedingt reduzierbar. Bereits existierende Flächenverfahren (siehe Abschnitt 2.1.1) umgehen die mit dem Sägen zusammenhängenden Probleme, dafür sind Flächengeschwindigkeiten und Solarzellenwirkungsgrade i.a. noch gering.

Im Rahmen des Vorhabens "Flächensilizium" werden zwei Projekte zur Herstellung von Flächensilizium, das den obigen Bedingungen genügt, verfolgt: Die sogenannte S-Web-Technik (Teilprojekt 2.1) und die Sintertechnik (Teilprojekt 2.2). Bei beiden Verfahren steht dabei die Erzielung einer hohen Flächengeschwindigkeit im Vordergrund der wissenschaftlichen und technischen Bemühungen.

Die S-Web-Technik sieht vor, ein Netz aus Carbonfasern (oder alternativ aus Quarzfasern) mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit durch eine Si-Schmelze zu ziehen. Das Netz wird bei geeigneter Führung der thermischen und geometrischen Parameter mit Si beschichtet und das damit erhaltene Flächensilizium (das "S-Web") kann direkt zu Solarzellen weiterverarbeitet werden.

Im Sinterverfahren wird zunächst eine Si-Pulver-Binder-Aufschlammung in eine Rohfolie gegossen, die anschließend bei hoher Temperatur zu einer grobkristallinen Si-Folie gesintert wird. Eine hohe Flächengeschwindigkeit des Sinterverfahrens ergibt sich aus der Möglichkeit, in einem Arbeitsgang eine

große Anzahl von gestapelten Rohfolien zu sintern.

Bei der Durchführung beider Verfahren wird wissenschaftliches und technisches Neuland beschritten. Unmittelbares Ziel des Projektes ist es, die grundsätzlichen physikalischen und chemischen Vorgänge bei der Herstellung von Flächensilizium nach den genannten Verfahren zu verstehen, um daraus die zur Durchführung der Teilprojekte notwendigen Techniken und Verfahrensweisen definieren zu können. Mittelbares Ziel ist die Herstellung von für Solarzwecke geeignetem Flächensilizium nach diesen Verfahren.

3. Erfolgsaussichten

Beide Teilprojekte werden bereits seit einiger Zeit beim Antragsteller bearbeitet. Dabei hat sich gezeigt, daß beide Verfahren zur Herstellung von Flächensilizium geeignet sind und potentiell hohe Flächengeschwindigkeiten erlauben. Die Herstellung von Flächensilizium, das allen Anforderungen genügt, erfordert jedoch noch einen erheblichen Forschungs- und Entwicklungsaufwand für beide Teilprojekte. Aufgrund von eigenen und in der Literatur dokumentierten Erfahrungen ist zu erwarten, daß alle anfallenden Teilprobleme gelöst werden können. Es ist jedoch noch nicht gesichert, ob das erhaltene Flächensilizium problemlos zu Solarzellen mit einem ausreichend hohen Wirkungsgrad weiterverarbeitet werden kann und wie hoch die Kosten des Verfahrens in ihrer endgültigen Form sein werden.

T e i l v o r h a b e n 2.1

" S - W e b - T e c h n i k "

Projektleiter: Herr Dr. H. Föll

Technische Durchführung

2.1.1 Stand der Technik und alternative Lösungswege

Bei der Entwicklung von Flächensilizium zur Solarzellenherstellung hat es seit der ersten Antragstellung (Ende 1980) bei allen konventionellen "ingot"- und Flächenverfahren keine herausragenden Fortschritte gegeben. Die ingot-Verfahren (Tiegel- und Zonenziehen /1,2/, Gießen /3/, HEM ("heat exchange method") /4/) und die seit längerem bekannten Flächenverfahren (EFG ("edge-defined film-fed ribbon growth") /5/, dendritic Web /6/ mit der Variante ESP ("edge-supported pulling") /7/, RTR ("ribbon to ribbon") /8/, SOC ("silicon on ceramic") /9/, RAD ("ribbon against drop") /10/) sind weitgehend entwickelt und können nicht mehr entscheidend verbessert werden. Die laufenden Anstrengungen bei diesen Verfahren konzentrieren sich auf den Aufbau von Pilot- oder Fertigungsanlagen (z.B. EFG, dendritic Web), auf die Umsetzung von Laborversuchen in eine Produktion oder auf die Erzielung marginaler Fortschritte bei Zellenwirkungsgraden und Flächengeschwindigkeiten. Die Flächengeschwindigkeiten aller genannten Verfahren sind $\approx 0,05 \text{ m}^2/\text{min}$ für ingot-, und $\approx 0,005 \text{ m}^2/\text{min}$ für Flächenverfahren und können nicht mehr nennenswert gesteigert werden. Die Wirkungsgrade liegen zwischen 9 % - 15 %, wobei die ingot-Verfahren i.a. noch bessere Werte aufweisen als die Flächenverfahren (mit Ausnahme des dendritic Web). Bei allen Flächenverfahren sind noch keine konkreten Kosten des Herstellungsprozesses bekannt; die Wirtschaftlichkeit einiger Flächenverfahren (z.B. SOC, RTR, RAD) erscheint zweifelhaft.

Die Bedeutung möglichst hoher Flächengeschwindigkeiten, d.h. erzeugte Si-Fläche pro Zeiteinheit und Maschine bei der kostengünstigen Herstellung von Flächensilizium für Solarzellen, wurde in den letzten Jahren weltweit immer stärker erkannt.

Neue Methoden mit verfahrensbedingten hohen Flächengeschwindigkeiten sind neben den beim Antragsteller geförderten Verfahren (S-Web-Technik; Sintern; Bandspritzen) horizontale Bandziehtechniken (erstmalig 1969 beschrieben /11/). Horizontale Verfahren zum Si-Bänderziehen sind unter den Kürzeln "HRG" ("horizontal ribbon growth", Japan Silicon Co.) /12/, "LASS" ("low-angle silicon sheet growth", Energy Mat. Corp., USA /13/ und ICC ("interface controlled crystallization", Wacker-Heliotronic) /14/ in der neueren Literatur beschrieben. Die linearen Ziehgeschwindigkeiten bei diesen Verfahren liegen im Bereich 12 cm/min - 80 cm/min; bei (zukünftigen) 10 cm breiten Bändern ergeben sich damit Flächengeschwindigkeiten $\approx 0,08 \text{ m}^2/\text{min}$ - etwa eine Größenordnung höher als bei konventionellen Flächenverfahren. Die aus horizontal gezogenen Si-Bändern gefertigten Solarzellen haben Wirkungsgrade $\approx 10 \%$ /12,13/.

Horizontal gezogene Si-Bänder kommen also dem Ziel einer hohen Flächengeschwindigkeit ohne Einbußen beim Wirkungsgrad erheblich näher als die konventionellen Bandziehverfahren. Ihre entscheidenden Nachteile sind erhebliche Schwierigkeiten bei der Prozeßkontrolle (Temperaturregelung, Schmelzenniveauregelung etc.) und damit verbunden, größte Schwierigkeiten bei der Konstanthaltung der Si-Banddimensionen. Insbesondere ist es bisher offenbar nicht gelungen, Bänder mit einer konstanten Dicke im normalerweise angestrebten 150 μm -Bereich zu erhalten. Der Zieh- oder Kristallisationsprozeß ist außerdem sehr störanfällig und deshalb nur bedingt geeignet für eine kontinuierliche Produktion in größerem Maßstab.

Um die S-Web-Technik mit alternativen Verfahren besser vergleichen zu können, wird im folgenden kurz auf die geschwindigkeitsbegrenzenden Faktoren beim Si-Bänderziehen eingegangen.

Bei jedem Kristallziehverfahren wird die erzielbare Flächengeschwindigkeit durch die bei der Kristallisation freiwerdende Kristallisationswärme begrenzt. Diese Wärme entsteht an der Kristallisationsfront und muß durch Strahlung und Wärmeleitung abgeführt werden, um eine Überhitzung zu vermeiden. Die Effektivität dieser Wärmeabfuhr ist entscheidend für die maximale Flächengeschwindigkeit; sie steigt mit wachsendem Temperaturgradient an der Kristallisationsfront und mit wachsender Fläche der Kristallisationsfront.

Bei allen aufgeführten konventionellen Verfahren steht die Kristallisationsfront praktisch senkrecht zur Ziehrichtung; ihre Fläche ist also identisch mit der Querschnittsfläche des wachsenden Kristalls oder Bandes und kann nicht vergrößert werden. Höhere Ziehgeschwindigkeiten können nur über höhere Temperaturgradienten erreicht werden, jedoch sind hier bei allen konventionellen Verfahren keine nennenswerten Steigerungen mehr möglich.

Bei den horizontalen Ziehverfahren steht die Kristallisationsfläche unter einem kleinen Winkel ($\approx 5^\circ$) zur Bandoberfläche, ist also etwa zehnmal größer als die Querschnittsfläche des Bandes. Durch die damit ermöglichte effektive Wärmeabfuhr ergibt sich die etwa zehnmal schnellere Ziehgeschwindigkeit.

Beim Bandspritzen steht die Kristallisationsfläche ebenfalls fast parallel zur Bandoberfläche, gleichzeitig sind extreme Temperaturgradienten vorhanden. Daraus erklärt sich die extreme "Ziehgeschwindigkeit" von bis zu 3000 m/min.

Die S-Web-Technik erreicht eine hohe Flächengeschwindigkeit durch Entkopplung von Zieh- und Kristallisationsprozeß. Zu jedem gegebenen Zeitpunkt sind nicht nur eine, sondern viele individuelle Kristallisationsfronten vorhanden. Beim Durchziehen des Trägernetzes durch die Schmelze füllen sich die Maschen des Netzes mit flüssigem Si, das, aufgrund der hohen Oberflächenspannung des Siliziums, auch nach Verlassen

der Schmelze noch einen stabilen Film in den Maschen bildet. Dieser Silizium-Film innerhalb einer Masche kristallisiert sobald seine individuelle Temperatur den Schmelzpunkt unterschreitet ("Maschenkristallisation"). Zu jedem Zeitpunkt sind also sehr viele Maschen in verschiedenen Stadien der Kristallisation vorhanden und die Gesamtfläche aller Kristallisationsfronten ist sehr viel größer als die Querschnittsfläche des S-Webs. Eine weitere Erhöhung der Flächengeschwindigkeit und gleichzeitig eine Verbesserung der Kristallqualität des S-Webs wird erreicht, indem durch geeignete Kontrolle der thermischen Bedingungen die Kristallisationsfront etwa parallel zur Ziehrichtung steht ("einseitig induzierte Maschenkristallisation" (EIM), oder "S-Web/EIM-Technik").

Die S-Web-Technik kann also Elemente des horizontalen Bandziehens enthalten, ist aber ein grundsätzlich andersartiges und neues Verfahren. Die Verwendung eines Netzes als Trägerkörper stabilisiert die Kristallisationsfronten und vereinfacht die kontinuierliche Produktion von Si-Bändern. Darüberhinaus sind im Vergleich zu horizontalen Ziehverfahren höhere Flächengeschwindigkeiten erzielbar, außerdem können sehr breite Bänder (oder gleichzeitig mehrere schmale) gezogen werden. Die durch das Netz bedingten Nachteile (Störungen des Kristallgefüges, Verunreinigungen) sind vergleichsweise gering und beherrschbar.

Die zur Verwirklichung der S-Web/EIM-Technik notwendigen Einzeltechniken oder -Prozesse sind grundsätzlich bekannt; dies ergibt sich aus einem Vergleich mit anderen Flächenziehverfahren. Zum Beispiel treten die mit Graphitbauteilen verbundenen Probleme auch beim EFG- oder RAD-Verfahren auf und wurden dort weitgehend überwunden. Die zur EIM nötigen Temperaturgradienten lassen sich ebenfalls erzeugen und stabilisieren, wie die horizontalen Ziehtechniken demonstriert haben.

2.1.2 Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Eine Arbeitsgruppe "S-Web-Technik" existiert seit 1981 beim Antragsteller. Die ersten Aktivitäten waren auf Tauchversuche mit Graphitgittern beschränkt, seit März 1982 laufen jedoch Bandziehversuche mit Carbonfasernetzen im Sinne der S-Web-Technik. Die dabei erzielten Erkenntnisse sind in bisher vier Halbjahresberichten /15/ und zwei Veröffentlichungen /16,17/ dokumentiert.

Die bisherigen Arbeiten haben gezeigt, daß das Grundkonzept der S-Web-Technik realistisch ist. Die Maschen eines netzartigen Substrates werden bei geeignetem Vorgehen auch bei hohen Ziehgeschwindigkeiten ($V = 2 \text{ m/min}$) mit flüssigem Si gefüllt und erstarren einige Zeit nach dem Verlassen der Schmelze in der sogenannten "Maschenkristallisation". Die beim Ziehen und Kristallisieren ablaufenden Prozesse wurden untersucht und grundsätzlich verstanden. Der Beschichtungsablauf des S-Webs als Funktion von Prozeßvariablen wie Maschengröße des Netzes, Ziehrichtung (vertikal nach oben oder unten, horizontal), Temperaturfeld und Meniskusgeometrie kann innerhalb gewisser Grenzen berechnet werden.

Ziel der laufenden Arbeiten ist es, eine einseitige Beschichtung des Netzes zu erreichen, so daß das S-Web die in Bild 1 schematisch dargestellte Struktur erhält. Dazu erforderlich ist eine asymmetrische Beschichtungsgeometrie und Temperaturführung. Dies kann z.B. durch Verwendung einer sogenannten Ziehdüse erreicht werden. Bild 2 zeigt eine mögliche Version; das S-Web kristallisiert dabei in der "einseitig induzierten Maschenkristallisation" (EIM). In dieser speziellen Ausführung der S-Web-Technik besteht ein gewisser Bezug zu horizontalen Ziehtechniken: Die Oberseite des S-Webs in Bild 2 kristallisiert mit der für das horizontale Ziehen typischen Keilform. Das Hauptvolumen entsteht jedoch durch (transversale) Maschenkristallisation. Ziehen in horizontaler Richtung ist dazu nicht prinzipiell erforderlich, allerdings bietet horizontales Ziehen gegenüber vertikalem Ziehen den Vorteil, daß größere Netzmaschen verwendet werden können.

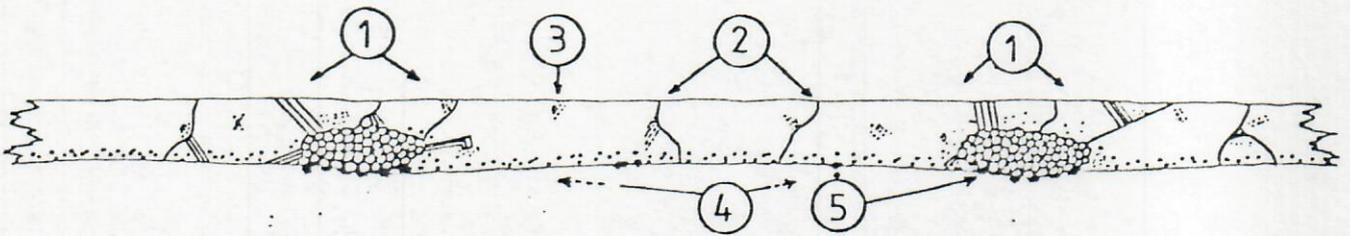


Bild 1 Optimalstruktur des S-Webs (Querschnitt)

- ① Stege überschichtet ② wenige, kolumnare Korngrenzen ③ wenig Versetzungen ④ Verunreinigungen und ⑤ SiC-Partikel nur in Rückseite

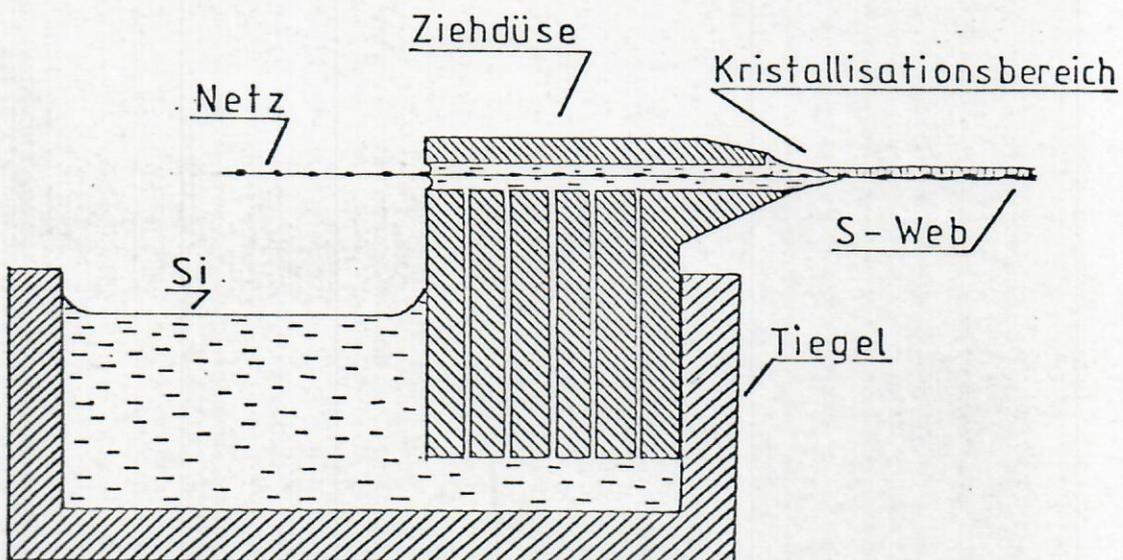


Bild 2 Beispiel einer Ziehdüse in der S-Web-Technik

Der erste Schritt zur S-Web-/EIM-Technik ist die einseitige Beschichtung eines Carbonfasernetzes durch geeignete Führung der Beschichtungsgeometrie. Dies wurde Mitte 1982 an bis zu 50 cm langen und bis zu 10 cm breiten Netzen zum erstenmal realisiert. Eine EIM wurde dabei noch nicht angestrebt, die Ziehgeschwindigkeiten waren deshalb noch relativ niedrig. Die Versuche erbrachten jedoch unverzichtbare Erkenntnisse über die technische Seite der S-Web-Technik, über die Wechselwirkung zwischen Si und Netz sowie über die Beschichtungsvorgänge bei Verwendung von Ziehdüsen und werden deshalb fortgesetzt. Zur Zeit werden Versuche zur EIM aufgenommen, damit soll sowohl die Flächengeschwindigkeit als auch die Kristallqualität erheblich gesteigert werden.

Parallel zu der Entwicklung der S-Web-/EIM-Technik läuft die Untersuchung von Materialfragen. Dabei stehen Reinheitsanforderungen an Netz, Tiegel und Ziehdüse im Vordergrund des Interesses. Weiterhin wird, um eine Alternative zu den Kohlenstoffnetzen zu haben und da Vorversuche positiv ausfielen, ein Quarznetz entwickelt und im Labormaßstab erprobt.

Die personelle und apparative Ausstattung bietet Gewähr für ein zügiges Fortschreiten der Arbeiten. Zwei für die S-Web-Technik modifizierte Kristallzuchtanlagen stehen zur Verfügung (S-Web-Anlage I: kleine und vielseitige Laboranlage für Bänder bis zu 4 cm Breite; geeignet für Tauch- und Bandziehversuche in jeder Richtung. S-Web-Anlage II: große modifizierte Tiegelziehanlage für Bänder bis zu 10 cm Breite), der Bau einer schon von der Konzeption her für die S-Web-/EIM-Technik ausgelegten Anlage ist geplant (S-Web-Anlage III). Die für grundsätzliche Charakterisierungen von S-Web-Proben (einschließlich der Herstellung von Testzellen) notwendigen Geräte sind innerhalb der S-Web-Gruppe vorhanden oder im Aufbau. Darüberhinaus stehen im Siemens Forschungslabor vorhandene Geräte, wie z.B. Elektronenmikroskope oder Elektronenstrahlsonden zur Verfügung.

2.1.3 Arbeitsplan

2.1.3.1 Grundsätzliche Untersuchungen zur S-Web-Technik

Diese Untersuchungen werden vorzugsweise in der S-Web-Anlage I durchgeführt. Sie umfassen folgende Punkte:

- . Durchführung von Prinzipversuchen zum vertikalen und horizontalen Bandziehen unter Verwendung von Ziehdüsen.
- . Durchführung von Prinzipversuchen zur einseitig induzierten Maschenkristallisation.
- . Weiterführung von Versuchen zur Prüfung der Resistenz von Bauteilen (Tiegel, Ziehdüse) und Netzen (Carbonfaser, Graphit und SiO_2) gegenüber flüssigem Si.
- . Grundlagenuntersuchungen zum Benetzungs- und Beschichtungsverhalten der verschiedenen Netze und Bauteile.
- . Untersuchungen zur Verschleppung von Verunreinigungen aus Netzen und Bauteilen in das S-Web.

Die Versuche dienen zum Verständnis der bei der S-Web-Technik ablaufenden physikalischen Prozesse und zur Beherrschung der Materialfragen. Die experimentellen Arbeiten erstrecken sich von einfachen Tauch- und Aufschmelzversuchen bis zu Bandziehversuchen mit bis zu 4 cm breiten Netzen. In enger Wechselwirkung mit der Theorie der S-Web-Technik wird die Bedeutung der Ziehrichtung (vertikal nach oben oder unten, horizontal) und der Meniskusgeometrie bestimmt. Gleichzeitig wird die Erzeugung und Kontrolle von Temperaturgradienten erprobt um die optimalen Bedingungen für eine einseitig induzierte Maschenkristallisation definieren zu können.

2.1.3.2 Bandziehversuche nach der S-Web-Technik

Diese Untersuchungen werden hauptsächlich in der S-Web-Anlage II durchgeführt. Folgende Punkte stehen im Vordergrund:

- . Kontinuierliche Beschichtung von bis zu 10 cm breiten und bis zu 1 m langen Netzen.
- . Entwicklung einer Nachheizung zur kontrollierten Abkühlung des S-Webs.
- . Erzeugung und Kontrolle einer einseitigen Netzbeschichtung.
- . Untersuchung des Einflusses der Schutzgaszusammensetzung auf die Qualität des S-Webs.
- . Konstruktion, Bau und Erprobung eines Endlos-Bandtransportes mit Schleuse.
- . Konstruktion, Bau und Erprobung einer Si-Nachfuhr in die Schmelze einschließlich Niveauregelung.
- . Beschichtung von 10 cm breiten Bändern durch einseitig induzierte Maschenkristallisation.

Diese Versuche dienen zur Erprobung der bei den Grundlagenuntersuchungen erarbeiteten Konzepte unter fertigungsnahen Bedingungen, der Herstellung von großflächigen S-Web-Proben für weitergehende Messungen sowie zur Erprobung der für das kontinuierliche S-Web-Ziehen notwendigen Techniken (z.B. Bandtransport, Temperaturmessung und -Regelung). Vorläufig wird bei kleinen Ziehgeschwindigkeiten gearbeitet; die Übernahme der in der S-Web-Anlage I gewonnenen Erfahrungen ermöglicht dann zu einem späteren Zeitpunkt ein schnelles Ziehen unter Ausnutzung der einseitig induzierten Maschenkristallisation.

2.1.3.3 Bänderziehen nach der S-Web-Technik

Mit dem Aufbau einer ausschließlich für die S-Web-Technik bestimmten Anlage (S-Web-Anlage III) wird in der zweiten Hälfte des Antragszeitraumes begonnen. Die in den S-Web-Anlagen I und II gemachten Erfahrungen werden die Gestaltung dieser Anlage bestimmen. Erste Bandziehversuche mit bis zu 30 cm breiten Bändern sind für 1985 vorgesehen.

2.1.3.4 Reinigung von Carbonfasernetzen und Graphitbauteilen

Die derzeit benutzten Carbonfasern sind noch relativ stark verunreinigt und führen zu einer Kontamination des S-Webs; ähnliches gilt für Bauteile wie Tiegel und Ziehdüsen. Eine Reinigung durch Glühen im Halogengasstrom (zunächst im Unterauftrag bei Ringsdorff und/oder Schunk & Ebe) ist daher notwendig und, nach Maßgabe erster Versuche, auch möglich.

Alternativ zu einer Hochtemperatur-Nachreinigung kann auch eine Belegung von Bauteilen und Netzen mit einer für Verunreinigungen undurchlässigen Schutzschicht (z.B. Pyrographit) in Frage kommen. Erste Versuche dazu verliefen erfolgversprechend und werden fortgesetzt.

2.1.3.5 Weiterentwicklung der Carbonfasernetze

Vorgesehen sind die folgenden Arbeiten:

- . Einbau einer Programmsteuerung für vorwählbare Schußfädenabstandsfolgen in den vorhandenen Webstuhl.
- . Fortentwicklung des Webstuhles zur Verbesserung der Netzqualität.
- . Herstellung von Netzen aus alternativen Fasern (Carbon-, Graphit- oder SiO_2 -Fasern).

- . Anschaffung eines Durchlaufofens zur on-line Reinigung des Netzes.
- . Versuche zur gezielten Belegung des Netzes mit Dotierstoffen.

Der Hauptteil der anfallenden Arbeiten wird im Unterauftrag bei Sigri durchgeführt. Die Anschaffung eines Durchlaufreinigungsofens erfolgt, falls Carbonfasernetzen der Vorzug gegenüber Quarznetzen gegeben wird und eine Reinigung kosteneffektiv vorgenommen werden kann. Die Belegung des Netzes mit Dotierstoffen (z.B. B) erfolgt um das in das S-Web eingebaute Carbonfaserbündel durch Bildung eines p^+ -dotierten Hofes (in p-Si) elektrisch zu neutralisieren (analog zur "back surface field"-Erzeugung).

2.1.3.6 Entwicklung eines Quarznetzes

Um eine Alternative zu Kohlenstoffnetzen zu haben wird im Labormaßstab ein Quarznetz entwickelt. Dies umfaßt die folgenden Schritte:

- . Herstellung eines Quarznetzes entweder durch Auslaugen kommerzieller Glasfasernetze oder durch Verweben von Quarzfasern auf dem vorhandenen Webstuhl.
- . Beschichten der Quarznetze mit Kohlenstoff durch eine geeignete Methode (z.B. CVD, Spray-Technik).
- . Prüfung der Netze auf Eignung für die S-Web-Technik.

Gegen Ende des Antragszeitraumes sollte eine Entscheidung zwischen Carbonfaser- oder Quarzfasernetzen möglich sein; weitere Entwicklungen werden dann auf eine Netzart konzentriert.

2.1.3.7 Metallographische Charakterisierung und Präparation von S-Web-Proben

Die anstehenden Arbeiten können folgendermaßen klassifiziert werden:

- . Durchführung der notwendigen Trenn-, Schleif-, Läpp- und Polierarbeiten.
- . Charakterisierung der S-Web-Struktur (Morphologie, Oberflächenbeschaffenheit, Korngröße und Textur, Versetzungen, Ausscheidungen, Grenzflächen, Carbonfasereinbau).
- . Untersuchung des S-Webs auf Verunreinigungen und verunreinigungsinduzierte Effekte.
- . Bestimmung der Verunreinigungen im S-Web durch chemische Analyse.
- . Charakterisierung von inneren Spannungen im S-Web.

Zur Strukturcharakterisierung dient vor allem chemisches und elektrochemisches Ätzen in Verbindung mit Licht- und Rasterelektronenmikroskopie. Weitergehende Untersuchungen, vor allem der verunreinigungsinduzierten Effekte, können mit den im Hause vorhandenen modernen Analyseverfahren durchgeführt werden (z.B. ICP, TEM, IR-Mikroskopie, EBIC, SIMS, STEM, Mikrosonde, Augersonde). Falls erforderlich, wird ein Meßplatz zur Charakterisierung von inneren Spannungen aufgebaut.

2.1.3.8 Elektrische Charakterisierung von S-Web-Proben

Die elektrischen Untersuchungen können in drei Hauptgebiete aufgeteilt werden:

- . Messung des Leitungstyps, des spez. Widerstandes, der Ladungsträgerbeweglichkeit und -dichte mit der Vier-Spitzen-Methode, der "spreading-resistance"-Technik und mit Hall-Messungen.
- . Messung der Diffusionslänge und Korrelation mit Gitterbaufehlern, Ausscheidungen und Störstellen durch ortsaufgelöste Oberflächen-Photospannungs-Messungen.
- . Bestimmung der Störstellenniveaus von Verunreinigungen und Gitterbaufehlern durch spektroskopische Methoden (z.B. C-V-Messungen, Admittanzspektroskopie, DLTS, temperaturabhängiger Halleffekt).

Die zur Durchführung der Messungen erforderlichen Meßplätze sind entweder vorhanden oder im Aufbau. Elektrische und metallographische Untersuchungen werden in enger Verzahnung durchgeführt. Die Störstellenspektroskopie ist nötig, um Verunreinigungen zu identifizieren; dadurch wird eine physikalische Interpretation aller anderen Messungen ermöglicht. Ein weiterer Schwerpunkt liegt bei der Untersuchung des Einflusses von Korngrenzen auf für den Zellenwirkungsgrad wichtige Größen wie z.B. die Diffusionslänge.

2.1.3.9 Herstellung und Prüfung von Test-Solarzellen aus S-Web-Proben

Aus geeigneten S-Web-Proben werden Test-Solarzellen hergestellt. Das Arbeitsprogramm besteht aus folgenden Punkten:

- . Erzeugung des p-n-Übergangs durch Hochtemperaturprozesse (Diffusion, Ionenimplantation mit Ausheilen).
- . Herstellung von Testzellen ohne Hochtemperaturprozesse (z.B. MIS-Technik).
- . Kontaktierung von Vorder- und Rückseite.

. Messung und Analyse der Solarzelleneigenschaften.

Im Vordergrund steht dabei die Prüfung von S-Web-Proben auf Weiterverarbeitbarkeit für eine Solarzellenfertigung; parallel dazu werden neue, spezifisch auf das S-Web abgestimmte Verfahren der Solarzellenherstellung erprobt.

2.1.3.10 Passivierung von Korngrenzen in S-Web-Proben

Da sich Korngrenzen in der S-Web-Technik nicht völlig vermeiden lassen, wird versucht sie elektrisch zu passivieren, z.B. in einem H-Plasma. Diese Versuche erfolgen in enger Verzahnung mit Zellentechnologien, da zwischen dem Passivierungsverhalten von Korngrenzen und vor oder nach der Passivierung durchgeführten Prozeßschritten eine Wechselwirkung besteht.

2.1.3.11 Erzeugung des p-n-Überganges und des Rückseitenkontaktes im on-line Verfahren an S-Web-Bändern

Eine on-line Erzeugung des p-n-Überganges hätte weitreichende wirtschaftliche und verfahrenstechnische Vorteile. Mehrere Techniken sind denkbar, z.B. das Aufbringen eines Phosphorglases bei hoher Temperatur oder eine CVD-Technik. Prinzipversuche sind für Mitte 84 geplant; bei Eignung erfolgt die Übernahme einer Technik in eine der S-Web-Anlagen.

2.1.4 Zeitplan

| | 1983 | | 1984 | | | | 1985 | | | | 1986 | |
|--|------|----|------|----|-----|----|------|----|-----|----|------|----|
| | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II |
| 2.1.3.1. Grundsätzliche Untersuchungen | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.2. Bandziehversuche | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.3. Bänderziehen | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.4. Netz- und Teilereinigung | | | | | | | | * | | | | |
| 2.1.3.5. Weiterentwicklung Carbonfasernetz | | | | | | | | * | | | | |
| 2.1.3.6. Entwicklung Quarznetz | | | | | | | | * | | | | |
| 2.1.3.7. Metallographische Charakterisierung | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.8. Elektrische Charakterisierung | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.9. Herstellung von Test-Solarzellen | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.10. Passivierung von Korngrenzen | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.3.11. On-line Dotierung | | | | | | | | | | | | |

* = Meilenstein

Literatur

- /1/ W. Zulehner und D. Huber in: Crystals - Growth, Properties, and Applications, Band 8 (Hrsg.: J. Grabmaier); in Druck
- /2/ W. Dietze, W. Keller und A. Mühlbauer in: Crystals - Growth, Properties, and Applications "Silicon", Band 5 (Hrsg.: J. Grabmaier) 1981, S. 1
- /3/ D. Helmreich in: Proc. Symp. on Electronic and Optical Prop. of Polycrystalline or Impure Semiconductors and Novel Si Growth Methods (Hrsg.: K.V. Ravi und B. O'Mara), Proc. Vol. 80-5 (Electrochem. Soc.) 1980, S. 184
- /4/ C.P. Khattak, F. Schmid und L.P. Hunt, wie /3/, S. 223
- /5/ F.V. Wald, wie /2/, S. 147
- /6/ R.G. Seidensticker, wie /1/
- /7/ T.F. Ciszek und J.L. Hurd, wie /3/, S. 213
- /8/ A. Baghdadi und R.W. Gurtler, J. Cryst. Growth 50 (1980) 236
- /9/ J.D. Zook, B.G. Koepke, B.L. Grung und M.H. Leipold, J. Cryst. Growth 50 (1980) 260
- /10/ C. Texier-Hervo, M. Mautref, C. Belouet und E. Kerrand in: Proc. 4th EC Photovoltaic Solar Energy Conf., Stresa (1982), S. 896
- /11/ C.E. Bleil, J. Cryst. Growth 5 (1969) 99
- /12/ B. Kudo, J. Cryst. Growth 50 (1980) 247

- /13/ H.E. Bates und D.N. Jewett in: Proc. 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (1981) S. 255
- /14/ J. Dietl, D. Helmreich und E. Sirtl, wie /2/, S. 43
- /15/ J.G. Grabmaier, 1.-4. Zwischenbericht zum Fördervorhaben ET 4443, Teilvorhaben 4.4.
- /16/ J.G. Grabmaier, H. Föll, B. Freienstein und K. Geim, wie /10/, S. 976
- /17/ J.G. Grabmaier, H. Föll, H.A. Aulich und B. Freienstein in: Proc. Symp. on Materials and New Processing Technologies for Photovoltaics, Electrochem. Soc., Montreal (1982), im Druck

Teilvorhaben 2.1

S-Web-Technik

Anlage zu AZK

Einzelmaterial

Im einzelnen ist die Beschaffung folgender Materialien geplant:

Silizium, Quarzglas, Graphit.

| | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| Davon: | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| | 100.000 | 290.000 | 330.000 | 180.000 |

Teilvorhaben 2.1

S-Web-Technik

Anlage zu AZK

Gehälter und Löhne

| Personal | | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
|-------------|--------|------|-------|-------|------|
| FKE 2 | 4,4 KP | 529. | 1'122 | 1'189 | 630. |
| FKE 3 AM | 3,3 KP | 468. | 991. | 1'050 | 556. |
| B WDH | 5 KP | 438. | 900. | 950. | 501. |
| B WDH | 3 GM | 122. | 255. | 270. | 143. |

Teilvorhaben 2.1

S-Web-Technik

Anlage zu AZK

Fremdleistungen

| | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
|--------------------|--------|---------|---------|--------|
| Personalkosten | 40.000 | 80.000 | 85.000 | 45.000 |
| Investitionskosten | 10.000 | 20.000 | 20.000 | 10.000 |
| Materialkosten | 45.000 | 100.000 | 130.000 | 50.000 |

Bei den Fremdleistungen handelt es sich um die Herstellung von Carbonfasernetzen, die Reinigung von Carbonfasernetzen und Graphitbauteilen (Punkt 2.1.3.4. im Arbeitsplan), um die Weiterentwicklung des Carbonfasernetzes (Punkt 2.1.3.5. im Arbeitsplan) und um eventuelle Webarbeiten bei der Entwicklung eines Quarznetzes. Die anfallenden Arbeiten werden bei der Fa. Sigri Elektrographit GmbH in Auftrag gegeben, die auch schon seither die Carbonfasernetze lieferte.

Anlage zu AZK

Sondervorrichtungen

| Lfd.Nr. | Bezeichnung | Arbeitspl.Nr. | Preis | 83 2.Hälfte | 84 | 85 | 86 1.Hälfte | Beschaffung fremd/eigen |
|---------|--|---------------|---------|----------------|------|-------|----------------|----------------------------|
| 1 | Ausbau der S-Web-Anlage I für grundsätzliche Untersuchungen (Widerstandsheizung, Bandtransport, Temperaturregelung, Beobachtung) | 2.1.3.1. | 90. | 40. | 30. | 20. | - | f/e |
| 2 | Ausbau der S-Web-Anlage II für Bandziehversuche (Si-Nachführung, Endlos-Bandtransport, Schmelzenregelung, Temperaturprofilierung und -Regelung etc.) | 2.1.3.2. | 230. | 80. | 120. | 30. | - | f/e |
| 3 | Konstruktion und Bau der S-Web-Anlage III | 2.1.3.3. | 1'600. | - | 500. | 700. | 400. | f/e |
| 4 | Versuchsanlage zur Carbonfaserreinigung | 2.1.3.4. | 30. | 20. | 10. | - | - | f/e |
| 5 | Versuchsanlage zur Quarznetzerstellung und -Bekohlung | 2.1.3.6. | 40. | 20. | 20. | - | - | f/e |
| 6 | Anlage zur Quarznetzerstellung mit on-line Bekohlung * | 2.1.3.6. | 400. | - | - | 300. | 100. | f |
| 7 | Anlage zur on-line Reinigung des Carbonfasernetzes * | 2.1.3.4. | 135. | 15. | 40. | 60. | 20. | f |
| 8 | Geräte und Meßplätze zur Präparation und metallographischen Charakterisierung von S-Web-Proben (Trennen, Schleifen, Polieren, Atzen, etc.) | 2.1.3.7. | 50. | 50. | - | - | - | f |
| 9 | Laser-Scanning-Apparatur zur großflächigen Abtastung von S-Web-Proben | 2.1.3.8. | 120. | 120. | - | - | - | f |
| 10 | H-Plasmareaktor zur Korngrenzenpassivierung | 2.1.3.10 | 50. | - | - | - | 50. | f/e |
| 11 | Vorrichtung zur on-line Dotierung | 2.1.3.11 | 2'740,- | 460,- TVJ | 720. | 1'110 | 570. | |

*) Meilenstein