

INT 171/90

November 1990

Rapport annuel 1990
PADEX
"Propriétés physiques des plasmas RF de silane
utilisés dans le dépôt de couches de silicium
amorphe"

Ch. Hollenstein, A.A. Howling, P.J. Paris

Texte publié dans le
"Programme de recherche en énergie
photovoltaïque" (1990)
de l'Office Fédéral de l'Energie

Jahresrapport für das Jahr 1990

1) Ziele für das Jahr 1990

Nach Abschluss, der rund halbjährigen Aufbauphase des Experimentes war geplant, im Jahre 1990 so schnell wie möglich mit der Untersuchung von PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) Plasmen zu beginnen (siehe Abbildung 1). Das experimentelle Programm wurde in Zusammenarbeit und ganz im Hinblick auf die Bedürfnisse des IMT in Neuenburg festgelegt. Das Programm sah vor, mit der Untersuchung von reinen Silan Plasmen, gefolgt von Wasserstoff-Silan Plasmen zu beginnen. Als erstes sollten Testabscheidungen von amorphem sowie mikrokristallinem Silizium vorgenommen werden. Diese Abscheidungen sollten durch das IMT untersucht werden, um die erreichten Schichtqualitäten in den beiden Anlagen vergleichen zu können.

Die anschließenden Experimente sollten vor allem die Abhängigkeit wichtiger Plasma- und Abscheidungsparameter von der angelegten Hochfrequenz untersuchen.

Gleichzeitig, sollten am CRPP die notwendigen Diagnostik-Methoden aufgebaut und getestet werden. Die Inbetriebnahme von elektrischen Sonden, der Emissionsspektroskopie, der Massenspektrometrie und Aufbau und erste Messungen mit der Laser induzierten Fluoreszenz (LIF) waren geplant.

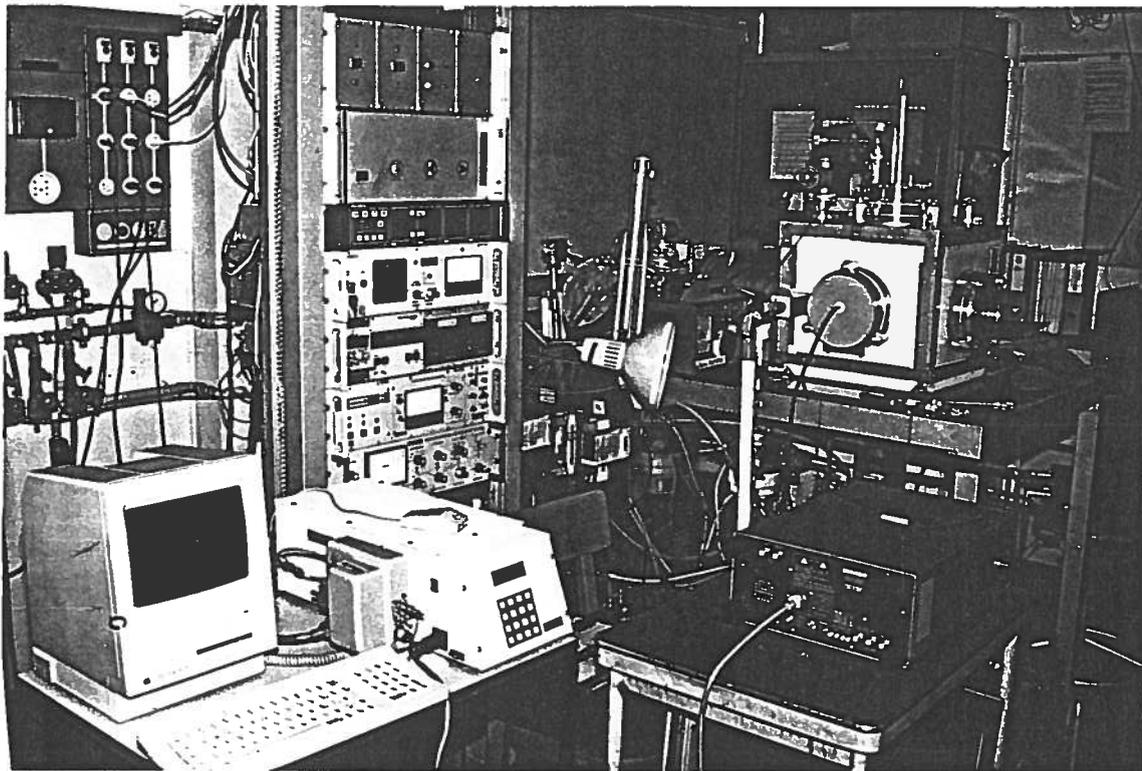


Abbildung 1 zeigt den PECVD-Reaktor am CRPP Ende November 1990

2) Durchgeführte Arbeiten im Jahre 1990

In der Zeit bis zum Abschluss der Installation der Silan-Gasversorgung, wurden zuerst reine Wasserstoff und Argon Plasmen in Funktion der Frequenz, der Hochfrequenzleistung, des Gasdruckes, des Gasflusses und des Elektrodenabstandes untersucht. Nach der Abnahme der Silan Gasversorgung durch den Sicherheitsbeauftragten der EPFL und des Arbeitsamtes im Juli 1990 wurde vornehmlich nur noch mit, für die in Zusammenhang mit der Herstellung von Solarzellen interessierenden Silan Plasmen und mit Wasserstoff verdünnten Silan Plasmen gearbeitet. Das Hauptinteresse aller dieser Experimente richtete sich vornehmlich auf die Untersuchung der Frequenzabhängigkeit der Reaktor- und Plasmaparameter.

Diverse Diagnostikmethoden wurden im Laufe dieses Jahres am Experiment neu eingeführt. Elektrische Sonden wie Langmuir Sonden, Elektronen- und Ionen-Energie-Analysatoren wurden gebaut und getestet.

Die optische Emissionsspektroskopie wurde nach Erhalt des optischen Multikanal-Analysators (OMA) in kürzester Zeit aufgebaut. Die Emissionsspektroskopie stellt jetzt eine Routine-Diagnostikmethode aller laufenden Untersuchungen dar.

Nach der Konstruktion der notwendigen Optik für die Laserstrahlführung und die, eine räumliche Auflösung erlaubende Kollektorenoptik, wurden erste Messungen in Silan Plasmen durchgeführt.

Ein differential gepumptes Massenspektrometer wurde an den Reaktor angebaut und lieferte erste Resultate der Neutralgaszusammensetzung im Reaktor.

Grosse Anstrengungen wurden, zusammen mit dem IMT unternommen, um elektrische Grössen des Reaktors wie Elektrodenspannung, Selbstpolarisation der Elektroden und die effektive Hochfrequenzleistung im Plasma zu charakterisieren.

Die minimale Betriebsfrequenz des Reaktors wurde von 30 MHz auf rund 1 MHz herabgesetzt. Diese Änderung erlaubt nun, im selben Reaktor, einen Vergleich der Resultate im Frequenzbereich von 30-100 MHz, mit denjenigen im Bereich von 13 MHz. Dieser direkte Vergleich ist von wichtiger Bedeutung für die laufenden Untersuchungen am IMT und am CRPP, wird doch in den allermeisten Fällen in der Industrie, aber auch bei anderen Forschungsgruppen, bei der festen Frequenz von 13.5 MHz gearbeitet.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Schichten abgeschieden, die am IMT auf ihre Qualität untersucht wurden. Es wurden sowohl amorphe sowie mikrokristalline Silizium-Schichten hergestellt. Die am IMT erhaltenen Resultate zeigen, dass die am CRPP erhaltenen Schichten, in allen untersuchten Bereichen, in der Qualität vergleichbar sind, mit der Qualität der in Neuenburg abgeschiedenen Schichten.

Für die Diagnostik von PECVD Plasmen, im speziellen aber auch für Silan Plasmen, wurden zwei neuartige Diagnostik-Methoden entwickelt. Die erste Neuentwicklung betrifft die Messung der Elektronendichte. Die am CRPP entwickelte Messung der Elektronendichte mit Hilfe eines modifizierten Mikrowellen-Interferometers erlaubt, im Gegensatz zur herkömmlichen Methode eine gute räumliche Auflösung. Die durchgeführten Messungen zeigten, dass die entwickelte Methode sich sehr gut für den Einsatz in PECVD Plasmen eignet.

Ein wichtiges Problem in der Herstellung von Solarzellen ist die Puderbildung im Plasma während der Beschichtung. Eine einfache Diagnostik wurde entwickelt um die Puderbildung in Silan Plasmen zu untersuchen. Die vielversprechenden Resultate wurden in einem Videofilm zusammengestellt.

3) Erhaltene Resultate im Jahre 1990

a) Wasserstoff und Argon Plasmen

Reine Wasserstoff und Argon Plasmen wurden vor allem in der ersten Phase bis zur Abnahme der Silan Installation untersucht. Die Untersuchung dieser Plasmen hatte drei verschiedene Zwecke: 1) Test der neu installierten Diagnostik-Methoden und 2) Messung der Profile typischer Plasmaparameter wie Elektronentemperatur und Elektronendichte und 3) um erste Einsicht in die Elementarprozesse von monoatomaren (Argon), diatomaren (Wasserstoff) und polyatomaren (Silan) Plasmen zu erhalten.

Die Untersuchung von Wasserstoff-Plasmen ist aber auch im Hinblick auf die Herstellung von mikrokristallinem Silizium interessant, wird doch zu dessen Herstellung, ein Wasserstoff-Plasma mit einer Zumischung von einigen Prozenten Silan benützt. Argon und Wasserstoff-Plasmen haben im weiteren gegenüber den Silan Plasmen den Vorteil, dass elektrische Sonden, wie Langmuir Sonden ohne die Probleme der Sondenbeschichtung benützt werden können. Intensive Untersuchungen der Plasmaparameter in Abhängigkeit von der Frequenz (30-90 MHz), des Neutralgasdruckes (0.05-0.4 Torr), des Gasflusses (10-100 sccm) und des Elektrodenabstandes (5-40 mm) wurden unternommen. Die mit Hilfe einer Langmuir Sonde gemessenen Elektronendichte- und Elektronentemperatur-Profile, erwiesen sich als sehr homogen im gesamten Bereich der untersuchten Parameter und das Plasma ist vollständig im Elektrodenzwischenraum eingeschlossen. Die Elektronendichte steigt mit zunehmender Hochfrequenzleistung an und ein Dichtemaximum im Bereich von 60-70 MHz wurde gefunden. Dieses Maximum tritt bei den untersuchten Wasserstoffplasmen, bei denjenigen Reaktorparametern (Frequenz, Druck) auf, die am IMT routinemässig zur Abscheidung benützt werden. Die Elektronentemperatur für die Wasserstoff-Plasmen liegt im Bereich von 5-10 eV. Die, aus den gemessenen Elektronendichten und Elektronentemperaturen berechnete thermische Plasmaenergie, steigt im Falle von Wasserstoff leicht an. Diese Tatsache kann aber nicht auf reine Silan Entladungen verallgemeinert werden, im wesentlichen, wegen dem höheren Gesamt-Stossquerschnitt von Silan und seiner Radikale im tiefen Elektronenergiebereich und dem elektronegativen Charakter von Silan.

Es ist bekannt, dass die Elektrodenspannung und die Selbstpolarisierung, über die damit zusammenhängende Plasmarandschicht, einen wesentlichen Einfluss auf die Abscheiderate und die Filmqualität, insbesondere des Wasserstoffanteils im Film hat. Die Untersuchungen an Wasserstoff machten erstmals auf die Tatsache aufmerksam, dass die an den Elektroden anliegende Hochfrequenz-Spannung für den VHF Bereich in der Grössenordnung von 20-30 Volts betragen. Die Elektrodenspannungen für tiefere Frequenzen aber liegen um einen Faktor drei bis zehnmal höher, dies bei gleicher Hochfrequenz-Leistung. Die nachträglichen Messungen in Silan bestätigten die Tatsache des rapiden Anstieges der Elektrodenspannung für tiefere Frequenzen.

Eine weitere Möglichkeit die Elektronendichte und damit auch die Abscheiderate zu erhöhen, ist die Modulation der Hochfrequenzleistung. Erste, vorläufige Modulations-Experimente in Wasserstoff Plasmen zeigten bei einer Frequenz von 42 MHz und einer Modulationsfrequenz von 3 kHz, eine Erhöhung der mittleren Elektronendichte von 75%. Weitere Untersuchungen in Silan Plasmen zeigten zudem, dass die für die Filmherstellung oft extrem hinderliche Puderbildung bei diesen Modulationsfrequenzen wesentlich verringert wird.

b) Plasmen für die Herstellung von amorphem Silizium

Als erste Experimente wurden Abscheidungen von amorphem Silizium im neukonstruierten Reaktor durchgeführt, mit dem Ziel, die Qualität der Schichten mit denjenigen am IMT zu vergleichen. Schon die ersten Schichten zeigten, dass bei gleichen Bedingungen wie am IMT sehr gute Schichtqualitäten erreicht werden. Der Reaktor am CRPP kann deshalb, trotz minimaler Änderungen, als identisch mit denjenigen, im Betrieb in Neuenburg bezeichnet werden.

Um direkte Vergleiche mit Abscheidungen im VHF-Bereich anstellen zu können, wurde zusätzlich eine neue Hochfrequenzanpassung für tiefere Frequenzen installiert. Auch bei der vielbenützten Standard-Frequenz von 13.56 MHz wurden in unserem Reaktor qualitativ gute Schichten abgeschieden.

Die ersten Untersuchungen der reinen Silan Entladungen wurden im Frequenz-Bereich zwischen 13.5 MHz und 70 MHz bei konstant gehaltenem Druck und Elektrodendistanz durchgeführt.

Von zentraler Bedeutung hat sich dabei die Frage nach der effektiven Leistung im Plasma erwiesen. Der gängigerweise angegebene Leistungswert, entspricht oft dem Wert am Senderausgang. Anpassungsglied, Leitungen und andere elektrische Verbindungen zu den Elektroden können aber, im allgemeinen nicht als verlustlos angenommen werden. In Zusammenarbeit mit dem IMT wurde beschlossen, die für das Verständnis der höheren Abscheiderate im VHF Bereich wichtige effektive Hochfrequenzleistung im Plasma zu messen und in Funktion der Frequenz zu untersuchen. Der von uns begangene Weg zur Messung der effektiven Plasmaleistung, besteht in der Messung der Elektrodenspannung ohne Plasma und anschliessend mit Plasma. Aus diesen beiden Messungen kann die effektive Leistung im Plasma bestimmt werden. Zur Messung der Elektrodenspannungen wurde eine, direkt an der Elektrode befestigte Spannungssonde, verwendet.

Unsere Messungen ergaben, dass die effektive Leistung im Plasma bei kleineren Frequenzen kleiner ist, als im VHF Bereich. Der, in Abbildung 2 gezeigte Wirkungsgrad, liegt in der Grössenordnung von etwa 55% bei 13.5 MHz und erreicht bei Frequenzen von 50-60 MHz ein Maximum von etwa 85%. Dies, zusammen mit der ebenfalls im VHF Bereich tieferen Elektrodenspannung (siehe Abbildung 2) dürfte, eine erste Erklärung für die guten Abscheideresultate der VHF Methode sein. Es hat sich aber auch gezeigt, dass geometrische Änderungen am Reaktor und an den Elektrode diesen Wirkungsgrad wesentlich beeinflussen können.

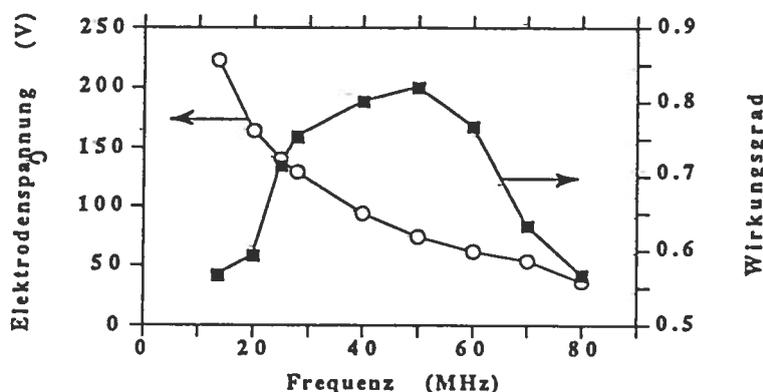


Abbildung 2

Elektrodenspannung und Wirkungsgrad in Funktion der Frequenz in Silan. ($P_{in}=15W$)

Bei all diesen Untersuchungen wurde als weitere Diagnostik-Methode die Emissionsspektroskopie angewandt. Die Uebersichtsspektren im Bereich von 250-700 nm erlaubten das gleichzeitig Messen verschiedener wichtiger Spektrallinien und Molekül-Banden in der Silan Entladung. Die in diesem Zusammenhang untersuchten Linien und Banden waren: die Si-Linie bei 288 nm, die Molekül-Banden von SiH im Bereich von 414 nm, die H_{α} und H_{β} Linien des atomaren Wasserstoffes und die sogenannten Fulcher-Banden des molekularen Wasserstoffes im Bereich von 601-631nm.

Abbildung 3 zeigt, die Linienintensitäten von SiH und H_{α} . Diese folgen qualitativ dem Verlauf des Wirkungsgrades, respektive der effektiven Plasmaleistung. Diese Resultate zeigen deutlich die wichtige Rolle, die die Emissionsspektroskopie in der Prozessüberwachung von PECVD Plasmen spielt.

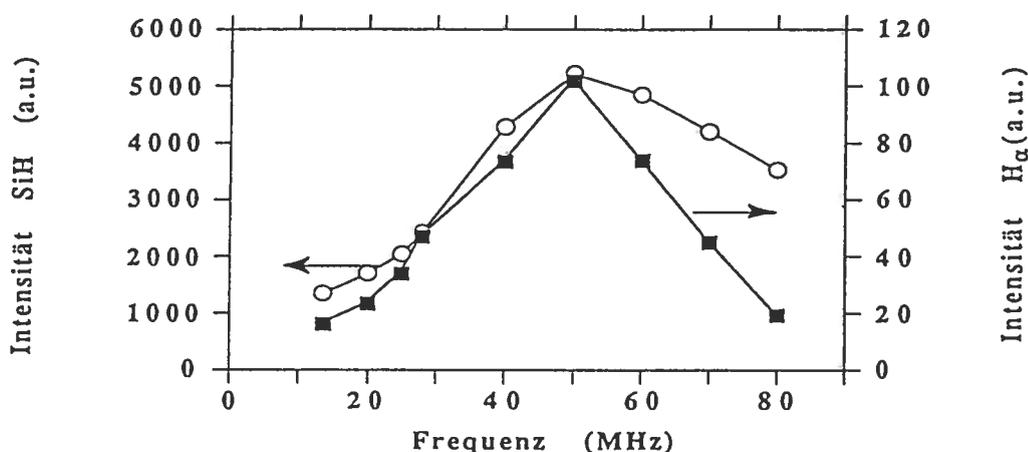


Abbildung 3 SiH und H_{α} . Linienintensitäten in Funktion der Frequenz in Silan ($P_{in}=15W$)

Weitere, die Abscheidung mitbestimmende, plasmachemische Prozesse laufen jedoch in Silan Plasmen ab. Zusätzliche Untersuchungen sind jedoch nötig, um die höhere Abscheiderate und die höhere Qualität der Schichten genau verstehen zu können und um diese auch für spätere industrielle Anwendungen noch weiter optimieren zu können. Eine genaue Untersuchung der Linienintensitäten und deren Korrelation mit der Konzentration, mit für die Abscheidung wichtiger Moleküle und Radikale, ist für die Zukunft geplant.

Um weitere wichtige Resultate, betreffend die höhere Abscheiderate im VHF Bereich zu erhalten, müssen jedoch Untersuchungsmethoden wie Laser induzierte Fluoreszenz und Massen-Spektrometrie hinzugezogen werden.

Nach der Konstruktion der Optiken für die Laser induzierte Fluoreszenz, wurden erste Messungen durchgeführt. Diese Messungen wurden am SiH-Radikal durchgeführt, welches im Bereich von 411 nm, mehrere Emissionsbanden der $A^2\Delta-X^2\Pi$ Uebergänge besitzt. Die stärkste Emissionslinie liegt im 0-0 Band bei einer Wellenlänge von 411.94 nm. Die Pumpwellenlänge im beschriebenen Experiment betrug 413.53 nm und als Dye wurde Stilbene 1 benutzt. Zur Detektion des Fluoreszenz Lichtes wurde ein Photovervielfacher mit einem schmalbandigen Interferenz-Filter verwendet. Diese ersten Messungen zeigten die Verwendbarkeit unseres Laser- und Detektorsystems für die Diagnostik der Silan Plasmen. Weitere Experimente wurden leider

durch eine Panne des Argon-Pumplasers und die notwendige Auswechslung der Laserröhre stark verzögert.

c) Plasmen für die Herstellung von mikrokristallinem Silizium

In Zusammenarbeit mit dem IMT wurde auch die Abscheidung, von mikrokristallinem Silizium, untersucht.

Wie für das amorphe Silizium, wurden auch hier, vorabgehende Testbeschichtungen unternommen, die vergleichbare Resultate mit dem IMT ergaben.

Die Abscheidung von mikrokristallinem Silizium unterscheidet sich von der Abscheidung von amorphem Silizium in plasmaphysikalischer und plasmachemischer Hinsicht. Dies ist dadurch bedingt, dass für die Deposition von mikrokristallinem Silizium nicht mehr mit einem reinen Silan Plasma gearbeitet wird, sondern mit einem Wasserstoff-Silan Plasma. Die Konzentration von Silan in diesen Plasma ist ein für die Qualität des Filmes wichtiger Faktor.

Wie für die Plasmen zur Herstellung von amorphem Silizium, wurde das Hauptgewicht auf die Messung der effektiven Leistung im Plasma gelegt. Die Abbildung 4 zeigt, dass der Wirkungsgrad für kleine Leistung schnell abfällt, da die Verluste des Reaktors allein einen Grossteil, der zur Verfügung stehenden Leistung beanspruchen. Dieser Effekt kann zu schlecht reproduzierbaren Schichten führen, da kleine Aenderungen in der Leistung grosse Aenderungen der effektiven Plasmaleistung nach sich ziehen. Diese im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführten Messungen, wurden auch bei zwei verschiedenen Frequenzen (13.5 und 70 MHz) durchgeführt. Weitere, ins Detail gehende Studien, sind zur Zeit im Gange.

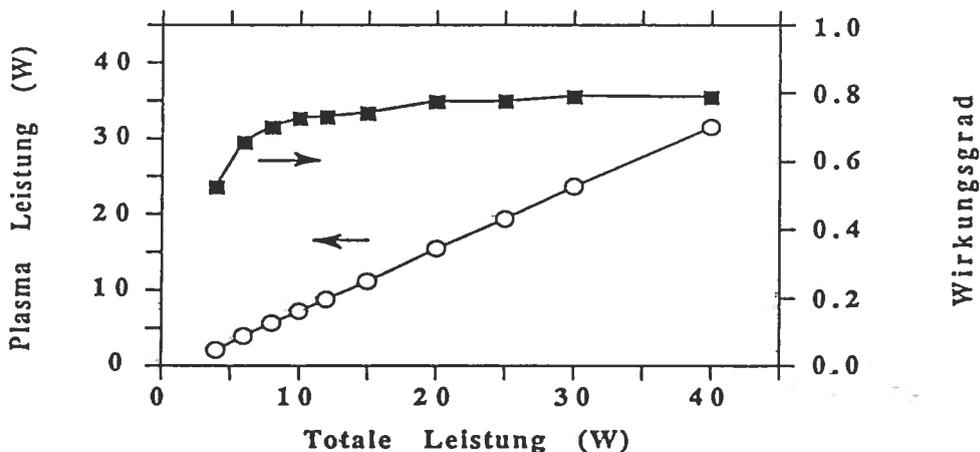


Abbildung 4
o Effektive Plasmaleistung und Wirkungsgrad in einem Silan-Wasserstoff Plasma (3 sccm Silan, 63 sccm Wasserstoff) in Funktion der totalen Hochfrequenz-Leistung

d) LecherInterferometer

Die Elektronendichte-Messung in reaktiven Plasmen ist von grosser Bedeutung, sind doch wichtige Beschichtungsparameter wie die Depositionsrates direkt damit verknüpft. Die vielverbreitetste Elektronendichte-Messung, ist diejenige, mit Sonden, die aber speziell in Hochfrequenz-Plasmen nicht problemlos ist. Dies ist dadurch bedingt, dass

die Sonden-Charakteristik wesentlich von der Hochfrequenz beeinflusst wird.

Der Brechungsindex des Plasmas ist nur abhängig von der Elektronendichte. Eine Messung des Brechungsindex mit Hilfe eines Interferometers erlaubt deshalb, eine einfache Bestimmung der Elektronendichte. Mikrowellen-Interferometer werden deshalb oft in reaktiven Plasmen eingesetzt. Die räumliche Auflösung dieser Interferometer ist im allgemeinen sehr schlecht, wegen der benutzten Hornantennen. Zusätzlich lassen sich Streueffekte an den Wänden, wegen der engen Geometrie oft nicht vermeiden. Das von uns entwickelte Mikrowellen-Interferometer besitzt eine gute räumliche Auflösung und auch das Problem von Streuungen konnte ganz vermieden werden. Um dies zu erreichen, propagiert der Strahl nicht mehr frei durch das Plasma, sondern durchquert das Plasma entlang einer Lecher-Leitung.

Das an unserem Reaktor konstruierte und getestete Mikrowellen-Interferometer zeigt deutlich, dass diese Art von Interferometer viele Vorteile für die Messung der Elektronendichte in PECVD Plasma aufweist.

e) Puderbildung

Das Interesse an der Puderbildung in PECVD Plasmen ist in der letzten Zeit sehr stark angestiegen. Die Puderbildung in diesen Plasmen ist einer der Hauptgründe für die hohen Ausschüsse von bis zu 50% bei der Fabrikation von Elektronik-Komponenten und von Solarzellen.

Über die Kinetik und die Dynamik der Partikel-Bildung und deren Einschluss in Niederdruck-Plasmen ist bis jetzt sehr wenig bekannt. Zur in-situ Charakterisation der Puder wird von einigen Gruppen die Mie oder Rayleigh Laserstreuung angewandt. Diese Methode erlaubt Aufschlüsse, über die Verteilung der Partikel und deren Grösse zu erhalten, eignet sich aber wenig um die Puderbildung im gesamten Reaktionsvolumen zu beobachten. Die, im Laufe des Jahres von uns entwickelte Diagnostik, unterscheidet sich wesentlich von dieser Methode der Pulverdiagnostik. Die extrem einfache Konstruktion unserer Diagnostik, erlaubt das Studium der Pulverbildung im gesamten Reaktionsraum, mit Hilfe einer handelsüblichen Videokamera, dessen Bilder nachträglich digitalisiert und analysiert werden können. Erste Resultate dieser Diagnostik wurden in einem am CRPP erhältlichen Videofilm zusammengestellt.

Die Puderbildung in Silan Plasmen hängt von verschiedenen Parametern, wie Elektrodenmaterial, Elektroden temperatur, Hochfrequenzleistung und Modulationsfrequenz ab. Starke Puderbildung wird vor allem bei kalten Elektroden temperaturen (Raumtemperatur) beobachtet und sie verringert sich mit abnehmender Hochfrequenzleistung. Messungen in Funktion der Modulationsfrequenz ergaben eine minimale Puderbildung bei einer Modulationsfrequenz von 1 kHz. Die sich, im Zeitraum von einigen Minuten nach Entladungsbeginn aufbauende Partikel, schweben in der Nähe, der als dunkles Band sichtbaren Plasmarandschicht. Die sehr stark negativ geladenen Partikel sind verantwortlich für Änderungen der Plasmaparametern und führen deshalb zu einer Impedanzänderung des Reaktors

Modifikationen an der Reaktorgeometrie, wie das Einfügen des Glas-Substrates und dessen Halterung bewirken sichtbare Änderungen in der Partikelverteilung oberhalb der RF-Elektrode.

4) Internationale Zusammenarbeit

Ein Einladung zur aktiven Teilnahme an der französischen Arbeitsgemeinschaft ARC wurde uns von Dr. Perrin vom Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces an der Ecole Polytechnique in Palaiseau zu gesandt. Diese Arbeitsgemeinschaft umfasst die wichtigsten Forschungsgruppen in Frankreich auf dem Gebiet der Herstellung von dünnen Schichten und insbesondere von amorphem Silizium und organisiert eine jährliche Zusammenkunft aller angeschlossenen Gruppen. In dieser Arbeitsgruppe sind neben der Ecole Polytechnique, die Universitäten Orleans und Toulouse, das PIRSEM (Programme Interdisciplinaire de Recherches sur les Sources d'Energies et les Matières Premières du CNRS), das AFME/STN (Agences Française pour la Maîtrise de l'Energie, Service Techniques Nouvelles) sowie, als Vertreter der interessierten Industrie, SOLEMS S.A. zusammengefasst. Die nächste Zusammenkunft der Arbeitsgruppe findet im Januar 1991 in Paris statt und ein Beitrag unser Forschungsgruppe ist geplant.

5) Transfer

Die Abscheidung von amorphem Silizium aus der Plasmaphase für die Herstellung von Solarzellen ist ein multidisziplinäres Forschungsgebiet. Die sehr gute Zusammenarbeit mit dem IMT in Neuenburg ermöglichte, dass beide beteiligten Forschungsgruppen gegenseitig die neuesten Ergebnissen und Erfahrungen in ihr spezielles Arbeitsgebiet einfließen lassen konnten. Was das Gebiet der Puderbildung in PECVD Plasmen betrifft, so ist sowohl, was die Verhinderung, als auch die Produktion von Pudern, z. Bsp. für Anwendungen in Plasmaspritzverfahren und für die Herstellung von speziellen Keramiken, ein industrielles Interesse vorhanden.

6) Perspektiven für das Jahr 1991

Für das Jahr 1991 ist zunächst vorgesehen, die elektrischen Messungen der Reaktor-relevanten Größen zu vervollständigen. Unter anderem sind Impedanz Messungen geplant, um die, bis jetzt erhaltenen Resultate, betreffend der effektiven Hochfrequenzleistung im Plasma, besser interpretieren zu können.

Elektrische Sonden, wie Langmuir Sonden und Energie-Analysatoren aber auch das Lecher-Mikrowelleninterferometer sollen benützt werden um die Elektronendichte, die Elektronenenergieverteilung und die Elektronentemperatur in Funktion der Frequenz zu bestimmen.

Im weiteren soll mit Hilfe der Emissionsspektroskopie die Verteilung der zur Verfügung stehenden Energie auf die verschiedenen Plasmakomponenten untersucht werden. Dabei sollen reine Silan, Silan - Wasserstoff aber auch Silan - Argon Plasmen untersucht werden. Diese Untersuchungen sollten weitere Einsicht in die plasmachemischen Prozesse liefern. Es ist geplant die räumliche Verteilung der Emissionsspektren zu messen, was jedoch eine Modifikation der existierenden Anordnung bedingt. Die räumliche Verteilung der Spektren kann wichtige Informationen über die räumliche Verteilung von Ionen, Molekülen und Radikale liefern.

Diese Messungen sollte auch Aufschluss über den Entladungstypus geben. Es ist bekannt, dass sich der Entladungstyp (α und γ Entladung) entsprechend des Druckes oder der Leistung ändern kann. Diese Uebergänge wurden speziell in 13 MHz Entladungen entdeckt. Es bleibt die Frage offen, ob diese

Uebergänge auch im VHF Bereich stattfinden und deren eventuellen Einfluss auf die Abscheiderate und die Qualität der Filme.

Die Laser induzierte Fluoreszenz soll vermehrt hinzugezogen werden, um Messungen über die Konzentration von verschiedenen Radikalen zu erhalten.

In einer späteren Phase, soll auch die Modulation der Hochfrequenz angewandt werden und zwar aus zwei verschiedenen Gründen: 1) soll der Einfluss der Modulation auf die Abscheiderate und die Qualität der Filme untersucht werden und 2) kann die Modulation als Diagnostik für plasmachemische Prozesse dienen. Im speziellen können Aufschlüsse über die Verweilzeit der Moleküle und Radikale in der Entladung Hinweise zur weiteren Optimalisierung der Prozesse liefern.

Parallel zu diesen Untersuchungen soll die Puderbildung, genauer deren Verhinderung untersucht werden.

7) Veröffentlichungen

Ch.Hollenstein, A.A.Howling, P.J. Paris, M.Favre, T.N.Good
Diagnostics of Very High Frequency Silane Plasmas
Abstrakt für die 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon

A.A.Howling, Ch.Hollenstein und P.J.Paris
Powder Formation in a Silane Plasma
Video Film hergestellt am CRPP

A.A.Howling, Ch.Hollenstein und P.J.Paris
Direct visual observation of powder formation during plasma processing
in Vorbereitung

J.L.Dorier
Etude paramétrique de la production de silicium microcristallin par
déposition assistée par plasma
Diplomarbeit 1990

A.A.Howling
Diagnostic Programme and Preliminary Results for VHF Plasmas at the CRPP
Seminar gehalten am IMT in Neuenburg am 4.Juli 1990

A.A.Howling
Plasma-Assisted Deposition of Amorphous Silicon for Solar Cells
Seminar an der AVCP am 12.Dezember 1990