

INT 181/92

DEZEMBER 1992

EINFLUSS VON PLASMA-PHYSIKALISCHEN UND PLASMA-
CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON VHF SILAN-PLASMEN
AUF DIE ABSCHIEDUNG VON AMORPHEM UND
MIKROKRISTALLINEM SILIZIUM

JAHRESBERICHT 1992

Ch. Hollenstein, A.A. Howling, J.-L. Dorier

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DES PLASMAS
ASSOCIATION EURATOM - CONFEDERATION SUISSE
ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE
21 Av. des Bains - CH-1007 Lausanne - Switzerland



JAHRESBERICHT 1992

Über die Arbeiten gemäss Auftrag : EF-REN (M.) 031.

Titel des Projekts : Einfluss von plasma-physikalischen und plasma-chemischen Eigenschaften von VHF Silan-Plasmen auf die Abscheidung von amorphem und mikrokristallinem Silizium.

Zusammenfassung : Die im Jahre 1992 durchgeführten Arbeiten am CRPP beschäftigten sich hauptsächlich, mit den für die Anwendung und Herstellung der amorphen Solarzellen wichtigen Problemkreisen: Degradation und Pulverbildung.

Um die Degradationsrate der amorphen Schichten zu beeinflussen wurden, in Zusammenarbeit mit dem IMT in Neuchâtel, Edelgas verdünnte Silan Plasmen untersucht. Diese Arbeiten zeigten, dass mit Silan-Edelgasgemischen von etwa 10-20% eine leichte Verbesserung der Degradationsrate erreicht werden kann. Bei diesen Konzentrationen, so zeigten die Plasmauntersuchungen, liegt eine Erhöhung der Silan-Ionisationsrate vor und der Anteil der Edelgasionen in der Plasmazusammensetzung ist nahezu vernachlässigbar. Im weiteren konnte gezeigt werden, dass in diesem Bereich eine für die Filmbildung günstige Ionenzusammensetzung besteht. Diese besteht hauptsächlich aus SiH_3 Ionen und einem vernachlässigbaren Anteil an Edelgasionen. Bei zunehmendem Edelgasbeschuss, bis jetzt immer als ein Notwendigkeit betrachtet für gute Filmqualitäten, wurden aber Filme mit schlechten Charakteristiken erhalten. Dank dem neuerworbenen Plasma Monitor konnte zu erstmalig überhaupt in einem RF Silan Plasma negative Ionen nachgewiesen werden. Die Resultate dieser Messungen zeigten, dass diese negativen Ionen wahrscheinlich der Ausgangspunkt der Pulverbildung sind. Weitere, die Filmqualität beeinflussende Einsatzarten der VHF Abscheidung, wie die Modulation der Hochfrequenzleistung wurden in Angriff genommen. Unsere Resultate der Plasmauntersuchungen zeigten deutlich, dass solche Untersuchungen im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit zu neuen Erkenntnissen der Herstellung von amorphen Siliziumschichten führen können.

Dauer des Projekts : ... 1. Juni 1991 ... 19 ... — 31. Dezember 1993 .. 19 ...

Beitragsempfänger : Prof. F. Troyon

Berichterstatter : Dr. Ch. Hollenstein

Adresse : Ecole Polytechnique Fédérale
Centre de Recherches
en Physique des Plasmas
21, av. des Bains
1007 LAUSANNE
(Suisse)

Telephon :

1.) Projektziele für 1992

Nach den fundamentalen Untersuchungen an den VHF Niederdruck-Entladungen, die gewichtige Vorteile dieser Abscheidemethode aufzeigten, wurden im Laufe des Jahres 1992, ein Problemkreis angegangen, der direkt mit der Qualität von Solarzellen in Zusammenhang steht. Eines der Hauptprobleme von amorphen Solarzellen liegt in deren Langzeit-Stabilität, besser bekannt unter dem Namen Staebler-Wronski Effekt.

Der Schwerpunkt unserer Forschungsanstrengungen galt nun, im vergangenen Jahr, ganz dem Problem der Beeinflussung der Langzeit-Stabilität durch das Plasma. Zu diesem Zwecke sollten die Auswirkungen von verschiedenen Beimischungen, wie zBsp. Edelgasen, auf das Silan-Plasma und deren Verknüpfung mit den resultierenden Filmqualitäten untersucht werden.

Der Anfang 1992 neu angekaufte Plasma Monitor, der die Messung von neutralen Radikalen, von positiven sowie negativen Ionen im Plasma erlaubt, sollte in diese Untersuchungen einbezogen werden. Mit Hilfe dieses Instrumentes sollten Aufschlüsse darüber erhalten werden, wie die Filmqualität durch die Plasmazusammensetzung bestimmt wird.

2.) Durchgeführte Arbeiten im Jahre 1992

a) Plasmazusammensetzung

Der Plasma Monitor wurde Anfang 1992 von der Herstellerfirma ausgeliefert. Um erste Tests und Eichmessungen durchzuführen, wurde einfachshalber das Instrument seitlich zu den RF Elektroden montiert und erst gegen Ende des Jahres in die geerdete Elektrode selbst eingebaut. In der Folge sei die Arbeitsweise des Plasma Monitors kurz erklärt.

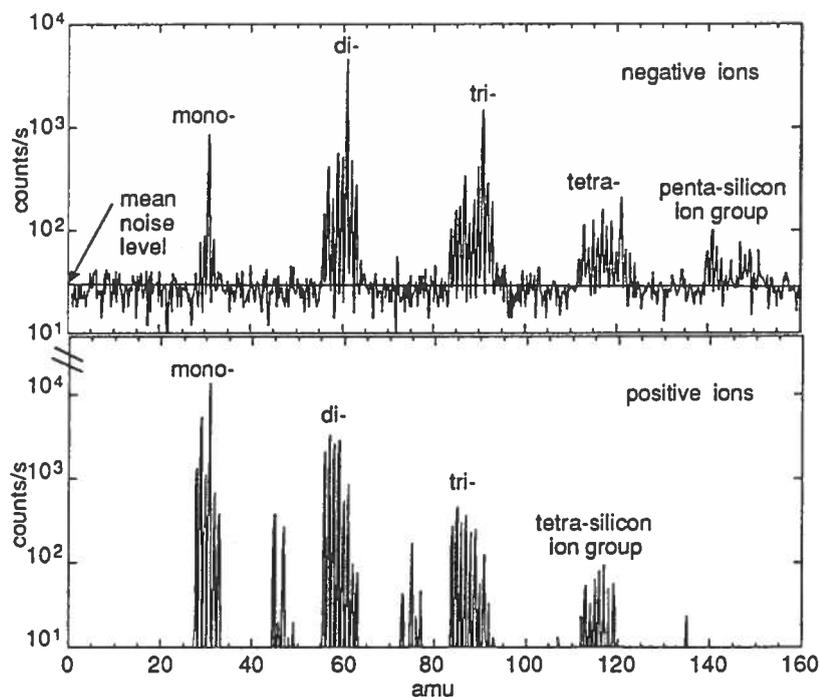


Abb. 1 Negative und positive Ionenzusammensetzung eines reinen Silan-Plasmas (SiH_4 , Masse 32).

detektiert. Die fundamentalen Einsatzarten des Instrumentes wurden in der Folge zuerst an Edelgasplasmen und Edelgas-Gemischplasmen durchgeführt. Diese ersten Messungen bestätigten rasch die ausgesprochene Nützlichkeit dieser Plasmadiagnostik. Nach dieser Anlaufphase wurde der Plasma-Monitor in reinen Silan-Plasmen und in Edelgas-Silan-Plasmen eingesetzt. Die Abb.1 zeigt das Massenspektrum der negativen und der positiven Ionen in einem reinen Silan

Das Gerät besteht aus einer Extraktionsoptik um positive sowie negative Ionen aus dem Plasma abzusaugen. Mit Hilfe mehrerer elektrostatischer Linsensysteme wird der resultierende Ionenstrahl in einen elektrostatischen Plattenanalysator geleitet, der die Messung der Energieverteilung der einfallenden Ionen erlaubt. Anschliessend werden die Ionen in einem Quadrupol-Analysator gemäss ihres Masse / Ladungs Verhältnisses aufgetrennt und anschliessend

Plasma. Dazu sei zu erwähnen, dass es uns am CRPP gelungen ist, erstmalig negative Ionen in RF Silan-Entladungen direkt nachzuweisen. Dieses grossartige Resultate erlaubte uns auch in der Folge erstmals eine Verknüpfung zwischen den negativen Ionen und der Pulverbildung aufzuzeigen (siehe Abschnitt d).

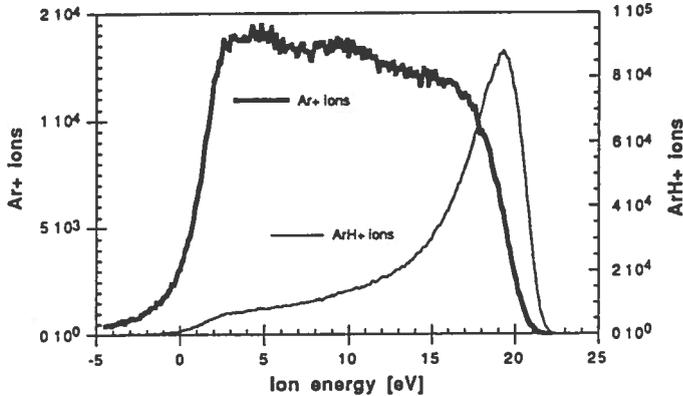


Abb. 2 Energieverteilung von Ar und ArH Ionen.

2 erklärt. Die Argon-Ionen erleiden auf ihrem Weg zur Elektrode verschiedenste Umladungsreaktionen, was zu einer sehr breiten, im gesamten Bereich nahezu konstanten Energieverteilung führt. Die Argonhydrid-Ionen, die einen Grossteil der argonhaltigen Ionen ausmachen können, erleiden keine Umladungsreaktionen und die Ionenenergie ist identisch mit der Energie, die ein Ion nach Durchflug der Plasmarandschicht erhält. Aehnliche, aber komplexere Energieverteilungen wurden in Silan-Plasmaen gemessen.

b) Edelgas verdünnte Silan Plasmen

In den letzten Jahren wurde in der Fachliteratur verschiedentlich berichtet, dass mit Hilfe von Edelgasbeimischungen in das Silan-Plasma die Langzeit-Stabilität der Solarzellen beeinflusst werden kann. Auf der anderen Seite ist jedoch zu bemerken, dass gerade diese Arbeiten oft zueinander in Widerspruch stehen. In Zusammenarbeit mit dem IMT in Neuchâtel wurden im vergangenen Jahr Edelgas-Silan VHF Entladungen detailliert untersucht. Am CRPP stand die Plasmadiagnostik dieser Plasma im Vordergrund, während am IMT der Aspekt der Filmqualität, insbesondere die Degradationsrate untersucht wurde

Im Laufe dieser Untersuchungen wurde mit nahezu allen möglichen Edelgas-Silan Mischungen gearbeitet. Im Folgenden sollen jedoch aus Platzgründen nur Resultate von Argon und Xenon Beimischung diskutiert werden. Ausserdem wurden auch Wasserstoff-Silane Gemische in diese Untersuchungen einbezogen. Diese Plasmen sind insofern von grossem Interesse, als dass mit diesem Gemisch mikrokristalline Schichten hergestellt werden können. Hauptgewicht bei all diesen Untersuchungen wurde dabei auf die Bestimmung der Plasmazusammensetzung gelegt. Alle diese Experimente wurde bei einer Anregefrequenz von 70 MHz, bei für Abscheidungen von amorphem Silizium relevanten Bedingungen durchgeführt.

Abb.3 zeigt die Ionen-Zusammensetzung von Argon-Silan Plasmen. Aus diesem Ergebnis können die folgenden wichtigen Schlussfolgerungen gezogen werden: Die Silan-Ionen dominieren in fast dem gesamten Verdünnungsbereich, während Edelgas-Ionen in diesen Plasmen nur eine Rolle bis zu einem Verdünnungsgrad von etwa 10-20% spielen. Die Argonionendichte fällt nicht, wie zu erwarten proportional zur Edelgas-Neutralgasdichte ab, sondern exponentiell. In der Literatur wird meistens angeführt, dass entsprechender Edelgas-Ionen-Beschuss sich positiv auf die Filmqualität auswirken soll. Unsere Resultate zeigen jedoch deutlich, dass dieser Beschuss in den meistens benützten Verdünnungsgraden nicht von grosser Bedeutung sein kann.

Abb. 2 zeigt die Energie der Argon- und Argonhydrid-Ionen. Die Art der Ionen, der Ionenfluss, und die Energieverteilung der aufprallenden Ionen ist wesentlich mit der Qualität des heranwachsenden Film verknüpft. Aus der Form der Energieverteilung der Ionen können ausserdem Aufschlüsse auf im Plasma ablaufende Reaktionen erhalten werden. Als Beispiel sei hier der Unterschied der Energieverteilungen in Abb.

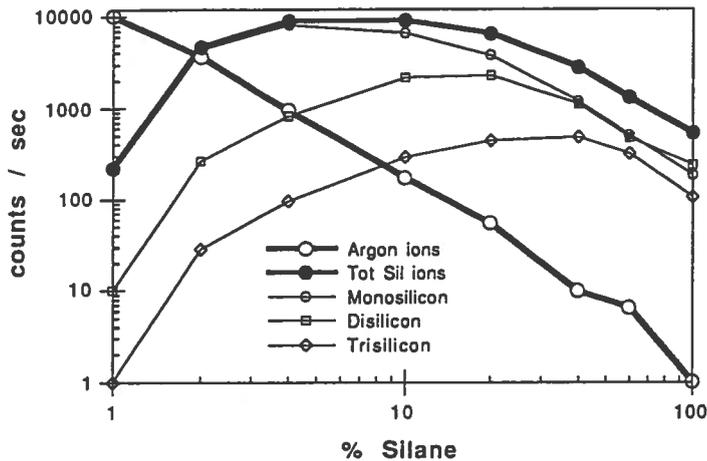


Abb. 3 Abhängigkeit der Ionenzusammensetzung in einem Argon-Silan Plasma in Funktion der Silan Konzentration.

(Masse 31) für alle Verdünnungen während im Xenon-, aber auch im Argon-Silan-Plasma die Zusammensetzung in Funktion der Verdünnung sich verändert. Im reinen Silan Plasma dominieren die SiH_3 Ionen. In Edelgas-Silan Plasmen werden aber mit abnehmender Silankonzentration wasserstoffärmere Ionen bevorzugt gebildet. Die Resultate dieser Plasmauntersuchungen wurden mit, am IMT hergestellten und ausgemessenen Filmen korreliert. Dabei wurden bemerkenswerte Zusammenhänge zwischen der Defektdichte, der Urbach-Energie, der Mikrostruktur aber auch der Degradationsrate erhalten, die im

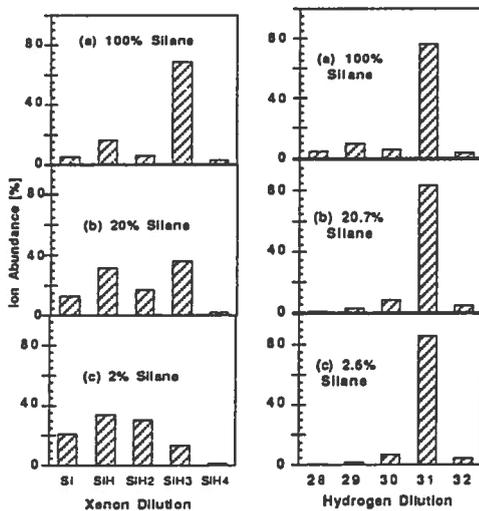


Abb. 4 Ionenverteilung innerhalb der Monosilan-Gruppe ($\text{SiH}_x, x=0,4$).

Ein weiterer wichtiger Punkt liegt in der Tatsache, dass in diesen Verdünnungsplasmen der Ionisationsgrad im Vergleich zum reinen Silan Plasma stark ansteigt, obwohl die Silan-Dichte abnimmt. Diese Tatsache schlägt sich in einer weit besseren Silan-Bilanz dieser Plasmen nieder.

Abb. 4 zeigt im Detail die Ionenverteilung innerhalb der Monosilan-Gruppe ($\text{SiH}_x, x=0,4$) für ein Xenon-Silan und ein Wasserstoff-Silan Plasma. Im Wasserstoff verdünnten Plasma dominieren SiH_3 Ionen

folgenden erläutert werden sollen. Die Resultate der Filmuntersuchungen werden im Jahresbericht 1992 des IMT in Neuchâtel im Detail besprochen und sollen an dieser Stelle deshalb nur kurz skizziert werden.

Die Urbach-Energie und Defektdichte zeigen einen nahezu konstanten Verlauf für Verdünnungen im Bereich zwischen 100% und nahezu 10-20%, während die Mikrostruktur und vorallem die Degradationsrate sich verbessern und beste Werte bei einer Silan-Konzentration von 10-20% aufzeigen. Für kleinere Konzentrationen, dh. für kleine Silanzumischungen, zeigen alle untersuchten Parameter eine drastische Verschlechterung der erhaltenen Schicht. In diesem Bereich, so zeigen die Plasmauntersuchungen, liegt ein Edelgas-Ionenbeschuss der wachsenden Schicht vor, dies gleichzeitig mit einer, wie aus der Literatur bekannt, für die Schichtherstellung ungünstigen

Plasmaionen-Zusammensetzung. Im Bereich mit besten Filmparametern wird ein Maximum an Silanionen gemessen und die Edelgasionen-Konzentration ist um zwei Größenordnungen kleiner als in reinem Edelgas-Plasma. Mit unseren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass, das bis jetzt in der Fachliteratur

verwendete Argument, dass in Verdünnungsplasmen der Edelgasbeschuss einen positiven Einfluss auf die Filmeigenschaften hat nicht zutreffend ist. Beste Schichten, auch in bezug auf die Degradationsrate, werden im Bereich der maximalen Silanionendichte und vernachlässigbarer Edelgasionenkonzentration erhalten, dies ist auch im Hinblick auf eine bessere Silannützung von grosser Bedeutung.

c) Weitere Eigenschaften der VHF Plasma-Abscheidung

Auch im vergangenen Jahr wurde wiederum an den verschiedensten Eigenschaften der VHF Plasma-Abscheidung gearbeitet. In dieser Beziehung ist der Einfluss der Anrefrequenz auf die filminternen Spannungen hervorzuheben. Filme, die im Bereich einer Anregungsfrequenz von 13.56 MHz bis 70 MHz am CRPP hergestellt wurden, wurden am IMT in Bezug auf interne Spannungen und Rauheit untersucht.

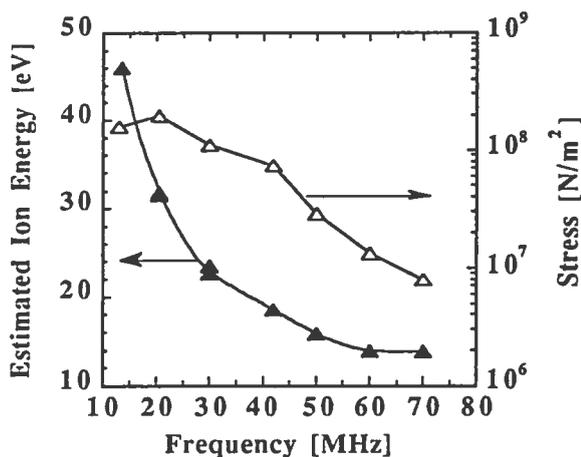


Abb. 5 Filmspannung und maximale Ionenenergie in Funktion der Frequenz.

Dabei zeigte es sich (Abb.5), dass die internen Filmspannungen der, bei hohen Anrefrequenzen hergestellt Filme, um eine Grössenordnung kleinere interne Spannungen aufweisen. Diese Tatsache widerspiegelt sich auch darin, dass mit der VHF Plasma-Abscheidung problemlos sehr dicke Filme hergestellt werden können. Bezüglich der Rauheit der Filme so ist zu erwähnen, dass bei höheren Anrefrequenzen diese auch ansteigt. Die Erklärung für diese Resultate dürfte darin liegen, dass die ebenfalls in Abb.5 eingezeichnete Energie der auf den Film einfallenden Ionen bei höheren Frequenzen wesentlich kleiner ist als bei 13.56 MHz.

d) Pulver in Silan Plasmen

Die Verhinderung oder zumindest die Verminderung der Pulverbildung in Silan-Plasma ist ein überaus wichtiger Punkt für die künftige industrielle Herstellung von Solarzellen. Gegenwärtig sind die im Plasma ablaufenden Mechanismen der Pulverbildung noch nahezu unbekannt. Am CRPP wurden im vergangenen Jahr, in Verbindung mit dem europäischen Brite-Euram Projekt wesentliche Beiträge zum Verständnis der Pulverbildung geleistet. Diese betreffen vorallem die Rolle der negativen Ionen in der Pulverbildung. Mit Hilfe des Plasma Monitors konnten wir in Silan RF Plasmen erstmals negative Ionen eindeutig nachweisen (Abb.1).

Um diese negative Ionen nachzuweisen wurde die Hochfrequenz-Leistung moduliert. Unsere Resultate zeigten, dass diese Ionen in diesen Plasma eine wesentliche Rolle spielen. Dies kann deutlich an der Korrelation zwischen dem Auftreten der negativen Ionen und des Pulvers demonstriert werden. Aus vorhergehenden Experiment ist bekannt, dass die Modulationsfrequenz der Hochfrequenz-Leistung einen Einfluss auf die Pulverbildung hat. Abb.6 zeigt die Abhängigkeit der negativen Ionenintensitäten und des Streulichtes (Pulvermonitor) in Funktion der Modulationsfrequenz, sowie die globale SiH* Emission und die positiven Ionenintensität. Diese unter für Abscheidungen relevanten Bedingungen durchgeführten Experimente zeigen, dass die negativen Ionen möglicherweise der Ursprung der Pulverbildung sind. Weiterreichende Messungen der negativen Ionen sind für das nächste Projektjahr geplant. Diese weiterreichenden Experimente sollen unter anderem auch die Rolle dieser Ionen und deren Folgeprodukte auf die abgeschiedene amorphe Schicht untersuchen.

e) Leistungsmodulation

Im Rahmen einer Diplomarbeit (Oktober 92-Februar 93) werden gegenwärtig leistungsmodulierte VHF Plasmen untersucht. Die Motivation für diese Arbeit liegt in der Tatsache, dass modulierte Prozessplasmen verschiedenste, für die Produktion von Solarzellen wichtige Vorteile aufweisen. Als der wichtigste ist in diesem Zusammenhang sicherlich die Reduktion der Pulverbildung in diesen Plasmen zu nennen. Der Einfluss der Modulationsfrequenz aber auch der Modulationsform auf die VHF Entladung und auf die abgeschiedenen Schichten ist aber nicht bekannt. Mit der Diagnostik der modulierten VHF Plasmen sollen ausserdem Rückschlüsse auf die Zusammensetzung und die Plasmamparameter der VHF Entladung selbst gezogen werden.

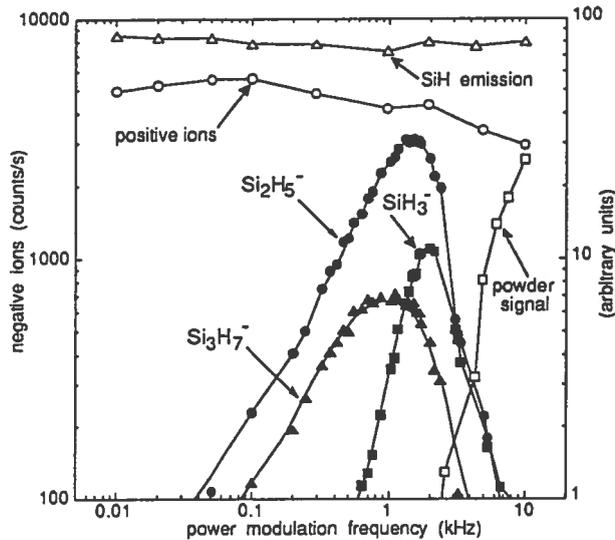


Abb. 6 Abhängigkeit der negativen Ionen von der Modulationsfrequenz.

Universität war es uns möglich, Teilchensimulationen von Argon Plasma mit hoher Anregungsfrequenz durchzuführen. Diese ersten, noch bescheidenen Arbeiten, sollen in der Zukunft erlauben die VHF Plasmen besser zu verstehen. Erste Simulationsrechnungen wurden für 70 MHz Argon Plasmen durchgeführt. Die Nützlichkeit dieser langwierigen Berechnungen (einige Stunden pro Fall auf dem Cray-Computer) wurde durch erste Resultate betreffend der zuerwartenden maximalen Ionenenergie in VHF Plasmen bestätigt.

3.) Zusammenarbeit

Im Rahmen dieses Projektes steht die Zusammenarbeit mit dem IMT in Neuchatel im Vordergrund. Diese eingespielte und äusserst fruchtbare, multidisziplinäre Zusammenarbeit hat auch im vergangenen Jahr zu international anerkannten Erfolgen geführt. Die regen Kontakte zwischen den beiden Forschungsgruppen bilden sicherlich eine Basis für die gegenwärtige und zukunfftige Entwicklung des amorphen Silizium und deren Anwendung in der Schweiz.

Auf internationaler Ebene bestehen weiterhin enge Kontakte mit dem Laboratoire des Couches Minces an der Ecole Polytechnique in Palaiseau den Universitäten Orleans, Eindhoven und Barcelona Die Zusammenarbeit mit diesen Instituten ist durch das am CRPP parallel laufende BRITE-EURAM gegeben. Dieses Projekt beinhaltet die Untersuchung der Pulverbildung in Tieftemperatur und Niederdruckplasmen. Da dieses Gebiet wesentlich mit dem Gebiet der Abscheidung von amorphem Silizium gekoppelt ist, fliessen durch diese Zusammenarbeiten wichtige neue Impulse und Ideen in das Projekt. In diesem Zusammenhang soll auch die Zusammenarbeit mit Instituten, des in Frankreich auf dem Gebiet des amorphen Siliziums führenden Arbeitsgemeinschaft ARC erwähnt werden. Diese französische Arbeitsgruppe umfasst neben der Ecole Polytechnique die Universitäten Orleans, Toulouse, das PRISEM (Programme Interdisciplinaire de Recherches sur les Sources d'Energies et les Matieres Premières du CRNS), das AFME (Agences Française pour la Matrise de l'Energie, Service Techniques Nouvelle) sowie SOLEMS S.A. als Industrievertreter. Im Laufe des Jahres bahnten sich verschiedene neue Zusammenarbeiten an, so mit der KFA Jülich und den Universitäten Düsseldorf und Stuttgart. Mit Prof. Bridesall von der Universität

berkeley
Prof. Birdsall von der Berkeley
Universität war es uns möglich, Teilchensimulationen von Argon Plasma mit hoher Anregungsfrequenz durchzuführen. Diese ersten, noch bescheidenen Arbeiten, sollen in der Zukunft erlauben die VHF Plasmen besser zu verstehen. Erste Simulationsrechnungen wurden für 70 MHz Argon Plasmen durchgeführt. Die Nützlichkeit dieser langwierigen Berechnungen (einige Stunden pro Fall auf dem Cray-Computer) wurde durch erste Resultate betreffend der zuerwartenden maximalen Ionenenergie in VHF Plasmen bestätigt.

f) Plasma Simulation

Mit Hilfe der Zusammenarbeit mit Prof. Birdsall von der Berkeley

Berkeley laufen gegenwärtige erste Arbeiten zur Simulation der VHF Entladungen.

Aus den Erfahrungen des Ankaufes des Plasmas Monitors ergaben sich Kontakte mit verschiedenen Herstellerfirmen. Diese Zusammenarbeit basiert auf unserem gegenwärtigen Erfahrungen mit dieser zukunftssträchtigen der Plasmadiagnostik.

4.) Transfer

Unsere Arbeiten, in Zusammenarbeit mit dem IMT, sind auch im letzten Jahr von verschiedenen Forschungsinstitutionen aber auch von der Industrien mit Anerkennung bedacht worden. Am CRPP entwickelte Diagnostikmethoden fanden Eingang auch in der industriellen Forschung. Als Beispiel sei hier nur die Anwendung der mit weissem Licht durchgeführten Lichtstreuung an den Pulverteilchen durch Siemens Solar in München. Mit dieser Diagnostik wurden bei Siemens umfängliche Untersuchungen der Pulverbildung in industriellen Reaktor vorgenommen.¹⁾ Die im vergangenen Jahr gemachten Kontakte zu verschiedenen inländischen aber auch ausländischen Industriebetrieben zeigen deutlich, dass das laufende Projekt von diesen für ihre Anwendungen als sehr nützlich betrachtet wird.

1) H.Kausche, R.D.Plättner "Effect of a-Si:H Powder Formation in Silane Plasmas on Solar Cell Processing" Proc. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux 92

5.) Perspektiven für das Jahr 1993

Im nächsten Jahr sollen zunächst die, von wissenschaftlicher Seite aber auch für die Anwendungen und das Verständnis der VHF Technik vielversprechenden Untersuchungen der Plasmazusammensetzung fortgeführt und vervollständigt werden. Die im Projektterminplan vorgesehenen Optimalisierung der Plasmaprozesse sollen in engster Absprache mit dem IMT in Neuchâtel angegangen werden. Diese Optimierung der VHF Abscheidetechnik soll die schon gestarteten Modulationsexperimente und zusätzliche Untersuchungen des Frequenzeinflusses der Anregefrequenz einschliessen.

Der aktuelle Vorsprung, auf dem Gebiet der Messung der negativen Ionen in Silan-Plasmen soll genutzt werden, um den Einfluss dieser Ionen auf die für die Herstellung der amorphen Solarzellen äusserst hinderlichen Puderbildung sowie deren Einfluss auf die resultierende Schicht zu untersuchen.

Im Hinblick auf stabiler Schichten soll mit Hilfe des in die geerdete Elektrode eingebauten Plasma Monitor der Einfluss der Ionenenergie und des Ionenflusses auf die Schichtqualität untersucht werden.

Im Hinblick auf spätere industrielle Anwendungen sollen erste Vorversuche zur grossflächige Abscheidungen mit Hilfe der VHF Technik gestartet werden. Diese letzten Arbeiten sind von besonderer Bedeutung, um das in den letzten Jahren angesammelten Wissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der VHF Abscheidung für industrielle Anwendungen vorzubereiten.

6.) Publikationen 1992

Veröffentlichungen:

- 1 F. Finger, U. Kroll, V. Viret, A. Shah, W. Beyer, X.-M. Tang, J. Weber, A. A. Howling und Ch. Hollenstein, "Influences of a High Excitation Frequency (70MHz) in the Glow Discharge Technique on the Process Plasma and the Properties of Hydrogenated Amorphous Silicon", J. Appl. Phys. 71, 5665 (92)
- 2 J.-L. Dorier, Ch. Hollenstein, A. A. Howling, U. Kroll, "Powder Dynamics in VHF Silane Plasmas", J. Vac. Sci. Technol. A 10, 1048 (92).
- 3 A. A. Howling, J.-L. Dorier, Ch. Hollenstein, U. Kroll und F. Finger, "Frequency Effects in Silane Plasmas for PECVD", J. Vac. Sci. Technol. A 10, 1080 (92).

- 4 J. Dutta, U. Kroll, P. Chabloz, A. Shah, A. A. Howling, J.-L. Dorier und Ch. Hollenstein, "*Dependence of intrinsic stress in hydrogenated amorphous silicon on excitation frequency in a Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition process*", J. Appl. Phys. **72**, 3220 (92).
- 5 A. Shah, J. Dutta, N. Wyrsh, K. Prasad, H. Curtins, F. Finger, A. A. Howling und Ch. Hollenstein, "*VHF Plasma Deposition : A Comparative Overview*", Invited Paper: Materials Research Society Spring Meeting San Francisco April 1992.
- 6 A. A. Howling, J.-L. Dorier, Ch. Hollenstein, "*Negative ion mass spectra and particulate formation in rf silane plasma deposition experiments*", eingereicht bei Appl. Phys. Lett. September 1992.

Konferenzen:

- 1 R. Tschärner, A. A. Howling, J.-L. Dorier, D. Fischer, H. Keppner, Ch. Hollenstein, und A. V. Shah, "*Fast Deposition of High Quality Amorphous Silicon Solar Cells Without Powder Formation*", 6th Intl. Photovoltaic Science and Engineering Conference, New Delhi, India, Feb. 1992 p311.
- 2 U. Kroll, F. Finger, J. Dutta, H. Keppner, A. Shah, A. A. Howling, J.-L. Dorier und Ch. Hollenstein, "*Microstructure, Optoelectronic Properties and Saturated Defect Density of a-Si:H*", Prepared in VHF-Glow Discharge Using Ar and Xe dilution", MRS, San Francisco April 1992.
- 3 J.-L. Dorier, "*Powder Contamination in Silane Plasma Processing*", Société Suisse de Physique, Réunion de Printemps, Neuchâtel 6-8 April 92.
- 4 A. A. Howling, "*Frequency Effects in Silane Plasmas for a-Si:H Deposition*", Société Suisse de Physique, Réunion de Printemps, Neuchâtel 6-8 April 92.
- 5 R. Tschärner, N. Pellaton, H. Keppner, S. Dubail, A. Shah, Ch. Hollenstein, A. A. Howling, J.-L. Dorier, "*Fast powder-free deposition of high-quality amorphous silicon solar cells*", Proc. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux 92
- 6 Ch. Hollenstein, A. A. Howling, J.-L. Dorier, "*Properties of Very High Frequency Plasmas Related to Technological Aspects of Amorphous Silicon Deposition*", Proc. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux Oct 92.

Interne Veröffentlichungen:

- 1 L. Sansonnens, TP IV Report März 92 "*Etude de la Diffusion Mie par des particules de poudre dans un plasma silane afin de déterminer leur taille in situ.*"
- 2 A. A. Howling, J.-L. Dorier, Ch. Hollenstein, "*Negative ion mass spectra and particulate formation in rf silane plasma deposition experiments*", LRP 461/92

Seminarien und Beiträge:

- 1 J.-L. Dorier and Ch. Hollenstein, "*Powder Dynamics in VHF Plasmas*", 10 Jan 1992, Eindhoven, zweites Brite/Euram Meeting.
- 2 Ch. Hollenstein "*Plasma Deposition: Eigenschaften und Möglichkeiten*", Univ. Fribourg 9. März 92.
- 3 Ch. Hollenstein, "*Expertengruppe Photovoltaik*", Zürich 12. März 92.
- 4 Ch. Hollenstein, "*Powder Formation in PECVD Plasmas*", IMT Plasma Physik Kurs, 5 June '92.
- 5 A. A. Howling and Ch. Hollenstein, "*CRPP Progress Report Jan-June '92*", 23 Juni 92 am IMT Neuchâtel.
- 6 J.-L. Dorier, "*Particle Formation Diagnostics by Mass Spectrometry, Mie Scattering and ex situ Powder Analysis*", 11-12 Nov. 1992, Lausanne, drittes Brite/Euram Meeting.