

16th European
Photovoltaic Solar
Energy Conference
and Exhibition
Glasgow
1 - 5 May 2000

aus Schweizer Sicht

Die 16. Europäische Photovoltaikkonferenz in Glasgow aus Schweizer Sicht

Inhaltverzeichnis

		Seite
S. Nowak	Übersicht	1
H. Kiess	Kristallines Silizium und hocheffiziente Zellen	5
A. Shah	Dünne Silizium-Zellen	8
A.N. Tiwari	Zellen aus Verbindungshalbleitern	11
A. Meyer	Farbstoffsensibilisierte Zellen	14
P. Affolter	Nouveaux procédés d'encapsulation	17
G. Travaglini	Photovoltaik-Module	19
D. Ruoss	PV-Gebäudeintegration	22
L. Clavadetscher	Systemtechnik	26
Anhang I	IEA PVPS Task 7 Design-Wettbewerb	
Anhang II	Liste der Schweizer Beiträge	

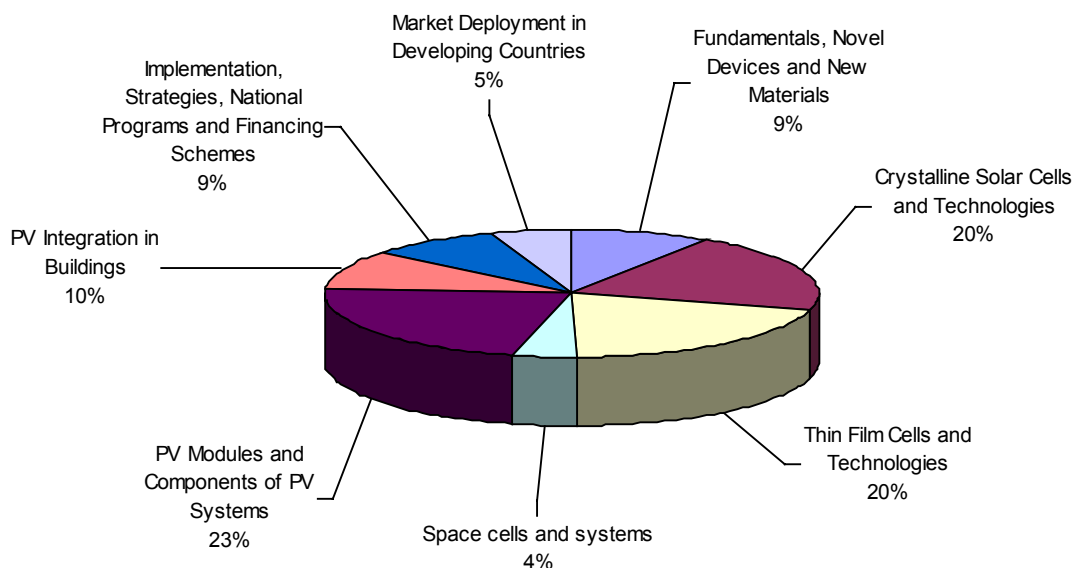
Die 16. Europäische Photovoltaikkonferenz - im Zeichen der industriellen Einführung

Übersicht

Stefan Nowak, Programmleiter Photovoltaik BFE
c/o NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen
Tel.: +41 26 494 00 30, Fax: +41 26 494 00 34
Email: stefan.nowak.net@bluewin.ch

Allgemeines

Schottland hätte der Sonnenenergie keinen besseren Empfang bieten können: Durchwegs sonniges und frühlingshaftes Wetter begleitete die erneute, inzwischen 16. Auflage der europäischen Photovoltaikkonferenz, welche vom 1. - 5. Mai 2000 in Glasgow stattfand. In der Reihe der europäischen Konferenzen konnte Glasgow weitere quantitative Steigerungen verzeichnen, welche nur durch die Weltkonferenz in Wien vor zwei Jahren übertroffen wurden. Fast 1400 Teilnehmer in der Konferenz und weitere 400 Personen in der Ausstellung an über hundert Ständen machten die Konferenz zu einem weiteren Grossanlass – mit allen Vor- und Nachteilen, welche solche Veranstaltungen begleiten. Wen immer man aus der europäischen Photovoltaik-Landschaft suchte; die Wahrscheinlichkeit, ihn oder sie zu treffen war gross – die Zeit für vertiefte Diskussionen war angesichts des umfassenden Angebots jedoch begrenzt. Auch die führenden Photovoltaik-Nationen aus Übersee waren gut vertreten – rund 100 Personen aus den USA und 70 aus Japan – dies entspricht jedoch nicht der Bedeutung dieser Nationen für die Photovoltaik. Einige Neuerungen begleiteten diese Konferenz: So fand das Thema der Solarzellen für die Raumfahrt in der europäischen Konferenz Einzug. Zum ersten Mal wurden die mündlichen Beiträge parallel geführt, was nicht von allen Teilnehmern mit Begeisterung aufgenommen wurde. Es wurde damit noch schwieriger, sich aus der Vielfalt des Gebotenen einen vernünftigen Zeitplan zurechtzulegen. Insgesamt wurden rund 950 Beiträge vorgestellt, davon 225 in mündlichen Vorträgen. Die thematische Gliederung ist in Figur 1 dargestellt.



Figur 1: Thematische Gliederung der Konferenzbeiträge

Wissenschaftlich-technische Entwicklungen

Die Solarzellen bildeten mit 54% weiterhin den grössten Teil der Beiträge (vgl. Zusammenfassungen von H. Kiess, A. Shah, A.N. Tiwari und A. Meyer). Zwei Tendenzen konnten insgesamt beobachtet werden: Zum einen gewinnen die technologischen Aspekte der Herstellung heutiger Technologien, inklusive Dünnschichtzellen, im industriellen Umfeld weiter an Bedeutung, zum anderen erhalten aber auch wieder die langfristigen Aspekte künftiger Solarzellen-Konzepte vermehrtes Gewicht. Diese Doppelstrategie ist charakteristisch für die Photovoltaik: Technische und ökonomische Anforderungen für einen rasch wachsenden Markt gegenüber langfristigen Optionen für die Zukunft, technische Relevanz für die Industrie gegenüber der Weitsicht für die künftige Forschung. Beides erscheint gerechtfertigt – wichtig ist jedoch eine korrekte Rollenverteilung und ein anhaltender Dialog. Die langfristige Forschung sucht einerseits nach neuen Strukturen für hocheffiziente Solarzellen, andererseits werden neue Konzepte für Solarzellen mit tiefen Kosten auf der Basis von organischen bzw. festen, elektrochemischen Materialien entwickelt. Für die Praxis von Bedeutung sind sicher in erster Linie die starken prozessorientierten Anstrengungen zur kostengünstigen Produktion von Solarmodulen.

Die maximalen Wirkungsgrade von kristallinen Siliziumzellen veränderten sich gegenüber früheren Werten (je nach Material bis zu 24.7%) nur unwesentlich. Für industrielle Prozesse werden schnellere und günstigere Verfahren mit dünneren Zellen von mindestens 18% Wirkungsgrad angestrebt. Im Vordergrund stehen bei diesen Technologien Methoden zur Minderung von Reflexionsverlusten durch Texturierung und Beschichtung der Oberflächen. Das ISFH stellte dazu ein mechanisches Verfahren vor, welches sich industriell umsetzen lässt und bereits Wirkungsgrade bis zu 20% geliefert hat. Die angestrebten Verbesserungen betreffen nicht nur die Verarbeitung der Zellen selbst, sondern ebenso die Kontaktierung und Verpackung. Die in den letzten Jahren beobachtete lichtinduzierte Degradation von kristallinen Zellen konnte auf die Präsenz von Sauerstoff im Silizium zurückgeführt werden, was bei Czochalski-Verfahren eintreten kann. Bandgezogenes Silizium steht als Option immer deutlicher im Blickpunkt des Interesses. Die hochgesteckten Ziele installierter Photovoltaik-Leistung in Europa und anderswo lassen das (kurzfristige) Problem der Verfügbarkeit von Silizium immer deutlicher werden. Allein bis 2005 wird mit einem Fehlbetrag von mindestens 2500 Tonnen Silizium gerechnet, wenn entsprechende Kapazitäten für Solar-silizium nicht rechtzeitig aufgebaut werden.

Das amorphe (Dünnschicht)silizium findet in der industriellen Umsetzung stärkeren Einzug. Dabei spielen jedoch die USA und Japan weiterhin eine wichtigere Rolle als Europa, für welches dieses Gebiet im Vergleich industriell zurücksteht. Der Wirkungsgrad kommerzieller Zellen (im Labor ca. 14%) ist mit maximal ca. 7% immer noch gering, wobei selbst damit interessante, flächenbezogene Kosten erzielt werden können. Die Deposition von amorphem Silizium auf Kunststoffsubstraten, welche bereits an der letzten Konferenz thematisiert wurde, hat weiteren Auftrieb erhalten und neue Perspektiven für Anwendungen an Gebäuden und im Weltraum eröffnet. Dünnes polykristallines oder mikrokristallines Silizium finden weiterhin Interesse, wobei auch hier produktionsrelevante Aspekte im Vordergrund stehen. Konkrete Produkte dürften bei diesen vieldiskutierten Materialien allerdings noch ein paar Jahre auf sich warten lassen. Lichteinfang und leitende TCO-Schichten bilden Themen, welche die Entwicklung von Dünnschichtsiliziumzellen eng begleiten und viel industrie-spezifisches Know-how beinhalten. Die Schweizer Beiträge aus dem IMT gehören mit zu den führenden Arbeiten auf den diversen Gebieten des Dünnschichtsiliziums.

Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern (CIGS, CdTe) erfahren zur Zeit starke Entwicklungen in Richtung industrielle Umsetzung, wobei hier auch in Europa wichtige Projekte stattfinden (Würth Solar mit ZSW für CIGS, Ziel 10 MWp/Jahr und Antec für CdTe, Ziel 10 MWp/Jahr). Im Labor wurde für die CIGS-Zelle mittlerweile ein beachtlicher Wirkungsgrad von 18.8% erzielt. Für Produkte von Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern werden in der Serienproduktion ca. 10% erwartet. Ähnlich wie beim amorphen Silizium, wurden auch mit CIGS Zellen auf Kunststoffsubstraten in Zürich im Labor gute Resultate von 12.8% erreicht, allerdings noch auf kleiner Fläche und unter Verwendung eines Zwischenschrittes einer Deposition auf Glas. Mit den nun stattfindenden Anstrengungen zur industriellen Umsetzung werden Solarzellen aus Verbindungshalbleitern in den kommenden Jahren ernstzunehmende Konkurrenten der Dünnschichtsiliziumzellen, dies vorläufig unabhängig ihrer materialspezifischen Eigenschaften in bezug auf die Rohstoffsituation (Stichwort In) und die Umweltverträglichkeit (Stichwort Cd).

Farbstoffzellen bleiben – zumindest in der Forschung – ein Thema der Aktualität, wobei sich frühere Erwartungen in der Praxis immer noch nicht bestätigen konnten: Die Fragen der Stabilität und der industriellen Herstellung konnten noch nicht abschliessend geklärt werden. Neue Erfolge wurden dazu aus Japan (Toshiba) gemeldet, wo mit gel-artigen Elektrolyten ein Wirkungsgrad von 7.3% erreicht wurde. Zellen auf Kunststoffsubstraten werden auch für Farbstoffzellen diskutiert. Derweil die grundlegenden Fragen zu dieser vieldiskutierten Solarzelle langsame aber stetige Fortschritte zeigen, finden bereits wieder noch längerfristige Konzepte in der Forschung Einzug: dazu wurden molekular-organische Strukturen vorgestellt, vorderhand noch mit einem sehr tiefen Wirkungsgrad.

Nebst der Solarzelle kann auch mit Fortschritten bei der Modultechnik (Kontaktierung, Verpackung) eine Kostenreduktion, gepaart mit verbesserten Produkteigenschaften, erzielt werden. Eine Reihe von material- und prozessspezifischen Ansätzen wurden dazu in Glasgow vorgestellt (vgl. Zusammenfassung von P. Affolter). Die Tendenz geht in Richtung Einsatz diverser Polymere, sowohl für die Laminierung wie für die Vorder- oder Rückabdeckung. In diesem – zuweilen weniger beachteten – Bereich können insgesamt in den nächsten Jahren noch einige innovative Neuheiten erwartet werden, welche die Produkte im Sinne der industriellen Prozesse und der Kostenreduktion weiter verbessern werden.

30 Hersteller von Solarzellen und –modulen bzw. von Wafern waren in Glasgow vertreten (vgl. Zusammenfassung D. Chianese). Änderungen der Besitzverhältnisse durch Fusionen, Übernahmen und Reorganisationen sowie Namensänderungen prägen auch die photovoltaische Industrie. Eine Reihe von Herstellern bauen ihre Produktionskapazität erheblich aus, z.T. mit neuen Zell- oder Modultechnologien. Dabei fällt insbesondere die CIGS-Technologie auf, für welche in Europa verschiedene Produktionsstätten im Aufbau sind (Würth Solar, EPV). Bei verschiedenen Herstellern ist eine Produktdifferenzierung der Solarmodule bezüglich der Leistungsklassen zu beobachten.

Die Gebäudeintegration hat sich mittlerweile als festes Standbein der Photovoltaik etabliert (vgl. Zusammenfassung D. Ruoss), obwohl lediglich ca. 10% der Beiträge auf diesen Bereich entfielen. Die Bedeutung dieses Themas konnte vor allem in der Ausstellung erkannt werden: Die Produktvielfalt nimmt auf erfreuliche Art zu und entspricht mehr und mehr den professionellen Anforderungen des Gebäudebereichs. In diesem Zusammenhang weisen sich die Zertifizierung der Produkte, die Gebäudevorschriften und die Sensibilisierung der Architekten als wichtige Anforderungen für die breite Entfaltung der gebäudeintegrierten Photovoltaik. In diesem Sinn sind architektonisch interessante Projekte nach wie vor von grosser Bedeutung. Neue Ansätze in diese Richtung wurden in einem durch die IEA PVPS Task 7 organisierten Wettbewerb gesucht: die entsprechenden Eingaben wurden in Glasgow prämiert.

Betriebserfahrungen mit Photovoltaik Anlagen werden mittlerweile weniger vorgestellt als in früheren Jahren (vgl. Zusammenfassung L. Clavadetscher). Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass hierzu bereits viele Ergebnisse vorliegen, welche das erste Bedürfnis quantitativer Natur gestillt haben dürften. Trotzdem bleiben längerfristige Erfahrungen von Bedeutung, zum einen für das Langzeitverhalten der Komponenten und Systeme, zum andern für die Erfahrung mit neueren Konzepten, z.B. mit AC-Modulen oder in kombinierten Systemen. Über Inselanlagen und deren Langzeitverhalten ist ebenfalls relativ wenig bekannt.

Ländliche Elektrifizierung

Die ländliche Elektrifizierung in Entwicklungsländern wurde stärker thematisiert als in den letzten Jahren und es fand zu diesem Thema ein aufschlussreicher Workshop zwischen der EU und der Weltbank statt. Konkrete Beispiele wurden aus China, Indien, den Philippinen und Südafrika vorgestellt. Wie anderweitig auch schon festgestellt, stehen für diesen bedeutenden Markt nicht-technische Aspekte (Infrastrukturaufbau, Finanzierung, Ausbildung, Unterhalt, Information) im Vordergrund. Trotz einer ganzen Reihe von bilateralen und multilateralen Projekten mit zehntausenden von installierten Systemen stehen noch nicht genügend Erfahrungen zu den erfolversprechenden Modellen zur Verfügung. In dieser Hinsicht wurde in Glasgow sehr offen über die wirklichen Herausforderungen in diesem wichtigen Marktsegment debattiert. Kommerziell orientierte Ansätze werden dabei den übergeordneten Zielen der Armutsbekämpfung und Lebensstandardverbesserung gegenübergestellt. Es gilt, aus den auf ersten Blick widersprüchlichen Interessen nachhaltige Konzepte umzusetzen, welche den jeweiligen, lokalen Rahmenbedingungen angepasst sind. Qualitätssicherung und Zertifizierungsanforderungen (PV-GAP) sind für Anwendungen in Entwicklungsländern von besonderer Bedeutung; auch sie müssen jedoch nachhaltig umgesetzt werden können. Nicht zuletzt spielen die politischen Rahmenbedingungen, unter welchen sich ländliche Elektrifizierungsprogramme abspielen, eine eminente Bedeutung für die Rolle der Photovoltaik.

Ausstellung

Die begleitende Ausstellung umfasste gut 100 Aussteller; gute Räumlichkeiten und eine sehr gute Präsenz der Photovoltaikindustrie machten diesen Teil der Konferenz zu einem grossen Erfolg. Die hohe Professionalität der Ausstellung mit einer Reihe von neuen Produkten und Herstellern belegen die industrieorientierte Entwicklung, welche in der Photovoltaik zu verzeichnen ist. Die Ausstellung war demzufolge auch ständig gut besucht und stellte damit eine echte Konkurrenz zu den wissenschaftlichen Beiträgen dar.

Politische Rahmenbedingungen

Die politischen Rahmenbedingungen der Photovoltaik waren ein Dauerthema, allen voran infolge der gegenwärtigen Entwicklung in Deutschland und Japan. Diese Rahmenbedingungen waren zusammen betrachtet vermutlich noch nie so gut wie heute, auch wenn dazu erhebliche regionale Unterschiede bestehen. Gerade diese Unterschiede können – wie dies früher bereits in kleinerem Ausmass der Fall war – neue nationale Entwicklungen begünstigen. So ist zum Beispiel inzwischen auch in Frankreich die Netzeinspeisung unter bestimmten Bedingungen möglich. Trotz diesen verbesserten Rahmenbedingungen stellen die hochgesteckten Ziele einzelner Länder und der EU für die Photovoltaik in den nächsten zehn Jahren eine gewaltige Herausforderung dar. Die politischen Rahmenbedingungen wurden zuweilen auch etwas zu stark thematisiert – im Sinne einer marktfähigen, industriellen Technologie sollte dies mit der Zeit zurückgehen.

Schweizer Beiträge

Die Schweiz war in Glasgow wiederum sehr gut vertreten. Die insgesamt 55 Beiträge mit Schweizer Beteiligung umfassten 2 Plenarvorträge, 16 mündliche Beiträge und 37 Posterbeiträge. Diese Beiträge belegten den weiterhin hohen Stand der Schweizer Photovoltaik im internationalen Vergleich, sowohl in der Forschung wie in der Anwendung. Folgende Schweizer Hersteller, Produkte bzw. Organisationen waren in der Ausstellung vertreten:

- ASP (bei Rosendahl Energietechnik GmbH)
- Atlantis Solar Systems
- Cyphelly & Co
- Enecolo AG (bei Ernst Schweizer AG)
- Ernst Schweizer AG
- HCT Shaping Systems SA
- Meyer & Burger Ltd.
- Multi-Contact AG
- PASAN – BELVAL SA
- PV GAP (international)
- PVSYST (bei Ernst Schweizer AG)
- Studer Solartechnik

In Zukunft wäre zu überlegen, ob die Schweiz wieder vermehrt in gebündelter Form an der Ausstellung teilnehmen sollte.

In dem von der IEA PVPS Task 7 organisierten Design-Wettbewerb wurden verschiedene Schweizer Beiträge prämiert: (vgl. Zusammenfassung der Resultate):

- Umspannwerk Schaan, Liechtensteinische Kraftwerke, Architekt Marcel Ferrier, St. Gallen
- SOLRIF, Ernst Schweizer AG & Enecolo AG
- Solarsegel, Münsigen, Architekt Peter Schürch, Bern (Publikumspreis)

Schlussbemerkungen

Die 16. Europäische Photovoltaik Konferenz war ein weiterer Meilenstein der Photovoltaik. Nebst den vielen wissenschaftlichen, technischen und marktbezogenen Beiträgen, welche zuweilen unübersichtlich werden konnten, war vor allem die Gelegenheit zu einem intensiven, persönlichen Austausch gegeben. Daraus entstehen bekanntlich neue Ideen, neue Projekte und neue Partnerschaften. Diese zahlreichen Kontakte, die Vielfalt der Beiträge und das gedrängte Programm erlaubten wohl nicht immer die vertiefte Auseinandersetzung mit allen Einzelheiten, sie machten jedoch die Konferenz in Glasgow insgesamt zu einem Erfolg. Der nächste Termin steht bereits fest: Die 17. Europäische Photovoltaik Konferenz findet vom 29. Oktober bis 2. November 2001 in München statt.

Hocheffiziente Solarzellen und kristallines Silizium

Helmut Kiess

im unteren Tollacher 11, CH - 8162 Steinmaur

Tel.: +41 1 853 01 60; Fax: +41 1 854 05 28

A. ZUSAMMENFASSUNG

Die Themen Solarzellen aus kristallinem Silizium und Siliziumtechnologie wurden in ca. 50 Vorträgen, hocheffiziente Zellen für die Raumfahrt in weiteren 10 Beiträgen behandelt. Die Poster vermittelten im wesentlichen Details um die in den Vorträgen diskutierten Themen. Ausserdem wurde in theoretischen Beiträgen versucht, Wege aufzuzeigen, die den Wirkungsgrad von Solarzellen über den Wert von etwa 30 % anheben sollen, welcher sich theoretisch mit Zellen aus einem Material erreichen läßt. Dabei wurden allerdings alte Modelle und Theorien wieder beigezogen, die weit davon entfernt sind, sich einfach in die Praxis umsetzen zu lassen. Die Beiträge über Silizium hatten die folgenden Schwerpunkte: (i) Verfahrensschritte, die es erlauben, Zellen mit 18 bis 20 % Wirkungsgrad industriell zu fertigen, (ii) Untersuchungen über die lichtinduzierte Degradation kristalliner Si-Solarzellen und (iii) Produktion von solarzellentauglichem Silizium aus 'metallic grade' Silizium. Für Raumfahrtzellen war ein wichtiges Thema der Wirkungsgrad am Ende der Lebensdauer des Satelliten, insbesondere deswegen, weil Zellen aus CIS praktisch resistent gegen Partikel-Bestrahlung sind.

B. HOCHEFFIZIENTE SOLARZELLEN

Von der Universidad Politécnica de Madrid (A. Luque et al.) wurde ein theoretisches Material diskutiert, bei welchem durch gezielten periodischen Einbau von Fremdatomen ein schmales metallisches Band in der Mitte der verbotenen Zone entstehen soll. Dadurch wird erreicht, dass drei optische Übergänge entstehen: Vom Valenzband zum Leitungsband, vom Valenzband in das halbgefüllte metallische Band in der Lücke und vom metallischen Band in das Leitungsband. Damit würde sich eine Solarzelle aus diesem hypothetischen Material wie eine Tandemzelle aus drei hintereinandergeschalteten Materialien unterschiedlichen Bandabstandes verhalten. Unter der Annahme nur strahlender Rekombination ergibt sich ein Wirkungsgrad von 63 %. Die Frage bleibt, ob die Zelle von Li wiedererfunden wurde (hohe Störstellenkonzentration mit energetischen Zuständen in der Bandmitte) und ob bei Berücksichtigung von nichtstrahlender Rekombination der Wirkungsgrad unter den einer Zelle fällt, die nur aus dem Grundmaterial besteht.

Raumfahrtzellen auf der Basis von InGaP/GaAs auf Ge-Substraten haben bei ASE, Heilbronn, Produktionsreife erreicht. Tripelzellen InGaP/GaAs/GaSb mit 30 % Wirkungsgrad sind in den USA hergestellt worden. Diese Zellen sollen als Konzentratorzellen verwendet werden.

C. SOLARZELLEN AUS KRISTALLINEM SILIZIUM

Industriell gefertigte Solarzellen aus kristallinem Silizium werden einen Wirkungsgrad von 20 % oder mehr erreichen müssen, einfach herstellbar und dünner als gegenwärtig sein, wenn sie nicht durch Dünnschichtzellen abgelöst werden sollen. So die These von R. Hezel (ISFH, Emmerthal). Vorschläge, dies zu erzielen, reichen über bessere und gleichzeitig einfache Zellfertigungsverfahren, über billigere Herstellung des Siliziums und der Si-Scheiben.

Die Wirkungsgrade sind zum Vergleich nach Angaben an der Konferenz aufgelistet: Industriell gefertigte Zellen ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) liegen gegenwärtig bei Verwendung von einkristallinem Cz-Silizium bei 13 - 15 %, bei multikristallinem Si bei 12.5 - 13.5 %. Spitzenreiter bezüglich Wirkungsgrad in der Zellherstellung sind BP bei einkristallinem Si mit 16.5 % und Kyocera bei multikristallinem Si mit 14.5 %, die somit deutlich über den Werten anderer Hersteller sind.

Im Labor erzielte Wirkungsgrade sind unter Verwendung von Fz-Silizium 24 - 24.7 %, MCz-Silizium (Bor-dotiert) 24.5 % und Cz-Silizium (Ga-dotiert) 24.7 %.

C. 1. Zellherstellung

Die Verfahren, Reflexionsverluste zu reduzieren, umfassen im wesentlichen 3 Methoden: mechanisches Fräsen von Rillen, alkalisches Ätzen zur Texturierung und letztlich Trockenätzen (reactive ion etching) unter Verwendung einer Maske. In allen Fällen wird zusätzlich eine einfache Beschichtung aus SiO₂ oder SiN_x vorgenommen, Beschichtungen also, die reflexionsmindernd sind und gleichzeitig eine Passivierung der Oberfläche bewirken. Im Falle von multikristallinem Si wird mit SiN_x durch den Herstellungsprozess mit H zusätzlich auch die Rekombination im Volumen des Materials reduziert.

Das ISFH erreichte mit rechteckigen Rillen, Aluminiumkontakte aufgedampft auf eine Kante der Rillen, bei 10x10 cm² großen und 150 µm dicken Zellen folgende Wirkungsgrade: mit Fz Si: 20 %, mit Cz (Bor-dotiert) 19.1 % und mit Cz (Ga-dotiert) 19.8 %. Dieses Herstellungsverfahren wurde als reif für eine kostengünstige Fertigung angepriesen. Ähnliche Wirkungsgrade wurden auch in anderen Labors erzielt. In einem von der EU unterstützten Programm wurde vorwiegend multikristallines Si von Bayer untersucht. Mit V-Rillen wurden 16.9 % Wirkungsgrad erzielt, ohne 15.4 %. Multikristallines Si im closed molten zone Verfahren hergestellt, erreichte 16.9 % bei konventioneller Zellherstellung.

Trends bestehen auch darin, von konventioneller Zellherstellung zur Herstellung mit RTP (rapid thermal processing) überzugehen. Erwartet werden niedrigerer Energieverbrauch, schnellere Zellherstellung, höherer Wirkungsgrad, pauschal also geringere Zellkosten. Ein wichtiger Schritt zur Vereinfachung wird auch in der Herstellung eines selektiven Emitters und der n-Dotierung gemacht. Die wesentlichen Verfahrensschritte sind dabei: Deposition des Phosphorglases mittels Siebdruck an den für die Leiterbahnen vorgesehenen Stellen. Beim Diffusionsschritt wird die Si-Oberfläche über die Gasphase vom deponierten Phosphorglas n-dotiert (10^{19} cm^{-3}), während an den Leiterbahnen selber die Dotierung $10^{20-21} \text{ cm}^{-3}$ beträgt. Weitere Schritte erfolgen mit RTP. Die Leiterbahnen werden mit Siebdruck aufgebracht. Der Wirkungsgrad der nach diesem Verfahren hergestellten Zellen liegt im Bereich von 17.5 %.

Die Zellherstellung bei Verwendung von 150 bis 100 µm dicker Si-Scheiben ist wegen Bruchgefahr in automatischen Verfahren problematisch. Ein hohe Stabilität von Si-Scheiben von 100 µm Dicke erhält man mit trikristallinem Si, das auch nach dem Cz-Verfahren gezogen wird, jedoch mit einem anderen Keimkristall. Eine Wirkungsgradeinbuße scheint kaum zu bestehen ($\eta = 15.5 \%$). Auch 150 µm dicke Wafer mit Rechteckrillen sollen stabiler sein als solche ohne Rillen.

Relativ viele Beiträge waren der Kontaktherstellung gewidmet mit dem Ziel, Zellen einfacher miteinander verbinden und schöner aussehende Solarpaneele herstellen zu können. Dabei werden die Kontakte entweder direkt von der Vorderseite durch die Zelle (wrap-through) oder um die Zelle (wrap-around) auf die Rückseite geführt.

C. 2. Lichtinduzierte Degradation von Solarzellen aus kristallinem Silizium

Die lichtinduzierte Degradation von Siliziumsolarzellen beschränkt sich auf einkristalline Zellen und zwar solche, bei denen die Einkristalle nach dem Czochalski-Verfahren (Cz-Si) gezogen und die mit Bor (B) p-dotiert wurden. Dieses Material wird normalerweise in der Elektronikindustrie verwendet und deswegen auch bei der Solarzellenherstellung. Cz-Silizium enthält Sauerstoff, welcher unter Lichteinwirkung mit dem Bor einen Komplex bildet und zu einer erhöhten Rekombination führt. Bei Hochheizen auf 200^o C verschwindet der Komplex, entsteht jedoch bei Beilichtung wieder. Die Wirkungsgradeinbuße beträgt 1 - 2 %. Ein Wirkungsgradgewinn von dieser Größe wäre also mit sauerstofffreiem Si zu realisieren oder mit Cz-Si anderer Dotierung. Sauerstofffreie oder -arme Einkristalle erhält man mittels des float-zone (Fz) oder magnetic Czochalski (MCz) Verfahren. Andererseits findet man bei p-Typ Si bei Dotierung mit Ga, In, Al und bei n-Typ Si, dotiert mit P oder Sb keine Sauerstoffempfindlichkeit. Kosten der Kristallherstellung und die Homogenität der Verteilung der Dotieratome im Kristall sind ausschlaggebend für die Wahl des in Frage kommenden Kristallherstellungsverfahrens. Es scheint, daß Cz-Si dotiert mit Ga am vielversprechendsten ist, diese beiden Kriterien zu erfüllen.

Die Lebensdauer der Minoritätsträger wird wie folgt angegeben: Cz-Si(B) vor der Degradation 220 μ s, danach 20 μ s, Cz-Si (Ga) 800 μ s, Fz-Si(B) 800 μ s. Das bedeutet, daß mit Cz-Si Wirkungsgrade erzielbar sind, wie sie bislang nur mit Fz-Si erreicht worden waren (siehe oben Wirkungsgradangaben).

Sauerstoff scheint bei Bor dotiertem multikristallinen Silizium keine Rolle zu spielen. Die Ursache dafür ist nicht klar.

C. 3. Bandgezogenes Silizium

Bandgezogenes Silizium bietet den Vorteil der besseren Ausnutzung des Siliziums (keine Sägeverluste), schnellere Waferherstellung und die Möglichkeit, dünnere Wafer einfach herzustellen. Die Ziehgeschwindigkeit liegt beim EFG-Verfahren (nach Angabe von ASE) bei 5 cm/s, der Si-Verlust beträgt nur 0.5 %, der Zellwirkungsgrad bei 14 % in der Produktion, der Spitzenwirkungsgrad bei 17 %. Künftig soll bei ASE das Si nicht mehr in Form von Octagons sondern von Zylindern von 1m Durchmesser gezogen werden, um mit höherer Ziehgeschwindigkeit arbeiten zu können. Bei Evergreen wurde mit einem sehr einfachen Zellherstellungsprozeß für bandgezogenes Si ein Wirkungsgrad von 11.7 % erzielt, bei nach dem RGS Verfahren hergestellten Material von Bayer erreichte man 12 % (Ziehgeschwindigkeit 10 cm/s).

C. 4. Produktion von solarzellentauglichem (solar grade) Silizium

Silizium zur Solarzellenherstellung stammt gegenwärtig aus Abfällen, welches in der Elektronikindustrie nicht mehr verwertbar ist. In Zukunft wird dieses Material für die Solarzellenherstellung nicht ausreichen. Man erwartet im Jahre 2005 einen Fehlbetrag von 2500 t/a und 2010 von mindestens 5000 t/a. Diese Mengen sollten deswegen in einem kostengünstigen Prozeß aus metallic grade Silizium mit ausreichender Reinheit hergestellt werden. Von Bayer wird ein kontinuierliches Verfahren angestrebt, welches das metallic grade Si voll automatisch reinigt. Synergien und die 'scale of economy' sollen erlauben, daß das kg Si weniger als 10 Euro kostet. Die Investitionen scheinen für die Ausführung des Vorhabens jedoch sehr hoch zu sein und im Bereich von 100 Millionen Euro zu liegen, sodaß Partner für dieses Geschäft gesucht werden.

Thin-film silicon (amorphous and microcrystalline)

Arvind Shah

Institut de Microtechnique (IMT), Université de Neuchâtel,
Breguet 2, 2000 Neuchâtel

Tel.: +41 32 718 33 50; Fax: +41 32 718 32 01

Email: arvind.shah@imt.unine.ch

The following main trends could be perceived at the Glasgow Conference:

- 1) The field of **amorphous silicon solar cells** is clearly becoming an industrially mature field. Therefore, in this field papers are now increasingly appearing that relate to the **technical details of the fabrication process** and especially to the fabrication of the doped layers (e.g. D.E. Carlson et al.; BP Solarex, USA, VB1.23; J.J. Chadia et al.; CIEMAST, Spain, VP 1.41; S.Y. Myong et al., KAIST, Korea, OD 1.1) There is clearly the scope for further improvement in amorphous silicon solar cells - but it will be now by "fine-tuning" of the cell design and fabrication methods - no "breakthroughs" should be expected, anymore.
- 2) Amorphous silicon (a-Si:H) layers and cells, deposited with **H₂-dilution very near to the amorphous to microcrystalline transition**, can show unusual behavior and are a field for further study. One has the hope (sofar not proven) that one would, thus, be able to obtain more stable amorphous silicon solar cells :
 - (a) Yves Poissant, Pere Roca et al. (Paris-Palaiseau; OD1.3). reported on their continuing work on "**polymorphous**" silicon (amorphous silicon of relatively high quality, containing very few crystallites). They showed that the layers they deposit have behavior that is different from that of classical amorphous layers. It is not yet clear whether this will result (as originally claimed at the Vienna Conference, 1998) in a real improvement for solar cells.
 - (b) "**Protocrystalline**" silicon, originally introduced by C.R. Wronski and others at Pennsylvania State University (USA), is now studied also at the University of Stuttgart [C. Koch et al.;OD 2.4]. They fabricated 1 μ thick solar cells. (Note that "protocrystalline" silicon is obtained by varying the hydrogen dilution ratio during deposition, in such a way as to remain just on the amorphous side of the amorphous to microcrystalline transition) No comparative results w.r.t. classical a-Si H cells were given in this paper.
- 3) The **deposition of amorphous silicon on plastic**, originally pioneered by Sanyo Corp. (Japan), and Iowa Thin-Films Inc., (USA) as well as (for facades, watches, satellites, etc.) by IMT Neuchâtel (PSEL Project, 1996-1999) and by VHF Technologies SA, Le Locle (CH) [CTI start up project, 2000/2001], has now become a "hot " topic: one may mention the well-known efforts of the Akzo Noble Co., in collaboration with Utrecht and Delft Universities, within a research project that is heavily co-funded by the Netherlands Government: They have invented a roll to roll process using a sacrificial metal foil on which they deposit the TCO (Sn O₂) at high temperatures, and finish the cells by pressing the plastic "on top" of the amorphous silicon. The solar efficiencies they reach are, however, still relatively low, especially because of limitations due to their TCO. Their claimed cost targets for electrical production (less than 0.15 Sfr. per kWh) have also always been very optimistic (only achievable with mass production in the order of 100 MW_p / year).

What is new and interesting is that this topic is now followed up by some other European research groups :

- (a) Virginia Chu. et al, Lisbon Portugal, (not reported at this conference, but at the EURESCO meeting in Berlin at the beginning of April) and
- (b) C. Koch, M. Schubert et al. (Institute for Physical Electronics, University of Stuttgart; OD 2.1).

These two groups are now working on depositing amorphous silicon layers and devices on PET. No solar cells are available as yet, but we should watch this development carefully.

- 4) The emergence of **thin-film solar cells**, especially of a-Si:H and CIGS solar cells for **space applications**, i.e. satellite power supply One wonders why this development did not come about before: Both a-Si:H and CIGS solar cells have excellent radiation hardness, much better than that of wafer-based high-efficiency monocrystalline solar cells with silicon and III-V compounds (Ga, As, InP and related materials). Both a-Si:H and CIGS have the potential to result in light-weight space-type solar modules, with W/kg (but not W/m²) ratios that can compare favorably with those of monocrystalline solar cells. a-Si:H has, compared with CIGS, the disadvantage of having a significantly lower efficiency; (CIGS solar cells have, especially for small areas of 1 cm², respectably high stable efficiencies). On the other hand, the deposition of a-Si:H solar cells on light-weight plastic (polyimide) foils is much easier than that of CIGS solar cells; this is because of the deposition temperatures (around 200°C for a-Si:H, above 500°C for CIGS).

This trend, which was already seen in the Vienna PV World Conference (1998), has since continued in an intensified manner. A new, interesting candidate for space is the micromorph tandem solar cell, announced in a paper of IMT Neuchâtel [J. Kündig et al.; OC 2.5] For microcrystalline silicon ($\mu\text{-Si:H}$), the radiation hardness is not quite as good as for a-Si:H and for CIGS, but it is certainly much better than for monocrystalline wafers. In addition, an interesting thermal annealing (defect recovery) effect takes place for $\sim 70^\circ\text{C}$, so that in actual space conditions the radiation-induced deterioration may not be at all significant, provided the solar modules are allowed to heat-up during exposure to sunlight.

- 5) The large amount of papers (especially posters) concerned with **transparent conductive oxides (TCO's)** and, particularly with sputtered zinc oxide, can also be considered significant. These papers were presented both in connection with CIGS solar cells and with a-Si:H solar cells.

Light trapping is not needed for CIGS solar cells, but is a very important issue for all forms of thin-film silicon. Light trapping for a-Si:H p-i-n solar cells (as obtained by textured ZnO) was presented by Daey Ouwens et al. (Utrecht University; OD2.5), by Forschungsanstalt Jülich in collaboration with ASE / Phototronics (various authors; VB 1.36 and OD2.1) and by our own group (S. Fay et al.; OC7.3) It would seem that the European groups **now** working have so far no more reached the excellent results obtained back in the earlier 90's by Siemens Solar for p-i-n amorphous silicon solar cells on glass (and since abandoned, because Siemens stopped work on a-Si:H), nor those obtained recently by the Canon Co and by the Kaneka Co for n-i-p amorphous silicon solar cells on stainless steel. It is a pity that ZnO and light-trapping in thin-film solar cells remain areas with many well kept industrial secrets: The general progress of thin-film silicon solar cells is thereby held up.

- 6) **Hydrogenated Microcrystalline silicon ($\mu\text{-Si:H}$)** : many posters and also oral papers were presented on the deposition of microcrystalline ($\mu\text{-Si:H}$) layers, by a large variety of deposition techniques, very often by some modified forms of plasma-CVD. Often higher deposition rates (over 10Å/sec) were obtained and some characterization results were presented with the goal of "certifying" material quality. But in order to say something objective about material quality, it would be necessary to first get these layers tested by another laboratory, and by using standard referenced methods, like those we have developed at IMT Neuchâtel (e.g. subbandgap absorption by PDS/CPM and $\mu^\circ\tau^\circ$ evaluation via λ_{photo} and L_{amb}).

Very few groups presented actual $\mu\text{-Si:H}$ solar cells. And when they did so, the efficiencies were mostly disappointingly low. Often this could, at least, partly, be traced to contamination problems (impurities due to deposition systems of poor quality).

The Japanese $\mu\text{-Si:H}$ solar cell research groups were unfortunately not represented at the Glasgow Conference.

- 7) In the field of **high-temperature fabrication techniques for producing thin-film solar cells with crystalline silicon** (epitaxy, liquid phase epitaxy, aluminium-induced crystallization, laser annealing, thermal annealing, solid phase crystallization, etc.), no spectacular solar cell results were presented at Glasgow - as far as we can judge. We will therefore refrain from commenting on this field, where there is a real panoply of methods, but none of them so far appear to have a real low-cost potential.

As a **conclusion**, the Glasgow conference confirms the tendency observed over the past two years that **amorphous silicon (a-Si:H)** solar cells are increasingly being considered for new applications (e.g. satellites) and that they are gradually entering - in a substantial manner - into the energy sector: they actually appear to be especially suited for building-integrated photovoltaics. The prices for a-Si:H solar modules have decreased to around 3 \$ per peak Watt, i.e. they are already lower by 20% than those for crystalline silicon (c-Si) wafer-based modules. In the context of building integration, especially for façades of corporate buildings, the price **per square meter** is especially important. Here, a-Si:H with some 200 to 300 \$ /m² (module price only) clearly beats c-Si with prices around 500 \$/m². If BOS costs are included, these figures become around 400 to 500 \$ /m² for a-Si:H-based installations and 800 \$/m² for c-Si-based installations; the latter, however, produce significantly more electric power per square meter. Note that a façade costs between 250 \$/m² (metal) and 1200 \$/m² (marble), a glass façade being somewhere in the middle of the range with 600 \$/m². With plastic substrates there is a further potential for a-Si:H solar module cost reduction. This contrasts with the situation for **CIGS modules**, where fabrication costs in the **present** pilot production plants are still considerably (maybe a factor 2) higher than those for c-Si.

The stabilized efficiencies of commercial a-Si:H modules are, however, still very low: ranging from 3 to 4% for modules with single-junction cells to 5 to 6% in the case of tandem cells and 6 to 7% for Unisolar Corp. and BP-Solarex that employ triple-junction cells and use silicon-germanium alloys. Here, CIGS with stable commercial (?) module efficiency between 8 and 10% clearly has a lead.

It can be therefore expected that a-Si:H and CIGS will, in the next few years, both find their place in commercial PV module production and will probably cater to different segments of the market.

Finally, $\mu\text{-Si:H}$ solar cells and other forms of **thin-film crystalline silicon** constitute a new option that can, in the long term, be the key to combine both advantages (low cost and reasonably high efficiency). However, in this sector we are yet, quite far away from a commercial utilization, at least in Europe! (The situation appears to be different in Japan): The European work reported on at Glasgow was very exploratory in nature and is (too) broadly spread, over many R&D groups with sub-critical size.

The Directorate General "Research" of the E.C. is, in part, responsible for the fragmentation of solar cell research within Europe, especially in the field of thin-film crystalline silicon solar cells. Unless a certain amount of focusing and concentration of efforts is reached, all this research work will never result in an actual photovoltaic module. It is only in the Netherlands, in Germany and in Switzerland that sufficient concentration is taking place and where, thanks to national funding, R&D groups of adequate size, with good technical competence and a solid equipment base have been constituted. We definitely hope that the E.C. will also revise its policy and start now to play an integrative, pro-active role in promoting thin-film solar cell technology within Europe. This appears to us, to be essential for the medium-term **future of European Photovoltaic Industry**. Note that at present less than 20% of World Solar Cell Production is located in Europe, (against 40% in Japan and 35% in the USA) and that virtually all novel PV technologies, i.e. those technologies where significant growth potential is expected, in the next few years, are being industrialized mainly in Japan and in the USA, whereas European Industries by and large stick to conventional wafer-based crystalline silicon PV-technology. If this does not change in the near future, at least thanks to the national initiatives, the European PV Industry runs the risk of becoming obsolete. It was symptomatic that the main key players from overseas (USA, Japan, Australia) involved in the development of novel PV technologies by and large did not even attend the Glasgow conference, whereas a few years ago the European PV conferences were one of the main occasions where "breakthroughs" were reported.

Thin film solar cells based on compound semiconductors

A.N. Tiwari, D. Rudmann, D. Bätzner, A. Romeo, F- J. Haug
Thin Film Physics Group, Institute of Quantum Electronics, ETH Zürich
Technoparkstr.1, 8005 Zurich
Tel.: +41 1 445 14 74 / 14 80; Fax: +41 1 445 14 99
Email: tiwari@iqe.phys.ethz.ch

The general trend in compound semiconductor solar cells is towards the development of thinner, cheaper, more efficient and long term stable solar cells based on CdTe and chalcopyrites (Cu(In,Ga)Se_2 (called CIGS) and Cu(In,Ga)S_2). There were papers on the development of processes for high efficiency cells and modules, characterization of material and junction properties and modelling of transport properties. Our group presented five papers (2 oral and 3 posters) on CdTe and CIGS materials and solar cells.

Reviews and records on CIGS: H. Schock (Stuttgart Uni, Germany) reviewed the historical development of thin film solar cells: At present, the highest efficiency of a-Si solar cell is 13% while industrial module efficiency is about 7%, for CdTe the highest efficiency is 16% while large area module efficiency is in the range of 8% to 10%, for CIGS the cell efficiency is more than 18.5% while module efficiencies are 11 to 13%. L. Kazmerski (NREL, USA) in a plenary talk briefly summarized the R&D activities supported by the US-DOE. He reported various records achieved at NREL, particularly the highest efficiency of 18.8% for a CIGS solar cell. Matsushita Electric Co. (Japan) and Nakada et al. (AG Uni, Japan) have also obtained CIGS solar cells with 18.5% efficiency. A world record efficiency of 16.6% for a mini-module of 16 cm² CIGS was reported by Kessler et al. (Uppsala Uni, Sweden).

Industrial efforts on CIGS: Powalla et al. (ZSW, Stuttgart) described the manufacturing issues and mass production strategies of CIGS modules. ZSW is developing a know-how for the in-line production of CIGS modules which is being transferred to Würth Solar GmbH (Marbach, Germany) for a 10 MW_p/yr production on 60 cm x 120 cm glass substrates. The pilot production line is already running at Würth Solar and modules with more than 10% efficiency are expected in 2001. A production cost of < 1 Euro/W_p is expected for CIGS modules. ZSW is able to make modules on 30 cm x 30 cm glass substrates with 13% efficiency, they have demonstrated a process yield of more than 90%. Siemens Solar Industries and EPV (USA) also reported high efficiency CIGSS modules and kinetics of absorber deposition. Matsushita Electric presented the developments with alternative buffer layers. They have obtained 12% to 16% cells with different buffer layers, however the surface of CIGS layer was chemically doped to form a buried junction.

R&D on CIGS materials and cells: Wada (Japan) described two stage and three stage CIGS deposition processes and their influence on the microstructure and efficiency of solar cells. He presented that "good quality" layer can be grown at low temperature of 400 °C but the grain size is rather low. There were papers on the grading of Ga in CIGS solar cells to increase the collection efficiency and decrease the overall thickness of CIGS solar cells. Contreras (NREL, USA) presented the influence of the Mo orientation (back contact) on the structural and optical properties of CIGS layers; strain in the CIGS layer can affect the energy gap and solar cell efficiency.

The stability of *non-encapsulated* CIGS modules after a long-time exposure to heat (85 °C) was found to be very good in dry atmosphere, but they degraded in a damp heat atmosphere. A loss in FF from 75 % to 55 % was observed in the latter case, mainly due to degradation of ZnO (increased sheet resistance) window layer and due to corrosion of the Mo back contact (J. Wennerberg et al., Uppsala University). This work suggests that p-n heterojunction between CIGS-CdS/ZnO is stable despite of such a harsh test (because the actual modules are always encapsulated). Damp heat tests on encapsulated modules have been performed by many groups, CIGS modules have exhibited very good stability.

There were a few presentations on the properties of ZnO layers. Haug et al. (ETH Zürich) reported the growth of thermally stable ZnO:Al layers grown with a high deposition rate and described the conduction mechanism, they have reported 8% efficiency CIGS solar cells in a "superstrate configuration" while they obtained 16% cells in substrate configuration. Duschemin et al. (Montpellier) described the structural and opto-electronic properties of CGS absorbers for superstrate solar cells. There were papers on alternative buffer layers for CIGS solar cells. Groups from HMI (Berlin, Germany) reported application of ZnSe and a variety of other materials. While Hamakawa group (Japan) illustrated the use of RF sputtered (Zn,Mg)O instead of chemically grown CdS layer. The improvements in V_{oc} and FF are obtained due to the adjustent of conduction band offset, which decreases the recombination via defects at the CIGS/window interface.

Klenk (HMI) presented the development of Cu(In,Ga)S₂ solar cells: 12.7% efficiency solar cells have been obtained. Ito et al. (Japan) have also developed processes to make solar cells with more than 10% efficiency. In case of Cu(In,Ga)S₂ solar cells, KCN etching of the absorber is a problem, efforts are being made to avoid this etching step.

Low cost processes for CIGS solar cells: There were two interesting presentations on the development of CIGS solar cells with low cost processes. Bhattacharya et al. (NREL, USA) reported the CIGS cells with efficiency of 15.4% and 12.5% obtained with electro-deposition and electroless-deposition methods. However, vacuum evaporated layers of In-Ga-Se were required to adjust the composition and selenization was performed for the recrystallization. Eberspacher et al. (UNISUN, USA) used nanoparticle precursors and a subsequent selenization to grow polycrystalline CIGS layers with a low cost non-vacuum method, they have obtained 12% efficiency solar cells. This approach has a promising potential because no expensive vacuum evaporation system is required and the process has a very high utilization of the resource materials.

Flexible solar cells: Development of flexible solar cells is an emerging field because it offers many advantages in production and extends many possibilities for diverse applications. Tiwari et al. (ETHZ) reported on the development of lightweight and flexible CIGS solar cells using lift-off processes. They have obtained CIGS solar cells with 12.8% efficiency, which is the highest value obtained for any type of solar cell grown on polymers. The efficiency on polymer substrates is lower because of a low deposition temperature ~420 °C. High efficiency cells on glass are grown at a substrate temperature of more than 550 °C. CIGS solar cells on polymers have a potential to yield a very high specific power (~1.5 kW/kg) which makes it interesting for space application as well as facades in buildings. A future application of flexible and lightweight solar cells is a PV powered zeppelin (W. Knaupp, ZSW).

CIGS cells on metal foils are under development at ZSW and Uni Stuttgart (Germany), NREL and GSE (USA). Herrero et al (CIEMAT, Madrid) used a sol-gel method to cover the rough metal foils with SiO₂, an insulating layer on a conducting surface is required for the monolithic fabrication of modules. The roughness of metal foils (0.1 – 1.5 μm surface roughness) has been reduced to some extent thanks to the levelling effects of sol-gel films (SiO₂) deposited on the foils (F. Kessler et al., ZSW). The critical point for these cells is the CIGS film adhesion, which mainly depends on the thermal expansion mismatch. Solar cells with efficiency of more than 12% have been developed on stainless steel foils.

CIGS for space application: Another highlight was concerning application of CIGS solar cells for space applications. CIGS solar cells exhibit excellent stability against high energy radiations. Test results of CIGS solar cells in space were presented by G. La Roche (DSS, Munich). The performance of CIGS cells with and without coverglasses on a satellite has been measured from Dec. 1997 to May 1998. While there was a rather strong degradation effect on CIGS cells without cover glass (induced by low energy protons; V_{OC} was more affected than I_{SC}), covered CIGS cells exhibited only a slight degradation effect or even improved in performance (probably due to light soaking effects). Another test for CIS cells in orbit showed a relative efficiency of 97 % after 120 days in space, which is higher than for the case of GaAs (Messenger et al., SFA, USA).

Irradiation effects of 1 MeV electrons on CIGS solar cells, presented by A. Jasenek et al. (Univ. Stuttgart) clearly established that the performance of CIGS cell is best, they are superior to conventional GaAs, InP and Si space cells as well as a-Si cells. After irradiation at a fluence of 10¹⁶ cm⁻² the conventional space cells degrade by 30-50%, while for CIGS cells the change is insignificant (a change from 13.6% to 13.4%). For electron fluences below 10¹⁷ cm⁻² the V_{OC}, I_{SC} and FF were quite stable, but at higher fluences the V_{OC} started to decrease due to introduction of defects. Irradiation damage recovery has been achieved with light soaking.

Industrial efforts on CdTe modules: In the field of CdTe there were papers on the development of large area modules, back contacts, recrystallization and electronic transport, and novel transparent front contacts. Cunningham et al. from BP Solarex (USA) presented a status report on their production plant. They are using an electrodeposition technique for the production of modules on 35 cm x 155 cm (32 series connected cells) and 61 cm x 155 cm (57 series connected cells) glass substrates in a batch process. Their standard efficiencies are in the range of 9.4% to 11.1%. They reported a module of 0.94 m² with a power of 72.3 W, which is the highest reported power for any thin film module.

ANTEC Solar GmbH (Germany) has installed a CdTe solar module production plant in Rudisleben with an annual production capacity of 10 MW_p. Their plant is fully automated with in-line depositions of different layers on 60 cm x 120 cm glass substrates. The CdTe layer is grown by close space sublimation (CSS) which permits deposition at a high linear speed of about 1 m/min. In the exhibition center, ANTEC GmbH displayed their first finished CdTe modules, they will be commercially available within two years (with an efficiency of 10 %). Their technology has a potential to attain a cost target of < 0.5 Euro/W_p because of high throughput, simple process and high efficiency.

There was also news on the CdTe production plant of FIRST SOLAR (USA). They have completed the installation of 100 MW production plant and their 20 MW module line is operational. They are also using close space vapor transport method for a high speed deposition of CdTe layers.

R&D on CdTe material and solar cells: ISFH, Hannover (Germany) is setting-up an in-line pilot production system for CdTe modules on 30 cm x 30 cm glass substrates, they presented some key issues of manufacturing. Investigations on the structural properties of CdTe layers, particularly the recrystallization due to annealing or a "CdCl₂" treatment were presented by Romeo et al (ETH Zürich) and Chapman et al. (Cranfield Uni, U.K.). Romeo et al. (ETHZ) provided a first study on the influence of Na on the grain size and texturing of CdTe layers. The crystallographic orientation and structure of CdTe layers on large area substrates deposited by BP SOLAREX were investigated by Gibson (Joint Research Center, Ispra, Italy), they observed features which correlate to the non-homogeneous deposition on the edges, perhaps due a high potential drop and high resistance of the SnO_x:F substrate.

Okamoto et al. (Tokyo Institute of Technology, Japan) described profiling of carrier concentration using capacitance-voltage on cells prepared by CSS, they elaborated the role of Cu and CdCl₂ treatment in CdTe. Nollet et al. (University of Gent, Belgium), studied the electrical characterization with different types of CdTe, and made an analysis of the transport mechanism. EBIC measurements presented by Edwards et al. (Durham Uni, UK) revealed higher doping concentration near the grain boundaries of CdTe. Photoluminescence measurements on CdTe from the front and back sides gave indication of the intermixing and doping profiles in CdTe layers.

Stable electrical contacts on CdTe: There were many papers on the materials that are suitable for back contact as well as front contact. Bätzner et al. (ETH Zürich) presented methods to develop highly efficient and stable back contacts on CdTe layers grown by ETHZ and ANTEC GmbH. Effects of etching of CdTe and metallization on the performance were evaluated. Accelerated stability tests revealed the long term (corresponding to more than 40 years) stability of non-encapsulated cells in normal air. Smith-Boyle et al. (Durham Uni, UK) presented thermodynamical calculations on material systems that would result in stable back contacts; Sb and Sb₂Te₃ are suitable as buffer layer on CdTe. Electro-deposited ZnTe layers also yield high efficiency cells (>13% efficiency) but stability measurements are needed Leimkühler (ISFH, Hannover).

Efforts are being made to develop novel transparent conducting oxides in order to enhance the current density of solar cells by reducing the absorption losses in the low wavelength region. Ferekides et al. (University of South Florida, USA) presented a paper on the preparation of a novel transparent conducting oxide (CdO) which shows encouraging results for improving performance of the cells (14.2 % efficiency). NREL (USA) group reported room temperature deposition of Zn₂SnO₄ and Cd₂SnO₄ layers as a transparent front contact. The electrical resistivities of as-deposited layers are high but after the deposition of CdS/CdTe layers and subsequent annealing the sheet resistance values are rather low (<10 Ohm/sq). Solar cells with efficiency of more than 15% were obtained.

Costs of thin film solar cells: A study on the direct manufacturing cost of solar modules during the next ten years was presented by Frantzis et al. (Cambridge). According to this study, assuming a production volume of 100MW_p/yr, the cost for CdTe thin-film cells will drop from 2.30 \$/W_p down to 0.95 \$/W_p and similarly for CIGS (2.25 \$/W_p down to 1.00 \$/W_p), provided that an active area efficiency of 9 % is achieved. The cost for a-Si is projected to drop from 2.70 \$/W_p to 1.40 \$/W_p, which eventually is similar to the cost of e.g. CZ-Silicon (2.45 \$/W_p to 1.45 \$/W_p). These cost projections are higher than those reported by the APAS project of the EU.

Comments about dye solar cells presented at the 16th EPVSEC, 1-5 May 2000, Glasgow.

The “dye solar cells” includes heterojunction based organic solar cells

Andreas Meyer

Solaronix SA, Rue de l' Ouriette 129, 1170 Aubonne

Tel. : +41 21 821 22 80; Fax : +41 21 821 22 89

Email: <mailto:andreas@solaronix.com>

1. Molecular heterojunctions

D. Meissner, Uni Linz

" Highly efficient molecular organic solar cells "

This oral presentation showed a solar cell, where the absorbing structure was made with a layer of Zn-perylene (100 μm) and a cyanine (50 μm).

The cell build up was the following:

Glass/ITO/perylene/cyanine/Au/glass.

Electrical data:	I_{sc}	=	2.4 mA/cm ²
	V_{oc}	=	411 mV
	FF	=	42 %
	Eff	=	0.5-1 %

The concept looks interesting, but the cell is very unstable in light and humidity.
No stability data available.

Brabec cell (Doppler Laboratory)

This is also a organic cell, but the active layer was made of a mixture of “P” and “N” material. This mixture is “simply poured” onto a ITO film in large area!

The counter electrode was Al sputtered onto the deposited mixture layer.

The mixture consists of “Alkoxy-PPV” and “C60 (PCBM)” molecules, deposited from a cast solution.

The thickness of the layer was ca. 200 nm. The cell looked quite transparent, light red stained, due to a bad light adsorption coefficient of the mixture.

Cells structure: PET/ITO/Mixture/Al

The cell performed quite surprisingly and the efficiency was ca. 3 % (!) in full sun.

The stability issue is not investigated yet but probably humidity may cause a degradation.

The fabrication process is not easy, since the slightest pinhole in the active layer causes a short-circuit between ITO layer and Al back coating.

Cell data:	V_{oc}	=	810 mV
	I_{sc}	=	5.2 mA/cm ²
	FF	=	0.62
	P_{max}	=	2.6 mW/cm ² @ $P_{in} = 80 \text{ mW/cm}^2$
	Eff	=	3.2 % (AM 1.5)

Pentacene Cell

J.H. Schön, Lucent Technologies.

“Doped Pentacene for Efficient Photovoltaic Devices”.

Pentacene is a promising material for organic transistors, and maybe for solar cells. The presented cell concept gave 2.4 % efficiency with doped pentacene as single crystal with an size of a fraction of mm (!). Polycrystalline pentacene didn't work properly. No detailed cell data and structure were available.

Eta-cell

K.Ernst, M.C. Lux-Steiner, Hahn-Meitner Institut, Berlin

„All Solid state and inorganic solar cell with extremely thin absorber based on CdTe“

The η -cell resembles a solid state dye cell, where the “P” side is CdTe and the “N” side is TiO₂.

The best combination was: Glass/SnO₂:F/TiO₂/CdTe/Au.

In this cell, the TiO₂ was not as porous as for the dye solar cell, so only a roughness of ca. 10 was necessary. The CdTe layer was 20 nm thin and the optical length was ca. 200nm due to the porosity of the TiO₂.

The cell data were:	I _{sc}	=	9 mA
	V _{oc}	=	670 mV
	FF	=	poor < 0.3
	Qe	=	30-60 %

Other investigated absorbing layers:

TiO₂/CuInS₂/Au, nanoporous TiO₂ didn't work, so TiO₂ was only slightly porous.
ZnTe/ZnO/a-Si-H/CuSCN, layer thickness of 2 μ m and columnar growth of ZnO.

These structures gave not so good results as the CdTe layer

2. Dye solar cells

Ionic solid state dye solar cell

The most exiting presentation came from Toshiba, Japan.

“Highly efficient photo-electrochemical cell with novel polymer gel electrolytes”

Mr. S. Mikoshiba presented a dye solar cell, made from commercially available TiO₂ and Ru-dyestuff purchased from Solaronix SA, where the liquid electrolyte is replaced with a gel.

The cell performance was very surprising: Efficiency of 7.3 % at full sun, showed that the gel does not reduce cell performance due to high viscosity.

Cell data:	V_{oc}	=	600 mV
	I_{sc}	=	17.6 mA/cm ²
	FF	=	0.68
	Eff	=	7.3 %

The gel electrolyte is formed in situ, once a liquid precursor consisting of molten salt and a gel forming agent is introduced into the cell via the filling port.

The electrolyte gets solid after a few tens of minutes at 80°C, and remains as a gel even at elevated temperatures (120°C). Thus the potential leakage problems related to liquid containing solar cells might be reduced, according to Mr. Mikoshiba.

Plastic dye solar cell

Mr Sommeling from ECN, Netherlands, presented a dye solar cell made on plastic film, which was originally developed by Solaronix.

This work is done jointly with Solaronix and ECN.

The conducting layer on the plastic film (ITO on PET) seems to be attacked in certain conditions of cell fabrication and electrolyte composition. The presented cell is only suited for low power applications, since the resistivity of the ITO layer is quite high with 60 Ohm /square for the commercially available conducting PET film from IST Belgium.

Glass substrate based dye solar cells, classical "Graetzel cell"

Lots DSC project, ECN / INAP / FMF / Solaronix.

The project has been presented by Andreas Hirsch from ECN.

The oral presentation showed high interest, since this is actually the first systematic investigation in the field of stability, characterization and efficiency improvement of the dye solar cell.

The Glasgow conference showed that the interest in the still exotic "organic solar cells" is getting bigger, and a lot of people showed interest in learning more about the developments in progress in the field of the dye solar cells. It seems that Japanese corporations are seriously investigating the dye solar cell as a candidate for future low cost solar energy supply.

A major task for the "organic solar cells" community is to demonstrate the stability against light, UV, and humidity of the devices presented, in particularly the heterojunction cells based on organic absorbers and hole carriers are still quite far away, from the stability point of view, than the dye solar cell introduced by Prof. M. Graetzel at the EPFL almost ten years ago.

Nouveaux procédés d'encapsulation

Pascal Affolter

LESO-EPFL, 1015 Lausanne, Suisse

Tel.: +41 21 693 45 39; Fax: + 41 21 693 27 22

Email: affolter@lesomail.epfl.ch

Les techniques d'encapsulation font l'objet d'un permanent effort d'amélioration. Les objectifs sont selon les cas:

- **la réduction des coûts**
- **le remplacement du verre, pour changer l'aspect ou avoir un élément souple.**

A la conférence « European Conference on Solar Photovoltaic Energy and Exhibition » à Glasgow (1-5 Mai 2000), plusieurs perfectionnements des techniques actuelles ainsi que des nouveaux procédés ont été présentés.

M. Galica de STR (USA/anciennement Springborn Laboratories) a présenté les résultats d'un projet R&D dont l'objectif était d'améliorer les procédés actuels afin de réduire le temps d'encapsulation de 75% (OA 3.1). Il propose soit de modifier l'EVA utilisé actuellement, soit d'avoir recours à des matériaux nouveaux que le BVA (butyl vinyl acetate).

M. Plessing d'Isovolta (A) a présenté des nouveaux types de feuille de protection arrière (PD1.2 / VC3.20). La feuille arrière (appelée souvent mais abusivement Tedlar) joue un rôle d'étanchéité. Cette feuille composite constituée de plusieurs films polymères contient une feuille d'aluminium qui est un excellent pare-vapeur. Ce film aluminium peut parfois poser des problèmes d'isolation électrique. L'idée est ici de le remplacer par une couche mince de SiOx déposée directement sur les films polymères par procédé « chemical vapor deposition » (CVD). Isovolta propose également le remplacement du verre avant par un complexe ETFE-SiOx, PET-SiOx ou PEN-SiOx. Selon M. Plessing, une simple couche d'ETFE (appelée souvent mais abusivement Tefzel) ne présente pas une perméabilité suffisante à la vapeur d'eau et doit être améliorée par un pare-vapeur SiOx.

M. Grottko de WIP a présenté le nouveau procédé développé par bmc Solar Industrie (D / OA1.2) également présente à l'exposition. L'encapsulation est basée sur l'utilisation de films de monofluoropolymère (FP, Teflon par ex.). Avantage : étant totalement hydrophobe, ce nouveau matériau permet de s'affranchir des couches pare-vapeur (verre à l'avant, Tedlar à l'arrière). Le module proposé par bmc Solar Industrie utilise un verre comme substrat arrière. Le matériau d'encapsulation enrobe les cellules et remplace le verre avant. Sa dureté est suffisante pour résister aux chocs. Selon MM. Grottko et Melchior, le matériau est plus transparent que le complexe verre-EVA, ce qui entraîne une amélioration du rendement du module de 5% environ. La tenue aux hautes températures est nettement supérieure à celle de l'EVA.

L'« Institut für Solar Technologien / IST » de Frankfurt a présenté un concept novateur de procédé industriel pour la fabrication de cellules souples basé à technologie CISCuT (VC3.10). Les couches minces sont déposées sur un fin ruban de cuivre de 10mm de largeur. La déposition des couches minces fait appel à 5 unités en continu (« Roll-to-roll »). Les rubans sont ensuite interconnectés par superposition en tuiles et encapsulés automatiquement. Bien que le titre du poster parle de « Polymer encapsulated », l'encapsulation de ce nouveau type de cellules ne fait pas l'objet d'une innovation particulière. Il est prévu d'avoir recours à une encapsulation classique verre-EVA-feuille arrière.

Le projet COCOSOL présenté par le ZSW de Stuttgart (MM. Springer, Schröder et Fritsch, VB2.76) va beaucoup plus loin. Le contexte : l'encapsulation des modules à couches minces est calquée actuellement sur les procédés classiques utilisés par la technologie cristalline (verre/EVA/verre ou verre/résine/verre). La structure très différente des modules à couches minces ne nécessite pas une encapsulation aussi sophistiquée car la fonction « antichocs » due à l'EVA ou à la résine n'est plus requise. On peut donc dans ce cas se contenter d'une encapsulation simplifiée (« conformal coating ») qui consiste à déposer une couche de matériau afin de protéger les couches minces de toute agression chimique. Le projet a consisté à rechercher une série de matériaux éligibles, à les déposer sur des modules CIS ou CdTe et à les tester, le but étant de trouver un procédé utilisant moins de matériel, meilleur marché et plus écologique. Pour les modules CdTe, une déposition de parylène combiné avec des agents anti-UV a donné des résultats encourageants mais encore insuffisants pour une application industrielle immédiate. De bons résultats ont d'autre part été obtenus avec des vernis dérivés de l'industrie automobiles combinés avec des revêtements à procédé plasma (plasma-polymerised coatings) pour les applications grand-public (« consumer ») des nouveaux modules CIS.

PV modules on the market

Domenico Chianese
SUPSI, DCT, LEEE-TISO, 6952 Canobbio
Tel.: +41 91 941 62 24; Fax: +41 91 941 19 38
Email: leee@dct.supsi.ch

Out of 103 exhibitors present at the 16th EPVSEC, 30 (29%) were companies producing photovoltaic cells and/or modules or wafers.

The country with most participants at the conference as well as the most exhibitors of modules was Germany.

The following table lists all modules/cells companies at the exhibition, their countries of origin and their internet's site:

	<i>COMPANY</i>	<i>COUNTRY</i>	<i>INTERNET</i>
1	ANTEC GmbH	Germany	http://www.antec.de/
2	ASE GmbH	Germany	http://www.ase-international.com/
3	AstroPower	USA	http://www.astropower.com/
4	ATERSA	Spain	http://www.atersa.com/
5	AstraSolar	Spain	http://www.astrasolar.com
6	Atlantis Solar Systems	Switzerland	http://www.atlantisenergy.com/
7	Bayer Solar GmbH	Germany	http://www.chemicals.bayer.de/ch_pho0_de.htm
8	bmc Solar Industrie GmbH	Germany	http://www.blueplanet.hesiv.com
9	BP Solarex	USA, UK, Spain	http://www.bpsolarex.com
10	DunaSolar Photovoltaics, Inc.	Hungary	http://www.dunasolar.com
11	EPV-Energy Photovoltaics, Inc.	USA	http://www.epv.net
12	Free Energy Europe	The Netherlands	http://www.free-energy.net/
13	Helios Technology	Italy	http://www.heliotechnology.com/
14	Isofoton	Spain	http://www.vnet.es/accfa/empresas/isofoton.html
15	Kyocera Fineceramics GmbH	Germany	http://www.kyocerasolar.com/
16	Fortum (NAPS: Neste Advanced Power Systems)	Finland	http://www.neste.com/
17	PowerLight Corporation	USA	http://www.powerlight.com
18	Photowatt International S.A.	France	http://www.photowatt.com
19	Pilkington, now Flabeg Solar International GmbH	Germany	E-mail: info@pilksolar.de
20	Saint-Gobain Glass Solar	Germany	
21	Sunway AG	Germany	http://www.sunways.de/
22	Ernst Schweizer, AG	Switzerland	http://www.schweizer-metallbau.ch
23	Siemens Solar GmbH	Germany	http://www.solarpv.com/
24	Shell	The Netherlands	http://www.shell-renewables.com
25	SOLARTEC	Czech Republic	http://www.solartec.cz
26	SOLARWATT Solar-Systeme GmbH	Germany	http://www.solarwatt.de/
27	SunWare Solartechnik GmbH & Co KG	Germany	http://www.sunware.de/
28	TELECOM-STV Co., Ltd	Russia	http://www.telstv.ru
29	TRIMEX TESLA	Czech Republic	http://www.trimex-tesla.cz/
30	United Solar Systems Corporation	USA	http://www.ovonic.com/unisolar.html

Among the cells and modules manufacturers, as every year, there are some change in names and productions:

- Since November 1999 the **ASE group** is affiliated to the **TESSAG Group** (Technical Systems and Services Aktiengesellschaft). ASE has four production sites in Germany and in USA. **ASE Americas** Inc. in Billerica, Massachusetts (USA), produce wafers, cells and modules using the edge-defined silicon octagon technology (EFG: Edge-defined Film-fed Growth). This technology is a special cost-effective procedure, which gives savings on raw material resources. In August 1998, the first part of a 13MW production facility was inaugurated in Alzenau, Germany, for crystalline silicon solar cells. The 13MW capacity will be available in summer 2000. The **Product Centre Phototronics**, affiliate to ASE, continue to produce the ASI THRU[®] thin-film solar modules. ASE applied different ranges of nominal power to several types of modules according to the real power range of the encapsulated cells (for example: ASE-300-DG-FT with three range of power: 285Wp, 300Wp and 315Wp @STC).
- **AstraSolar** is a joint venture between AstroPower, in Newark Delaware (USA), and ATERSA in Madrid (Spain). AstraSolar produce polycrystalline silicon solar cells (**APexTM** manufacturing process developed by AstroPower) for several other modules manufacturer in the MODCO network, a network of modules manufacturers.
- Pilkington Solar International GmbH was renamed **Flabeg Solar International GmbH** and was transferred, the 1st April 2000, to the newly formed Flabeg Holding Group. Flabeg Solar International GmbH will continue to produce the OPTISOL[®] element. This is basically a conventional façade element with integrated solar cells.
- **EPV** (Energy Photovoltaics Inc.) is constructing several PV thin film manufacturing facilities (a-Si and CIGS: Copper Indium Gallium diselenide):
 - ⇒ **DunaSolar** (present as exhibitor): 5MW/year a-Si manufacturing facility in Budapest, Hungary (1998).
 - ⇒ **Seo Solar**: 10MW/year CIGS manufacturing facility in Dresden, Germany (end of 2000).
 - ⇒ **Geo Solar**: 1.5MW/year a-Si manufacturing facility in New Jersey, USA.
 - ⇒ **Cal Solar**: 7.5MW/year PV thin-film manufacturing facility in Sacramento, USA (a-Si and CIGS).
- **ATS Automation Tooling System Inc.** located near Toronto, Canada, through its wholly owned subsidiaries, **Matrix Solar Technologies Inc.** and **Photowatt International S.A.** have acquired the technology, patents and all pilot and factory scale equipment of the Spheral SolarTM technology, originally developed by Texas Instruments Inc. In the next years this company will start the first 20MW manufacturing facility.
- The range of the products of **Photowatt International S.A.** has changed but the name of the modules are the same. In the PW series (glass/Tedlar-polyester-Tedlar) the modules PW500, PW750 and PW1000 have three and four, respectively, range of nominal power (PW500 with 42Wp, 47.5Wp and 52Wp @STC; PW750 with 70Wp, 75Wp and 80Wp @STC; PW1000 with 90Wp, 95Wp, 1000Wp and 105Wp @STC). The same range are applied in the PWX series (glass/glass) according to the power rate of the cells encapsulated. As ASE, this trend is justified by the fact that the modules rarely meet the declared nominal power (see VC3.48).
- **Sunway AG** (Germany) produce semitransparent cells 100mm x 100mm (POWER cells: Polycrystalline Wafer Engineering Result). The transparency can range between 0 and 30%. With a transparency of 10% the efficiency is ca. 10%.
- At the end of July 2000 **Würth Solar** in Marbach a. N. (D) will start a new production facility CIGS cells. The development was made by ZSW, Germany (PA2.1: From Research to Production; OA8.1; VB2.30; VB2.31; VB2.76).
- BP and Solarex will continue to produce the same type of modules under the new company name: **BP-Solarex**. The three brand of this new company are: Solarex brand modules (MSX series), BP Solar brand modules and Millennia thin-film modules.

- **BP-Solarex** announced that its 0.9m² Apollo® thin film module achieved a record 10.6% efficiency with a corresponding power output of 91.5 Watts. In addition, the 0.5m² Apollo® thin film module recently achieved a 10.8 percent efficiency - the highest efficiency of any thin film module in the world of its kind (PA2.2).
- **Evergreen Solar** in Waltham MA (USA) will extend his production capacity to 10MW of crystalline silicon (string ribbon) technology. Two new AC modules are added to his products: ES112 and ES240 EverSun™ AC modules.
- **Bmc Solar Industrie** (D) propose a roof tile PV module with monofluoropolymer encapsulant (OA1.2).
- **PowerLight Corporation** in Berkeley CA (USA), is not a cells or modules manufacturer but he propose a new interesting insulating PV roof tile for low-slope roofs (PowerGuard®).
- Another solution for PV roof tile is to use SOLRIF aluminium profile system in combination with any PV laminates, not depending on the size (**Schweizer AG**).

Zusammenfassung 'Gebäudeintegration'

Daniel Ruoss

Enecolo AG, Lindhof 235, 8617 Mönchaltorf

Tel.: +41 1 994 90 01; Fax: +41 1 994 90 05

Email: info@enecolo.ch

Gebäudeintegration, in Englisch 'Building Integrated PV' abgekürzt BIPV ist an der Konferenz in Glasgow unter dem Thema 'Photovoltaic in Buildings' präsentiert worden.

Wird das Thema anhand der prozentuellen Beteiligung in Form von Präsentationen gemessen, so hat 'PV in Buildings' gegenüber der letztjährigen Konferenz wieder ein bisschen an Stellenwert gewonnen. 1997 in Barcelona war der Anteil rund 24 % der gesamten Präsentationen und 1998 in Wien waren es noch rund 7 %. In Glasgow stieg der Anteil wieder auf rund 10 % für die mündlichen und visuellen Präsentationen. Gebäudeintegration stellt aber innerhalb der Konferenz ein Thema mit geringer Bedeutung dar. Hauptgewicht wurde auf die Themen 'PV Module und die dazugehörigen Komponenten' (22 %), sowie auf 'Dünnsfilm' (20 %) gelegt.

Die Zusammenfassung beinhaltet die wichtigsten Punkte der mündlichen und visuellen Präsentationen und wird nachfolgend kurz anhand der Stichworte 'Stand heute', 'Allgemein', 'Konferenz und Ausstellung News & Highlights', 'Ausstellung', 'Design Wettbewerb der IEA' und 'Aussichten' aufgegliedert. Zum Thema 'Systemtechnik' und 'Anlagen' ersehen Sie bitte den Kurzbericht von L. Clavadetscher, TNC.

Stand heute

- Es ist weiterhin ein grosses Potential von PV in der Gebäudeintegration vorhanden.
- Verschiedene neue Produkte wurden in letzter Zeit auf den Markt gebracht (Hauptmarkt für neue Produkte ist die Schrägdachanwendung).
- Zertifizierung und Tests wird als sehr wichtiger Punkt für die Verbreitung der Produkte und von Gebäudeintegration aufgeführt.
- Architekten und weitere involvierte Personen in einem Projekt mit PV- Gebäudeintegration benötigen stärkere Unterstützung, Aufklärung und Sensibilisierung des Themas allgemein.
- Die PV- Industrie hat sich vermehrt mit Gebäudevorschriften zu beschäftigen.
- Es auch der erste überzeugende Einsatz von PV als künstlerisches Gestaltungselement im Gebäudebau notiert.
- Verschiedene Grossfirmen (BP, Shell, Isofoton, etc.) im PV- Markt konzentrieren sich verstärkter auf Gebäudeintegration und die Verwendung von geeigneten Produkten.
- Mit neuen BIPV- Konzepten lassen sich Kosten in der Gössenordnung von rund 10 % reduzieren.
- Das Thema PV / T (die Kombination von PV und einem thermischen Kollektor) ist immer noch in der Prototypen- Phase. In den USA und Europa wird in verschiedenen Projekten betreffend diesem Thema gearbeitet.

Allgemein

In der Hauptsession wurden zu dem Thema folgende Schweizer Beiträge präsentiert:

Tony Schoen präsentierte das IEA Task VII Programm, in welchem C. Roecker, EPFL- LESO, P. Toggweiler und D. Ruoss, ENECOLO AG, vertreten sind. Des weiteren stellte T. Nordmann, TNC AG erste Erfahrungen mit der Lärmschutzwand in Zürich, welche bifaciale Zellen verwendet, dar. Weitere Beiträge in der Nachmittags-session kamen von J. Jürgens, ATLANTIS, mit dem Thema Sunslates und Gebäudeintegration in der USA und von R. Kröni, ENECOLO AG, mit der Anlagenauswertung UBS in Suglio und Aspekten wie PV- USV- Anbindung und Betriebserfahrungen der verschiedenen Wechselrichterkonzepte. Bei den Posterbeiträgen kamen total 9 Beiträge von der EPFL- LESO, Enecolo, Paul Scherrer Institut, Energiebüro und der TNC. Es werden nachfolgend gewisse Beiträge näher vorgestellt.

Konferenz und Ausstellung News & Highlights

Obwohl nicht unter dem Thema Gebäudeintegration aufgeführt, ist die Präsentation von D. Fischer VHF Technologies in Neuenburg zu erwähnen. Es wurde die Produktentwicklung von a- Si- Zellen auf einem flexiblen Substrat (Polyamidfolie) vorgestellt.

Diese Produktetechnologie kann direkt weiterverwendet werden, zum Beispiel zur Integration der Zellen auf Fassadenelementen oder sonstigen geeigneten Gebäudematerialien. Weitere Forschung ist notwendig um zu einer Marktumsetzung zu gelangen. Der aktuelle Stand stellte ein 20 * 30 cm grosse Versuchsplatte dar.

Referenz: D. Fischer et al., 20 * 30 cm a- Si solar modules on plastic film fabricated with VHF technology at high deposition rates for the integration onto building panels

Eine Studie beschäftigte sich mit Hochhäusern, welche PV als Fassadenelement verwenden würden. Diese Studie zeigte folgenden Kostenvergleich für Fassadenmaterialien. Am günstigsten ist Metall mit 250 \$ / m², dann Glas 600 \$ / m², Stein 700 \$ / m², PV mit 800 \$ / m² und Marmor mit 1200 \$ / m². PV kann auch als Fassadenelement im Vergleich zu Marmor eine interessante Option darstellen. Hier wurden die zusätzlichen Gewinne durch die Energierücklieferung nicht eingerechnet.

Als Anhaltspunkt wurde das World Trade Centre in New York präsentiert. Die zu installierende PV- Leistung liegt im Bereich von 1 MWp nur unter Verwendung der südorientierten Fläche! Hier liegt ein enormes Potential für BIPV dar.

Referenz: C. Erban, Saint- Gobain Glass Solar Aachen, *The challenge of solar skyscrapers*

Das BP Programm 'Plugs in the sun at service station worldwide' konzentriert sich auf die Europäischen Länder, wobei Deutschland, Holland und die Schweiz eine führende Funktion in diesem Konzept haben. BP möchte, mit den auf ihren Tankstellen montierten Solaranlagen, bei den Kunden eine Sensibilisierung für die Solarenergie erreichen. Dank folgenden Faktoren können auch bei der Gebäudeintegration weitere Kostenreduktionen realisiert werden.

- Die Installation wird national immer durch die gleiche Firma durchgeführt (es war nur eine Ausschreibung für mehrere Systeme notwendig).
- Universelles Array Design, alles modulare und standardisierte Komponenten (Plug & Play).
- Die Erfahrungen werden unter den Ländern ausgetauscht um so die Montage zu vereinfachen oder Komponenten zu verbessern.

Referenz: C. Sinnott, BP Solarex, BP Amoco *plugs in the sun at service station worldwide*

Im Vergleich zu früheren Konferenzen wurde in Glasgow äusserst stark auf das Thema der Zertifizierung und Tests hingewiesen. Verschiedene Autoren und Referenten sehen zertifizierte Produkte (CE- Label) als absolut essentiell. Dies unterstützt auch die Architekten und Konstrukteure beim Bau eines Gebäudes mit PV. Produktetests sind zwingend notwendig, wenn PV in unzähligen Anwendungen eingesetzt werden soll.

Gebäudeintegration von PV muss nicht nur als Gebäudematerial oder Energieproduzent betrachtet werden, PV im Gebäude kann auch ein sehr inspirierendes Element sein. Dies zeigte ein EU- Projekt BIMODE, welches die künstlerische Gestaltung mit PV für neue Architekturanwendungen untersuchte. Hauptziel war die Verbesserung der Ästhetik von PV im Gebäude. Neue Modulformen wurden realisiert, wie runde, dreieckige und hexagonale. Des weiteren wurde mit neuen Zellenformen und Farben experimentiert. Der Nachteil, die Reduktion des Wirkungsgrades, wurde nicht weiter beachtet.

Referenz: A. Schneider et al, *Development of coloured solar modules for artistic expression with solar facade designs within the 'BIMODE'- project*

Im Bereich PV / T sind 5 Posterbeiträge, 4 aus Europa (1 EPFL- LESO) und 1 Poster aus der USA verzeichnet worden. Wie erwähnt ist die Technologie noch nicht richtig über den Prototypen- Bau verbessert worden. USSC hat mit Solar Design Associates einen Prototypen nahe der Markteinführung realisiert.

Die gesetzten Signal seitens der Industrie sind aber klar, dass verstärkte Anstrengungen investiert werden müssen um ein kombiniertes Produkt anzubieten.

PV im Gebäude wurde in verschiedenen Postern auch von der technischen Seite (nicht als Gebäudematerial, sondern als Nutzen im Gebäude) angegangen. Zum Beispiel ein Poster aus Schottland mit der Idee zur Lastregulierung durch PV in einem Einfamilienhaus. Das Resultat war relativ ernüchternd, da mit einer solchen Lastregulierung eine sehr schwankende Energiequelle zur Verfügung steht.

Oder zur Reduktion von Spannungsabfällen am Ende einer Zuleitung, wie ein Projekt in Spanien untersucht.

Die Verbindung von PV mit einer USV- Einheit oder einem Blockheizkraftwerk wurde in Schweizerischen Beiträgen aufgezeigt.

Ausstellung

Es waren insgesamt 102 Aussteller in einer übersichtlichen und zweckmässigen Halle vertreten. Die wichtigen Hersteller von Solarmodulen und Systemkomponenten waren fast vollständig anwesend. Im Bereiche der Gebäudeintegration gilt es verschiedene Aussteller kurz zu erwähnen. Am Stand der Firma Ernst Schweizer AG mit dem System SOLRIF® entstanden interessante Diskussion und es resultierte ein grosses positives Echo der Konferenzteilnehmer. Weiter waren verschiedene andere Firmen im Schrägdachbereich in der Ausstellung präsent. REGEN mit einem aufwendigen Profilsystem aus Aluminium, ähnlich zu dem Alu- Pro System und Braas welche ein 35 W- Speziallaminat auf eine Kunststoffschale montieren. Das Laminat wird dann mit Stahlbügeln befestigt. Das Baas- System ist auch auf dem CH- Markt erhältlich.

Die CH- Firma Atlantis war auch mit einem Stand vertreten und präsentierte das Sunslates- Produkt.

Ecofys stellte ihr neues Konzept für die Schrägdachintegration vor, welches auch im Rahmen des Design Wettbewerbes der IEA eingegeben wurde. Das Produkt wird unter dem Namen Unisole vermarktet und wird wie folgt montiert. Auf die Konterlattung wird eine wasserdichte Kunststoffolie verlegt, es folgt ein spezielles Alu- Profilsystem und dann werden die Lamine (Standardtyp) über Haltebügel auf den Profilen befestigt.

Des weiteren gilt es kurz zwei Produkte mit dem Konzept der direkten Integration von Solarzellen auf Gebäudematerialien zu beschreiben.

Die Firma Evergreen, USA war an der Ausstellung mit einem Dachziegel vertreten, welcher die gleichen Abmasse aufweist wie eine normaler Eternit- Schindel. Das Substrat ist eine Kunststoffplatte auf welche die Zellen direkt laminiert werden. Die Randabschlüsse werden ähnlich zum Prinzip 'Schrumpfschlauch' gelöst. Eine Kunststoffhülle mit einem Fenster für die aktive PV- Fläche wird um das Substrat laminiert.

Isofoton aus Spanien laminiert ihre kristallinen Zellen direkt auf ein Keramiksubstrat unter Verwendung von EVA und einer Teflon- Folie. Das Produkt überzeugt durch seine ästhetische Erscheinung und die einfache Handhabung beim Einbau.

Design Wettbewerb der IEA (Internationale Energieagentur)

Dieser Wettbewerb wurde durch den IEA Task VII 'PV im Gebäude' organisiert. Ca. 30 Eingaben wurden für den Wettbewerb registriert und in einer Halle als 4 A4- Poster präsentiert. Prämiert wurde in 6 Kategorien das innovativste Konzept von PV in der Gebäudehülle, welches aber auch technisch zu realisieren ist. Die Schweiz war mit einem Anteil von rund 17 % der Eingaben vertreten (Schweizer , Alpha Real, Solstis, Colt und ein Dozent (Architektur) der FH Winterthur). Eine Resultatübersicht wird auf dem Internet unter www.task7.org veröffentlicht. Das CH- System SOLRIF® erhielt einen Anerkennungspreis in der Kategorie 'BIPV- Produkte erst kürzlich auf dem Markt erschienen' und der Architekt der FH Winterthur siegte in der Kategorie 'Fassade' mit seinem Konzept einer um das Gebäude nachgeführten PV- Anlage.

Aussichten

PV in Gebäuden bedeutet nicht nur PV als Material für die Gebäudehülle, es kann auch die technische Integration von PV im Gebäude (zum Beispiel Verbindung von PV und einer anderen Produktionseinheit im Gebäude) realisiert werden. Oder PV kann im Bereich der Lastoptimierung seitens EVU- Netz zur Regulation eingesetzt werden. Diese Aspekte 'PV im Gebäuden' werden in Zukunft an Gewichtung zunehmen.

Die PV- Branche sollte zudem die Gebäuderichtlinien und Vorschriften kennen, dies wird zu der gewünschten Akzeptanz von PV im Gebäudebereich führen. Des weiteren sind die Architekten und Planern von Projektbeginn stärker betreffend PV und Design zu orientieren. Dann kann eine Liaison zwischen der PV- Branche und der Gebäudeindustrie für die BIPV zu einem Erfolg werden.

Die zusammenfassende Tendenz im Thema 'PV im Gebäude' stellt das Zitat von einem Kollegen aus Deutschland, welcher das 1 MW Projekt Mont- Cenis in Herne präsentierte, schön dar:

Photovoltaik im Gebäude sollte in der Anwendung so gebräuchlich sein wie eine Eingangstüre.....auch als Gebäudebestandteil, wenn auch faszinierender!

Zusammenfassung 'Systemtechnik und Anlagen'

Luzi Clavadetscher
14 Vesey Place, Dun Laoghaire, Ireland
Email: luzic@iol.ie

Mit den Hauptthemen zu den Präsentationen über:

- Netzverbund Anlagen
- Betriebserfahrungen

Von den etwa 200 Präsentationen der Gruppe „**PV Modules and Components of PV Systems**“ wurden nur etwa 20 Einzelprojekte von Insel- und Netzverbundanlagen vorgestellt. Zum grössten Teil waren es neue Projekte sowie wenige mit Betriebserfahrungen von bestehenden PV-Anlagen aus Europa. Wenig wurde über Betriebserfahrungen mit Klein- oder Modulwechselrichter berichtet. Zusätzlich wurden einige ländliche PV-Konzepte (PV-Wasserpumpen und PV-Stromversorgung) aus Entwicklungsländern präsentiert.

Eine Auswahl der Präsentationen

AC-Module

Gute Performance Resultate erzielte die Kleinwechselrichter Schallschutz Anlage aus Holland: "A Traffic Noise Barrier Equipped with 2160 AC-Modules" (VD2.22). Allerdings zeigte sich auch, dass die Überwachung einer solchen Anlage aufwendig sein kann.

Energie System

Interessant und gut präsentiert war ein Vortrag aus Glasgow mit dem Titel: „The Deployment of Photovoltaic Components within the Lighthouse Building in Glasgow“ (OD7.3). Vorgestellt wurde ein gut durchdachtes, bereits realisiertes Energiekonzept eines Mehrzweckgebäude im Zentrum der Stadt mit Wind- und PV-Generator.

Betriebserfahrungen

Aus der Schweiz wurde über die Betriebserfahrungen von zwei Netzverbundanlagen berichtet. Vom TISO: "Behaviour of m-Si PV-Plant Approaching Its 20-Year Design Life" (OC5.1), die älteste Netzverbundanlage der Schweiz und von der ersten Schallschutz PV-Anlage, die 100kWp A13 bei Domat/Ems: „100 kWp Gridconnected PV Plant A13 in Switzerland, 10 Years and 1'000'000 kWh Later“ (OC5.2) und aus England: „Operating Experience for the Northumberland Building PV-Facade: Five Year Status Report“ (OD7.1). Die guten Resultate der Performance und Zuverlässigkeit dieser Anlagen zeigen, dass die PV-Technologie eine gute Lebenserwartung hat.

Kontrolle und Monitoring

Zwei Studien zeigten neue Methoden zur Fernüberwachung von PV-Anlagen mit Hilfe von Satellitendaten: "Monitoring PV Performance from US Geostationary Satellites" (OC5.5) aus den USA und "Remote Performance Check for Grid Connected PV systems Using Satellite Data" (VD2.11) aus der Schweiz. Die Produktionsdaten der PV-Anlage werden mit den Einstrahlungsdaten der Satellitenbilder verglichen. Beide Studien zeigten gute Vergleichsresultate.

Übersichten

Die Arbeiten der einzelnen Tasks des Implementing Agreements Photovoltaic Power Systems (PVPS), der Internationalen Energie Agentur (IEA) wurden an der Konferenz vorgestellt. Der Beitrag von Task II: "IEA Task II: Analyses of the Operational Performance of the IEA Data Base PV Systems: A First Step to Sizing Guidelines" (VD2.28) zeigte zusammengefasste Auswertungen der Performance von PV-Anlagen aus acht Ländern und der Europäischen Union.

Die schweizerische Studie des BFE und VSE: „Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland“ (VC2.22) ist in der Art und im Umfang einmalig. Seit 1989 sind die Monatswerte der Energiezähler von über 4500 Anlage-Betriebsjahren von etwa 900 PV-Netzverbundanlagen gesammelt und ausgewertet worden. In den letzten Jahren wurden weniger Betriebsunterbrüche an den einzelnen Anlagen registriert.

Allgemeines zur Konferenz

Die Schwerpunkte der Systeme und Systemtechnik galten auch an der 16. PV-Konferenz eindeutig der Integration von PV in Gebäuden (BiPV). Zum Thema „PV Modules and Components of PV Systems“ gab es an der Konferenz eher eine Vielfalt von Präsentationen über: Module, Batterien, Inverter, PV Applikationen zum Wasserpumpen, Kühlen und Telekommunikation sowie Simulationsprogramme und „Design Tools“. Gemessen am prozentuellen Anteil der Präsentationen, war der Anteil von Netzverbundanlagen (ohne Gebäudeintegration) an dieser Konferenz eher klein. Auch waren die Beiträge zum Thema Betriebserfahrungen im Vergleich zu früheren Konferenzen zurückgegangen. Heisst das - **No News = Good News** - ? zum Teil ja. In Europa wurden in den letzten Jahren zahlreiche PV-Netzverbundanlagen in Betrieb genommen und die meisten Besitzer profitieren von einer kostendeckenden Energievergütung und haben somit ein Interesse dass ihre Anlage möglichst viel elektrische Energie erzeugt. Andererseits ist es für die PV-Industrie sicher wichtig zu wissen wie zuverlässig die Anlagen und Komponenten, und wie hoch die Unterhaltskosten während 20 Jahren Betrieb für eine Anlage sind. Ein Thema „PV Systems and Components“ wäre für die nächste Europäische PV Konferenz sicher wieder angebracht.

Announcement

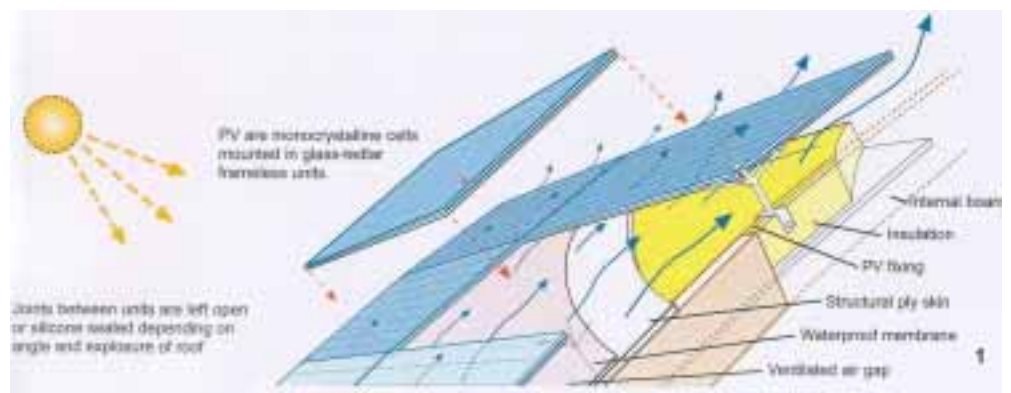
Results of the Design Competition Photovoltaic Products for the Built Environment

Overall Winner

PV panels as a ventilated rainscreen system over a light weight stressed-skin timber construction

Robert Webb, Robert Webb Associates, UK

The judges admired the overall concept for the building and its consideration for environmental and passive solar issues in addition to electrical generation. The design had a holistic approach and spanned a number of categories.



Best student entry

PhotoFIT

Andrew Weight, Reading University, UK

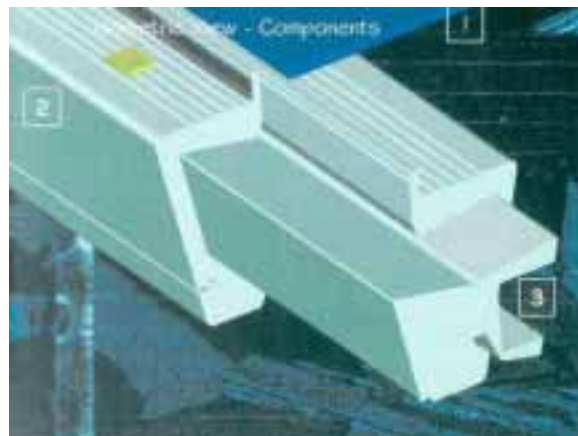
A well presented and well thought through entry, the design gives good consideration to the integration of cabling and avoidance of self-overshadowing.

Roofing systems

Student winner

PhotoFIT

Andrew Weight, Reading University, UK



Short-listed

Roof Shingle SUNPLICITY™

Markus Real, Alpha Real AG, Switzerland

Waverley Station roof

Gordon Duffy, Centre for Ecological Technology and Architecture, UK

Façades

Shared winner

**Transformer Station Schaan FL**

Marcel Ferrier, Architect, Switzerland

A fully developed system for a PV façade on a circular building which addressed the issue of the sun's movement in an innovative manner.

Shared winner

**Water Screen PV panel**

Shunichiro Tomatsuri, Kumiko Kondo, Takuya Ohashi, Hosei University, Japan

Conceptually a very attractive proposal, given careful design it could be realised. The judges appreciated the combination of PV and water cooling systems that keep the building and PV installation cool.

Commended

**Glass-glass triangular BIPV modules**

Rogelio Leal Cueva & Tomas Markvart, University of Southampton, UK

An attractive design, well thought through and well presented.

Short-listed

2 in 1 Energy Efficient façade / STA Titania Solar wall panels

Dr Igor Skryabin, Sustainable Technologies Australia Ltd, Australia

Second skin façade

Peter de Boer, TU-Delft, the Netherlands

Solar powered heat recovery ventilation unit

Jochen Kauschmann & Jim Grace, Atelier Ten Ltd, UK

Solar cells integrated into movable horizontal glass lamellas in part of façade

Gert Johannesen, Arkitektfirmaet Staermose & Isager K/S, Denmark

Morten Verner Thomsen, VITRAL, Denmark

Low-cost concentrator for PV façade

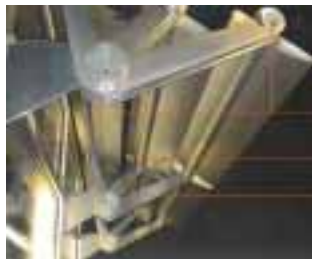
Dr Philip Eames, Brian Norton, Tim Bruton and Richard Russell, University of Ulster, UK

Cladding panel containing thermally isolated vacuum

Steve Dench, UK

Other building Products

Winner



PV SUNSHADE

David Hewitt & Richard Braunstein, Kawneer Co, USA

A practical and sturdy design for a PV Sunshade system which both optimizes solar gain and avoids self shading. Very well presented.

Commended



Shadophotovoltaic system

Matteo Margaroli, Architect, UK

A refinement in louvre systems and a very elegant design but concerns regarding the systems robustness especially under wind loading.

Short-listed

Transparent solar roof window

Franz Baumgartner, FH-Buchs, Switzerland

Pneumatic goes solar

Arnold Kahr & Alexander Weiss, Institut fuer Hochbau und Entwerfen - TU, Vienna, Austria

PV blinds

Miss Weng-Mui Lee & James Plastow, CREST Loughborough University, UK

NanoPV

Ben Smith, Solstis, UK

Non-building products

Short-listed

Solar streetlight using fresnel lenses and high efficiency LED light source

Robert Webb, Robert Webb Associates, UK

Recently released products

Winner

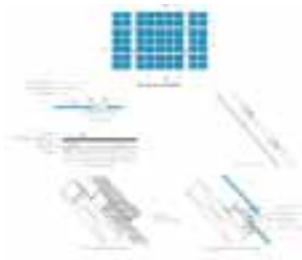


Intersole

Peter Scheigrond, Anton Schaap, Klauss Hoekstra, Econergy, the Netherlands

A practical system likely to be good value for money.

Commended



Sloped Roof Integration Frame System

Andreas Haller, Ernst Schweizer AG, Switzerland

A cost effective well integrated sloped roof system.

Short-listed

Tailor-made Solar Roofs and Façades with Solarcells

Juergen Hartwig, Ersol Solarstrom GmbH & co KG, Germany

Terra Piatta[®] - Solar

Michael Dolle, Dachziegelwerke Pfeleiderer GmbH & co KG, Germany

The Unisole Prefab PV Roof

Ton Van Der Wekken, Ecofys, The Netherlands

Solmax - Mounting For PV Modules

Jacques Bonvin & Antoine Muller, Solstis, Switzerland

Exhibition Prize

Winner



Solarsail

Peter Schürch, Jörn Jürgens, Hubert Bittner, Taroni Gianpietro, Stephan Kormann and Pizzoferrato Adelmo, Halle 58 Architekten, Switzerland

A superb presentation and technically sound, but there were concerns on the long-term wind fatigue effects.

Anhang II

Liste der Schweizer Beiträge

P Plenary Session
O Oral Presentation
V Visual Presentation

Titel	Autoren	P	O	V
Interfacial Charge Separation and Recombination in Dye Sensitised Nanocrystalline Photovoltaic Cells	<ul style="list-style-type: none"> J.R. Durrant, Y. Tachibana, S. Haque, I. Montanari, R. Willis, D.R. Klug, Imperial College, London, United Kingdom U. Bach, J.E. Moser, M. Grätzel, EPFL, Lausanne, Switzerland 	X		
Development of Flexible Cu(In,Ga)Se ₂ Solar Cells on Polymers with Lift-Off Processes	<ul style="list-style-type: none"> D. Rudmann, F.-J. Haug, M. Krejci, H. Zogg, A.N. Tiwari, ETH Zürich, Switzerland 		X	
20 cm x 30 cm Amorphous Silicon Solar Modules on Plastic Film Fabricated with the VHF-Technology at High Deposition Rates for Integration onto Building Panels	<ul style="list-style-type: none"> D. Fischer, P. Torres, N. Mlynek, VHF-Technologies, Neuchâtel, Switzerland U. Kroll, M. Goetz, P. Pernet, X. Niquille, A. Shah, Institut de Microtechnique, Neuchâtel, Switzerland H. Keppner, University of Applied Science, Le Locle, Switzerland A. Haller, Ernst Schweizer, Hedingen, Switzerland 		X	
Effect of Back Contact Metallization on the Stability of CdTe/CdS Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> D.L. Bätzner, A. Romeo, H. Zogg, A.N. Tiwari, ETH, Zürich, Switzerland R. Wendt, ANTEC, Kelkheim, Germany 		X	
Dye Development and Sensitised Electrochemical Photovoltaics	<ul style="list-style-type: none"> M. Amirasr, A.J. Mc Evoy, M.K. Nazeeruddin, P. Pechy, K.R. Thampi, M. Grätzel, EPFL, Lausanne, Switzerland 		X	
Long Term Stability of Dye Sensitised Solar Cells for Large Area Power Applications (LOTS-DSC)	<ul style="list-style-type: none"> J.A.M. van Roosmalen, J. Kroon, A. Hinsch, P. Sommeling, M. Späth, R. Kinderman, N. van der Burg, ECN, Petten, The Netherlands R. Kern, J. Ferber, G. Hasenhindl, C. Schill FMF, Freiburg, Germany T. Meyer, A. Meyer, Solaronix, Aubonne, Switzerland I. Uhlendorf, G. Chmiel & R. Niepmann INAP, Gelsenkirchen Germany 		X	
First Experience with the Bifacial PV-Noise Barrier	<ul style="list-style-type: none"> Th. Nordmann, A. Frölich, M. Dürr, TNC Consulting, Horgen, Switzerland 	X		
Light Trapping Enhancement for Thin-Film Silicon Solar Cells by Roughness Improvement of the Front TCO	<ul style="list-style-type: none"> S. Fay, S. Dubail, Y. Ziegler, A. Shah, Université de Neuchâtel, Switzerland 		X	
Development of Si Films by a New Method of DC Remote PECVD for Thin Film Solar Cell Applications	<ul style="list-style-type: none"> J.A.A. Selvan, D. Grützmacher, H. Sigg, E. Müller, C. Musil, D. Bächle, E. Ortelli, J. Panitz, J. Gobrecht, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 		X	
Effect of Proton Irradiation on the Characteristics of Different Types of Thin-Film Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> J. Kuendig, M. Goetz, J. Meier, P. Torres, L. Feitknecht, P. Pernet, X. Niquille, A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland L. Gerlach, E. Fernandez, ESA - ESTEC, Noordwijk, The Netherlands 		X	

Behaviour of m-Si PV-Plant Approaching Its 20-Year Design Life	<ul style="list-style-type: none"> Sandro Rezzonico, N. Cereghetti, D. Chianese, G. Travaglini, University of Applied Sciences of Southern Switzerland, Canobbio, Switzerland J. Bishop, A. Realini, W. Zaaiman, European Commission, DG JRC, Ispra 		X	
100 kWp Grid connected PV Plant A13 in Switzerland, 10 years and 1'000'000 kWh Later	<ul style="list-style-type: none"> T. Nordmann, L. Clavadetscher, TNC Consulting, Horgen, Switzerland 		X	
Building Integrated PV-Systems for the United States	<ul style="list-style-type: none"> J. Jürgens, P. Hofer-Noser, T. Szacsavay, M. Posnansky, Atlantis Solar Systeme, Bern, Switzerland J. Brown, Solar Bulding Systems, Exmore, USA T. Galitev, Atlantis Energy, Sacramento, USA 		X	
Development of More Stable Amorphous Silicon Thin Film Solar Cells Deposited at "Moderately High" Temperature	<ul style="list-style-type: none"> V. Daudrix, Y. Ziegler, X. Niquille, A. Shah, Université de Neuchâtel, Switzerland 		X	
PV-Installation UBS Suglio/Lugano: Several Measurements on Reliability, Inverter Concepts and Infrared-Testing	<ul style="list-style-type: none"> R. Kröni, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland E. Burà, TISO, Canobbio, Switzerland 		X	
PV on Vocational Colleges in Switzerland Documentation of Seven Years Experience	<ul style="list-style-type: none"> T. Nordmann, T. Bähler, A. Frölich, TNC Consulting, Horgen Switzerland 		X	
The Extraction of the Surface Recombination Velocity of P:Si Emitters Using Advanced Silicon Models	<ul style="list-style-type: none"> P.P. Altermatt, G. Heiser, University of New South Wales, Sydney, Australia A. Cuevas, Australian National University, Canberra, Australia S.W. Glund, J.O. Schumacher, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany R.R. King, Spectrolab, Sylmar, USA A. Schenk, ETH Zürich, Switzerland 		X	
Status Report of Task VII of the IEA PV Power Systems Program	<ul style="list-style-type: none"> T. Schoen, Ecofys, Utrecht, The Netherlands D. Prasad, National Solar Architecture Research Unit, Australia D. Ruoss, ENECOLO, Switzerland P. Eiffert, NREL, Golden, USA H. Sørensen, Esbensen Consulting Engineers, Denmark 		X	
Tuneable Plasma Filters for TPV Systems Using Transparent Conducting Oxides of Tin Doped Indium Oxide	<ul style="list-style-type: none"> J.A. Anna Selvan, D. Grützmacher, B. Bitnar, W. Durisch, T. Neiger, J. Gobrecht, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 			X
Photovoltaic Cells for a Thermophotovoltaic System with a Selective Emitter	<ul style="list-style-type: none"> B. Bitnar, D. Heger, J.S. Anna Selvan, H.-C. Sigg, D. Grützmacher, W. Durisch, F. von Roth, J. Gobrecht, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 			X
Nanotextured Thin Film Silicon Solar Cells: Optical Model	<ul style="list-style-type: none"> J. Springer, A. Poruba, M. Vanecek, Academy of Sciences, Prague, Czech Republic N. Wyrsh, J. Meier, A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X
Laser Scribing of Pin/Pin "Micromorph" (a-Si:H/ μ c-Si:H) Tandem Cells	<ul style="list-style-type: none"> S. Golay, J. Meier, S. Dubail, U. Kroll, A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X
Growth of Thin μ c-Si: H Layer for n-i-p Solar Cell: Effects of the H ₂ or CO ₂ Plasma Treatments	<ul style="list-style-type: none"> P. Pernet, M. Hengsberger, C. Hof, M. Goetz, A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X

The Influence of Plasma Chemistry on the Deposition of Microcrystalline Silicon for Large Area Photovoltaic Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> A.A. Howling, P. Brianceau, F. Grangeon, C. Hollenstein, EPFL, Lausanne, Switzerland U. Kroll, A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X
Stability of Transparent ZnO Front Contacts for Cu (In,Ga)Se ₂ Superstrate Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> F.J. Haug, M. Krejci, ZS, Geller, H. Zogg, A.N. Tiwari, ETH Zürich, Switzerland 			X
Comparison of the Microscopic Electrical Properties of Sublimation and Evaporation Grown CdS/CdTe Solar Cells Using Lock-in EBIC	<ul style="list-style-type: none"> A. Romeo, D.L. Bätzner, A.N. Tiwari, ETH Zürich, Switzerland 			X
A Comparison of the Vacuum Evaporated CdTe Substrate and Superstrate Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> A. Romeo, D. Baetzner, H. Zogg, A.N. Tiwari, ETH Zürich, Switzerland 			X
The Potential of PV Noise Barrier Technology in Europe	<ul style="list-style-type: none"> T. Nordmann, A. Frölich, A. Goetzberger, G. Kleiss, TNC Consulting, Horgen, Switzerland G. Hille, C. Reise, E. Wiemken, Fraunhofer-ISE, Freiburg, Germany V. Van Dijk, JI Betcke, Utrecht University, The Netherlands N. Pearsall, K. Hynes, NPAC, Newcastle, United Kingdom B. Gaiddon, PHEBUS, Lyon, France S. Castello, ENEA, Roma, Italy 			X
Optimization, Construction and Performance of a Roof-Top On-Grid Photovoltaic System in the Swiss Midland	<ul style="list-style-type: none"> H. Kiess, W. Durisch, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 			X
Combined Heat and Power Generation Together with Photovoltaics	<ul style="list-style-type: none"> R. Kröni, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland 			X
Giant Semi-Transparent PV-Module Roof Integrated in Insulating Glass	<ul style="list-style-type: none"> P. Eichenberger, C. Meier, Energiebüro Zürich, Switzerland 			X
New Extremely Light-Weight Flat Roof PV-Mounting Structure	<ul style="list-style-type: none"> C. Götz, C. Meier, Energiebüro Zürich, Switzerland 			X
DEMOSITE: International Demonstration Center for Building Elements	<ul style="list-style-type: none"> C. Roecker, P. Affolter, J. Bonvin, A. Müller, EPFL, Lausanne, Switzerland 			X
New "Frame Concept" for Façade Mounting	<ul style="list-style-type: none"> F. Schaller, C. Roecker, EPFL, Lausanne, Switzerland 			X
Solar Roof Integration System	<ul style="list-style-type: none"> P. Toggweiler, D. Ruoss, U. Brügger, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland A. Haller, Ernst Schweizer, Hedingen, Switzerland 			X
PV en Face! The Development of Low-Cost, High-Quality Façade Elements	<ul style="list-style-type: none"> F. Leenders, A.J.N. Schoen, M. Lepelaar, S. Hovenkamp, Ecofys, Utrecht, The Netherlands R. Noble, R.D.W. Scott, BP Solar, Sunbury on Thames, United Kingdom C. Roecker, F. Schaller, EPFL, Lausanne, Switzerland O. Aceves, D. Moliner, TFM, Montcada, Spain 			X
Economical Benefits of PV Integration into Buildings and Noise Barriers	<ul style="list-style-type: none"> T. Nordmann, A. Frölich, M. Dürr, TNC Consulting, Horgen, Switzerland 			X
"Solar Electricity from the Utility" in Switzerland - A Success Story of 3 Years of Intensive Marketing for Customer Oriented PV-Deployment"	<ul style="list-style-type: none"> E. Lindner, Linder Kommunikation, Zürich, Switzerland S. Nowak, NET, St. Ursen, Switzerland 			X

Potential and Implementation of Building-Integrated PV on the Local Level - Case Studies and Comparison of Urban and Rural Areas in Switzerland	<ul style="list-style-type: none"> M. Gutschner, S. Nowak, NET, St. Ursen, Switzerland 			X
Decreasing Long Term Performance of Grid Connected PV Systems	<ul style="list-style-type: none"> L. Konersmann, C. Holzner, C. Meier, Energiebüro, Zürich, Switzerland 			X
Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 1998	<ul style="list-style-type: none"> C. Meier, L. Konersmann, C. Holzner, Energiebüro, Zürich, Switzerland Swiss Electricity Producer and Distributor Association, Zürich, Switzerland 			X
Guarantee of Results for Grid Connected PV Systems	<ul style="list-style-type: none"> G. Heilscher, IST EnergieCom, Ausburg, Germany E. Molenbroek, Ecofys, Utrecht, The Netherlands, C. Meier, Energiebüro, Zürich, Switzerland J.Y. Quinette, TECSOL, France 			X
Stand-alone and Island Applications of Photovoltaic Power Systems	<ul style="list-style-type: none"> A.R. Wilshaw, J.R. Bates IT Power, Eversley, United Kingdom P. Jacquin, France K. Presnell, Austria P. Malbranche, France O. Ulleberg, Norway K. Dongwhan, Korea A. Joyce, Portugal F. Minissale, Italy F. Nieuwenhout, The Netherlands B. Perers, Sweden I. Stadler, Germany D. Turcotte, Canada X. Vallve Trama Tecnoambiental, Barcelona, Spain M. Viloz, Switzerland Y. Ishihara, Japan 			X
A Preliminary Analysis of Very Large Scale Photovoltaic Power Generation (VLS-PV)	<ul style="list-style-type: none"> K. Kurokawa, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan P. Menna, ENEA, Portici, Italy F. Paletta, ENEL-RI PAL, Milano, Italy K. Kato, Electrotechnical Laboratory, Ibaraki, Japan K. Komoto, Fuji Research Institute, Tokyo, Japan T. Kichimi, Resource Total Systems, Tokyo, Japan S. Yamamoto, PVTEC, Tokyo, Japan J. Song, Korea Institute of Energy Research, Taejon, Korea W. Rijssenbeek, ETC-ENERGY, Leusden, The Netherlands P. Van der Vleuten, Free Energy International, Eindhoven, The Netherlands J. Garcia Martin, A. de Julian Palero, IBERDROLA; Madrid, Spain G. Andersson, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden R. Minder, Minder Energy Consulting, Oberlunkhofen, Switzerland M. Sami Zannoun, Ministry of Electricity and Energy, Cairo, Egypt M. Aly Helal, Ministry of Public Works & Walter Resources, Cairo, Egypt 			X

Solar Stock Exchange in the City of Zurich	<ul style="list-style-type: none"> B. Hürlimann, A. Müller, Zurich Municipal Electric Utility, Switzerland P. Toggweiler, D. Ruoss, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland 			X
Absorption and High Temperature Behaviour Evaluation of Amorphous Modules	<ul style="list-style-type: none"> P. Affolter, LESO-EPFL, Lausanne, Switzerland A. Haller, Ernst Schweizer, Hedingen Switzerland D. Ruoss, P. Toggweiler, Enecolo, Mönchaltorf. Switzerland 			X
Photovoltaic Internet Laboratory	<ul style="list-style-type: none"> F.P. Baumgartner, R. Heule, M. Brechtbühl, University of Applied Sciences Buchs NTB, Switzerland 			X
Behaviour of Triple Junction a-Si Modules	<ul style="list-style-type: none"> N. Cereghetti, D. Chianese, S. Rezzonico, G. Travaglini, University of Applied Sciences of Southern, Switzerland, Canobbio, Switzerland 			X
18 Types of PV Modules under the Lens	<ul style="list-style-type: none"> G. Travaglini, N. Cereghetti, D. Chianese, S. Rezzonico, University of Applied Sciences of Southern, Switzerland, Cannobbio, Switzerland 			X
Solar Inverter Chats with Dishwasher LonWorks as Field Bus for PV-Plants	<ul style="list-style-type: none"> C. von Bergen, Sputnik Engineering, Nidau, Switzerland G. Schmid, Solar-Fabrik, Freiburg, Germany 			X
PVSYST 3.0: Implementation of an Expert System Module in PV Simulation Software	<ul style="list-style-type: none"> A. Mermoud, Université de Genève, Switzerland C. Roecker, J. Bonvin, EPFL, Lausanne, Switzerland 			X
Remote Performance Check for Grid Connected PV Systems using Satellite Data	<ul style="list-style-type: none"> C. Reise, E. Wiemken, Fraunhofer-ISE, Freiburg, Germany P. Toggweiler, Enecolo, Moenchaltorf, Switzerland V. van Dijk, Utrecht University, The Netherlands D. Heinemann, University of Oldenburg, Germany 			X
International Energy Agency Task II: Analysis of the Operational Performance of the IEA Data Base PV Systems. A First Step to Sizing Guidelines	<ul style="list-style-type: none"> S. Castello, ENEA, Rome, Italy L. Clavadetscher, TNC, Horgen, Switzerland R. Dahl, Forschungszentrum Jülich, Germany M. Heidenreich, Arsenal, Wien, Austria U. Jahn, N. Niemann ISFH, Emmerthal, Germany Ecole des Mines de Paris, Sophia Antipolis, France K. van Otterdijk, Netherlands Energy Research Foundation, Petten, The Netherlands K. Sakuta, MITI, Tsukuba, Japan T. Sugiura, Japan Quality Assurance Organization, Hatsuoi-cho, Japan 			X
A Fast, Efficient and Reliable Way to Determine the PV-Shading Horizon	<ul style="list-style-type: none"> F. Ulrich, C. Meier, Energiebüro, Zürich, Switzerland 			X
Waste Control in Wafer Slicing Techniques	<ul style="list-style-type: none"> C. Hauser, P. Nasch, HCT Shaping Systems, Cheseaux, Switzerland 			X
Total		2	16	37