

第 21 回太陽光発電欧州会議 (21st European Photovoltaic Solar Energy Conference) 報告

2 0 0 6 . 9 . 1 2

山口 真史 (豊田工大)

- 1 . 開催月日 : 2 0 0 6 年 9 月 4 日 ~ 8 日。
- 2 . 開催場所 : Messe Dresden (ドレスデン、ドイツ)。
- 3 . 本会議の概要 : 毎年開催される太陽光発電に関する欧州会議である。今回の会議の組織委員長は J. Poortmans (IMEC、ベルギー) で、論文委員長は Heinz Ossenbrink (EC-JRC、イタリア) であった。

95 カ国から 2649 名の参加者があった。太陽光発電に関するこれまでの最大規模の会議となった。太陽光発電に対する大きな関心と関連分野に参画する人々の増加も反映していると思われる。図 1 に、国別参加者数を示す。国別では、ドイツ 1018 名、米国 238 名、日本 128 名、スペイン 105 名、オランダ 102 名、フランス 96 名、ノルウェー 88 名、英国 84 名、イタリア 83 名、スイス 72 名、ベルギー 53 名、中国 53 名、台湾 50 名、韓国 48 名の順であった。

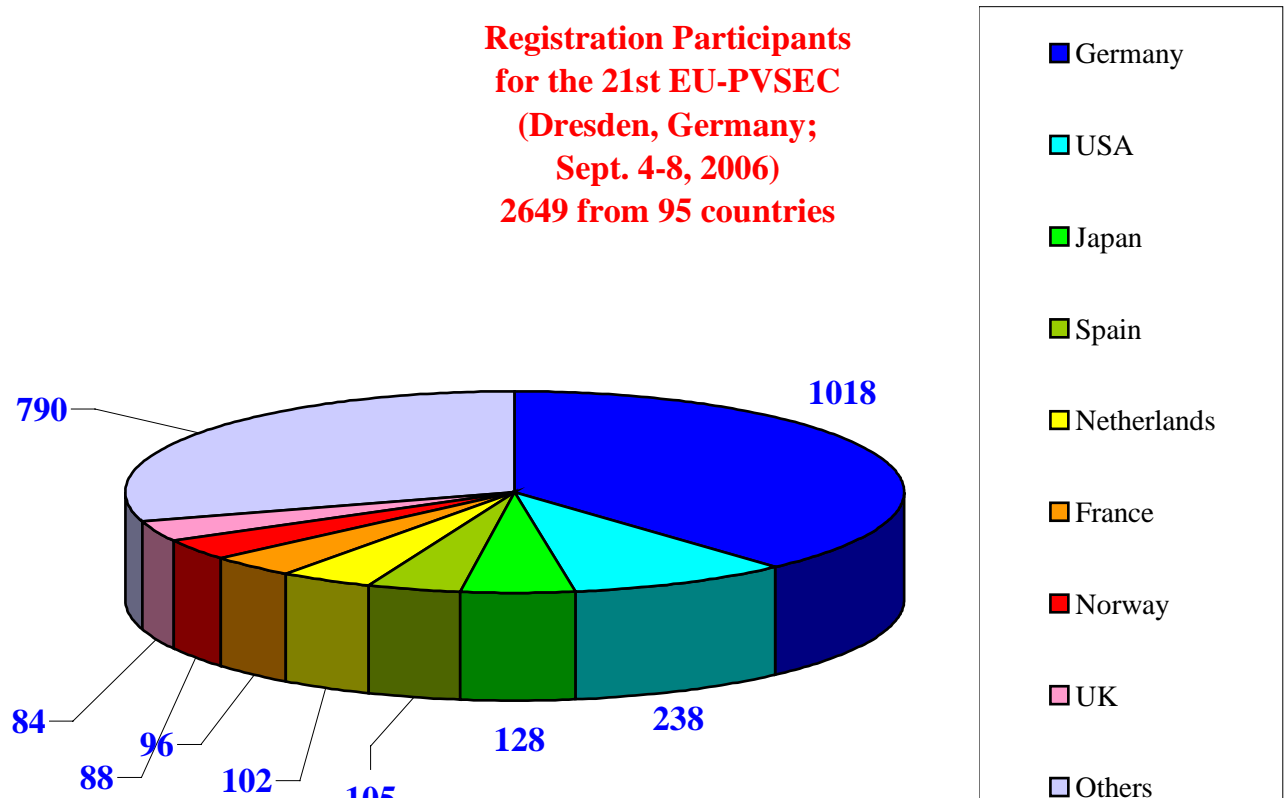


図 1 国別参加者数

**Number of Papers presented
at the 21st EU-PVSEC
(Dresden, Germany; Sept. 4-8, 2006)**
1194 Papers

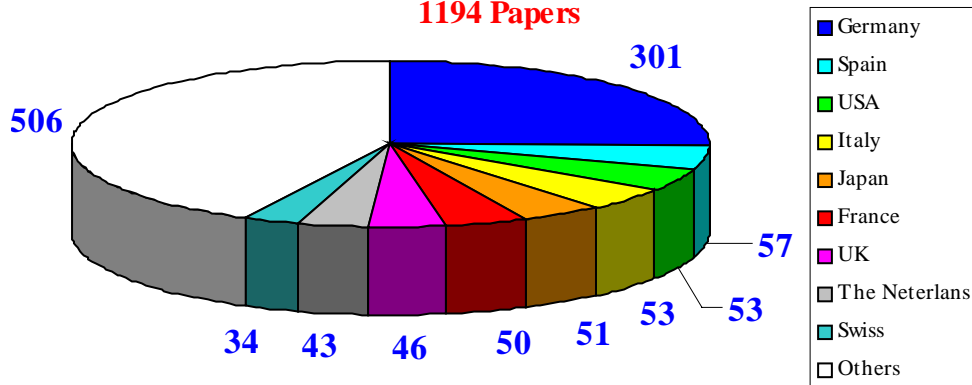


図 2 国別発表論文件数

図 2 は、国別発表論文件数を示す。75カ国から1094件の論文発表があった。国別では、ドイツ301件、スペイン57件、米国53件、イタリア53件、日本51件、フランス50件、英国46件、オランダ43件、スイス34件、27件の順であった

**Number of Papers presented
at the 21st EU-PVSEC
(Dresden, Germany; Sept. 4-8, 2006)**
1194 Papers

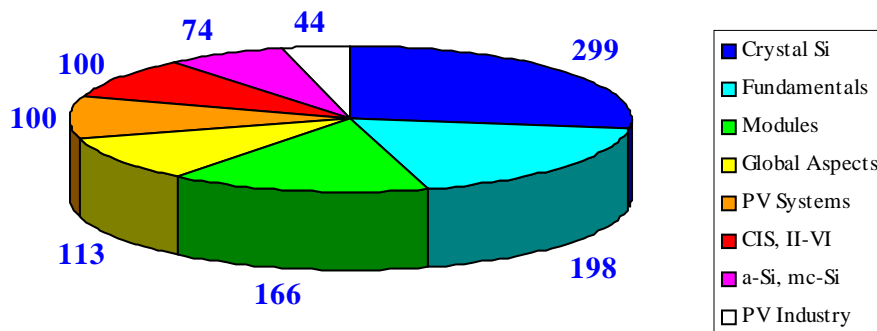


図 3 発表論文件数の分野別内訳

図 3 は、発表論文件数の分野別内訳を示す。分野別では、結晶Si系299件、基礎・新材料・素子198件、PVモジュール等166件、国際的分野113件、CIGSおよび - 族系100件、PVシステム100件、a-Si、微結晶Si74件、工業界44件、の順であった。

この他、29カ国から382社の展示があった。

4. 本会議のトピックス

プログラム委員会のまとめた本会議のハイライトを交えて、本会議のトピックスの概要を述べる。

4.1 結晶Si太陽電池分野：

(1) H. Aulich (PV Silicon) は、太陽電池用ポリSi原料生産量の動向と今後の展望について報告した。2005年のポリSiの生産量は32,000 tで、太陽電池用に約14,000 tが消費されている。太陽電池級(SOG)-Siの製造法として、Siemens法、流動床法や金属級(MG)-SiからのSOG-Si製造法、等がある。年率35%の伸びの結晶Si太陽電池モジュール生産を想定すると、2010年には52,000 tを必要とする。2010年に予想されるポリSiの生産量は77,000 tであり、35%の成長率を維持するには、35,000 t程度の追加生産を必要とする。SOG-Siの早期大量生産を期待している。勿論、結晶Siのリサイクル、太陽電池の薄型化、カーフロスの低減、セルの高効率化、なども重要である。

(2) 結晶Si太陽電池は、薄型化の方向にある。N. Mason (BP Solar) は、laser-grooved buried contact (LGBC) セルに関する薄型化の試みを報告した。150 μm厚ウエハで効率20%を当面の目標としている。Al裏面コンタクトの高表面再結合速度や裏面での内部反射損が課題であった。Fraunhofer ISEが開発したlaser-fired contact (LFC) やSiOによる裏面パッシベーションを導入し、図4に示すように、LGBC/LFCセルを試作した。FZ-Si (0.5 cm、140 μm厚) ウエハを用いたセル(面積149.4cm²)で効率20.1% (Voc=674mV、Jsc=37.9mA/cm²、FF=78.7%)、MCZ-Si (15 cm、140 μm厚) ウエハを用いたセル(面積149.4cm²)で効率18.2%(652mV、37.1mA/cm²、75.0%)を実現している。セ

ルモデリングでは、150 μm厚のCZ-Siウエハでライフタイム100 μs以上あれば、効率19.5%が可能としている。カーフロス150 μmができれば、5g/Wと現状のSi消費量を半減でき、Si原料に由来する課題解決に重要としている。

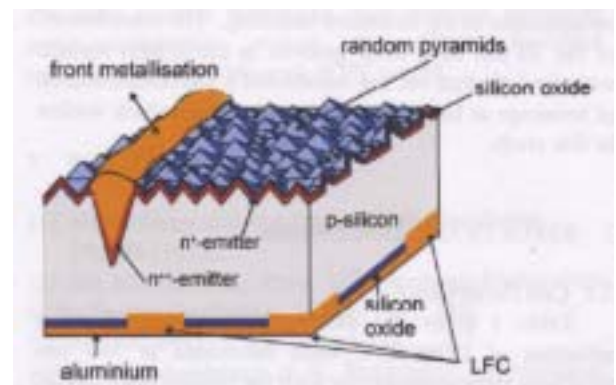


図4 LGBC/LFCセルの構造

(3) G. Agostinelli (IMEC) も、薄型セルのアプローチを報告した。ターゲットは50 μm厚だが、当面100 μm厚を目指している。PERC (passivated emitter and rear cell) 構造やLFCを採用し、a-Si:H/誘電体のスタック構造の裏面パッシベーションが検討され、薄型セルにおいても、図5に示すように、従来のAl-BSFフルカバー構造よりも高いVocが得られている。

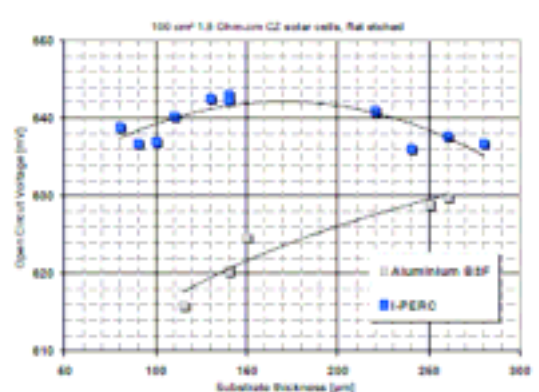


図5 PERCセルとAl-BSF構造セルのVoc比較 (a-Si:H/誘電体のパッシベーション)

CZ-Si (1~1.5 cm、100 μm厚) ウエハを用いたセル (面積100cm²) で効率17.3%、多結晶 Si (1~1.5 cm、150 μm厚) ウエハを用いたセル (面積100cm²) で効率16.5%を実現している

(4) K. Munzer (Shell Solar改めSolarworld) は、スクリーン印刷Al-BSFやB-BSFといった量産技術を用いたセルの高効率化を報告した。B-BSFの最適化、選択エミッタ(メタルコンタクト用高濃度ドーパエミッタ、低キャリア濃度エミッタ)、Oxide+SiNx表面パッシベーション/ARコーティング、コンタクトの細線化等が検討された。図6には、JscとVocに及ぼすパッシベーション/AR複合層の効果を示す。125mmx125mmのCZ-Siウエハを用いたセル(220 μm厚)で効率18.8%(635mV、37.2mA/cm²、79.5%)を実現している(ISE測定で18.4%)。500セルの平均効率は18.5%(図7)、132m²モジュールでは、効率15.0%、出力198Wを実現している。今後、効率20%の実現を目指している。

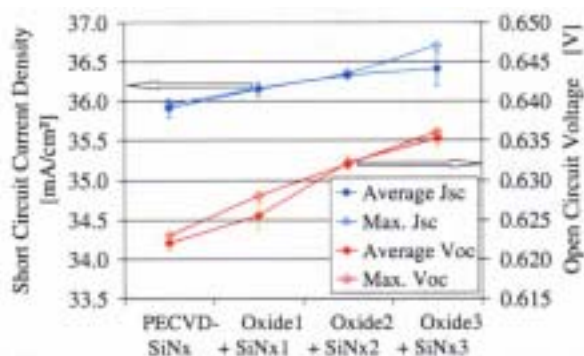


図6 JscとVocに及ぼすパッシベーション/AR複合層の効果

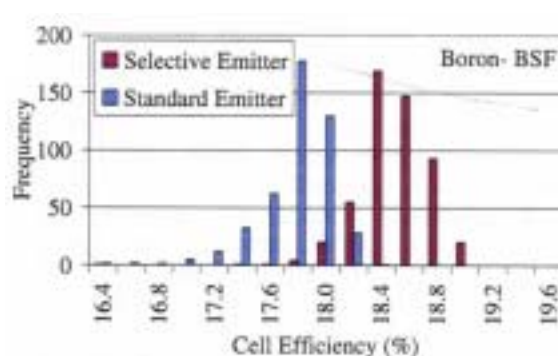


図7 選択エミッタ構造の採用によるセルの平均効率の向上

(5) M. Hofmann (Fraunhofer ISE) は、PERC 構造において、PECVD による SiO_x、SiNx、a-Si:H によるパッシベーション効果を検討した結果を報告した。裏面には、a-Si/SiO_xの積層構造が適していることを明らかにし、表面再結合速度 6cm/s 以下を実現した。また、パッシベーション効果の 400 までの安定性を確認した。FZ-Si (0.5 cm、250 μm厚)ウエハを用いたセル(面積 4cm²)で効率 21.7%(677mV、39.5mA/cm²、81.1%)を実現している。図8は、試作した PERC 構造セルを示す。

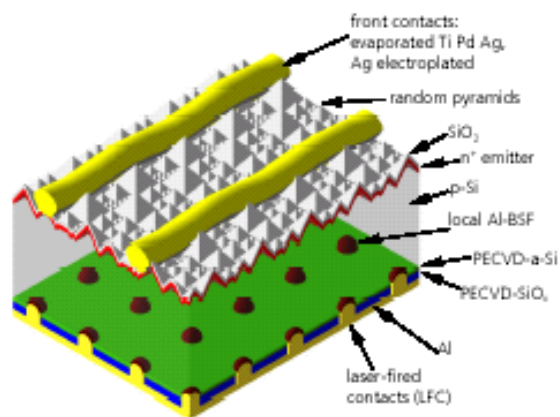


図8 試作した PERC 構造セル

(6) S. Reber (Fraunhofer ISE) は、EU エピウエハプロジェクト SWEET における成果を報告した。多結晶 Si を多孔質化した上に Si 膜が 20 μm 厚ほど CVD 成長 (1.2x0.4m²) がなされ、ベスト 12.4%、平均 12.0% (615mV、26.5mA/cm²、77.5%)を実現している。20 μm 厚セルで、効率 16%は可能で、従来のウエハ型に比べて 20%のコスト低減が可能としている。

この他、ガラス基板上の多結晶薄膜セルが CSG Solar や UNSW から報告された。CSG セルは、面積 92cm² のミニモジュールで効率 9.8%、1.4m² のモジュールで効率 7.3% の状況にある。

(7) A, Herguth (Univ. Konstanz) は、B ドープ CZ-Si で課題であった光劣化が、50 以上の温度環境下での少数キャリア注入（太陽光又は順方向通電）により回復することを報告した。B ドープ CZ-Si（抵抗率 1.4~14.1 cm）ウエハおよび太陽電池を用い、光劣化が検討された。図 9 は、種々の温度での Si 太陽電池の Voc の劣化および回復の少数キャリア注入（順方向通電）時間による変化を示す。光劣化に関する活性化エネルギーは 0.45eV であるのに対して、regeneration は 0.62eV、redegradation は 1.0eV と求まり。図 10 のような B-0 複合欠陥の 3 状態モデルが提案されている。今後、欠陥構造の実態を含めて、検討が必要であろう。

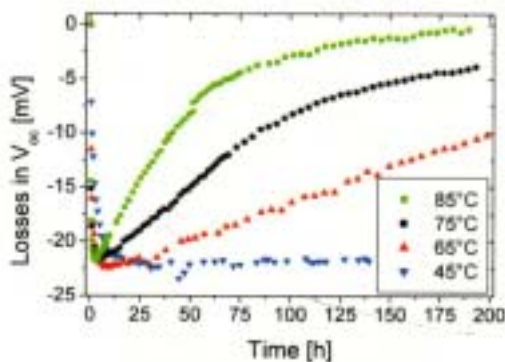


図 9 種々の温度での Si 太陽電池の Voc の劣化および回復の少数キャリア注入（順方向通電）時間による変化

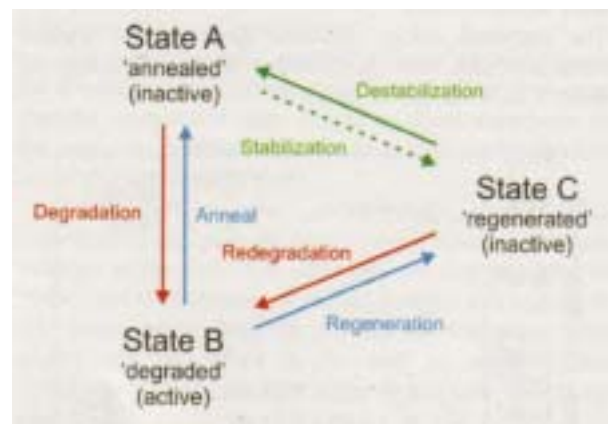


図 10 B-0 複合欠陥の 3 状態モデル

4.2 アモルファス、ナノ/微結晶薄膜 Si 太陽電池分野：

結晶Siの原料問題が続く中、薄膜Siセル、化合物薄膜セルや集光型セルなどにも大きな期待が寄せられている。10年前のシナリオでは、薄膜太陽電池の生産量が、今年あたり、結晶Si太陽電池と同等になることが試算されていたが10%にも満たない。しかし、薄膜系も増産の方向にある。表 1 に、薄膜Si太陽電池モジュールの生産状況および計画を示す。

表 1 薄膜Si太陽電池モジュールの生産状況および計画（MW）（PV News等より）

	Cells	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010
United Solar	a-Si 3-J		17	25	25	100		350
KANEKA	a-Si/μc-Si	20	20	20	30	55	70	
Mitsubishi Heavy Ind.	a-Si	10	10	10	10	40		

(1) G. Helmke (United Solar Europe) のプレーナリ講演によれば、United Solarは、2003年の25MWから、2007年に100MW、2010年に350MWの生産増強の計画にある。H. Takatsuka (三菱重工)はプレーナリ講演において、薄膜Si太陽電池のコスト低減に向け、高効率化、高速堆積、大面積基板（1.4m×1.1m）、歩留まりが重要であると述べた。高周波（60MHz）

プラズマCVDの適用により、2nm/sの高速堆積を実現し、420mmx570mmモジュールで、平均効率12.83%を実現している。三菱重工は、2002年秋からのa-Siモジュール生産（10MW/年）から2007年4月から、a-Si:H/ μ c-Si:Hタンデムセルモジュールを年産40MWの計画である。

（2）アモルファスSi（a-Si:H）とナノ/微結晶（nc/ μ c-Si:H）のタンデムセルで、小面積ながら、初期効率15%が実現している。United Solarは、面積0.25cm²セルで初期効率15.1%（Jsc=9.13mA/cm²、Voc=2.195V、FF=0.752）を達成している。S. Fukuda（カネカ）は、プレーナリ講演において、透明中間層（屈折率1.6～2.3を検討した結果、1.7が良いとの事である）の導入によりa-Si:H/a-Si:H/ μ c-Si:Hの3層タンデムセル（面積1cm²）で初期効率15.0%（Jsc8.93mA/cm²、Voc=2.28V、FF=0.735）を実現していると報告した。a-Si:H/ μ c-Si:Hの2層タンデムセルモジュール（910mmx455mm）では、効率13.4%を達成している。

（3）M. Berginski（Forschungszentrum Juelich）は、a-Si:H/ μ c-Si:H/ μ c-Si:H3層タンデムセルの64cm²モジュールで、安定化効率11.1%を実現していると報告した。

（4）UNAXIS社は、2006年9月1日からOerlikon社となった。U. Krollは、これまで、面積500x400mm²のa-Si:Hの単接合セルモジュールで安定化効率9.47%を達成しているが、今回、1.4m²のプロトタイプのプラズマCVDシステム（KAI-1200）を用いた大面積モジュールについて報告した。面積1.25x1.1m²のa-Si:Hの単接合セルモジュールで効率8.87%を達成しており、製造可能と報告した。

4.3 CIGS、族化合物薄膜太陽電池分野：

CdTe や CIGS 系の化合物薄膜セルは、アモルファス Si および微結晶 Si 薄膜セルと共に、低コストの薄膜太陽電池として期待されている。これらの材料は、真空蒸着やスパッタ法などで、わりと簡単に作製でき、多結晶薄膜でありながら、多結晶粒界が少数キャリアのキラーにはなっていないかったり、不活性化されていたりして、結晶粒径 1 μ m でも高効率が期待できる。

（1）M. Powalla（ZSW）は、CuInGaSe₂ 太陽電池の現状と今後の可能性について、プレーナリ講演を行った。1974年のベル研による InGaSe₂ 太陽電池、1987年の Arco Solar の 14%セル以来研究開発が進められ、工業化のフェーズに至っている。研究室段階では、CIGS系で 19.5%（面積 0.41cm²）が得られ、薄膜太陽電池としては高効率が実現している。大面積モジュールでは、13.6%（3,600cm²）、12.5%（5,932cm²）が得られている。表 2 に示すように、2005年の生産量は 7MW にも満たないが、ドイツの Shell Solar 社（AVANCIS 社）、Wuerth Solar 社は、2007年に各々、年産 20MW、15MW の計画である。わが国でも、昭和シェル石油、ホンダ両社が、各々、2007年頃から、20MW、27.5MW の量産を開始するとのアナウンスもある。総計すると、2007年末には、CIGS 太陽電池モジュールの生産量は 100MW に到達するだろう。

短期的には、コスト低減、実質的生産量の増加や環境調和型太陽電池の開発などが課題である。中期的には、コスト低減（<1ユーロ/W）、大面積モジュールの効率向上（>14%）や新しい製造法の開発（roll-to-roll 法やプリント印刷法、等）が課題である。図 11 には、CdTe、CIGS セルおよびモジュールの変換効率とセルおよびモジュール面積の関係を示す。特に、図 11 に示すように、大面積モジュールの高効率化が必要である。長期的には、多接合化による高効率化（>25%）、太陽電池の損失メカニズムや大面積モジュールの非一様性の理解等、基礎的理解が重要である。将来的には、年産 1GW 以上が可能で、太陽電

池モジュール生産量の 20%のシェアが期待できるとしている。

(2) J. Palm (Shell Solar 改め AVANCIS) は、30x30cm² の CIGS モジュールの効率が 2002 年の 10.6% から 2006 年の 12.7% と向上がはかられており、in-house 測定で 14.0% を達成しているとのことである。60x90cm² モジュールでは、効率 13.1% であり、22 モジュールの平均効率は 12.4% である。24 モジュールの Damp Heat 試験の 4000 時間後も安定に動作している。

(3) また、現在、CIGS 系で高効率が達成されているのは、バンドギャップ 1.2eV の材料である。最適バンドギャップエネルギー 1.4~1.5eV を目指して、CIGS の高バンドギャップ化、CuInS や CuInAlSe₂ などの材料検討もなされている。J. Klaer (Hahn-Meitner Inst.) は、CuInS セルの状況を報告した。SulfurCell 社では、1,25x0.65m² モジュールも試作されており、効率 7.8% を実現している。2004 年の 35W モジュール (効率) から改善がはかられており、2010 年には 85W モジュール (効率 10.7%) の実現を目指すとしている。

(4) N. Romeo (Univ. Parma) は、CdTe 太陽電池の状況を報告した。CdTe 太陽電池も、研究室段階では 16.5% (NREL、面積 1 cm²) が得られている。0.6x1.2m² モジュール効率は 7~10% との事である。CdTe セルは、1991 年頃から製品化されている。表 2 に示すように、米国 First Solar 社が 2007 年には 75MW の生産へ増産する計画である。N. ARENDI 社は、2 年以内に 15MW の 0.6x1.2m² モジュールの生産を目指す。ETH Zurich も、ポリイミド基板上に効率 14% のフレキシブル CdTe セルを実現し、15MW のパイロットプラントのアナウンスを行った。

表 2 化合物薄膜系モジュールの量産計画 (MW)

Company	Cell	2004	2005	2006	2007	2008
First Solar	CdTe	6	20.6	25	75	
Shell Solar	CIGSe		3		20	
Wuerth Solar	CIGSe	1	1.3		15	
Golbal Solar	CIGSe		1			
Honda	CIGSe		0.15		27.5	
Showa Shell Sekiyu	CIGSe				20	
Johanson Solar	CIGSe					30
Sulfercell	CIGS		1		7	

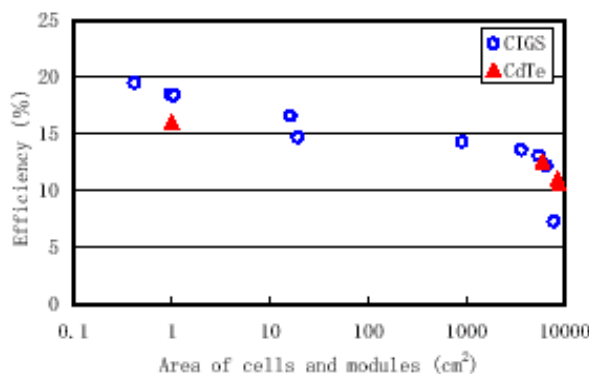


図 11 CdTe、CIGS セルおよびモジュールの変換効率とセルおよびモジュール面積の関係

4.4 族化合物太陽電池分野：

多接合構造太陽電池が、この分野の研究開発の主流であり、宇宙用太陽電池として実用化され、地上用太陽電池としても、集光型太陽電池として研究開発が活発化している。多接合太陽電池については、格子不整合系、逆構造、layer transfer等の技術にも関心が寄せられている。

(1) R. Kingら (Spectrolab) は、これまで検討してきたGaInP/GaInAs/Ge 3 接合セル(図12)に関する技術の精査の結果を報告した。格子整合系太陽電池材料中の転位密度は、 $2 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ 以下であるのに対して、格子不整合系太陽電池材料中の転位密度は、 $4.4 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ であった。図13に示すように、格子整合系では、AM1.5Dの236倍集光下で39.0%、格子不整合系セル(面積 0.378cm^2)では、AM1.5Dの179倍集光下で39.3%の高效率化を達成している。AM1.5Gの非集光で、格子整合系では効率32.0%、格子不整合系では31.3%を達成している。集光動作により、格子不整合太陽電池中の再結合中心のキャリア捕獲が飽和していることが示唆され、太陽光スペクトルの整合性の効果が出ていると考えられる。また、図13に示すように、GaInP (1.86eV) / AlGaInAs (1.62eV) / GaInAs (1.38eV) / Ge (0.67eV) 4 接合セル(面積 0.256cm^2)のAM1.5Dの256倍集光で効率35.7%を得ている。

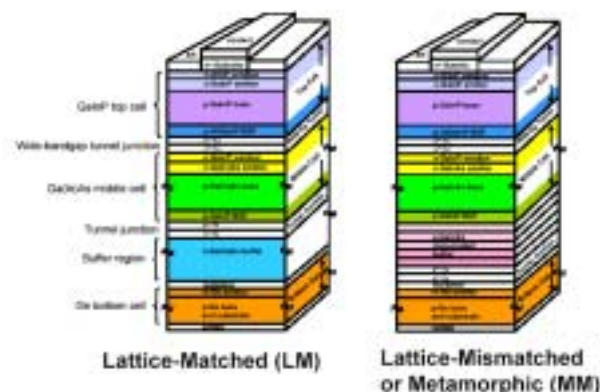


図12 格子整合、格子不整合3接合セルの構造

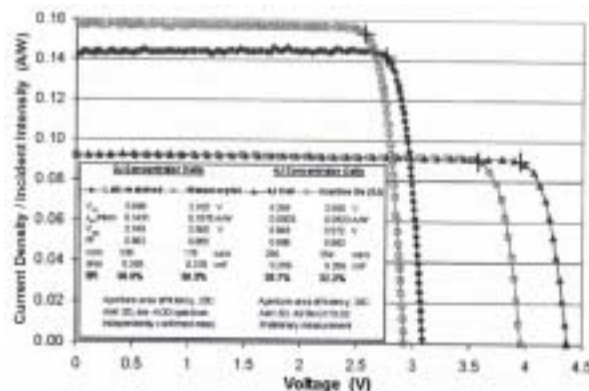


図13 Spectrolab社の高效率 GaInP/GaInAs/Ge 3 接合セルのI-V特性

(2) A. Barnett (Univ. Delaware) は、DARPA (米国・国防総省国防高等研究事業局) の超高効率太陽電池(VHESC)プロジェクトの概要を報告した。コンソーシアムによる予算5300万ドルの変換効率50%以上の実現を目指すプロジェクトで、デラウェア大の他、ジョージア工大、ロチェスター大、パーデュ大、カリフォルニア大サンタバーバラ校、MIT、ハーバード大、イエール大、カーネギーメロン大、UNSWなど12大学、BP Solar、Corning、DuPont、LightSpin Technologies、Blue Square Energyなど企業9社、国立研究所NRELが参加し、DARPAより最大で3360万ドル、コンソーシアム・メンバーより1930万ドルを調達する予定である。VHESCは、個々の兵士が持つ様々な電気製品や電源の信頼性を高めるハイテク軍用途に利用することを目的としている。また、同時に、商業利用もかなりの範囲で見込まれるとの事である。VHESCとして、効率50%が必要であり、携帯機器(ラジオ、パソコン、フラッシュ、ビジコン、携帯電話等)の電力要求を満たし、兵士の背負う加重を減らし、兵士の行動性を向上させることにある。マイルストーンとして、2008年3月までに、効率50%以上

を実現するための要素技術の実証、 2009年3月までに、研究室段階での効率50%以上のデバイスの実現、 2009年10月までに、10cm²デバイス(0.5W)を1000ユニット作製すること、がある。コスト的にも、現在 \$ 2000/Wを \$ 200/Wに、将来的には \$ 2/Wが望ましいとの事である。

研究開発テーマとして、 コアアプローチとして、 - 族化合物半導体を用いた 5 接合、6 接合太陽電池と集光技術の組み合わせがある。例えば、GaInP (1.84eV) /GaAs(1.43eV)/Si(1.12eV)/GaInAsP(0.95 eV)/GaInAs(0.67eV)やGaInNなどであり、また集光技術についても、非結像光学系が重要であるとしている。図14は、多接合太陽電池の接合数と理論変換効率を示す。コアアプローチは、多接合太陽電池であり、材料的組み合わせが紹介された。また、GaInNや格子不整合系にも関心を持っている。表3には、超高効率化のアプローチを示す。M. Greenの第3世代PVやEUのFullSpectrumプロジェクトと何らかわりはない。QWs やQDs にも言及された。

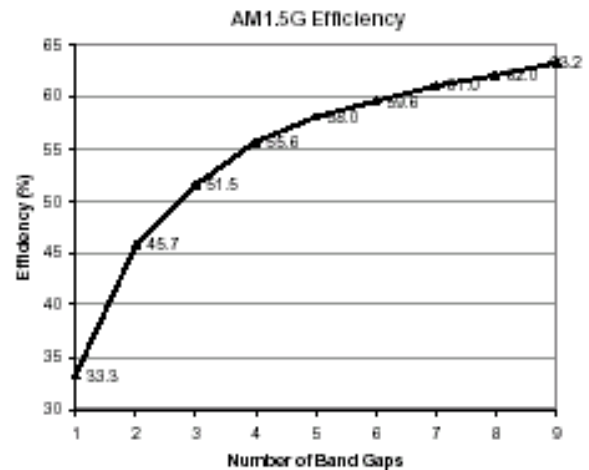


図14 多接合太陽電池の接合数と理論変換効率の関係

表3 超高効率化のアプローチ

Approach	Advantages/uses	Central Issues	Examples
Multiple spectrum	<ul style="list-style-type: none"> Can be implemented using low cost coatings Can use existing solar cells (or LEDs for the mphotronics) 	Efficient conversion of solar spectrum not demonstrated	Thermophotovoltaic Up and down conversion
Multiple absorption	<ul style="list-style-type: none"> High impact ionization rates demonstrated with colloidal quantum dots Suited to conversion of high energy photons 	Transport of carriers not demonstrated	Impact ionization Two-photon absorption Raman absorption
Multiple energy level	<ul style="list-style-type: none"> Suited to low energy photon conversion Can capitalize on LED/photodetector devices 	Demonstration of <i>simultaneous</i> radiative coupling required	Localized band (QW) Mini-band (IBSC)
Multiple temperate	Potential for high efficiencies using a single absorber material	Extraction of energy from hot carrier populations not demonstrated	Hot carriers QWs with thermal escape
AC solar cells	Potential for high efficiencies using a single absorber material	Requires THz devices	Rectenna

4.5 新材料・デバイス分野：

(1) A. Hirsch (Fraunhofer ISE) は、色素増感型太陽電池の最近の状況を報告した。シャープでは、1cm²セルで効率10.4%、10cmx10cmモジュールで効率6.3%、Fraunhoferから30cmx30cmモジュール効率2.7%の発表があり、注目された。課題は、大面積化した場合の効率低下と長期信頼性にある。85 °Cでの暗状態下での放置試験がなされ、1500時荷で20%の特性劣化が見られる。

(2) 有機太陽電池では、UCSCから高分子ハイブリッドの定性的モデル化の発表があり、

Eikos社から有機セルの透明電極としてカーボン・ナノチューブを用い、効率2.61%の発表があった。

(3) A. Luque (マドリッド工大) は、EUのプロジェクト“FULLSPECTRUM”の概要を報告した。5年間プロジェクト(2003年11月~2008年10月)で、総予算880万ユーロで、19機関が参画している。高効率多接合セル、熱光起電力、中間バンドの概念、有機系が研究対象となっている。現実解は、多接合セルと考えられ、目標は、効率40%であり、600倍集光で効率35.2%が得られている。

(4) M. Green (UNSW) は、第3世代PVのうち、Siベースのタンデムセルの試みを報告した。3接合タンデムセルで効率50.5%が期待できる。図15に示すように、非化学量論的組成のSi₀、Si_n、Si_CなどからSiの量子ドット(QD)を形成し、Si系の3接合タンデムセルを作ろうとするものである。図16に示すように、QDからのフォトルミネッセンスにおいて、2~5nmサイズの量子ドットにおいて1.3~1.65eVの高バンドギャップ化、量子サイズ効果が確認されているが、電気的特性面では、移動度等が測定されている段階である。2008年までに概念を確認したいとの事であるが、課題として、再結合、輸送、ドーピング、セル設計などがある。

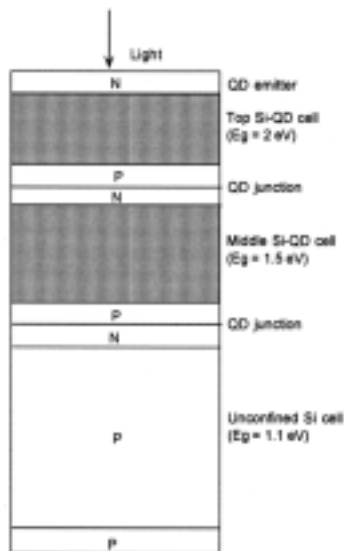


Figure 3: All-silicon 3-cell tandem stack based on silicon quantum dots.

図15 量子ドット(QD)を用いたSi系3接合タンデムセルの構造

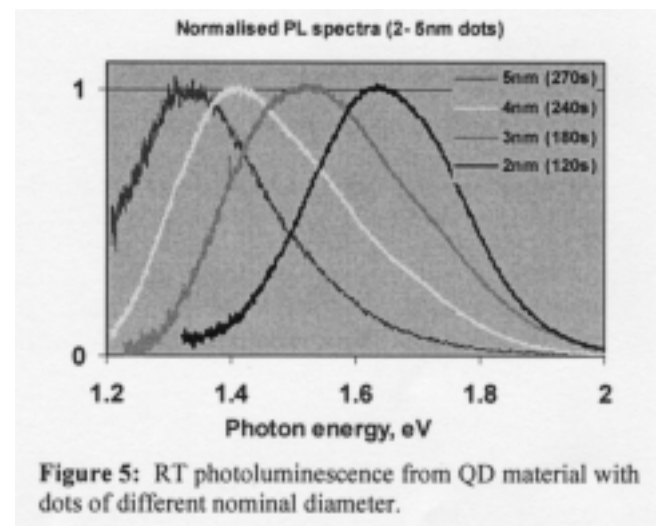


Figure 5: RT photoluminescence from QD material with dots of different nominal diameter.

図16 量子ドット(QD)からの室温フォトルミネッセンス

4.6 太陽電池モジュール分野：

(1) J. Luther (Fraunhofer ISE) は、高集光PVの状況を総合報告した。大規模太陽光発電システムの需要増加や原料Siの供給不安の解消に関連して、集光式太陽光発電への関心の高まりと技術進展が、最近の状況である。最近、多くの企業が、Siベースの集光太陽光発電(CPV)システムの商用化を開始している。その主な理由として、次の点があげられる。

族多接合セルを用いた集光型太陽電池の高効率化の変遷を結晶Si太陽電池の1-sunおよび集光での効率変遷と比較して、図17に示す。このように、Si族セルを用い

た集光型太陽電池は35%以上の高効率化を実現しており、近い将来、40%以上の高効率化が可能で、非常に効率の良いCPVシステムを提供できる。

PV応用がサイズの上でも成長しており、より大規模なシステムの実現が要望され、CPVシステムが適している。

現在のPV用シリコン原材料のshortageが、コスト的にも有効な代替PV技術への関心をもたらしていること。図18は、平板型結晶Siモジュール価格と集光型モジュール（追尾系を含む）の試算価格との比較を示す。平板型PVは、図18に示すように、累積生産量5GWで、モジュール価格2.5ユーロ/Wであるのに対して、高集光PVでは、30MWの生産レベルで、モジュール価格2.5ユーロ/Wの実現が期待でき、集光型モジュールは、平板型モジュールより、低価格化の可能性が大である。

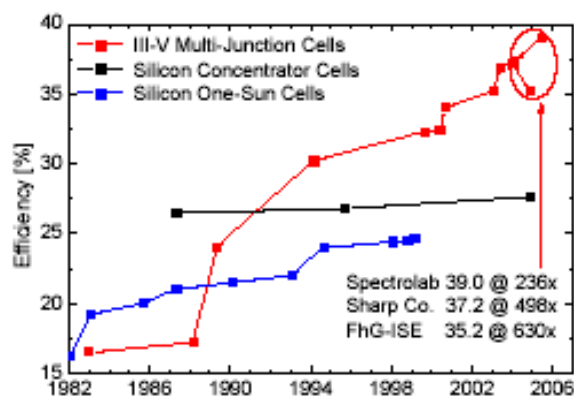


図17 族多接合セルを用いた集光型太陽電池の高効率化の変遷と結晶Si太陽電池の1-sunおよび集光での効率変遷の比較

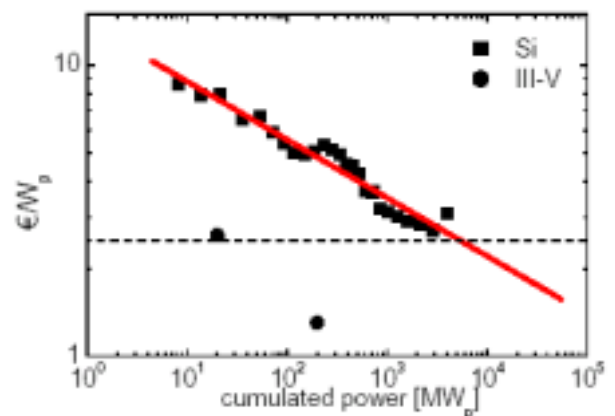


Figure 11: Price curves for flat plate silicon PV modules and for concentrator modules including the tracking. The dashed line indicates costs of 2,5 €/Wp.

図18 平板型結晶Siモジュール価格と集光型モジュール（追尾系を含む）の試算価格との比較

(2) A. Luque (マドリッド工大) や J. Luther (Fraunhofer ISE) が述べたように、族多接合セルを用いた集光型太陽電池モジュールの出荷のアナウンスがある。以下、主なものを列記する。シャープがCPVシステムの販売開始のアナウンスをしている他、Green and Golden Co. (オーストラリア) は、150W~3kWユニットの生産能力2MW/月を2007年に確立するという。Concentrix Solar (ドイツ) は、Fraunhofer ISEからスピンオフしたもので、500倍集光で5~7kWユニットを2007年にMWレベルの生産を開始するという。20MW生産規模なら、平板PVと同等のコストが可能という。Isofoton (スペイン) は、1000倍集光1kWユニットを2007年に5MWの生産を開始するという。SolG3 (スペイン) は、470倍集光の200Wモジュールを開発中で、2007年に生産を開始するという。この他、大同特殊鋼、Emcore (米国)、SolFocus (米国)、Entech (米国) などは、族化合物多接合セルを用いた集光型太陽電池モジュールを開発中である。現在、結晶Si集光型セルを用いているAMONIX (米国)、Solar Systems (オーストラリア)、MicroPV (米国/中国) や Energy Innovations (米国) なども、将来、族セルを使用することを考慮中であるとの事である。

(3) A. Luque (マドリッド工大) は、2007 年末に La Mancha に設立予定の CPV 研究センターのために、約 3MW の CPV システムを購入予定であるとのアナウンスがあった。予算は、1600 万ユーロで、少なくとも CPV 企業 3 社からの購入となるとの事である

(4) E. Bombach (Deutsche Solar) は、1983 年に設置した多結晶 Si セルモジュール (300kW) のリサイクルについて報告した。315,900 枚のセルのうち 56% のセルが再利用できている。効率 8 ~ 9% のものが 12 ~ 14% に効率改善されている。結果的には、初期出力の 89% が再生できている。モジュールは再生され、新しい建物に設置予定である。

(5) この他、系統連係システムのモニタリング (ETSI)、モジュール出力の校正 (EC-JRC)、モジュール集積型 3 相インバータ (< 0.32 ユーロ / W) の開発 (ISET) やエレクトロルミネッセンスによるクラック検出 (Evergreen) などの報告があった。

4.7 PV システム分野：

PV システムの大型のものが増えている。MW 級 (1 MW ~ 11 MW) PV システム数は 300 以上となっている。N. Peearsall (Newcastle Univ.) による建材一体型 PV システムのモニタリングに関する EU のコンソシアム PERFORMANCE の概要報告、Eneco I o による PV モジュールやシステムモニタリングサービス、黒川 (農工大) による砂漠における大規模 PV システム構想、などの報告があった。

4.8 基調講演および国家プログラム、政策、経済性：

(1) H. Fell (ドイツ国会議員) は、PV においても市場拡大に向けた政策決定が重要であり、政治家の役割が重要であると述べた。中国は、エネルギー需要の拡大に方向にあり、原子力ではなく、再生可能エネルギーにして欲しいと示唆した。

(2) W. Palz ら (EU) は、EU の PV に関する R&D プログラムやデモンストレーションプログラムの概要を報告した。新しいところでは、イタリアの 400 MW プログラム、ギリシャの 40 MW プログラムなどがある。ギリシャの総電力に対する再生可能エネルギーの導入ターゲットは、2010 年、2020 年、各々、20%、29% である。PV に関しては、2020 年までに 500 MW (系統連係) + 200 MW (諸島用) 導入予定である。

(3) 井内 (エネ庁) は、日本における PV システムの導入、太陽電池モジュール生産および新規 R&D プロジェクトの概要を報告した。PV システム未来技術研究開発のターゲットとして、CIS セル、薄膜 Si セル、色素増感セル、超薄型結晶 Si セル、有機薄膜セル、シーズ探索があると述べた。現在、わが国の PV システムの累積導入量は約 1.7 GW (日本の総電力の 0.1%)、2010 年に 4.82 GW、2030 年に 100 GW (日本の総電力の 10%) をターゲットとしている。

(4) M. Exhart (米国再生可能エネルギー会議議長) は、米国における再生可能エネルギーの R&D プログラムの概要を述べた。ブッシュ大統領のソーラー・アメリカ計画やカリフォルニア州の 2017 年までにソーラーエネルギー導入 3 GW 等の概要についても述べた。発展途上国には、2005 年に、86 MW (全市場の 6%) が設置され、80 万人の人々に届いている。しかし、15 億人以上には、まだ届いていない。米国は、ドイツに比べて日射条件は良いのに、PV 導入は 10 年程遅れている印象であり、キャッチアップしたいと述べた。

(5) Z. Li (ISPQ-Europe) は、中国における PV 市場について述べた。現在の PV システム

の累積導入量は70MWだが、2005年の導入量はわずか5MWである。上海の100,000ルーフプログラムがあり、2020年までに500MW導入を予定している。2020年までに、1GWになろう。12のセルメーカーと90以上のモジュールメーカーがあるが、Suntechだけが、世界の太陽電池のトップ10に入っているが、他は小さい。5~10%安い価格で売っている。2006年には、520MWの生産能力を有し、2020年には、2GWの生産能力を有し、世界のPV市場の25~33%のシェアを持つことが期待される。原料Siの96%は輸入だが、ポリSiの生産量も2005年には200tだったが、2010には、5,000tを目指すとしている。

ドイツ、日本、米国や他の国々の国家プログラムの講演を通じて、インフラの確立や市場形成に向けた次世代のPV技術の目標や政策に共通性を見た。また、PV対他のエネルギー源を用いた場合の環境アセスメント、PV技術に関する材料的制限や大規模系統集中への挑戦等について考慮する必要がある。広範な用途が対象となっている。電力品質、系統連係、建材一体型PVなどが議論された。23年間の長期特性が、確認されている。しかし、発展途上国に関係した論文発表がほとんどなく、寂しい。発展途上国には、2005年に、86MW（全市場の6%）が設置され、80万人の人々に届いている。しかし、15億人以上には、まだ届いていない。

6. 感想

今回の会議は、太陽光発電に関する最大の会議となった。地元ドイツからの参加者が多かったのに加えて、市場規模の大きいドイツへの関心も効果的だったように思う。ただし、展示も大型化し、商業主義に走りすぎとの批判も聞こえている。今回の組織委員長も、IMECに席を置いているので、科学、技術と市場のバランスを議論する時期とも言っていた。

現在主流の結晶Si系もfeed stock問題等、正念場であるが、本会議での発表論文数が第一位の約300件であることから、この問題は2~3年以内に解決されることが期待される。勿論、そのためにも、研究開発の一層の強化が重要なポイントの一つであると言えよう。ただ、結晶Si分野では、短・中期的な研究開発が多い印象であり、将来のためには、大学や国研主導型の研究開発の推進が必要であろう。

現在主流の結晶Si系がSi shortageで生産量の成長率低下が懸念されている昨今、薄膜SiやCIGS太陽電池等の薄膜太陽電池も、絶好の機会であり、さらなる高効率化、低コスト化、生産性向上等による結晶Si系に相当する地位の確立を期待したい。

集光型PV（CPV）については、5社程からMW程度の生産開始のアナウンスがあり、今後の進展が期待される。最初は、小規模生産なので、信頼性、生産技術、コストなどの課題に関する検討が残されている。結晶Si系のfeed stock問題の解決や大規模PVの要求増大の点からも、CPVは大きなポテンシャルを持っている。勿論、薄膜系にも大きな期待が寄せられており、正念場である。

米国国防総省（DARPA）の超高効率太陽電池（VHESC）プロジェクトは、これまでの最大規模のプロジェクト（予算約60億円）である。プロジェクトの主要ターゲットは、
- 族化合物半導体を用いた多接合太陽電池の集光動作で、変換効率50%以上の実現を狙ったもので新しさは感じられない。しかし、予算規模5300万ドルは、単一プロジェクトとしては群を抜いているし、参画機関も22と聞く。わが国でも、予算規模は少なくとも、超高効

率太陽電池および新しい材料の研究を継続強化して行く必要がある。

第3世代PV、EUのFullSpectrumプロジェクトやDARPAの将来テーマを含めて、新材料や新型構造太陽電池の研究テーマは実現の可能性は低いが、生き長く研究開発を進めるべきだと思う。5年間のプロジェクトで目標達成はできなくとも、予算規模を少なくして、将来のために、革新的な探索研究を続けて行く必要がある。CIGS太陽電池にしても、ベル研の最初のCIS太陽電池から30年が経過している。他の太陽電池でも、種から実りを得るまでには、それ相当の時間を要すると考えられる。

次回の22nd EU-PVSECは、2007年9月開催予定だが、開催地は未定で、ボローニャ、ミラノ、リスボンが候補にあがっている。アジア・太平洋地区の第17回太陽光発電国際会議(PVSEC-17)は、2007年12月3日～7日、福岡国際会議場で開催予定である。33rd IEEE PVSCは、2008年5月11日～16日、San Diegoで開催予定である。

(以上)