

第 24 回太陽光発電欧州会議 (24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition) 報告

2009. 9. 25

山口真史 (豊田工大)

1. 開催月日 : 2009年9月21日～25日。

2. 開催場所 : Congress Center Hamburg (ハンブルグ、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、Wim Sinke (ECN、オランダ)で、論文委員長は Heinz Ossenbrink (EC-JRC、イタリア)であった。今年、73の国と地域から4,295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。

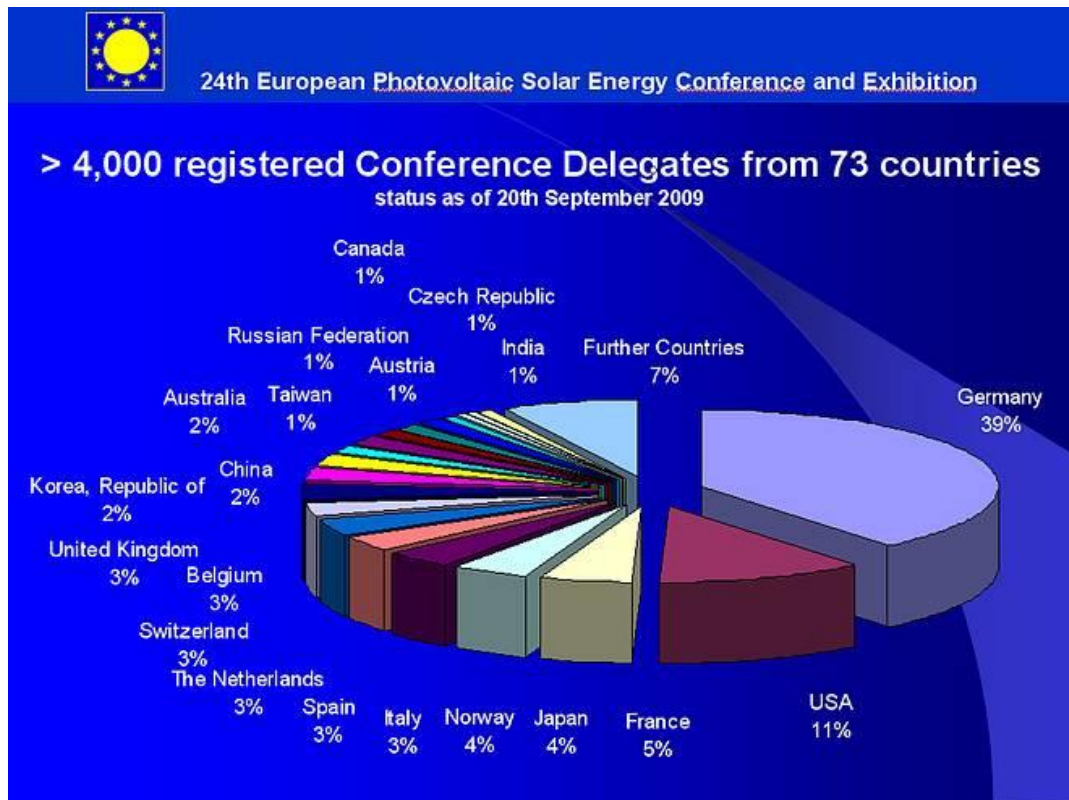


図1 国別参加者数

図1に、国別参加者数を示す。国別では、①ドイツ約1560名(39%)、②米国約440名(11%)、③フランス270名(5%)、④日本160名(4%)、⑤ノルウェー約160名(4%)、⑥イタリア約120名(3%)、⑦スペイン約120名(3%)、⑧オランダ約120名(3%)、⑨スイス約120名(3%)、⑩ベルギー約120名(3%)、⑪英国約120名(3%)、⑫韓国約80名(2%)、⑬中国約80名(2%)、⑭オーストラリア約80名(2%)の順であった。

**Number of Papers presented at the 24th EU-PVSEC
(Hamburg, Germany; September 21-25, 2009)
1427 Papers**

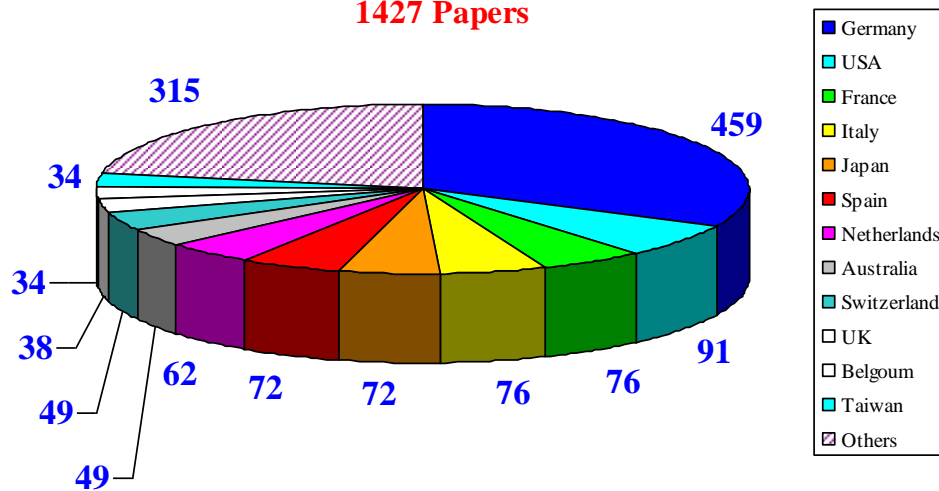


図2 国別発表論文件数

図2は、国別発表論文件数を示す。68カ国から1,427件の論文発表があった。国別では、①ドイツ459件、②米国91件、③フランス76件、④イタリア76件、⑤日本72件、⑥スペイン72件、⑦オランダ62件、⑧オーストラリア49件、⑨スイス49件、⑩イギリス38件、⑪ベルギー34件、⑫台湾34件、の順であった。

**Number of Papers presented
at the 24th EU-PVSEC
(Hamburg, Germany; September 21-25, 2009)
1427 Papers**

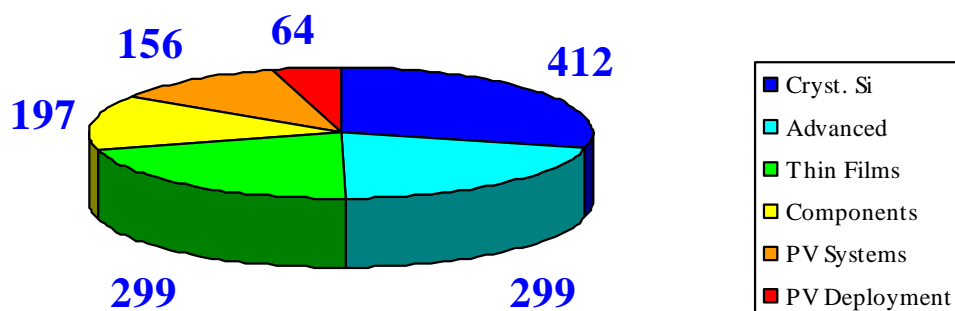


図3 発表論文件数の分野別内

図3は、発表論文件数の分野別内訳を示す。分野別では、①結晶Si系412件、②先端PV

(超高効率、集光、宇宙、色素・有機、基礎・新材料・新素子) 297件、②薄膜系297件、④PVコンポーネント197件、⑤PVシステム156件、⑥国家プログラム・政策・PV市場64件、の順であった。

この他、学会併設の展示会には、34カ国から943社の太陽電池関連企業が出展した。展示会の参加者は、約4万人との事である。

4. 主な発表論文の概要：

プレーナリ講演を中心に、本会議のトピックスの概要を述べる。

4. 1 超高効率太陽電池分野：

(1) A.W. Bettら (Fraunhofer ISE) は、“Highest Efficiency Multi-Junction Solar Cell for Terrestrial and Space Applications”と題して、世界最高効率太陽電池について報告した。また、A.W. Bettは、今回、集光型太陽電池等の研究開発の貢献に対して、Becquerel Prizeを受賞した。図4、図5に示すように、格子不整合Ga_{0.35}In_{0.65}P/Ga_{0.83}In_{0.17}As/Ge3接合構造太陽電池(面積0.0509cm²)の454倍集光で41.1%(25°C、I_{sc}=380.5mA、V_{oc}=2867mV、FF=87.2%)を実現している。従来の格子整合系に比べ、格子不整合系は、サブセルのバンドギャップ組み合わせの最適化が可能である。1.2%の格子不整合があり、課題であった格子不整合に伴う転位の問題も検討され、In組成17%/23%/17%のovershooting層を含むステップグレーデッドバッファ層やGaInNAsバッファ層の導入による貫通転位の伝播が抑制され、太陽電池の活性層の低転位密度化(10⁶cm⁻²)が高効率化につながっている。また、高倍集光用にトンネルダイオードも改善され、p⁺AiGaInP/p⁺Al_{0.3}Ga_{0.7}As(2x10²⁰cm⁻³, 20nm)/n⁺Ga_{0.76}In_{0.24}As(>1x10¹⁹cm⁻³, 20nm)/n⁺AlGaInP構造で、1,000倍集光でもFF>80%のセルが実現している。AZUR社に技術移転され、4x8cm²の3接合宇宙セルも2001年のAM0効率23.5%から30.6%に改善されている。図6には、GaInP/GaInAs/Ge3接合太陽電池の非集光下でのI-V特性を示す。30.17cm²セルで、AM1.5G効率34.1%(J_{sc}=14.7mA/cm²、V_{oc}=2.691V、FF=86.0%)の高効率を実現している。

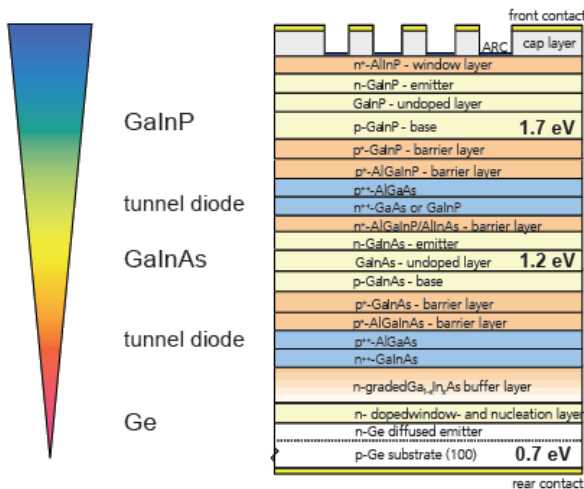


図4 世界最高効率値を更新したGaInP/GaInAs/Ge3接合太陽電池の構造

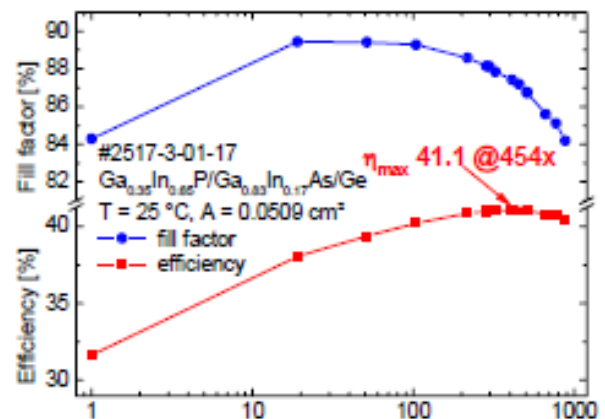


図5 世界最高効率値を更新したGaInP/GaInAs/Ge3接合太陽電池効率の集光倍率依存性

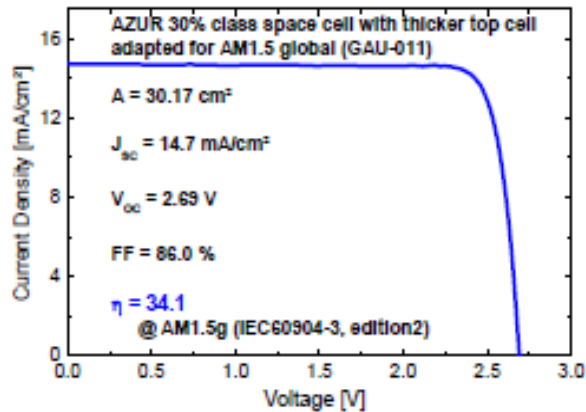


図6 GaInP/GaInAs/Ge3接合太陽電池
の非集光下でのI-V特性

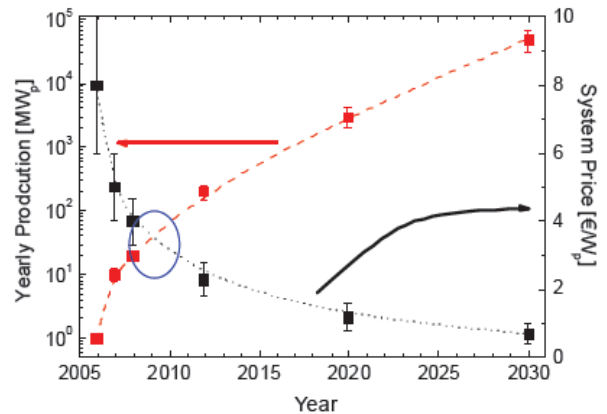


図7 集光型太陽電池の生産量と集光式
太陽光発電システムの価格推移予測

図7には、集光型太陽電池の生産量と集光式太陽光発電システムの価格推移予測を示す。システム価格低減と将来の大規模太陽光発電システムに貢献することが期待される。

(2) R. Kingら (Spectrolab) は、“Band-Gap-Engineering Architectures for High Efficiency Multijunction Concentrator Solar Cells” と題して、III-V族化合物多接合太陽電池、集光型太陽電池の最近の状況を述べた。

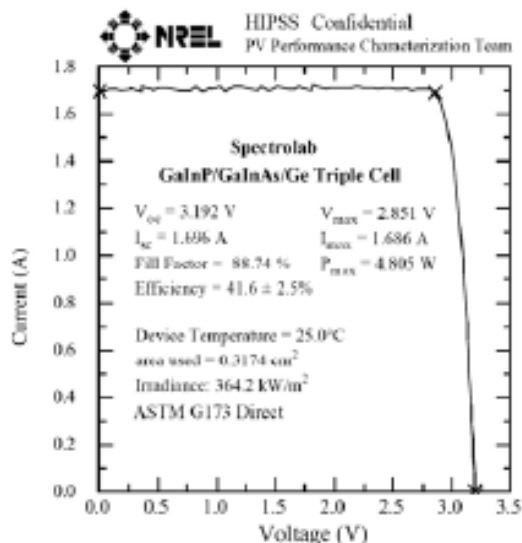


図8 41.6%格子整合GaInP/GaInAs/Ge
3接合セルの364倍集光I-V特性

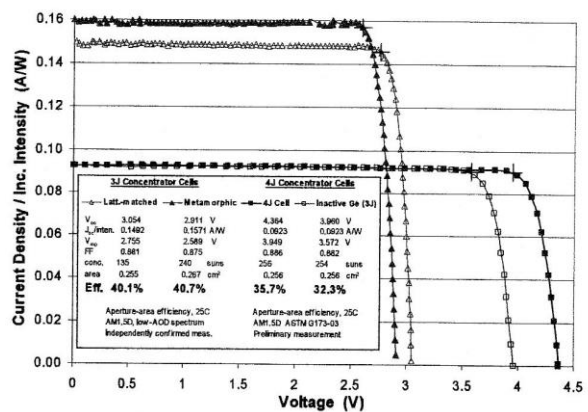


図9 4接合GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge
集光セルのI-V特性

先に、Ge基板上にMOCVD成長によりGaInP/GaInAs/Ge3接合セル(面積 0.2669cm^2)のAM1.5Dの240倍集光で40.7%の高効率化を達成しているが、今回、格子整合系GaInP/GaInAs/Ge3接合セルの364倍集光で効率41.6%の世界最高効率を達成した。グリッドのシャドー損失の低減と直列抵抗の低減が、改善点である。図8に、世界最高効率41.6%の格子整合GaInP/GaInAs/Ge3接合セルの364倍集光I-V特性を示す。さらに、次世代集光型太陽電池として、4~6接合セルも検討されている。GaInP(1.86eV)/AlGaInAs(1.62eV)/GaInAs(1.38eV)

/Ge (0.67eV) 4接合セル (面積0.256cm²) が作製され、図9に示すように、AM1.5Dの256倍集光で効率36.9%を得ている。バンドギャップ1.9eV/1.43eV/1.03eV/0.67eVの4接合セルで効率47%が期待できる。2010年までに、モジュール効率40%、電力コスト0.15ドル/kWh、2015年までに、43%、0.07ドル/kWhを目標としている。また、2010年に、300MWの集光型多接合セル生産の計画であるとの事である。

このように、III-V 族化合物半導体を用いた集光型多接合太陽電池の高効率化が進展し、当面は、III-V 族化合物半導体を用いた集光型多接合太陽電池が 50%以上の超高効率を実現できる唯一の解と考えられる。

4.2 結晶Si太陽電池分野：

やはり。現在の太陽電池市場を支配する結晶シリコン系太陽電池に関する発表が多かった。

(1) W.C. Sinkeら (ECN) は、“Wafer-Based Crystalline Silicon Modules at 1Euro/Wp: Final Results from the CRYSTALCLEAR Integrated Project” と題して、本年6月に5.5年のプロジェクトを終了したECの産学連携コンソシアム“CRYSTALCLEAR”プロジェクトの最終報告を行った。BP Solar、DeutscheCell、Deutsche Solar、Isofoton、Photowatt、REC、Scanwafer、Shell Solar、RWE Schott Solarの9社とECN、CNRS、Fraunhofer ISE、IMEC、Univ. Konstanz、UPM、Univ. Utrechtの7大学・機関から成り、W.C. Sinke (ECN) がリーダーであった。基礎的研究から技術開発に及び、Si原料問題の解決、実用モジュール効率の向上 (13.5%→16%、2010年)、モジュールコスト低減 (1Euro/Wp、累積モジュール出荷時10GW時) を目指す。図10に示すように、7つの技術開発テーマに関して、概略と最終結果が述べられた。2004年1月から2009年6月までのプロジェクトで、5年間の予算総額は28百万ユーロで、ECから16百万ユーロ、残りはパートナーから提供される計画であった。低コストSi原料においては、Fe、Cr、Ni等の重金属の影響とゲッターリング効果が検討されると共に、インゴット成長の大型化 (450kg、600kg) がはかられた。薄型セルも検討され、laser firingによるlocal Al-BSFを用い、単結晶Siにおいては、図11に示すように、135μm厚、面積149cm²セルで18.3% (Jsc=37.8mA/cm²、Voc=643mV、FF=75.2%) が得られている。

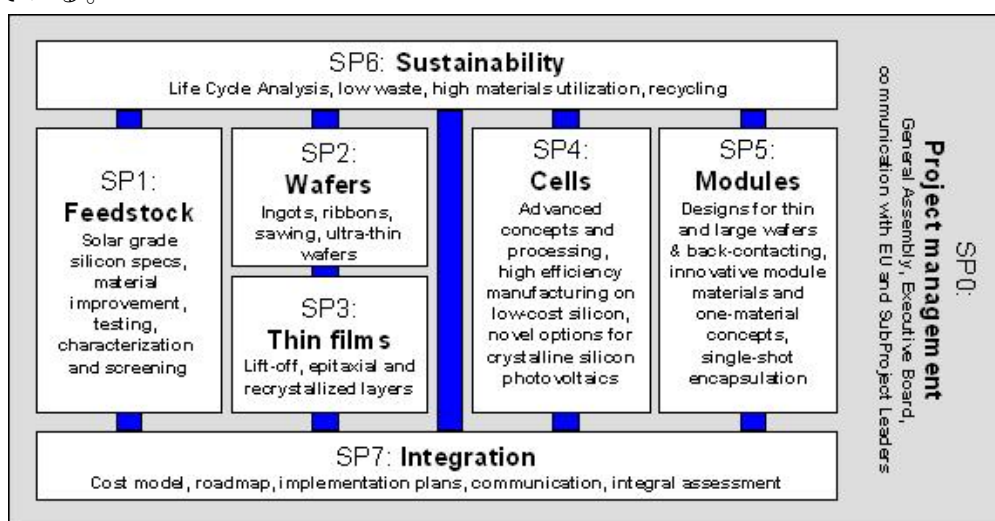


図10 CRYSTALCLEARプロジェクトの概要

High-efficiency thin cell development: monocrystalline Si, front & rear contacts

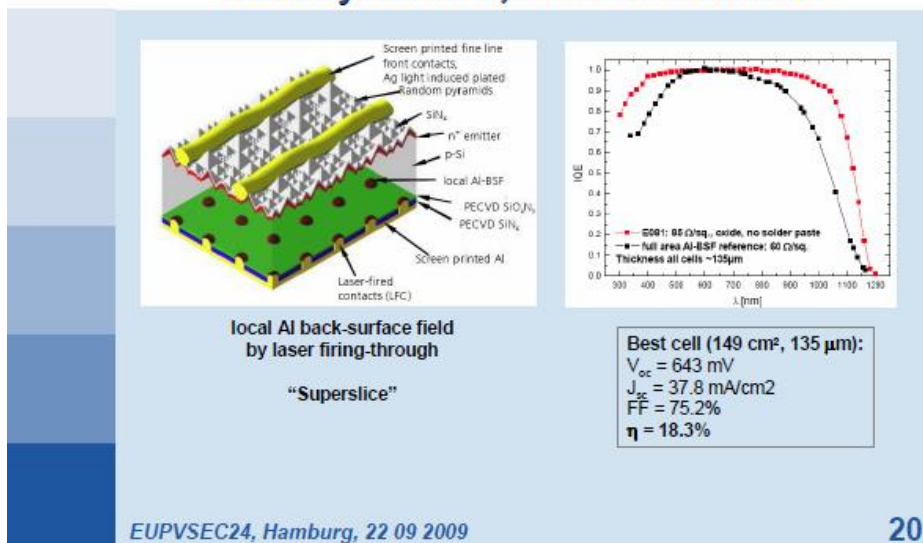


図 1 1 高効率薄型単結晶Si太陽電池

High-efficiency thin cell development: multicrystalline Si, rear contacts

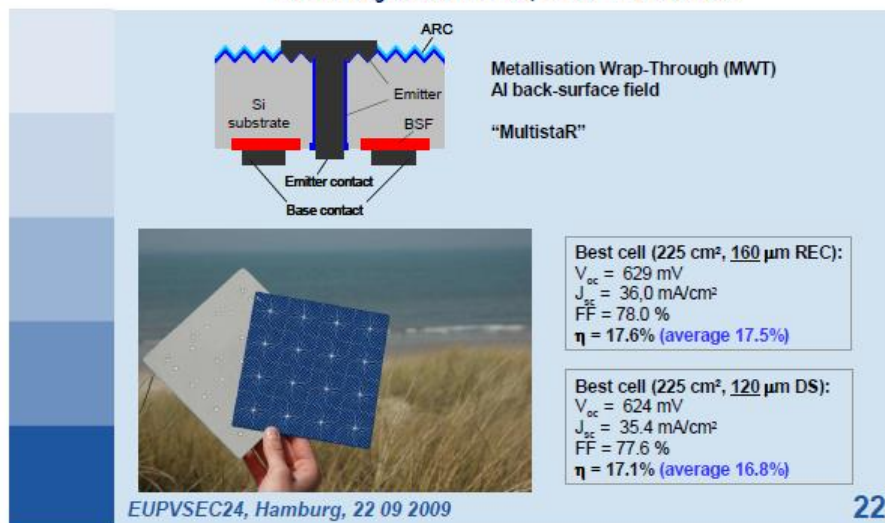
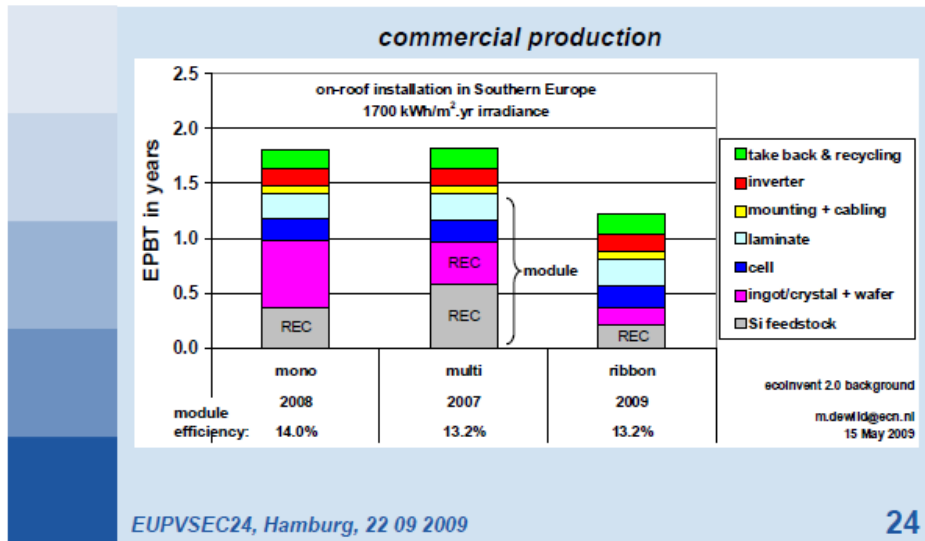


図 1 2 高効率薄型裏面コンタクト多結晶Siセル

多結晶Siにおいては、図 1 2 に示すように、薄型裏面コンタクトセルの160 μ m厚、面積225cm²セルで17.6% (J_{sc}=36.0mA/cm²、V_{oc}=629mV、FF=78.0%)、120 μ m厚、面積225cm²セルで17.1% (J_{sc}=35.4mA/cm²、V_{oc}=624mV、FF=77.6%) が得られている。モジュール効率16.4%の世界最高効率も達成されている。エネルギーペイバックタイムも試算され、図 1 3 に示すように、結晶Siで1.75年、リボンで1.2年と試算されている。情報は、www.ipcrystalclear.infoで、入手できるとの事である。

Sustainability analysis:
energy pay-back time wafer Si PV systems



EUPVSEC24, Hamburg, 22 09 2009

24

図 1 3 エネルギーペイバックタイムの評価結果

(2) K. Hesse (Wacker-Chemie) は、“Status and Development of Solar-grade Silicon Feedstock” と題して、太陽電池用ポリSi原料生産の動向とWackerの取り組みを報告した。

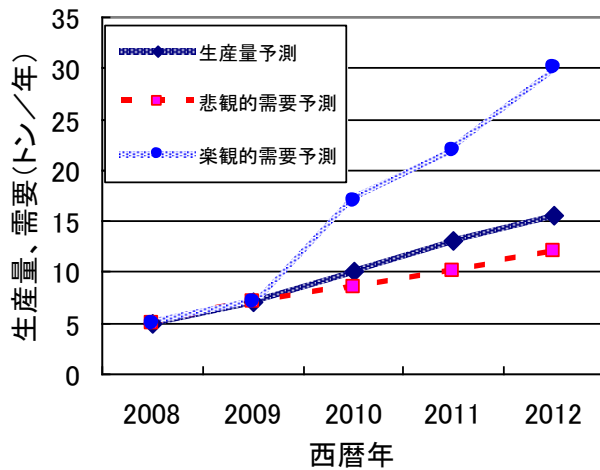


図 1 4 太陽電池用原料Siの需要予測

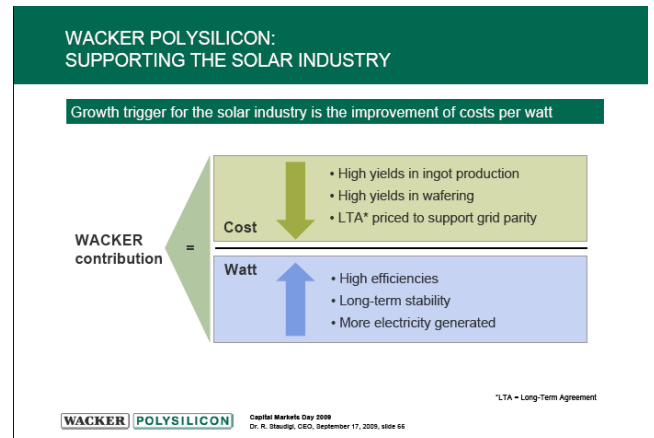


図 1 5 Wackerによる太陽電池への貢献シナリオ

2008年の太陽電池生産のうち、単結晶Siが38%、多結晶Siが49%と合わせて87%と、結晶Si太陽電池が主流を占め、EPIAによると、2013年段階でも、75%が結晶Siだろうと予測され、ポリシリコン生産の重要性は引き続き。図 1 4 に、2012年までの原料Siの需要予測と生産量予測を示す。2012年での需要は12~30万 t /年と2008年の2.4~6倍に増大すると予測している。なお、2012年における原料メーカー各社の総生産量（現行生産量+アナウンス値）は15.5万 t /年である。図 1 5 は、Wackerが考える太陽電池への貢献シナリオを示す。

図 1 6 に示すように、Wackerの生産量は、2006年の6500 t /年、2008年末の1.5万t/年から2010末までに2.5万 t /年、2012年までに3.5万t/年までに増強するとのアナウンスがあった。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、等があるが、Wacker自身が2000年から2006年にかけて製造コストを46%削減している。

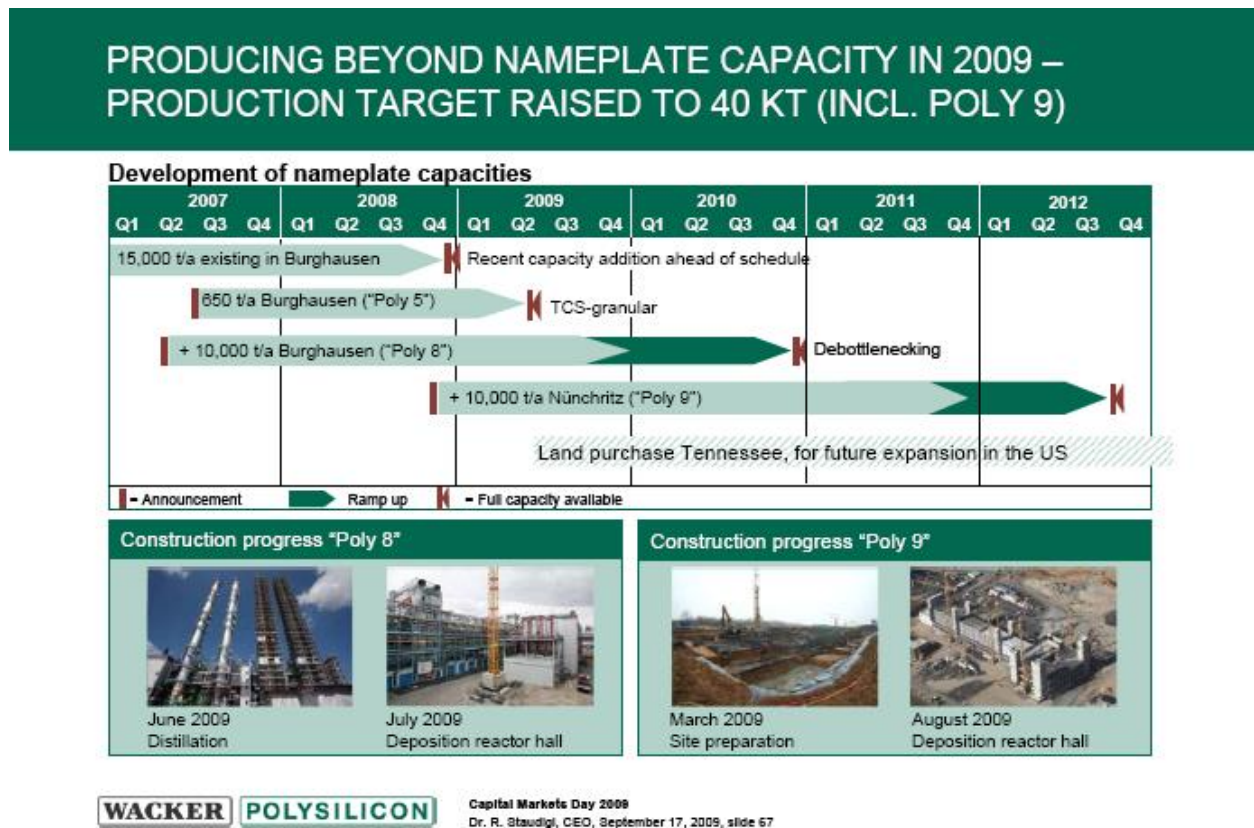


図 1 6 Wackerにおけるポリシリコン生産増産計画

(3) J. Benickら (Fraunhofer ISE) は、“High Efficiency n-Type Si Solar Cells with Front Side Boron Emitter” と題して、n型Siベースの高効率太陽電池について報告した。Bドーパ型ベース結晶Siセルの光劣化を避けるため、n型基板を用いた研究開発が行われている。n型基板は、msオーダーの高キャリア寿命を持つが、表面エミッター構造セルでは、効率23%以下である。また、表面エミッターnベースセルでは、光照射や保存下で、Bエミッターへの光照射効果やエミッター表面への電荷析出による特性劣化が課題であった。今回、図 1 7 に示す表面エミッターのn型Siベースの Al_2O_3 パッシベーションPERL (passivated emitter with rear locally diffused) セル構造が検討された。250 μ m厚、1 Ω cmのn型FZ基板が用いられた。ボロンエミッターが検討され、高効率タイプは、BSGを用いた890°Cのボロン拡散により表面ボロン濃度を $6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ と低くし、1.5 μ mの深い接合を形成し、工業タイプは、 BBr_3 を用いた890°Cのボロン拡散により表面ボロン濃度を $8 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ と高くし、0.4 μ mの浅い接合を形成している。n型Siの裏面パッシベーションとして、熱酸化 SiO_2 膜とPECVD Si_3N_4 膜が検討され、各々、4.8cm/s、7.6cm/sの低表面再結合速度、717mV、712mVの高Vocが得られている。ALD (原子層堆積) 法 Al_2O_3 によるボロンエミッター表面パッシベーション

が検討され、20nm厚 Al_2O_3 膜の425°Cのフォーミングガスアニール（FGA）により、 $11fA/cm^2$ の低飽和電流密度が得られている。表1、表2に、高効率タイプ、工業タイプの面積 $4cm^2$ のPERLセルのAM1.5Gでの特性を示す。高効率タイプで効率23.4%、工業タイプで効率21.8%の高効率化が実現している。また、1sunでの長期試験でも、本構造のセルは安定である結果が得られている。

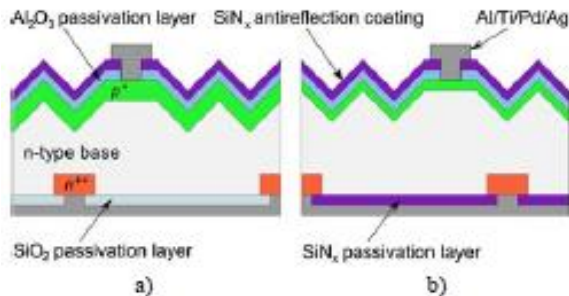


図17 n型Siベースの Al_2O_3 パッシベーションPERLセルの構造

表1 高効率タイプのPERLセルの特性

	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
Average (28 cells)	696.9 ± 5.6	40.9 ± 0.3	78.8 ± 1.8	22.5 ± 0.7
Best	703.6	41.5	80.2	23.4*

* independently confirmed at Fraunhofer ISE CalLab

表2 工業タイプのPERLセルの特性

	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
Average	673.6 ± 2.3	40.5 ± 0.1	78.1 ± 0.1	21.3 ± 0.4
Best	676.0	40.6	79.4	21.8

(4) F. Henleyら (Silicon Genesis) は、” Kerf-Free 20-150 μm c-Si Wafering for Thin PV Manufacturing” と題して、水素イオン注入によるスマートカット法を用いたカーフロスフリーの20~150 μm 厚の薄型結晶Siウエハリングに関する発表を行った。同社は、1999年に米国・サンノゼに設立され、65名の人員である。図18には、ワイヤソーを用いた場合と本方法との比較を示す。図19には、本方法による125mm x 125mmの20 μm 厚の薄型結晶Siウエハを示す。この講演の中で、三洋電機の98 μm 厚HIT太陽電池で効率22.8%の実現、林豊氏による薄型化による結晶Si太陽電池の高効率化の試算結果が紹介され、薄型化の可能性が強調された。

SiGen PolyMax™ vs. Wire Saw

SiGen PolyMax™

- Enhanced c-Si wafers
- 2x to 4x more wafers
- Reduction: ~\$1/wafer
- No Kerf-loss

Wire Saw

- Poor TTV, micro-cracks
- No roadmap to <100 μm
- High cost of consumables

図18 ワイヤソーを用いた場合と本方法との比較



125mm x 125mm – First ever kerf-free 20 μm Mono c-Si Solar PV Foil

図19 本方法による125mm x 125mmの20 μm 厚の薄型結晶Siウエハ

4. 3 アモルファス、ナノ／微結晶薄膜 Si 太陽電池分野：

結晶Si太陽電池に次いで、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。

(1) C. Ballifら(EPFL)は、” Light Trapping and Microcrystalline Si Growth Management for High Efficiency Micromorph Cells” と題して、微結晶薄膜太陽電池の高効率化に関する試みが報告された。今回は、Light Trappingと自由キャリア吸収低減、プラズマ処理によるVoc改善やTi添加によるクラック抑制などが検討され、プラスチック基板上の微結晶タンデムセルで、初期効率11.2%、安定化効率9.8%が得られている。また、ガラス基板上のタンデムセルも検討されている。タンデムセルの場合、中間反射構造が重要で、SiO_xとZnOが検討されている。屈折率制御、量子閉じ込め効果も検討され、初期効率13.3% (Voc=1.36V、Jsc=13.8mA/cm²、FF=70.8%) が実現している。安定化効率14%の実現も可能としている。また、ナノワイヤセルも検討され、効率9.48%が得られている。

(2) T. Brammer (Sunfilm) は、” Status of the Thin-Film Silicon Tandem Production Line at Sontor” と題して、同社の薄膜Siタンデム製造の状況が報告された。1.1mx1.3mのタンデムセルモジュールの平均安定化効率(total area)は、2008年6月の5.9%から2009年8月の8%へ改善がはかられている。Applied Materials (AMAT) 社の装置を導入し、2.2mx2.6mモジュールも試作され、安定化total-area効率8.25% (aperture効率8.5%)、472.5Wp (Voc=285V、Isc=2.64A、FF=62.6%) が実現している。2010年には、150MWの生産規模を計画している。商品としては、1.1mx1.3m、1.1mx1.7m、2.2mx2.6mがあるとの事である。

AMAT社、Oerlikon社やULVACなどからは、プラズマCVDからなる薄膜太陽電池の大型(1,4~5.7m²)製造システムの報告や展示があった。資金があれば、薄膜太陽電池製造分野に参加できる可能性があり、脅威である。

薄膜Si太陽電池分野においても、高効率化、コスト低減や長寿命化に向け、原子レベルでの構造や界面の解析、光劣化機構の解明と抜本的解決などの基礎的研究に加え、新材料や新型構造による高効率化、高速堆積、大面積基板、TCO付基板の低コスト化、歩留まり向上などに関する技術開発が重要であると考えられる。

4. 4 CIGS、II—VI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) D. Lincot (CNRS) は、CIGS 太陽電池の高効率化に及ぼすバッファ層の役割について、招待講演を行った。CdS バッファ層が長く用いられてきた。それは、CIS と格子整合に近く、界面再結合が少ない、chemical bath deposition プロセスにおける選択エッチングに

よる in situ 表面クリーニング効果、CIGS 表面の優れたパッシベーション効果があるからであるが、2.3eV 以上の UV 領域での損失や Cd の問題がある。ZnO も検討されているが、高い界面再結合、スパッタ損傷の課題がある。(Zn,Mg) O、ZnS、Zn(O, OH, S)、In₂S₃、In(S,O,Na)などバッファ層も検討されている。ALD 成長 ZnMgO バッファ層を用いた CIGS セルで効率 18% の状況である。In₂S₃ バッファ層の Cu が In₂S₃ 層に拡散し、CuIn₂S₃ が形成されるとの事である。AGU、NREL で、In₂S₃ バッファ層を用いた CIGS セルで効率 18.5% の状況である。

(2) L. Stolt (Solibro) は、"Global Survey on CIGS Solar Module Production"と題して、CIGS 太陽電池生産の状況と今後の計画について報告すると共に、Solibro 社の状況を報告した。

表 3 CIGS 太陽電池生産の現行生産量と進行中の生産規模

企業名	現行生産量 (MW)	進行中の生産規模 (MW)
Wuth Solar	30	
Showa Shell	20	60
Honda Soltec	27.5	
Solibro	30	+15 and 90
Auanciv	20	
Johano Solar	30	
Sulfurcell	35	
Sunshine PV	30	
Global Solar	75	
Nanosolar	pilot	640
Solopower	pilot	
Ascent	pilot	30
Solyndia	pilot	500

表 3 には、CIGS 太陽電池生産の現行生産量と進行中の生産規模を示す。わが国では、ホンダソルテックが年産 27.5MW、昭和シェルソーラーは 20MW の CIGS 太陽電池の生産能力を有し、2009 年には 60MW に増産するとの事である。Wuerth Solar 社の 2008 年の CIGS 太陽電池の生産量は 30MW で、30x30cm² モジュールについては、1991 年の効率 8.3% から現在約 15% に向上がはかられ、60x120cm² モジュールについては、13.2% で、エネルギーペイバックタイムも 1.5 年と結晶 Si 系より良いとしている。今後、継続的な薄膜技術向上をはかれば、2012 年までには、数 GW 生産が可能だろうとしている。

ドイツの太陽電池メーカーが、CIGS 型太陽電池の生産や出荷を相次いで開始する。このうち、独 Q-Cells AG が出資する独 Solibro GmbH は、2007 年 8 月に 25-30MW の工場を設置し、2008 年 12 月には 90MW、2010 年には 150MW に生産増強の計画である。現在のモジュール変換効率のベストは、0.75m² モジュールで total area 効率 12.3% (0.684m² aperture area 効率 13.5%) との事である。2010 年に、total area 効率 11~12% の 85.5W を出荷予定である。

この分野では、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が課題である。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と考えられる。

4. 5 新材料・新型太陽電池：

(1) M. Green ら (UNSW) は、” Progress with All-Silicon Tandem Cells on Glass Using Silicon Quantum Dots in Silicon - Based Dielectric Matrices” と題して、第 3 世代 PV のうち、Si ベースのタンデムセルの試みをプレーナリ講演した。Si 系 3 接合タンデムセルで効率 47.5% が期待できる。図 20 に示すように、非化学量論的組成の SiO、SiN、SiC 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。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。

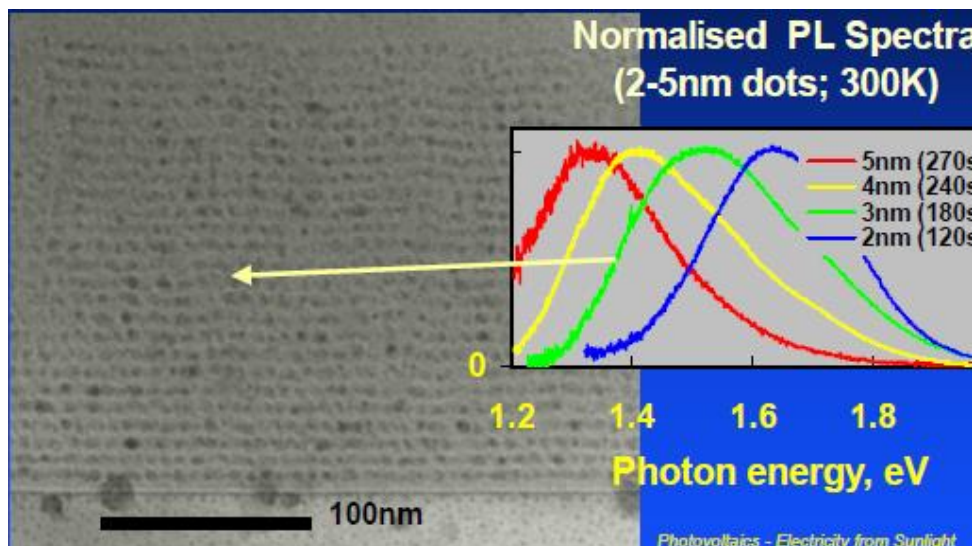


図 20 量子ドット (QD) の TEM 像と QD からの室温フォトルミネッセンス

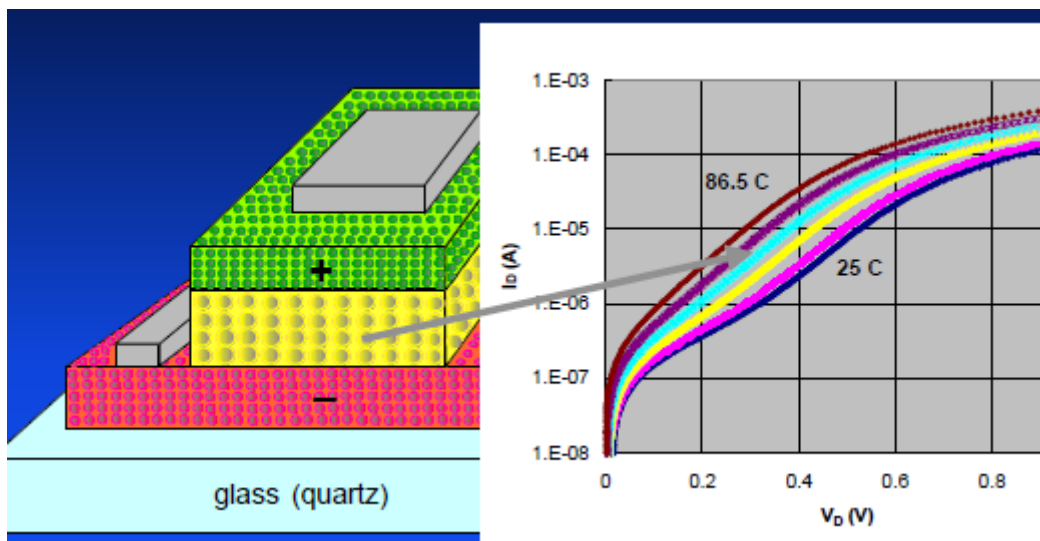


図 21 Si-QD ダイオードの構造と電流-電圧特性

2eV/1.5eV/1.1eV (Si) の3接合セルをターゲットとして、今回は、4nmQDに注力した。Si-QDsのダイオードが作製され、図21に、Si-QDダイオードの電流—電圧特性を示す。詳しくは、D.F. Wurtlら (UNSW) による ” Effects of Post-Metallisation Treatments on the Electrical and Photovoltaic Characteristics of Silicon Quantum Dot Solar Cells on Quartz Substrates ” で述べられた。1mm厚の石英基板の上に、4nmQDと2nmのトンネルバリア層の70層からなるp-on-nのダイオードが作製されている。ダイオード層の厚さは420nm、面積は2-10mm²である。Si-QDsのVocターゲットは700mVであるが、高抵抗の現状で、光伝導効果で、何とかVoc490mVが得られているとのことである。N₂ガスアニールやAr:H₂のフォーミングガスアニール (FGA) が検討されている。350°CのFGAで、直列抵抗R_sは1/3に低減し、R_s=10kΩ cmが得られているが、シャント抵抗R_{sh}も減少し、R_{sh}=1MΩ cm²である。この例では、I_{sc}は1x10⁻⁶Aから3x10⁻⁶Aへ、Vocも350mVから410mVへと改善がはかられている。低FFは直列抵抗であり、また、ダイオードのideality factorもn=2~4と結晶Siの値とはかけはなれている。課題として、電気輸送と低抵抗化、再結合効果の解明と抑制、量子トンネリングバリア層、Si-QD成長の改善、ドーピング、metallisation、セル設計などがある。

(2) A. Luqueら (UPM) は、 ” New Approaches to the Intermediate Band Solar Cell Concept ” と題して、中間バンド構造太陽電池の現状を紹介した。単接合セルのI_{sc}—Vocのトレードオフを解決するために、中間バンド構造太陽電池を提案している。1.95eV、1.24eV、0.71eVの多重光励起過程の利用により、理論効率63.2%を試算している。グラスゴー大との共同研究で、10層QD構造で、バルクセルに比べて、10⁻²倍の収集電流の増分を得ているが、Vocは0.84Vから0.66Vに低下している。この他、他機関での研究状況が紹介された。最近の試みとして、CuInS₂:Ti-QDセルで効率10.7% (Voc=734mV、J_{sc}=21.8mA/cm²、FF=0.67) を得ているとの事である。

(3) 有機太陽電池に関して、S.Gevorgyanら (RISOE National Lab.) ” Production and Stability of Polymer Solar Cells: from Spin Coating and Metal Evaporation to Full Roll-to-Roll Solution Processing ” と題して、有機太陽電池の低コストプロセスの試みが発表された。セル効率6.77%、効率3.9%モジュールや1年以上の安定性の状況であり、単接合セル、多接合セルで、各々、効率10%、15%の実現が期待されている。同研究所では、19名の陣容で、スピンコーティングによる太陽電池製造、信頼性評価に関する研究開発を行っている。面積4.8cm²、120cm²のPCEセルで、各々、効率2.3%、1.7%が実現している。1m x 1.7mの11Wモジュールも試作されている。18機関によるラウンドロビンテストの状況、ザンビアにおける子供達のためのスクールの状況も報告された。コスト試算もされ、現状は8.5ユーロ/Wだが、将来、4.8ユーロ/W、110ユーロ/m²が可能としている。

また、色素・有機太陽電池の分野では、効率15%を目指したセルの高効率化、高信頼度化の検討が必要であり、公立の公的機関による効率測定の実証が必要であることが指摘されている。


4. 6 国家プログラム、政策：

(1) W.C. Sinke (ECN) は、” The Implementation Plan for the Strategic Research Agenda of the EU PV Technology Platform” と題して、Sinke氏が委員長として、24名で構成されたワーキンググループ (Science, Technology and Applications of the EU PV Technology Platform) がまとめた「EUにおけるPVの研究開発の今後の方向性」 (Strategic Research Agenda) の改訂版 (2009.8) に関する報告があった。

表4 Strategic Research Agendaに含まれる主要ターゲットの要約

Overall PV development framework

(figures to guide the mind only)



ROUNDED, INDICATIVE FIGURES*	1980	1995	2009	2020	2030	Long term potential
Typical turn-key system price (€/Wp)	> 30	10	3 - 4.5**	1.5 - 2.3	< 1	0.5
Typical electricity generation costs @ 1300 kWh/kW _p -year*** (€/kWh)	> 2	0.7	0.20 - 0.30	0.10 - 0.15	< 0.07	0.03
Commercial flat-plate module efficiencies	up to 8%	up to 12%	up to 20%	up to 23%	up to 25%	up to 40%
Commercial concentrator module efficiencies	(~10%)	up to 20%	up to 30%	up to 35%	up to 40%	up to 60%
System energy pay-back time @ 1300 kWh/kW _p -year (years)	> 10	> 5	< 2	< 1	0.5	0.25

* Monetary quantities are expressed in EUR at 2009 values.
 ** The range covers power plants (at the lower end of the price range), large systems on buildings (middle of the range) and small systems on buildings (upper end of the range).
 *** Calculated using the PV TP's 'NPV/FIT' model [NPVTP] with the parameters of amortisation over 25 years, 6% cost of capital, 1% O&M & insurance costs

Budget breakdown – 5 yrs total (1)

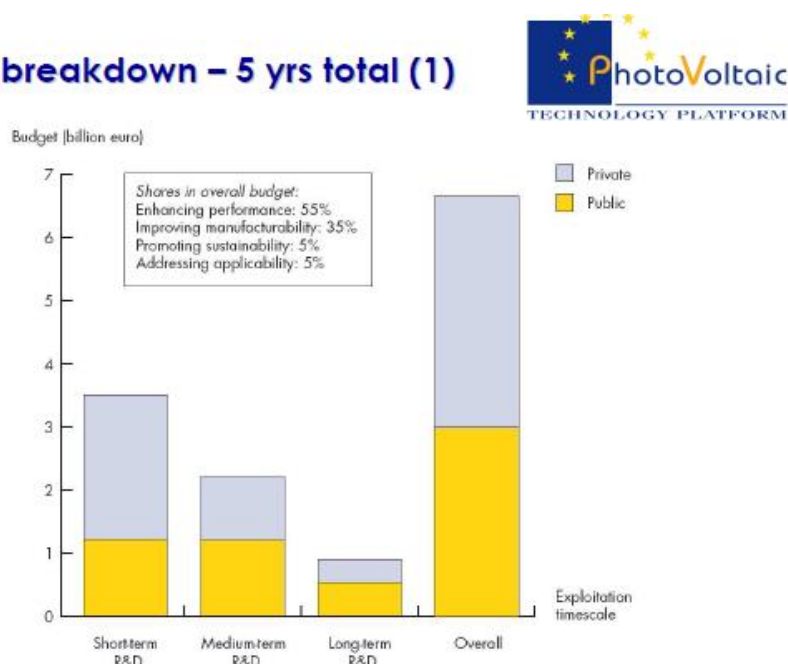


図2 2 5年間に技術開発に必要な予算規模

Budget breakdown – 5 yrs total (2)

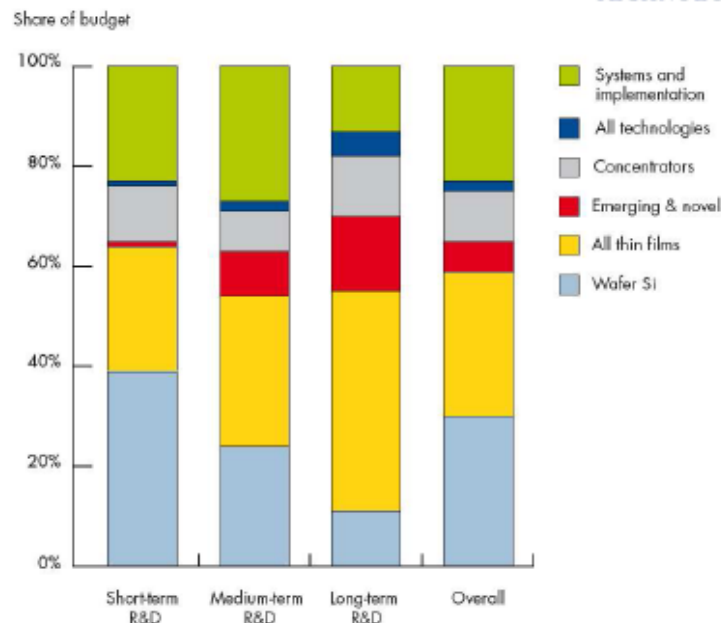


図 2 3 5年間の予算の分野別内訳

太陽電池の効率等の性能目標、コスト・価格目標を明示し、それを踏まえて各種太陽電池、モジュール、システム分野での短期、中期、長期研究開発課題が示されている。表 4 には、Strategic Research Agendaに含まれる主要技術開発ターゲットの要約を示す。今回は、上記目標を達成するための予算規模や各太陽電池や要素技術の重点化割合も言及されている。図 2 2 は、5年間に技術開発に必要な予算規模を示す。短期的課題に35億ユーロ（public13億ユーロ、private22億ユーロ）、中期的課題に22億ユーロ（public13億ユーロ、private9億ユーロ）、長期的課題に9億ユーロ（public5億ユーロ、private4億ユーロ）で、計66億ユーロ（public31億ユーロ、private35億ユーロ）が必要であるとしている。内、高性能化の技術開発に55%、生産性向上の技術開発に35%が、主である。図 2 3 には、5年間の予算の分野別内訳を示す。結晶Siに30%、全薄膜に29%、集光に10%、新材料や革新型に6%、システムなど23%となっている。予算の確保に当っては、ECやEPIAと協議する必要があるとしている。わが国の革新型に厚い現在の予算配分は、太陽電池産業の核となるべき結晶Si系、薄膜系、集光の3本柱やシステムにおける技術開発を手薄にし、欧州に水をあけられる危惧があり、問題を生じることが懸念される。

(2) S. Stephens (DOE) は、“U. S. PV Landscape - Funding, Policies, and Promise”と題して、開会セッションで、米国のPV政策について報告した。図 2 4 には、ラスベガス近くに設置されている北米最大の太陽光発電システムをオバマ大統領が視察した際の写真を示す。オバマ大統領のPVに対する考えの詳細は分からないが、この写真は、PVの推進に価値があるとの事である。図 2 5 には、米国における太陽光発電予算の変遷を示す。過去4年間、PV予算は急激に増加した。最初の増加は、2007年度で、“Solar America

Initiative”の開始で、grid parityのターゲットを2020年から2015年に前倒ししている。最近の2009、2010年度の予算増加は、PVの導入・普及や国内製造の強化を狙ったものである。2010年度の集光関係予算が約1/4を占めており、米国の集光PVにかかる期待が大きい。図26には、DOEにおける太陽光発電の研究開発、製造とプロジェクトの概要を示す。Next Generationプロジェクトでは、材料科学や革新型デバイスから始まり、デバイスアーキテクチャ、プロトデバイス作製、製品開発・プロセス開発への流れを意図している。



図24 オバマ大統領の太陽光発電システム視察

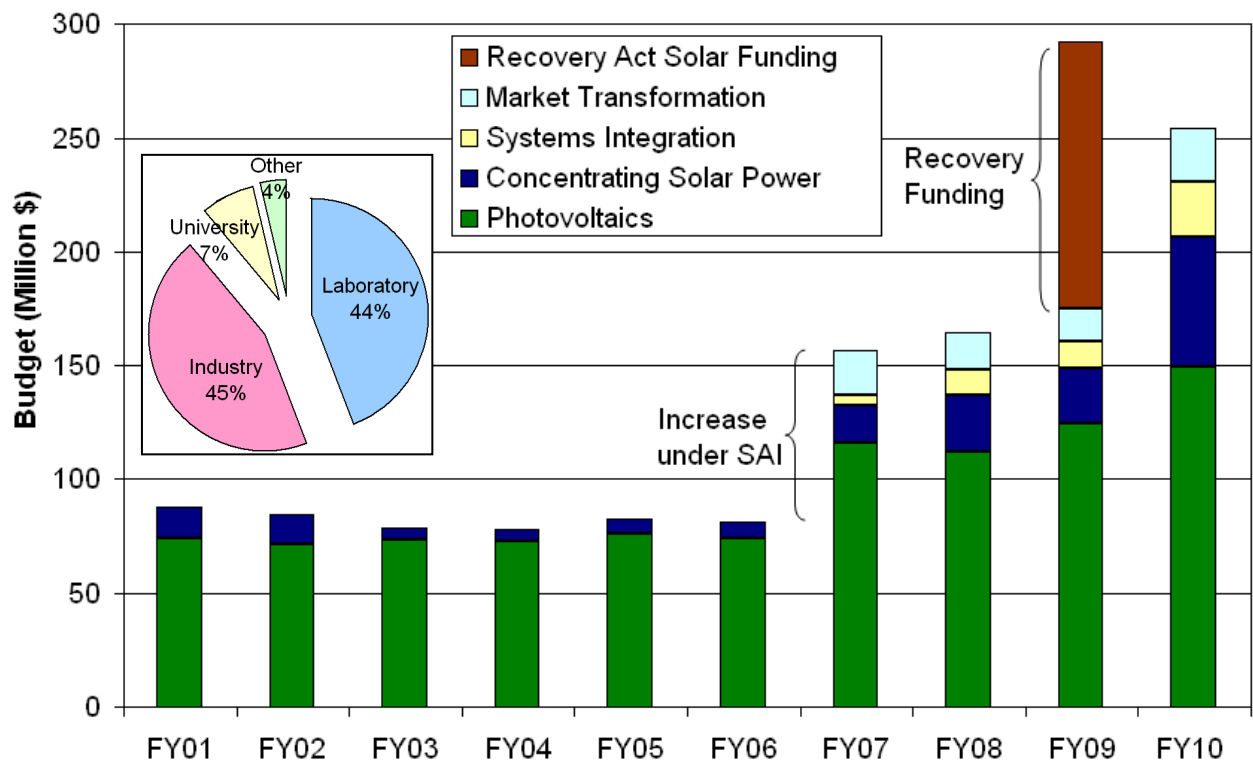


図25 米国における太陽光発電予算の変遷

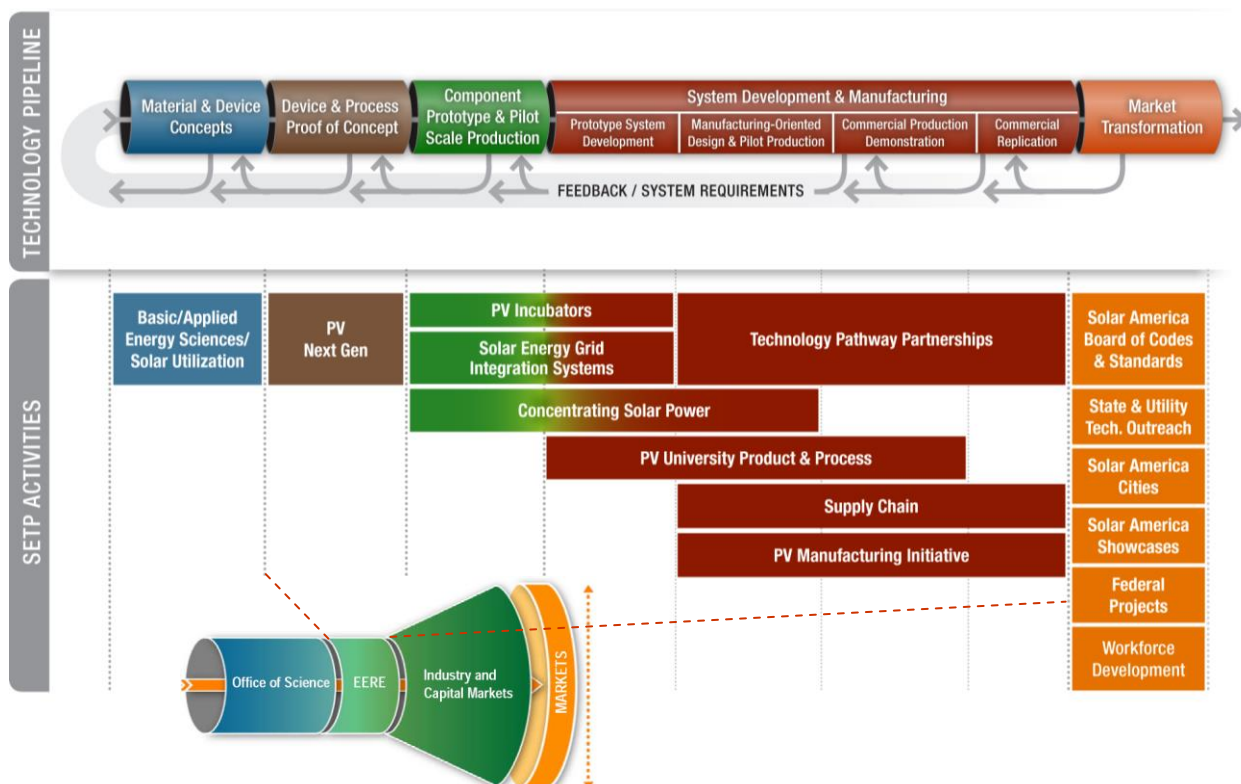


図 2 6 DOEにおける太陽光発電研究開発、製造とプロジェクトの概要

5. 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。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。

現在主流の結晶Si系もfeed stock問題も解消の気運にあり、本会議での発表論文件数が412件と多く、企業や大学、研究所による研究開発の裾野の広がり是他分野を圧倒しており、今後10年は結晶Si系が主流であり続け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。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。特に、ECのCRYSTALCLEAプロジェクトなどに代表される産学連携プログラムは、今後のわが国の研究開発の参考になろう。また、中国、台湾、韓国における結晶Si太陽電池の動向は脅威である。半導体LSIの二の舞となることが懸念される。わが国には、太陽光発電に関し、他国が真似をできない高度な研究開発を行うことが求められている。

超高効率太陽電池や集光型太陽電池分野でも、EC主導のFULLSPECTRUMプロジェクトに加え、米国のHiPerf PVプロジェクトがある。ここに来て、集光式太陽光発電システムの重要性が再認識されており、わが国における超高効率太陽電池・材料、集光モジュールおよびシステムに関する研究開発の再強化の必要性を痛感した。また、集光型多接合多様電池の高効率化が進み、50%以上の超高効率を達成する一番手は、III-V化合物半導体を用いた集光型多接合太陽電池であることが示されてきたと言えよう。

しかし、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ですが、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。

EU-PVSECは、毎年9月か10月に開催予定で、次回の25th EU-PVSECは世界会議WCPEC-5となり、2010年9月6日～10日に、スペインのバレンシアで開催予定である。EU-PVSECは展示会開催が主になりつつあり、展示場を備えた大都市でしか開催できない状況は、寂しい気がする。

(以上)