

## PVSEC18 ショート速報[全体]

山口真史 (豊田工業大学)

会議名 : The 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference

開催期間 : 2009年1月19日-23日

開催場所 : Science City Conference Center (Kolkata, インド)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

現在主流の結晶Si系も課題であったfeed stock問題が、むしろ供給過多に動き、この問題は解決され、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。薄膜SiやCIGS太陽電池等の薄膜太陽電池や集光型太陽電池も、さらなる高効率化、低コスト化、生産性向上等により、結晶Si系に相当する地位の確立が期待できる。今回、Fraunhofer研究所による効率41.1%の世界最高効率の紹介もあり、40~50%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た。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

毎年開催される太陽光発電に関するアジア・オセアニア地区の国際会議である。今年は、21カ国から499名の参加者があった。前回の福岡でのPVSEC-17の参加者数1,450名に比べると少なく、昨年のムンバイでのテロの発生などが影響していると思われる。国別では、①インド276名、②日本を含む他のアジア136名、③欧州42名、④米国・カナダ30名、⑤オーストラリア15名の順であった。

20カ国から349件の論文発表があった。国別では、①インド110件、②日本69件、③米国24件、④オーストラリア20件、⑤韓国17件、⑥台湾15件、⑦中国14件、⑧ドイツ14件、の順であった。分野別では、①結晶Si系75件、②薄膜Si系75件、③基礎・新材料・素子70件、④CIGS/II-VI族系43件、⑤国家プログラム・政策・PV市場26件、⑥PVシステム26件、⑦III-V族・集光・宇宙15件、⑧PVモジュール・コンポーネント15件、の順であった。この他、学会併設の展示会には、57社の太陽電池関連企業が出展した。

## 2. 基調講演の概要

1) 黒川(東工大)は、"Future direction of PV system technologies around 2030 and beyond"と題して、基調講演を行った。原油価格の高騰や地球環境問題を背景に、太陽光発電など、クリーンエネルギーへの期待が高まっている。今後の太陽光発電の重要な方向性として、PVセル・モジュール技術開発、電池やパワーエレクトロニクス技術、系統安定化技術、地域レベルのシナリオ(蓄電)や地域レベルの系統連携(マイクログリッド)、大規模太陽光発電(VLSPV)、などが示された。全世界レベルで、2030年に120GW/年(年17.5兆円市場)、積算800GW、2050年に1070GW/年(年106兆円市場)、積算10TW、2075年に4,26TW/年(年365兆円市場)、積算75TW、2100年に4.56TW/年(年375兆円市場)、積算133TWを予想し、ドイツのAdvisor Committee on Global Changeがまとめた「世界のエネルギービジョン2100」を達成できるとしている。

2) W. Palz (World Council Renewable Energy) は、"Outlook for photovoltaic power in global markets"

と題して、基調講演を行った。2008年は、4GWのPVシステムが設置され、累積量として15GWとなった。製造会社は400社を超え、180億ユーロの売り上げとなり、400億ユーロを超える投資があった。PV用Siの消費量は、半導体産業を超えた。ドイツが世界のPVを先導している。2008年1.2GWが設置され、総計5GWを超え、ドイツの1%の電力供給に到達した。6万人の雇用につながっている。注目すべき動向として、①インテル、IBMやNational Semiconductorなど半導体企業の参入、②ENEL、EdF、Iberdrolaなど欧州電力企業の参入、③Southern California Edison、San Diego Gas & Electric Duke Energyなど 米国電力企業による Investment Tax Credit Law、などがある。しかし、最近の経済不況や投資危機に端を発して、PVの需要減少、過剰供給に加え、ドイツ銀行のPV株売り、などが懸念される。今後の課題として、太陽電池の製造コストの低減(1\$/W以下)がある。薄膜PVモジュールのいくつかは、1\$/Wに近づいており、低効率の弱点を克服しつつあり、結晶SiPVに伍してくることを期待している。一方、結晶SiPVも、課題であったSi原料が過剰供給に転じ、好ましくない供給制限がなければ、結晶SiPVの製造コストも薄膜PVコストと同様になる。両者の切磋琢磨を期待している。また、人類文明の維持発展の点では、“Energy Poor”な16億人へのPVによる電力供給を忘れてはならない。このためには、Off-gridが重要で、小規模PVシステムのクラスター化、Village micro-gridsが進むだろう。

3) 福田 (NEDO) は、“Overview of NEDO’s photovoltaic R&D projects” と題して、基調講演を行った。現状のモジュール効率10%、電力コスト50円/kWhから、2030年までには、モジュール効率22~25%、電力コスト7円/kWh、2050年までに、モジュール効率40%以上、電力コスト7円/kWh以下の実現を目指している。福田前首相が、洞爺湖サミットで述べた「Cool Earth50」に関連して、21の革新的技術開発計画が策定された。その一つが、革新的太陽光発電技術研究開発プロジェクトである。3つの研究開発拠点の概要が報告された。

4) M. Graetzel (EPFL) は、“色素増感型太陽電池の現状と将来”に関して、基調講演を行った。1991年に、TiO<sub>2</sub>-色素-電解質からなる太陽電池を”Nature”に発表以来、色素増感太陽電池が注目され、多くの機関、研究者が参入した。EPFLでのルテニウム色素 (N3、N719) ベースのもとに、種々の機関による色素増感太陽電池の研究開発動向の総合報告がなされた。高効率化については、EPFLが、2005年に0.158cm<sup>2</sup>セルで効率11.8%、シャープは、2006年に0.219cm<sup>2</sup>セルで効率11.1%を報告している。単接合で、効率12%が見えており、タンデム化により、効率15%が達成可能で、将来20%も期待できるとしている。モジュール化については、EPFLは、25cm<sup>2</sup>セルで効率5.3%、シャープは、25cm<sup>2</sup>セルで効率8.2%を達成し、10x10cm<sup>2</sup>セルで効率10%を当面の目標としている。高信頼度化については、2.5sunでの2900時間の加速試験結果も報告され、寿命20年も見えているとの事である。

### 3. 主なプレーナリ講演の概要

#### 3. 1 結晶シリコン太陽電池分野

A. Rohatgi (Georgia Tech.) は、“Road to cost effective silicon PV” と題して、コスト当たりの効率が低い結晶シリコン太陽電池の開発について、プレーナリ講演を行った。2007年の出荷ベースでみた場合、単結晶・多結晶を含む結晶系シリコン太陽電池のシェアは90%を超えており、依然として太陽電池の主流である。また、結晶シリコン系太陽電池の価格を左右してきた原料ポリシリコンの供給不足が今後解消され価格が下がる見込みであることから (~30 \$/kg)、結晶シリコン太陽電池の発電コストも順調に下がると予想され、他の太陽電池に対する価格競争力が失われることはないとした。Rohatgi のグループでは、スクリーン

印刷とスピンコーティングを基本技術とし、費用対効果の高い技術を用いて結晶シリコン太陽電池を高効率化することを目指している。今回は、熱拡散による pn 接合とスクリーン印刷電極に加え、裏面に誘電体膜パッシベーションを適用することで 20%を超える効率を達成したことを報告した。1 つは、裏面に熱拡散によって B-BSF を形成し、熱酸化膜でパッシベーションした後 Ag のスクリーン印刷でポイントコンタクトを形成してある。もう 1 つは、裏面をスピンコート形成した誘電体膜でパッシベートし、Al のスクリーン印刷と焼成によってローカル BSR 構造を実現している。

この他、田中ら（三洋電機）は、100cm<sup>2</sup>セルで効率 22.3%を実現し、2010 年に効率 23%を目指すとしている。

### 3. 2 薄膜シリコン太陽電池分野

1) 小長井（東工大）は、“Development of thin film full spectrum solar cells aiming at 40% efficiency toward 2050” と題して、プレーナリ講演を行った。NEDOの革新的太陽光発電技術研究開発プログラムでは、2010年度末までに、低倍集光で効率20%の実現を目指す。2014年度末までには、メカニカルスタック構造の5、6接合薄膜太陽電池の低倍集光で、効率30%を目指すと述べた。2.2eV (1.3V、a-SiO<sub>2</sub>、a-SiC) /1.7eV (1V、a-Si) /1.4eV (0.9V、a-SiGe、CdTe、CIGS、Siナノ) /1.1eV (0.6V、 $\mu$ c-Si、CIGS) /0.8eV (0.2V、Ge) の5接合セルの5接合薄膜セルを考えている。プラズモン効果も研究対象で、バンドエンジニアリング、薄膜集光、光マネージメントなどが主要研究テーマである。

2) 近藤ら（産総研）は、“Thin film silicon solar cells : present status and future outlook” と題して、薄膜Si太陽電池に関するプレーナリ講演を行った。薄膜Si太陽電池の課題は、低変換効率にある。高効率化には、多接合化と光マネージメントが必要である。3接合セルが検討され、a-Siセルの安定化効率向上に向けたa-Siの光劣化の基礎的理解や $\mu$ c-SiGeボトムセルの低バンドギャップ化が検討されている。光マネージメントについては、サブ波長構造やテクスチャ構造の最適化が検討されている。低コスト化には、大面積化、高堆積速度化、薄膜化が必要である。さらに、NEDOの革新的太陽光発電技術研究開発プログラムでは、2010年度末までに、効率20%の実現を目指す。2014年度末までには、メカニカルスタック構造の5、6接合薄膜太陽電池で、効率30%を目指すと述べた。機械的、光学的、電気的接続が可能なSmart Stackと名付けたメカニカル・スタック構造を検討対象として、新材料/Si(SiGe)/SiGe(Ge)がある。

3) S. Guhaら（UniSolar）は、“Amorphous and nano-crystalline thin film silicon” と題して、プレーナリ講演を行った。2007年の太陽電池モジュール出荷3.1GWの11%が薄膜系である。薄膜系のうち、First Solarが54.7%、UniSolarが14.1%、カネカが10.3%を占める。同社は、高効率化のため、①テクスチャ構造、Ag/ZnO裏面反射、②a-SiGeの改善、③ナノ結晶Siの開発（水素希釈プロファイル制御による粒径、欠陥密度制御）、④光劣化の低減、低コスト化のため、高周波堆積による高堆積速度、などを開発し、a-Si/a-SiGe/nc-Siの3接合セル（0.25cm<sup>2</sup>）で初期効率15.4%を実現している。また、フレキブル太陽電池も開発している。同社の生産規模も、2000年度の2MWから、2008年度73.6MW、2009年度145-150MWへと推移しつつある。コストも、2007年度の\$ 2.63/Wから、2008年度の\$ 2.03/W、さらには、材料、歩留まり、効率の改善により、2012年度\$ 1.1/Wを予想している。

### 3. 3 超高効率太陽電池分野

山口ら（豊田工大）は、“Super high efficiency multi-junction, concentrator and space solar cells” と題

して、プレーナリ講演を行った。山口らのグループは、セル接続用トンネル接合として、ダブルヘテロ (DH) 接合構造トンネル接合の提案の他、格子不整合を考慮したInGaAsミドルセルの提案、キャリア閉じ込め用ワイドバンドギャップAlInP裏面電界 (BSF) 層の提案、などの結果、InGaP/GaAs/InGaAsメカニカルスタック3接合セルで、効率 (1-sun) 33.3%の高効率化が実現している。こうした高効率化の進展とトップセル用材料InGaPの優れた耐放射線特性の発見の結果、InGaP/InGaAs/Ge3接合セルは、わが国でも、宇宙用太陽電池として実用化されている。また、電極設計、トンネル接合の改良などにより、200倍集光で効率39.2%が報告されている。550倍集光用大面積 (5,445cm<sup>2</sup>) 集光型3接合太陽電池モジュールも試作され、効率31.5%が得られ、かつ、屋外試験の結果、1年を通じて、平板型結晶Si太陽電池に比べて1.7倍の電気出力を得ており、大規模太陽光発電として有望であるとしている。最近の高効率化の研究開発動向も紹介された。シャープでは、高倍集光によるInGaP/InGaAs/Ge 3 接合セルの高効率化がなされている。セルサイズの最適化とグリッドピッチ等の最適設計により、InGaP/InGaAs/Ge3接合セルの1100倍集光で40.02%の高効率化を実現している。また、Fraunhofer ISEが、つい最近、世界最高効率値を塗り替えたことも紹介された。格子不整合GaInP/GaInAs/Ge3接合構造太陽電池の454倍集光で41.1%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、課題であった格子不整合に伴う転位の問題も検討され、バッファ層高効率化につながっている。

### 3. 4 銅・インジウム・セレン系および II-VI 化合物太陽電池分野

H.S. Ullal (NREL) は、“Polycrystalline thin film solar electric technologies” と題して、CIGSおよびCdTe太陽電池に関する招待講演を行った。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。NRELは、CIGSセルで 20.0%を達成している。CIGS太陽電池モジュールでは昭和シェルにより、30 x 30 cmで効率 15.22%が得られている。CdTe太陽電池では、NRELにより 1.132cm<sup>2</sup>セルで効率 16.5%が得られている。4874cm<sup>2</sup>モジュールで効率 10.9%の状況である。First Solar社は、2003年の生産能力 2MWから、2004年 6MW (コスト \$ 2.94/W)、2005年 21MW (コスト \$ 2.94/W) 2006年 60MW (コスト \$ 1.4/W)、2007年 207MW (\$ 1.25/W)、2008年 420-460MW (\$ 1.08/W) への推移を報告している。CIGS系の課題は、①吸収層と装置の標準化、②モジュールの高効率化、③フレキシブルモジュールの湿気対策、④柱状構造と代替プロセス、⑤吸収層の薄層化 (<1 μm)、⑥大面積化に向け、ストイキオメトリと均一化、などがある。CdTe太陽電池の課題は、①吸収層と装置の標準化、②モジュールの高効率化、③裏面コンタクトの安定性、④吸収層の薄層化 (<1 μm)、⑤大面積化に向け均一化、などがある。アナウンスを総計すると、2012年には、薄膜系で 9.9GWの生産規模となる。日本は、シャープ (a-Si)、カネカ (a-Si)、昭和シェル (CIS) が、各々1GWをはじめ、計 3.3GW、米国は、UniSolar (a-Si) 1GW、Nanosolar (CIS) 430MW、First Solar (CdTe) 197MWはじめ、計 2.3GWである。欧州は、First Solar (CdTe) 198MWはじめ、計 1.29GW、他の地域は、Best Solar (a-Si) 1GW、First Solar (CdTe) 788MWはじめ、計 2.99GWである。最近の経済不況もあり、増産規模や時期に不確かさがある。

### 4. おわりに

アジア・太平洋地区の次回国際会議第 19 回太陽光発電国際会議 (PVSEC-19) は、2009年 11月 9日～13日、韓国の済州島で開催予定である。