

IEEE 光起電力専門家会議ショート速報[太陽電池]

山口真史 (豊田工大)

会議名 : 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference

開催期間 : 2009年6月7日-12日

開催場所 : Downtown Marriott Philadelphia (フィラデルフィア、米国)

*****要 約*****
 1,348名の参加者があり、IEEE 光起電力専門家会議としては、これまでの最大の参加者であった。オバマ大統領の“再生および雇用創出”政策方針の下、再生可能エネルギーの導入および研究開発の強化の方向性が感じられた。2030年までに、1990年比30%のCO2排出削減が要求されており、3000GWの太陽光発電導入が必要である。そのためには、太陽電池の効率、コスト、寿命、導入の広域性・迅速性、プラグイン・ハイブリッドなどの新たな市場創出、など多くの課題がある。集光式太陽光（熱）発電も大きな可能性を秘めている。研究発表では、Fraunhofer ISEのグループによる世界最高効率41.1%の達成が話題となった。

1. 本会議の概要

これまで1年半毎に開催されてきた米国主催の太陽光発電会議で、前回から、毎年開催されることとなった。今回の会議の組織委員長は Tim Anderson (フロリダ大) で、プログラム委員長は Robert Walters (Naval Research Lab.) であった。今回は、IEEE と SEIA PV America Conference との共催で開催され、29カ国から1,348名の参加者があった。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。国別では、①米国 875名、②ドイツ 70名、③日本 49名、④韓国 38名、⑤カナダ 26名、⑥スペイン 23名、⑦台湾 22名、⑧オランダ 20名、⑨中国 13名、⑩オーストラリア 11名、⑪英国 11名の順であった。

665件の論文発表があった。国別では、①米国312件、②日本46件、③ドイツ42件、④台湾27件、⑤中国23件、⑥韓国20件、⑦インド19件、⑧オランダ19件、⑨スペイン18件、⑩英国16件の順であった。分野別では、①結晶Si系128件、②CIGSおよびII-VI族系125件、③基礎及び新材料121件、④薄膜Si系70件、⑤III-V及び集光68件、⑥PVシステム45件、⑦モジュール45件、⑧宇宙用40件、⑨その他22件、の順であった加えて、35件のLate News発表があった。

この他、123社の展示があった。

2. 主な講演の概要

2. 1 開会式基調講演

今回の会議は、IEEEとSEIA (Solar Energy Industries Association) との共催であるが、開会式をSEIA会長のR. Reschが仕切るなど、産業界の色彩の濃い会議となった。米国の太陽光発電累積導入量は、2008年末、①ドイツ5.3GW、②スペイン3.2GW、③日本2.15GWに次いで、1.17GWである。州別では、①カリフォルニア州530MW、②ニュージャージー州70MW、③コロラド州36MW、④ネバダ州34MW、⑤アリゾナ

州25MW、⑥ニューヨーク州22MW、⑦ハワイ州16MWの状況である。米国は、2008年、太陽電池生産量414MW、生産容量685MWと、対前年比+53%、+65%の成長を見せている。また、オバマ大統領の“再生および雇用創出”政策方針の下、再生可能エネルギーの導入および研究開発の強化の方向性が述べられた。日射量で比較すると、スペインはアラバマ州、ドイツはアラスカ州に相当し、太陽光発電に関して、米国は大きな可能性を持っていると強調された。

S. Baldwin (DOE) の基調講演では、オイル依存症とCO₂排出の課題が述べられた。2030年までに、1990年比30%のCO₂排出削減が要求されており、3000GWの太陽光発電導入が必要である。そのためには、太陽電池の効率、コスト、寿命、導入の広域性・迅速性、プラグイン・ハイブリッドなどの新たな市場創出、など多くの課題がある。集光式太陽光（熱）発電も大きな可能性を秘めている。材料問題も、考慮すべき課題である。太陽電池用希少元素の生産量と太陽電池生産量限界も述べられ、CdTeやCuInGaSe太陽電池は、年産10GWが限界であるとの事である。研究開発の重要性も述べられた。①材料／成長／評価解析／デバイス、②材料使用量の削減、③多接合構造、④第3世代太陽電池技術、などが重要であると述べた。

2. 2 超高効率太陽電池分野

F. DirmrothらFraunhofer ISEのグループは、つい最近、世界最高効率値を塗り替えた。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、ISC=380.5mA、Voc=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ィッドバッファ層や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。このように、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、40~50%以上の超効率を実現できる唯一の解と考えられる。

2. 3 CIGS および II-VI 族化合物多結晶薄膜太陽電池分野

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。NRELは、0.42cm²の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 30cmで効率15.22%が得られている。CdTe太陽電池では、NRELにより1.132cm²セルで効率16.5%が得られている。4874cm²モジュールで効率10.9%の状況である。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（<1μm）、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（<1μm）、⑤大面積化に向け均一化、などがある。

薄膜太陽電池の製造規模として、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をはじめ、計2.3GWである。欧州は、First Solar（CdTe）198MWをはじめ、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。

2. 4 結晶 Si 太陽電池分野

6年前に、UNSW の PERL セルを Suntech は量産化を開始した。低コスト・高効率太陽電池の Pluto 技術として、PERL セルの 6~7 つの要素技術の見直しを行った。①FZ 結晶から CZ 結晶へ、②2 層 AR から 1 層 AR へ、③フォトリソグラフィ技術の置き換え、④熱酸化の見直し、⑤Ti/Pd/Ag コンタクトの置き換え、⑥2cmx2cm から 12.5cmx12.5cm へセルサイズの拡大、である。セル効率 19.1%を達成している。また、100 モジュール以上製作し、平均モジュール効率 18.3%(平均 Voc=45.4V、Isc=5.48A、FF=78.38%)を実現している。直列抵抗や裏面再結合速度の改善により、効率 21%が可能である。スクリーン印刷ラインを立ち上げ、昨年半ばに 50MW、今年 5 月に、60MW、今年末には、300MW の生産規模に増強予定である。

2. 5 アモルファス、ナノ/マイクロ結晶薄膜 Si 太陽電池分野

UniSolarによるa-Si/a-SiGe/nc-Siの3接合セル(0.25cm²)で初期効率15.4%、安定化効率13.3%、大面積モジュールでは、カネカによるa-Si/μc-Siの3接合モジュール(4141cm²)で効率13.5%の現状である。今後、高効率化のためには、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、低コスト化のためには、高周波堆積による高堆積速度、などの研究開発が必要である。

2. 6 宇宙用太陽電池分野

宇宙用太陽電池の変換効率も1958年の7%から今日のAM0効率30%がSpectrolab、Emcore、Sharpなどで実現されている。今後は、50%を目指して研究開発が進められよう。研究開発の主要テーマは、①格子不整合成長、②逆エピ格子不整合成長、③4、5接合、④希釈ナイトライドデバイス、⑤メカニカルスタッキング、⑥光学的分離法、⑦集光設計、⑧量子閉じ込め、などである。逆エピ格子不整合成長とELO(エピタキシャル・リフトオフ)3接合セルにより、1-sun AM0効率33%が得られており、ベアセルで重量比出力3,000W/kg、面積比出力>440W/m²に相当する。EMCOREの4接合セルで、AM0最高効率33.9%(Voc3255mV、Jsc16.91mA/cm²、FF83.3%)が達成されている。低コスト化やフレキブル化を狙った多結晶Ge上のGaAsセルやCdS/CIGSセルの試みも紹介された。

2. 7 市場および政策分野

黒川(東工大)は、わが国の太陽光発電に関するロードマップ(PV2030+)の概要を述べた。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。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。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)、集光などの大規模太陽光発電(VLSPV)やインフラ整備、などが示された。これらの実現のためには、引き続き、研究開発が必要である。各国が、太陽光発電の研究開発を強化することで、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21000」を達成できるとしている。

3. おわりに

結晶Si太陽電池では、欧州で産学連携が進んでいる。確かに、わが国は、結晶Si太陽電池生産量において、世界一だったが、中国、ドイツに追い抜かれ、台湾、韓国が追い上げている。これは、わが国における結晶Si太陽電池の研究開発者人口およびレベルが十分とは言えないことに起因しているだろう。半導体LSI凋落の二の舞を踏まないためにも、わが国における研究開発の強化と産学連携が必要である。

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。ここにきて、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。

前回から、IEEE PVSCは、毎年開催されることとなった。今回、SEIAとの共催であったが、SEIAの協力や関係が不十分であったことから、次回の35th IEEE PVSCは、SEIA PV America Conferenceとの共催はやめて、IEEE単独主催で、2010年春に、ハワイもしくは米国西海岸で開催予定である。次々回の36th IEEE PVSCは、欧州ホストで、2010年秋に開催予定のWCPEC-5の合同会議の予定である。