

**PVSEC19 ショート速報[化合物薄膜太陽電池関連]**

山田 明 (東京工大学)

会議名 : 19th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition

開催期間 : 2009年11月9日-13日

開催場所 : International Convention Center (Jeju, 韓国)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

2009年11月9日-13日、韓国Jeju等において第19回のPVSECが開催された。参加者は、約1,200名である。昭和シェル石油からは、2011年第2四半期までに900MW/年のプラントが立ち上がる予定であること、アパチャー面積855cm<sup>2</sup>において変換効率15.7%が得られていることが報告された。また、AISTからは、アパチャー面積75.7cm<sup>2</sup>において変換効率16.2%が達成されていることが報告された。今回は、韓国からのCu(InGa)Se<sub>2</sub>太陽電池への発表件数が急増した会議であった。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

2009年11月9日-13日の間、韓国はJeju島において、第19回のPVSECが開催された。参加者の合計は、事前登録620名、当日参加600名程度の合計約1,200名であり、大変盛大な会議となった。PVSECはアジア圏を中心に開催される太陽電池に関する国際会議であり、米国のIEEE、欧州のEU-PVSECと同じ重要な会議である。本報告は、ここで発表された化合物薄膜太陽電池 (Cu(InGa)Se<sub>2</sub>(CIGS)系およびCdTe) の動向についてまとめる。

## 2. 会議の傾向

今回の会議で目に付いたことは、韓国からの発表件数が極めて多かったことである。表1にオーラルおよびポスター発表の国別件数をまとめる。韓国が開催国であるため、発表件数が多いのは当たり前であるが、これまでの上記3つの国際会議における韓国の発表件数から比較すると、今回の発表件数の伸びは驚異である。ただし発表の内容は、溶液成長によるCIGS薄膜、新しい材料系であるCu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>(CZTS)、あるいは新型バッファ層の開発などであり、また、製膜を行ったというところで終わっている研究発表が多く、いわゆるCIGSの高効率化とは異なる発表が多かった。この点について韓国KAISTのAhn教授にお伺いしたところ、韓国政府が太陽電池に力を入れた始めたため研究者人口は増加した、ただし研究に入りやすい溶液成長等の研究人口がまだ多い、との回答を頂いた。今回の発表において韓国勢としてCIGSの効率等を議論している研究機関は、昔から研究発表を行っているKAIST、KISTなど限られた機関に過ぎない。しかしながら、このまま政府援助のもと着実に実力を伸ばすと考えると、研究とは言え数は力であるため、今後韓国がこの分野の大きな驚異 (パワー) となると感じた。

表1 オーラルおよびポスター発表の国別件数

オーラル発表		ポスター発表	
国	件数	国	件数
日本	11	韓国	96
韓国	10	日本	16
米国	7	台湾	6
台湾	4	米国	3
ドイツ	3	中国	2
インド	1	インド	2
中国	1	ドイツ	2
ベラルーシ	1	マレーシア、英国	1
合計	38	合計	129

### 3. トピックス

ここでは各セッションの中で、トピックス的な発表の概略をまとめる。

#### 3.1 First Solar

初日のPlenary Sessionにおいて、First SolarのJ. Hydenから発表があった。2009年度同社は、1.2 GWの太陽電池を生産するであろうこと、2009年第2四半期における製造コストは\$ 0.87/Wであること、60x120cm<sup>2</sup>のモジュール1枚当たり2.5時間未満で製造できていること、本年のモジュール効率は11.0%であること（2002年第1四半期の変換効率約8%から着実にモジュール効率を伸ばしている）などが報告され、同社の勢いを感じる発表であった。

#### 3.2 CIGS 太陽電池のタンデム化の試み

現在の変換効率を上回る試みとして、タンデム化がCIGS系太陽電池においても検討されている。デラウェア大学のShafarmanは、招待講演として同大学で行っているワイドギャップ材料の研究開発についてまとめた。バンドギャップ1.6eV以上において、変換効率15%以上のワイドギャップ太陽電池の実現を目指している。このための材料系として、Cu(InGa)Se<sub>2</sub>、CuIn(SeS)<sub>2</sub>、Cu(InAl)Se<sub>2</sub>、Ag(InGa)Se<sub>2</sub>を候補としている。Cu(InGa)Se<sub>2</sub>はVocが0.85~0.90Vで制限されていること、Cu(InGa)S<sub>2</sub>はSの腐食性および組成制御が困難であり、変換効率は13%程度であること、Cu(InAl)Se<sub>2</sub>は膜の密着性に劣りVocが低いことなどが報告され、(AgCu)(InGa)Se<sub>2</sub>の結果を詳細に報告していた。3段階法を用いて、Ga/III=0.80、Ag/I=0.76の組成比（バンドギャップ1.6eV）において変換効率13.0%(Voc=0.89V、Jsc=20.5mA/cm<sup>2</sup>、FF=71.3%)が達成されている。

ヘルムホルツ研究所のLux-Steinerのグループからは、トップセルを目指したCuGaSe<sub>2</sub>の報告があった。トップセルの透過率向上を目的に、ガラス/ZnO:Al(105nm)/CGS(1200nm)/CdS(50nm)/i-ZnO(50nm)/ZnO:Al(105nm)構造の最適化を図った。ボトムセル単独での変換効率が17.1%のとき、タンデム太陽電池で8.5%が得られている（トップ4.3%、ボトム4.3%）。

KAISTのAhn教授のグループからは、タンデム太陽電池のトップセルとしてCu(InGa)<sub>3</sub>Se<sub>5</sub>構造を使うこと

が提案された。1:3:5 組成のCIGSのバンドギャップは、Ga組成により 1.23~1.85eVまで制御可能である。単独の太陽電池として、バンドギャップ 1.5eVにおいて変換効率 6.27%が得られている。

### 3.3 CIGS 膜の評価

CIGS 膜は多結晶膜にも関わらず、20%の変換効率を得られている、このため最近、粒界評価に関する研究が注目されている。東工大のグループは、CIGS 太陽電池の EBIC と EBSD (電子後方散乱回折) 法との組み合わせ、EBIC と SSRM (走査型広がり抵抗顕微鏡) との組み合わせにより粒界を評価している。その結果、CIGS の粒界は少数キャリアの再結合中心として働いていないこと、CIGS の粒毎に抵抗値が異なっており、これが効率制限の一要因の可能性があることが報告された。同様な CIGS の EBSD 評価は、立命館大学からもなされた。

ヘルムホルツ研究所のSchockは、カルコパイライト系太陽電池の粒界をCIGSはEBICとEBSDとの組み合わせで、CuInS<sub>2</sub>はEBIC、EBSDおよびCL (カソードルミネッセンス) の組み合わせにより評価した。その結果、CIGSのランダム粒界の再結合速度は、約 10<sup>4</sup>cm/sと小さいことを見いだした。また、CIGS中のNa効果として、低温(420°C)ではNaはIn-Gaの相互拡散を向上させること、高温(450°C)では逆にIn-Gaの相互拡散を妨げることを報告した。

### 3.4 高効率化に関する報告

AISTの仁木は、招待講演において同グループの取り組みについて報告を行った。アパチャー面積 75.7cm<sup>2</sup>において変換効率 16.2%が達成されている。また、フレキシブル基板に対しても積極的に取り組んでおり、Tiフォイル (膜厚 20nm、RMS=20nm) を用いてアクティブ面積 0.483cm<sup>2</sup>で変換効率 17.4% (成長温度 550°C)、ポリイミドフィルム (ガラス基板上に塗布、太陽電池作製後ピールオフ) 上の太陽電池においてアクティブ面積 0.496cm<sup>2</sup>で変換効率 14.7% (成長温度 400°C) を達成している。

昭和シェル石油からは、2009年4月に60MW/年の新プラントが竣工したこと、900MW/年のプラントを2011年第2四半期に立ち上げることが報告された。これにより、同社は合計980MW/年のプラントを持つことになる。現状、アパチャー面積 855cm<sup>2</sup>において変換効率 15.7%が得られている。

### 3.5 溶液成長

CIGS薄膜は、蒸着法 (3段階法) あるいはSe化法で作製されるが、最近、非真空プロセスが注目されている。国立成功大学 (台湾) からは、ジエチルアミンを溶媒を用いた溶媒熱合成 (solvothermal) 法が報告された。これによりCIS粒子を作製し、焼結により薄膜とする。CIS膜は得られているが、セル化はまだである。KISTからは、Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、InCl<sub>3</sub>、Ga(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>とメタノール溶液による塗布、Se蒸気を用いたSe化によるCIGS作製の報告があった。変換効率は、1.93%である。同様なナノ粒子からの製膜に関して東工大のグループからも研究発表があった。

## 4. おわりに

今回の国際会議においては、特に効率の更新等はなかったものの韓国勢の勢いを感じた。CIGS の効率が伸びない分、非真空などの新しい成長プロセス、CZTS などの新しい材料系、フレキシブル基板、粒界評価、タンデム化の試みなどが目立った国際会議となった。