

《目次》

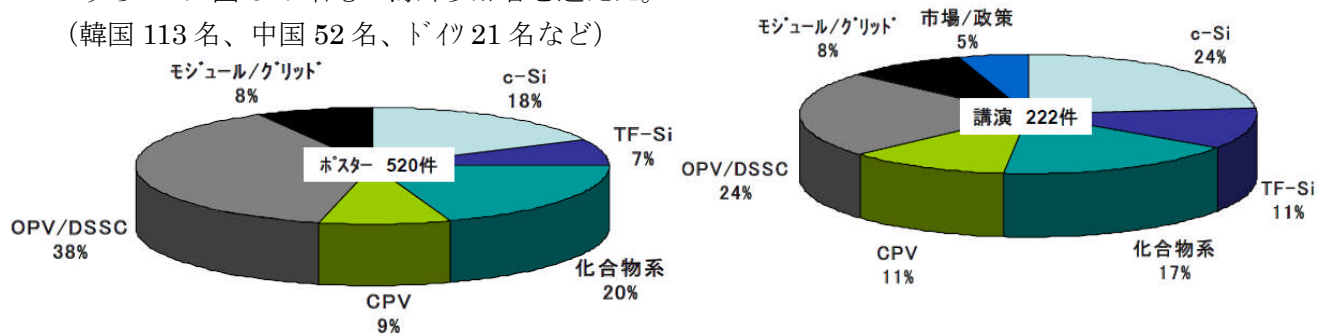
21st IPVSEC	1~4 p	PV & SG EXPO 2012	5~8 p
Battery Japan 2012	9~10 p	FC EXPO 2012	11~12 p
蠟梅 Now	13 p		

21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference

未来技術フォーラム神戸 板山 克廣

2011年11月28日~12月2日に第21回 International PVSEC がヒルトン福岡シーホークで開催された。当初予定の横浜から、急遽福岡に変更されての開催であったが、震災後初の太陽電池関連の国際会議ということもあり、展示会併設なしの講演大会ながら、参加者 995 名のうち 24 カ国 317 名もの海外参加者を迎えた。

(韓国 113 名、中国 52 名、ドイツ 21 名など)



発表内容は、他の国際会議と同様に結晶 Si 系セルの高性能化に関するものが多いが、注目すべきは CIGS などの化合物系を凌いで色素増感タイプも含めた有機系セルの発表が多かったことであろう。特にポスター発表においてこの傾向は顕著で、これは主流製品である結晶 Si 系太陽電池のデバイス構造開発が成熟化しつつあることに加え、化合物、有機系などの新タイプセルの性能が近年急速に向上し、大学における研究が大きくその方向にシフトしてきたことの現われと考えられる (今回の参加者の 1/3 は学生である)。一方、市場・政策動向に関する報告は少なかったが、IAE 傘下のワーキンググループである PVPS の活動報告会が併催され、その中で最近急成長しつつあるアジア市場に関する報告がなされた。それも含め、興味を惹いた話題につき以下に紹介する。

結晶 Si 系セルの先端技術：

厳しさを増す PV 業界において、マーケット進出など国内メーカーで唯一積極姿勢を示す三洋電機 (パナソニック) の HIT が PVSEC 賞を受賞し、受賞講演も含め 3 件の発表を行った。三洋の太陽電池開発は 70 年代のサッシュン計画に始まる。その当時のものは、a-Si をベースとしたものであったが、変換効率不足の問題を引き起こし事業継続の危機に直面した。2 年間の生き残りプロジェクトでトップダウンにより結晶 Si との組合せによる HIT の開発に賭け、2004 年に 200W モジュールの工業化に成功する。開発の源流は a-Si 技術であるが、高変換効率化と低コストの両立を狙った 100 μm の薄ウェハ活用が基本戦略となっている。ウェハ厚が 100 μm を切ると短絡電流の低下が起きるが、電極、TCO 層の改良を加えて昨年 5 月段階では 100cm² の R&D セルで、Voc745mV、Jsc39.4mA/cm²、FF80.9%、η 23.7%の業界最高レベルを達成した。

バックコンタクト n 型セルを擁し三洋電機と覇を競う SunPower も、既に R&D セルで 24.2%の変換効率を達成しているが、今回、今後の開発方針を発表した。結晶 Si では変換効率がほぼ理論限界に到達し、またデバイス構造、プロセス技術も成熟しつつあるとの認識で、開発をコストダウン、分けても材料費低減にフォーカスしている。高性能を誇る SunPower 製品においても、モジュール価格は現状\$1.5/W 近傍までできているが、三洋電機によるとウエハ価格がモジュールコストの 40%を占めるとのこと。SunPower が現在立ち上げている Fab3 では 135 μm 厚のウエハを使っているが、固定ゲイム抵粒ワイヤの採用でウエハ厚、カーボスを低減し、2014 年末には\$1/W を達成したいとしている。将来的には、ポリ Si 価格の低下とカーボスのダイレクトウエハリングにより\$0.6/W も夢ではないとのことである。

このように薄ウエハに適しかつ高性能を狙える n 型セルに注目が集まるが、100 μm に迫る薄ウエハ化については大きな問題を抱えている。三洋電機の発表に対しても、生産性・歩留を大きく阻害する薄ウエハの採用に疑問が呈されたが、表裏対称構造の HIT では問題なしとの見解で、またバックコンタクトタイプではガラス基板にウエハを貼り付けたアイデアが示された。また現状では、100 μm 程度のウエハをスライス加工する技術はなく、それを可能にするものとして前述の固定ゲイム抵粒ワイヤの採用が進みつつあるものの、高価格に加え品質上の問題もあるようでその実力の程は不明である。この対抗技術として、今回、コベルコ科研より樹脂を塗布した遊離ゲイム抵粒ワイヤ方式の発表があった。スライス性能の詳細についての報告はなかったが、ウエハ厚、カーボス低減を可能にする試みとして注目される。材料、プロセスのコストダウンが急速に進むセル技術の中で技術改善が遅れているウエハリング工程は、ダイレクトウエハリングも含め今後の焦点となろう。

CIGS 系モジュール技術の進捗状況：

薄膜系では、先行する a-Si、CdTe を追って、CIGS 系が 13%を超える高変換効率を売り物にその存在感を増してきている。2012 年の生産能力 2GW 超えが予想されているが、それをリードするのが、昨年、1GW 規模への能力増強を発表したソーラーフロンティアで、今回も 3 件の発表を行い注目を集めた。同社のセル構造は、主流となっているソーラーライムガラス基板/CIG(SeS)₂ 光吸収層を用いたモリシック型であるが、n 型高抵抗バッファ層に他社の CdS とは異なり Zn(O,S,OH)_x を採用し、環境問題対応の Cd フリーを実現している。この際、プラズマダメージに弱い Zn 系バッファの弱点をカバーするため、窓層として他社のスパッター AZO の代わりに MOCVD 成膜による B トロップ ZNO(BZO)を独自開発し、高性能を保持している。この構造により、90×120cm の実モジュールで出力 178.3W、変換効率 14.54%という業界最高の性能を達成しているが、今回、そのポイントとして光吸収層形成の最終ステップである硫化処理の重要性についての発表を行った。硫化処理(Se→S 置換)効果を強めると、EBIC 測定によりキャリア拡散長の下部 Mo 電極近傍までの拡がり確認され、変換効率が大きく改善する。現象的には、結晶粒粗大化と対応しており、従来言われている CIGS 特性の結晶粒径非依存性とは異なる興味ある結果となっている。

このように徐々に実力を上げている CIGS ではあるが、実験室的な小サイズでも変換効率は 20%レベルに留まっており、24%とも言われる理論効率に遠く及ばず、その半面、期待も大きい。粒界、多様な結晶欠陥が存在する CIGS では、エネルギーバンド構造に不明な点が多く残されており、ブレイクスルー技術に向けた物理的基礎研究が活発に行われている。今回も、大学、研究機関から数多くの発表がなされ、HZB からの HR-STEM/EELS を用いた粒界における Cu、In、Se、Na、O などの濃化/排出挙動、筑波大の陽電子消滅による Cu 空孔挙動など、興味ある発表が多かったが、依然多くの不明点を残し今後の進展に待つところが多い。また変換効率 30%を狙えるタンデム型にも繋がる技術として、Ga/(In+Ga)比を現状の 0.3(バンド

ギャップ Eg1.15eV)から 0.4 以上にして太陽電池にとって理想の Eg1.4eV に近づけるデバイス構造の開発が大きな課題となっている。現状では、Ga 量増加により特性はむしろ劣化するため、実用モデルでは Ga/(In+Ga)比 0.3 をベースとしたものになっている。東工大は、CIGS の基本である 2 重傾斜バントギャップ構造の 0.5 μm 深さに生じる谷が、Ga 増量により 0.2eV 程度にまで増大することでキャリアの障壁となるとして、成膜を通常の 3 段階法から 5 段階法に変えて Ga 濃度プロファイルを調整することにより改善できることを示した。まだ、特性的には不十分であるが、今後の展開に期待したい。

急速に進化する OPV :

近年、急速に高性能化を果たしつつある有機系 PV セル(OPV)であるが、そのトップを走る三菱化学より技術概要の発表があった。励起子の拡散長が数十 nm と短くかつアセプト/トナー界面でのみ励起子分離する OPV では、界面の面積を増やすことと拡散距離を短くすることが高変換効率化のポイントであり、相分離を利用したバルクヘテロジャンクション型か PIN 構造型が一般的なものとなっている。同社の構造は PIN 型で、p 層として愛媛大学との共同開発による結晶性がよく半導体特性に優れた Tetrabenzenzoporohyryn(BP)、n 層としてフラーレン誘導体の PCBN を採用しているが、BP は溶液に溶けにくいために前駆体(CP)を 180°C で変性するプロセスを用いている。ITO/バッファ層の上にも CP を塗布したのち変性して BP とする。その上に CP+PCBN 混合液を塗布して加熱変性して i(BP:PCBN)+n 層(PCBM)を形成する。このデバイス構造により、同社は 2011 年に業界初の変換効率 10.1%を達成した。このように目覚ましい進歩を遂げている OPV ではあるが、外部量子効率が 80%と低いことと、吸収できる波長が 400~700nm であることが欠点として挙げられる。前者に対してデバイス構造の更なる改良が、そして後者に対しては長波長をカバーするタンDEM構造化が考えられる。同社はタンDEM構造により 2015 年には変換効率 15%を狙うとしている。

OPV の大きな課題として挙げられるのが耐久性であるが、三菱化学のデバイスでは、シールをうまくすることにより 65°C85%RH で 800h 以上の耐久性が確認されている。これに対して JX 日石は、一般的なガラス基板を用いた P3HT:ICBA のバルクヘテロジャンクション構造で、逆構造とすることにより大幅に光劣化耐性が向上し、3000h 以上で全く劣化しないことを報告した。これは上部電極の Ag と光吸収層を繋ぐ中間層である Ca を WO₃に替えられることによるものであるが、逆に光吸収層と下部電極 ITO のエネルギー水準不整合が生じ、変換効率の劣化に繋がる。同社は独自の中間層(詳細不明)を開発し、通常の構造並みの変換効率を達成することに成功している。このように、OPV においては変換効率と耐久性を両立させるために種々の材料課題があり、開発余地の大きいことが分かる。

市場は EU からアジア・北米へ :

2010 年には世界市場の 70%以上を占め PV の急速な普及を牽引してきた EU であるが、その勢いが一段落し安定成長に移りつつある。これに対して、アジア諸国での需要は 2011 年に 3.3GW(世界全体では 20GW 前後?)まで伸び、カリフォルニア以外への展開も始まった米国と並んで PV 業界の注目を集めている。その中心となるのが、中国、インド、そして原発問題、東日本復興、本格的 FIT 導入を迎える日本である。その背景のもと、今回はアジア市場状況についての報告が多く行われたので、ポイントを以下に紹介する。

中国：ルーフトップに対する手厚い補助金を支給する Golden Sun プロジェクトにより 2009 年に立ち上がった中国市場であるが、2010 年末の第 12 次 5 年計画で再生可能エネルギーが戦略 7 分野の一つに指定され、更に“Fukushima”を受けて次々と具体的な目標が打ち出された。エネルギー省 2015 年ターゲットによると、メガプラントで 6.5GW、中東地区における分散型システムで 3GW、

僻地の off-Grid システムで 500MW の合計 10GW、更に 2020 年には 20GW となっている。2011 年から国家規模で本格的な FIT も導入され、2011 年の導入量が 2GW を超えるなど、当面のアジア市場の牽引役として期待されている。

インド：年間総電力量が 800TWh と日本に迫るインドであるが、急速な経済成長により 10% 以上の慢性的な電力不足に苦しんでおり、喉から手が出るほど電力を求めている。毎日のように停電に見舞われて経済活動に支障があると同時に、広大な国土に対する脆弱な送電網のために、電気の恩恵に浴さない国民が 20% 近く存在する。この事情から、電力増強策として即効性のある PV に対する期待は非常に大きく、2009 年に政府より太陽エネルギーに対する国家ミッション JNNSM が発表された。それによると、電力会社は 2013 年で 3GW、2022 年に 50GW 以上の太陽エネルギー購入を求められている。インド市場の特徴は、電力網の脆弱さによる off-Grid 市場の大きさである。家庭電灯・街灯・非常灯などの数百 W に始まり、家庭・小規模商用・農業灌漑用などの数 kW、大規模商用・通信設備・ATM などの 5kW 以上クラス、そして商用ビル・小規模発電プラントなどの数 10kW クラスまでさまざまなニーズがあり、その必要量は 50GW 以上と言われている。2010 年の市場は 700MW 程度であるが、このように 2020 年頃には 100GW に迫るような巨大市場のとなることも考えられる。

マレーシア：豊富な化石燃料を有するため、PV 市場が未形成(2010 年に 600kW)のマレーシアであるが、欧米、日本の有力 PV メーカーが集積する世界の PV 製造基地となり、政府が PV 普及にも本腰を入れ始めた。2011 年 12 月に非常に積極的な FIT が導入され、地理的条件の有利さからも、今後の急速な市場形成が期待されている。

その他の国々：オーストラリア、韓国は、固有のエネルギー事情があり、国レベルでの PV 振興に対しては比較的冷淡で当面の市場性は見込めない。発展途上国も含め、このように PV 普及は未だに政策によるところが大きいことも認識しておく必要がある。

以上