

## Silicon PV 2012 結晶シリコン太陽電池国際学会

未来技術フォーラム神戸 板山克広  
(株) コベルコ科研 中上明光

2012年4月3日から3日間にわたりベルギーのルーベンで開催された首記国際学会に参加した。本学会では太陽電池の中で高い変換効率が期待できる結晶シリコン(Si)太陽電池に焦点を当て、議論された。今回は昨年につき2回目の開催であり、425人が参加した(昨年は530人)。国別ではドイツが52%と半数を占め、地元ベルギーが14%、フランス7%、オランダ6%、米国4%、日本2%、韓国2%などであった。発表論文・ポスターは204件に及び(昨年は149件)連日活発な議論が行われた。ルーベンの地元研究機関であるimecの見学会も開催された。

再生可能エネルギーの一つとして期待されている太陽光発電に使用される太陽電池として、量産規模で現在高い光電変換効率が得られている結晶Si太陽電池に焦点を当て、更なる効率化と市場への浸透を図るための低コスト化への研究開発の成果或いは開発途中の発表が行われた。

今回の発表で見られた高効率太陽電池セルは構造別で見ると、凡そ①ヘテロ接合型Si太陽電池、②IBC\*型及びMWT\*型・EWT\*型のバックコンタクトSi太陽電池、③従来型Si太陽電池からなる。

①のヘテロ接合型Si太陽電池ではn型単結晶Si(c-Si(n))基板の上下両面を薄いintrinsicアモルファスSi(a-Si:H(i))膜で挟み、更にp型アモルファスSi(a-Si:H(p))及びn型アモルファスSi(a-Si:H(n))膜を上下それぞれに堆積し、透明導電膜ITO、金属電極を堆積した上下対称構造のいわゆるHIT構造\*を基本に、太陽電池特性を更に向上させるためのいくつかの研究発表が行われた。この型の太陽電池はn型単結晶Si表面でのキャリアの再結合をa-Si:H(i)の堆積により減少させた高効率太陽電池(23.7%)であり、所謂パッシベーションの効果が大きいといわれている。今回でも各層界面でのパッシベーションの改善に関する発表が多く見られた。表面及び裏面での光学ロスの改善、電極の低抵抗化などによる高効率化への発表が見られた。

この型の構造について、Fraunhofer研究所よりヘテロ接合型Si太陽電池の基調講演があった。Fraunhofer研究所ではHIT型太陽電池構造の光照射側(上側)のa-Si:H(i)/a-Si:H(p)/TCO層を無くし、ARC/c-Si(n<sup>+</sup>)/c-Si(n)/a-Si:H(i)/a-Si:H(p)/TCOのハイブリッド型ヘテロ接合太陽電池を提案した。構造の簡略化(製造プロセスの簡略化)を狙ったもの。更に裏面のTCOによる反射の代わりに金属膜を種々検討し、金属膜とショットキーバリア性を調査し、Agが耐劣化、反射率に優れるとしてAg電極を採用した。4cm<sup>2</sup>の小面積セルで変換効率22.1%を達成した報告があった。

②のバックコンタクト太陽電池では、IBC型でSunpower社が2010年155cm<sup>2</sup>の面積のセルで24.2%の変換効率を報告している。この型の太陽電池についてプロセス、材料の改良から高効率化を狙っての研究が発表された。

今回のホスト機関であるベルギー・imecから23%の変換効率を目指したIBCバックコンタクト太陽電池の研究報告があった。n型Si基板表面を凹凸のあるテクスチャ構造(入射光の乱反射によるセル側への光進入促進)に加工後、裏面をBの拡散でp<sup>+</sup>層を形成後、反射防止膜を形成し、裏面側をエッチバックして穴あけし、Pを拡散してn<sup>+</sup>層を形成してそれぞれp電極、n電極を裏面に形成するIBC型バックコンタクト太陽電池を作製する。imecではこのプロセスにおいて、ドーピング濃度を変え表面電界及び裏面電界の改良、表面反

射防止膜材料を ZnS/MgF から SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> に変更し、変換効率 22.0%を得た。表面及び裏面での電界制御により大幅に電流ロスを低減でき、反射防止膜の改良から光の表面反射率も低減できた。電流ロスの解析結果では光の利用効率が低いとの判断で表面のテクスチャ、反射防止膜の更なる改良を行った。その結果、23.3%まで向上した。imec では今回 23%台に達したことから、プロセスコントロールが良好になったとし、セルの大面积化を図り、さらに革新的な技術開発を進めていくとのこと。

③の従来型太陽電池での高効率化の開発も見受けられた。なかでも電極の材料、形状、プロセスの改良に関するものが多く見られた。直列抵抗の低減を狙って Ag ペースト材 (Ag 微粒子+SiO<sub>2</sub> 微粒子+有機溶剤) の組成、焼成条件の検討、コンタクト状況の観察の報告があった。めっき法により Ni,Cu めっき (シード層) 上に Ag めっきを堆積する方法が見られた。めっき法では接触面積が小さく出来るとのこと。電極形状については従来のタブ (リボン) 状からワイヤ状にすることにより光のシャドウ面積を低減できるという発表があった。その他、表面の光閉じ込めを促進するための波状やピラミッド状の凹凸形状加工、屈折率の異なる異種材料の積層による反射防止膜の改良、裏面に達した光の反射による再利用の反射膜、界面・表面・裏面での再結合中心の不活性化のためのパッシベーション膜の形成法などが報告された。

従来型太陽電池での高効率化の発表として Konstanz 大学 (ドイツ) から表面側に複数本のバスバー電極を用いたセル構造の提案があった。従来型セルは表面に多数の細線のフィンガー電極 (グリッド電極) の上に 2 本のバスバー電極があるのが一般的である。それ以上あると太陽光に対してシャドウ (陰) ロスが大きくなり、変換効率が低下する。フィンガー電極 (従来法のスクリーン印刷、断面の幅: 90 μm、高さ: 15 μm) の上にタブ状バスバー電極を 3 本にしたものと、別にワイヤ形状 (300 μm 径程度) の電極を 9 本つけたものの I-V 値をシミュレーションで比較すると、ワイヤ形状の方が変換効率が 19.4%で 0.3%高い。フィンガー電極をめっき法で形成 (幅: 約 40 μm) した場合もワイヤ形状のほうが高く、実測値では 19.77%とタブ状より約 0.35%高い。フィンガー電極をめっき法で形成するとアスペクト比の高い構造が得られ、Ag の使用量が 130mg→20mg に減らすことができた。バスバー電極としてワイヤを多数本使用し、めっき法によるフィンガー電極を用いることで変換効率が向上し、しかもフィンガー電極の Ag 使用量が大幅に軽減できたとの報告であった。

次回第 3 回はドイツ・ハノーバーで 2013 年 3 月 25 日から 3 日間開催される。

(注) IBC: interdigitated back-contact, MWT: metal wrap-through, EWT: emitter wrap-through, HIT: hetero-junction with intrinsic thin-layer

以上