

## EU PVSEC 2019 ヨーロッパ太陽電池国際学会&展示会参加報告

未来技術フォーラム神戸 中上 明光

2019年9月9日から5日間にわたりフランス・マルセイユで開催された第36回の標記国際学会に参加した。

本国際学会は展示会を併設した実質世界最大の太陽電池に関する国際学会であり、今年は約70か国以上から約2000人の参加者(昨年は80か国、2037人、主催者発表)があった。

発表論文数は7つの技術領域について884件であった。発表件数を国別でみると、ドイツが最も多く179件、次いで開催国フランスが114件、オランダが46件、日



EU PVSEC 2019 国際学会会場

本が第4位で42件、スイス、韓国39件と続く。分野別の発表件数でみると、結晶Si(c-Si)太陽電池が231件と約1/4を占め、モジュール&構成部品が149件、薄膜太陽電池(ペロブスカイト、CIGS、CdTe)が148件、PVシステム139件、応用&グリッド81件、新材料&コンセプト69件、市場&政策44件であった。

学会では連日4~5件のパラレルセッションが開催され、活発な発表・議論が展開された。会議終了のクロージングセッションで、EU PVSEC 2019のハイライトとして学会から10数件の発表が選択された。その中から出席者の注目を集めたものを以下に紹介する。

また、関心の高かった発表「太陽電池を電源とした自動車応用」についても紹介する。

### 〈ハイライト1〉さまざまな高効率ヘテロ接合ベース太陽電池のために不働態化するキャリア-選択的なSi薄膜の多用途性 (分野2:シリコン材料と太陽電池)

スイス・ヌーシャテル・CSEM, PV-CenterのA. Descoedresらは表題のプレナリー講演を行った。シリコンヘテロ接合太陽電池(SHJ)は簡素なセル構造であり、全面積でキャリア生成-選択的に不働態化されたコンタクト抵抗(高Voc)を有している。これまで高効率が報告されている(バックコンタクト型>26%:カネカ)。世界のPV市場では2018年にBSF型太陽電池が60%を占めたが、2029年にはPERC型70%、SHJ型15%の市場シェアを予測している。SHJ型太陽電池はアジアや欧米の20社以上が生産している。パナソニックが1GW、カネカが40MW、GS-Solar(中)が600MW、Tesla(米)が1GWを生産している。

CSEMは2つの観点、生産コストの削減と変換効率の向上からSHJを更に改良している。生産コストの削減については、材料面でCz p型c-Si、化学物質、TCO(In)、Ag電極などの検討、装置面でスループット、キーとなる製造プロセスのa-Si:H層には新世代のPECVD装置の導入等を検討している。変換効率の向上についてはプロセスの最適化とセル構造:IBC、タンデムを検討している。

高効率化を目指してIBC SHJセルを開発してきた。IBC SHJは最も高効率のc-Si太陽電池であるが、製造プロセスが複雑である。トンネルIBC SHJセルを用いると非常に簡素化できることが分かった。最近のセル効率は25.0%(セル面積25.04cm<sup>2</sup>: Fraunhofer 認証)である。大面積の244cm<sup>2</sup>で効率24.25%(Meyer-Burger測定)を得た。

### 〈ハイライト2〉 CIGS とその合金の研究と革新一次のボトルネックは？

(分野3：ペロブスカイト、非シリコン基薄膜太陽電池、多接合デバイス)

スウェーデン・Uppsala 大学の Marika Edoff は表題の基調講演を行った。ビル一体型太陽光発電 (BIPV) を工業製品のターゲットに捉え、建物の壁面や屋根材との統合を図り、CIGS を対象に一樣な外観、フレキシブル、透明、カラー化の技術開発を進めてきた。

これまでの CIGS 太陽電池セルの実績を見ると、ソーラーフロンティア (SF：日本) が CIGSS[Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub>] の材料で 23.35% の変換効率 (世界最高) を達成している。バッファ層に Cd フリーの材料を用い、CsF を製膜後の処理材に用いているのが特徴である。Solibro (スウェーデン) が (Ag,Cu)(In,Ga)Se<sub>2</sub> の材料でバッファ層に CdS を用い 22.9% の変換効率を達成している。製膜後の処理に RbF を用いている。

モジュール効率では SF (日) が 19.2% (面積 841cm<sup>2</sup>)、Avancis (独、中国) が 19.0% (面積 30×30cm<sup>2</sup>)、Solibro (スウェーデン、中国) が 18.7% (面積 0.94m<sup>2</sup>) を報告している。Uppsala 大学は (Ag,Cu)(In,Ga)Se<sub>2</sub> の材料で Ga 濃度形状、セル構造を検討している。

2 種類の CIGS 太陽電池を用いて 4 端子 2 接合セルを試作し、imec/ZSW が 24.6%、NREL が 25.9%、Solliance/Empa が 25.0% を報告している。モノリシック 2 端子タンデムセルでは Empa が 22.6% を報告している。最近ではペロブスカイト/CIGS セルの研究報告もある。

### 〈ハイライト3〉ペロブスカイトをトップセルに用いた高効率モノリシックタンデムデバイスに向けて (分野3：ペロブスカイト、非シリコン基薄膜太陽電池、多接合デバイス)

ドイツ、ベルリン HZB の S. Albrecht らは表題のプレナリー講演を行った。c-Si 太陽電池など単接合太陽電池は変換効率に限界がある。c-Si セルは太陽光吸収時、熱発生 (熱化) による損失が 35% と大きい。ペロブスカイトをトップセルに持つ 2 端子タンデムセルでは高エネルギーフォトンがペロブスカイトセルにより吸収され、熱化の損失を減らす。いくつかのチームがペロブスカイト/Si の 2 端子接合で 25% を超える成果を報告している。

我々の共同研究グループの HySPRINT でも、2 端子ペロブスカイト/SHJ で認証効率 24.97% を達成した。HZB は膜厚とトップコンタクトの最適化、反射率の低減により 26.0% の効率を達成した。大気中 1000 時間後でも効率は 98% 以上安定である。

2 端子ペロブスカイト/CIGS タンデムについての報告は少ない。CIGS セルでは最表面が粗く、その上のトップセルのスピルコーティングに支障を来す。最近、研磨した TCO 表面にトップセルを堆積した例が UCLA と SF により発表された。我々はホールコンタクトとして下層膜と整合を取り NiO<sub>x</sub> の ALD (原子層堆積) 層を適用した。その結果、21.6% (面積 0.8cm<sup>2</sup>, active area) の安定効率を達成した。さらに、粗い CIGS のトップに直接 SAM 膜 (自己集積化分子膜) を堆積して Voc を改良、光学系の最適化により > 1 cm<sup>2</sup> の面積で認証済の安定化後の変換効率 23.26% (面積：1.035cm<sup>2</sup>) の世界最高を達成した。

### 〈ハイライト4〉 p-Cz Q.ANTUM BIFACIAL の 23% 接近と大量生産

(分野2：シリコン材料と太陽電池)

ドイツの Hanwha Q.CELLS の F.Stenzel らは表題のプレナリー講演を行った。最近、モジュール技術についての発表に bifacial (両面) モジュールが多くなっている。両面モジュールは表面/裏面から電気を生成することができる。両面の技術は n や p-PERT, HJ, PERC に適用できる。Q.ANTUM bifacial 技術の特徴は費用効率の高い PERC-like cell を適用し、裏面 Al グリッドと局所的なコンタクト、裏面での低い透過率と再結合ロスを維持したこと

である。その結果、Q.ANTUM 技術は高効率両面太陽電池を実現することができた。2017年7月から2018年8月の1年間両面モジュールのフィールドテストをドイツ国内で行った。2018年7月では乾燥地からの反射で両面モジュールのエネルギー利得は14%近くあった。

量産でのモジュール前側の変換効率 22.2%を相対頻度 34%で生産することができた。bifaciality factor は 78.3%であった。モジュールには 144m<sup>2</sup>のハーフセル、ガラス/ガラス封止を用い、パワー保証は 30 年とした。次世代 bifacial セルを開発中で、12 本のバスバー電極、細線の印刷電極、一様なエミッターで前面の効率 23%以上を実証した。

### 〈トピックス〉 太陽電池を電源とした自動車応用のいくつかのアプローチ

(分野 6 : PV の応用とインテグレーション)

トヨタの T. Masuda らの発表によると、乗用車の CO<sub>2</sub> 排出規制として日、米、中は 2020 年に 180g/mile、EU は 2022 年に 150g/mile、2025 年にはガソリン車、ディーゼル車ゼロを目標に掲げている。車のパワーに再生可能エネルギー（太陽光）を利用する動きがある。

乗用車の車体表面に太陽電池を設置すると、800W 定額パワーが利用できる。日本での 1 日当たりの走行距離分布の資料によると平均約 24km/day であり、乗用車の 70%が太陽光パワーにより運転できることになる。800W の太陽電池搭載の車では 31km/day までは走行できるので、64%の車が太陽光発電を利用（残りは化石燃料）できる。つまり、乗用車から 64%の CO<sub>2</sub> 放出を削減できる、との評価である。

トヨタは検証用車を走らせた。プリウスに効率 22%の太陽電池 422 枚を車体表面に乗せた。計算では 840W の定額出力になる。実施走行の結果、平均のパワー生成は 2.1kWh/day (運転範囲 : 36km/day) である。市販のプリウス PHV では 180W の c-Si 太陽電池 (パナソニックの HIT) が搭載され、180W の出力、走行範囲は ~6.1km/day である。

トヨタは次のように締めくくった。太陽電池モジュールは CO<sub>2</sub> 放出を削減する非常に大きな能力を持っている。検証のため公道走行できる試作車を作製した。太陽電池搭載自動車には高い変換効率 (>30%)、カラー化、フレキシブルモジュールが不可欠である。フレキシブル樹脂レンズ集光体の PV とカラー化 PV は将来の車の応用の候補である。

以上