

《目次》

Silicon PV 2014	1 ~ 3 p	OTC 2014	4 ~ 5 p
AABC Asia 2014	6 ~ 7 p	Intersolar EU 2014	8 ~ 13 p
人とくるまの Tech. 展	14 ~ 16 p	IMLB 2014	17 ~ 18 p
蠟梅 Now	19 p		

Silicon PV 2014

(株) 科研テック 中上 明光

2014年3月25日から3日間にわたりオランダ中部のスヘルトヘンボス('s-Hertogenbosch)で開催された標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)太陽電池に特化して議論され、今年で4回目となる。世界27カ国から330人が参加(去年は324人)し、国別ではドイツが41%と最も多く、開催国オランダ12%、フランス7%、オーストラリア、ベルギー5%、米国、韓国4%、日本3%などであった。発表論文・ポスターは178件に及び(去年は170件)、連日活発な議論が行われた。今回からn型Si太陽電池に特化したnPV Workshopと合同で会議が開催された。's-Hertogenboschの南Eindhovenにある地元研究機関ECN(Energy Research Center of the Netherlands)の太陽電池研究施設の見学会も開催された。

今回のSilicon PV 2014では、従来の高効率Si結晶太陽電池セル、材料に加えモジュールも含めた分析・解析・評価について議論された。また太陽電池・モジュールの信頼性・耐久性についても報告があった。

個別の発表の中で、注目されたものは①太陽電池モジュールの信頼性に関してPID(電圧誘起出力低下)現象に関わる劣化報告、②新規構造のSi太陽電池として有機膜/シリコンのヘテロ接合太陽電池、③微小光源により誘起された電流(μ LBIC)を用いた太陽電池の断面解析法、④Ni/Cuめっきの表面コンタクトを用いた大面積ハイブリッドシリコンヘテロ接合太陽電池などであった。上記4つのトピックスについて以下に紹介する。

(1) 太陽電池のPID現象に関する劣化報告

Fraunhofer研究所(ドイツ)より「PID-シャントの微細構造の調査:劣化と回復」と題して発表があった。従来よりp型Siウエハを用いたPVシステムにおいて出力低下が報告されている。システム内で特に大きな負のバイアス電圧が印加(数百V)されたモジュールで顕著に発生している。そこで、Fraunhofer研究所は2012年に世界の13種類の生産品PVモジュールについてPID試験(50°C,50%RH,48h,1000V)を実施したところ4種類のみ初期の出力を維持しているが、他の9種類は出力低下が認められ、中には10%以下のものもあった。この発表をきっかけに太陽電池メーカー、材料メーカーのPIDの関心(懸念)が高まり、各社対策を講じ、結果を発表してきた。

2013年の報告では出力電流の大幅な低下は並列抵抗の大幅な低下(短絡、シャント、PID-sと表記)であるとした。モジュールにかかる大電圧によりガラス、封止材、反射防止膜を通過してNaイオンのドリフトが発生する。熱分布測定、EBIC(電子ビーム誘起電流)像によ

り PID の影響を受けた領域を特定し、断面加工・TEM (透過電子顕微鏡) 観察の結果、Na は Si の積層欠陥を経由して移動し、これがシャント抵抗低下 (短絡) に繋がるとした。

今年はこの PID-s が電氣的及び熱的処理により回復可能であることを報告した。電氣的回復の例として、PID 試験 (50°C、50%RH、50h、+600V 印加) 後並列抵抗の低下を確認しその後逆バイアスの -600V、200h で処理すると並列抵抗の回復が見られた。熱的回復の例として、PID 試験後 250°C、2h で I-V 曲線が直線からダイオード特性を回復し、高温(250°C)下での環境 SEM (昇温しながら観察が可能な走査電子顕微鏡) 観察から PID-s の領域の消失が確認された。回復前の断面 TEM 観察では、PID-s の影響を受けた領域の積層欠陥内に Na が明確に存在しているが、回復後は積層欠陥は残るものの、そこには Na は存在しない。また Na が存在していた積層欠陥領域のストレス場による TEM 像は回復後積層欠陥そのものの像しか得られていない。回復のモデルとして、回復過程で可動 Na イオンは積層欠陥から反射防止膜 SiO_x 層に拡散し、太陽電池表面全体に拡散して行ったものとしている。

(2) 新規構造の Si 太陽電池 : 有機膜/シリコンのヘテロ接合太陽電池

ISFH 研究所 (ドイツ) から「有機シリコンヘテロ接合太陽電池 : BACK PEDOT の概念」と題して発表があった。n 型シリコン(n-Si)太陽電池の形成には p 型の伝導層が必要である。最先端の p 型層の形成技術には Si 中のボロンの拡散や p 型アモルファスシリコンの堆積などが考えられるが、代替技術の探索が本研究の動機である。

p 型材料として PEDOT:PSS の有機材料を検討した。この材料は水溶液中で使用でき、電気伝導度は 1000S/cm に至り、100nm の薄い層でも 100Ω/□は有る。

n-Si/ PEDOT:PSS はショットキー接合を形成する。そこで、表面から PEDOT:PSS/SiO_x/n-Si/Ti/Pd/Ag の構成で平らなバルク Si 表面に PEDOT を形成し、裏面全面の金属電極でセルを作製した。(セル面積 2×2cm²)。変換効率 10.6%が得られ、表面をランダムテクスチャ構造にし、裏面を P (リン) 拡散 BSF 構造にすると 12.3%の変換効率を得られた。

一方、平らなシリコン裏面に有機物(PEDOT:PSS)を接合(BACK PEDOT)し、Al 電極/SiNx/Al₂O₃/n+FSF/n-Si/SiO_x/ PEDOT:PSS/Ag 電極の構造でシミュレーションを行った。レイトレースシミュレーションによると、PEDOT:PSS を光照射側に用いると、内部量子効率は 80%程度であるが、裏面側に用いると 100%近くになった。本構造のセルを試作 (2×2cm²) し、変換効率 17.4%を得た。BACK PEDOT 太陽電池で変換効率 23%は現実的な将来ゴールであるとの事であった。

(3) 微小光源により誘起された電流(μLBIC)を用いた太陽電池の断面解析法

Fraunhofer 研究所 (ドイツ) により上記の発表があった。研究の動機は太陽電池の断面からの観察・解析の利点にある。具体的には表面の観察からでは各層界面の接触状況、各層の均一性、局所的な不均一性などはわからない。

SEM と EBIC で断面観察・解析が可能である。難点としてこれらは真空を必要とし、電荷誘起の影響もある。この難点を解決する方法として光をベースとした方法を検討した。共焦点顕微鏡の構成で光源にレーザー光を用いると、高い空間分解能(300nm レーザーをスポット照射)が得られ、ドーピング密度は分光器に μRS (マイクロラマン分光)を用いることにより測定可能である。μRS では結晶 Si の特徴的なピークは 520cm⁻¹ にあり、このピークの形状から結晶性、ドーピング、材料の応力具合の評価が可能である。

μLBIC の測定例として以下の紹介があった。

①多結晶太陽電池の小傾角粒界での電荷再結合の様子を調べた。μLBIC は EBIC に比べ小傾角粒界で高いコントラストと同等の分解能を得た。μLBIC はテクスチャにより殆ど影響

を受けない。真空を必要としないし、帯電効果も無い。

②断面測定では μ RSに比べ界面での電荷再結合の様子が μ LBICで顕著に表れている。

③粒界に沿った空間電荷領域の測定では、2つの結晶粒の界面からなる多結晶太陽電池の断面を測定した。電気的活性度の低い粒界($\Sigma 3$ 粒界)では μ LBICの信号が得られた。しかし、電気的活性度の高い粒界($\Sigma 27a$ 、ランダム粒界)では μ LBIC信号は無かった。

④Ni-silicideスパイクの影響を観察した。電極にAgの代わりCuを用いると、コスト削減の効果がある。CuはSi中に拡散しやすいので拡散バリアメタルとしてNi層を用いた。Ni-silicide形成のため焼き戻しが必要である。Ni/Cu電極では高温で処理すると下地のNi-silicideの生成個所で μ LBICと μ RSの異常を確認した。太陽電池特性のFFが劣化し、SEM観察でNi-silicideのスパイクが見られた。

(4) Ni/Cuめっき表面コンタクトを用いた大面積ハイブリッドシリコンヘテロ太陽電池

Imec(Interuniversity Microelectronics Center,ベルギー)により表題の発表があった。高効率Si太陽電池について、Silicon PVの学会ではこれまで①IBC(バックコンタクト)型、②SHJ(シリコンヘテロ接合、HITに代表される)型、③ハイブリッドSHJ型の構造が取り上げられ、紹介された。今回は③の構造について、高効率、大面積セル、Ni/Cuめっき・レーザー処理の表面コンタクトを組み合わせたプロセス開発の発表があった。

③のハイブリッドSHJについては2012年Fraunhofer研究所が $2 \times 2 \text{cm}^2$ セルで変換効率22.8%を達成している。今回Imecはセル面積を $15.6 \times 15.6 \text{cm}^2$ の大面積実用サイズで、表面に加え裏面にもテクスチャ(凹凸)構造を持ち、表面電極にはレーザーアニールとNi/Cu/Agめっきを組み合わせた方法を採用した。

n型CZ-Siウエハの両面をテクスチャ処理し、表面側に高ドーピングPでn+FSF層を形成し熱酸化SiO₂/プラズマCVDでSiN_x膜を形成する。裏面側については裏面のFSF層を除去後HFでSiO₂/SiN_x除去してa-Si:H(i/p+)/ITO/Agを形成する。表面の電極形成にはエキシマレーザーによりSiO₂/SiN_xを局所的に除去し、Niめっき後エキシマレーザーアニールによりNi-Silicideを形成しNi/Cu/Agを再度めっきした。このプロセスで製造したセルでは20.3%が得られた。一方、通常のNi/Cu/Agをめっき後ベルトファーネス焼結($250 < T < 450^\circ\text{C}$)したセルでは17.8%であった。表面のエキシマレーザーアニールの採用により裏面のa-Si:H(i/p+)/ITO/Agの膜質(水素の離脱)に影響を及ぼさなかったものとみている。このプロセスの最適化で変換効率22%は可能と見ている。

以上