

## EU-PVSEC ショート速報[結晶 Si 関連]

大平圭介（北陸先端科学技術大学院大学）

会議名：24th European Photovoltaic Solar Energy Conference

開催期間：2009年9月21日～25日

開催場所：Hamburg, ドイツ

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*  
バルク結晶 Si 系のセッションでは、ECN、Suntech による多結晶 Si 太陽電池モジュール効率の記録更新の報告が注目を集めた。また、Si ウェハをセル化前に簡便な手法でモニタリングする技術にもさらに磨きがかかっている印象を受けた。Si 結晶材料の面では、キャスト法で形成した疑似単結晶 Si や upgraded metallurgical-grade Si (UMG-Si)を利用したセルの高いポテンシャルが実証された。新たな流れとしては、selective emitter 形成、plating 技術やステンシルを利用した高アスペクト比フィンガー電極形成など、セル表面構造のさらなる改良を目指した技術に関する発表が多く見受けられた。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

市場を牽引している分野らしく、工業的側面に重点を置いた発表が大多数であった。特に、表面電極による shading loss や表面ドーピング層(emitter)での再結合を最小限に抑える工夫や、ウェハ（またはウェハ化前の brick）をインライン検査に適用可能な手法で評価する技術の報告が多く見受けられ、技術開発の成熟期に入っているという印象を受けた。

## 2. 表面セル構造の改善

## 2. 1 表面電極

Fraunhoferから、表面電極をコンタクト層と低配線抵抗層の2層構造にし、高アスペクト比の電極を形成することで、shading loss低減を行う手法が紹介された。レーザーアブレーションによるSiN<sub>x</sub>反射防止膜の部分除去後にelectroless Ni platingにより選択的にNiを形成し、電解質と光照射を用いたlight-induced platingにより、Ni上にAgを形成する。幅50 μm以下、高さ10 μm程度の配線が形成でき、Ag使用量を40%以上低減できる長所もある。ECNは、スクリーン印刷の代わりに、金属板に多数の穴があいたステンシルを利用することで、Agフィンガー電極幅を130 μmから75 μmまで低減、高さを17 μmから28 μmまで増大できることを報告した。UNSWからは、インクジェットによる直接ウェットエッチングにより、表面SiN<sub>x</sub>膜のパターンニングが、幅30 μm程度のサイズで可能との結果が報告された。IMECでは、コスト低減も視野に入れ、表面電極をAgからCuに代える検討を行っている。レーザーアブレーションなどによりSiN<sub>x</sub>膜を除去後、Light-induced platingによりCuを形成することで、CZ単結晶を用いて18%を超える変換効率のセルが作製可能であることを実証している。一方シャープは、ペーストの工夫により、表面フィンガー電極の線幅を、スクリーン印刷でも50 μmに低減できることを実証し、また、ステンシルとの組み合わせで、線幅をさらに30 μmまで低減できることを報告した。裏面ポイントコンタクト型の多結晶Siセルで、18.2%の変換

効率を実現している。上記技術の多くは、これまでAgスクリーン印刷とファイヤースルーのみの単純な工程で形成していた表面電極形成プロセスを複雑化するものであるため、コストおよびスループット面が今後の課題と予想される。

## 2. 2 Selective emitter 形成

Centrothermでは、emitter層での再結合低減と表面電極との良好なコンタクトを両立させるため、電極下部のみ高ドーピングによる”selective emitter”の形成に取り組んでいる。いくつか試みたプロセスの中で、絶縁層を堆積し、レーザーアブレーションでパターニングした後選択的に拡散を行う工程で最も良い結果が得られ、単結晶、多結晶それぞれにおいて、通常のemitter構造と比較した特性の優位性を確認している。Fraunhoferでは、 $H_3PO_4$ のジェット滴下とレーザー処理の組み合わせによるselective emitter形成を行っており、レーザー強度の最適化により、変換効率 20%以上の単結晶セル形成に成功している。先に述べたフィンガー電極形成法とともに、今後の進歩が期待される。

## 3. Si 結晶材料

IMEC は、キャスト法で疑似単結晶 Si インゴットを作製できる BP Solar 社製のウェハーを用いてセル化を行い、CZ 単結晶 Si と同等の特性を実現できることを実証し、多結晶 Si では難しいアルカリエッチングによるテクスチャ形成が可能であり、かつ、CZ 法と比べ巨大なインゴットを作製できる優位性を主張している。Calisolar からは、metallurgical-grade Si と高純度 Si を混ぜた Upgraded metallurgical-grade Si (UMG-Si)を用いて、変換効率、ブレイクダウン電圧など、従来の多結晶 Si と同等のセル特性を実現できるとの報告がなされた。温度特性に関しては、従来のセルよりも優れているという実験結果が得られており、原材料価格を抑えられる上に特性も良いセルを提供できる可能性を示している。また、ANU からは、B と P が混在する compensated Si について、B-O 再結合中心の濃度は、B の濃度ではなく、B 濃度 - P 濃度（正味のドーピング量）で決まることを示す実験結果が示された。このことは、P 濃度を高くして n 型にしまえば、たとえ B が大量に混入していても B-O 再結合中心は形成されないことも示唆しており、先の Calisolar の報告内容とともに、多結晶 Si の高品質化に費やすコスト、エネルギーを最小限にとどめながらセル効率を高い水準に維持する技術が、今後の一つの潮流になる可能性もある。

## 4. 多結晶 Si 太陽電池のモジュール効率

ECNから、emitterおよび電極をレーザーで空けた穴を通して裏面に回したmetal-wrap-through (MWT) 構造において、emitter層の条件の最適化、 $SiN_x$ 反射防止膜の膜質の改善などにより、セル効率で 17.5%、モジュール効率で世界最高の 16.44% (0.876  $m^2$ ) を達成した報告がなされた。そのわずか 2 日後のセッションで、Suntechから、やはりプロセスの改良などにより、モジュール効率として 16.53%(1.16  $m^2$ )が報告された。日本の三菱電機、京セラ、および先に紹介したシャープからは、18%を超えるセル効率の報告があることから、これらの量産化が開始されると、モジュール効率もさらに改善されると予想される。

## 5. 結晶品質のモニタリング技術

Fraunhofer から、Si ウェハー内に混入物や欠陥が存在すると、その周囲の結晶が歪むことにより複屈折が発生する現象を利用し、透過光の偏光状態をモニターすることにより、混入物などの情報を二次元像とし

て取得する手法が紹介された。同じく **Fraunhofer** から、**Si** ウェハーのフォトルミネッセンス(**PL**)イメージにおける、結晶欠陥に起因する暗部の割合と、セル化後の開放電圧(**Voc**)には高い相関があることが指摘され、これを利用して、セル化を行わなくても、ウェハーの段階で **Voc** の予測が可能との報告がなされた。**ISFH** からは、**Si** ウェハーに **LED** からの赤外線を照射して余剰キャリアを生成し、発光強度の 2 次元像から少数キャリア寿命の 2 次元マッピングを短時間で行う手法が紹介された。測定時間を、少数キャリア寿命のマッピング測定によく用いられるマイクロ波光導電減衰( $\mu$ -**PCD**)法の 1/1000 に短縮でき、ウェハーのインラインモニタリングにも適用可能となる。また、**BT Imaging** からは、結晶 **Si** の少数キャリア寿命の測定値は、brick と呼ばれる厚さ 10 cm 以上のウェハー化前の状態で測定を行うと、表面再結合の影響がそれほど大きくないため、表面パッシベーションや煩雑な解析を行わなくても、**PL** 発光強度分布からキャリア寿命分布を簡便に評価できる手法の報告がなされた。それぞれ多結晶 **Si** セルの品質の安定化、歩留まり向上に貢献する技術として期待される。

## 6. おわりに

**Fraunhofer** の講演の一つで、ドイツの市場の 80%は家庭用であるという現状が紹介された。このことは、限られた面積で高い発電量を実現できるバルク結晶 **Si** 系太陽電池が、今後しばらく、薄膜太陽電池に対して大きなアドバンテージを持ち続けることを示している。同学会では例年、結晶 **Si** 系のセッションが最も講演数、聴講人数とも多く、同様の認識を持つ人が多いのだろうという印象も受けた。