

IEEE-PVSC ショート速報 [バルク結晶シリコン太陽電池関連]

大平圭介 (北陸先端科学技術大学院大学)

会議名 : 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference

開催期間 : 2010年6月20日-25日

開催場所 : Hawai'i Convention Center, (ホノルル、ハワイ州、米国)

*****要 約*****

今年の IEEE PVSC (IEEE 太陽光発電専門家会議) は、総参加者数 1,394 人、米国 ハワイ州のホノルルで開催され、太陽電池の基礎技術である結晶シリコン、有機/シリコン/化合物薄膜等、さまざまな分野で報告があった。バルク結晶 Si 系 (結晶シリコン太陽電池) のセッションでは、欧米の企業、研究機関からの、単結晶シリコン太陽電池に関する高いセル特性の報告があり、また、プロセス技術がさらに成熟に向かって印象を受けた。一方、量産を見据えた新規プロセス技術に関する研究も数多く報告され、高効率化と低コスト化の両面からの、発電コスト低減に向けた大きな流れが感じられた。

1. はじめに

ここ数年市場を席卷し始めている CdTe 太陽電池への危機感からか、特に単結晶シリコン太陽電池の高効率化が加速している。結晶の製法やデバイス構造において、新たな概念が提唱されたわけではないが、特にセルプロセス技術の成熟度は目覚ましく、数年前では考えられないような、高いセル特性の報告が数多くなされた。

2. 高効率セル

Fraunhofer ISEのBenickらは、 Al_2O_3 膜によるp型シリコン表面のパッシベーション機構についての詳細な検討を行っている。膜形成直後の状態では、実効キャリア寿命は $2 \mu s$ であったものが、アニールを行うことで、 $2 ms$ を超える寿命が観測される。アニールによる負の膜中固定電荷量変化は、 $6 \times 10^{12} / cm^2$ から $1 \times 10^{13} / cm^2$ とそれほど大きくなく、一方、界面準位密度はアニールにより 2桁程度減少しており、これが特性向上に寄与していると結論づけている。また、最適化した条件で形成した Al_2O_3 パッシベーション膜を用い、変換効率 23.9%を持つセルの作製にも成功している。

Sunpower社からのプレナリー講演では、同社が製品化しているBack Junctionセル (電極およびエミッタ層をすべて裏面に形成する太陽電池) において、Cz (チョクラルスキー) n型シリコンウェハを用いた実用サイズ($155.1 cm^2$)のセルでの変換効率 24.2%(721 mV、40.46 A/cm²、FF=82.9%)を実現した報告がなされた。主にP (リン) 拡散プロセスの最適化を行い、裏面の電極がない箇所と表面での再結合抑制効果、および裏面でのコンタクト領域の特性が向上した結果であり、モジュール効率としても 20.4% (1.63 m²、332W)以上を実現している。

ドイツHagen大学のMuellerらは、プラズマCVD (化学気相堆積) により堆積した $\alpha-SiO_x:H$ 膜を用いた結晶シリコン表面のパッシベーション構造に関する発表を行った。両面にこの $\alpha-SiO_x:H$ 膜を堆積した後、表面、

裏面にそれぞれ、 p^+ および n^+ 微結晶Si層を堆積した構造について、特に p 型基板について高いパッシベーション能力（ウェハー厚 280 μm での実効キャリア寿命 16 ms）を実証している。また、 n 型基板を用い、開放電圧が 702 mVと高いセルの作製にも成功している。 $a\text{-SiO}_x\text{:H}$ 膜は、 $a\text{-Si:H}$ 膜よりバンドギャップが広いいため、パッシベーション層での光吸収による損失を低減できる効果も期待できる。

フランスのCEA-INES (National Institute for Solar Energy)のMunozらは、 $a\text{-Si/c-Si}$ ヘテロ接合太陽電池において、ドーピング $a\text{-Si}$ 層とウェハー間にノンドーパ $a\text{-Si}$ バッファ層を挿入することで、界面での再結合速度を 6 cm/sまで低減できることを示し、 n 型ウェハー(1.5 Ωcm)を用いた面積 148 cm^2 のセルにおいて、変換効率 19.5% (708 mV、35.6 mA/cm^2 、FF=77.3%)を達成している。また、開放電圧だけに注目すると、718 mVを示すセルの作製にも成功している。

3. 新規プロセス

Dow Chemical Company の Moynihan らは、アルカリ溶液による Si ウェハー表面へのテクスチャ形成時に使用する、揮発性のある IPA (イソプロピルアルコール) に代わる新たな不揮発性添加物（詳細は明かされず）に関する講演を行った。KOH+IPA 溶液と同等の低反射率表面を形成可能であり、また、同じ溶液を用いて 6 時間後にエッチングを行っても到達反射率には全く変化がない。添加物の価格を含めても、低コスト化が可能とのことである。

IMEC (Interuniversity Microelectronics Center)のPrajapatiからは、単結晶シリコンセル作製のプロセス数を低減する手法が紹介された。従来のプロセスでは、ワイヤーソーによるスライス直後のウェハーに対し、スライスによる損傷層を除去するためのエッチングを行った後、アルカリテクスチャを施し、その後裏面に鏡面化処理を行うため、この一連のプロセスに約 1 時間かかる上、40 μm のSiを失う欠点がある。これに対し、提案のプロセスは、まずスライス直後のウェハーに対して直接有機層を形成し、同層を除去することで、表面損傷層にnmサイズの微小有機エッチングマスクを残留させる。その後、濃度を調整したアルカリエッチングを行うと、この微小有機マスクが残留した表面層にはテクスチャが形成され、裏面は鏡面エッチングされる。この手法により、汎用のアルカリエッチングによるランダムテクスチャ形成と同等の反射率スペクトルを得るとともに、Siの損失を 15 μm に低減でき、かつ、一連のエッチングプロセスを 5 分に短縮できる。このプロセスを行ったウェハーを用いて、18.4 %の変換効率 (37.3 mA/cm^2 、640 mV、FF 77.0 %、156 cm^2)のセルが作製可能であることも実証している。

ECN (Energy research Centre of the Netherlands)のCesarらは、生産性に乏しいとされるALD (Atomic Layer Deposition)法による Al_2O_3 パッシベーション層形成の量産技術化についての検討結果を報告した。 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3/\text{N}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{N}_2/\dots$ の順にガス噴出口が並ぶチャンバー内で基板を走行させることで、 Al_2O_3 膜の堆積が可能であることを実証している。 p 型ウェハー（抵抗率 2-3 Ωcm ）において、電極焼成時と同条件のアニール後に、表面再結合速度 15 cm/s以下（少数キャリア密度 $3 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ ）を達成している。この値は、開放電圧 720 mVで動作するセルに用いられている Al_2O_3 膜と同等のものであり、量産化技術への一つの道筋が示されたと言える。

4. その他

MIT (マサチューセッツ工科大) の Bertoni らは、多結晶シリコン粒界の水素パッシベーションについて、粒界ごとに効果にばらつきがある原因について報告を行った。粒界に存在する Fe 原子の密度は、水素パッ

シベーシヨンの効果がある粒界とそうでない粒界には差がなく、粒界に存在する不純物元素量の差が原因ではないと結論づけている。一方、粒界に存在する転位量と水素パッシベーションの効果には明確な相関があり、転位が多いとパッシベーションの効果が少ないことを見いだした。また、高い Σ 値の対応粒界の方がランダム粒界よりも転位密度が高く、その結果、水素パッシベーションの効果も少ないことも示された。多結晶シリコン太陽電池の高効率化には、水素パッシベーションを行う前提においては、高い Σ 値の対応粒界をいかに少なくするかが、結晶成長の際に求められる指針と言える。

5. おわりに

アメリカで行われるこの会議においては、これまでは、宇宙用や集光太陽電池が注目され、バルク結晶シリコン系セッションの重要度は決して高くない印象であった。しかし、本年の会議においては、3カ月後にWCPEC (World Conference on Photovoltaic Energy Conversion : 太陽光発電世界会議) を控えているにも関わらず、多くの重要な成果が発表され、セッション自体の注目度もかなり高い印象を受けた。ハワイという開催地の魅力を差し引いても、バルク結晶シリコン系太陽電池の重要さを多くの人が認識している結果と考えられる。一方で、ウェハーの薄型化に関する報告は少なく、低コスト化へ向け、今後の技術開発が待たれる。

中国、台湾など、アジア諸国からの参加者が、これまでよりも多いと感じた。主催者側の写真撮影禁止の通告を無視してスライドを撮影するなど、モラルの低さは気になるものの、好意的に捕らえれば、多くを吸収しようとする熱心な姿勢とも言える。一方、日本からの、特に企業の発表が非常に少なく、寂しい印象を受けた。