

NREL ワークショップ ショート速報[太陽電池]

大下祥雄（豊田工業大学）

会議名：18th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes

開催場所：Vail Cascade Resort (Vail, CO, 米国)

*****要 約*****

本ワークショップでは、結晶シリコン太陽電池に関して材料からデバイスまで一貫した議論が行われた。結晶成長に関しては、キャスト法による単結晶シリコン成長の報告が BP solar からあった。結晶性に関しては改善の余地があるが、キャスト成長技術が一段向上してきている。デバイスとしては、SunPower の裏面接合型セルが着実に進歩しており、モジュール効率で 21% が視野に入ってきた。一方、本ワークショップへの新たな参加者が近年増加している。今年も、Applied Materials による結晶シリコン太陽電池製造システム、ならびに薄膜および結晶シリコン太陽電池の市場戦略に関する報告が印象的であった。

1. はじめに

毎年夏に開催されている NREL 主催の掲題のワークショップが、今年も 8 月 3 日の朝から 8 月 6 日の午前中にかけて米国の Vail で開催された。結晶シリコン太陽電池に関して、結晶成長、結晶評価、デバイス構造、要素技術などの項目ごとに集中的に議論が行われた。今年も "New Directions for Rapidly Growing Silicon Technology" として、急速に市場が成長している中で結晶シリコン太陽電池の研究開発を今後如何に進めていくかがテーマであった。開催地 Vail はデンバーから車で約 2 時間 30 分離れたロッキー山中にあり、朝 8 時から夜 9 時まで文字通り缶詰状態でワークショップが行われた。今回の参加人数は 158 名（事前登録者数）であり、21 件の招待講演と 26 件のポスター発表があった。招待講演数は例年と同程度であるが、ポスター発表の件数がこれまでと比較してやや減少した。本ワークショップは結晶シリコン太陽電池の研究開発において重要な位置を占めており、新しい企業や組織からの参加者が近年増加している。例えば、台湾の Motec は 5 年ほど前から本ワークショップに参加しており、NREL からの技術協力をもとに最近急速に生産規模を拡大している。いわゆる LSI 系の企業の参加も増えており、昨年は Intel が参加し出席者の注目を集めた。最近、Intel が太陽電池業界に参入することを発表したことは記憶に新しい。今年も Applied Materials から結晶シリコン太陽電池プロセスに関する発表があり、結晶シリコン太陽電池における新たな流れを感じた。ドイツをはじめとしてヨーロッパからの参加者も多く、結晶シリコン太陽電池に関する研究開発が昨年にも増して活発化している印象を受けた。

本ワークショップにおいては、講演はシングルセッション形式で行われ、招待講演に対しては 30 分～1 時間と長い時間が設定されている。幾つかの招待講演の後には、そのテーマに関して 1 時間程度の討論の時間が設けられている。そのため、一つのテーマに関してじっくりと議論することができる。今年も、1 日目の朝から "1: CRYSTAL GROWTH AND DEFECTS"、"2: NON-SILICON BASED SOLAR CELL TECHNOLOGY"、"3: ROLE OF CHEMICAL SUPPLIERS IN RAPIDLY GROWING PV INDUSTRY"、

“4: THIN-FILM SILICON”、“5: IMPURITIES AND DEFECTS IN Si”、“6: FEEDSTOCK ISSUE”、“7: HIGH EFFICIENCY SOLAR CELLS”の各セッションで活発な議論行われた。

2. 主な話題とトピックス

2. 1 OPENING SESSION から

本ワークショップの主催者である NREL の B. Sopori から今回のワークショップの主旨説明の後、同じく NREL の M. Symko-Davis より、現在米国で進められている太陽電池研究開発プログラムである“The Solar America Initiative PV technology Incubator Program “に関する説明がなされた。また、1 日目の最後には”R&D Strategies for a High-Growth Industry”と題した Rump session が行われた。産官学が今後どのような形で太陽電池の研究開発に携わるべきか、加えて、将来の太陽電池業界を支える学生を如何に教育するかなど多方面の話題に関して真摯な議論がなされた。

2. 2 SESSION1: CRYSTAL GROWTH AND DEFECTS から

BP SolarのN. Stoddardは“The leading Edge of Silicon Casting Technology and BP Solar’s Mono² Wafers “と題して、現在の太陽電池市場ならびに技術動向を整理したのち、キャスト法で(100)配向に成長させる単結晶成長技術ならびにその結晶を用いた太陽電池特性に関するデータを紹介した。坩堝の側壁における核生成が原因で成長した多結晶粒以外は、単結晶をキャスト法で成長させている。いわゆる v/G の値や成長速度が重要であるとしている。同内容に関しては、ポスターにおいても発表があり、シリコン空孔や格子間シリコンが結晶に与える影響が議論されていた。シリコンは結晶成長時に固化膨張する。そのため、キャスト法で単結晶を成長させると応力が発生し、欠陥が生成されることが予想される。BP Solarの結晶においても、多くのdislocationが結晶中に存在している ($10^3 \sim 10^4/cm^2$)。しかし、太陽電池作成プロセス後の拡散長としては $400 \sim 600 \mu m$ 程度と比較的良好である。通常のスクリンプリント法で作られたセルの変換効率は 16.2% (Voc: 610 mV, Isc: 5.4 A, FF: 76.4) であり、比較用に作成したCz基板を用いたセル特性と比較して遜色はない。本結晶を用いてバックコンタクト型のセルを作った場合には 22.2%の変換効率が得られると予想している。キャスト法により(100)配向の単結晶が得られることは、低コストの観点から有効である。結晶性向上や低品位原料の影響の解明などが今後必要であるが、キャスト法の新たな可能性として注目される。

キャスト法において良好な結晶を得るためには、固液界面形状制御、シリコン融液中の N や C 濃度の制御、炉内の温度分布制御などが必要である。本件に関して、九州大学の K. Kakimoto が、2次元ならびに3次元での流体計算に関し発表した。定性的な議論だけでは、さらに良質な結晶を得ることはできない。結晶成長機構のより深い理解が重要である。定量的な理解に基づく結晶成長過程の精密な制御が、良質な結晶を得る上で必要不可欠である。一方、結晶成長を理解するに必要な基礎的なデータの蓄積はいまだ不十分であり、こちらの進展も今後より期待される。

2. 3 SESSION 4: THIN-FILM SILICON

セッションのタイトルは薄型シリコン太陽電池であるが、Applied Materials の C. Gay による講演のタイトルは”Crystalline Silicon – Using Experience and Scale to Accelerate Cost Reduction Ahead of Thin Film PV”であり、如何に結晶シリコン太陽電池の市場を開拓していくかにあった。TFT 技術を生かした薄膜系のみではなく、結晶系シリコン太陽電池に関しても周到な開発計画を有している。当面 100MW のシステム (3000 枚/hour) を検討していることや、中国やヨーロッパへの拠点展開計画などが紹介された。”In

today's world, "selling PV manufactured solution" is "easy". Tomorrow is different....."といった言葉に表れるように、マーケットに対して非常に綿密な計画を立てている。

薄型基板の作成法に関しては、SiGen よりプロトンイオン注入による方法の紹介があった。これまでも発表された内容である。剥離の原理や基板厚の制御法などに関して不明な点が多く、個人的には技術の将来性に関しては未だ判断できない。しかし、新しい方法で興味ある結果を出す土壌が欧米にあることを強く感じる。

2. 4 SESSION 5: IMPURITIES AND DIFECTS IN Si

シリコン融液中に溶け込んでいる N, C ならびに O が成長時の結晶中に欠陥を形成する大きな原因であることは参加者全員の共通の認識となってきた。これらに関連して、JAXA の M. Tajima による PL 測定による欠陥評価など、結晶成長機構ならびに結晶欠陥、さらには結晶欠陥と重金属不純物の複合体に関し多くの議論が行われた。我々も Spring-8 のビームラインを用いた重金属分布やその状態に関する評価結果などを発表した。

2. 5 SESSION 6: FEEDSTOCK ISSUES

ECN の P. Bronsveld より "Effect of Metal Impurities in Silicon Feedstock on Multicrystalline Silicon Solar Cells" と題して、原料シリコン中の Fe, Cr, Ni 量に変換効率に与える影響が報告された。単結晶に関しては同様なデータは既に存在している。しかし、多結晶セルに対しては未だガイドラインはない。キャスト法で成長させたインゴットの異なる場所から切り出した基板で太陽電池を試作し、重金属濃度とセル特性の関係を調べている。インゴット底部の結晶で作製したセルでは、いずれの重金属の存在によっても変換効率が著しく低下した。ただし、Fe と比較して Ni は特性劣化の様子が少し異なることが示された。インゴット底部近くでは一般的に結晶粒が小さく結晶欠陥が多い。すなわち、重金属と欠陥との複合体が変換効率を大きく低下させている。しかし、欠陥の種類やそれらの濃度に関する情報は少なく、特定の装置において最適条件下で成長させたセルに対する金属濃度のインパクトを調べたといった域を出ていない。標準化といった観点からは、基礎データのさらなる集積と、それらに基づくより詳細な議論が必要である。

2. 6 SESSION 7: HIGH EFFICIENCY SOLAR CELLS

SunPower の J. Cotter より "Toward 21% Commercial Silicon Module" と題した発表がなされた。SunPower で開発され量産においても高効率を実現されている裏面接合型の高効率太陽電池に関し、開発の歴史に加え今後の事業展開計画が述べられた。2009 年に Malaysia に 1 GW のプラントを計画し、2012 年には 4 \$/Watt を実現できるとしている。加えて、現在開発中の Gen3 に関して、開発段階ではあるがセル変換効率 23.4% が得られていることが報告された。モジュール効率 21% が視野に入ってきた。

3. おわりに

NREL の主催により開催された結晶シリコン太陽電池ワークショップの講演の中からいくつかのトピックスを紹介した。個々のテーマに関して積極的に意見が出され、集中して議論が行われた。それゆえ、本ワークショップは、結晶シリコン電池に関する究発開発結果、ならびに今後の研究開発の戦略を議論する上で重要な役割を果たしている。それと同時に、将来太陽電池関連の技術者・研究者となるべき学生に対する非常に良く機能した教育の場ともなっている。その一例として、日本の大学からの学生が本ワークショップでの盛んな議論と自らの発表を体験し、加えて "Student Award" を受賞したことを通じて、今後の研究や学習に対しさらなる向上心と自信を得たことを報告して終わりとしたい。