

## CSSC-3 ショート速報

柿本浩一 (九州大学)

会議名 : 3<sup>rd</sup> International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells

開催期間 : 2009年6月3日-5日

開催場所 : ノルウェー工科大学 (Trondheim、ノルウェー)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*

2009年6月3日から5日にノルウェーのトロンハイムにて、3<sup>rd</sup> International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cellsが開催された。世界の12カ国から約120名の参加者があり、材料とプロセスの観点から太陽電池用シリコン結晶に関して活発な議論がなされた。会議は4つのセッションと2つのポスターセッションで構成されており(1. 原料問題、2. 結晶成長、3. 欠陥エンジニアリング、4. 物性)、計32件の講演と47件のポスター発表が行われた。さらに、講演会の後にはノルウェー工科大学の研究質の見学が行われた。いずれのセッションも活発に質疑が行われていた。本稿では、各発表に対して印象に残ったトピックについて、そのポイントを報告する。

\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cellsは、第1回は仙台、第2回は中国のアモイで開催され、第3回となる今回はシリコンの原料の産地で有名なノルウェーのトロンハイムで開催された。参加者は約120名であった。また、発表件数は、口頭発表が32件、ポスター発表が47件であった。本会議は、ノルウェーのトロンハイムのノルウェー工科大学と日本学術振興会第161委員会の主催によるものである。口頭発表とポスター発表がそれぞれ4つと2つのセッションに分けられ、3日間の日程で講演が行われた。口頭発表数の内訳は、(原料問題: 8、結晶成長: 8、不純物と欠陥: 8、物性: 8)であった。今回の会議は、シリコン太陽電池用原料の主要生産国の一つであるノルウェーの主催による会議なので、太陽電池用シリコン原料に特化した報告が多く見受けられた。

## 2. 原料問題

原料不足の問題が太陽電池の昨今のひとつの大きなテーマになっている。まず、ノルウェーのMarcheのCeccaroliからプレナリー講演があり、金属グレードシリコンからソーラーグレードシリコンの概要に関する説明があった。金属グレードシリコン、アップグレード金属グレードシリコン、ソーラーグレードシリコンの不純物濃度の定義は、100pp, 1ppm, 1ppm以下の不純物濃度で分類されるとのことであった。

さらに、ノルウェーのElkemからアップグレード金属グレードシリコンを用いた太陽電池の作成および評価結果が報告された。ここでは、アップグレード金属グレードシリコンからソーラーグレードシリコンを作成し、ホール濃度と電子濃度を制御することにより太陽電池を作成する報告が行われていた。特に、アップグレード金属グレードシリコン原料のみで太陽電池を作成するための、アップグレード金属グレードシリコン中のホール濃度と電子濃度の許容範囲について解析した結果に関する報告がなされた。さらに、この原料

を用いて約2000個の太陽電池を作成して、半導体グレードの原料から作成した太陽電池の効率に劣らない太陽電池の作成が可能であることを示していた。

MITのBounassisiのグループからは、ノルウェーのSINTEFのグループと共同で原料となる珪石やチャコール等の不純物の分析を放射光により行っていた。特に鉄、カルシウム、チタンのような不純物量が、チャコールの種類によって異なっていることを示していた。

### 3. 結晶成長

結晶成長に関するセッションは2つあり、まずBPソーラーからは今話題となっているMono<sup>2</sup>に関する発表が行われた。この発表では、この擬単結晶に関する報告が行われていたが、成長方法の詳細に関する報告は行われてはなかった。種結晶を使用して結晶化していることは確実ではあるが、どのように原料を融解し再結晶化を行っているかは不明である。しかし、育成した結晶の少数キャリアライフタイムの分布から重金属不純物の分布を予想して、融解から再結晶化の時間を推定すると、その時間は数時間であるとは推定できる。また、このときには、純度が低い窒化珪素を離型剤として使用していたことがわかる。講演では、点欠陥の濃度が今後重要になってくるとの報告をしていたが、チョクラスキ法によりシリコン結晶のように転位や不純物が少ない場合は、空孔の凝集体であるボイドが結晶内に形成される。しかし、Mono<sup>2</sup>のように転位が存在する結晶では、単にV/Gのようなパラメータのみで記述できるような空孔やその凝集体であるボイド形成が結晶内に生じる事はなく、さらに複雑な反応が存在するために、今後の研究開発が必須となる。

日本からは、デンドライトを用いた結晶成長法が東北大より報告されていた。過冷却の付け方の具体的な方法等について質問があったが、基本的にはGT SolarのHEMのように、強制冷却を坩堝底部から行うことが基本であると考えられる。

フランスからは、INESから石英坩堝とシリコン融液との濡れ性についての報告が行われた。基本的には1990年代に日本が行ったLSI用シリコン用物性プロジェクト(NEDO)のデータに近い値が報告されていた。炉内圧力と濡れ性との関係、融液組成と濡れ性との関係はすでに報告されており、LSIのコミュニティーと太陽電池のコミュニティーとの融合の必要性を感じた。

次に、フランスのCEAから熱流を制御することにより結晶成長を行う報告が行われていた。これは、接触熱伝達と輻射熱伝達をうまく使い分けて成長中の温度分布の制御を行う方法であり、学問的にはおもしろい方法である。しかし、一般に成長中には部材の変形等が生じ、0.5mmの空隙の制御による結晶成長は実用的にはほぼ不可能ではないかというのが感想である。

最後にフライベルク大学のMoeller先生からは、窒化シリコンの結晶成長中における生成過程を共晶プロセスにより説明する事ができるとの報告がなされていた。これは、結晶中の炭素濃度が平衡濃度よりも大きな値で存在するメカニズムを説明しようとしたものである。しかし、共晶平行点よりもさらに非平衡点へ移ることによりこの過剰部分を説明しようとしていたが、この非平衡になるプロセスが不明であるために、まだ完全な理解には至っていないことがわかる。今後、議論がなされていくことであろう。

### 4. 不純物と欠陥

Fraunhofer ISEからは、低温でアニールすることにより変換効率が向上するとの発表が行われた。これは、ゲッターリングに関する現象であると予想されるが、詳細な検討に関しては報告はされていなかった。NIMS

の関口先生からは、EBICやELBIC等を用いた多結晶の電氣的評価に関する報告がなされていた。特にグレイン境界における評価結果は興味深い発表であった。また、JAXA宇宙研の田島先生からはPLを用いた評価法に関する報告があった。特に低濃度や高濃度の不純物濃度を測定することが可能であることが印象深かった。

## 5. 最後に

本講演会の間、ロビーでコーヒータイムの時にいろいろなシリコンの専門家と議論した内容を少し報告する。まず、不純物の分析を行う場合、どのような不純物のゲッターリングプロセスを用いているのであろうか、異なるプロセスだから異なる結果が出てはいないかとのコメントを、あるシリコン単結晶メーカーの旧友から聞いた。また、グレインサイズは本当に大きくする必要があるのであろうか、との問いに関して、別のシリコン原料、単結晶、多結晶メーカーの人は、小さなグレインサイズでも高い効率のデバイスができており、もう一度この点に関して議論する必要があるのではないかと思った。

シリコンはLSIですでに豊富な知識の蓄積があり、これらをうまく活用することにより、研究開発の効率化を加速することが可能ではないかと考え、白夜のノルウェーを後にした。