

2015 年春季講演会シンポジウム報告 太陽電池用バルク結晶シリコンの成長と評価

本シンポジウムは、大分類 15「結晶工学」の中分類 15.8「結晶評価, 不純物・結晶欠陥」と、大分類 16「非晶質・微結晶」の中分類 16.3「シリコン系太陽電池」の合同分科企画シンポジウムとして、3月13日に開催された。「シリコン系太陽電池」で議論されている研究対象の一つに、太陽電池用バルク結晶 Si がある。太陽電池の高効率化のために、結晶 Si の品質向上が求められているが、そのためには結晶中の不純物析出や欠陥生成の制御が欠かせない。「結晶評価, 不純物・結晶欠陥」でも、結晶 Si に関する研究が多く発表されており、二つの中分類には共通項が多く、セッション間の人材交流も意図して本シンポジウムを企画した。同じ時間帯にノーベル賞記念講演が開催されており、参加者数の伸び悩みが懸念されたが、100名前後の聴講者があり、本分野の注目度の高さを感じた。

冒頭に、東北大・沓掛（敬称略、以下同様）より、本シンポジウムの趣旨と、両中分類で取り扱っているトピックス、およびバルク結晶 Si の現状に関する紹介があった。その後、JST・中嶋から、バルク結晶 Si の新規成長法である Noncontact Crucible Method (NOC 法) に関する研究成果が紹介された。NOC 法は、るつぼ内の Si 融液の中央部に種結晶を接触させ、Si 融液中に低温領域を形成することで成長させる手法であり、従来のキャスト法よりも凝固時の歪みの影響を受けにくい。リンドープインゴットのバルク少数キャリア寿命として、3 ms という高い値を確認した。また、過冷却条件の制御により、単結晶にも関わらず、四角柱に近い構造のインゴットも成長可能であるという興味深い結果も示された。九州大・柿本からは、バルク結晶 Si のレビューとともに、チョクラルスキー(CZ)法やシードキャスト法における結晶成長中の雰囲気制御の重要性について紹介された。また、CZ でのインゴット引き上げにおいて、原料の連続供給により一つのるつぼで何本ものインゴットが製造されている最近の状況と、Si 融液への炭素の蓄積のため品質管理がより大きな課題となるという将来展望も語られた。JA Solar・黄からは、同社におけるバルク結晶 Si 開発の現状が紹介された。大きな種結晶上に成長させ、広い単結晶領域の実現を目指すモノライク多結晶 Si と、小さな種結晶を敷き詰めておいてその上で結晶成長を行い、粒径の均一な結晶粒からなるハイパフォーマンス(HP)多結晶 Si について、量産技術を開発している。特に前者において、 10^4 cm^{-2} 未満の転位密度を実現可能であり、セル変換効率も、CZ 法で形成したウエハの平均値 19.46% に対し、モノライクでは平均 19.28% と遜色ない値が得られる。海外のトップメーカーにおける開発の現状を聴講できる貴重な機会となった。結晶成長技術としては、浮遊キャスト成長法におけるデンドライト成長制御（名古屋大・平松）、HP 多結晶 Si の対応粒界の分布（筑波大・Prakash）に関する一般講演も行われた。

JAXA 宇宙研・田島からは、フォトルミネッセンス(PL)による結晶 Si 評価に関する包括的な講演がなされた。結晶 Si からの PL 光には、ドナー準位、アクセプター準位を介した発光があり、この発光からドーピング濃度の定量化も可能である。リンとボロン両方の不純

物を含有しうる太陽電池用結晶 Si の評価には、特に強力なツールとなる。また、転位や酸素析出物を面内で評価する技術についても紹介された。PL による評価技術については、東北大・二宮と明治大・加藤からも一般講演で発表がなされた。前者は粒界でのキャリア再結合速度の導出に PL を用いる技術を、後者は偏光 PL イメージングによる転位および酸素析出物の評価に関する結果を発表した。神奈川県産業技術センター・小野からは、フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)での結晶 Si の評価に関する招待講演がなされた。太陽電池用結晶 Si は、高純度の半導体用のものと比べ炭素や酸素の含有量が多く、また熱履歴が複雑であるため、酸素に関連する複合体がいくつも存在するが、FT-IR ではこれらの分離、定量評価が可能であるため、酸素析出機構を議論する上でも有用なツールとなる。また、格子間酸素量を FT-IR スペクトルから定量化する際、多重反射を考慮する必要があり、この補正を行わないと、例えば格子間酸素量を過大評価してしまうことも紹介された。日本セミラボ・渡辺からは、マイクロ波光導電減衰(μ -PCD)法による結晶 Si の少数キャリア寿命評価に関する招待講演がなされた。ウエハだけでなくインゴットのキャリア寿命の測定も可能であり、工業的にも汎用性が高い。よく使用されている波長 904 nm の励起用レーザー光では、結晶 Si への侵入長が 30 μ m 程度であり、表面再結合の影響が無視できず、バルク再結合寿命を過小評価してしまうため、波長 1064 nm (侵入長 850 μ m) のレーザー光の使用が望ましいという重要な結果も示された。

本シンポジウムは、1 時間から 1 時間半に一回休憩を入れ、比較的ゆったりしたスケジュールにて進めた。この結果、休憩時間でのディスカッションが大変活発に行われ、聴講者間の交流も促進できたと思われる。今後も両中分類間の連携を密にし、本分野を盛り上げていくとともに、結晶 Si 太陽電池の高性能化、低価格化に貢献するための議論の場を提供したいと考えている。

(北陸先端科学技術大学院大学・大平圭介)