ハイパフォーマンス多結晶 Si インゴットにおける析出物分布の 3 次元可視化
3D visualization of inclusions distribution in HP mc-Si ingot

名大院工 [1], Fraunhofer ISE[2] ○(M1C)上別府　颯一郎 [1], Patricia Krenckel[2], Theresa Troetschler[2], Adam Hess[2], Stephan Riepe[2], 宇佐美　徳隆 [1]
Graduate School of Engineering, Nagoya University[1], Fraunhofer ISE[2], ○Soichiro Kamibeppu[1], Patricia Krenckel[2], Theresa Troetschler[2], Adam Hess[2], Stephan Riepe[2], Noritaka Usami[2]
E-mail: kamibeppu.soichiro@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

１．はじめに

現在、太陽電池の生産割合の大部分を占めるハイパフォーマンス(HP)多結晶 Si 太陽電池は、インゴット生成の際、坩堝中に原料 Si を充鎮させ、融解と凝固を行うことで結晶成長を行っている。結晶成長に用いられる石英の坩堝は、Si と接触すると固化し、熱膨張率の差からインゴット内にクラックを生じさせてしまうため、それを避けるために坩堝の内側には Si_3N_4 の離型剤が塗られている。しかし離型剤自体が Si 中に溶解することで Si 融液内に窒素が混入し、結晶中に Si_3N_4 が不純物として析出する。また、炉内で発生した SiO や CO が原因となって SiC も結晶中に不純物として析出し、これらの析出物が太陽電池の品質を制限している。本研究では、HP 多結晶 Si インゴット内部の析出物分布の特徴を解明すべく、データ科学的手法を用いて析出物分布を分析し、3 次元での可視化を行った。

２．実験方法

本実験では赤外光(IR)イメージング装置(Intego 製)を用い G6 サイズの HP 多結晶 Si インゴットをブロック(156mm×156mm×290mm)ごとに測定した。測定は、ブロックの側面から赤外光を当て、手前の側面から奥の側面に向けて焦点を変えながら 45 回に分けて行った。さらに方向を変えて異なる側面から測定することで析出物分布のデータを取得した。析出物に関しては主に存在する針状の析出物と点状の析出物の二種類についてデータを取得し、三次元プロットを行った。また、針状の析出物に関しては、位置と長さの相関についても調べた。

３．実験結果および考察

4 ブロックの測定データについて、点状の析出物の高密度領域を 3 次元プロットした図を Fig.1 に示す。この図より点状の析出物の分布はいくつかの面が重なった層のようになっていることが分かる。これらの面は、結晶成長の途中で界面の高さを測定するために融液 Si に浸したロッドの影響によって結晶成長の速度が一瞬加速し、析出物がその界面に沿って分布したために形成されたものだと考えられる。これらの面のうち、2 枚の面を近似的に抜き出した図を Fig.2 に示す。赤い部分が面内で高い部分、青い部分が面内で低い部分である。これらの面の勾配から結晶成長の界面の曲率を知ることができ、その曲率は坩堝付近では大きいことが確認できた。また、針状の析出物に関しては、インゴットの上部に位置するほど、長くなることが分かった。これは Si が下部から上部に結晶成長していく過程で針状の析出物も同様に成長して大きくなったためだと考えられる。

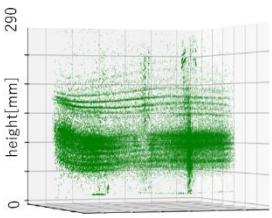

Fig.1 3Dplot that shows positions of high density small point particles

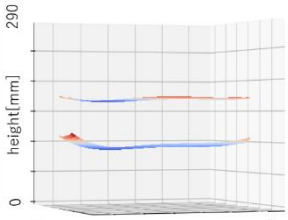

Fig.2 Approximate surfaces from the data of Fig.1

4.　結論

本研究では、IR を用いて HP 多結晶 Si インゴット内部の析出物分布を測定し、データ科学的手法を用いて分析した。針状の析出物は結晶成長とともに長くなることが確認され、析出物の多くは面状に分布していることが分かった。この面は結晶成長の界面に沿っていると考えられ、インゴット内部の応力や結晶成長時の温度分布などを知る大きな手掛かりになることが期待される。

謝辞
本研究は JST CREST(JP MJCR 17J1)の支援を受けたものである。また Fraunhofer ISE の協力を頂いた。