

畳み込みニューラルネットワークの転移学習に基づいた 多結晶シリコンインゴット中の転位クラスター発生点の特徴 Features of Generation Points of Dislocation Clusters in Multicrystalline Silicon Ingot based on Transfer Learning of Convolutional Neural Network

名大院情報¹, 理研 AIP², 名大院工³ ○ 工藤 博章¹, 松本 哲也¹, 沓掛 健太郎², 宇佐美 徳隆³

Grad. Sch. of Inf., Nagoya Univ.¹, Center for AIP, RIKEN², Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ.³

○Hiroaki Kudo¹, Tetsuya Matsumoto¹, Kentaro Kutsukake², Noritaka Usami³

E-mail: kudo@i.nagoya-u.ac.jp

多結晶シリコン太陽電池の高性能化には、性能低下の要因である転位クラスターの発生を抑制可能なインゴット成長技術の開発が求められている。しかし、多結晶組織が極めて複雑であることから、成長技術の開発指針の構築に重要となる転位発生メカニズムは未解明のままである。最近、我々は、蛍光イメージの再構成により、多結晶シリコンインゴット中の転位クラスターの3次元分布の可視化に初めて成功[1]し、転位発生メカニズム解明の第一歩として転位発生点近傍の画像を多数抽出した。しかし、人間の眼によりその特徴を見出すことは困難であった。そこで本研究では、機械学習による転位発生点の潜在的な特徴取得の可能性について検討を行った。

畳み込みニューラルネットワークである AlexNet[2] は、227×227 画素の RGB 画像を入力とし、1,000 種の一般的な画像カテゴリについて分類を行うように学習されている。このネットワークの最終層の構造を、1,000 種から2種のカテゴリ（転位クラスターの発生点を含むものと含まないもの）での分類とし、蛍光イメージ (photoluminescence (PL) image) を入力して、この層のみ学習する転移学習を行った。重みの修正を行わない層は画像特徴の抽出器として働き、最後の層の重みの学習で分類結果を得る。この構造で、6 インチシリコンウェハの PL 画像 (156mm×156mm, 180 μ m, 500×500 画素) に対して、転位クラスターを含むか否かの分類で正解率 0.94 以上の結果を得ている [3]。

学習データは、以下のように作成した。転位クラスターの3次元構造の可視化[1]により、転位クラスターの底の位置を特定した。正事例は転位クラスターの底の位置から下方に10枚までの小領域画像 (16×16 画素) とした。50 枚のウェハ (#631 から #680) から 69 の転位クラスターを特定し 593 枚の画像を得た。負事例はランダムに抽出した。テストデータには、インゴット中の上部にある #751 のウェハの PL 画像を用いた。#751 のウェハは 31×31=961 枚の小

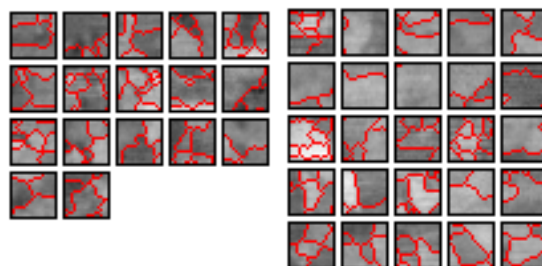


Fig 1: Sub PL images classified as true positive(left) and true negative(right).

領域画像からなり転位を含むもの (152 枚) は除外した。10 枚上にある #761 のウェハ中の同じ小領域の位置に転位を含むものを正解とした。

予測結果として、True Positive 17 枚, False Negative 37 枚, False Positive 99 枚, True Negative 656 枚の結果を得た。図 1 は TP (#751 では転位領域を含まず、#761 で転位領域を含むもの) と TN に分類された小領域画像である。TP の画像は、転位クラスターの発生点となる特徴を示していると考えられる。赤線は、画像処理で抽出した粒界を示している。複雑な構造を持つ粒界を含む画像が選択されていることがわかる。TN の画像では、複雑な構造を持つものは少なくなっている。これらの結果は、複雑な構造を持つ粒界となる粒界の三重点は、転位の発生源になり得ることを示唆していると考えられる。

本研究は、JST/CREST(JPMJCR17J1) によるものである。

参考文献

- [1] Y. Hayama, T. Matsumoto, T. Muramatsu, K. Kutsukake, H. Kudo, N. Usami, Solar Energy Materials and Solar Cells, 189, 239–244 (2019).
- [2] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G.E. Hinton, Advances in Neural Information Processing Systems, 25, 1097–1105 (2012).
- [3] H. Kudo, Y. Hayama, T. Matsumoto, K. Kutsukake, N. Usami, ICONIP 2019 Proceedings (AJIIPS), 15, 2, 68–74 (2019).