

多結晶シリコンウェハの蛍光イメージ中の 転位クラスター領域の画像変換による特定

Identification of Dislocation Clusters based on Image Translation of Photoluminescence Image of Multicrystalline Silicon Wafer

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 Info., 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

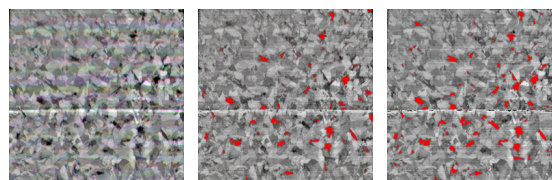
多結晶シリコン太陽電池の高性能化のために、性能低下の要因である転位クラスターの発生を抑制可能なインゴット成長技術の開発が求められている。研究グループでは、多結晶シリコンを対象にして、転位クラスター発生メカニズムを明らかにするための技術開発を、情報科学のアプローチから実現してきた。蛍光イメージの再構成により、多結晶シリコンインゴット中の転位クラスターの3次元分布の可視化を実現 [1] するとともに、蛍光・光学イメージデータの蓄積を行ってきた。蛍光イメージに対して、あるウェハのイメージから、そのウェハの上部で転位クラスターの領域が含まれるかの予測を、畳み込みニューラルネットワークを用いて実現することを行っている [2]。この手法では、シリコンウェハのイメージを小領域に区切り、この小領域画像を入力単位として、上部での転位領域の有無 (2 値) を出力として求めている。しかし、より空間分解能が高いことが望ましく、視覚的にも分かりやすいことから特徴の分析が容易となる、転位発生個所を画像変換で表示させる機械学習モデルを GAN (Generative Adversarial Network) で作成した。将来、正確な転位領域データが得られた場合の記述検証のために、ここでは近似的に画像処理を用いて教師データを作成した。

画像変換として Conditional GAN の一種である Pix2Pix を用いた。条件ベクトルとノイズベクトルから実画像が生成される CGAN の、条件ベクトル部分が画像に相当するものであり、白黒画像のカラー画像化への適用などがよく知られている。

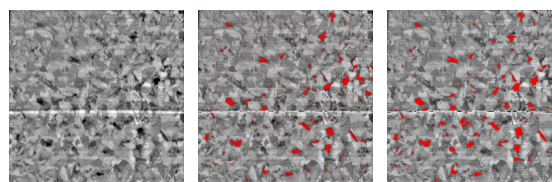
蛍光イメージは、あるシリコンインゴットを順にスライスした 6 インチシリコンウェハ (156mm×156mm, 180 μ m, スライスピッチ 290 μ m) のもので、底部から上部にナンバリングされている。8 ビット 1 チャネルの光量の強度の記録である。3 次元での可視化 [1] で用いた手法の前処理を行い、画像変換の処理を行った。画像は 256×256 画素にスケール変換した。変換対象のウェハの上部のウェハの強度情報を R のチャンネルに、変換対象の強度情報を G のチャンネルに、下部のウェハの強度情報を B のチャンネルに与え、3 枚のウェハの情報を 1 枚のカラーイメージとして表現し、変換元の画像とした。変換元の蛍光イメージ (G のチャンネルの強度情報) に対して、画像処理により、暗い領域を転位クラスター領域を含む候補として特定し、その領域を赤色とした画像を変換先の画像とした。一方、G のチャンネルの値を R,B に与えたグレー画像での変換を行った。

学習データには、#611 から #750 までのウェハを用いた。テストデータには、#769 から #868 までを用いた。

画像変換を適用した結果を図 1 に示す。上段が 3



(a) Image from three PL wafer images



(b) Image from one PL wafer image

Fig 1: Image translation result. (left: original image, center: translated image, right: target image (red regions were identified by image processing))

枚の画像 (対象のウェハと 3 枚上, 3 枚下), 下段が 1 枚の画像に対する結果である。左が変換元, 中央が変換後, 右が画像処理により転位領域を赤色で示したものを重畳した画像である。#818 のウェハを対象とした。500 エポックの結果である。

3 枚によるもの, 1 枚によるもの, いずれでも画像変換によって暗い領域を転位領域の候補として赤く示す課題に利用できる可能性が確認できた。左の図で暗い領域が、中央の画像で赤の領域に変換されるとは限らなかった。ある閾値以下の暗い領域が必ず赤色に変換されるということではなく、また、領域の大きさにも依存することではなかった。特に、3 枚の画像を用いるもので、赤の領域がより少なくなるということが確認された。3 枚と 1 枚のものについて詳細に比較すると、局所的に彩度が高い領域 (ウェハ間で強度が変化している) では、赤色でないものが見られた。そのような領域は、クラスター領域の発生・消滅の位置としての情報とも言えるため、1 枚の結果と統合すると有用である。今後、詳細を検討するとともに、入力にエッジ画像や結晶学的情報との統合を行うなどを予定している。

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] H. Kudo, T. Matsumoto, K. Kutsukake, N. Usami, DOI: 10.1587/transfun.2020IMP0010 (2020) (Advance Publication).