

## 機械学習を用いた多結晶シリコン基板の結晶粒検出と結晶方位推定 Grain detection and orientation prediction of multicrystalline silicon substrate using machine learning

名大院情報<sup>1</sup>, 名大院工<sup>2</sup>, 理研 AIP<sup>3</sup> ○(M2)加藤 光<sup>1</sup>, (M2)上別府 颯一郎<sup>2</sup>,  
小島 拓人<sup>1</sup>, 沓掛 健太郎<sup>3</sup>, 松本 哲也<sup>1</sup>, 工藤 博章<sup>1</sup>, 竹内 義則<sup>4</sup>, 宇佐美 徳隆<sup>2</sup>

Graduate School of Informatics, Nagoya University<sup>1</sup>,

Graduate School of Engineering, Nagoya University<sup>2</sup>,

Riken AIP<sup>3</sup>,

School of Informatics, Daido University<sup>4</sup>

○Hikaru Kato<sup>1</sup>, Soichiro Kamibeppu<sup>2</sup>, Takuto Kojima<sup>1</sup>, Kentaro Kutsukake<sup>3</sup>,

Tetsuya Matsumoto<sup>1</sup>, Hiroaki Kudo<sup>1</sup>, Yoshinori Takeuchi<sup>4</sup>, Noritaka Usami<sup>2</sup>,

E-mail: kato.h@hi.is.i.nagoya-u.ac.jp

太陽電池用の重要な基板材料である多結晶シリコンにおいて、個々の結晶粒の結晶方位は、材料を特徴づける重要な指標である。一般に、結晶方位は X 線や電子線の回折により高精度で分析できる。しかし、これらの測定では、1枚の6インチウエハの特性を計測する際に多大な時間を要する。結晶方位に依存した他の物理的な特性として、結晶表面のテクスチャ構造がある。これまでに選択性エッチングを施した多結晶シリコン基板は、{111}面の方位によって結晶粒ごとに異なる光反射特性を示すことが報告されている[1]。本研究では、光学的測定とデータ科学的手法の組み合わせによる太陽電池用多結晶シリコン基板の方位解析を提案する。本手法を用いることで、大面積基板を分割することなく、大気中で一度に、結晶方位解析を行うことができる。

基板と光源（コリメートライト）の配置を入射角 30 度に保ち、基板の周囲から 10 度刻みに方位角を変化させた位置からシリコン基板に対して光を照射し、基板上方の 2 次元輝度計で輝度を記録した。白色較正板でも同様の測定を行い、この比率を観測値とした。1つの計測位置について 36 方向であることから 36 次元のデータとなる。

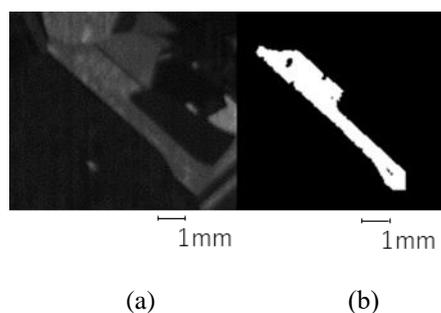


Fig.1 (a) Optical image of multicrystalline silicon. (b) One of the grain detected from (a).

これらのデータに対して無限混合ガウスモデルによるクラスタリング処理を行い、シリコン基板に含まれる結晶粒の検出を行った。検出された結晶粒の一例を Fig.1 に示す。シリコン基板に含まれる結晶粒の大半は実際の粒形状に則した検出を行うことができた。一般的な画像処理に比べて混合ガウスモデルを使うことで輝度差の小さい結晶粒の分割も高精度に行われた。

36 次元の輝度ベクトルを入力とし、X 線ラウエで特定した方位を四元数に変換し、リカレントニューラルネットワークを用いて学習を行った。この際、結晶方位の対称性に基づいた範囲に制限を行わない、1,000 個の結晶粒を教師に用いて学習を行なった。推定された方位に基づき検出した結晶粒を色付けした結果を Fig.2 に示す。方位推定処理に対して、平均推定誤差が約 28.4° であった。今後、精度向上のためニューラルネットワークの構成等の改良を行う。

### 謝辞

本研究は、JST CREST (JP MJCR17J1)によるものである。

### 参考文献

[1] 上別府颯一郎 他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-133-1, 2018.

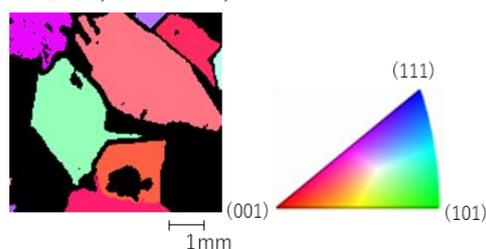


Fig.2 Colored grains based on predicted grain orientation.