

令和元年度 知能システム学専攻修士論文要旨

| | | |
|--------|-------------------------|-------|
| 工藤 研究室 | 氏 名 | 加 藤 光 |
| 修士論文題目 | 機械学習による多結晶シリコン基板の結晶方位推定 | |

多結晶シリコン型太陽電池は単結晶シリコン型太陽電池と比較して安価であるが、変換効率が低いという欠点がある。その一因として転位や粒界といった結晶欠陥を多く含むことがあげられる。粒界の特性を決定する要因の一つとして、粒界を形成する結晶粒間の方位関係がある。従って、結晶欠陥の解析において結晶方位の測定は重要である。結晶方位は X 線や電子線の回折現象を活用した手法で高精度に測定できるが、これらの手法は試料サイズに制限があり、基板全体の計測には時間とコストがかかる。一方、結晶シリコン表面の化学処理によって、結晶方位に依存したテクスチャ構造を形成できる。この時、結晶粒は結晶方位によって異なる光反射特性を示す。

本研究では、結晶粒の光反射特性から基板全体の結晶方位を高速に推定する手法の開発を行った。工業用輝度計とコリメートライトを用いたシリコン基板の光反射特性を計測する装置を試作した。装置によって得られる輝度特徴から結晶方位を推定する回帰学習をニューラルネットワークを用いて行った。結晶方位の表現法には、シリコンの立方晶対称性を考慮した四元数表現を用いた。ニューラルネットワークの損失関数には、回転表現空間での距離である測地線距離を用いた。また、試作装置の限界から装置のステージ位置に依存して発生する輝度の計測誤差を補正する手法の検討も行った。

3 枚のシリコン基板中に含まれる結晶粒の結晶方位を既存の結晶方位測定手法で測定し、得られた方位データと試作した装置で5°おきに計測した輝度データを教師データに用いてニューラルネットワークの学習を行い、本手法での結晶方位推定精度の検証実験を行った。評価指標には立方晶の対称性を考慮した測地線距離である立方晶測地線距離を用いた。4795 個の結晶粒の方位データを用いて、①損失関数に測地線距離を使用、②損失関数に平均絶対誤差を使用、③損失関数に測地線距離を使用し、四元数に補正を行う、の3つの条件で5分割交差検証を行った。その結果、推定誤差である立方晶測地線距離の中央値は、①では6.23°、②では7.91°、③では7.20°となった。

利用したデータ数、データの精度から考えて、提案手法は比較的高速かつ低コストで十分な推定精度を実現していると考えられる。

立方晶測地線距離による推定誤差の統計量

| | ① 測地線距離 | ② 絶対平均誤差 | ③ 補正&測地線距離 |
|-------------|---------|----------|------------|
| 平均推定誤差 | 9.49 | 11.7 | 10.6 |
| 推定誤差の標準偏差 | 9.62 | 10.5 | 10.0 |
| 推定誤差の第一四分位数 | 3.98 | 4.85 | 4.57 |
| 推定誤差の第三四分位数 | 10.8 | 14.1 | 12.2 |
| 推定誤差の中央値 | 6.23 | 7.91 | 7.20 |
| 最大推定誤差 | 59.9 | 61.4 | 60.7 |
| 最小推定誤差 | 0.338 | 0.474 | 0.393 |