

# 放射光 X 線回折法による太陽電池用多結晶シリコンの結晶性評価

## Characterization of Multicrystalline Si for Solar Cells by Synchrotron X-ray Diffraction Method

志村考功\*, 細井卓司, 渡部平司

大阪大学大学院工学研究科, 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

Takayoshi Shimura\* Takuji Hosoi, and Heiji Watanabe

Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita 565-0871, Japan

### 1 はじめに

多結晶 Si 太陽電池は、その生産コストと変換効率のバランスの良さから太陽電池の主流となっているが、さらなる低コスト化・高効率化が求められている。多結晶シリコン太陽電池の変換効率を向上させるためには、結晶粒界の電気的特性を制御することが重要である。粒界はバンドギャップ内の欠陥準位によりキャリアの再結合中心として働き、その結合係数は粒界の種類と不純物の組み合わせによって変化することが報告されている。しかし、その関係や原理は明らかになっておらず、今後のさらなる変換効率の向上のためには、詳細な検討が必要である。

従来、大傾角粒界は室温では電気的に不活性であるが、鉄の不純物が粒界に偏析することにより活性になることが知られていた。ところが、最近、小傾角粒界の一部は当初から活性であり、わずかな鉄の不純物により容易にその再結合係数が増加することが示された。このことは、小傾角粒界での再結合が変換効率を決定する要因である可能性を示唆している。

我々は多結晶シリコンの結晶性や歪み評価において白色マイクロビーム回折の有効性の検証を行った。その結果、白色 X 線マイクロビームを用い、試料を走査させながら一連の透過ラウエパターンを測定することにより結晶粒界や歪み分布を可視化する手法が有効であることを確認した。しかしながら、歪み分布計測においてはその精度が十分でなかった。

本研究課題では、単色 X 線回折により太陽電池用多結晶シリコン中の小傾角粒界近傍の結晶性、歪み評価を行うことにより、小傾角粒界の再結合中心の要因を調べる。同じ小傾角粒界でも活性なものと不活性なものが存在するがこれらの相違を明らかにすることを目的とする。

### 2 実験

試料には、市販の多結晶 Si 太陽電池モジュールを 5 つ用意した。ひとつのモジュールには約 10 mm×60 mm の多結晶 Si 基板が 8 枚、前面ガラスと裏面シートに挟まれた構造をしている。放射光測定は BL15C で、これらの構造のまま透過配置で行った。多結晶 Si からの回折線は CCD 検出器で測定し

た。散乱角分布を測定する場合はアナライザー結晶を配置したのち、アナライザー結晶で回折した X 線を CCD 検出器で測定を行った。

### 3 結果および考察

図 1 に測定結果の 1 例を示す。(a)は SPring-8 で白色 X 線マイクロビーム回折法により多結晶 Si の結晶粒の方位分布を求めた結果を示している。同じ色が同じ結晶方位分布を表しており、方位分布像は  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  の領域に相当する。

(b)はその領域について試料を回転させながら測定した複数枚の単色 X 線トポグラフを重ね合わせたものである。測定に用いる反射毎に測定箇所が異なることがわかる。一方で、結晶方位が異なる結晶粒がひとつの像の中に観測されていることも確認できる。このような結晶粒の粒界は対応粒界であり、用いた回折線(格子面)は双方の結晶粒で一致する。そのため、方位が異なる結晶粒にも関わらず、単色 X 線トポグラフに同時に観測されることになる。

像の濃淡は回折 X 線の強度に相当する。明るいところは、X 線強度が強いところを示しており、結晶粒内や粒界で確認できる。これは転位などの結晶欠陥が存在するところであり、欠陥周辺の歪みにより回折 X 線の強度が増加したものである。本来なら対応粒界であり、欠陥が少ないと思わる粒界でも明るくなっているところがあり、これは対応粒界だからと言って欠陥が少ないことにはならないことを示している。

(c)は試料の回転角を  $0.004^\circ$  ずつ変えながら測定した X 線トポグラフを重ねたものである。(b)に比べ、ステップ角が大きいため回折条件を満足する位置が試料上でどのように推移しているかがよくわかる。一つの結晶粒内でもブラッグ条件を満足する位置がライン状で試料の回転と共に移動している。これは結晶粒の格子面が湾曲していることを示している。結晶粒毎にその程度は異なるが、おおよそ  $0.1^\circ$  程度と非常に大きな値を示した。

(d)はアナライザー結晶の角度を固定し、試料を回転しながら積分した像を重ね合わせたものである。同じ色は同じアナライザー結晶の角度であり、散乱角が同じであることを意味する。今回の測定ではコ

リメータ結晶等を用いなかったため、入射 X 線の角度が試料位置で 1 mm ずれると  $0.002^\circ$  ずれることになり、散乱角で  $0.004^\circ$  ずれることになる。そのため、 $g$  ベクトルに対して垂直な方向でコントラストがついている。各色は  $2\theta$  で  $0.004^\circ$  の違いを示しており、結晶起因の散乱角の変化は、結晶の湾曲に比べ非常に小さいことがわかる。

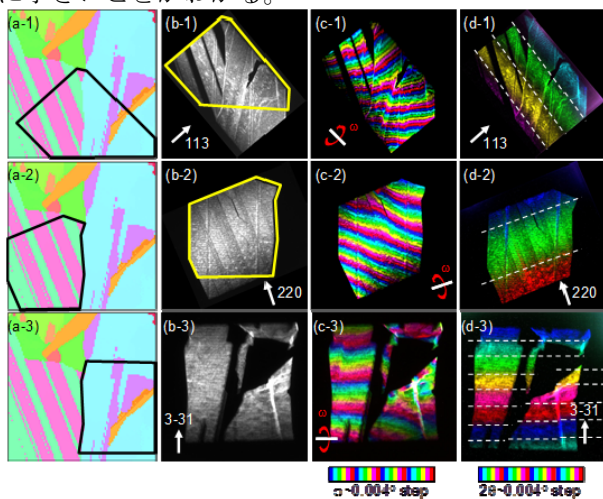


図 1 : 単色 X 線トポグラフ像 (a)測定領域, (b)強度積分像, (c)入射角 $\omega$ の変化に伴う像の移り変わり, (d)回折角  $2\theta$  の変化に伴う像の移り変わり。

参考文献

[1] T. Sekiguchi *et al.*, The 5th Int. Symp. Adv. Sci. and Tech. of Si Mat., p.140 (2008).

\* shimura@mls.eng.osaka-u.ac.jp