

# Al イオン注入 SiC 基板の歪状態の観察 Observation of Strain Field Induced by Al Ion- Implantation Into Siliconcarbide Crystals.

高橋 由美子<sup>1\*</sup>, 平野 馨一<sup>2</sup>, 志村考功<sup>3</sup>, 長町信治<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 日本大学〒274-8501 千葉県船橋市 習志野台 7-24-1

<sup>2</sup> 物質構造科学研究所, 放射光科学研究施設 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

<sup>3</sup> 大阪大学大学院 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

<sup>4</sup>(株)長町サイエンスラボ, 〒661-0976 尼崎市潮江 1-16-1

Yumiko Takahashi<sup>1\*</sup>, Keiichi Hirano<sup>2</sup>,

Takayoshi Shimura<sup>3</sup>, Nobuharu Nagamachi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nihon University, 7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501, Japan

<sup>2</sup>Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

<sup>3</sup>Graduate School of Engineering Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, 565-0871, Japan

<sup>4</sup>Nagamachi Science Laboratory, 1-16-1 Shioe, Amagasaki, 661-0976, Japan

## 1 はじめに

近年、省エネルギー、環境負荷低減への要求から炭化ケイ素(SiC)・窒化ガリウム(GaN)・ダイヤモンドなどを用いたパワーデバイスの実用化を目指す世界的傾向が加速されている。SiC はワイドギャップ半導体の中でも特に注目されている材料の一つであるが、不純物の拡散係数が小さい SiC ではエピタキシャル層にイオン注入を行ってコンタクト層を形成する必要があるため、イオン注入が材料に与える影響の詳細を把握することはプロセス技術の確立・改善において重要である。

単結晶の評価法として X 線トポグラフィは広く活用されており、パワーデバイス用半導体についてもこれまで多くの研究がなされているが、そのほとんどは転位などの微小欠陥に関するもので広域に渡る歪分布を観察した例は少ない。本研究では斜入射トポグラフィとロッキングカーブ法を組み合わせ、面内方向と深さ方向の情報を併せ持つ広域歪の評価方法を検討した。

## 2 実験

実験は BL-14B で行った。斜入射 X 線トポグラフィ光学系で X 線波長と入射角を変化させて試料への X 線侵入深さを制御し、試料下流にアナライザ結晶(Si(220))を配して角度フィルターとすることで格子面の傾きに敏感な画像を得た[1]。試料角度を揺動して得られる画像セットから検出器のピクセル事にロッキングカーブを作成し、その最大値・ピークシフト量を 2 次元画像に再構成することで歪分布の定量的評価を試みた。検出器には X 線 CCD カメラ(Photonic Science, XFDD)を用いた。有効ピクセルサイズは  $6.45 \times 6.45 \mu\text{m}^2$ 、空間分解能は約  $15 \mu\text{m}$  である。

試料は 4H-SiC(0001)基板で、膜厚  $5 \mu\text{m}$  のエピタキシャル層に基板温度  $500^\circ\text{C}$ 、Al イオン濃度

$1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$  で注入後、 $1800^\circ\text{C}$  で 5 分間アニールしたものである。[11-20]方向に  $4^\circ$  のオフ角を有する。比較のためイオン注入を行っていない試料も測定した。

## 3 結果および考察

図 1 に試料の 11-28 反射トポグラフを示す。X 線波長は  $1.26 \text{ \AA}$ 、試料への X 線入射角を  $5^\circ$  にとり X 線侵入深さをエピ層/基板界面近傍( $2 \sim 10 \mu\text{m}$ )とした。アナライザ結晶を用いることで試料の一部のみが鮮明になり試料の歪に敏感になっていることが分かる。この図ではイオン注入・アニール処理を行った基板の方がフラットになっているように見える。なお、イオン注入量  $1 \times 10^{19} \text{ ions/cm}^3$  の試料(図 1(b))で極端に回折領域が狭いのは元の基板の状態や電気特性評価の電極跡が影響しているためと考えられる。

図 1 の「歪」は格子面間隔変化と格子面の傾きが混在したものであるが、局所ロッキングカーブ法により画素ごとの最大値を再構成することで、アナライザ結晶のアクセプタンス幅内の精度で格子面の傾きの影響が除去され、図 2 のように試料全面の画像が得られた。この図のコントラストは主に格子面間隔の変化に起因すると考えられ、転位分布が明瞭になっている。イオン注入無しの試料(図 2(a))と比べ、イオン注入量  $1 \times 10^{19} \text{ ions/cm}^3$ 、 $1 \times 10^{20} \text{ ions/cm}^3$ (図 2(b), (c))では大きな違いが見られないのに対し  $1 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$  の試料(図 2(d))では貫通刃状転位が増加しているように見える。一方、局所ロッキングカーブのピーク位置シフトをマッピングすることで試料の格子面の傾き分布が得られる(図 3)。ここでも  $1 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$  の試料(図 3(d))ではイオン注入量の増加によって凹凸が増し、粗くなっているようである。イオン注入後のアニール処理に

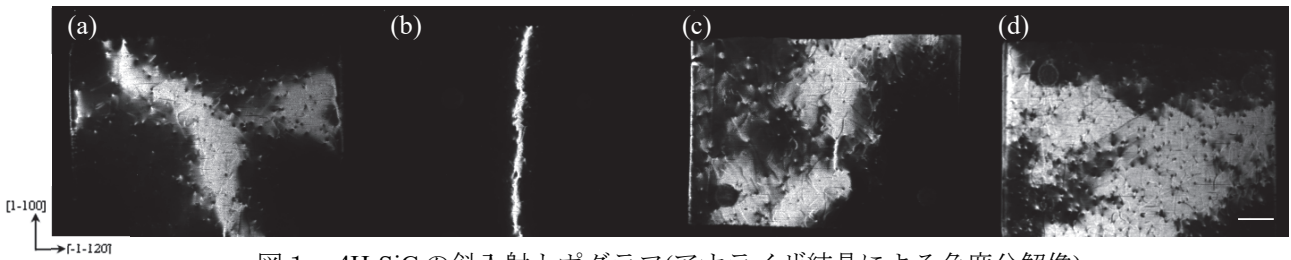


図 1 : 4H-SiC の斜入射トポグラフ(アナライザ結晶による角度分解像)

X 線波長 1.26 Å。イオン注入量は、(a)イオン注入無し、(b)  $1 \times 10^{19}$  ions /cm<sup>3</sup>、(c)  $1 \times 10^{20}$  ions /cm<sup>3</sup>、(d)  $1 \times 10^{21}$  ions /cm<sup>3</sup>。スケールバーは 1 mm を示す。

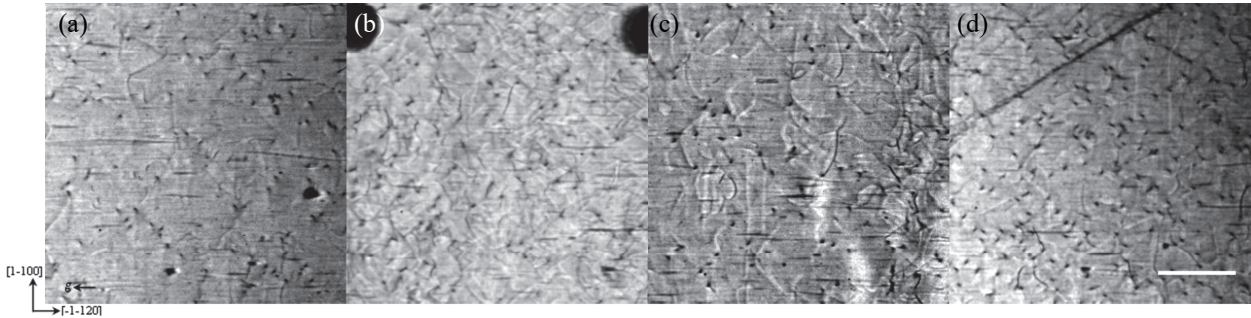


図 2: 局所ロッキングカーブから再構成した最大強度分布

X 線波長、イオン注入量は図 1 と同じ。スケールバーは 1 mm を示す。

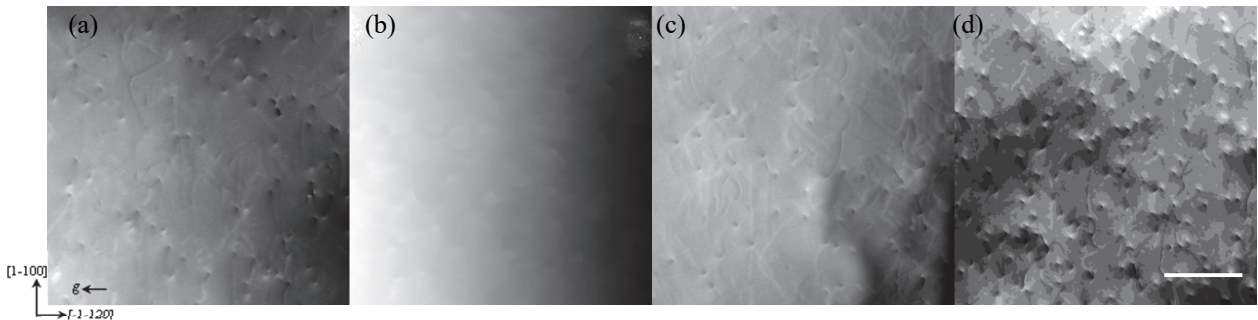


図 3: 局所ロッキングカーブから再構成したピークシフト分布

X 線波長、イオン注入量は図 1 と同じ。スケールバーは 1 mm を示す。

よってある程度歪は緩和されるものの極端に注入量が多くなる ( $1 \times 10^{21}$  ions /cm<sup>3</sup>) と 1800°C5 分のアニール処理ではイオン注入のダメージを十分回復できないと考えられる。

#### 4 まとめ

通常のとポグラフィーでは多方位測定で格子面間隔変化と格子面の傾きを分離するため[2]X 線侵入深さ等を考慮すると対称反射しか使えないなど制約が大きい。本手法では斜入射トポグラフィーとロッキングカーブ法を組み合わせることで一方位測定でも格子面間隔変化と格子面の傾きを分離できるのでオフセットのある試料でも任意の回折が選択可能となり、X 線侵入深さを制御しつつ面内の歪分布を観察することができた。

この手法で Al イオン注入 SiC 基板の歪状態を観察し、イオン注入量に依存した広域の歪場の変化を確認できた。今回の結果のみではイオン注入条件の影響を確定できたとは言い難いが、今後さらにイオン

注入条件の異なる試料の歪状態を詳細に検討することによってパワーデバイス用単結晶の結晶品質・デバイス技術の改善に有用な知見が得られるものと思われる。

#### 謝辞

本研究は科研費基盤(c)(16K05008)の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] T. Ishikawa, et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 24, L559 (1985).
- [2] S. Kikuta and K. Kohra, Jpn. J. Appl. Phys. 5, 1047 (1966).

\* yumikot@lebra.nihon-u.ac.jp