

イオン注入及び活性化アニールを施した SiC 結晶表面層の
放射光 X 線回折による結晶性評価
Structural Characterization of Ion-implanted SiC Crystal Surface Layers
with Activation Annealing by Synchrotron X-ray Diffraction

志村考功^{1,*}, 高橋由美子², 平野馨一², 長町信治³, 細井卓治¹, 渡部平司¹

¹大阪大学大学院工学研究科, 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

²物質構造科学研究所, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

³(株)長町サイエンスラボ, 〒661-0976 尼崎市潮江 1-16-1

Takayoshi Shimura^{1,*}, Yumiko Takahashi², Keiichi Hirano², Nobuharu Nagamachi³,
Takuji Hosoi¹, and Heiji Watanabe¹

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

²Institute of Materials Structure Science, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

³Nagamachi Science Laboratory, 1-16-1 Shioe, Amagasaki, 661-0976, Japan

1 はじめに

パワーデバイスは電力の変換や制御を行う半導体素子であり、自動車や産業、エネルギー分野に至るまで幅広く利用されている。電力需要の増大や環境問題が深刻化している近年においては、電気エネルギーの有効利用を可能にする高性能なパワーデバイスの実現が期待されている。現在は Si 半導体を用いたデバイスが主流だが、Si デバイスの性能向上には限界を迎えており、SiC に代表されるワイドバンドギャップ半導体を用いたパワーデバイスに期待が寄せられている。

近年、SiC Metal-oxide-semiconductor field effect transistor (MOSFET)を用いたパワーデバイスが市販されるようになってきたが、更なる性能向上には多くの技術的課題が残されており、その一つに低抵抗なソース・ドレイン領域形成技術を挙げることができる。ソース・ドレイン領域を形成するためには、 $10^{20}/\text{cm}^3$ 程度の高濃度の不純物を導入する必要がある、熱化学的に安定な SiC に対してはイオン注入法が唯一の手段である。

Si デバイスの場合、イオン注入によりアモルファス化した注入層の再結晶化と注入したイオンの電氣的活性化のために、注入後に 1000°C 程度で短時間の熱処理（活性化アニール）を施す。しかしながら、SiC の場合、アモルファス化した構造を熱処理により再結晶化することは困難なため、イオン注入時から基板を数 100°C に保持し、結晶性の劣化をできるだけ抑制する。さらに、イオン注入領域の結晶性回復と注入したイオンの電氣的活性化には、 1500°C 以上の高温活性化アニール処理を行う必要がある。これらのイオン注入や活性化アニールの条件は十分に検討されているとは言い難く、現状ではイオンの活性化率も低いいためソース・ドレイン領域の抵抗が高

く、デバイスのオン抵抗が増加するという問題を引き起こしている。

本課題はイオン注入や活性化アニール条件の最適化のための基礎的データの取得を目的とする。イオン注入量、注入時の基板温度、アニール温度の条件を変えた試料について放射光 X 線回折により結晶性評価を行い、別に測定した電気特性と関連させながら最適条件を構築する。本研究の成果は SiC パワーデバイスのプロセス技術の確立に大きく貢献することが期待される。

本レポートでは X 線逆格子マップ測定により SiC 基板表面の結晶性評価を行った結果を示す。

2 実験

基板には、n 型 3 インチエピタキシャル 4H-SiC(0001)基板 (4° オフ： $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向、マイクロパイプ密度： 50 個/ cm^2 以下、エピタキシャル層厚： $5 \mu\text{m}$ 、N ドナー濃度： $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$) を用いた。Al イオン注入を、注入濃度を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ から $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ までの 5 条件、注入時温度を室温、 150 、 300 、 500°C の 4 条件、アニール温度を 1600 、 1650 、 1700 、 1750 、 1800°C の 5 条件（アニール時間は 5 分）で行い、様々な条件の試料を作製した。試料それぞれのサイズは $8 \times 8 \text{ mm}^2$ である。注入はエネルギーを 5 段階とした多段注入で表面付近から約 200 nm 付近までほぼ均一な濃度が得られるように設計した。

X 線逆格子マップ測定では 8 keV に単色化した X 線を用いた。検出器直前に Si(111)アナライザー結晶を配置することで角度分解能を上げ、SiC 基板からの反射の近傍で基板表面のイオン注入層からの散乱を分離して測定した。

3 結果および考察

図1に 0008 ブラッグ反射近傍の逆格子マップを示す。図1 (a)はイオン注入を行っていない試料の結果を示しており、[0001]軸に対して Crystal Truncation Rod (CTR)散乱が4°傾いて伸びていることがわかる。また、光学系に起因する Analyser Tail (AT)と Monochromator Tail (MT)も確認することができる[1]。注入量が $10^{20}/\text{cm}^3$ で、注入時基板温度が 500°C 、アニール温度が 1600°C の試料では未処理の場合と比べ基板の 0008 反射周りに散漫な散乱が面内方向に広がっている(図1 (b))。また、CTR 散乱にも強度変調が確認できイオン注入による結晶性の劣化によるものと思われる。イオン注入後のアニール温度を 1800°C にしてもその傾向はほぼ同じであるが、散漫散乱の強度分布が法線方向にも広がりつつ、その中心位置が低角側にシフトしている(図1 (c))。イオン注入量を $10^{21}/\text{cm}^3$ にすると散漫散乱の中心が[-1 -1 2 0]方向にシフトし、CTR 散乱の強度分布がブラッグ反射に対し非対称になっていることがわかる。これらは SiC 結晶のイオン注入層の結晶性を反映していると考えられる。

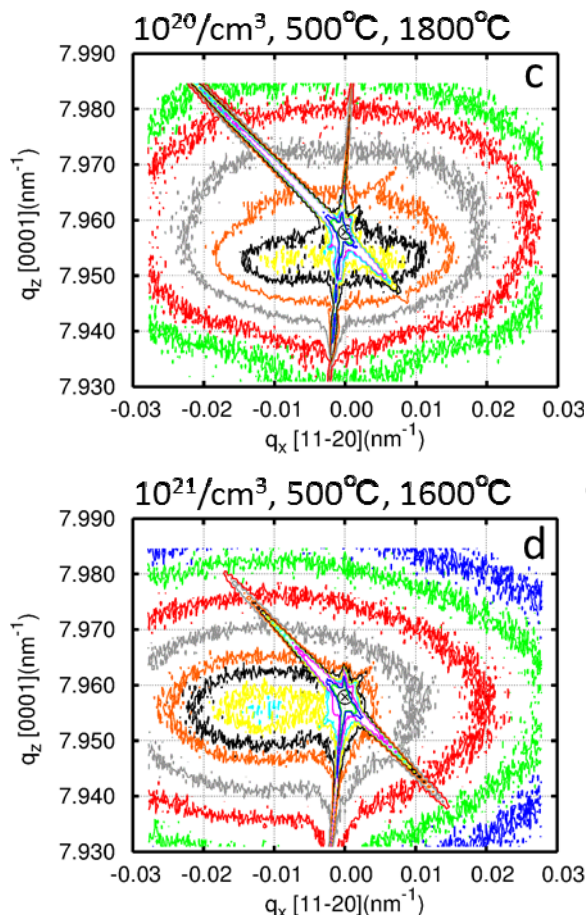
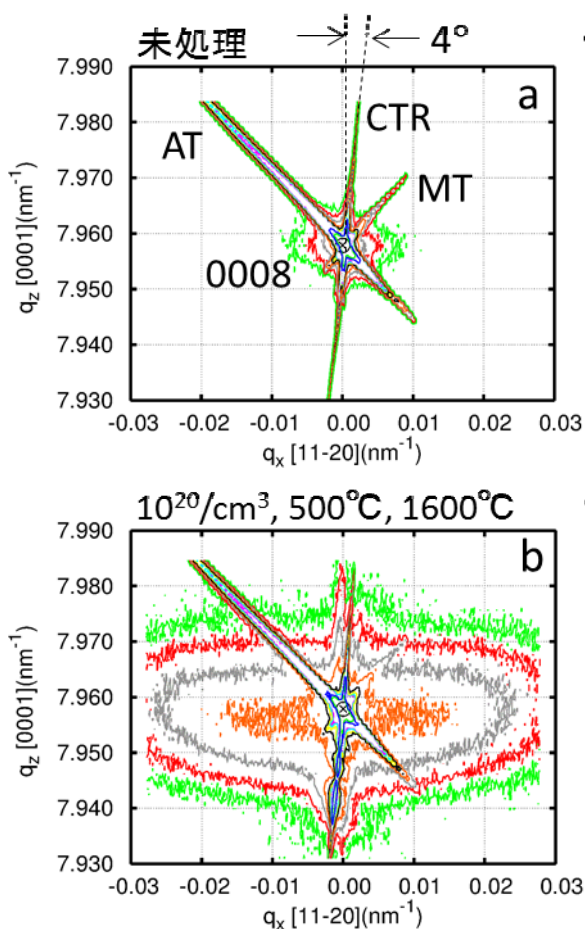


図1：0008 ブラッグ反射近傍の X 線逆格子マップ。各図の上の値はイオン注入量、注入時基板温度、注入後のアニール温度を示す。

4 まとめ

4H-SiC 基板にイオン注入及び活性化アニールを施した試料について X 線逆格子マップ測定を行ったところ、処理条件に依存した強度分布を得ることができた。

参考文献

[1] N. Kashiwagura *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **26**, L2026 (1987).

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