

P イオン注入ダイヤモンド中における P 原子局所構造の X 線吸収端近傍微細構造分析

Local Structures of P Atoms Implanted in Diamond Substrates
Studied by X-ray Absorption Near Edge Structure Analysis

神奈川大理¹, 立命館大グローバル・イノベーション研², °星野 靖¹, 関 裕平¹, 光原 圭²

Kanagawa Univ.¹, Ritsumeikan Univ.², °Yasushi Hoshino¹, Yuhei Seki, and Kei Mitsuhashi²

E-mail: yoshino@kanagawa-u.ac.jp

はじめに

イオン注入を用いた不純物ドーピングは、決められた領域に対して不純物原子の深さと濃度を正確に制御してドーピングできる不可欠な要素技術として認識され、Si や GaAs 半導体の製作プロセスの中で広く使用されている。ところがダイヤモンドへのイオン注入によるドーピングにおいては、イオンビーム照射に伴い生成した欠陥が、イオン注入中或いはポスト熱処理中にグラファイトや回復しにくい 2 次欠陥の形成を促進することが知られている。またダイヤモンド格子自身の稠密性により注入不純物の格子置換率が低下し、電気的に不活性化する等の課題もある。

近年、神奈川大のグループにおいて、室温における B イオン注入と約 1300°C の活性化アニールにより、アクセプター B の高効率活性化が実現した^{1,2,3}。また全イオン注入工程を用いて作成したショットキーバリアダイオードにおいて、初めて整流特性を確認した⁴。しかしながら、n 型不純物の候補である P のイオン注入ドーピングと電気的活性化については未だ実現していない。本研究では、様々な条件で P をイオン注入した試料に対する P 吸収端近傍の X 線吸収スペクトルから P 原子周囲の局所構造を調べた結果を報告する。

実験方法

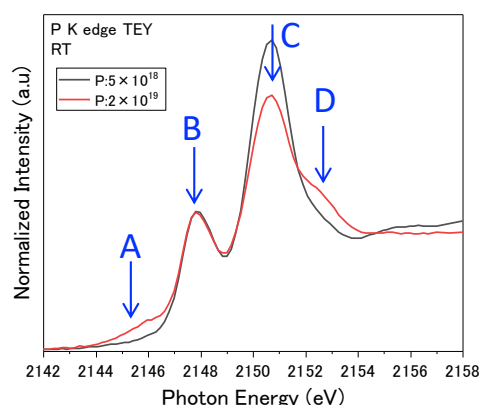
まず Elefant Six 社製リサーチグレード IIa 型ダイヤモンドに対し、典型的な wet 化学洗浄により表面のクリーニングをすると同時に酸素終端化させた。その後、神奈川大学中電流型イオン注入装置を用い、IIa 型ダイヤモンド基板に対し、表面から深さ 200 nm 付近まで濃度が一定になるよう P を多段イオン注入した。注入時の基板温度は室温と 900°C とし、注入不純物濃度は 5×10^{18} , 2×10^{19} , $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とした。P 注入後、1300°C において活性化アニール処理を 2 時間行った。アニール中における表面のグラファイト化を避けるため、アニール中は表面を SiO₂ 薄膜でコートした。アニール後 SiO₂ 膜は HF 溶液で剥がし、最後に酸・アルカリにより表面を洗浄した。一部の試料は、Hall 効果による電気特性評価を行なっ

た。X 線吸収端微細構造分析は、立命館大学 SR センター BL-13 を用い、全電子収量法とシリコンドリフト検出器による部分蛍光収量法により行った。

結果と考察

下図に基板温度室温において 5×10^{18} , $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度で P 注入した試料に対する全電子収量法による P の K 吸収端近傍 X 線吸収スペクトルを示す。主に A, B, C, D で示した 4 つの吸収ピークが観測された。標準試料との比較により、成分 A と D は、それぞれ単体 P と最高酸化数(+V) 状態である PO₄ center に帰属された。またピーク B と C は、それぞれ炭素が 4 配位した P (PC₄ center) と酸素 1 配位結合状態 (O=PC₃ center) と帰属された。吸収端構造スペクトル強度より O=PC₃ center が主な成分でありドーブ量により変化が見られることがわかる。

当日は、注入温度とイオンドース量及びプロセスの違いによる P の局所構造への影響について、SIMS 及び電気特性評価の結果と併せて詳細を報告する。



参考文献

- 1) Y.Seki *et al.* Appl. Phys. Lett. **115**, 072103 (2019).
- 2) Y.Seki *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. **59**, 021003 (2020).
- 3) Y.Seki *et al.* J. Appl. Phys. **129**, 195702 (2021).
- 4) Shigematsu *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 050903 (2021).