

P イオン注入ダイヤモンド中における P 原子局所構造分析(II)

Local Structures of P Atoms Implanted in Diamond Substrates (II)

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 Mitsuahara²

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

はじめに

イオン注入法は、不純物原子の深さと濃度を正確に制御して決められた領域にドーピングできる必要不可欠な技術として、主に半導体製造分野において幅広く利用されている。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、これまで不純物原子の電気的活性化がうまくいかず、数十年にわたりほとんど進展しなかった。

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。

我々は、2021 年度の秋季応用物理学会講演会において、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 (XANES スペクトル) と第一原理計算との比較し、P 原子周りの局所原子配列について議論した。XANES スペクトルには、4 つの成分が確認され、注入された P 原子は主に O または H と結合している可能性が高いことが示された。

本発表では、O や H が混入した過程と不純物 P 原子の電気的不活性化の起源について、更なる XANES 深さ方向分析と SIMS による元素分析より明らかになったことを報告する。

実験方法

まず Elemant Six 社製 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、(1)表面から深さ 150 nm 付近まで濃度が一定になるよう P を 10 – 150 keV 多段エネルギーイオン注入したものと、(2)200 keV の単一エネルギーで注入したものの 2 種類を用意した。多段注入試料については、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} , $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ とした。また単一エネルギー注入試料については、基板温度 900°C で実施した。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。我々は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 薄膜でコートしているが、SiO₂ 膜からの不純物混入の影響を調べるため、今回一部の試料は SiO₂ キャップなしにアニールを行った。SiO₂ 膜を蒸着した試料については、アニール後 SiO₂ 膜は HF 溶液で剥がした。最後に全ての試料に対して、酸・アルカリにより表面を洗浄した。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 (TEY) とシリコンドリフト検出器による部分蛍光収量法 (PFY) により行った。SIMS 分析は、CAMECA 社製 IMS-7f 型 二次イオン質量分析装置を用い、15 keV Cs⁺ 入射で負イオン検出で行った。

結果と考察

図 1 に多段エネルギー P 注入によりドーブした試料の SIMS 分析結果を示す。O と H 原子が P とほぼ同じ領域に分布していることが分かる。この結果は、前回の講演会で示した XANES 分析において、多くの P は O または H と結合しているという結果と整合する。一方、単一エネルギー P 注入では、O や H の混入は見られなかった。当日は、いつどのような過程で O や H が混入したのか、また SiO₂ キャップの効果等について詳細に報告する。

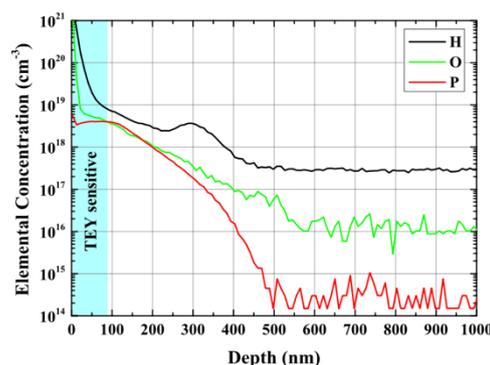


図 1 : 多段エネルギー P イオン注入によりドーブした試料に対する H、O、P の深さ濃度分布。

- 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).