

B イオン注入による高圧高温合成 Ib 型ダイヤモンドの電気伝導制御

Conductivity conversion of the high-pressure high-temperature synthesized Ib-type diamond by B ion implantation

神奈川大理, °関 裕平, 今村 海哉, 星野 靖

Kanagawa Univ., °Yuhei Seki, Kaiya Imamura, Yasushi Hoshino

E-mail: pt121750pw@kanagawa-u.ac.jp

はじめに

ダイヤモンド半導体はその物性から、究極のパワーデバイス半導体材料及び放射線環境など、過酷環境で使用できる半導体材料として期待されている。半導体デバイスを作製におけるイオン注入法は目的の不純物を領域や濃度を制御して注入できるため局所的な p/n 型領域形成に必要な不可欠な技術である。近年理論計算により B と N の共ドーピングによる $E_D = 0.2-0.6$ eV の浅いドナー準位形成が予想されている^[1]。また、N をドーピングした n 型ダイヤモンドをボディとした反転層型 MOSFET の形成が報告されている^[2]。N ドープダイヤモンドに対し B イオンを注入することにより、B と N の共ドーピングによる低抵抗 n 型伝導層の形成及び p⁺埋め込み層形成プロセスを簡略化が期待できる。そこで本研究では、N を数 100 ppm 程度含んだ高温高圧(HPHT)合成 Ib 型ダイヤモンド基板に対し、B をイオン注入でドーピングし、B と N の共ドーピングによる低 E_D の n 型伝導層の形成及び N ドープダイヤモンド中への p 型伝導層形成を検討した。

実験方法

基板表面から約 350 nm の深さまで平坦な B 濃度分布の B 注入層を形成するために 5~200 keV の B イオンを注入した。注入濃度は 2×10^{19} cm⁻³ (~110 ppm) から 3.5×10^{20} cm⁻³ (~2000 ppm) とした。 10^{20} cm⁻³ より低い濃度では室温で注入し、それよりも高い濃度では基板温度 800°C で注入を行った。B イオン注入後、大気圧の Ar 雰囲気下で 1300°C、2 時間の SiO₂ キャップアニールを行った。活性化アニール後、HF を用いて SiO₂ 膜を除去し、化学洗浄処理によって基板表面の清浄化を行った。その後、作製した試料に対し、Van der Pauw 法を用いて、シート抵抗測定及び Hall 効果測定を行った。

結果と考察

Figure 1 に未注入及び 2×10^{19} cm⁻³ から 3.5×10^{20} cm⁻³ の濃度で B を注入した HPHT 合成 Ib 型ダイヤモンドのシート抵抗の温度逆数依存性を示す。未注入及び 2×10^{19} cm⁻³ の試料では室温付近での抵抗が非常に高く、250°C 以上の

温度でシート抵抗を測定できた。グラフの傾きから 1.7 eV の活性化エネルギーが見積もられ、Hall 効果測定の結果から、n 型電気伝導が確認された。このことからこれらの試料では、B 注入層ではなく基板中を電気が流れていると考えられる。 6×10^{19} cm⁻³ の試料はほとんどの温度領域においてシート抵抗が高くなっており、600°C でのシート抵抗は基板の約 10 倍になっていた。また、全ての温度で pn 判定をすることができなかった。よって、 6×10^{19} cm⁻³ において、pn の反転が起こったことが示唆される。 3.5×10^{20} cm⁻³ の試料ではシート抵抗が大きく下がり、室温で約 4×10^4 Ω/sq. であった。また、グラフの傾きから得られた活性化エネルギーは 0.06 eV であった。Hall 効果測定の結果から p 型電気伝導が確認された。N を多量に含む HPHT 合成 Ib ダイヤモンド中への、B イオン注入による p 型伝導層の形成はこれが初めてである。

参考文献

- [1] D. Zhou *et al.*, Computational Science – ICCS 2022. ICCS 2022. LNCS, vol. 13350. Springer, Cham (2022).
- [2] T. Kano, *et al.*, Diam. Relat. Mater. 147, 111236 (2024).

謝辞: 本研究の一部は、令和 4 年度科学研究費基盤研究(C)(課題番号 23K03930)および若手研究(23K13369)の援助によって実施された。

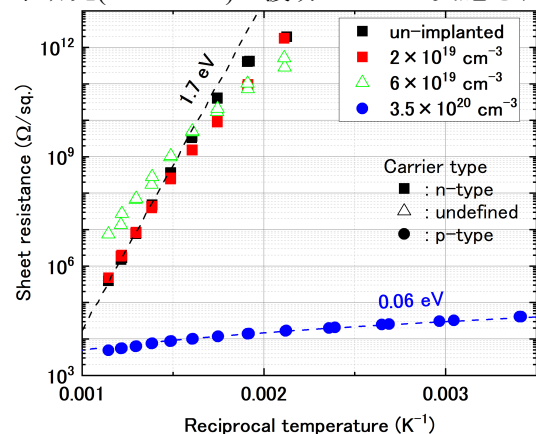


Figure 1 Sheet resistances for B-implanted Ib-type diamonds as a function of reciprocal temperatures.