高濃度 B^+イオン注入した IIa 型ダイヤモンドの電気特性と伝導機構 −イオン注入時及びポストアニール時の温度による効果−

Electrical properties and conduction mechanisms of heavily B^+-ion-implantation type IIa diamond: effects of temperatures during the ion implantation and postannealing upon electrical conduction

神奈川大理　°関 裕平，星野 靖，中田 穣治
Kanagawa Univ., °Yuhei Seki, Yasushi Hoshino, Jyoji Nakata
E-mail: r201670150lg@jindai.jp

はじめに

イオン注入技術は狙った領域に深さや濃度を正確に制御して不純物をドーピングできるため、Si や GaAs をはじめとする半導体デバイス作製プロセスの中で広く用いられている。ダイヤモンド半導体デバイス作製においてもイオン注入を用いたドーピングは必要不可欠な技術であるが、ダイヤモンドへイオン注入を行なった場合、イオンビーム照射に伴う欠陥の回復や注入した不純物の電気的な活性化が難しく、良い電気特性は得られていなかった。

我々はこれまでにダイヤモンドに対し B 注入による p 型ダイヤモンドの形成を行い、室温での注入と 1150~1300ºC の活性化アニールによって、注入した B の約 80%のダイヤモンド格子位置への置換を実現した [1]。本研究ではさらに、B 注入時の基板温度や活性化アニールの温度の置換率や電気特性への影響を系統的に調べた。

実験方法

本研究では Element Six 社製スタンダードグレード IIa 型ダイヤモンドを用いた。まずダイヤモンド基板を、典型的な wet 化学洗浄によって表面の清浄化及び酸素終端化させた。その後中電流型イオン注入装置を用いて、基板表面から 150 nm 程度の深さまで一様な濃度分布となるように B^+を 5~60 keV のエネルギーで多段注入した。注入不純物濃度は 3.5×10^{19} cm^{-3} とし、注入時の基板温度は 900ºC と室温とした。B 注入後、活性化アニールによる基板表面のグラファイト化を防ぐための SiO_2 保護膜を基板表面に RF スパッタで蒸着し、蒸着した基板を Ar 雰囲気下で 1150, 1300, 1450ºC の温度で活性化アニールを行なった。最後に HF で SiO_2 膜を除去し、再度 wet 化学洗浄によって基板表面を清浄化した。B を注入したダイヤモンドに対し、Au/Pt/Ti をオーミック電極とし、Van der Pauw 法を用いてキャリア濃度、比抵抗、キャリア移動度の電気特性を 77-1073 K の温度範囲で評価した。

結果と考察

下図に 900ºC 及び室温で B 注入を行い、その後 1150, 1300, 1450ºC で活性化アニールを行なったダイヤモンド基板の比抵抗及びシート抵抗の絶対温度の逆数依存性を示す。室温より高い温度領域では典型的な B の活性化エネルギーが得られ、注入した B の電気的活性化が確認された。また Hall 効果測定の結果から、室温注入後 1150ºC でアニールした試料で 78%の注入 B の置換を確認した。一方で 900ºC で注入した試料の置換率は最大で 37%であり、室温注入よりも低かった。また全ての試料において、室温以下での活性化エネルギーの低下が確認された。この傾向は 1450ºC でアニールした試料において顕著であった。これは高温でのアニール処理によりグラファイト状もしくは無秩序な 2 次欠陥形成が促進されたためであると考えられる。結論としてダイヤモンドへの B 注入は、室温付近の基板温度で注入し、1150~1300ºC でアニール処理を行うことが効果的であると考えられる。

参考文献

1) Y. Seki *et al*. Appl. Phys. Lett. **115**, 072103 (2019).

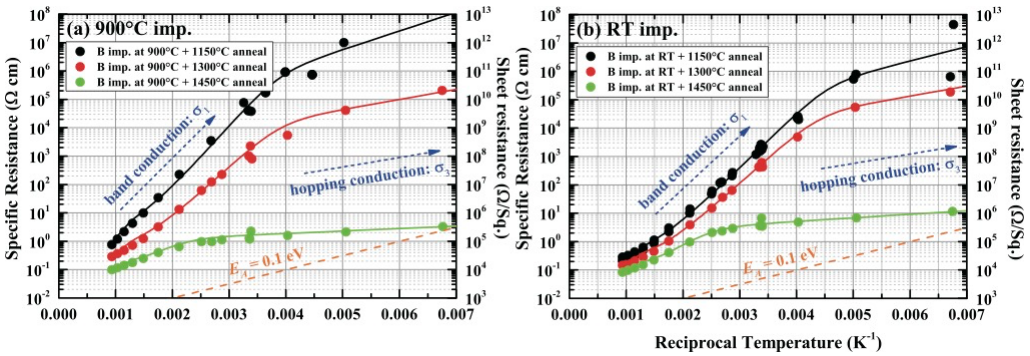

Figure 1 Sheet and specific resistance for B-implanted samples at (a) 900ºC and (b) RT followed by 1150, 1300 and 1450ºC postannealing.