

高濃度ホウ素ドーピング縮退ダイヤモンド薄膜における 縮退領域の局在クラスター化とその積層

Localization of Degenerate Regions in Heavily-Boron-Doped Diamond Thin Film
and Fabrication of their Multilayered Structure

大阪大学大学院工学研究科 ○田渕 智大, 毎田 修, 伊藤 利道

Graduate School of Engineering, Osaka Univ., ○Tomohiro Tabuchi, Osamu Maida, Toshimichi Ito

E-mail: t.tabuchi@daian.eei.eng.osaka-u.ac.jp

1. 背景と目的

半導体ダイヤモンド電子デバイス作製にしばしば不可欠となる高品質ホウ素(B)ドーピング p 型試料における B アクセプタ準位は、低ドーピング濃度領域では 0.37 eV と深く、室温正孔濃度は同一ドーパント濃度の他の p 型半導体と比べると格段に低い。一方、B ドーピング濃度を増加しキャリア濃度を増大させようとすると、他の半導体に比べキャリア移動度の著しい低下が生じてしまう。このため、移動度の低下をできるだけ抑制した高濃度ドーピングプロセスの開発がダイヤモンド電子デバイス作製における克服すべき課題の一つとなっている。

この開発課題への対策として、空間的に孤立・分散させた無数の高濃度 B ドーピング微小クラスターを形成し、キャリア移動度の高い高品質アンドープ層または低濃度 B ドーピング層にキャリアを供給する方法が提案されている¹⁾。ここで活用すべき高濃度 B ドーピング微小クラスターは、不純物バンド伝導によるキャリアが縮退状態であることが重要である。そこで本研究では、キャリアが縮退した高濃度 B ドーピング薄膜層の分散クラスター化プロセスについて調べることを目的とする。

2. 実験

ステンレスチャンバーにおける高出力マイクロ波プラズマ(MWP)CVD 法により、 $\langle 110 \rangle$ 方向に 5° オフした微斜面(001)HPHT Ib ダイヤモンド基板上に、 CH_4 濃度(CH_4/H_2)比 4% の条件でアンドープ(バッファー)層を合成した。次に、その上に石英管型反応容器を用いた MWPCVD 法によりアンドープ層を合成し、更にその上に、水素希釈した $\text{B}(\text{CH}_3)_3$ をドーピングガスとして B/C 比 8000 ppm で B ドーピング層をホモエピタキシャル成長した。得られた B ドーピング層の微小クラスター化を行うため、水素プラズマ照射により B ドーピング層をエッチングした後に、アンドープ薄膜層をホモエピ成長した。各プロセス段階における試料に対して、Hall 測定、室温カソードルミネッセンス測定や原子間力顕微鏡観察などを行い、電気的特性、結晶品質や表面ラフネス等を評価した。

3. 結果及び考察

B/C 比 8000 ppm でホモエピ成長した高濃度 B ドーピング CVD 試料の各プロセス段階におけるシート Hall 係数の典型的な温度依存性を図 1 に示す。

当該 B ドーピング薄膜層は、既報通り、低温領域(180 K 以下)ではキャリアが縮退し、電気抵抗も殆ど温度依存性のない金属的導電性を示し、室温の Hall 移動度は低く $4.6 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ であった。

この試料に水素プラズマを照射すると、照射時間の増加と共に、シート正孔濃度の減少、Hall 移動度や抵抗の増加はあるものの、低温領域では依然としてキャリア縮退が保持されている状態が続いた。しかし、十分な照射を行うと、Hall 係数の温度依存性にはピークが観測されなくなり、導電特性は半導体的振舞いをするようになった。このプロセス段階の室温 Hall 移動度は $680 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ に増加した。このことから、不純物バンド伝導を生じさせていた高濃度 B ドーピング層における電子状態は、水素プラズマ照射により次第に局在化され、少なくとも試料全体にわたる不純物バンド伝導は殆ど消失した状態になったことが分かる。上述の電流磁気効果は、異なる移動度を有する複数のキャリア群を考慮した輸送モデルにより解析する必要がある²⁾。

また、マクロスケールの縮退状態を示さなくなった試料にアンドープ膜成長条件下でホモエピ膜を追成長したところ、Hall 移動度が約 10% 改善された。これは、高濃度 B ドーピング領域から追成長層へのキャリア拡散の発現を示唆している。

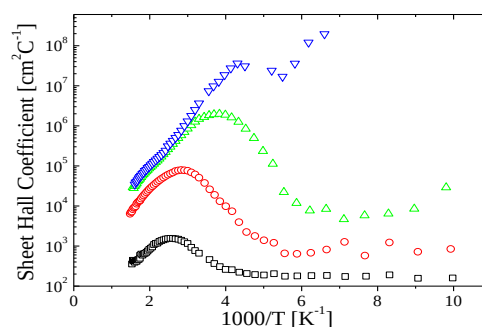


Fig. 1. Temperature dependences of sheet Hall coefficients at various etching stages for heavily B-doped thin sample (H-plasma irradiation time: 0 min($\square$), 120 min($\circ$), 135 min($\triangle$), 140 min(∇)).

参考文献

- 1) 青野, 毎田, 伊藤: 第71回応用物理学会学術講演会講演予稿集 15a-ND-11.
- 2) M.Aono, O. Maida, T. Ito: Diam. Relat. Mater. **20** (2011) 1357.