

マイクロ波プラズマプロセスによる非縮退高濃度ホウ素ドーパ単結晶 CVD ダイヤモンド層の積層構造化とそのキャリア輸送特性

Carrier Transport Properties of Non-degenerate Heavily-Boron-Doped Single-crystalline CVD Diamond Thin Layers Stacked Using Microwave Plasma Processes

大阪大学大学院工学研究科 ○九鬼 知博, 毎田 修, 伊藤 利道

Graduate School of Eng., Osaka Univ., ○Tomohiro Kuki, Osamu Maida, Toshimichi Ito

E-mail: kuki@daiyan.eei.eng.osaka-u.ac.jp

1. 背景と目的

ダイヤモンドにおける深いホウ素(B)アクセプタ準位(0.37 eV)に対する改善策として、B ドープ濃度を増大させるとキャリア数の増加、及び、活性化エネルギーの減少は生じるが、汎用 p 型半導体に比べ著しいキャリア移動度の低下が生じ、また、高濃度ドーパ試料では不純物バンド伝導による金属的導電性を示し、半導体的性質が失われる。

我々は、高濃度 B ドープ薄膜層に水素プラズマ照射を施すと、金属的な縮退 B ドープ層が不均一にエッチングされ、無数の微小領域に分離・孤立化し、半導体的キャリア輸送特性を示すようになることを見出した¹⁾。また、孤立化した縮退領域の大きさは B ドープ濃度に依存し、この領域をアンドープ層で埋め込んだ際に得られる移動度の改善は、その孤立化領域の大きさに依存することも報告した¹⁾。しかし、キャリアの輸送機構についてはまだ詳細にはわかっていない。

そこで本研究では、この高濃度 B ドープ層とアンドープ層の積層構造をプラズマプロセスのみにより作製し、移動度のさらなる改善を図りつつ、詳細なキャリア輸送特性について調べた。

2. 実験

高品質ダイヤモンド膜合成のため、マイクロ波プラズマ(MWP)CVD 法により、<100>方向に 3°オフあるいは<110>方向に 5°オフした微斜面(001)HPHT Ib ダイヤモンド基板上に、CH₄ 濃度(CH₄/H₂ 比) 4.0 %でアンドープバッファ層を 8 時間(約 40 μm)ホモエピ成長した。次に、B/C 比 8000 ppm または 12000 ppm となるように水素希釈した B(CH₃)₃ をドーピングガスとして用いて、当該バッファ層上に高濃度 B ドープ層を 2 分間ホモエピ成長した。その後、高濃度 B ドープ層を孤立化させるため水素プラズマ照射によるエッチングを行い¹⁾、これらの孤立化領域をアンドープ層で埋め込んだ。次に、再び高濃度 B ドープ層を成膜した後、同様にプラズマエッチングにより孤立化し、同様に孤立化した 3 層目を成膜した。得られた積層試料の電気的特性、結晶品質や表面ラフネス等の評価は、それぞれ Hall 測定(van der Pauw 法)、室温カソードルミネッセンス(CL)測定や原子間力顕微鏡(AFM)観察により行った。

3. 結果及び考察

B/C 比 12000 ppm で作製した高濃度 B ドープ CVD 試料の非縮退化及びその積層化において、各プロセス段階で得られた試料のシート Hall 係数の典型的な温度依存性を図 1 に示す。前回報告したように¹⁾、2 分間の B ドープホモエピ成長により、低温領域(180 K 以下)でキャリアが縮退し、金属的導電性を示す。このような伝導状態は、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できる²⁾。この試料に対して、適切な時間の水素プラズマ照射を施したところ、Hall 係数の温度依存性にピークが消え、半導体的振舞いをするようになった。これは、高濃度 B ドープ薄膜が無数の微小領域に分離・孤立化されたためである。その後、アンドープ層による埋め込み、2 層目の B ドープ層の積層を行っても、上記低温縮退領域におけるシート Hall 係数は殆ど 1 層目と変化しなかった。また、2 層目と 3 層目については、各孤立化前後ともにほぼ同じ挙動を示した。これらのことは、キャリアの拡散が、孤立化した縮退領域に係る界面近傍でのみ生じ、その膜厚には輸送特性があまり依存しないことを意味している。

一方、B/C 比 8000 ppm で作製した試料の場合には、第 3 層の孤立化前の時点における積層試料の縮退したシートキャリア数は、第 2 層の孤立化前における値の約 1.6 倍となった。これは、キャリア数が、分離・孤立化した金属的領域の空間的大きさやキャリア拡散のし易さも反映する、ことを示唆している。その詳細等は当日報告する。

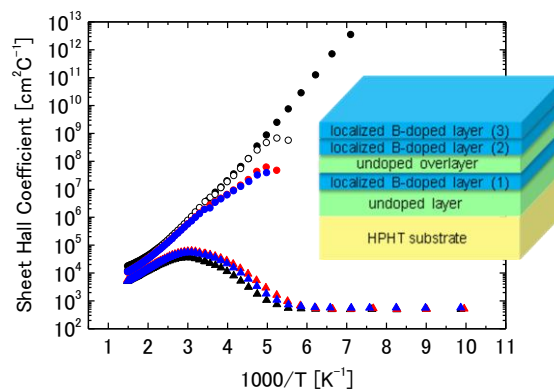


図 1. 高濃度ホウ素ドーパ薄膜におけるシート Hall 係数の温度依存性: 1 層目の成長後(▲印)、エッチングによる孤立化後(●印)、及び、アンドープ層による孤立化領域埋め込み後(○印)。同様に形成した 2 層目と 3 層目は、それぞれ赤色と青色の同様な記号で示す。模式図は 3 層目の孤立化後の構造。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(A) 21216011)の助成により行われた。

参考文献

- 1) 九鬼, 毎田, 伊藤: 第 73 回応用物理学会学術講演会 (2012) 13a-PB2-5.
- 2) M.Aono, O. Maida and T. Ito: Diamond Relat. Mater. **20** (2011) 1357.