

電子ビーム励起プラズマを用いた立方晶窒化ホウ素 *in-situ* Mg ドーピング技術の確立

[研究代表者] 竹内和歌奈 (工学部電気学科)

[共同研究者] 高島成剛 (公益財団法人名古屋産業振興公社)

[共同研究者] 山川晃司 (榊片桐エンジニアリング名古屋事業所所長)

研究成果の概要

立方晶窒化ホウ素 (Cubic Boron Nitride : cBN) は大きなエネルギーバンドギャップを持ち、ダイヤモンドに次ぐ硬さと熱伝導率、高い耐放射線特性を持つため、ワイドバンドギャップ半導体として注目されるようになった。一方で、結晶成長には依然として課題が残っている。その中で、プラズマの高精度な制御が可能な電子ビーム励起プラズマ (EBEP) を用いたプラズマ CVD 法により高純度な cBN 膜が形成可能であるため、この方法で形成された cBN 膜を電子デバイス応用に使用するためには、伝導制御が必要である。そこで、本研究の目的としては、EBEP で形成された cBN 膜を用いたデバイス形成に向けて、*in-situ* ドーピング技術の開発と cBN の半導体物性としての評価を行った。

研究分野 : 半導体物性、結晶成長

キーワード : 窒化ホウ素、結晶成長、ワイドバンドギャップ半導体、ドーピング技術、半導体物性、デバイス特性

1. 研究開始当初の背景

準安定な立方晶窒化ホウ素 (Cubic Boron Nitride : cBN) は 6.4 eV と大きなエネルギーバンドギャップを持ち、高い硬度、高い熱伝導、強度、耐摩耗性という機械的な特性に着目され、潤滑剤や研磨剤として利用されてきた。近年、エネルギーバンドギャップの大きな半導体材料はワイドバンドギャップ半導体として、例えば、炭化ケイ素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) のように Si に変わるパワーデバイス材料として精力的に研究が進められ、実用化が進められている。パワーデバイス応用においては、さらにオン抵抗の低減が期待できるより大きなエネルギーバンドギャップを持つ材料の研究が進められており、cBN は 5.5 eV のエネルギーバンドギャップを持つダイヤモンドに次ぐ硬さと熱伝導率を持ち、高い耐放射線特性を持つことから、ワイドバンドギャップ半導体としてのデバイス応用にも期待できる。

一方で、cBN は機械的な応用が進んできたため、電子デバイス応用としての研究は未だ初期段階と言える

2. 研究の目的

これまで、我々のグループは、プラズマの高精度な制御が可能な電子ビーム励起プラズマ (Electron Beam Excited Plasma : EBEP) を用いたプラズマ CVD 法により、cBN 膜をコーティング応用として合成する技術を開発してきた。一方で、デバイス応用に向けてはドーピング技術の開発が必要不可欠である。そこで、本研究では EBEP 装置に *in-situ* ドーピング技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

cBN 膜の Si 基板 (100) 上への成膜とマグネシウム等のドーピングは、EBEP をプラズマ源とするプラズマ気相堆積法を用いた。EBEP を用いた PECVD 装置の概略断面図等を図 1 に示す。また、Mg ワイヤとステージの位置関係の模式図は図 2 に示す。成膜手順としては、Si 基板上にまず B 膜を B₂H₆ を 30sccm、Ar ガス 20sccm で形成し、その後 BN 傾斜層 N₂ を 1~4 sccm 追加して傾斜 BN 層の形成を行う。その後、B₂H₆ を 25 sccm と N₂ を 50 sccm および Mg ワイヤに電圧を印加して傾斜 BN 層の上に c-BN 層

の形成を行った (図3)。Mg ワイヤーとステージの位置は 0 および 50 mm の 2 条件で行った。Mg のワイヤーに印加するバイアスは-40~-180V で変化させた。

4. 研究成果

図4に Mg ワイヤーにバイアス-60V を印加し、ステージとの距離が 0 mm (ワイヤーの先端が基板の中心) の条

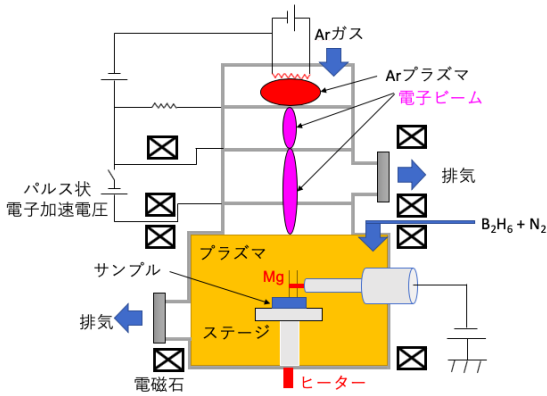


図1 EBEP 概略図

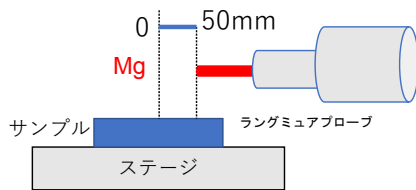


図2 基板と Mg ワイヤーの位置関係



図3 試料構造模式図

件で形成した cBN 試料の断面走査型電子顕微鏡 (SEM) 像を示す。コントラストの違いから、Si 基板、B 層、傾斜 BN 層、cBN 層が形成されていると考えられる。この積層構造は全ての試料で同様に観測された。

図5に様々な条件で形成された cBN 膜及び cBN 膜なしの試料のフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) 波形を示す。cBN が形成されていない傾斜層まで形成された試料が W/O cBN である。この結果から、傾斜層までの条件では cBN が形成されておらず、安定相である hBN のみが検出された。一方、透過で測定しているため、すべての試料で hBN が検出されるが、W/O cBN 含みすべての試料で hBN ピーク強度が同程度であることから、cBN 形成中では主に

cBN が形成されたと考えられる。成長条件の調整により、hBN と cBN の作りわけができていることもわかる。また、異なる条件で Mg ワイヤーにバイアスを印加しても cBN ピークに大きな変化が見られなかった。このことから、このバイアス印加による結晶性の劣化はほとんどないと考えられる。また、図には示していないが、X線回折の結果から、cBN(111)が支配的に観測された。

Mg ワイヤーを用いて Mg が in-situ ドープ可能か調べるために、二次イオン質量分析 (SIMS) 測定を行った。図6に Mg ワイヤー位置 0 mm でバイアス-40 と-60V の 2 試料の深さ方向の Mg 濃度の分布を示す。縦の点線は SEM 像のコントラストから測定したそれぞれの層の深さに対応する。Mg は cBN 層から顕著に検出された。そして、その量は-60V の方が多く検出された。このことから、印加バ

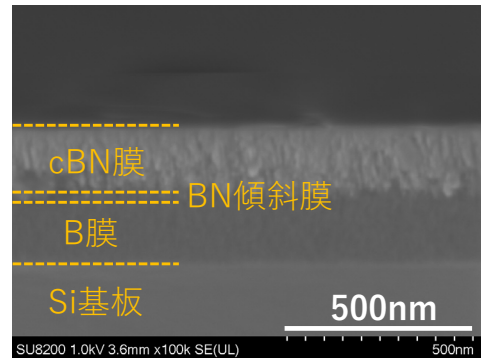


図4 断面 SEM 像 (条件 : 0mm, -60V)

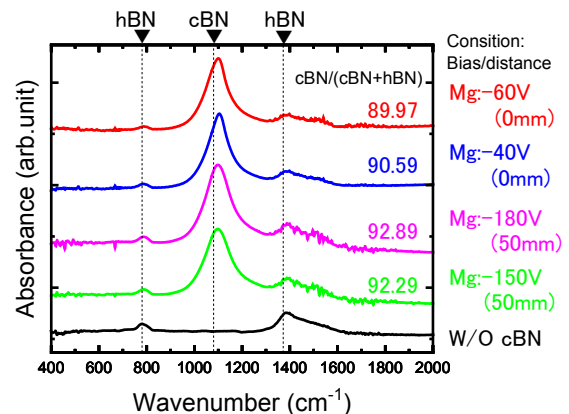


図5 様々な条件で形成された Mg ドープ cBN/層 tBN 層/B 層/Si 基板の FT-IR 波形

イアスを調整することで、導入量を変えることが出来ることがわかった。また、Mg を高濃度に導入した試料では電流が流れることを確認した。

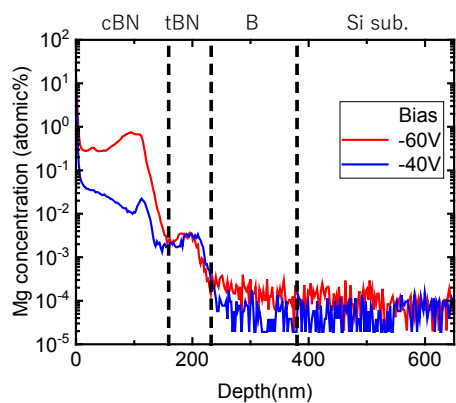


図 6 SIMS 測定から得られた Mg 濃度の
深さ分布プロファイル

以上の結果より、EBEP 装置に対して、Mg ワイヤーを用いることで、Mg の in-situ ドープが可能であり、cBN 層の電気伝導を調整可能であることを見出した。