

Study on Hexagonal Boron Nitride Layers for Nanoscale Chemical Reactions

シン, イ

<https://hdl.handle.net/2324/7430217>

出版情報 : Kyushu University, 2025, 博士 (学術), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	Hsin Yi
論 文 名	Study on Hexagonal Boron Nitride Layers for Nanoscale Chemical Reactions (ナノスケールの化学反応に資する六方晶窒化ホウ素に関する研究)
論文調査委員	主 査 九州大学 教授 吾郷 浩樹 副 査 九州大学 准教授 北條 元 副 査 九州大学 准教授 堤井 君元

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

原子レベルの厚みのシート構造を有する二次元物質は、その組成や層数、および対称性に依存して物性が大きく変化することから、材料科学のフロンティアとして世界中で活発に研究がなされている。さらに、二次元物質は高いキャリア移動度や光透過性、機械的柔軟性を有し、次世代のエレクトロニクスやオプトエレクトロニクス材料として期待されている。ホウ素と窒素からなる六方晶窒化ホウ素 (hexagonal boron nitride (hBN)) は、約 6 eV の大きなバンドギャップをもつ層状の絶縁体で、原子的にフラットな表面をもち、かつ熱的・化学的に安定であることから、グラフェンなどの他の二次元物質の絶縁基板や保護膜として広く利用されている。特に、シリコン表面のダングリングボンドや表面粗さの影響を hBN が遮蔽して二次元物質本来の物性測定を可能にすることから、二次元物質研究に不可欠な材料となっている。

hBN は可視域で透明で、電気を流さないことから、二枚の hBN で分子や固体を挟むことによって大気中で不安定な物質の光・電気物性の測定が可能になると期待されている。さらには、二枚の hBN で挟まれた二次元ナノ空間での化学反応にも興味をもたれている。しかしながら、hBN はその安定性のためエッチングが容易ではなく、一層ずつエッチングすることは非常に難しいことが知られている。

本論文は、低融点金属であるスズ (Sn) による多層 hBN のエッチング作用と、二枚の多層 hBN に挟んだ Sn の形状変化、および hBN に挟まれた Sn の硫化反応による硫化スズの生成に関する研究成果をまとめたものである。本研究で得られた成果を以下に列記する。

1. 化学気相成長法によって合成した多層 hBN 上に薄く Sn を蒸着した後、1000 °C で加熱すると、Sn が三角形のナノプレート構造を形成し、最上層の hBN をエッチングしながら拡散することを見出している。電子線回折等の構造解析によって、Sn のナノプレートによるエッチングは hBN のアームチェア方向に沿って起こることを明らかにしている。種々の検討を通じて、この異方的なエッチングは、Sn による hBN の分解反応に由来すると結論づけている。
2. 多層 hBN 上に室温で蒸着した Sn 薄膜はナノ粒子状に堆積することを示すとともに、Sn ナノ粒子の直径や形状が hBN の厚さに大きく依存することを明らかにしている。多層 hBN が厚くなるほど、蒸着時の Sn の表面拡散が促され、Sn ナノ粒子が大きくなるとともに、hBN の対称性を反映した構造をもつようになることを見出している。一方、hBN が薄い場合には拡散が抑制され、小さなナノ粒子の形状を保つことを確認している。
3. 多層 hBN 上に蒸着した Sn の上に、さらに別の hBN を転写することで、hBN/Sn/hBN のサンドイッチ構造を実現している。この積層構造に 650 °C で硫黄の蒸気と反応させることによって、二次

元半導体である硫化スズを hBN の間に合成することに成功している。Sn が薄い時には SnS、厚い時には SnS₂ が優先的に合成できることをラマン分光から示すとともに、電界効果トランジスタを製作して、前者が p 型半導体、後者が n 型半導体としてデバイス動作することを確認し、応用上、有効であることを実証している。

以上要するに、本論文は、hBN のナノ粒子による hBN の最表面の特徴的なエッチング現象とその反応機構に関して基礎的知見を提示するとともに、二枚の hBN 間での Sn ナノ粒子の硫化反応による硫化スズの合成と、それを用いた極性制御された電界効果トランジスタの動作を実証したものであり、ナノ材料科学に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士（学術）の学位に値するものと認める。