

氏名(本籍)	パキデル アミール (イラン)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第6045号
学位授与年月日	平成24年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	<b>Synthesis, Characterization, and Properties of 1D and 2D Boron Nitride Nanostructure Films</b> (一次元ならびに二次元窒化ホウ素ナノ構造体薄膜の合成と物性評価)

主査	筑波大学教授	Ph.D.	Dmitri Golberg
副査	筑波大学教授	理学博士	関口隆史
副査	筑波大学教授	理学博士	佐々木高義
副査	筑波大学教授	博士(工学)	藤田淳一
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	中山知信

## 論文の内容の要旨

窒化ホウ素 (BN) ナノチューブ (BNNT) ならびにナノシート (BNNS) は、既に先行して発見され様々な基礎研究、応用研究が進む炭素ナノチューブ (CNTs) ならびにナノシート (Graphene) に同等あるいは優れた機械強度、熱伝導度を示しつつも、電気的には相補的な関係にある材料として、大きな注目を集めるナノマテリアルである。しかし、現在のところ BN ナノチューブ、ナノシートに関する研究は盛んになっているとは言いがたい。これは、BN ナノチューブやナノシートが自然界に存在する物質ではなく、その生成条件に関する系統的な理解が得られていないことに起因する。また、生成条件の最適化が行われていないために、材料としての応用研究も進んでいない。応用研究が少ないもう一つの理由は、BNNT や BNNS は、CNT や Graphene のような良導体ではなく、電子デバイスへの適用が困難である点も見逃せない。

本論文において Amir Pakdel 氏は、BNNT や BNNS の成長を CVD 法により行い、系統的に成長パラメーターを変化させつつ生成物を分析した。その結果、BNNT ならびに BNNS の成長形態を制御することに成功している。この知見を生かして、BNNS 薄膜の形態を制御して、表面ラフネスの異なる BNNS 表面を複数準備し、形態に応じて変化する親水疎水性能やそのセルフクリーニング機能を評価した。そこでは、元々親水性を示す BNNS 薄膜表面を疎水性に、さらには超疎水性へと変えることに成功している。この結果は、化学的な安定性が高い材料を用いた機能表面の実現という観点から非常にオリジナリティーの高いものである。さらに、ワイドギャップ材料 (絶縁材料) である BN とゼロギャップ材料である Graphene を組み合わせた新しい材料の創製を目指して、BNNS と Graphene のハイブリッド材料創製に挑戦し、中間的なバンドギャップを観測している。これは、BN 材料を電子デバイスへと展開していく可能性を示したものである。

上述した内容に関して、本論文中では、CVD 法を適切に改良し、透過電子顕微鏡法、走査電子顕微鏡法、電子エネルギー損失分光法、ラマン散乱分光法、X線分光法、カソードルミネッセンス法など多くの分析手法を駆使した詳細解析が行われ、世界初となる結果を数多く導きだしている。

論文は、第1章において従来蓄積された BN 材料に関する膨大な知見を総括し、第2章では、BNNT の成

長パラメータに応じた成長様式の変化を系統的に調査し、その成長メカニズムの提案を行なっている。第3章では、BNNSの成長パラメータを変化させて得られるBNNS薄膜の形態を系統的に調査し、その成長メカニズムを提案している。さらに、この薄膜表面に備わっている機能を調べ、超疎水性能を発見し、その疎水性の起源を明らかにしている。第4章では、GrapheneとBNNSとのハイブリッド化を目指し、実際にBNNS中にGrapheneのドメインが形成されていると推測するに十分な結果を得ている。以上の内容を統括する第5章で論文全体が締めくくられている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

平成24年2月16日、審査委員が全員出席の上、一般聴衆にも審査を公開して数理物質科学研究科学学位論文審査委員会を開催した。著者による、論文内容の説明が行われ、活発な議論が行われた。質問内容は多岐にわたり、著者が取得したデータの妥当性や、データの解釈の恣意性については、突っ込んだ議論が行われた。また、BN材料の物性に関する基礎的な理解を問う質疑、理想的な材料の機械特性と計測された材料の特性の比較検討を求める質疑などがあり、基礎材料科学から応用材料科学、さらには将来展望に関する筆者の見識を確認するに十分な質疑応答が、およそ45分間に渡り行われた。著者は、すべての質問に真摯に回答し、断言できる内容と推測せざるを得ない内容を適切に仕分けして議論を進める能力を十分に示し、公聴会を終了した。

公聴会終了後に審査委員全員が出席の上判定会議を行い、本論文に論述された研究の内容と質、ならびに公聴会における質疑応答などを再確認して、下記の結論に至った。

平成24年2月16日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。