

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12501 号
------	---------------

氏 名 杨 旭

論 文 題 目

Synthesis of hexagonal boron nitride by metalorganic chemical vapor deposition for advanced semiconductor devices
(次世代半導体デバイス創成のための有機金属化合物気相成長法による六方晶窒化ホウ素の合成)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	准教授	本田 善央
委員	物質・材料研究機構	理事	小出 康夫
委員	名古屋大学	教授	宇治原 徹

論文審査の結果の要旨

楊旭君提出の論文、「Synthesis of hexagonal boron nitride by metalorganic chemical vapor deposition for advanced semiconductor devices (次世代半導体デバイス創成のための有機金属化合物気相成長法による六方晶窒化ホウ素の合成)」は、グラフェンと似た二次元系材料であるため面内の電気伝導性や熱伝導性などの物性的興味のほか、窒化ガリウム(GaN)の剥離犠牲層としてその機械的性質が注目され、また最近マグネシウムドーブによるp型の高い伝導性が報告されたことにより、多くの窒化物半導体研究者の注目を集めた六方晶窒化ホウ素(h-BN)について、有機金属化合物気相成長(MOCVD)法によるサファイア基板上、窒化アルミニウム(AlN)テンプレート上、およびGaN基板上に成長した結果をまとめている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の概要紹介としてBNの様々な多形、そのうちh-BNの物性や合成方法について、特に様々なCVD法により堆積した膜の特性について、およびMOVPE法によりマグネシウムをドーブしたh-BNのp型伝導性の報告について、詳しく紹介し、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で使用したMOCVD装置および成長法の概略、薄膜評価法として原子間力顕微鏡、X線回折、走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡、エネルギー損失分光、フーリエ変換赤外分光、などの原理をまとめている。

第3章は、サファイア基板上へのh-BNのMOVPE成長において、ホウ素原料であるトリエチルボロン(TEB)と窒素原料のアンモニアを同時に供給すると、気相中でのアダクト形成によりパーティクルが形成され表面が荒れること、アンモニア流量を増加すると、平坦性は向上するものの、成長速度が極端に下がってしまうなどの問題があることから、TEBとアンモニアを交互に供給するパルスMOCVD法を採用し、その有用性をまとめている。アンモニア供給量が少ない場合はこれまで報告されているh-BNのc軸格子定数と大きくずれるが、供給量を増加させるにつれて報告値に近づくことを見出している。しかし一方でアンモニア供給量が多い場合には、しわのようなリンクルパターンが発生することを報告している。電子線後方散乱を用いて結晶性を評価したところ、得られたh-BNはすべて単結晶であることを確認している。断面透過電子顕微鏡による詳細な観察より、サファイアとh-BN界面に、アモルファス中間層が形成されていることを見出している。

第4章では、アモルファス中間層の形成機構の解明を行っている。その結果、h-BN堆積後、基板であるサファイアとh-BNの反応により成長中に形成されることを明らかにした。また同章ではリンクルパターンの形成機構を詳細に調べた。その結果、リンクルパターンは、従前予想していたように成長後にサファイアとh-BNの熱膨張係数差により形成されるのではなく、成長中に欠陥が発生して生じることを初めて見出している。

第5章では、サファイア基板の上のAlNテンプレート上、およびGaNテンプレート上のh-BN成長について検討している。特にAlNテンプレート上の成長では、成長が進むにつれてリンクルパターンが形成されること、電子線後方散乱による結晶方位評価では、直接サファイア上は 30° 回転して成長するが、AlNテンプレート上では、まずはAlNがサファイア上と 30° 回転して成長し、AlNとh-BNでもやはり同じように 30° 回転して成長すること、すなわちサファイアとh-BNの結晶方位が結果的に揃ってしまうことを見出している。またGaN上では、GaNが熱分解してしまうことから高温での成長が困難であるため低温で堆積したところ、MISキャパシタとして可能性があることを示している。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように、本論文ではパルスMOCVD法により、サファイア基板上に比較的高品質なh-BNを安定して成長できることを初めて見出した。これにより、h-BNの研究が大いに加速されることが期待される。一方で、成長中にサファイア基板とh-BN界面にアモルファス層が形成されることや、同じく成長中にリンクルパターンが形成されることなど問題ではあるが、学術的には極めて興味深い現象も併せて見出している。これらの成果は、産業応用上及び学術上の価値が高いことから、本論文の提出者である楊旭君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。