

課題番号	GR080
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成25年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	高品質立方晶窒化ホウ素が拓く高温高出力エレクトロニクス
研究機関・ 部局・職名	九州大学・総合理工学研究院・准教授
氏名	堤井 君元

1. 当該年度の研究目的

高品質立方晶窒化ホウ素(cBN)膜を用いた次世代高温高出力素子の開発を最終目的として、25年度は新旧高密度プラズマ CVD 装置を駆使した cBN 膜ダイオードの高性能化と、さらなる高品位膜の形成を目的とする。

すなわち本年度は、(1)電気伝導性制御が可能な多結晶p型ドーピング cBN膜を用いたダイオードの性能向上と、(2)高品質膜の形成手法を用いたエピタキシー技術の開発を進める。(1)については、n型異種基板/p型ドーピング cBN 膜から成るヘテロ構造pnダイオードの電気特性を調べ、漏れ電流低減と整流性向上のためのプロセス指針を確立すること、(2)については、cBN と格子整合が可能な単結晶基板に対し、エピタキシー実現のためのプロセス指針を確立すること、を目的とする。

2. 研究の実施状況

(1)p 型 cBN 膜を用いたダイオードの高性能化

プラズマ CVD 時にドーピングを行うことにより、電気伝導性を制御したp型 cBN 膜を、n型 Si、n型 SiC 等の単結晶異種基板上へ堆積してヘテロ構造pn接合ダイオードを作製し、室温～高温における電気特性を測定した。p-cBN/n-Si 接合については、p 型伝導性を制御することで、ノンドープ p 型 cBN 膜を用いた場合と同様に、室温において高い整流比と低い漏れ電流を得ることができた。これは粒界等の欠陥に起因する漏れ電流の悪影響が、抑制されていることを示唆している。一方 p-cBN/n-SiC 接合については、前述の Si 基板を用いた場合よりも、室温における整流性が劣化したが、高温ではむしろ高い整流性と安定性を示し、高温動作に優れることを実証した。また順および逆バイアス時の電流注入・輸送過程は、前年度までに得られた各種伝導モデルを用いておおよそ説明できることが分かった。

(2)cBN 膜の高品位化・エピタキシーのためのプロセス技術開発

前年度までに導入した新しい高密度プラズマ生成装置を用いて、さらなる高品位 cBN 膜の形成を試みた。cBN と格子整合が可能ないくつかの単結晶異種基板上で、基板バイアス電圧、基板温度、原料ガス流量等を精密制御しながら成膜を行った。Si 基板の場合に見出された良好な成膜条件を用いると、基板バイアス電圧と基板温度に応じて、支配的な生成相が六方晶 BN から cBN に変化した。膜—基板間の格子ミスマッチの低減により、得られた cBN 膜の相純度は増加したが、無配向成長であった。成膜装置に改良を

様式19 別紙1

加え、イオン衝撃をより効果的に加えた結果、得られた cBN 膜の相純度はさらに増加し、基板の方位に従ったエピタキシャル成長が観察された。ゆえに本手法を基にしたプロセス指針を探求することで、単結晶膜の形成も可能と考えられる。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 5 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 2 件 K. Teii, T. Hori, Y. Mizusako, S. Matsumoto, "Origin of Rectification in Boron Nitride Heterojunctions to Silicon", ACS Applied Materials &amp; Interfaces Vol. 5, pp. 2535-2359 (2013). ISSN 1944-8244, <a href="http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/am3031129">http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/am3031129</a> J. H.C. Yang, S. Kawakami, K. Teii, S. Matsumoto, "Enhanced Wettability of Cubic Boron Nitride Films by Plasma Treatment", Materials Science Forum Vol. 783-786,, pp. 2051-2055 (2014). ISSN: 1662-9752</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 3 件 堤井, "立方晶ホウ素膜のプラズマ CVD 合成と電気電子応用 (依頼講演)", 第 80 回表面科学研究会資料, pp. 15-16 (2014). K. Teii, S. Kawamoto, H. Ito, S. Matsumoto, "Structure and Electrical Properties of Wide-Gap Boron Nitride Films", Proceedings of 9th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices, CD-ROM, 03P63 (2013). 平松、金、渡邊、谷口、吾郷、野瀬、光田、加藤、堤井, "ダイヤモンドおよびグラフェン関連物質のプラズマプロセスと先進応用", 電気学会研究会資料, PST-13-129, pp. 21-26 (2013).</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 7 件</p>	<p>専門家向け 計 7 件 堤井, "立方晶ホウ素膜のプラズマ CVD 合成と電気電子応用 (依頼講演)", 第 80 回表面科学研究会「窒化ホウ素: 電子デバイス材料としての課題と展望」, 横浜, 日本, 平成 26 年 1 月 30 日, 日本表面科学会. K. Teii, S. Matsumoto, "Plasma Deposition and Electrical Applications of High-Quality Cubic Boron Nitride Films (INVITED)", 8th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, Hsinchu, Taiwan, 平成 25 年 12 月 22 日, National Chiao Tung University. J. H.C. Yang, S. Kawakami, K. Teii, S. Matsumoto, "Enhanced Wettability of Cubic Boron Nitride Films by Plasma Treatment", 8th International Conference on Processing &amp; Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA, 平成 25 年 12 月 3 日, The Minerals, Metals, Materials Society, USA. K. Teii, J. H.C. Yang, S. Matsumoto, S. Matsumoto, "Electron Field Emission from Semiconducting Carbon Nanowalls and Boron Nitride Films (INVITED)", 8th International Conference on Processing &amp; Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA, 平成 25 年 12 月 3 日, The Minerals, Metals, Materials Society, USA. K. Teii, S. Kawamoto, H. Ito, S. Matsumoto, "Structure and Electrical Properties of Wide-Gap Boron Nitride Films", 9th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices, Hawaii, USA, 平成 25 年 12 月 3 日, The 141st Committee on Microbeams Analysis, Japan Society for the Promotion of Science. K. Teii, "Development of Next Generation Wide Band-Gap Materials for High Temperature Electronics (KEYNOTE)", 15th Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology, Shanghai, China, 平成 25 年 11 月 25 日, Pusan National University, Kyushu University, Shanghai Jiao Tung University. K. Teii, S. Kawamoto, H. Ito, S. Matsumoto, "Electron Emission Properties of Boron Nitride Layered Films on Silicon", 24th International Conference on Diamond and Carbon Materials, Riva del Garda, Italy, 平成 25 年 9 月 2 日, Elsevier.</p> <p>一般向け 計 0 件</p>

様式19 別紙1

図書 計0件	
産業財産権 出願・取得状 況 計0件	(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件
Webページ (URL)	特色ある研究の取り組み 最先端・次世代研究支援開発プログラム(九州大学ホームページ内) <a href="http://www.kyushu-u.ac.jp/research/topic/front.php">http://www.kyushu-u.ac.jp/research/topic/front.php</a>
国民との科 学・技術対話 の実施状況	堤井, “高品質立方晶窒化ホウ素が拓く高温高出力エレクトロニクス”, FIRST シンポジウム「科学技術が拓く2030年」, ベルサール新宿グランド, 日本, 平成26年3月1日, FIRST プログラム公開活動実行委員会, 一般市民数百名, 本プログラムによる研究成果等を基にポスター展示を行い、参加者達と質疑応答を通して科学・技術対話を実施
新聞・一般雑 誌等掲載 計0件	
その他	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

## 1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	128,000,000	115,700,000	12,300,000	0	0
間接経費	38,400,000	34,710,000	3,690,000	0	0
合計	166,400,000	150,410,000	15,990,000	0	0

## 2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	89,081,663	12,300,000	0	101,381,663	101,381,663	0	0
間接経費	31,935,724	3,690,000	0	35,625,724	35,625,724	0	0
合計	121,017,387	15,990,000	0	137,007,387	137,007,387	0	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	98,412,977	マイクロ波プラズマCVD装置、多機能材料評価 X線回折装置 等
旅費	1,513,915	研究成果発表及び情報収集(国際会議ALC '13) 等
謝金・人件費等	1,046,758	学術研究員・テクニカルスタッフ 人件費
その他	408,013	修理・メンテナンス費用、学会参加登録費 等
直接経費計	101,381,663	
間接経費計	35,625,724	
合計	137,007,387	

## 4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
TG70F排気システム	STC70FR013	1	745,500	745,500	2013/4/17	九州大学
光ファイバー放射 温度計	IS50-Si- LO/MB13	1	882,000	882,000	2013/5/2	九州大学
マイクロ波プラズマ CVD装置		1	19,950,000	19,950,000	2013/4/24	九州大学
HO-VHT/S型高温 加熱制御システム	株式会社東陽テ クニカ製	1	4,116,000	4,116,000	2013/4/30	九州大学
磁気軸受形複合分 子ポンプ TG900M	株式会社大阪真 空機器製作所製	1	2,317,266	2,317,266	2013/5/27	九州大学
0.5T 電磁石セット 5403/G	株式会社東陽テ クニカ製	1	2,998,800	2,998,800	2013/6/24	九州大学

比抵抗/ホール測定システム	株式会社東陽テ ニカ製 8400AC/MAC	1	11,970,000	11,970,000	2013/7/31	九州大学
パルス電源 PVP- 2KV200A10KW 特 殊	株式会社栗田製 作所製	1	4,641,000	4,641,000	2013/9/30	九州大学
スパッタリング装置	アルバック九州(株)製 QPS-3000-C1	1	11,991,000	11,991,000	2013/11/28	九州大学
多目的真空ブロー バ高温度型	MJ-10H-K 株式 会社メジャージグ 製	1	3,365,250	3,365,250	2013/11/5	九州大学
多機能材料評価X 線回折装置	独国Bruker AXS GmbH社製 D8 DISCOVER/KSP	1	19,425,000	19,425,000	2014/1/9	九州大学
ダクトレスヒュームフード	OM391S	1	724,500	724,500	2014/3/6	九州大学
高真空用赤外線導 入加熱装置 (GV198)		1	1,157,100	1,157,100	2014/3/31	九州大学
フーリエ変換赤外 分光分析装置	米国パーキンエ ルマー社製 Spectrum Two	1	1,701,000	1,701,000	2014/3/6	九州大学
磁気軸受形複合分 子ポンプ	TG900MCAC 株 式会社大阪真空 機器製作所製	1	2,317,266	2,317,266	2014/3/17	九州大学