

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24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・大学院総合理工学研究院・准教授
氏名	堤井 君元

1. 当該年度の研究目的

立方晶窒化ホウ素(cBN)膜を用いた高温高出力素子の開発を最終目的として、24年度は新たな高密度プラズマ CVD 装置の製作・起動に取り組む。そして新/旧プラズマ装置を駆使した高品位膜の形成と、それを用いたダイオードのさらなる高性能化を目的とする。

すなわち本年度は、(1)cBN 膜の電気伝導特性向上と、(2)cBN 膜の高品位化・単結晶化のプロセス技術開発に取り組む。(1)についてはドーパント添加によって、実用的伝導特性を有するp型 cBN 膜の形成に取り組み、室温での膜の伝導率  $10^{-2}$  S/cm を目標とする。実用的p型伝導特性が得られれば、前年度までに得られた知見をもとに、Si/BN ダイオードへの適用を狙う。(2)については、cBN と格子整合が可能な単結晶基板上での膜形成に挑戦し、エピタキシャル成長に関するプロセス技術の確立を狙う。

2. 研究の実施状況

(1)cBN 膜の電気伝導特性向上

cBN 膜は窒素の脱離等により本質的にp型伝導性を示すが、キャリア濃度の制御が困難であった。そこでp型ドーパントとして第2族元素と第3族元素を、プラズマ CVD 時に *in-situ* スパッタにより膜へ添加し、ドーピングを試みた。高抵抗下地上に膜を形成し、膜自体の電気伝導率、キャリア輸送過程等を調べた。伝導率は膜中のドーパント濃度が増加するにつれ指数的に増加し、制御可能であることが分かった。目標とする室温での伝導率  $10^{-2}$  S/cm を達成するに至った。しかし膜中のドーパント濃度が増加するにつれ、不純物相の六方晶 BN の生成が促進され、cBN 相純度が相対的に低下する傾向が見られた。またキャリアの活性化エネルギーは予想よりも低く、欠陥の多い結晶粒界へのドーピングが依然として支配的であることが示唆された。また同様な手法によってn型ドーピングについても試み、伝導率の向上を見出した。しかし伝導率の十分な制御には至っていない。

(2)cBN 膜の高品位化・単結晶化のプロセス技術開発

23-24 年度にかけて新たに導入したプラズマ CVD 装置を用いて、さらなる高品位 cBN 膜の形成を試みた。既存プラズマ CVD 装置の実験条件を基に、Si や WC 等の基板上に最大  $\mu\text{m}$  オーダーの結晶粒径をもつ高品位 cBN 膜、あるいは従来よりも表面の cBN 相純度が高い高品位 cBN 膜を形成可能な条件を見出した。高品位 cBN 膜が従来よりも優れた電子放出特性を示すことも見出した。これらの条件を基に、cBN と

様式19 別紙1

格子整合が可能な単結晶基板上でイオン衝撃を制御しながら成膜を行い、cBN 膜の成長を確認した。しかし単結晶化には至っておらず、25 年度において成膜プロセス条件のさらなる探求と高精度制御を進める。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 6 件</p>	<p>(掲載済み－査読有り) 計 3 件                  K. Teii and S. Matsumoto, "Low Threshold Field Emission from High-Quality Cubic Boron Nitride Films", Journal of Applied Physics Vol. 111, 093728 (2012).                  ISSN 0021-8979, <a href="http://jap.aip.org/resource/1/japiau/v111/i9/p093728_s1">http://jap.aip.org/resource/1/japiau/v111/i9/p093728_s1</a>                  K. Teii and S. Matsumoto, "Direct Deposition of Cubic Boron Nitride Films on Tungsten Carbide-Cobalt", ACS Applied Materials &amp; Interfaces Vol. 4, pp. 5249-5255 (2012).                  ISSN 1944-8244, <a href="http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/am301133d">http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/am301133d</a>                  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></p> <p>(掲載済み－査読無し) 計 3 件                  K. Teii, "Plasma Deposition and Electrical Characterization of Wide-Gap Materials for High-Temperature Condition (招待講演)", Proceedings of 7th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, CD-ROM, Invited Speech No. 16 (2012).                  J. H. C. Yang, S. Kawakami, K. Teii, "Enhanced Wettability of Nanocrystalline Diamond and Boron Nitride Films for Biocoating Applications", 7th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, CD-ROM, Y-11 (2012).                  S. Kawamoto, N. Katayama, K. Teii, S. Matsumoto, "Plasma Deposition and Electronic Applications of Nanostructured Wide-Gap Materials", Proceedings of 30th Symposium on Plasma Processing, CD-ROM, pp. 229-230 (2013).</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 4 件</p>	<p>専門家向け 計 4 件                  K. Teii, "Plasma Deposition and Electrical Characterization of Wide-Gap Materials for High-Temperature Condition (招待講演)", 7th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, Taipei, Taiwan, 平成 24 年 4 月 14 - 16 日, Taipei Medical University and Chinese Institute of Plasma Technology.                  J. H. C. Yang, S. Kawakami, K. Teii, "Enhanced Wettability of Nanocrystalline Diamond and Boron Nitride Films for Biocoating Applications", 7th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, Taipei, Taiwan, 平成 24 年 4 月 14 - 16 日, Taipei Medical University and Chinese Institute of Plasma Technology.                  K. Teii, J. H.C. Yang, S. Matsumoto, "Plasma Deposition and Applications of Cubic Boron Nitride Films (招待講演)", International Union of Materials Research Society-International Conference on Electronic Materials 2012, Yokohama, Japan, 平成 24 年 9 月 23 - 28 日, 日本 Materials Research Society.                  S. Kawamoto, N. Katayama, K. Teii, S. Matsumoto, "Plasma Deposition and Electronic Applications of Nanostructured Wide-Gap Materials", 30th Symposium on Plasma Processing, Hamamatsu, Japan, 平成 25 年 1 月 21 - 23 日, 応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会.</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図書 計 0 件</p>	

様式19 別紙1

<p>産業財産権 出願・取得状 況  計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>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></p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>堤井 君元, ”新しいワイドギャップ材料が拓く次世代技術”, 平成24年度 九州大学大学院総合理工学府 公開講座「我が国の未来産業を牽引する新材料、新機能」, 九州大学筑紫地区, 平成24年8月25日, 一般市民 60名, 本プログラムによる研究成果等を基に講演を行い、参加者達と質疑応答を通して科学・技術対話を実施。 堤井 君元, ”新しい立方晶窒化ホウ素が可能にする高性能デバイスおよびコーティング”, 九州大学高等研究院 若手研究者交流セミナー「グリーン・イノベーション」, 九州大学筑紫地区, 平成25年1月21日, 一般市民約25名, 本プログラムによる研究成果等を基に講演を行い、参加者達と質疑応答を通して科学・技術対話を実施。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成24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せん

## 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	61,600,000	54,100,000	12,300,000	0
間接経費	38,400,000	18,480,000	16,230,000	3,690,000	0
合計	166,400,000	80,080,000	70,330,000	15,990,000	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	55,601,435	54,100,000	0	109,701,435	20,619,772	89,081,663	0
間接経費	17,713,942	16,230,000	0	33,943,942	2,008,218	31,935,724	0
合計	73,315,377	70,330,000	0	143,645,377	22,627,990	121,017,387	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	19,329,441	粒子径・ゼータ電位・分子量測定装置 2450MHz表面波プラズマ源 等
旅費	215,000	研究成果発表及び調査旅費(豊橋技術科学大 学) 等
謝金・人件費等	623,496	学術研究員人件費
その他	451,835	中央分析センター装置利用料 等
直接経費計	20,619,772	
間接経費計	2,008,218	
合計	22,627,990	

## 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
粒子径・ゼータ電 位・分子量測定装 置	英国マルバーン 社製 ゼータサイ ザーNanoZS90	1	5,596,500	5,596,500	2012/12/14	九州大学
超高真空チャン バー	VTC-350M	1	1,203,300	1,203,300	2013/2/26	九州大学
HiCube80Eco 小型 ポンピングステーション		1	987,000	987,000	2013/3/18	九州大学
コントールゲート バルブ DN 160(6")	64244-CE52- 0001	1	716,205	716,205	2013/3/1	九州大学
2450MHz 表面波 プラズマ源	株式会社ニッシン 製	1	2,152,500	2,152,500	2013/3/18	九州大学