

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

|            |                             |
|------------|-----------------------------|
| 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                       |

**【研究目的】**

各種電気機器の電力制御・変換を担う電子素子（デバイス）にはシリコン（Si）半導体を用いられている。しかし Si 素子の電力損失は大きい。200°C超の高温環境では原理的に動作できない。したがって炭化ケイ素（SiC）、ダイヤモンド等のワイドバンドギャップ半導体を用いた「低損失、高出力、かつ高温動作可能」次世代電子素子の開発競争が、エネルギー革新技術として国家プロジェクトにより進められている。

本研究では、最大のバンドギャップ（6.3 eV）を有し、SiC とダイヤモンドを潜在的に凌駕する“立方晶窒化ホウ素（cBN）”を用いた次々世代電子素子の研究開発を行う。本研究では、現行で最高品質の cBN 膜が得られる独自の低圧プラズマ蒸着法を基盤として、cBN 電子素子の高性能化と cBN 膜のエピタキシーに挑戦し、世界初の真空中 500°C超でも動作する高温高出力素子の技術基盤を確立することを目的とする。具体的には以下 I～III の研究テーマに取り組む。図 1 に作製予定の素子構造の概略を示す。

**I 多結晶 cBN ダイオードの高性能化**

ノンドープ cBN 膜が p 型伝導性を示すことを利用して、n 型 Si/p 型多結晶 cBN ヘテロ構造ダイオードを形成し、室温～高温での動作原理解明と、性能向上を図る。ダイヤモンドダイオード並みの、室温での整流比 7 桁、逆方向リーク電流  $10^{-7} \text{ Acm}^{-2}$  を目標とする。また、高温対応 cBN コンデンサーの動作検証と性能向上にも取り組む。

**II ドーピング手法の確立**

安全・簡易な in-situ ドーピング手法を開発する。特に実用的伝導性を有する p 型 cBN 膜の形成に注力し、室温での伝導率  $10^{-2} \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  を目標とする。

**III 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**

SiC、ダイヤモンド、cBN 等の単結晶基板上でエピタキシャルまたは単結晶 cBN 膜

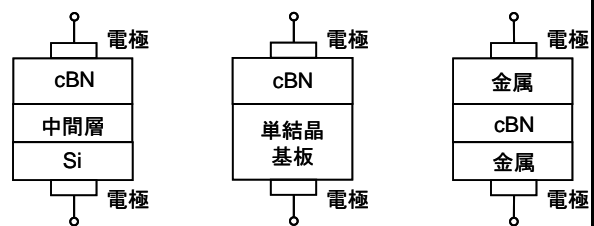


図 1 作製予定の素子構造の概略

の形成に挑戦する。可能になれば、高品位膜エピタキシャルまたは単結晶 cBN 膜のためのプロセス指針の確立を目指す。

### 【総合評価】

|   |                |
|---|----------------|
|   | 特に優れた成果が得られている |
| ○ | 優れた成果が得られている   |
|   | 一定の成果が得られている   |
|   | 十分な成果が得られていない  |

### 【所見】

#### ① 総合所見

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を図るため、n 型異種基板/p 型ドーピング cBN 膜から成るヘテロ構造 p n 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した。さらに、高品質膜の形成手法を用いたエピタキシー技術を開発し、cBN 膜の相純度を増加させると、基板の方位に従ったエピタキシャル成長が観察された。以上の結果から、開発した手法をさらに追及することにより単結晶膜の形成も可能になり、優れた成果が得られた。

#### ② 目的の達成状況

- ・ 所期の目的が  
(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

当初の計画に無かった中気圧プラズマ CVD 装置の導入が平成 24 年度行われたため、①多結晶 cBN ダイオードの高性能化、②安全・簡易な in-situ ドーピング手法の開発、③cBN 膜の高品位化・エピタキシーのためのプロセス技術開発はほぼ目的を達成したが、所期の目的のひとつであった④単結晶基板上での cBN エピタキシーは達成できなかった。

#### ③ 研究の成果

- ・ これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)
- ・ ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)
- ・ 当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

新たに開発した多結晶 cBN ダイオードの高性能化に資する動作機構の調査と p 型ドーパントの導入による高伝導率の実現については一定の成果が得られており、先進性・優位性があると考えられる。

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はブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果である。

当初の目的の他に得られた成果はなかった。

**④ 研究成果の効果**

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

( 見込まれる ・ 見込まれない )

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が

( 見込まれる ・ 見込まれない )

新たに開発された多結晶 cBN は、関連する研究分野への波及効果が見込まれる。  
本研究成果はプラズマ CVD プロセスを用いた高性能半導体・誘電体薄膜の形成技術への進展に大きく寄与でき、社会的・経済的な課題の解決への波及効果が見込まれる。

**⑤ 研究実施マネジメントの状況**

・適切なマネジメントが ( 行われた ・ 行われなかった )

研究計画の中で根幹を成す高密度低圧プラズマ CVD 成膜装置の導入・改良が遅れたが、東日本大震災のような不可抗力的な要因によるものであった。この影響を除けば、研究計画は適切に実行されており、研究実施体制は適切に組織され、指摘事項への対応も適切に実施された。さらに、研究成果の発信は適切に行われ、国民との科学・技術対話についても効果的に実施されており、適切な研究実施マネジメントが実施された。