

## 中性子検出半導体を目指した BGaN 結晶成長メカニズムの研究

### [1] 組織

代表者：中野 貴之

(静岡大学大学院工学研究科)

対応者：青木 徹

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

本田 善央 (名古屋大学工学研究科)

片山 竜二 (東北大学金属材料研究所)

谷川 智之 (東北大学金属材料研究所)

### [2] 研究経過

放射線の物質に対する透過性は様々な分野で利用されており、様々な分野における非破壊検査装置として利用されている。これまでに X 線を用いた医療分野における X 線 CT や産業分野における製品の非破壊内部検査装置やセキュリティー分野においては空港の手荷物検査装置などで X 線や $\gamma$ 線が用いられている。更に近年では重金属に対する透過性が優れた放射線として中性子線が注目されている。近年、中性子源に関する研究が進んだことにより企業レベルでの中性子照射実験が可能となってきているが中性子イメージングといった観点では高速応答性などで検出器の特性向上が期待されている。そこで本プロジェクトでは、新しい中性子イメージングセンサーとして半導体検出器の実現を目指し、半導体材料である GaN と中性子のコンバーター材料となる B 原子を混晶させた BGaN に注目し、その作製と中性子検出半導体としての可能性を検討した。

本プロジェクトは今年度が 2 年目となっている。これまでの我々の研究では GaN が $\gamma$ 線に対する検出感度が低いことから、GaN をベースに中性子検出器を作製した場合には中性子を検出する際に問題となる中性子源からの $\gamma$ 線との分離が可能であることを明らかにしてきた。また、B は III 族原子であるため GaN における Ga サイトに B 原子が置換して半導体材料として用いることが可能である。このようなことから有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法によって GaN 上に BGaN を結晶成長条件の検討を行

っており、高品質な BGaN の作製を実現している。今回は作製した BGaN を用いて放射線特性などを評価し、BGaN の中性子検出に関する可能性を明らかにした。

以下に研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ：2 回(学会期間中に打ち合わせを実施)

研究討論会：1 回(2/18)

### [3] 成果

(3-1) 研究成果

BGaN 結晶の作製には有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法を用いた。作製した試料構造は c 面サファイア基板上に GaN 層のエピタキシャル成長を行った後に BGaN 層の成長を行うことで BGaN 薄膜を作製した。放射線検出特性の評価には、ショットキーダイオードを作製し、逆バイアスをかけた状態で放射線を照射してキャリアの発生により放射線検出特性を評価した。使用した $\alpha$ 線源は Am (アメリカシウム)、中性子源は Cf(カリフォルニウム)を使用した。

最初に、BGaN の $\alpha$ 線検出特性の評価を行った。各バイアスにおける検出電流値の時間変化を図 1 に示す。図中の放射線未照射時において定常的に電流が流れていることが確認できる。これは BGaN の結晶性が GaN に比べて十分ではないため結晶欠陥に起因した洩れ電流が検出されていると考えられる。更に、 $\alpha$ 線照射時において電流量が増加していることが確認できた。 $\alpha$ 線照射により各バイアスで定常的に 100pA 程度の電流量の増加が確認できており、 $\alpha$ 線によってキャリアが発生する量としては GaN と同程度あることから BGaN においても $\alpha$ 線によるキャリア生成が行われており、キャリアの発生量は同程度であることが確認できた。

BGaN において $\alpha$ 線検出が可能であることを確認したため、BGaN が中性子を B 原子で捕獲して放出された $\alpha$ 線を GaN で検出する中性子検出機構について実験的に検証を行った。中性子照射実験において中性子源の照射を制限したため単発中性子照射の測定を行った。中性子の単発照射を検出するにあ

り測定系として、作製した B GaN に逆バイアスをかけ、中性子検出時に発生するキャリアを電圧変換した後に増幅し、その信号をオシロスコープにて確認した。図 2 に中性子照射時によって検出された検出信号を示す。0V 付近で定常的であった電圧値が中性子照射により増加している事が確認できた。この信号は、中性子を捕獲した際に発生したキャリアを検出したものだと考えられる。この結果より、B GaN において B 原子に中性子の捕獲時に(n,α)反応によって発生するα線を検出することで中性子検出が可能であることが示唆された。

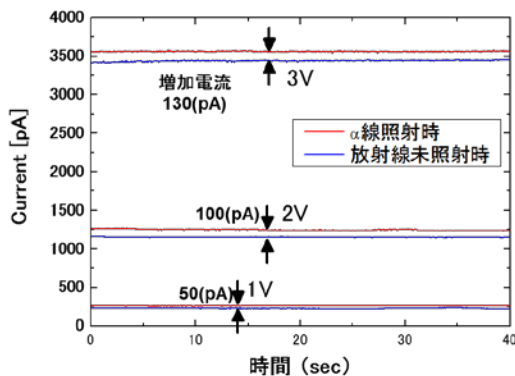


図1、B GaNを用いた各バイアスでのα線照射における電流値の時間変化

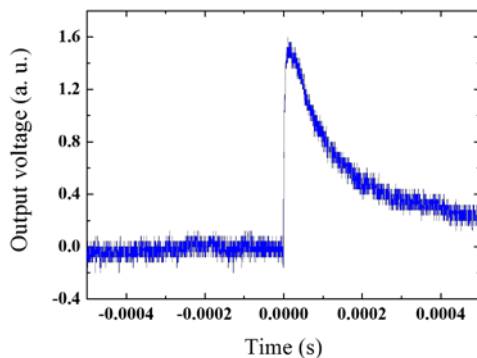


図2、B GaNを用いた中性子検出実験(バイアス電圧:5V)

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、中性子イメージングセンサーの開発として、GaN を母材とした B GaN といった新規半導体材料により、これまで実現していない中性子検出半導体を作製することを目標に開発を行ってきた。B GaN といった新規材料によって中性子検出の可能性あることを検証し、B GaN といった半導体材料の作製において新規半導体材料となる可能性を示した。

中性子イメージングといった分野は、これからの検出器分野における新しいイノベーションを創出する分野であり、更には中性子イメージング技術によ

って、新しい解析技術の確立が可能であることから他分野における様々な応用展開が期待できる。将来的には本研究プロジェクトを進展させ、中性子半導体検出器を実現させることで様々な材料解析など多くの分野での新しい検出器が期待され科学技術の進歩への一助となることが期待される。

また、本プロジェクトにおいて多様な分野の研究者との交流が実現し、アウトソーシングを見据えた研究開発に展開している。また、技術的な交流を深めることにより他の研究プロジェクトへも展開がなされており新しいプロジェクトに向けた取り組みを始めている。

### [4] 成果資料

学術論文

- (1) Katsuhiko Atsumi, Yoku Inoue, Hidenori Mimura, Toru Aoki, and Takayuki Nakano; “Neutron detection using boron gallium nitride semiconductor material”, *APL Mater.* **2**, 032106 (2014)

学会発表

- [1] Takayuki Nakano, 2014 International Workshop on Advanced Nanovision Science, (*Invited talk*)
- [2] Katsuhiko Atsumi, *et al.*, 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, and Workshop on Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors (NSS/MIC/RTSD),
- [3] Takayuki Nakano, *et al.*, 14<sup>th</sup> International Young Scientists Conference “Optics & High Technology Material Science –SPO 2013”, (*Invited talk*)
- [4] Takayuki Nakano, *et al.*, 12<sup>th</sup> International Conference on Global Research and Education (inter Academia 2013)
- [5] Toru Aoki, *et al.*, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia
- [6] Katsuhiko Atsumi, *et al.*, 2013 SPIE Optics + Photonics
- [7] K. Atsumi, *et al.*, 32<sup>th</sup> Electronic Materials Symposium (EMS32)
- [8] 渥美勝浩、他、2013 年度電子情報通信学会 ED/CPM/SDM 合同 5 月研究会
- [9] Takayuki Nakano. *et al.*, 2013 MRS Spring Meeting

## 出張報告

氏名：本田 善央  
所属：名古屋大学工学研究科  
期間：2014/2/18-19  
用務先：静岡大学浜松キャンパス  
用務内容：Ⅲ族窒化物半導体結晶成長技術に関する打ち合わせ  
主たる対応者：中野貴之

氏名：片山 竜二  
所属：東北大学金属材料研究所  
期間：2014/2/18-19  
用務先：静岡大学浜松キャンパス  
用務内容：Ⅲ族窒化物半導体結晶成長技術に関する打ち合わせ  
主たる対応者：中野貴之

氏名：谷川 智之  
所属：東北大学金属材料研究所  
期間：2014/2/18-19  
用務先：静岡大学浜松キャンパス  
用務内容：Ⅲ族窒化物半導体結晶成長技術に関する打ち合わせ  
主たる対応者：中野貴之