

P-6

中性子検出半導体の作製に関する研究

[1] 組織

代表者：中野 貴之
 (静岡大学工学部電気電子工学科)
 対応者：青木 徹
 (静岡大学電子工学研究所)
 分担者：
 朝間 淳一 (静岡大学工学部機械工学科)
 立蔵 洋介 (静岡大学工学部電気電子工学科)

[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、これまでに医療分野における 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分野においては空港の手荷物検査装置などで X 線や γ 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た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 原子や Gd 原子を混晶させた B GaN や Gd GaN 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、本年度が初年度であった。これまでの我々の研究では、理論的な検討により母材として GaN が γ 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 γ 線との分離が可能である。また、B や Gd は III 族原子であるため GaN における Ga サイトに B 原子や Gd 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 B GaN や Gd GaN を結晶成長することにより中性子検出半導体材料の作製を試み中性子検出に向けた開発を行った。

以下に研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ：随時(共同研究者が同一キャンパスに在籍しているため)

研究討論会：4回(4/26、7/26、10/22、11/29)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

最初に、MOVPE 法にて GaN に B や Gd を混晶させた B GaN および Gd GaN の作製を試みた。原料にはそれぞれ TEB と Cp3Gd を用いて結晶成長を試みた。まず、Gd GaN に関して検討を行った。Gd 原料である Cp3Gd は飽和蒸気圧が非常に低く供給量の制御が非常に困難であった。原料のバブラー温度および配管ラインを加熱することにより原料の供給量を制御した。図 1 にバブラー温度を変化させて Cp3Gd を供給した際に作製した Gd GaN の XRD 測定結果を示す。図中▼印で示しているのが Gd GaN のピーク位置である。バッファー層となる GaN 層の XRD ピークに比べて非常に強度が弱く配向性が低いことがわかった。またベガード則より導出した Gd 組成は 1%未満であり、更に Gd 原料である Cp3Gd の供給量を増やすことが必要であり、十分な飽和蒸気圧が得られる 180°C 程度の高温供給ラインが必要であると考えられる。装置の改造などによる原料供給システムの構築に取り組むこととした。

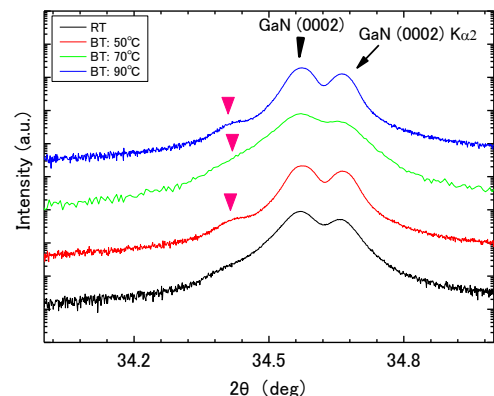


図 1、Cp3Gd バブラー温度を変化させた場合の GdGaN の XRD 測定結果 (▼印：GdGaN ピーク)

次に、B 原料に TEB を用いて B GaN の作製を試みた。以前に、MOVPE 法における BN の合成について検討を行っており、600°C 以上の成長温度で拡散律即段階になることを確認している。そのため、従来の GaN の成長温度である 1100°C 付近にて結晶成長を行った。B 組成を増やすために B 流量を過剰に供給して成長を行ったところ気相反応にてアダク

トが形成され成長レートが落ちるといった現象が確認できた。これはBが反応性が高く気相でGaを取り込んだ形で安定したBGaの結合を形成し、結晶成長に寄与しない状態で排気されたためだと考えられる。このことから、B供給量を減少させて、気相反応を抑制するために減圧状態での成長を試みた。70、100、150、200 Torrにて成長したBGaN薄膜の表面SEM像を図2に示す。

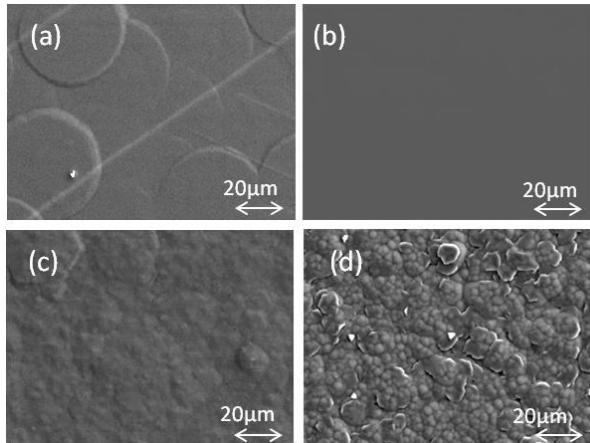


図 2、各成長圧力にて作製した BGaN 薄膜の表面 SEM 像 (a)70Torr、(b)100Torr、(c)150Torr、(d)200Torr

200Torr では気相反応の影響で表面モフォロジーが荒れた状態になっているが低圧成長にすることで表面が平坦になっていることがわかる。100Torr では十分に平坦な表面であり EPMA 測定により B 組成を評価したところ約 1%程度の B が入っていることが確認できた。70Torr まで成長温度を下げると表面にクラックが発生しており、低圧成長での III/V 比などの条件の最適化が更に必要であることがわかった。しかしながら、現段階において BGaN の成長条件の最適化を行うことにより約 1%程度の B 組成 BGaN の成長を行えることを確認した。

最後に、BGaN などを用いて検出を行う場合に、 γ 線に検出感度がなく α 線のみを検出する必要がある。そこで、GaN の放射線検出特性を評価した。図3に GaN ショットキーダイオードの γ 線と α 線照射時における GaN の IVt 測定結果を示す。図3を見ると γ 線照射時には γ 線による検出電流は確認できなかったが、 α 線照射時には数百 pA 程度の検出電流が確認できた。これは GaN が γ 線に感度がなく各材料をコンバーターとして取り込み中性子捕獲による(n, α)反応などを用いて検出が可能であることを示している。

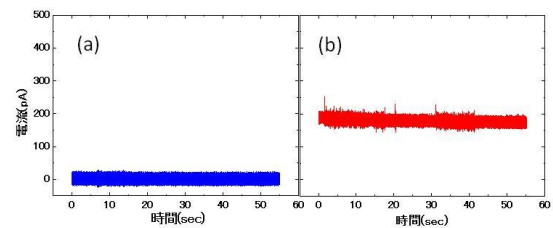


図 3、GaN ショットキーダイオードの γ 線と α 線照射時における GaN の IVt 測定結果 (a) γ 線照射時、(b) α 線照射時

これらの結果より、GaN を母材として用いた BGaN や GdGaN といった半導体材料は中性子検出半導体材料となりうるということが確認できた。結晶成長技術の開発により、更に高品質化を行って十分な半導体特性を得ることで新しい中性子検出器の創成が可能であると期待できる。

(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 BGaN や GdGaN 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。GdGaN や BGaN といった新規材料によって中性子検出の可能性をあることを理論的に検証し、BGaN や GdGaN 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。

中性子検出の分野においては He の枯渇により新しい検出機構が期待されているだけに、本研究の実現は新しい分野の創成に繋がり様々な波及効果が期待できる研究である。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

学会発表

- (1) K. Atsumi, *et al.*, EMS-31
- (2) T. Aoki, *et al.*, 2012 SPIE Optics + Photonics
- (3) 渥美勝浩, 他, 第 73 回応用物理学会学術講演会
- (4) K. Atsumi, *et al.*, IWN2012
- (5) 渥美勝浩, 他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会

「様式3」

出張報告

氏名：Gnatyuk Volodymyr

所属：ウクライナ科学アカデミー半導体
物理研究所

期間：2013年1月14日～2月17日

用務先：静岡大学電子工学研究所（浜松市
中区城北3-5-1）

用務内容：共同研究打合せおよび基礎実験
主たる対応者：青木 徹