

Title	フラックス法を用いたバルクGaN単結晶成長と不純物添加効果
Author(s)	岩橋, 友也
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48500">https://hdl.handle.net/11094/48500</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	岩 橋 友 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 2 1 2 0 5 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻
学位論文名	フラックス法を用いたバルク GaN 単結晶成長と不純物添加効果
論文審査委員	(主査) 教授 佐々木孝友  (副査) 教授 伊瀬 敏史    教授 熊谷 貞俊    教授 辻 毅一郎 教授 伊藤 利道    教授 杉野 隆    教授 中塚 正大 教授 西村 博明    教授 斗内 政吉

#### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、低転位密度かつ大面積の窒化ガリウム (GaN) 基板を作製することを目的に研究を行なった。この研究により、これまで主流として行なわれてきた育成法 (例えば Hydride vapor phase epitaxy 法) よりも、転位密度が約 2 桁低下し、かつ、デバイス作製可能なサイズの GaN 単結晶基板が作製可能であることが実証された。第 1 章の序論では、GaN に関する研究の歴史を記述し、その後、本育成法であるフラックス法と他方法を比較することで本育成技術の重要性を示した。第 2 章では、本論文作成のために使用した実験装置の説明を記載した。第 3 章では、大面積の GaN 基板を作製するために、フラックス法に liquid phase epitaxy (LPE) 成長法を組み合わせることで、得られた結果を記述した。LPE 成長法を用いることで、これまでは数 mm 程度であった結晶サイズが、大面積化し、最大結晶サイズは  $13 \times 15 \text{ mm}^2$  に達した。得られた結晶を評価した結果、低転位密度であることが分かった。これにより、本育成法であるフラックス法は、高品質で基板サイズの GaN 基板作製において有望な方法であることを示した。第 4 章では、フラックス成分の金属 Na に異種金属を添加した場合の効果を調べた。Na フラックスに異種金属を添加した場合、結晶の電気特性や成長する面が変化することが認められた。添加金属を Sr とした場合、Na フラックス法では現れにくい  $\{10\cdot10\}$  面 (m 面) が支配的に成長することが示された。第 5 章では、無極性面 ( $\{10\cdot10\}$ 、 $\{11\cdot20\}$  面) GaN 基板の作製を行なった。無極性面 GaN 結晶上に作製したデバイスは、これまで開発が行われてきた (0001) 面 (c 面) と比べると、特性が向上することが分かっている為に、現在、盛んに研究が行なわれている。フラックス LPE 法を用いて、無極性面の GaN 結晶育成を行なうことで、約  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  の結晶が得られた。この結晶を評価し、これまで報告のあるデータと比較した結果、世界トップレベルの極めて高い結晶性を有することが認められた。この結果、フラックス LPE 法は、c 面の場合と同様に、高品質無極性面結晶が作製可能である有望な育成法であることを示した。第 6 章は、本論文を総括し結論を記載した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が課程在学中に行ったフラックス法を用いたバルク GaN 単結晶育成と不純物添加効果に関する研究成果をまとめたものである。本論文では、低転位密度かつ大面積の窒化ガリウム (GaN) 基板を作製することと、不純物添加効果を明らかにすることを目的にしている。この研究により、①フラックス法と liquid phase epitaxy (LPE) 法を組み合わせることで大面積かつ高品質のバルク GaN 単結晶が作製可能であること、②フラックス成分に不純物を添加することにより結晶の導電性制御と成長面方位制御が可能であることを示している。

第1章の序論では、GaNに関する研究の歴史を記述し、続いて、本育成法であるフラックス法の重要性と研究の目的を示している。

第2章では、本論文作成のために使用した実験装置を説明し、不均一核発生により、育成方法の最適化を行った結果について示している。

第3章では、大面積の GaN 基板を作製するために、フラックス法に LPE 成長法を組み合わせることで、大面積で高品質の GaN 結晶が得られた成果について記述している。従来のフラックス法に新しく LPE 成長法を組み合わせることで、これまでは、数 mm 程度であった結晶サイズの大型化が可能であることを示している。最大結晶サイズは、 $13 \times 15 \text{ mm}^2$  である。得られた結晶を評価することで、従来の気相成長法では、 $10^6 \text{ cm}^{-2}$  である転位密度が2桁低下し  $10^4 \text{ cm}^{-2}$  の低転位密度であることが判明し、本育成法であるフラックス法は、高品質で大面積の GaN 結晶作製において有望な方法であることを示している。

第4章では、フラックス成分の金属 Na に異種金属を添加した場合の効果について述べている。Na フラックスに異種金属を添加した場合、結晶の電気特性や成長する面が変化することが明らかにされている。金属 Na に金属 Sr を添加すると、同条件で Na フラックスにより育成した場合には現れない m 面が成長することが認められている。また、Sr の添加量により、得られる結晶のモフォロジーが大きく変化することを見出し、報告している。さらに金属 Mg を Na フラックスに添加すると、金属 Mg が GaN 結晶内に取り込まれ、Na のみで育成した結晶と比べて電気特性が変化し、高抵抗化することを報告している。

第5章では、従来の成長面とは異なる無極柱面の GaN 基板の作製について記載されている。無極性面 GaN 結晶上に作製したデバイスは、これまで開発が行われてきた c 面と比べると特性が向上することが分かっているために、現在、盛んに研究が行われている。フラックス LPE 法を用いて、無極性面の GaN 結晶育成を行い、X 線ロックアップ半値幅の狭い世界最高品質の m、a 面 GaN 結晶が得られたことを報告している。この章では、フラックス LPE 法は、従来の c 面 GaN 結晶の育成と同様に、高品質無極性面 GaN 結晶が作製可能な有望な育成法であることを示している。

第6章は、本論文を総括し結論を記載している。

以上のように、本論文はフラックス法に LPE 成長法を組み合わせることで、高品質で、かつ、大面積の GaN 結晶が作製可能であることを実証している。加えて、フラックス成分の金属 Na に異種金属 (Mg, Sr) を添加することで、フラックス法によるバルク GaN 育成では新しい効果である電気特性制御と成長面制御が可能であることを見出している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。