OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	In-situ Monitoring of GaN Synthesis Parameters in the Na-flux Method using Electroresistometry
Author(s)	Tandryo, Ricksen
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92951
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　TANDRYO RICKSEN　）	
論文題名	In-situ Monitoring of GaN Synthesis Parameters in the Na-flux Method using Electroresistometry （Naフラックス法における電気抵抗測定法を用いた窒化ガリウム合成パラメータのその場観察）

論文内容の要旨

This dissertation presents a study of the development and application of a unique in-situ technology, electroresistometry, for process monitoring during the synthesis of Gallium Nitride (GaN) using the Na-flux method.

Chapter 1 provides an overview of the potential of wide-bandgap semiconductors in energy-saving strategies. Despite the potential promise of Gallium Nitride (GaN), its widespread implementation has been hindered by issues related to material availability and challenges inherent to material synthesis. The need for in-situ technologies to aid in semiconductor material development is emphasized, and the associated challenges due to extreme process conditions are outlined. The chapter sets the stage for the development of in-situ electroresistometry as an innovative monitoring technique for Na-flux growth, elucidating its aims and objectives.

Chapter 2 delves into the status of bulk GaN crystal growth, with a specific emphasis on the growth mechanisms, the technological advancements that have been made in the field, and the existing challenges in the Na-flux method. The author discusses the main difficulties in growing high-quality bulk GaN crystals, including dislocation density, while also providing a review of current solutions and techniques. The author addresses the lack of fundamental understanding of the Na-flux growth mechanism and the potential role of in-situ monitoring techniques to enable the exploration in this area.

In Chapter 3, the author introduces electroresistometry as an innovative in-situ monitoring technique for the Na-flux method. The technique involves measuring the electrical resistance of the Ga-Na solution used as the solvent to grow GaN crystals. The author starts by explaining the concept behind the measurement and carrying out preliminary electroresistometry experiments, measuring the electrical resistance of pure Ga and Na, and comparing the results with existing literature to verify the system's accuracy.

In Chapter 4, the author utilizes electroresistometry to study the fundamental behaviors of the Ga-Na solution by measuring its electrical resistance. Starting with measurements in an argon ambient, the author observes the homogenization process of Ga-Na. The author then measured the solution in an N_2 ambient and discovered that the dissolution of nitrogen in the Ga-Na solution leads to an increase in resistance. The author then measured the carbon-added Ga-Na solution, which shows peculiar signals related to the formation of CN ions signifying the state of readiness for GaN synthesis.

In Chapter 5, the author applies electroresistometry to monitor GaN crystal growth in the Na-flux method. Electrical resistance measurements show a reduction due to decreasing Ga/Na ratio following Ga consumption for GaN crystal growth. Variations in the growth rate of GaN crystals affect the rate of decrease in electrical resistance.

In Chapter 6, the author demonstrates potential applications of the insights obtained from in-situ electroresistometry of the Ga-Na solution. The author discusses the slow nitrogen desorption properties of the Ga-Na solution and used this insight to achieve a highly supersaturated solution. The author also demonstrates the study of the impurity effect on the Ga-Na solution via electroresistometry.

Chapter 7 offers a summary of the dissertation, as well as a discussion on the future development and potential applications of electroresistometry.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（ TANDRYO RICKSEN ）	
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授　森　勇介 副 査　准教授　今西　正幸 副 査　教授　小島　一信 副 査　招へい教授　光井　將一	

論文審査の結果の要旨

本論文では、Naフラックス法による窒化ガリウム(GaN)結晶成長過程の可視化を目指し、電気抵抗測定法を用いたモニタリングの開発およびその基礎研究と応用に関する研究をまとめたものであり、全７章で構成されている。

第1章では、GaN系半導体デバイスに関する社会的必要性およびGaN結晶成長技術における課題ついて説明している。半導体材結晶成長過程をモニタリングすることは、結晶の欠陥生成要因や結晶形状、成長速度変化に関する情報を得ることに繋がり、直接の観察が困難な系において結晶成長メカニズムを学術的に理解する上で極めて重要である。

第2章では、GaN結晶成長に用いたNaフラックス法およびその技術的進展について紹介している。高温、高圧、腐食性ガス雰囲気といった過酷な結晶成長環境が原因で、結晶成長の直接的な観察が困難であることを論じるとともに、成長メカニズムに関するこれまでの先行研究を纏めている。

第3章では、溶液状態のモニタリング手段として本論で新たに取り組んだ電気抵抗測定法について論じている。Naフラックス法におけるGa-Na溶液の電気抵抗測定に向けた電極構造、並びに測定系に関するシステム設計を検討した結果を述べている。4端子法による電気抵抗測定を導入することで、マイクロオーム台のわずかな電気抵抗変化を捉えることに成功し、結晶成長の前段階であるGa-Na融液の合金化に要する時間や、冷却時に分相する状態を明らかにした。

第4章では、電気抵抗計測法を用いたGa-Na溶液の基礎的な挙動の調査について述べている。アルゴン雰囲気下における測定では一定値であったGa-Na溶液の電気抵抗が、窒素雰囲気下の測定においては、窒素溶解量の増大に伴い増加することを初めて発見した。これまで成長温度や添加物による結晶成長の駆動力変化を理解するためには、融液の窒素溶解量とGaNの溶解度を複合的に考慮する必要があったが、この発見により窒素溶解量を実験的に測定することが可能になるため、温度や添加物が結晶成長に与える影響を学術的に理解する上では重要な成果であるといえる。

第5章では、Ga-Na電気抵抗測定によるGaN結晶成長のモニタリングを実証している。GaN結晶が成長する過程においてGa原料が消費されることに伴い、溶液のGa/Na比が減少し、電気抵抗の減少することを示した。以上から、Ga-Na融液の電気抵抗から間接的にGaN結晶成長速度を見積もることに成功した。この知見より、結晶成長プロセス中において、意図せずに生じる融液の状態変化に起因する成長速度変化を捉えることや、成長速度の制御が可能になる。

第6章では、電気抵抗測定法の応用について論じている。Ga-Na溶液の電気抵抗測定法から得た知見に基づき、新たに提案した温度プログラムにより結晶成長速度の増大や核発生を促進することに成功している。また、LiやO、Siといった不純物が窒素溶解量に与える影響について調査し、不純物の結晶成長阻害要因等を明らかにした。

第7章では、本研究を総括し、電気抵抗計測法の将来の展望について、結論を述べている。

以上のように、電気抵抗測定法は研究開発およびその応用により、Naフラックス法における新たなモニタリング技術として期待できる。これらの成果は、GaN基板製造技術の産業的及び学術的な発展に寄与することが期待される。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める.