



Title	低抵抗・低転位密度GaNウエハの実用化に向けた酸化物気相成長法に関する研究
Author(s)	滝野, 淳一
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89476
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (滝野 淳一)	
論文題名	低抵抗・低転位密度 GaN ウェハの実用化に向けた酸化物気相成長法に関する研究
論文内容の要旨 本論文は、省エネルギー社会の実現に向けて、低抵抗・低転位密度 GaN ウェハの実用化を目指した酸化物気相成長 (OVPE) 法に関する研究内容を纏めたものである。本研究では OVPE 法を用いて、低抵抗かつ低転位密度を両立した GaN 結晶のバルク成長技術の確立を目的として取組んだ。全編は以下の 7 章より構成される。 第 1 章では、現在の環境問題を中心とする社会背景を基に、ワイドバンドギャップ半導体の一つである GaN デバイスに対する期待を述べた。更に、省エネルギー社会の実現に向けて有望である GaN パワーデバイスが、社会に十分普及していない原因を述べ、その解決に向けた本研究の目的を説明した。 第 2 章では、開発技術である OVPE 法と他のバルク GaN 結晶成長技術のベンチマークを行った。各成長技術の特徴を俯瞰し、生産性・結晶品質・製造装置・技術成熟度の観点からベンチマークすることで、OVPE 法の優位性と実用化に向けた課題を明確化した。 第 3 章では、OVPE 法を用いた低抵抗かつ低転位密度を両立する結晶成長技術についての研究結果をまとめた。OVPE 法では低 V/III 比の成長条件の場合、半極性面から形成される多数のピットによって成長表面全体が覆われる。これによって、$10^{20} \text{ atoms cm}^{-3}$ 台以上の高濃度な酸素添加を実現でき、$10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台の低抵抗な GaN 結晶を得られることを示した。また、転位は各ピットの中心に収束され、僅か $50 \mu\text{m}$ の厚みの成長で $3.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ から $7.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ までの転位密度の低減が確認された。 第 4 章では、厚膜成長時において、成長表面に発生する多結晶の抑制を目的とした。ここでは、核発生頻度に注目し、気相種制御によって過飽和比をコントロールすることで多結晶の抑制に取組んだ。その結果、過飽和比の低減が多結晶抑制に効果的であることを明らかとした。また 2 インチおよび 4 インチの OVPE 製自立ウェハの作製結果に関しても報告した。OVPE 法は低抵抗 ($10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台) かつ低転位密度 (10^4 cm^{-2} 台) の GaN ウェハを作製できる技術であることを実証した。 第 5 章では、高速成長時において、成長表面に発生する多結晶の抑制を目的とした。本論では、“ウェハ上の温度勾配の制御”と“成長空間のパーティクルの抑制”に着眼し、その解決に取組んだ。その結果、$200 \mu\text{m/h}$ を超える高速成長条件にて最大 1.4 mm 厚の 2 インチ OVPE 製バルク結晶を得ることに成功した。また、作製したバルク結晶をスライスし、2 枚の OVPE 製 GaN ウェハが割れることなく切出された。よって本研究で開発した技術は、低抵抗かつ低転位密度のバルク結晶を作製でき、縦型パワーデバイス用 GaN ウェハの低コスト化に向けて有用であることを示した。 第 6 章では、OVPE 製 GaN ウェハ上に PN ダイオードを試作し、その特性を評価した。試作した PN ダイオードは 1.8 kV の高耐圧かつ $0.08 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ の低オン抵抗の特性を示した。オン抵抗に関しては、市販導電性 GaN ウェハ上に試作したダイオードと比較して、約 1/8 の低下が確認された。これは、OVPE 製ウェハが低抵抗かつ低転位密度であることに起因したフォトンリサイクリングの効果であると推察した。よって、OVPE 製 GaN ウェハは、縦型パワーデバイスの基本構造である PN ダイオードの特性向上に効果的であることを明らかとした。 第 7 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題と将来への展望を述べ、本論文の結論とした。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (滝 野 淳 一)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	森勇介
	副 査	教授	片山竜二
	副 査	教授	尾崎雅則
	副 査	教授	近藤正彦
	副 査	教授	森伸也
	副 査	教授	廣瀬哲也
	副 査	准教授	今西正幸

論文審査の結果の要旨

本論文は、低抵抗・低転位密度窒化ガリウム (GaN) ウェハの実用化に向けた酸化物気相成長 (OVPE) 法に関する研究成果をまとめたものであり、全 7 章で構成されている。

第 1 章は序論であり、低炭素化社会の実現に向けた GaN パワーデバイスへの期待を述べている。当該デバイスを普及させるためには、低抵抗かつ低転位密度の GaN ウェハを安価に製造できる技術が必要であると説明しており、その実現に向けた本研究の目的を論じている。

第 2 章では、OVPE 法と他のバルク GaN 成長工法をベンチマークしており、OVPE 法の優位性と実用化に向けた課題を、生産性・結晶品質・製造装置・技術成熟度、の観点から説明している。

第 3 章では、低抵抗かつ低転位密度を両立する GaN 成長技術に関して述べている。OVPE 法における成長モードに着眼し、低 V/III 比条件での 3 次元 (3D) 的な成長モードを活用することで、 $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台の低抵抗な GaN 結晶成長を実証している。転位密度に関しては、3D 成長を用いることで、厚み $50 \mu\text{m}$ の成長で $3.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ から $7.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ まで低減することを明らかにしている。

第 4 章では、厚膜成長時に成長表面に発生する多結晶の抑制に関して述べている。核発生頻度に注目し多結晶の抑制に取り組んだ結果、過飽和比の低減が多結晶の抑制に効果的であることを明らかにしている。また、過飽和比制御を用いることで、2 インチおよび 4 インチの低抵抗 ($10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台) かつ低転位密度 (10^4 cm^{-2} 台) の GaN ウェハの作製に成功している。

第 5 章では、高速成長時に成長表面に発生する多結晶の抑制に関して述べている。ウェハ上の温度勾配制御と成長空間のパーティクル抑制に取り組んだ結果、 $200 \mu\text{m/h}$ を超える高速成長条件にて 1.4 mm 厚のバルク結晶の作製を達成している。作製したバルク結晶をスライスし、2 枚の OVPE 製 GaN ウェハの切り出しにも成功している。これらの結果から、OVPE 法は低抵抗かつ低転位密度の品質を有し、かつ複数枚の GaN ウェハを切り出すことが可能なバルク成長技術であると結論付けている。

第 6 章では、作製した低抵抗・低転位密度 GaN ウェハを用いて PN ダイオードを試作した結果を述べている。耐圧 1.8 kV のダイオードを試作した結果、オン抵抗が $0.08 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ の低オン抵抗の特性を確認しており、その理由が低抵抗・低転位密度の GaN ウェハを用いたことに起因するフォトンリサイクリングの効果であると考察している。

第 7 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題と将来への展望を述べ、本論文の結論としている。

以上より、本論文は OVPE 法による 3D 成長モードを用いた低抵抗かつ低転位密度を有する GaN 結晶の高速・厚膜成長技術の開発に成功しており、PN ダイオードの高性能化を実証している。本成果は、低抵抗・低転位密度 GaN ウェハの実用化に向けた有望な技術であり、GaN パワーデバイスの飛躍的な性能向上による消費電力の削減効果が期待される。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。