The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	GaNバルク結晶における貫通転位の構造と電気特性に関する研究
Author(s)	濱地, 威明
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88097
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　（濱地威明）	
論文題名	GaNバルク結晶における貫通転位の構造と電気特性に関する研究

論文内容の要旨

本論文では、新規パワー半導体材料である窒化ガリウム（GaN）において、そのパワーデバイス応用に向けた最重要課題の一つである、線状格子欠陥（貫通転位）を起源としたリーク電流発生メカニズムの解明に取り組んだ。従来、GaN結晶中に数多く存在する貫通転位のリーク電流特性は、その結晶構造や伝播形態、周囲の結晶成長様式等に応じて変化することが示唆されていたものの、単一貫通転位で生じるリーク電流の定量計測が困難であったことから、その詳細なメカニズムについては明らかとなっていなかった。本論文では、まず、単一貫通転位直上への微細ショットキー接触の局所形成、及び定量電気測定を可能とする新しい評価技術を開発した。本技術を、高品質かつ大口径なバルク結晶が育成できるとして期待されるNaフラックス液相成長法で育成した種々のGaNバルク結晶（NaフラックスGaN、及びNaフラックスGaN基板上へのハイドライド気相成長（HVPE）法によるホモエピタキシャル成長で育成したハイブリッドGaN）に適用し、各結晶について貫通転位のリーク電流特性、及びその微細結晶構造、伝播形態、転位周囲の結晶成長様式等を複合的に解析した。NaフラックスGaNにおいては、結晶成長時の成長モードの違いが貫通転位のリーク特性に敏感に影響することが明らかとなった。特に、*c*面成長領域の中で局所的に生じるファセット成長領域が転位同士の集合・合体と過量の酸素不純物取り込みを併発し、その結果、異質的に大きなバーガースベクトルや特異な束状形態を有する貫通転位が大きなリーク電流を誘発することが明らかとなった。ハイブリッドGaNにおいては、転位伝播形態のバーガースベクトル（**b**）依存性と**b**毎の転位伝播メカニズムを解明した上で、従来電流リーク源となりやすいことが報告されていたらせん転位（**b**=1*c*）及び混合転位（**b**=1*a*+1*c*、1*m*+1*c*）に着目したリーク特性評価を実施し、らせん転位の中の極少数の転位のみ、特異な深い欠陥準位を介した電気伝導で大きなリーク電流を生じることを明らかにした。この特異ならせん転位を含む複数のらせん転位の構造・伝播形態解析結果と、上記の転位伝播形態解析で明らかにした点欠陥を吸収しながら伝播するらせん転位特有の伝播メカニズムから、この特異ならせん転位では、HVPE成長時の点欠陥吸収過程で他のらせん転位とは異なる転位芯構造が形成されたことで大きなリーク電流を生じた可能性が示唆された。貫通転位とリーク電流特性に関して本研究で得られた知見は、GaNパワーデバイスの更なる高性能化・高信頼化を目指す上で、重要なフィードバックとなる。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（濱地威明）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教 授	酒井　朗
	副 査　教 授	中村芳明
	副 査　教 授	浜屋宏平
	副 査　教 授	森　勇介（大学院工学研究科）

論文審査の結果の要旨

本論文には、新規パワー半導体材料である窒化ガリウム（GaN）結晶を次世代パワーデバイスへ応用する際に最重要課題となる、結晶中の貫通転位を起源としたリーク電流発生メカニズムならびに電気伝導機構を解明した研究成果がまとめられている。近年、Siを基幹材料とする半導体デバイスに代わり、更なる高機能化・高性能化に向けて、Si材料の物性の限界を越える豊かな物性を持つ非Si材料が多くの半導体デバイスに応用されてきている。特にGaNはその有力候補であり、これまでに結晶中に数多く存在する貫通転位の電流リーク特性が、転位の種類や伝播形態等に応じて変化することが示唆されていた。しかし、単一の貫通転位が引き起こすリーク電流の定量計測が困難であったことから、その詳細なメカニズムは未解明であった。こうした研究背景と課題を鑑み、本研究においては、単一貫通転位に照準した微細ショットキー接触の局所形成および定量的電流-電圧特性計測に関わる新たな評価技術を開発している。本評価技術を、主としてNaフラックス液相成長法を用いて育成した種々のGaNバルク結晶中に存在する貫通転位に適用して、その電流リーク特性を計測し、同転位の微細構造、伝播形態、周囲の結晶成長様式等と相関する電気伝導機構を複合的に解析している。その結果、結晶成長時の成長モードの違いが貫通転位の電流リーク特性に敏感に影響し、特に局所的なファセット成長領域が転位同士の集合・合体と過量の酸素不純物取り込みを誘発し、電流リークを発現させることを明らかにしている。また、転位伝播形態のバーガースベクトル依存性と転位伝播メカニズムを解明したうえで、らせん転位の中の極少数の転位のみが、特異な深い欠陥準位を介した電気伝導で大きなリーク電流を生じることを新たに見出している。さらには、この特異ならせん転位においては、結晶成長時に起こり得る点欠陥吸収過程で形成された転位芯構造が、他のらせん転位とは異なる大きなリーク電流を誘発した可能性を示唆している。本論文は、半導体結晶中の転位に起因する電流リーク現象の背景にある学理に立ち返り、それをさらに深く探求し、その精密かつ定量的評価技術を構築すると同時に、GaNに限らず、材料科学およびプロセス科学の観点から、既存の結晶成長・デバイス作製プロセスに対して革命的なフィードバックをもたらす研究成果で成り立っている。次世代半導体デバイス技術の更なる発展に十分に貢献する博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。