



Title	Characterization and control of insulated-gate interfaces on AlGaIn/GaN heterostructures [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	堀, 祐臣
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第11297号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/55745">http://hdl.handle.net/2115/55745</a>
Rights(URL)	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Yujin_Hori_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 堀 祐臣

審査担当者 主査教授 橋詰保  
副査教授 佐野栄一  
副査教授 本久順一  
副査准教授 佐藤威友

### 学位論文題名

Characterization and control of insulated-gate interfaces on AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> heterostructures

(AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> ヘテロ構造に形成した絶縁ゲート界面の評価と制御)

窒化ガリウム (Ga<sub>N</sub>) はシリコン (Si) の 10 倍の絶縁破壊電界を持つことから、インバータに用いるトランジスタのオン抵抗を Si 素子の数百分の 1 にすることが可能である。このため、Si 素子を超える超低損失インバータの実現が期待されている。また、Ga<sub>N</sub> と窒化アルミニウムガリウム (AlGa<sub>N</sub>) とのヘテロ界面には、自発分極とピエゾ分極によって高密度の 2 次元電子ガス (2DEG: two-dimensional electron gas) が形成されることから、AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 高移動度トランジスタ (HEMT: High electron mobility transistor) が次世代高効率インバータ用のトランジスタとして活発に研究されている。AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT をパワーエレクトロニクス回路に実装するには、安全性を確保するためにノーマリオフ動作であることが望ましい。しかし、ノーマリオフ HEMT は正のしきい値電圧を有するため、ショットキーゲート構造では順方向ゲートリーク電流の増加が顕著に現れる。従って、絶縁ゲート構造を用いることで低いリーク電流を維持しながら入力電圧範囲を拡大することが不可欠である。しかし、Ga<sub>N</sub> 系半導体と絶縁膜の界面特性は未解明の部分も多く、絶縁ゲート構造において良好なポテンシャル制御が達成されているとは言いがたい。

これらの課題に対し本研究では、絶縁膜/Ga<sub>N</sub> および絶縁膜/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 構造を用いた絶縁ゲート界面の評価を行い、プロセス条件が界面電子準位に与える影響とその制御手法の検討を行った。また、検討したプロセスを絶縁ゲート AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT の作製に適用し、ヘテロ構造上の絶縁ゲート界面準位密度分布と、電子準位が HEMT の電気特性に与える影響を詳細に評価した。

本論文は 1-7 章で構成されている。第 1 章は序論である。第 2 章では、Ga<sub>N</sub> の結晶構造、AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> ヘテロ構造における分極効果、およびヘテロ界面における電気伝導特性をまとめている。第 3 章では、Ga<sub>N</sub> 系半導体表面および界面に形成される電子準位の起源、影響について説明し、絶縁ゲートを構成する metal-oxide-semiconductor (MOS) 構造の基礎理論をまとめている。

第 4 章では、絶縁膜形成に用いた原子層堆積法に関する基礎理論を説明し、実際の装置構成と、堆積された Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜の光学特性、化学特性についての評価結果を述べている。

第 5 章では、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/n-Ga<sub>N</sub> 構造を用いた界面評価から、プロセス条件が電子準位生成に与える影響を明らかにし、その制御手法を提案した。原子層堆積法で形成した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜は、オーミック電極作製時の高温熱処理により微結晶化が起こり、絶縁性が劣化することを見出した。そこで、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜堆積前にオーミック電極を形成するオーミックファーストプロセスを開発した。さらに、熱処理時に Ga<sub>N</sub> 表面を犠牲絶縁膜で保護することにより界面準位の抑制に成功した。

第6章では、上記のプロセスを AlGaIn/GaN ヘテロ構造に適用し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn/GaN 絶縁ゲート HEMT における界面電子準位を評価し、その HEMT 動作特性への影響を議論している。絶縁ゲート界面の評価は容量電圧測定によって行い、測定周波数依存性の解析と、単色光照射を併用した測定をそれぞれ行うことで、ヘテロ構造上の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn 界面準位密度分布を決定した。また、AlGaIn 表面の N<sub>2</sub>O ラジカル処理の有無を比較した結果、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGaIn 界面では表面処理を行うことで準位密度を約 1/2 に低減可能であることを明らかにし、その効果は絶縁ゲート HEMT の最大ドレイン電流の増加に反映されることを見いだした。さらに、高温下においてもストレス電圧印加によるしきい値電圧の変動が極めて小さくなることを確認し、GaN 系絶縁ゲート HEMT の電気特性改善を示すことに成功した。

第7章は、本論文の結論を述べている。

これを要するに、本論文は、絶縁膜/GaN および絶縁膜/AlGaIn/GaN 構造における界面電子準位特性を詳細に評価し、そのプロセス条件との関連性および絶縁ゲート AlGaIn/GaN トランジスタの動作特性に与える影響を明らかにしており、ここで得られた基礎的知見は、窒化物半導体デバイス研究に貢献するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格ある者と認める。