

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	AlGaIn/GaN系HEMTにおけるオーミック電極のコンタクト抵抗低減に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	武井優典
Author(English)	Yusuke Takei
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10218号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:筒井 一生,若林 整,渡辺 正裕,大見 俊一郎,角嶋 邦之,羽田野 涉
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10218号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造 専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)	Doctor of
学生氏名： Student's Name	武井 優典	指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	筒井 一生 教授
		指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「AlGaIn/GaN系 HEMT におけるオーミック電極のコンタクト抵抗低減に関する研究」と題し、6章よりなっている。

(第1章「序論」) AlGaIn/GaN HEMT は2次元電子ガス (2DEG) をチャンネルに用いた低オン抵抗が実現可能な次世代パワーデバイスとして期待されている。しかし、課題は多くあり、その中の一つにコンタクト抵抗が高いという問題がある。現状のコンタクト材料には Au/Al/Ti 系の材料が広く用いられており、Au がアニール処理により AlGaIn 層と局所的な合金化を起こすことで低い抵抗値を得られているが、合金化の制御や Au の結晶中への拡散に伴うデバイスの経年劣化という点から、Au を用いない局所的な合金化を起こさないノンアロイ型のオーミックコンタクト形成が重要な課題である。この系における低抵抗オーミックコンタクト技術では、AlGaIn 層がコンタクトの障壁になる一方、2DEG の高密度誘起には AlGaIn 層厚が厚い方が有利であり、これらにトレードオフの関係がある。更なるコンタクト抵抗の低減のためには、このトレードオフ関係を打破する必要がある。本論文では、まずコンタクト抵抗の要因をモデル化し、このトレードオフ関係を明らかにしていくと共に、コンタクト抵抗が高い要因を明らかにし、それを低減するためにどういったことを行えば低抵抗化が目指せるかという指針を立てることを目的とした。更に、このトレードオフ関係を克服する新しい提案を行い、この提案による低抵抗化の実証することも目的とした。

(第2章「試料作製方法及び評価方法」) 本論文で用いた基板やデバイス作製方法と、そのデバイスの評価方法について述べている。また、2DEG 濃度分布のシミュレーションに用いた計算方法についても述べている。

(第3章「コンタクト抵抗の AlGaIn 層厚依存性」) コンタクト抵抗の AlGaIn 層厚依存性を実験的に明らかにした。AlGaIn 層厚は、同一ウェハからエッチングによって薄くしていく方法を使用した。このエッチングにはオゾン雰囲気中での基板表面の酸化とその酸化層を HCl によって除去することを繰り返す方法を使用し、本手法によってエッチングしたウェハ表面の平坦性は極めて高く、またエビ成長によって AlGaIn 層厚を変化させた場合と同様の 2DEG 濃度であることから、本エッチングによってダメージが入っていないことを明らかにした。この手法を用いて AlGaIn 層厚を変化させコンタクト抵抗の AlGaIn 層厚依存性を評価したところ、抵抗値が高い低温領域と抵抗値が低くなった高温熱処理後で、コンタクト抵抗の AlGaIn 層厚依存性が異なる特性を示した。これらの結果から高温熱処理後は AlGaIn 層が窒素空孔形成による n 型化により AlGaIn 層の抵抗が非常に小さくなることが明らかになり、コンタクト抵抗低減に向け、電極/AlGaIn 界面の障壁による抵抗や 2DEG へのアクセス抵抗を低減することが有効であることを示した。

(第4章「Metal/AlGaIn 界面への凹凸構造導入による低抵抗化の実現」) コンタクト抵抗低減に向けた新たなアプローチとして、AlGaIn/GaN デバイスの電極/AlGaIn 界面に凹凸構造を導入した。これにより、AlGaIn 層厚の厚い領域と薄い領域のエッジ部において局所的に 2DEG 濃度が上昇し、エッジ部でのコンタクトによる低抵抗化が期待できる。まず、AlGaIn 層へ凹凸構造導入による 2DEG 濃度の横方向分布を計算した。この結果、エッジ部において高濃度な 2DEG へ電極が接近することで低抵抗化の実現が示唆された。実験では、複数の凹凸パターンを導入した AlGaIn/GaN デバイスでのコンタクト抵抗を測定し、凹凸構造を電流経路に沿って配置した横ストライプ構造において、トレードオフ関係に制限された平坦 AlGaIn 構造のコンタクト抵抗値を下回る明確な抵抗低減効果が得られた。

(第5章「Metal/AlGaIn 界面への凹凸構造導入による低抵抗化のメカニズム」) 凹凸構造導入による抵抗低減効果とエッジ部の特性の関係を明らかにするため、横ストライプ構造の微細化を行った。凹凸構造のパターニングには、電子ビームリソグラフィ法を用いて 5 $\mu\text{m}$ ~400nm の Line & Space 構造を作製した。その結果、凹凸サイズが小さくなる (エッジの平面密度が多くなる) につれて抵抗低減効果は大きくなることがわかった。そして得られた結果をもとに、並列抵抗モデルを提案した。このモデルでは、低抵抗になっていると考えられるエッジ部での抵抗値、並びにその領域の広がり幅に相当する実効長を仮定することで、実験値によく一致するフィッティングカーブを描くことができ、凹凸構造導入による抵抗低減効果はエッジ部での低抵抗化であることを明らかにし、電極/AlGaIn 界面に凹凸構造を導入することでトレードオフ関係に制限される抵抗値よりもさらに低抵抗化することが可能であり、本方法が新しい低抵抗コンタクト形成技術として有用であることを示した。

(第6章「結論」) 本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べ、結論とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理電子システム創造 専攻  
Department of  
学生氏名： 武井 優典  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員 (主)： 筒井 一生 教授  
Academic Advisor(main)  
指導教員 (副)：  
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The title of this thesis is "Study on low resistance ohmic contact for AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> high electron mobility transistors (HEMT)". To achieve low-loss and high-frequency performance of these devices, the formation of ohmic contacts with low contact resistance for source/drain contacts is crucial. Since contact metal layers are usually placed on the AlGa<sub>N</sub> layer under which two-dimensional electron gas (2DEG) is induced, current passes through the AlGa<sub>N</sub> layer. Since the AlGa<sub>N</sub> layer works as a barrier for electrons, thinner AlGa<sub>N</sub> layer is better. However, an excessively thin AlGa<sub>N</sub> layer induces depletion of the 2DEG under the contact metals, which increases the overall contact resistance. So, the trade-off relationship exists for AlGa<sub>N</sub> layer thickness. The dependence of ohmic contact resistance on the AlGa<sub>N</sub> layer thickness was evaluated for AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTs. The observed resistance characteristics are discussed based on a model in which the overall contact resistance is composed of a series of three resistance components. Different dependence of the AlGa<sub>N</sub> layer thickness was observed after annealing at low temperatures and at high temperatures. As a result, it was found that lowering the resistance at metal/AlGa<sub>N</sub> interface and/or resistance to connection with the 2DEG is important for low resistance ohmic contact formation. The other technique to reduce contact resistance on AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTs was proposed. This method introduced uneven AlGa<sub>N</sub> layer structures. 2D device simulations revealed a clear increase in 2DEG concentration near the edge regions where the AlGa<sub>N</sub> layer thickness fluctuated. This fringing effect is useful because metal and high-density 2DEG can approach each other, overcoming an inherent tradeoff involving the AlGa<sub>N</sub> layer thickness. Experiments demonstrated the effectiveness of this technique, in which contact resistances obtained on some structures with uneven AlGa<sub>N</sub> layers were lower than the lowest limit for conventional flat AlGa<sub>N</sub> structures. From the scaling down of uneven pattern sizes, overall contact resistances are determined by parallel conductors at the edge region, where the resistance per unit area is low. This new approach will be a promising technique for low resistive contact formation on AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTs by overcoming the inherent trade-off relationship relating to the AlGa<sub>N</sub> barrier layers.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).