

Title	金属-半導体界面層あるいは絶縁体-半導体界面層を用いたAlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> デバイスの閾値電圧制御
Author(s)	DENG, YUCHEN
Citation	
Issue Date	2024-06
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/19335">http://hdl.handle.net/10119/19335</a>
Rights	
Description	Supervisor: 鈴木 寿一, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	DENG YUCHEN		
学位の種類	博士 (マテリアルサイエンス)		
学位記番号	博材第 584 号		
学位授与年月日	令和 6 年 6 月 24 日		
論文題目	Threshold voltage modulation in AlGa <sub>N</sub> /Ga <sub>N</sub> devices using metal-semiconductor or insulator-semiconductor interfacial layers		
論文審査委員	鈴木 寿一	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	徳光 永輔	同	教授
	赤堀 誠志	同	准教授
	安 東秀	同	准教授
	佐藤 威友	北海道大学	准教授

### 論文の内容の要旨

We have systematically investigated effects of metal-semiconductor or insulator-semiconductor interfacial layers (ILs) in AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> devices, where AlO<sub>x</sub>, TiO<sub>x</sub>, or NiO<sub>x</sub> is employed as an IL. From capacitance-voltage characteristics of metal/IL/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> devices with a metal-semiconductor IL between the gate metal and AlGa<sub>N</sub>, it is shown that the IL modulates the threshold voltage  $V_{th}$ , attributed to the vacuum level step induced by the dipole of the IL. We find negative vacuum level steps for AlO<sub>x</sub> and TiO<sub>x</sub> ILs, and positive for NiO<sub>x</sub>, from which the IL dipole density is estimated for each IL material. The two-dimensional electron gas carrier concentration in the metal/IL/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> devices is also modulated by the vacuum level step. Furthermore, X-Ray photoelectron spectroscopy of the IL/AlGa<sub>N</sub> interfaces suggest a formation of NiGa in the NiO<sub>x</sub>/AlGa<sub>N</sub> interface. On the other hand, from capacitance-voltage characteristics of metal/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/IL/AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> devices with an insulator-semiconductor IL between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and AlGa<sub>N</sub>, the fixed charge density of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/IL/AlGa<sub>N</sub> interface is evaluated by the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thickness dependence of  $V_{th}$ . For AlO<sub>x</sub> and TiO<sub>x</sub> ILs, the fixed charge density is higher than that of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGa<sub>N</sub> interface with no IL, while lower for NiO<sub>x</sub>. The fixed charge density for an IL shows a positive correlation with the IL dipole density, suggesting that the fixed charge is related to the unbalanced IL dipole. Furthermore, using the conductance method, we find a low trap density of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/IL/AlGa<sub>N</sub> interface for AlO<sub>x</sub> and NiO<sub>x</sub> ILs, in comparison with that of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGa<sub>N</sub> interface with no IL.

Keywords: AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> device, interfacial layer, threshold voltage control, vacuum level step, fixed charge

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、高出力・高速特性に優れる窒化物半導体デバイスにおいて重要な技術課題である閾値電圧制御に向け、金属-半導体界面層あるいは絶縁体-半導体界面層が AlGaIn/GaN デバイスの閾値電圧に与える効果を系統的に検討した結果を報告したものである。

まず、AlGaIn/GaN 表面に成膜した金属極薄膜 Al、Ti、あるいは Ni をアニールすることで Al 酸化物、Ti 酸化物、あるいは Ni 酸化物を形成したのち、これらを界面層とするゲート金属/界面層/AlGaIn/GaN デバイスを作製し、界面層を有さない金属/AlGaIn/GaN デバイスと比較しつつ評価を行った。その結果、これら界面層がダイポール層として真空準位ステップを形成し、実効的金属-半導体障壁高さ、二次元電子ガス密度、閾値電圧を変化させることが示された。この真空準位ステップは、Al 酸化物・Ti 酸化物界面層の場合と Ni 酸化物界面層の場合で逆符号になり、Al 酸化物・Ti 酸化物界面層は閾値電圧の負シフトに、Ni 酸化物界面層は閾値電圧の正シフトに有効であることが明らかとなった。また、金属酸化物形成前後での X 線光電子分光測定から、上記の結果が酸化物形成の際の金属極薄膜/窒化物半導体界面反応に起因しているという解釈が与えられた。

さらに、これら酸化物界面層を用いた金属/絶縁体/界面層/AlGaIn/GaN デバイスを作製し、界面層を有さない金属/絶縁体/AlGaIn/GaN デバイスと比較しつつ評価を行った。その結果、Al 酸化物・Ti 酸化物界面層は界面固定電荷増加による閾値電圧負シフトを、Ni 酸化物界面層は界面固定電荷減少による閾値電圧正シフトをもたらすことが示された。この界面固定電荷密度は上記ダイポール密度と正の相関を有しており、界面固定電荷にダイポールのアンバランスがもたらす寄与があることが明らかとなった。また、こうした界面層を用いることは界面トラップ密度の増大を引き起こす懸念があるため、容量-電圧特性の周波数分散にコンダクタンス法を用いた解析を行った結果、Al 酸化物・Ni 酸化物界面層は界面トラップ密度を寧ろ低減させる効果があることが示され、こうした懸念は払拭された。

以上のように、本論文は、窒化物半導体デバイスにおける閾値電圧制御技術について、重要かつ有用な科学的知見を与えるものであり、学術的および産業的な価値が大きい。よって博士(マテリアルサイエンス)の学位論文として充分価値あるものと認めた。