

日本－E U 国際共同研究「パワーエレクトロニクス」 2019 年度 年次報告書	
<b>研究課題名（和文）</b>	革新的高信頼性窒化物半導体パワーデバイスの開発と応用
<b>研究課題名（英文）</b>	Innovative Reliable Nitride based Power Devices and Application
<b>日本側研究代表者氏名</b>	三宅 秀人
<b>所属・役職</b>	三重大学大学院地域イノベーション学研究科・教授
<b>研究期間</b>	2017 年 1 月 1 日 ～ 2020 年 11 月 30 日

## 1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
三宅 秀人	三重大学大学院・地域イノベーション学研究科・教授	研究代表者。窒化アルミニウム結晶の熱処理による高品質化。
寒川 義裕	九州大学・応用力学研究所・教授	研究分担者。窒化アルミニウム結晶の溶液成長技術の開発。
正直 花奈子	三重大学大学院工学研究科・助教	窒化アルミニウム結晶の高品質化の実験と HVPE-AIN 厚膜の作製。
肖 世玉 (Xiao Shiyu)	三重大学大学院・地域イノベーション学研究科・助教	窒化アルミニウム結晶の結晶評価の実験と HVPE-AIN 厚膜の作製。

## 2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

AIN/sapphire テンプレートの結晶高品質化を引き続き遂行する。また、AIN/Si の開発にも着手する。欧州側の共同研究機関と共同して微細組織観察等を行い、デバイス応用の可否についても検討する。得られた知見をテンプレート開発にフィードバックする。加えて、GaN MOVPE における不純物混入機構の理論解析も並行して行う。

### 3. 日本側研究チームの実施概要

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  系電子デバイスにおいてもデバイス特性や信頼性の向上には、結晶中の貫通転位密度の低減が不可欠である。サファイアを基板に用いた低転位密度な AlN テンプレートの実現が求められている。有機金属気相成長(MOVPE)法では、AlN/サファイア基板界面で発生した高密度の貫通転位を対消滅させて、その転位密度を十分に低減させるためには数 $\mu\text{m}$  程度の膜厚の AlN を成長させることが必要である。一方で、本研究で用いるサファイア基板上に RF スパッタで成膜した AlN に対して、1700 °C 程度の高温のアニールを施す AlN テンプレートは、AlN を構成する原子が再配列し貫通転位密度が大幅に低減する。特に、AlN を成膜した面同士が対向して接触するように配置する“Face-to-Face”配置を用いることで、1 気圧の窒素雰囲気下であっても AlN の分解や脱離を抑制して高温のアニールを施し、低転位密度の AlN を実現した。この AlN テンプレートを FFA Sp-AlN (Face-to-Face Annealed Sputter-deposited AlN) テンプレートと呼称する。

本年度の研究では、まず、FFA Sp-AlN テンプレートの転位密度低減に関する取り組みとして、スパッタ成膜時の成膜条件、AlN 膜厚、そして高温アニールの条件が、AlN の結晶性に与える影響を述べる。続いて、FFA Sp-AlN テンプレート上に MOVPE 法で  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  を成長させた際の特異な成長挙動に関して、サファイア基板上に MOVPE 法で直接成長させた AlN テンプレートと比較する。FFA Sp-AlN テンプレートは、従来の MOVPE 法で成長された MOVPE-AlN テンプレートと比較してらせん転位および混合転位密度が極めて低いために、AlGa $\text{N}$  を成長させた際にスパイラル成長に起因する巨大なヒロック構造が形成されることが明らかとなったが、オフ角の大きいサファイア基板を用いることでこれを抑制し、表面平坦性と結晶性の高い AlGa $\text{N}$  を成長させることに成功した。

また、窒化物半導体 MOVPE では、成長中に意図しない不純物として炭素、酸素が混入することが知られている。一般に、Ga $\text{N}$  中の炭素不純物はアクセプタとして、酸素不純物はドナーとして機能するためデバイスの高信頼化を行う上で両者の混入量を予測・制御する必要がある。本研究では、配列のエントロピーを考慮した新規理論解析モデルを構築し、MOVPE 成長表面における炭素被覆率の定量解析を行った。具体的には、成長面方位、成長条件（Ga 分圧、N 分圧、全圧、キャリアガス中の水素分圧の割合）が炭素被覆率に与える影響を明らかにした。加えて、貫通転位先端にピットが形成され局所的なファセット面成長が進行した場合、ファセット面上のステップ端近傍で置換酸素が安定化して酸素取込みが促進され、局所的な酸素濃度の増加が起ることを見出した。この局所的な酸素濃度の増加は縦方向リーク電流の原因になると考えられる。

EU 側の AlN テンプレート微細構造評価とデバイス評価をフィードバックして、AlN テンプレートの作製条件等を検討した。加えて、MOVPE 法により Ga $\text{N}$  膜および AlGa $\text{N}$

膜の成長を行い、デバイスを試作した。