

平成 31年 3月 25日

## 若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 201880220

氏名 神野 莉衣奈

(氏名は必ず自署すること)

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。  
なお、下記記載の内容については相違ありません。

### 記

1. 派遣先: 都市名 イサカ (国名 米国)
2. 研究課題名 (和文) : 酸化アルミニウムガリウムを用いた超ワイドバンドギャップ半導体パ  
ワーデバイスの作製
3. 派遣期間: 平成 30年 4月 2日 ~ 平成 31年 3月 2日 (335日間)
4. 受入機関名・部局名: コーネル大学
5. 派遣先で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

$\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ を用いた最もバンドギャップの大きい半導体の創成およびデバイスの作製を目的として研究を行った。 $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ 薄膜の成長には、超高真空下で成長を行うことにより高純度な薄膜の生成および多元系の混晶薄膜、ドーピングが容易な分子線エピタキシー(Molecular beam epitaxy, MBE)法を用いた。

物性物理およびヘテロ構造デバイスで多くの偉業を達成している受入研究者のProf. Jenaとの議論により、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ のヘテロ構造を用いたデバイスの可能性に至り、派遣期間の前半では高キャリア密度が得られるヘテロ構造のシミュレーションに従事した。

派遣期間の後半では、シミュレーションで得られたヘテロ構造の作製に向けて、MBE法による $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ およびこれらの混晶の $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ の成長を行った。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は準安定相であるためMBE法を用いた成長はこれまで難しいとされてきたが、従来広く用いられてきたc面以外の方位の基板を用いることで $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ をより安定して成長することができた。 $\alpha$ 相の成長の安定性はサファイア基板の面方位に依存すると考えられ、コーネル大学の第一原理計算を行っている研究者と今後議論していく予定である。当初 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ のホモエピタキシャル成長では、1000°C前後の高温での成長温度が良いと予想していたが、数百度低い温度で最適条件が得られた。その結果、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の成長温度の差は小さく、 $\alpha\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3$ が相分離することなく、全組成について成長可能となった。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

$\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の成長の基板の面方位依存性について、帰国後第 66 回応用物理学会春季学術講演において発表を行った。現在もコーネル大学の研究者と共同研究を続けており、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の多結晶のエネルギー安定性の面方位依存性を第一原理計算により求め、実験結果と比較しさらに議論していき準安定相 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の成長について解明していく予定である。

派遣先で成長した  $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜に関して現在詳しい評価を行っており、Al 組成比  $x$  とバンドギャップ、格子定数の関係等を明らかにし Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のワークショップである IWGO2019 で発表する予定である。さらに、これら二つに結果に関しては論文投稿する予定である。

今回の派遣中に、MBE 法による  $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を含む) のサファイア基板上への成長およびバンドギャップ変調を可能にし、 $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混晶系ヘテロ構造デバイス応用に向けて大きく前進した。しかし、Ge ドーピングによる  $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の伝導性の実現には至らず、時間的制限によりその理由は未解明の状態である。TEM 観察による詳細な結晶構造評価により  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および低 Al 組成の  $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜中に  $\beta$  相の混入が確認され、 $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の結晶性の低さが電気特性を悪化させていると予想される。 $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に関しては実験条件により  $\beta$  相の混入を防ぐことができると期待でき、条件を変えて成長した際の試料の TEM 像を現在観察中である。 $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に関しては、基板であるサファイアとの大きな格子ミスマッチが原因であり、MBE 法では多相の混入を防ぐことは難しいと考えられる。一方で、高 Al 組成の  $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ではミスマッチが小さくなり結晶性は高くなると考えられるが、バンドギャップ値が非常に大きくなり電気特性が得にくくなるという難しさがある。派遣期間中に受入研究者とも議論し、2019 年度中に再度派遣先のグループを短期間訪れ、自身が所属するグループで CVD 法により作製した  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を持ち込み、その上に MBE 法を用いた  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、 $\alpha$ -(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の結晶構造および電気特性を評価する予定である。私はこれまで CVD 法を用いた  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の高品質化に関する研究を行ってきており、CVD 法により成長した  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜上に成長することで多相の混入を防ぎ高品質に成長できるのではないかと考えられる。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

若手研究者海外挑戦プログラムに採用されたことで、受入研究者をはじめとした海外の研究者と長期的に深く議論するという貴重な機会が得られ、自身がこれまで行ってきた研究についてさらに広い視点から考えることができ、またその研究の世界中でのインパクト・立ち位置を改めて認識することができた。近年、派遣先のアメリカ合衆国では、自身が研究テーマとしている酸化ガリウムの研究が非常に盛んに行われており、どのような方向に向かって研究を行っているのかも知ることができ、これからの研究において一つの指針を得ることができた。

研究活動の面では、受入研究者のグループでは酸化物(特に酸化ガリウム)向けの MBE という世界でも所有している研究機関が少ない装置を所有しており、これまで MBE 法を用いて行いたいと考えてきたアイデアを実際に試すことができ、研究者としての好奇心を満たすことができた。また、派遣先の研究機関にとっても自身にとっても新しい研究テーマを開拓することができた。MBE は超高真空を必要とする装置で、真空装置を使う機会が多くなかった私にとって、真空装置について学ぶ良い機会にもなった。派遣先のアメリカでは大学内の異なるグループ間の垣根がほとんどなく、私自身も派遣中に共同研究により研究を進めることができただけでなく、人脈を広げることができ、今後の研究をより発展できると考えられる。

上述したような、多くの共同研究機関とすぐに連絡をとり議論をできる点だけでなく、アメリカの大学では様々なセミナーが日々設けられており学生が視野を広げる環境が整っている点など他国での良い研究スタイルを直接感じるすることができた。その一方で、日本人の専門性の高さや研究に対する丁寧さ・真面目さは他国には真似できないものであり、これからも守り続けていくべきであると感じた。