

## GaN に格子整合する新たな窒化物半導体の合成に成功 ～高電子移動度トランジスタの可能性を広げる AIPN/GaN 構造を実現～

名古屋大学未来材料・システム研究所附属未来エレクトロニクス集積研究センター(天野浩センター長)の Markus Pristovsek(マーコス プリストフセク) 特任教授らのグループは、窒化ガリウム結晶(GaN)に格子整合する新たな窒化物半導体AIPNの合成に成功しました。この半導体結晶により、現在、5G 基地局などで使われている高電子移動度トランジスタの特性を超える、高速、高効率なトランジスタの実現が期待され、次世代移動通信システム(6G)開発への貢献が期待されます。

本研究では、(1)AIPN 結晶の P 組成の精密制御により、GaN と AIPN との間に良質な界面が形成可能であることを実証しました。また、(2)この結晶では P(リン)の含有率が低いため、AlN(窒化アルミニウム)と同様の強い自発分極が期待されます。

現在の 5G 基地局で使われている高電子移動度トランジスタでは、GaN 基板結晶の上に AlGaIn(窒化アルミニウムガリウム)結晶を形成した結晶が使われています。この AlGaIn 結晶に替えて、自発分極のより強い、例えば、AlN のような結晶を使うと、トランジスタの特性向上が可能です。一方で、AlN 結晶と GaN 結晶とでは、原子の間隔が大きく異なるため、それらの界面で原子配列の乱れが起こり、特性向上の妨げとなります。そこで、本研究では、GaN と原子間隔がほぼ一致し、かつ、AlN と同様の強い自発分極を有する結晶の合成に取り組みました。

本研究成果は、2020年10月9日付けの物理系学術誌刊行センターの科学誌 Applied Physics Express 誌にてオンライン公開されました。

## 【ポイント】

- 新たな窒化物半導体 AIPN の合成に成功。
- $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  の P の組成  $y$  を精密に制御することにより、高品質な AIPN/GaN 界面の形成を実現。
- $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  の P ( $y \sim 0.1$ ) 結晶では、P 組成が低いため、AlN と同様の強い自発分極が期待されるほか、5G/6G 基地局向け高電子移動度トランジスタ高速化とこれを用いたシステムの高効率化・小型化への貢献も期待できる。

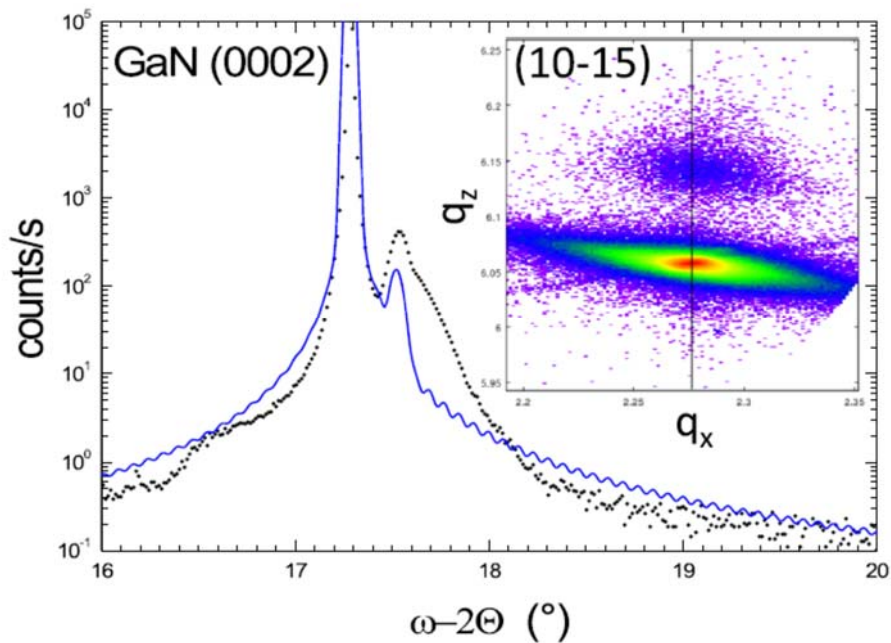
## 【研究背景と内容】

今日の移動通信システムには、通信速度の高速・大容量化、低消費電力化が求められています。GaN を用いた高電子移動度トランジスタ (high electron mobility transistor, HEMT) は、高周波で動作し、効率よく電力を電波に変換できるトランジスタであり、5G 基地局などで広く使用されています。また、次世代 (6G) 通信システムの構築に向けて、より高性能な HEMT の開発が必要とされています。

現在の GaN-HEMT では、GaN 結晶の上に AlGaIn 結晶を形成した結晶が使用されています。AlGaIn 層は、トランジスタ信号として働く電子を発生させ、この電子が、AlGaIn と GaN の界面を流れることで、トランジスタが動作します。電子供給層として、AlGaIn 結晶よりも自発分極の強い、例えば、AlN のような結晶を使うと、トランジスタの特性向上が可能であることが知られています。しかし、電子供給層として用いる結晶の原子の間隔が GaN 結晶の原子の間隔と異なると、GaN との界面で原子配列の乱れが起るため、高い電子移動度は得られません。

本研究では、新たに窒化物半導体  $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  結晶の合成に取り組み、P 組成  $y$  を 0.1 近傍で精密に制御することにより、GaN と  $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  との原子間隔の一致の度合いを制御し、 $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  結晶層内部の欠陥の発生を抑制しつつ、AIPN 層と GaN 層の間の界面での原子配列をよく整合させることに成功しました。

図は、高分解能 x 線回折法により、本実験で作成した  $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  ( $P=0.103$ )/GaN 積層構造を評価した結果です。グラフの点線は、(0002) 回折点近傍の強度分布の測定結果を、実線は、この構造が形成されたときに観測される x 線回折強度分布のシミュレーション結果を示しています。両曲線がよく一致していることから、設計通りの  $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  ( $P=0.103$ )/GaN 構造が形成されていることがわかります。挿図は、10-15 回折点近傍の逆格子マップであり、 $\text{AlP}_y\text{N}_{1-y}$  ( $P=0.103$ ) 結晶の原子配列が下地の GaN 結晶に整合していることを示しています。また、この結晶では P の含有率が低く、AlN と同様の、強い自発分極が起きていると考えられ、トランジスタ特性向上を可能にすると考えられます。



### 【成果の意義】

本研究成果を応用して実現されるトランジスタにより、通信システムの高速度化、小型化・高効率化が期待され、5G 通信システムの普及、さらには 6G 通信システムの開発に大きく貢献すると考えられます。

### 【用語説明】

**格子整合**：結晶の中の原子は、結晶固有のパターンで配列している。この原子の配列パターンを結晶格子と呼ぶ。格子整合は、同じ配列パターンと、同じ原子間隔をもつ 2 つの結晶が、乱れのない界面を形成している状態を指す。GaN と AlN は、配列パターンは同じだが、AlN の原子間隔が約 2% 狭い。本研究では、AlN 中の N(窒素)原子を、P 原子で置換することにより、その平均的な原子間隔を、GaN とほぼ同じ間隔まで広げ、AlPN を GaN に格子整合させることに成功した。

**自発分極**：GaN や AlN などの窒化物半導体では、N の電気陰性度が大きいため、金属原子が正に、窒素が負に帯電する。これを自発分極と呼ぶ。自発分極の大きさの異なる結晶の界面では、その差に応じた電荷が発生し、この差が大きいほど、界面の電子密度が大きくなる。これは、HEMT の高速度化、これを用いて作るシステムの小型化、高効率化に寄与する。

### 【論文情報】

雑誌名：Applied Physics Express 13, 111001 (2020)

論文タイトル：Wurtzite AlPyN1-y: a new III-V compound semiconductor lattice-matched to GaN (0001)

著者：Markus Pristovsek et al.

DOI：10.35848/1882-0786/abbbca