PRESS RELEASE

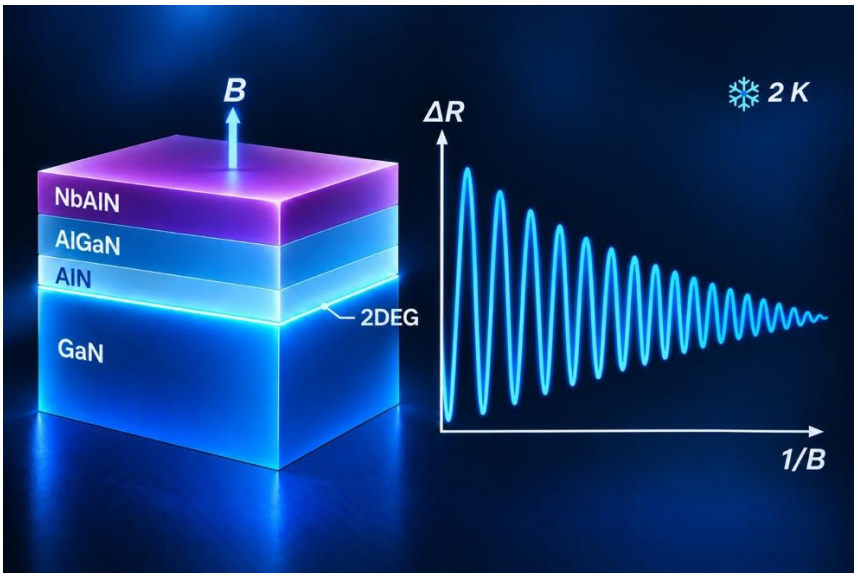
東京大学
東京理科大学
科学技術振興機構（JST）

新規窒化物半導体ヘテロ接合における二次元電子の量子輸送特性を解明

――次世代 GaN トランジスタの性能向上に道筋――

発表のポイント

- ◆ 高品質な新規窒化物半導体 NbAlN/GaN 系ヘテロ接合の結晶成長に成功し、その界面に分極誘起される二次元電子ガス（2DEG）の量子輸送特性を詳細に測定・解析しました。極低温・高磁場下において、明瞭なシュブニコフ・ド・ハース（SdH）振動が観測され、その解析から 2DEG の有効質量や量子緩和時間を明らかにしました。
- ◆ NbAlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG は、ScAlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG よりも移動度が高く、SdH 振動の振幅が大きいことが分かりました。
- ◆ 異種元素添加 AlN 系材料による新規バリア層を持つ GaN 高電子移動度トランジスタの特性理解や性能向上に大きく役立つ結果であり、次世代パワーデバイスや高周波増幅デバイスの研究開発に役立ちます。



NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ接合における二次元電子ガス（2DEG）のシュブニコフ・ド・ハース（SdH）振動の概略図　※本画像は生成 AI を利用して作成されています。

概要

東京大学大学院工学系研究科の若本 裕介 大学院生、前田 拓也 講師、東京理科大学先進工学部マテリアル創成工学科の小林 篤 准教授らの研究グループは、新規窒化物半導体ヘテロ接合における二次元電子ガス（2DEG）の量子輸送特性を明らかにしました。

本研究では、反応性スパッタエピタキシー法（注 1）を用いて、窒化ニオブアルミニウム（NbAlN）（注 2）を窒化ガリウム（GaN）上にエピタキシャル成長させ、そのヘテロ界面に誘起される 2DEG の電子輸送特性および極低温高磁場における量子輸送特性を詳細に調べました。高密度かつ高移動度な 2DEG が分極誘起されていることが確認され、明瞭なシュブニコフ・ド・ハース（Shubnikov-de Haas, SdH）振動（注 3）が観測されました。SdH 振動特性の解析から、NbAlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG の有効質量や量子緩和時間を明らかにしました。

本研究成果は、今後、高耐圧・低損失・高周波動作可能な次世代 GaN 高電子移動度トランジスタ（HEMT）（注 4）の研究開発に貢献し、電力変換の省エネルギー化や次世代高周波通信の発展を支えることが期待されます。

発表内容

〈背景と課題〉

近年、従来の窒化物半導体（GaN, AlN, InN）にスカンジウム（Sc）やホウ素（B）などの異種元素を添加することによって、格子定数やバンドギャップの変調、自発分極や圧電性の増大、強誘電性の発現など、材料の選択性や機能性の拡大を目指す基礎研究が活発化しています。これまで本研究グループは、AlN に Nb を添加した窒化ニオブアルミニウム（NbAlN）を GaN 上にエピタキシャル成長させることに成功しています（関連情報②）。しかし、NbAlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG の輸送特性や、移動度を制限する要因については明らかになっていませんでした。

〈成果の内容〉

この度、東京大学は、東京理科大学との共同研究により、反応性スパッタエピタキシー法を用いて AlGaN/AlN/GaN/SiC 基板上に高品質 NbAlN/GaN ヘテロ構造（図 1(a)）を成長させ、その電子輸送特性を詳細に測定・解析しました。NbAlN 薄膜を成長させることにより、NbAlN の大きな分極によって 1.5×10^{13} cm^{-2} 程度と高い 2DEG 密度が得られ（図 1(b)）、その密度は成長前試料と比較して約 4.6 倍に増大しました。また、電子移動度は成長前後でほぼ変わらず、室温で 1500 cm^2/Vs 程度と高い値を示しました（図 1(c)）。

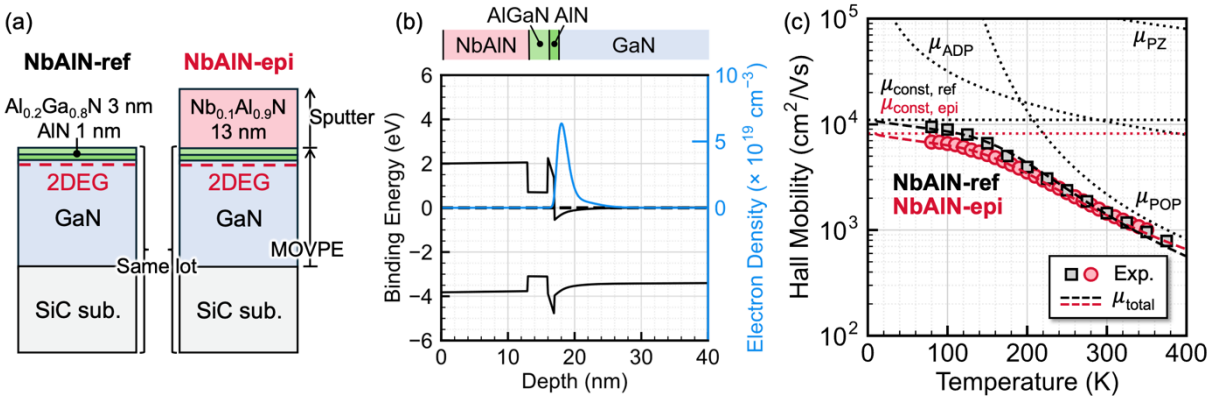


図 1：(a) 本研究で用いた SiC 基板上 AlGaN/AlN/GaN ヘテロ構造および NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ構造の断面図、(b) NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ構造のエネルギーバンド図および電子密度分布、(c) Hall 効果測定により得られた AlGaN/AlN/GaN および NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ構造における 2DEG の電子移動度の温度依存性とそのキャリア散乱機構解析。

NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ接合に形成される 2DEG の磁気抵抗を、最低 2 ケルビン(K)、最大 14 テスラ(T)の極低温・高磁場環境下で測定しました。図 2 に示した 2DEG の抵抗の磁場

依存性の通り、SdH 振動が明瞭に観測されました。本研究グループがこれまでに測定した ScAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG と比較すると、振動の振幅が大きく、より低磁場から振動が現れています。SdH 振動の解析から、電子の有効質量は電子濃度の増大を反映してやや重くなっていることが分かりました。また、量子緩和時間は 67 フェムト秒(fs)と比較的長いものの、運動量緩和時間（約 1200 fs）と比べると一桁以上短い値でした。これは、小角散乱が支配的であること、すなわち、キャリア散乱機構が異方的であり、極低温においてクーロン散乱などの長距離ポテンシャルによる散乱が主要な散乱機構であることを示唆しています。本結果は、NbAlN/GaN 系ヘテロ接合における 2DEG の輸送特性を理解する上で重要であるだけでなく、ScAlN をはじめとする他の新規窒化物と GaN のヘテロ接合による 2DEG の輸送特性の理解にも有益な知見です。

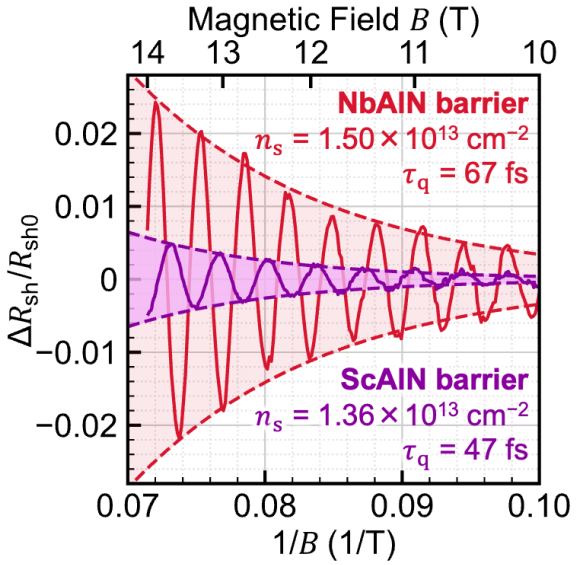


図 2：NbAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ接合および ScAlN/AlGaN/AlN/GaN ヘテロ接合における 2DEG の SdH 振動特性（抵抗変動の磁場依存性）。同程度の 2DEG 密度において、NbAlN バリア層の場合に大きな SdH 振動振幅や長い量子緩和時間が得られた。

これらの研究成果は、窒化物半導体分野で最大規模の国際会議である International Workshop on Nitride Semiconductors（IWN）（2026 年 11 月 8 日～13 日開催）に投稿され、高い評価を受けて招待講演に選出されました。

〈今後の展望〉

本研究の成果をもとに、今後は NbAlN/GaN および ScAlN/GaN ヘテロ接合を活用した GaN HEMT の試作実証に取り組みます。これらの研究は、高耐圧・低損失・高出力な GaN HEMT の研究開発を加速させ、電力変換の省エネルギー化や次世代高周波通信技術の発展に貢献することが期待されます。

〇関連情報：

①プレスリリース「遷移金属ニオブを含む極性ウルツ鉱型窒化物半導体「NbAlN」の作製に成功～GaN 系ヘテロ構造の界面電子密度を 3 倍超に高め、分極を生かした材料設計を拡張～」（2026/09/07）

https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2026-09-07-001

②プレスリリース「新規窒化物半導体ヘテロ接合における電子散乱機構を解明 ―高周波 GaN トランジスタの性能向上に道筋―」（2025/07/07）
https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2025-07-07-001

発表者・研究者等情報

東京大学大学院工学系研究科
前田　拓也　講師
若本　裕介　博士課程
久保田　航瑛　修士課程

東京理科大学先進工学部マテリアル創成工学科
小林　篤　准教授
奥田　朋也　修士課程（研究当時）
黒木　颯太　修士課程

学会情報

学会名：International Workshop on Nitride Semiconductors 2026 (IWN 2026)
会　期：2026 年 11 月 8 日～13 日（発表は 11 月 12 日 16:00-16:30（日本時間））
題　名：Hall Effect Properties and Shubnikov-de Haas Oscillations of 2DEG in ScAlN/AlGaN/AlN/GaN and NbAlN/AlGaN/AlN/GaN Heterostructures
著者名：**Yusuke Wakamoto**, Kouei Kubota, Tomoya Okuda, Souta Kurogi, Atsushi Kobayashi, Takuya Maeda*
URL：https://iwn2026.jp/

研究助成

本研究は、科学技術振興機構（JST）「創発的研究支援事業（課題番号：JPMJFR234D）」、2026 年度村田学術振興・教育財団研究助成の支援により実施されました。また、AlGaN/AlN/GaN/SiC 基板については、住友電気工業株式会社にご提供いただきました。

用語解説

（注 1）反応性スパッタエピタキシー法
反応性スパッタエピタキシーは、窒素を含むプラズマ中で金属ターゲット（Al、Nb など）をスパッタし、叩き出された金属原子と窒素を基板上で反応させて窒化物薄膜単結晶をエピタキシャル成長させる手法です。MOCVD や MBE と異なり有機金属原料や高温アンモニアを使わず、比較的低温・高速で成膜できます。

（注 2）窒化ニオブアルミニウム（NbAlN）
窒化アルミニウム（AlN）に遷移金属のニオブ（Nb）を加えた窒化物半導体です。Nb は金属的な岩塩型 NbN を作りやすい元素ですが、2026 年に、GaN と同じウルツ鉱型構造と極性を保った単結晶薄膜が GaN 上に初めて作製されました[1]。GaN 系ヘテロ構造のバリア層に用いると、分極の効果により界面の 2DEG 密度が従来構造の 3 倍超に高まることが示されており、ScAlN に続く新しい極性窒化物として注目されています。
[1] A. Kobayashi *et al*., *Advanced Materials* 2026, e074756. https://doi.org/10.1002/adma.74756

（注 3）シュブニコフ・ド・ハース（Shubnikov-de Haas, SdH）振動
極低温・強磁場下で、電気抵抗が磁場の逆数に対して周期的に振動する現象です。磁場中では電子のエネルギーがランダウ準位と呼ばれるとびとびの値に量子化され、磁場を強くするとこの準位がフェルミ準位を次々に横切るために、磁気抵抗に振動が生じます。振動の周期からは電子濃度が、振幅の温度・磁場依存性からは電子の有効質量や量子緩和時間が求められます。電子の散乱が少ない高品質な試料でのみ明瞭に観測されるため、結晶や界面の品質を示す指標にもなります。

（注 4）高電子移動度トランジスタ（HEMT）
化合物半導体ヘテロ接合においては、変調ドーピングや分極誘起ドーピングによって不純物を添加していない層に高移動度な 2DEG を誘起させることができます。この 2DEG を活用した電界効果型トランジスタは HEMT と呼ばれ、携帯電話や衛星通信などの高周波無線通信に使用されています。1979 年に富士通研究所の三村高志氏らが HEMT を発明しました。

問合せ先

〈研究内容について〉
東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻
講師　前田　拓也（まえだ　たくや）

〈機関窓口〉
東京大学大学院工学系研究科 広報室

東京理科大学 経営企画部 広報課

科学技術振興機構 広報課

〈JST 事業に関すること〉
科学技術振興機構 創発的研究推進部
酒井　重樹（さかい　しげき）