2026 年 6 月 15 日
NIMS

シリコン上の縦型 GaN デバイス実現に道を拓く低抵抗バッファー層を開発

～GaN のエピタキシャル成長と縦方向の電気伝導を両立～

NIMS は、安価なシリコン（Si）ウェハー上への縦型窒化ガリウム（GaN）デバイスの実現に不可欠な、極めて低抵抗かつ優れた熱安定性をもつ GaN エピタキシャル成膜技術の開発に成功しました。この新技術「アモルファスライク中間層（AL-IL）」は、Si と窒素（N）から成る極薄膜によって、Si と GaN の格子不整合を緩和するとともに、基板と GaN 膜の間で縦方向に電流を流すことを可能にします。本成果は、シリコンウェハー上での縦型 GaN デバイス作製に向けた基盤技術であり、将来的には高効率パワーデバイスやマイクロ LED デバイスの低コスト化に貢献することが期待されます。この研究成果は、5 月 29 日に Advanced Physics Research 誌に掲載されました。

研究成果の概要

■従来の課題

近年、AI データセンターの急増などに伴う電力消費量の増加が大きな社会問題となっています。また、将来の脱炭素化に向けて、電気自動車やマイクロ LED を普及させるにあたり、「高効率×低コスト」な電力変換素子や発光デバイスを大規模に量産する鍵として期待されているのが、安価なシリコンウェハー上での縦型 GaN デバイス化です。しかし、従来は、縦型 GaN デバイスを実現するには、高価な単結晶 GaN 基板の利用が前提であり、コストや生産性の面で課題がありました。単結晶 GaN 基板を使う代わりに安価なシリコンウェハーを使おうとすると、Si と GaN の間に形成される中間層（バッファー層）が高抵抗であるため、基板と GaN 膜の間で縦方向に電流を流すことが難しく、縦型デバイスへの応用を阻んでいました。

■成果のポイント

今回、NIMS の研究チームは、シリコンウェハー上で GaN 薄膜をエピタキシャル成長させると同時に、GaN/Si 界面で低抵抗な縦方向伝導を実現する新しいバッファー層（アモルファスライク中間層（AL-IL））形成技術を開発しました。

この技術では、図 1 のように、シリコンウェハー上に 1 ナノメートル未満（ナノは 10 億分の 1）の金属膜を形成し、急速加熱処理を行った後にスパッタリングで GaN 成膜を行うことで、Si と N を含む極薄のアモルファスライク中間層（AL-IL）が形成されます。この中間層が Si と GaN の格子不整合を緩和し、GaN のエピタキシャル成長を可能にすることを、透過型電子顕微鏡観察などにより確認しました。さらに、スパッタ GaN 膜を下地層として有機金属気相堆積（MOCVD 法）法で GaN を成膜すると、高品質な GaN 膜が成長することを確認しました。GaN 膜と Si 基板の間に電極を形成して電流ー電圧特性を評価したところ、縦方向（図 1 右図の黄色矢印方向）に電流が流れ、デバイス作製に向けて理想的な電流特性を示すことが分かりました。これは、シリコンウェハー上の縦型 GaN デバイスに向けて重要な要件の一つを満たす成果です。

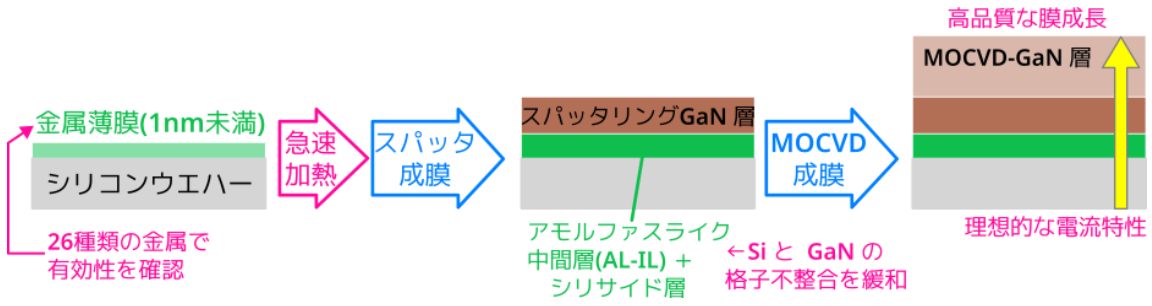

図 1：Si(111)上に、アモルファスライク中間層(AL-IL 層)を介して GaN 膜がエピタキシャル成長するイメージ

■将来展望

シリコンウェハー上の縦型 GaN デバイスは三次元的に電流を流すことができるため、二次元的に電流を流す横型デバイス（図 1 右図において基板と平行方向に電流を流すデバイス）と比較して、電流量を数桁も向上させることが可能であるほか、シリコンウェハー裏面に電極を形成することができるため、製造コストを大幅に低減できます。本技術によって縦型 GaN デバイスが実現された場合、マイクロ LED デバイスの広範な普及、AI 技術の鍵を握るデータセンターの省電力化、さらには電気自動車の高効率化など、次世代デバイスの普及に弾みがつくことが期待されます。

■その他

本研究は、NIMS 電子・光機能材料研究センター 超ワイドギャップ半導体グループ 川村史朗 主幹研究員、マテリアル基盤研究センター 三石和貴 副センター長からなる防衛装備庁 安全保障技術研究推進制度「縦型 GaN on Si デバイス実現に向けた界面制御の基礎研究」の一環として行われました。

本研究成果は 5 月 29 日に Advanced Physics Research 誌（オープンアクセス）に掲載されました。

研究の背景

近い将来、AI データセンターの消費電力の急増が予測されており、低消費電力化技術の切り札の一つとして高効率パワーデバイス [1] の実現が求められています。また、マイクロ LED ディスプレイ [2] は消費電力を下げながら極めて鮮やかな高精細表示が可能なため、AR ゴーグル等のウェアラブルデバイス [3] に必要不可欠になると予測されています。さらに、低炭素社会の実現に向けて電気自動車の高効率化も急務の課題となっており、これらの鍵を握る「シリコンウェハー上の縦型 GaN デバイス [4]」を製造する技術開発が強く求められています。NIMS で開発した「アモルファスライク中間層（AL-IL）形成技術」は、極薄の中間層をシリコンウェハー [5] 上に自己形成させることで、ウェハー上に GaN 膜をエピタキシャル成長 [6] させつつ縦方向の電気伝導を実現するものであり、次世代 GaN デバイスの実現に向けた基盤技術となる可能性があります。

研究内容と成果

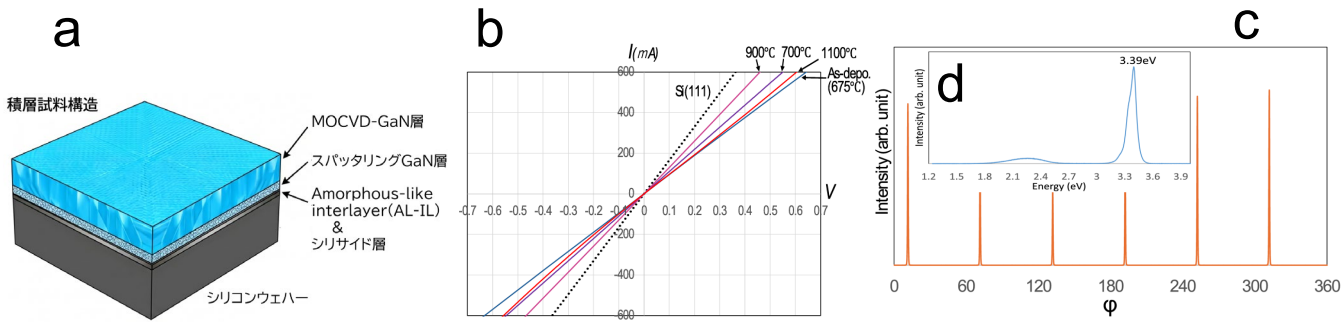

図 2：a)アモルファスライク中間層（AL-IL）形成技術によってエピタキシャル成長した GaN 膜のイメージ、b)左図の上下方向に電圧を印加した時の「電流 vs 電圧」の特性、c)GaN 膜のエピタキシャル成長の度合いを示す XRD φスキャン測定 [7] 結果及び d)良好な結晶品質を示す室温フォトルミネッセンス測定 [5] 結果

・シリコンウェハー上に 1 ナノメートル未満の極めて薄い金属膜を堆積させた後、ウェハーを急速加熱し、続けてスパッタリング法で GaN 膜を成膜すると、高品質なエピタキシャル GaN 膜が容易に成膜されることを発見しました（図 2a 参照）。

・さらに、スパッタリングで成膜した GaN 膜を下地テンプレートとして有機金属気相堆積（MOCVD）法 [8] で GaN 膜を成膜したところ、室温フォトルミネッセンス測定 [9] において GaN のバンド端近傍で明瞭に発光しており、結晶品質が高いことを確認しました（図 2 d 参照）。

・シリコンウェハーと GaN の界面を透過型電子顕微鏡で解析した結果、Si と窒素を含むアモルファスライクな極薄の中間層が形成されており（図 2a 参照）、これがシリコンと GaN の間の格子歪 [10] を緩和させることでエピタキシャル成長を可能にしていることが突き止められました。

・多くの極薄金属膜の初期成長によってエピタキシャル成長が可能となることを見出しました。
・シリコンウェハー裏面とシリコンウェハー上に成膜した GaN 膜の上面に電極を形成し、電圧を印加して測定を行った結果、GaN/Si 間の界面抵抗が非常に低く、同時にオーミック特性[11]が達成されていることが確認されました（図２b 参照）。

今後の展開

今後は、本技術を用いた縦型 GaN 系 LED やパワーデバイス構造の試作を進め、実デバイスとしての動作実証、耐圧・オン抵抗・発光効率・信頼性などの評価を行います。また、GaN 薄膜の結晶品質向上や大口径シリコンウェハーへの適用性を検証し、産業応用に向けたプロセス最適化を進めます。これらの研究が進展すれば、低コストなシリコンウェハーを用いた縦型 GaN デバイス製造につながり、高効率パワーエレクトロニクスやマイクロ LED デバイスへの応用が期待されます。

■掲載論文

題目	An Advanced Epitaxial Strategy Enabling Vertical GaN Devices on Silicon Wafers
著者	Fumio KAWAMURA, Takeyoshi ONUMA, Kazutaka MITSUISHI
雑誌	Advanced Physics Research
DOI	10.1002/apxr.70143
掲載日	2026 年 5 月 29 日

■用語解説

1）パワーデバイス：半導体素子を用いて直流と交流を変換する素子であり、次世代半導体を用いることによって高効率な変換が可能になりつつある。
2）マイクロ LED ディスプレイ：従来の LED を微細化し、LED を並べることで直接ディスプレイ表示させることを可能にしたデバイスであり、液晶ディスプレイ等と比較して、低消費電力かつ、高精細な表示が可能であるが、現在製造コストの高さが課題となっている。
3）ウェアラブルデバイス：身に着けて動作させることを目的としたデバイスであり、スマートウォッチや AR ゴーグル等を指すことが多い。
4）縦型 GaN デバイス：下地のウェハーから上層の GaN 半導体膜方向に電流を流すことで半導体として動作することができるデバイスであり、現在実用化されている「横型 GaN デバイス」と比較して飛躍的な性能向上が期待されている。
5）シリコンウェハー：半導体デバイスを作製する際の土台となる材料であり、現在多種多様な半導体デバイスに用いられている。安価であり、電気抵抗を広い範囲で制御出来るため、今後縦型窒化ガリウム系デバイスにも利用することが望まれている。
6）エピタキシャル成長：下地基板の結晶方位を引き継いで上層の膜が成長する現象であり、半導体デバイス作製において必須とされる結晶の成長様式。
7）XRD φスキャン測定：下地基板上に薄膜を成長させた時に、どの程度下地の結晶構造を引き継いでいるか(エピタキシャル成長しているか)を測定する手法。６本の線幅の狭いピークが存在していることにより、良質な６回対称結晶面が成長していることが分かる。
8）有機金属気相堆積法：気体の有機原料とアンモニアを反応させることで高品質な窒化物膜を成膜する手法であり、主に GaN デバイスを作製する際に用いられる。
9）フォトルミネッセンス測定：半導体の品質などを評価するために用いられる手法。材料表面にレーザー光を照射した際の材料の光応答を観測して品質等を評価する。
10）格子歪：下地のウェハーと半導体デバイスの間に存在する原子配列や原子間距離の不整合による歪。シリコンウェハーと GaN の間では大きな格子歪が発生するため、これまで縦型デバイス用の高品質なエピタキシャル成長が実現できていなかった。
11）オーミック特性：電圧を印加した際に、電圧に比例して電流値が上昇する現象であり、半導体デバイスを作る際に必要不

可欠な特性。直線的に電流が増加しない場合、非オーミック特性やショットキー特性と呼ばれる。

本件に関するお問い合わせ先

研究内容について	**NIMS　電子・光機能材料研究センター　超ワイドギャップ半導体グループ** **主幹研究員　川村　史朗** E-mail: KAWAMURA.Fumio@nims.go.jp TEL: 029-860-4428 URL: https://www.nims.go.jp/electr-opt/UWBG.html
報道・広報について	**NIMS　国際・広報部門　広報室** 〒305-0047　茨城県つくば市千現 1-2-1 E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

NIMS とは？

NIMS（ニムス）は、物質・材料科学の研究に特化した国立研究開発法人です。
エネルギー、環境、医療、インフラ、モビリティ――私たちの暮らしを支えるあらゆる技術は「物質」と「材料」で成り立っています。
NIMS はそれらの基礎・基盤研究だけでなく、成果の普及とその活用の促進まで総合的に行っています。
社会の発展は常に物質・材料科学の進歩とともにあり、いま、地球規模の環境・資源問題の解決に向けたカギとして、その重要性はいっそう高まっています。
NIMS は「材料で、世界を変える」というビジョンのもと、持続可能で豊かな社会の実現を目指して、世界最先端の研究を続けています。

【NIMS を掴む参考ページ】

NIMS はこんな研究所！　https://www.nims.go.jp/nims/introduction.html
NIMS ビジョン　https://www.nims.go.jp/nims/profile.html#vision