



● Si 添加窒化ガリウムスパッタリングターゲットを用いた成膜と評価

先端融合研究センター 先端材料研究所 無機電子材グループ

板東 廣朗
加納絵梨沙
上岡 義弘
召田 雅実

1. 緒言

近年、SDGs（持続可能な開発目標）の実現に向け、CO₂をはじめとする温室効果ガス排出量の削減に向けた取り組みが盛んである。日本政府は「2050年に温室効果ガス排出量実質0」を掲げており、多分野で省エネが推進されている。そこで注目を集めているのが、ワイドバンドギャップ半導体の一種である窒化ガリウム（GaN）材料である。GaNは電子移動度や絶縁破壊電圧が高いという優れた材料特性により、高耐圧かつ低損失な省エネデバイスへの広い応用が期待される。既に実用化が進む発光ダイオード（LED）や高周波デバイスのほか、電力変換に用いるパワーデバイスへの適用が検討されている^[1-3]。一般的に、デバイス中のGaNは薄膜として用いられる。現在、GaN薄膜の成長手法としては有機金属化学気相成長（MOCVD）法が主流だが、原料利用効率や安全性、大面積成膜等に課題がある。一方、スパッタリング法はこれらの課題を解決できる可能性があり、新たなGaN成膜手法として関心を集めている。スパッタリング法は、GaN以外の材料では既に量産手法として実績があり、N₂やArなどの非毒性ガスを用いて室温から成膜が可能である。GaNのスパッタリング成膜では、Gaターゲットと窒素ガスのリアクティブスパッタが用いられることが多い。しかし、Gaは低融点金属であるため、取り扱いが難しく、装置が複雑化するという欠点がある。一方、GaNセラミックターゲットは一般的なセラミックターゲットと同様に扱うことができるため、スパッタ装置への導入が容易である。当社では、独自の焼結技術により、高純度・高密度なGaNのスパッタリングターゲットを開発しており、MOCVD膜と同等以上の結晶性を持つGaN膜の成膜が可能であることを確認している^[4,5]。

Si半導体製造プロセスと同様、GaNデバイスにおいても不純物添加（ドーピング）技術は重要である。不純物ドーピングとは、半導体母材に適切な不純物を

添加することで、導電性を持つn型、p型半導体を作製する技術である。例えば、GaNにSiやGeといった不純物元素をドーピングすることで、結晶内を動き回ることができる自由電子が生成され、導電性が向上する^[6,7]。これまでに、GaN（もしくはGa）ターゲットと不純物元素ターゲットの同時スパッタ（コスパッタ）により成膜された不純物添加GaNスパッタ膜が報告されている^[8,9]。コスパッタは容易に膜組成を変化できるメリットがある一方、大面積成膜における組成や膜の均一性制御の難易度が高いため、量産に不向きである。そこで、当社ではSi濃度が精密に制御された、Si添加GaNスパッタリングターゲットを開発した。これにより、単一ターゲットによるn型GaN膜のスパッタリング成膜が可能となり、量産化の障壁が大きく下げられることが期待される。

本稿では、Si添加GaNスパッタリングターゲットの作製およびサファイア基板上への成膜結果について報告する。

なお、本技術の開発目的は、産業と技術革新の基盤をつくることである。本技術はGaNデバイスの生産性向上に資するものであり、GaNデバイスの社会実装を通じてエネルギー利用効率を大幅に改善し、CO₂などの温室効果ガス排出量削減に貢献することを目指す。

2. 実験

[1] Si添加GaNスパッタリングターゲットの作製

Si添加GaN焼結体は、当社独自のSi添加技術およびGaN焼結技術を基に作製した。そのSi添加GaN焼結体を所定の形状に加工し、バックングプレートにボンディングすることでSi添加GaNスパッタリングターゲットとした。図1にSi添加GaNターゲットの外観を示す。

また、Si含有濃度を変化させた3種類のターゲットを作製した。それらのSi含有濃度を表1に示す。



図1 Si添加 GaN ターゲットの外観

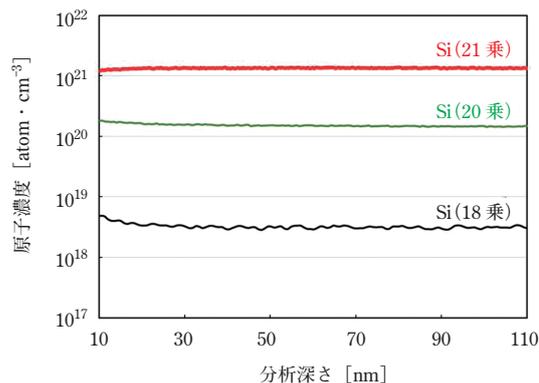


図2 Si添加 GaN ターゲット成膜品の SIMS 分析

表1 各 Si 添加 GaN ターゲットの Si 含有濃度

サンプル	Si 含有濃度 [atom · cm ⁻³]
ターゲット① Si (18 乗)	2.9×10^{18}
ターゲット② Si (20 乗)	2.9×10^{20}
ターゲット③ Si (21 乗)	1.9×10^{21}

[2] 成膜条件

作製した ϕ 4 inch Si 添加 GaN スパッタリングターゲットを用いて、RF マグネトロン方式にてスパッタリング成膜を実施した。基板は c 面サファイア基板、加熱温度を 800°C、膜厚は 100 nm、成膜ガスには N₂ および Ar を使用した。

[3] GaN 膜の評価

(1) SIMS 分析による GaN スパッタ膜中の Si 濃度測定

作製した Si 添加 GaN スパッタ膜に含まれる Si 濃度を、二次イオン質量分析法 (SIMS) を用いて評価した。ターゲット中に含まれる Si 濃度との比較や、膜の深さ方向での Si 濃度均一性を評価した。

(2) Si-GaN 膜の電気特性評価

ホール効果測定により、Si 添加 GaN スパッタ膜の pn 判定および抵抗率を評価した。測定手法には、van der Paul 法を用いた。

3. 結果および考察

[1] Si 添加 GaN 膜の SIMS 分析

図 2 に、各 Si 濃度の GaN 成膜品の SIMS 分析結果を示す。GaN 膜中において、膜深さ方向の Si 濃度分布は均一であることがわかった。また、GaN ターゲット中に含まれる Si とおおむね同等量がスパッタ膜にも含まれることが確認された。従って、GaN ターゲット中の Si 仕込み量を調整することで、GaN スパッタ膜中の Si 濃度の制御が可能であることが示された。

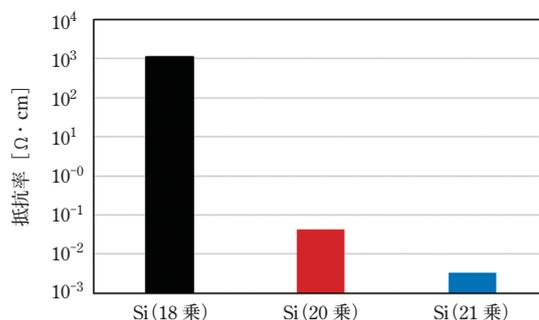


図3 各 Si 濃度の GaN 成膜品の抵抗率

[2] Si 添加 GaN 膜のホール効果測定

図 3 に、各 Si 濃度の GaN 膜の抵抗率を示す。

Si 濃度が増加するにつれ、抵抗率は低下していることがわかる。Si 濃度 10^{21} atom/cm³ では、 10^{-3} Ω · cm 台まで低抵抗化することが確認された。また、全てのサンプルで n 型判定であった。図 4 に、本報告の Si 添加 GaN ターゲット成膜品のキャリア濃度に対する抵抗率と、これまでの MOCVD 法による Si 添加 GaN 膜の報告を比較したものを示す^[10,11,12]。高濃度キャリア領域では、スパッタリング法を用いた場合でも

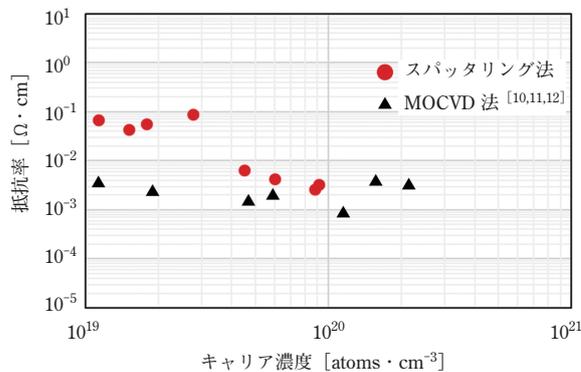


図4 MOCVD 法、スパッタリング法による Si 添加 GaN 膜のキャリア濃度および抵抗率

MOCVD法と同等の電気特性が見られていることがわかる。基板やバッファ層、その他成膜条件の最適化により、さらなる電気特性の改善が期待できる。

以上の結果より、Si添加GaNターゲットを用いたスパッタリング法により、n型GaN膜の作製が可能となった。

4. 結言

独自に開発したSi添加GaNスパッタリングターゲットを用いて、サファイア基板上へのスパッタリング成膜に関する検討を実施した。Si添加GaNスパッタ膜のSIMS分析より、ターゲット中の添加濃度に対応したSi量が、膜の深さ方向へ均一に含まれることを確認した。また、ホール効果測定より、GaNターゲット中のSi添加濃度によって、GaNスパッタ膜の抵抗率を制御することが可能であることが示された。過去のMOCVD法による報告と比較し、MOCVD膜と同等の電気特性をもつSi添加GaNスパッタ膜が得られることがわかった。以上より、Si添加スパッタリングターゲットは、各種GaNデバイスにおけるn型GaN層成長への適用が可能であると考えられ、GaNデバイス作製工程の効率化や、デバイス特性改善への貢献が期待される。

5. 参考文献

- [1] 大橋弘通、応用物理、**73**、1571 (2004)
- [2] T. Minami *et al.*, *The 60th JSAP Spring Meeting*, 2013
- [3] M. Hikita *et al.*, *Panasonic Technical Journal*, **55**, 91 (2009)
- [4] M. Mesuda *et al.*, *TOSOH Research & Technology Review*, **61**, 43 (2017)
- [5] 上岡義弘 他、金属、**90**(10)、57 (2020)
- [6] N. Koide *et al.*, *Journal of Crystal Growth*, **115**, 639 (1991)
- [7] Kohei Ueno *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **10**, 101002 (2017)
- [8] Shyam Mohan and S S Major, *Mater. Res. Express*, **5**, 096411 (2018)
- [9] Taiga Fudetani *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 032102 (2019)
- [10] F. A. Faria *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 032109 (2012)
- [11] L. Lugani *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **105**, 202113

(2014)

- [12] E. C. Young *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **9**, 022102 (2016)

