

令和5年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：共同研究 研究期間：令和 3 年 10 月 ~ 令和 5 年 9 月（予定）

研究課題名：極性反転集積型 GaN パワーCMOS の開発

ラボ長

所属：大学院基礎工学研究科 システム創成専攻 電子光科学領域

職位 助教 氏名：林侑介

研究成果：

(概要)

本研究では、窒化ガリウム (GaN) による相補型金属酸化膜半導体構造 (CMOS) を実現するため、極性反転技術を利用した p および n チャネルの新規集積方法の開発に取り組んだ。本年度は、n チャネルに利用する 2 次元電子ガス (2DEG) へのオーミックコンタクト形成技術を確認し、2DEG 性能を評価した。これにより、2 次元正孔ガス (2DHG) による p チャネル作製技術と融合させることで、GaN CMOS 構造の実現が可能となる。

(本文)

図 1 に示すような金属極性 AlGaN/GaN 2DEG 構造に対して、オーミック電極の形成と、ホール効果測定による 2DEG 特性の評価に取り組んだ。本基板は NTT-AT 社から購入した GaN on Si 基板の上の標準的な高電子移動度トランジスタ (HEMT) 構造になるが、同様の構造は AlN テンプレート上にもエピタキシャル成長できるため、本構造において実現できた成果はそのまま本プロジェクトの最終構造に利用することができる。今回、先行研究の条件を参考に [Jacobs *et al.*, *J. Cryst. Growth*, 2002]、AlGaN/GaN 電子ビーム蒸着装置で Ti/Al/Ni/Au = 30/180/40/150 nm 成膜した後、窒素雰囲気下の高速熱処理 (RTA) で 850, 950, 1050 °C にてオーミックアニールを実施した。本手法では、Ni はバリアメタル、Ti/Al はコンタクトメタルとして機能し、Ti と Al が合金化することで

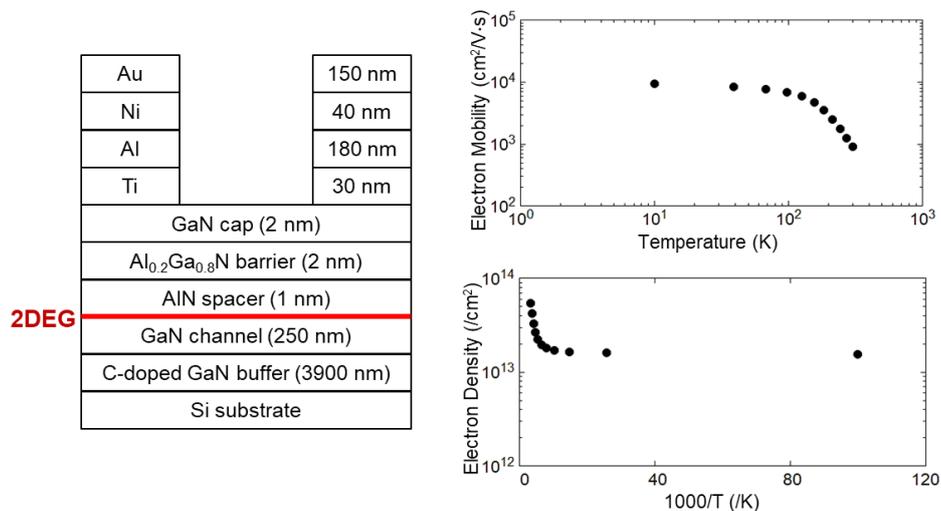


Fig. 1 AlGaN/GaN 2DEG 構造の模式図とホール効果測定結果

2DEG にオーミック接触を形成できる。ここで、Al については装置付属の抵抗加熱機構により蒸着を行っている。室温からアニール温度までの昇温時間は 2 分、アニール温度での保持時間は 30 秒とした。結果として、いずれの温度においてもオーミック接触の形成に成功した。温度を上げるほど抵抗値が低下する効果が見られた一方で、表面の荒れが増大しプローブの置く場所によって高抵抗となる傾向が見られたため、ホール効果測定には 950 °C アニールの条件を使用することとした。

van der Pauw 法で温度変化ホール効果測定を行った結果を図 1 に示す。基板 4 隅にオーミック電極を形成し、電極とパッケージをワイヤーボンディングで接続した後、Quantum Design 社の物理特性測定システム (PPMS) で温度変化ホール効果測定を実施した。本測定にあたっては、大阪大学 基礎工学研究科 浜屋研究室にご協力いただいた。得られた電子移動度は、室温では 1000 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度、10000 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度となっており、概ね従来の HEMT 構造と同等の値と一致した。電子密度については、室温から 100 K 程度の領域で低下する様子が見られ、それより低温の領域では一定の値となる現象が確認された。一般に、2DEG 密度は温度によって大きく変化しないことが知られており、その傾向は 100 K 以下の特性と一致しているため、この領域では 2DEG に由来する電子が支配的だと考えられる。一方、100 K 以上では Si 基板から熱励起された電子が供給され、結果として電子密度が増大する結果になったと考えられる。GaN on Si 基板上 AlGaN/GaN 構造についての温度変化ホール効果測定における先行研究では、高温では逆に電子密度が低下する傾向が報告されており [Lee *et al.*, J. Korean Phys. Soc., 2015]、本結果については更に考察を深める必要がある。

以上の結果から、n チャネルに利用する 2 次元電子ガス (2DEG) へのオーミックコンタクト形成技術を確立し、従来と同等の 2DEG 性能が得られていることを確認した。これにより、従来開発した 2 次元正孔ガス (2DHG) による p チャネル作製技術と融合させることで、GaN CMOS 構造の実現が可能となる。

研究経費 (R5 年度) の内訳 :

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0 円	253880 円	844520 円	0 円	1600 円	1100000 円

共同研究者等 :

(1)共同研究者 (氏名・所属)

Jimmy Encomendero コーネル大学

Yongjin Cho パウルドルーデ研究所

Huili G. Xing コーネル大学

Debdeep Jena コーネル大学

三宅秀人 三重大学 教授

(2)研究協力者 (氏名・所属・学年 (学生の場合))

西村海音 大阪大学 修士 2 年

宇田津直大 大阪大学 学部 4 年

発表論文等 (令和 6 年 3 月 31 日現在) :

[雑誌論文]

1. T. Onabe, Z. Wu, T. Tohei*, Y. Hayashi, K. Sumitani, S. Kimura, T. Naito, K. Hamaya, and A. Sakai*, “Local Strain Distribution Analysis in Strained SiGe Spintronics Devices,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, 63, 02SP61-1-7 (2024). DOI: <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ad18ce>

[著書]

該当なし

[学会発表]

1. R. Yamamoto, Y. Hayashi, T. Tohei, and A. Sakai, “Implementation of Pavlovian conditioning with miniaturized TiO_{2-x} four terminal planar memristors,” 2023 International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ELECTRON DEVICES –SCIENCE AND TECHNOLOGY– (IWDTF2023), FA-3, Oct. 2023.
2. S. Taniguchi, Y. Hayashi, T. Tohei, K. Sumitani, Y. Imai, S. Kimura, M. Iwaya, H. Miyake, and A. Sakai, “Three-dimensional tomographic analysis of AlGaIn-based UV-B wavelength laser diodes” The 14th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-14), CH11-5, Nov. 2023.
3. Z. D. Wu, Y. Hayashi, T. Tohei, K. Sumitani, Y. Imai, S. Kimura, and A. Sakai, “Machine Learning Assisting NanoXRD Based Analysis on HVPE GaN Structure” The 14th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-14), CH5-6, Nov. 2023.
4. T. Onabe, Z. D. Wu, T. Tohei, Y. Hayashi, K. Sumitani, Y. Imai, S. Kimura, T. Naito, K. Hamaya, and A. Sakai, “Local strain distribution analysis in strained SiGe spintronics devices,” 2023 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2023), PS-11-13, Sept. 2023.
5. Y. Koizumi, R. Miyake, Y. Hayashi, T. Tohei, and A. Sakai, “Finite element analysis of oxygen vacancy behavior in four-terminal TiO_2 memristive devices,” 2023 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2023), PS-2-13, Sept. 2023.
6. 林 侑介、藤平 哲也、隅谷 和嗣、今井 康彦、木村 滋、宇佐美 茂佳、今西 正幸、森 勇介、分島 彰男、渡邊 浩崇、新田 州吾、本田 善央、天野 浩、酒井 朗，“OVPE-GaN 基板上縦型パワーデバイスのその場ナノビーム X 線回折,” 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-52A-2, Sept. 2023.

7. 西村 海音、林 侑介、藤平 哲也、Cho Yongjin、Encomendero Jimy、Xing Huili (Grace)、Jena Debdeep, “スパッタアニール AlN 上 MBE ホモエピタキシャル層の成長条件探索と微細構造解析,” 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-52A-8, Sept. 2023.
8. 山口 将矢、嶋田 章宏、今井 康彦、藤平 哲也、林 侑介、橋詰 保、隅谷 和嗣、木村 滋、酒井 朗, “AlGaIn/GaN HEMT 動作下におけるナノ秒応答格子変形の支配因子の解析,” 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-52A-12, Sept. 2023.
9. 山本 遼平、林 侑介、藤平 哲也、酒井 朗, “4 端子平面型 TiO_{2-x} メモリスタの微細化とパブプロフ型条件付け次元拡張,” 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-31A-6, Sept. 2023.
10. 山下 真矢、林 侑介、藤平 哲也、酒井 朗, “アモルファス GaO_x を用いた 4 端子クロスバーアレイメモリスタの開発と抵抗変化特性,” 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-31A-7, Sept. 2023.
11. 小泉 優紀、三宅 亮太郎、林 侑介、藤平 哲也、酒井 朗, “4 端子平面型 TiO_{2-x} メモリスタにおける酸素空孔挙動の有限要素法解析,” 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 21a-A307-6, Sept. 2023.
12. 谷口 翔太、林 侑介、藤平 哲也、隅谷 和嗣、今井 康彦、木村 滋、岩谷 素顕、三宅 秀人、酒井 朗, “AlGaIn 系 UV-B 波長レーザダイオードの深さ分解ナノビーム X 線回折,” 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-B101-10, Sept. 2023.
13. 尾鍋 友毅、武 振東、藤平 哲也、林 侑介、隅谷 和嗣、今井 康彦、木村 滋、内藤 貴大、浜屋 宏平、酒井 朗, “歪み SiGe スピントロニクスデバイスにおける局所歪み分布解析,” 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 23p-A602-3, Sept. 2023.

[その他]

該当なし

外部資金獲得状況・申請状況：

研究代表者：林侑介

科学研究費補助金・国際共同研究強化(B) (2022-2026)

科学研究費補助金・基盤研究 B (2023-2026)

大阪大学 データビリティフロンティア機構 学際共創プロジェクト (2023-2024)

池谷科学技術振興財団 (2023-2024)

参考となる HP 等：

<http://www.nano.ee.es.osaka-u.ac.jp/>