

課題番号 : F-20-WS-0152
利用形態 : 共同研究
利用課題名(日本語) : 高性能ワイドバンドギャップ半導体素子、熱電デバイスおよび神経細胞回路の研究
Program Title (English) : Studies on high-performance wide-bandgap semiconductor devices, thermoelectric generators, and neuronal networks
利用者名(日本語) : 平岩篤¹⁾、富田基裕²⁾、服部晃平²⁾
Username (English) : A. Hiraiwa¹⁾, M. Tomita²⁾, K. Hattori²⁾
所属名(日本語) : 1)名古屋大学未来材料・システム研究所
2)早稲田大学大学院基幹理工学研究科電子物理システム学科
Affiliation (English) : 1) Inst. Mater. Sci. Syst. Sustain. (Tokyo Branch), Nagoya Univ.
2) Graduate School Fund. Sci. Eng., Waseda Univ.
キーワード/Keyword : 電気計測、成膜・膜堆積、熱処理

1. 概要(Summary)

ワイドバンドギャップ半導体基板上に金属絶縁膜半導体(MIS)型キャパシタおよび同型電界効果トランジスタ(MISFET)を作成し、その特性を測定した。また、基板表面加工・改質を用いた神経細胞回路の構築と数理解析を行うとともに、Si 相補型金属酸化膜半導体(CMOS)技術を用いて熱電素子の設計と作成を行いその特性を評価した。ここでは、2020年8月から2021年1月までの期間に得た結果の内、GaN MIS キャパシタのバイアス安定性に関する結果について報告する。その他結果に関しては、その文献を項番4および5に一覧にて示す。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

アトミックレイヤデポジション(ALD)装置、イオンビームスパッタ装置、半導体パラメータアナライザ、高耐压デバイス測定システム、FE-SEM、ICP-RIE、電子ビーム描画装置。

【実験方法】

(0001)GaN ホモエピ基板上に H₂O を酸化剤とし基板温度 200°Cもしくは 450°Cにおいて原子層堆積(ALD)法により Al₂O₃ 膜を形成した。膜厚はそれぞれ 41nm、32nm である。ついで、600°Cないし 900°Cの 4%水素雰囲気(Ar ベース)中において熱処理(PDA)を 30 分間行った後、抵抗加熱法により Al をマスク蒸着することによりゲート電極を形成した。最後に、イオンビームスパッタリング法により裏面のエッチングと Ti/Au からなるオーミック電極の形成を行い MIS キャパシタを完成させた¹⁾。

作成した MIS キャパシタのバイアス安定性を評価する

ために、一定電圧の印加と容量電圧($C-V$)特性の測定を反復することによりフラットバンド電圧の変化を経時的に測定した。これは絶縁破壊信頼性試験における経時的絶縁破壊(TDDDB)法に相当し、経時的バイアス不安定(TDBI)法と称することにした。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

3.1 本検討の背景

ワイドバンドギャップ半導体を用いた MISFET のゲート絶縁膜には ALD-Al₂O₃ 膜が有望であるが、その実用化には半導体基板との界面に生ずる準位の低減と各種信頼性の確保が課題である。中でもバイアス安定性の改善が重要である。ここでは、昨年の Si 素子における結果²⁾を元に、より実用的な GaN 素子を用い PDA によるバイアス安定性の改善効果を、従来の TZBI 法および定量性に優れた上記 TDBI 法を用いて検討した¹⁾。

3.2 GaN 素子のバイアス安定性に関する検討結果

Si 素子の場合と同様、高温(450°C)にて形成した Al₂O₃ 膜の方が電圧ストレスによるフラットバンド電圧の増加量が少ない(Fig.1)。なお、同図においては、従来と同じ TZBI 法によりバイアス安定性を比較した。また、この高温膜形成は、PDA により Al₂O₃ 膜に生ずる発疹状膨潤(ブリストア、blister)を抑止する上でも有効である(Fig. 2、PDA 温度 700°Cの結果)。その理由は、ブリストアは未反応基として膜中に含まれるメチル基が PDA により凝集するために生ずるが、ALD 温度が高いと同メチル基が減少するためである。

上記結果をもとに 450°Cにて形成した Al₂O₃ 膜に対し PDA を行った結果を Fig. 3 に示す。電圧ストレスによるフラットバンド電圧の増加量が PDA 温度とともに減少しており、PDA がバイアス安定性の向上に有効であることが分る。

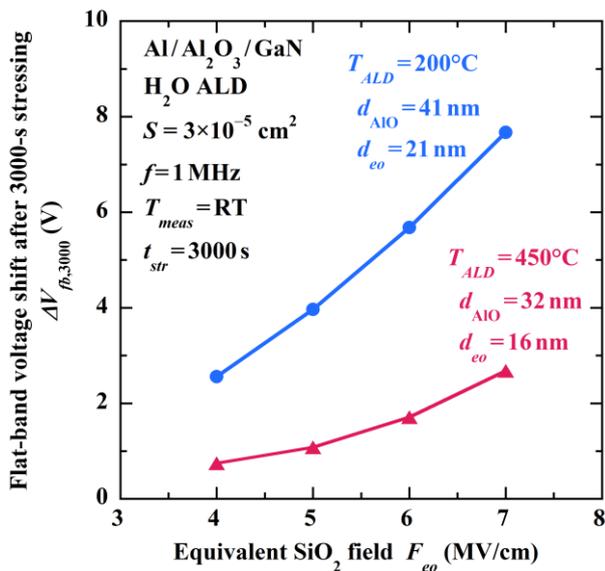


Fig. 1 Flat-band voltage shifts of Al/Al₂O₃/GaN capacitors for ALD temperatures of 200°C and 450°C. No PDA was applied here.

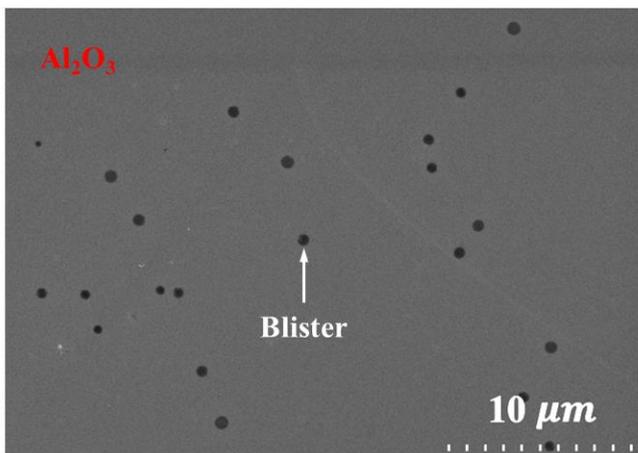


Fig. 2 Optical microscope image of an Al₂O₃ film formed at 200°C and subsequently annealed at 700°C.

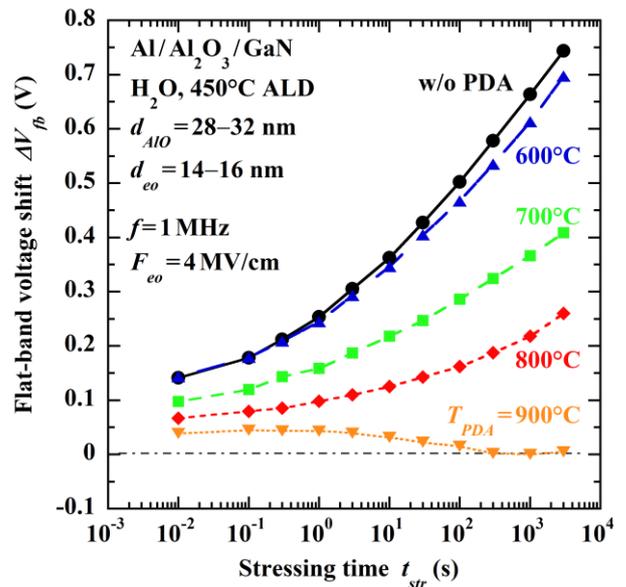


Fig. 3 Flat-band voltage shifts of Al/Al₂O₃/GaN capacitors for PDA temperatures of 600–900°C. ALD temperature was 450°C.

SSDM2020, Online, Sept. 28, 2020.

- (2) Y. Nameki, A. Hiraiwa, H. Kawarada, et al., SSDM2020, Online, Sept. 28, 2020.
- (3) M. Arai, K. Kudara, S. Imanishi, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, SSDM2020, Online, Sept. 30, 2020.
- (4) N. Niikura, A. Hiraiwa, H. Kawarada, et al. SSDM2020, Online, Sept. 28, 2020.
- (5) 太田康介、平岩 篤、川原田 洋、他、第 81 回秋季応物、オンライン開催、2020 年 9 月 8 日。
- (6) 平岩 篤、堀川 清貴、大久保 智、川原田 洋、第 81 回秋季応物、オンライン開催、10p-Z04-8、2020 年 9 月 10 日。
- (7) K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, Biosystems **198**, 104278 (2020).

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。

4. その他・特記事項 (Others)

・共同研究者

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 佐々木敏夫

・参考文献

- 1) K. Horikawa, S. Okubo, H. Kawarada, and A. Hiraiwa, J. Vac. Sci. Technol. B **38**, 062207 (2020).
- 2) NTRC 課題番号 F-19-WS-0122 報告書 (2019.10.31)。

・関連文献

- (1) Y. Suzuki, A. Hiraiwa, H. Kawarada, et al.,