

課題番号 : F-18-WS-0095  
 利用形態 : 技術代行  
 利用課題名(日本語) : GaN 系デバイスの信頼性評価  
 Program Title (English) : Reliability assessment of GaN devices  
 利用者名(日本語) : 平岩篤  
 Username (English) : Atsushi Hiraiwa  
 所属名(日本語) : 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構  
 Affiliation (English) : Research Organization for Nano & Life Innovation, Waseda Univ.  
 キーワード/Keyword : 電気計測、原子層堆積法(ALD)、ゲート絶縁膜、経時的絶縁破壊特性

## 1. 概要(Summary)

GaN および比較用に Si と  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を半導体基板に用い原子層堆積(ALD)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜をゲート絶縁膜とする金属絶縁膜半導体(MIS)型キャパシタを作成し、その界面特性および信頼性について検討している。その一環として、Si-MIS キャパシタの経時的絶縁破壊(TDDDB)特性に関して一昨年度に得た知見<sup>1)</sup>を元に、昨年度より GaN-MIS キャパシタの TDDDB 特性およびバイアス不安定性を検討してきた。ここではそのうち TDDDB 特性について報告する<sup>2)</sup>。

## 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、電子ビーム蒸着装置、低電圧・低電流測定装置。

### 【実験方法】

2 $\mu\text{m}$  厚の  $n$  型ホモエピタキシャル膜(Si ドープ,  $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ )を有する GaN 自立基板を用い、前洗浄、ALD による  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜形成(32–41nm), Al のマスク抵抗加熱蒸着、裏面へのイオンビームスパッタリング・蒸着を順次行い、MIS キャパシタを作成した。ALD の酸化剤は  $\text{H}_2\text{O}$  もしくは  $\text{O}_3$ , 温度は  $200^\circ\text{C}$  もしくは  $450^\circ\text{C}$  とし、4 種類の試料を作成した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

### 3.1 本検討の背景

GaN 等を用いた MIS 型電界効果トランジスタ(MISFET)においては定評のある熱酸化  $\text{SiO}_2$  膜をゲート絶縁膜として形成することができず、これに代わり ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜が有望である<sup>3)</sup>。同膜の実用化を推進する上で各種信頼性の確保が課題であり、中でも絶縁破壊信

頼性が重要である。

### 3.2 実験結果とその考察

TDDDB 特性の測定においては、ゲート電極に一定の電圧を付加し流れる電流を経時的に測定した(定電圧法)。一例として酸化剤に  $\text{H}_2\text{O}$  を用い  $450^\circ\text{C}$  にて  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜を形成した試料の室温における結果を Fig. 1 に示す。Si 上と同様、電流は時間とともに単調に減少した後に急増し絶縁破壊に至った。その間、不規則に電流が増減する所謂ソフトブレイクダウン現象が生ずることもなく、良好な絶縁性を示した。

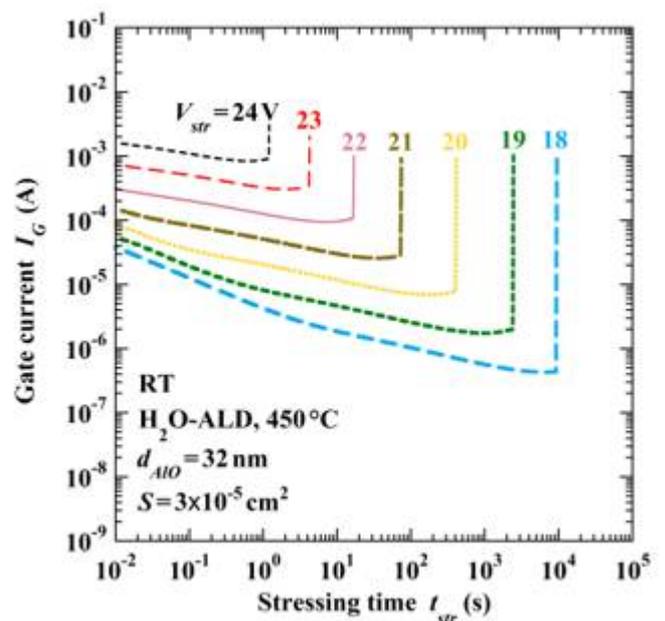


Fig. 1 Conduction currents in ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  MIS capacitors under constant voltages at RT.

このように測定した絶縁破壊時間の分布の一例を、Fig. 2 に累積度数  $F$  のワイブルプロットにより示す。ここでも Fig. 1 と同じ ALD 条件で作成した試料を用い室温において測定した結果を示す。いずれのストレス電圧に対しても、傾きの小さい所謂外因性破壊が少なく、傾きの大き

な摩耗破壊が主体である。その傾きを表す形状因子は室温における測定に対して 3-8, 200°C に対して 7-30 であり, パーコレーション理論<sup>4),5)</sup> による  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  の値 18 と比較し特に高温において遜色がなく, この点からも信頼性の高いことが分かる。

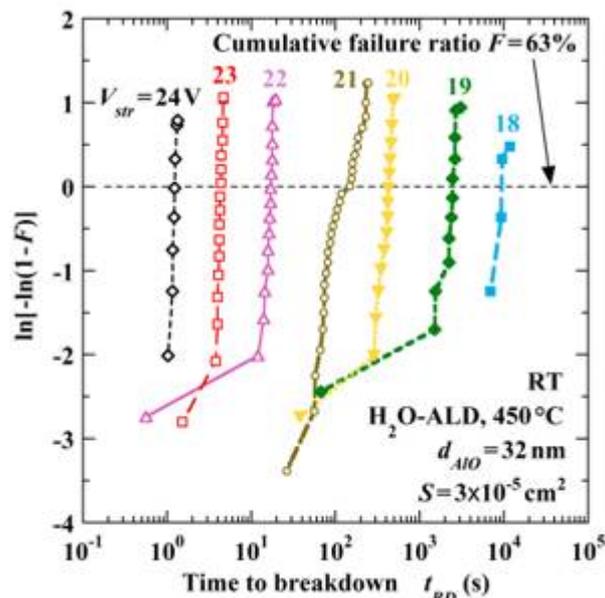


Fig. 2 Weibull plots of times to breakdown of ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  capacitors measured at RT.

通例に従い上記累積度数が 63%となる絶縁破壊時間を絶縁破壊寿命と定義し, ストレス電界強度の関数として Fig. 3 に示す。ここでは, ALD における酸化剤と温度の異なる 4 種類の試料に対する結果を比較して示す。なお, 電界強度には熱酸化  $\text{SiO}_2$  換算の値を用いているが, これは誘電率の異なる絶縁膜の間で MISFET の特性を揃えて比較するためである。測定温度は 200°C である。絶縁破壊寿命はストレス電界強度の指数関数であり, 低電界側に外挿した値は  $\text{H}_2\text{O}$  形成膜の方が長く, 同膜では高温形成膜の方が長寿命であることが分かる。目標とする 20 年の寿命を保証するためには, ある程度の余裕をもたせ動作時の電界強度を 3 MV/cm 以下とするのが望ましい。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

##### ・参考文献

- 1) 課題番号 F-16-WS-0041 報告書 (2017.3.7).
- 2) A. Hiraiwa, et al., JAP 123, 155303 (2018).
- 3) A. Hiraiwa, et al., JAP 117, 215304 (2015).
- 4) J. H. Stathis, J. Appl. Phys. 86, 5757 (1999).

- 5) J. Suñé, IEEE Electron Device Lett. 22, 296 (2001).

##### ・関連文献

- (1) A. Hiraiwa, T. Sasaki, S. Okubo, K. Horikawa, and H. Kwarada, J. Appl. Phys. 123, 155303 (2018).
- (2) 平岩 篤, 大久保 智, 堀川 清貴, 川原田 洋, 第 79 回秋季応物学会, 名古屋, 19p-CE-6, 2018 年 9 月 19 日。
- (3) A. Hiraiwa, T. Sasaki, S. Okubo, and H. Kwarada, 2018 MRS Fall Meeting, Boston, EP08.05.03.
- (4) A. Hiraiwa, iLIM-3, Tokyo, I-11 (2018).
- (5) 平岩 篤, 大久保 智, 堀川 清貴, 川原田 洋, 第 66 回春季応物学会, 東京, 9a-M121-1, 2019 年 3 月 9 日。

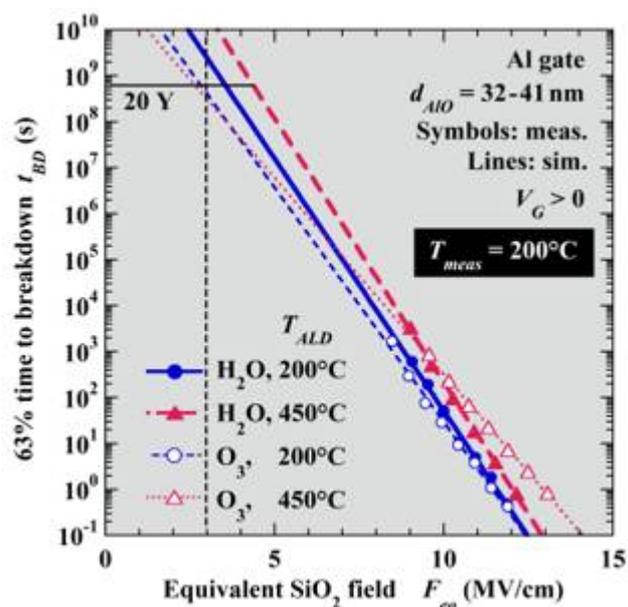


Fig. 3 Breakdown lifetimes of ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  MIS capacitors at 200°C vs. equivalent oxide field.

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。