

課題番号 : F-17-WS-0093  
 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 : 電気特性、MIS 型キャパシタ、ALD 装置、酸化膜経時破壊特性

### 1. 概要(Summary)

GaN および Si(基礎データ取得用)を半導体基板に用い原子層堆積(ALD) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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、その各種信頼性を測定した。Si-MIS キャパシタの経時的絶縁破壊(TDDDB)特性に関して昨年度得た知見を元に今年度は GaN-MIS キャパシタの酸化膜経時破壊(TDDDB)特性を検討した。また、同 MIS キャパシタのバイアス不安定性およびその原因としての電気伝導特性についても検討した。これにより、従来低電界に限られていた電気伝導モデルを高電界領域にまで拡張した。

### 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、高性能分光膜厚測定装置、高耐圧デバイス測定装置、低電圧・低電流測定装置。

#### 【実験方法】

GaN 基板に合わせ n 型 Si 基板を用い、前洗浄、ALD による Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜形成、Al のマスク抵抗加熱蒸着(早大材研装置を使用)、裏面へのイオンビームスパッタリングによる製膜を順次行い、MIS キャパシタを作成した。上記 ALD には H<sub>2</sub>O を酸化剤に用い、450°C にて行った。形成膜の厚さを分光エリプソメータにて測定した結果は 32nm である。電流電圧(I-V)特性は、低電圧低電流測定装置を用い測定した。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

#### 3.1 本検討の背景

GaN 等、Si・SiC 以外の半導体を用いた MIS 型電界効果トランジスタのゲート絶縁膜には ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜が有望である<sup>1)</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、中でもバイアス不安定性が問題である。

これは素子動作に伴いしきい値電圧が変動し素子特性が劣化するという問題であり、ゲート絶縁膜を流れる電荷が膜中に捕獲されることが主な原因である。同不安定性を防止するためには、絶縁膜の電気伝導機構を明らかにすることが基本であり、本報告者等が提案した空間電荷制限電界放出(SCC-FE)過程によることを明らかにしてきた<sup>2-3)</sup>。しかし、その適用範囲が低電界領域に限られていた(Fig. 1 の黒い細線参照)ので今回改善を行った。

#### 3.2 実験結果とその考察

従来、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中帯電量がゲート電圧によらず一定(Fig.2 の黒い細線)であるとしていたが、今回、流れた電荷が捕獲されることにより帯電量が I-V 測定中に動的に変化する(Fig. 2 の黒い太線)として計算した結果を Fig.1 の黒い太線にて示す。同計算結果は全電圧範囲において測定結果(黒丸)と良く一致し、上記動的帯電モデルが妥当であることを示す。これにより、Fig. 1 において 8V 以上のゲート電圧に対してリーク電流の増加が緩慢になるの

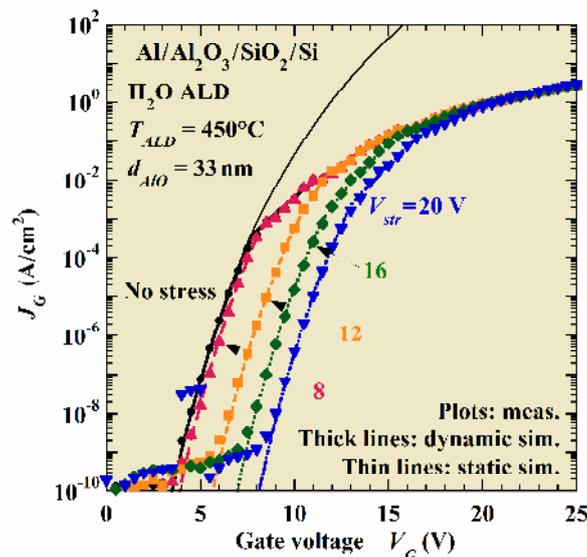


Fig. 1 Leakage currents in ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MIS capacitors as a function of gate voltage.

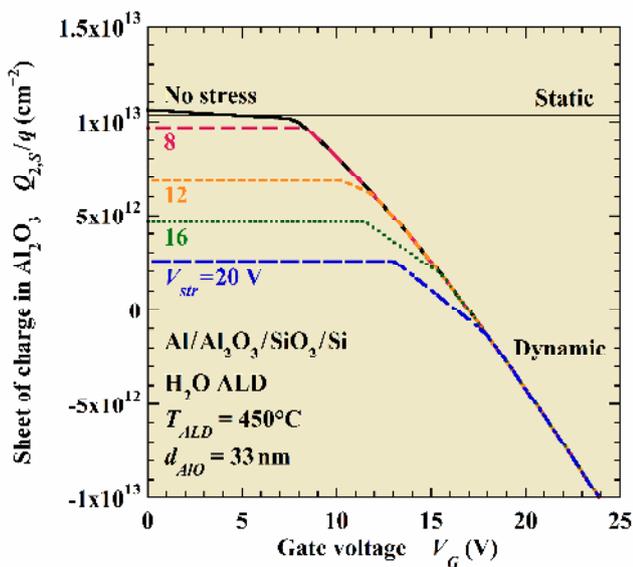


Fig. 2 Sheets of charge in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  assumed in the simulations of Fig. 1.

は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  中の負電荷が増加(正電荷が減少)するためであることが分かる。

動的帯電を別の視点から確認するために、 $I$ - $V$  測定を中断し最初(0V)から測定し直した結果を図1において黒丸以外のプロットにて示す。これらは、 $I$ - $V$  測定を中断した電圧が異なっており、中断時点での帯電状態を反映している。Fig. 1 に示すように、事前に付加した電圧の高いものほどゲート電圧の正方向にシフトしている。Fig. 1 の曲線は図2に示す帯電量を仮定して計算した結果であり、これらも測定結果と良く一致する。同 Fig. 2 より、事前にかけたストレス電圧の大きいものほど最初(0V)のゲート電

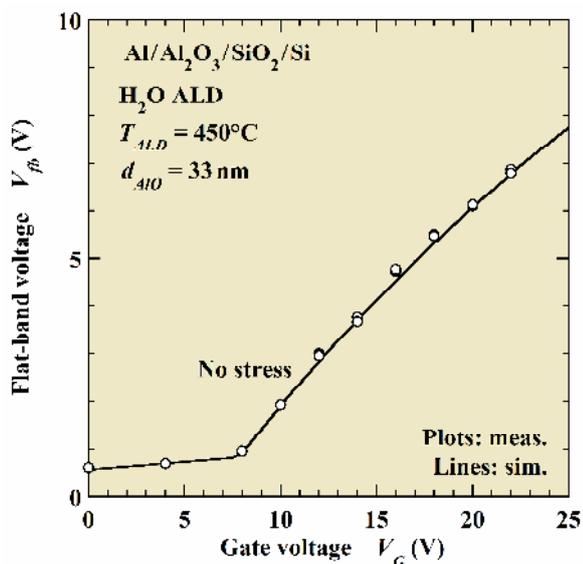


Fig. 3 Flat-band voltages of ALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$  MIS capacitors.

圧)から負電荷がより多く捕獲(正電荷がより多く放出)されていることが分かる。なお、これら負電荷の捕獲量は事前のストレス電圧から予想される値より少ないが、これは 2 回目の測定前もしくは測定中に一部が放電されたためと考える。

$I$ - $V$ 測定中における帯電量の変化は、Fig. 3 において中白の円にて示すようにフラットバンド電圧の変化をもたらす主因の一つとなっている。なお、同フラットバンド電圧は、図2の黒丸以外のプロットと同様、 $I$ - $V$  測定を中断して測定したものである。

### 3. 3 参考文献

- 1) A. Hiraiwa, et al., *JAP* **117**, 215304 (2015).
- 2) A. Hiraiwa, et al., *JAP* **119**, 064505 (2016).
- 3) A. Hiraiwa, et al., *JAP* **120**, 084504 (2016).

### 4. その他・特記事項(Others)

#### ・関連論文

- (1) 堀川 清貴、平岩 篤、大久保 智、蔭浦 泰資、川原田 洋、第 65 回春季応物学会、17a-F206-11、2018 年 3 月 17 日。
- (2) S. Okubo, D. Matsumura, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, 2017 MRS Fall Meeting, Boston, EM05.09.19.
- (3) 堀川 清貴、大久保 智、蔭浦 泰資、平岩 篤、川原田 洋、第 78 回秋季応物学会、5p-C11-11、2017 年 9 月 5 日。
- (4) 平岩 篤、大久保 智、堀川 清貴、川原田 洋、第 65 回春季応物学会、18p-C302-1、2018 年 3 月 18 日。
- (5) A. Hiraiwa, T. Sasaki, S. Okubo, K. Horikawa, and H. Kawarada, *J. Appl. Phys.*, submitted.
- (6) A. Hiraiwa, T. Sasaki, S. Okubo, and H. Kawarada, 2017 MRS Fall Meeting, Boston, EM.04.01.06.
- (7) A. Hiraiwa, S. Okubo, D. Matsumura, and H. Kawarada, iLIM-2, Nagoya, P-iLIM2-45 (2017).
- (8) 平岩 篤、佐々木 敏夫、大久保 智、川原田 洋、第 78 回秋季応物学会、5p-C17-9、2017 年 9 月 5 日。

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

なし。

### 6. 関連特許(Patent)

なし。