

課題番号 : F-16-WS-0079
 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) : 名古屋大学未来材料・システム研究所
 Affiliation (English) : Inst. Mater. Sci. Syst. Sustain., Nagoya Univ.

1. 概要(Summary)

GaN および Si(比較用)を半導体基板に用い原子層堆積(ALD) Al₂O₃ 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。本年度は基本となる Si-MIS キャパシタの経時的絶縁破壊(time-dependent dielectric breakdown、TDDB)特性の評価に注力した。その結果を元に、実使用電圧の下での ALD-Al₂O₃ 膜の絶縁破壊寿命を約 3000 年と推定した。

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

【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 Al₂O₃ 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・蒸着を順次行い、MIS キャパシタを作成した。上記 ALD は H₂O 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 32 nm である。TDDB 特性は、低電圧低電流測定装置および高温・高電圧測定装置を用い定電圧法により測定した。

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(MISFET)のゲート絶縁膜には ALD-Al₂O₃ 膜が有望である¹⁾。我々は別検討において、各種信頼性項目の内、主にリーク電流に着目し電気伝導機構²⁾を解明するとともに、ALD 温度³⁾、ALD に用いる酸化剤^{4,5)}、および成膜後の熱処理温度^{6,7)}が電気伝導特性に及ぼす影響を明らかにしてきた。本検討では、TDDB 特性の評価を行ってきた。ここでは、まず基本とな

る Si 基板を用いて得た結果について報告する。

3.2 実験結果

一定のストレス電圧の下、ALD-Al₂O₃ 膜のリーク電流は単調に減少しやがて絶縁破壊に至る(Fig.1)。ALD-SiN 膜にて報告⁸⁾されたようなソフトブレイクダウンは一切生じなかった。

Fig.2 に、絶縁破壊時間の累積確率 F とストレス時間との関係をワイブル(Weibull)プロットにて示す。大多数は形状パラメータ(shape parameter)の大きなワイブル分布に近い分布を有しており、磨耗的絶縁破壊の生じていることが分かる。言い換えると、外因性絶縁破壊が少なく、良好な絶縁特性を示している。

Fig.3 に、累積確率 63%(Fig.2 縦軸の 0)に対する絶縁破壊時間をストレス電圧の関数として示す。なお、同図においては他の結果との比較の便を考量し、電圧を Al₂O₃ 膜中の平均電界強度に変換して示してある。63% 絶縁破壊時間は、高電界領域を除きストレス電界強度の指数関数によりほぼ近似することができる。Si 素子において長く用いられてきた熱酸化 SiO₂ 膜においては、長期に使用した際に絶縁破壊が生ずるのを防ぐために、電界強度を 4MV/cm 以下とするのが設計指針となっていた。本検討の ALD-Al₂O₃ 膜の比誘電率は約 9 であり²⁾、SiO₂

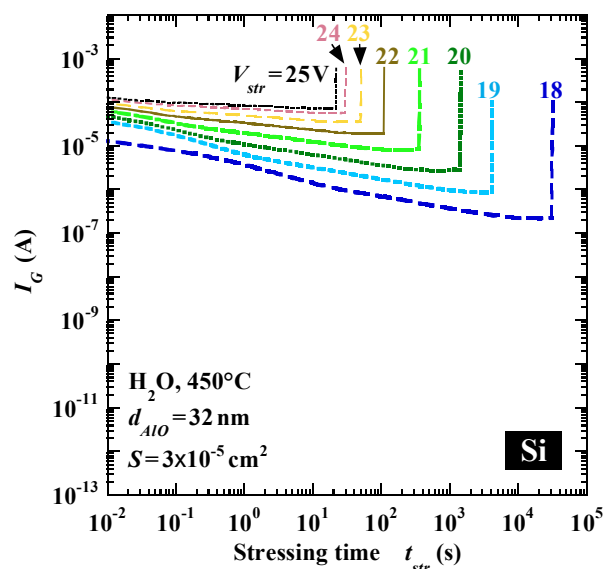


Fig. 1 Leakage current in ALD-Al₂O₃ MIS capacitors as a function of stressing time.

膜の値 3.9 の 2 倍以上である。素子特性は電界強度と比誘電率との積に依存するので、 Al_2O_3 膜の電界強度は半減させることができる。したがって、 2MV/cm での Al_2O_3 膜の絶縁破壊時間を外挿により求めると 3000 年となり、目標の 20 年を凌駕する。キャパシタ面積の増大、測定の高温度化により絶縁破壊時間が減少することを考量し、絶縁破壊時間の向上に向け検討を行っていく。

3.3 結果に対する考察

高ストレス電界に対する絶縁破壊時間が指数関数の関係から乖離するのは、ALD- Al_2O_3 膜中を流れる電流により Si 基板中において電圧降下が生じ、同膜に実際に付加された電圧が外部から見た電圧とは異なっていたことが一因であると推定する。今後、低抵抗基板を用いその当否を確認する。

4. その他・特記事項 (Others)

・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) 大久保 智、他、第 77 回秋季応物学会、15a-B9-2、2016 年 9 月 15 日。
- 5) NTRC 課題 F16WS-0024 報告書(2017.02.28)。
- 6) NTRC 課題 F16WS-0024 報告書(2016.10.19)。
- 7) A. Hiraiwa, D. Matsumura, S. Okubo, and H. Kawarada, *J. Appl. Phys.* **121**, 7, 074502 (2017).
- 8) T.-L. Wu, et al., 2015 IRPS, 6C.4.1-6.

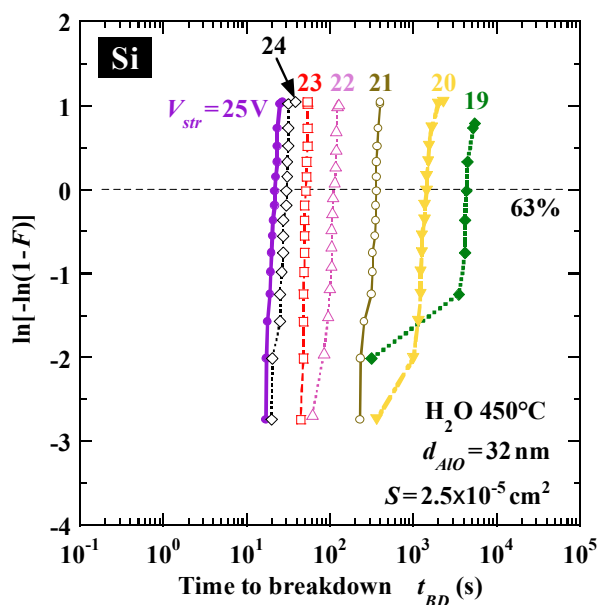


Fig. 2 Weibull plots of times to breakdown of ALD- Al_2O_3 MIS capacitors.

・関連文献

- (1) 大久保 智、松村 大輔、平岩 篤、川原田 洋、第 77 回秋季応物学会、15a-B9-2、2016 年 9 月 15 日。
- (2) 大久保 智、松村 大輔、平岩 篤、川原田 洋、第 64 回春季応物学会、16a-413-7、2017 年 3 月 16 日。
- (3) 平岩 篤、佐々木 敏夫、大久保 智、松村 大輔、川原田 洋、第 64 回春季応物学会、15p-315-3、2017 年 3 月 15 日。
- (4) A. Hiraiwa, D. Matsumura, S. Okubo, and H. Kawarada, *J. Appl. Phys.* **121**, 7, 074502 (2017).
- (5) A. Hiraiwa, D. Matsumura, and H. Kawarada, 2016 MRS Fall Meeting, Boston, EM.11.3.08.
- (6) A. Hiraiwa, D. Matsumura, S. Okubo, and H. Kawarada, iLIM-1, Osaka, PT-70 (2016).
- (7) 平岩 篤、早大材研オープンセミナー、2016 年 11 月 14 日。
- (8) 平岩 篤、松村 大輔、川原田 洋、第 77 回秋季応物学会、15a-B9-3、2016 年 9 月 15 日。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。

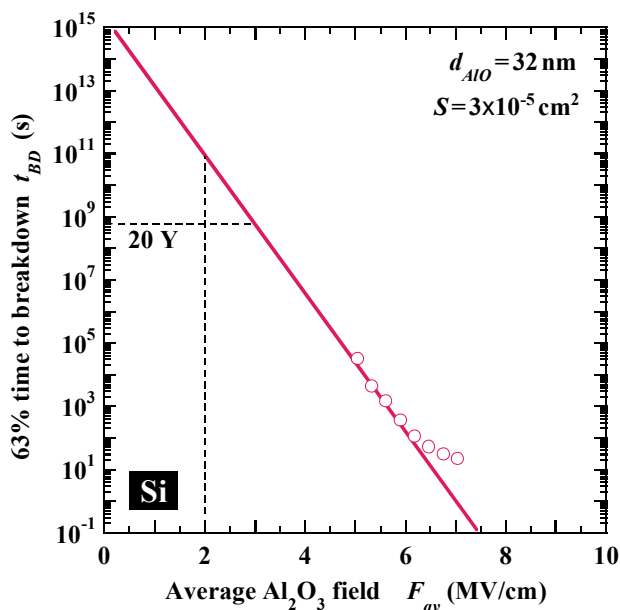


Fig. 3 63% time to breakdown of ALD- Al_2O_3 MIS capacitors as a function of the average field in ALD- Al_2O_3 films.