

成膜後熱処理の最適化による原子層堆積 Al_2O_3 膜バイアス安定性の向上

Optimized post-deposition annealing for improved bias stability of atomic-layer-deposited Al_2O_3 films

早大理工¹, 早大ナノ・ライフ², 早大材研³, 名大未来研⁴

○(B)堀川 清貴¹, 平岩 篤^{2,4}, (M)大久保 智¹, (D)蔭浦 泰資¹, 川原田 洋^{1,3}

Fac. Sci. Eng. Waseda Univ.¹, RONLI, Waseda Univ.², KMLMST, Waseda Univ.³, IMASS, Nagoya Univ.⁴

○(B)K. Horikawa¹, A. Hiraiwa^{2,4}, (M)S. Okubo¹, (D)T. Kageura¹ and H. Kawarada^{1,3}

- 緒言** Si以外の半導体素子におけるゲート絶縁膜には原子層堆積(ALD) Al_2O_3 膜が有望である[1]。その実用化に向けた課題の一つにバイアス不安定性(BI)がある。これは、電圧ストレスにより Al_2O_3 膜が帯電し、その結果フラットバンド電圧(V_{fb})すなわち閾値電圧が変動するという問題である。前回、 V_{fb} 変動に対する Al_2O_3 膜形成後熱処理(PDA)の効果を検討し、酸化膜換算電界強度(equivalent SiO_2 field; F_{eo})4MV/cmの電圧ストレスによる V_{fb} 変動が高温のPDAにより低減できることを報告した[2]。今回、さらに高いストレス電界($F_{eo}=5\sim 7\text{MV/cm}$)に対して検討するとともにBI低減に向けPDA温度の最適化を行った。
- 実験方法** (1) n 型(001)Si基板上にトリメチルアルミニウム及び H_2O を使用したALD法により 450°C にて Al_2O_3 膜を32nm形成した。その後、所定温度の4% H_2/Ar 雰囲気中において30分間PDAを施し、最後に抵抗加熱蒸着法によりAl電極を形成した。(2)リーク電流を測定しながらゲート電極に正の一定電圧を所定の時間印加した後に容量-電圧特性を測定するという操作を反復した。測定した電流を積算して得た注入キャリア量(N_{inj})と V_{fb} 変動量(ΔV_{fb})との関係を以下のKohlrusch-Williams-Watts(KWW)型補拡張指数関数[3]を用いてフィッティングした。なお、同式において t は累積ストレス時間、 $\Delta V_{fb,sat}$ は V_{fb} 総変動量(無限大の t に対する値)の推定値、 σ はトラップ捕獲断面積の中心値、 β は拡張指数(stretching exponent)である。

$$\Delta V_{fb} = \Delta V_{fb,sat} \langle 1 - \exp \left\{ -[\sigma N_{inj}(t, F_{eo})]^\beta \right\} \rangle \quad (1)$$

- 結果と考察** 図1に例示するように、 ΔV_{fb} の測定結果(中塗プロット:PDA無、中白プロット: 750°C PD)は補KWW関数(実線と破線)を用い高精度にフィッティングすることができる。同フィッティングにより求めた V_{fb} 総変動量($\Delta V_{fb,sat}$)は、ストレス電界とともに増加する(図2)。また、同変動量は 750°C のPDAにより大きく減少し実用上許容される水準に達するが、PDA温度がこれより高温になると高いストレス電圧に対して増加し低減効果が失われる。前回[2]報告したように 780°C 以上になるとALD- Al_2O_3 が結晶化することから、上記したBI低減効果の消失はこの結晶化に起因している可能性がある。
- 結言** 補KWW関数を用い V_{fb} 変動の飽和値を正確に推定することを可能にした。これにより、ALD- Al_2O_3 膜BIを低減するためにはPDAを結晶化直前の 750°C にて行うのが最も効果的であることを明らかにした。
【謝辞】本研究遂行に当たり、文部科学省「学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト」の支援を得た。【参考文献】[1] A. Hiraiwa, *J. Appl. Phys.* **119** (2016) 064505. [2]堀川 清貴, 第78回秋季応物学会, 5p-C11-1 (2017). [3] S. Zafar, *J. Appl. Phys.* **93** (2003) 9298.

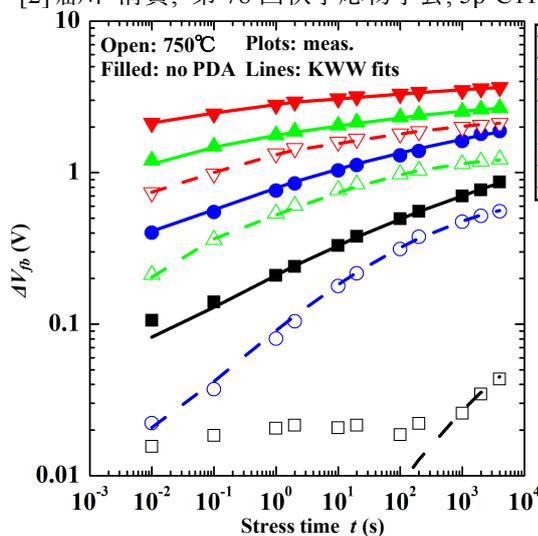


図1 V_{fb} 変動量と電圧ストレス時間の関係

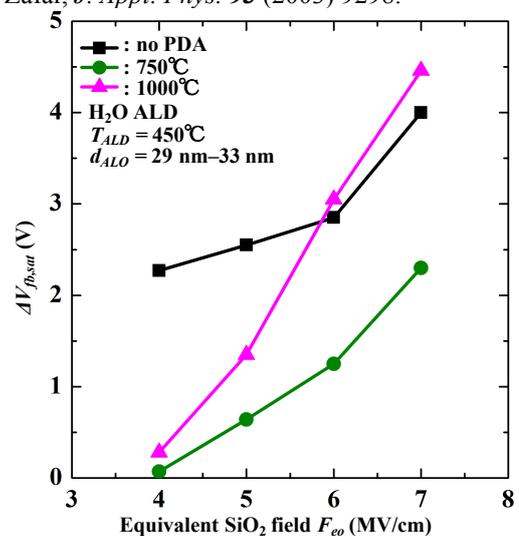


図2 補KWW関数を用いて解析した V_{fb} 総変動量