

Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 強誘電体膜の薄膜化と低温プロセス化の両立の検討

Compatibility of thinning and low temperature process for ferroelectric Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ films

東大工¹, °田原 建人, トープラサートポン カシディット, 竹中充, 高木信一

Univ. Tokyo, Faculty of Engineering, °K. Tahara, K. Toprasertpong, M. Takenaka, S. Takagi

E-mail: tahara@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【背景】 HfO₂ 系強誘電体は最初に報告されて以来^[1]、薄膜での強誘電体特性の発現や CMOS プロセスとの親和性の高さから注目されている。特にバックエンドプロセスでの FeRAM への応用の観点では、強誘電結晶相形成のための熱処理プロセスの低温化と低電圧動作のための薄膜化^[2]の両立が重要な鍵となる。そこで本研究では、TiN/Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂/TiN の MFM 構造のキャパシタを異なる膜厚とアニール条件にて作製し、薄膜化と低温プロセス化の両立の可能性について調査を行なったので報告する。

【実験手法】 作製した MFM キャパシタの構造を Fig.1 に示す。高濃度 p 型 Si 基板((100)面, N_a ≈ 1.7 × 10²⁰ cm⁻³) 上に DC スパッタリング法で下部及び上部電極として TiN を、ALD 法 (基板温度 300°C) を用いて Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ を、堆積した。結晶化アニールとして N₂ 雰囲気下で 30 秒の RTA を 300~600°C の異なる温度で行いコンタクト電極及び裏面電極として Al を熱蒸着させた。電気評価は電界 4 MV/cm、(3 nm のサンプルのみ 5 MV/cm) 周波数 10 kHz のパルスを用いた。波形は Wake-up には矩形波を印加し、分極特性の測定には三角波を用いて行なった。

【結果と考察】 500°C で熱処理を行なった 4 nm の Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ の 10⁶ サイクルの Wake-up 前後の分極特性の結果を Fig.2 に、450°C で熱処理を行なった 8 nm は 4.6 × 10³ サイクル前後の結果 Fig.3 に示す。どちらも Wake-up によって分極量の増大が見られるが、4 nm のサンプルほどその影響が顕著に現れた。また Wake-up 後に残留分極量を 2P_r > 10 μC/cm² とするために必要な RTA 熱処理温度の低温下限値と Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 膜厚の関係の実験結果を Fig.4 にまとめる。この結果から、Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 膜厚が 5 nm 以下になると、強誘電相を得るために必要な結晶化アニールでは、薄膜ほど高い温度が必要となることが分かった。

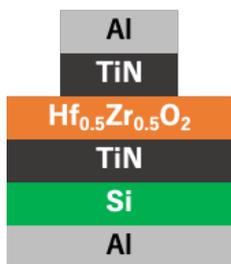


Fig. 1 Device structure

【結論】 TiN/ Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂/TiN の MFM キャパシタでは、5 nm 以下の Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 膜厚では、薄膜ほど強誘電結晶相に発現に必要な熱処理温度が上昇すること、良好な残留分極量を得るためには Wake-up が必要であることが分かった。

【謝辞】 本研究は、JST, CREST, JPMJCR20C3 と文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム (JPMXP09A20UT0056) の支援を受けたものである。

【参考文献】 [1] T. S. Böscke et al, Appl. Phys. Lett. **99** 102903 (2011) [2] D. Lehninger et al., Phys. Status Solidi A, 217, 1900840 (2020) [3] X. Lyu et al., VLSI Tech, T44 (2019)

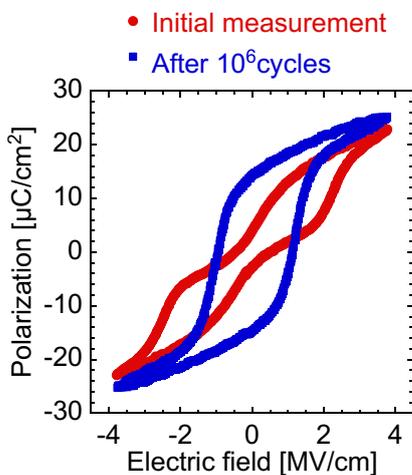


Fig. 2 P-V characteristics of 4 nm-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂

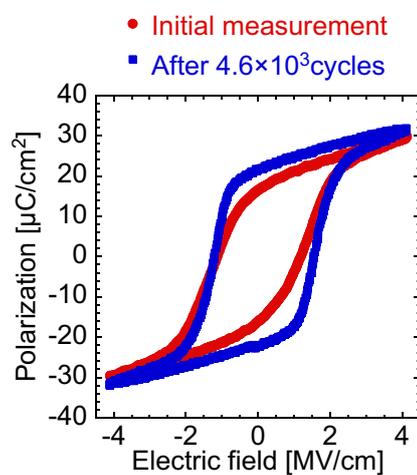


Fig. 3 P-V characteristics of 8 nm-Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂

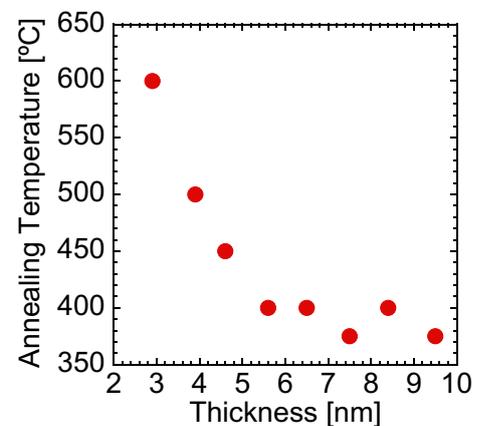


Fig. 4 Lowest annealing temperature to achieve 2P_r > 10 μC/cm² as a function of Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ thickness