

強誘電性 HfO₂ 膜における分極ドメインの減衰

Decay of polarization domain in ferroelectric HfO₂ film

○柴山 茂久^{1,2}、徐 倫¹、右田 真司³、鳥海 明¹ (1. 東大院工、2. 学振特別研究員、3. 産総研)

○Shigehisa Shibayama^{1,2}, Lun Xu¹, Shinji Migita³, and Akira Toriumi¹

(1. The Univ. of Tokyo, 2. JSPS research fellow PD, 3. AIST)

E-mail: shibayama@adam.t.u-tokyo.ac.jp

【研究背景】 近年 HfO₂ が強誘電性を示し、強誘電性を示し得る結晶構造が、反転対称性のない直方晶 (Pca2₁) であると報告されている[1,2]。しかしながら HfO₂ では、直方晶のような高対称相は熱力学的に準安定状態なので、HfO₂ 膜中には様々な結晶相およびドメイン境界が存在すると考えられる。こうした多数のドメインおよびドメイン境界の存在により、HfO₂ 強誘電体薄膜の信頼性劣化が引き起こされる可能性が示唆される。信頼性の向上には、HfO₂ 膜中の分極ドメインの安定性や減衰ダイナミクスの解明が重要である。本研究では、分極ドメインを直接観察するために、ナノメートルスケールの観察が可能な、ピエゾ応答力顕微鏡 (PFM) に着目した。強誘電性 HfO₂ 膜の分極ドメインを観察し、その減衰ダイナミクスを報告する。

【結果および議論】 スパッタリング法を用いて約 30 nm のノンドープ HfO₂ 膜を形成し、600 °C、30 s の熱処理を施した。分極-電界測定から、HfO₂ 膜が強誘電性を示すことを確認した (*not shown*)。本試料を用いて PFM 観察を行った。AC 電圧は約 1 V とし、探針の共振周波数は約 300 kHz とした。3×3 μm² の領域を DC 電圧 (V_{DC}) = +6.5 V において掃引後、同領域内にて、様々な面積の正方形領域を、V_{DC} = -6.5 V において掃引した。その後、探針を試料から遠ざけて、数分間待機した (Fig. 1(a))。待機後、V_{DC} = 1.0 V として、3×3 μm² の領域を掃引した。Fig. 1(b)は、掃引によって得られた Phase 像の一部である。+6.5 V および -6.5 V を印加した領域において、180°の位相反転が観察されたので、PFM 観察からも、HfO₂ が強誘電性を示していると言える。また待機時間の増大にともなって、正方形の角が丸まり、円形に近づいている。このことから、分極ドメインの減衰は、正方形端よりも正方形の角の方が早いと言える。これは LiTaO₃ というペロブスカイト構造の強誘電体でも報告されているように、ドメインウォールエネルギーの最小化を考慮することで説明されると考えられる[3]。一方、180 min 間待機した後では、円が小さくなるだけでなく、円内部においても分極領域が減少している。この結果は HfO₂ 薄膜の分極ドメイン自体の不安定性を示唆している。HfO₂ の強誘電性の信頼性向上のためには、HfO₂ 膜中の分極ドメイン自体のさらなる安定化が重要である。本研究は JST-CREST の支援を受けて行われた。

[1] J. Müller *et al.*, J. Appl. Phys. **110**, 114113 (2011). [2] X. Sang *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 162905 (2015).

[3] X. Liu *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89**, 142906 (2006).

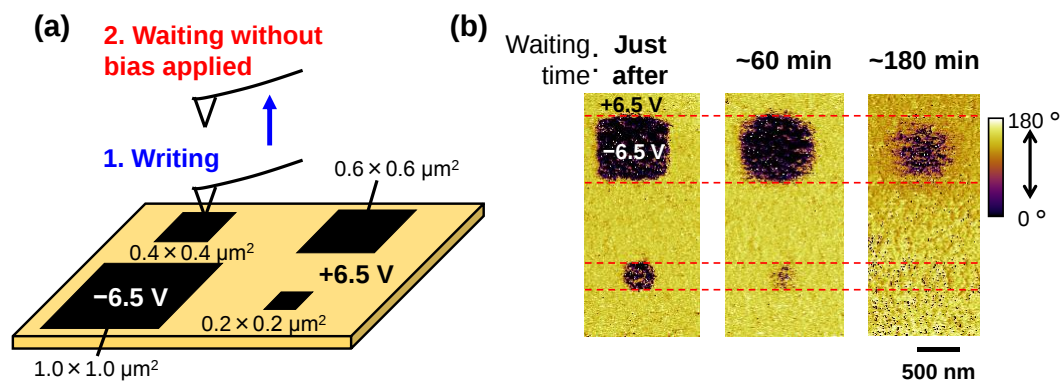


Fig. 1(a) Schematic diagram of PFM measurement. At first, V_{DC} = 6.5 V was applied in 3×3 μm². Then, V_{DC} = -6.5 V was applied in 1×1 μm², 0.6×0.6 μm², 0.4×0.4 μm², and 0.2×0.2 μm², sequentially. After that, cantilever was raised up from the surface not to apply the bias and we waited for several minute. Finally, 3×3 μm² was scanned again at V_{DC} = 1.0 V. In all scans, V_{AC} was set to be 1.0 V. (b) PFM phase images of without waiting and waiting time for about 60 min and 180 min. It was found the 180° phase difference and shape transformation from square to circle with increasing waiting time.