強誘電性 Hf02 膜における局所内部電界に起因する分極の不均質性 Polarization inhomogeneity due to local internal field in ferroelectric HfO2 film ^o柴山 茂久^{1,2}、徐 倫¹、田 璇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)

^oShigehisa Shibayama^{1,2}, Lun Xu¹, Xuan Tian¹, Shinji Migita³, and Akira Toriumi¹

(1. The Univ. of Tokyo, 2. JSPS, and 3. AIST)

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

[研究背景] 高誘電率ゲート絶縁膜として、既に CMOS テクノロジーに実用化されている HfO₂ は、第三元素ドーピングや膜厚制御により、強誘電性を発現する[1,2]。HfO₂の強誘電相は現状、 準安定相の Orthorhombic (Pca2₁)と考えられており[3]、この構造は酸素空孔の導入によって安定 化されるため、HfO₂膜における強誘電性の強さは、面内において不均質であると予測される。本 研究では、ピエゾ応答力顕微鏡 (PFM)を用いて、強誘電性 HfO₂膜のドメイン構造の観察を行っ た。その結果、強誘電性 HfO₂膜の内部には、内部電界の異なる領域が数十ナノメートルスケール で内包されており、それが分極の不均質性を引き起こしていることを明らかにした。

[結果および議論] RFスパッタリング法を用いて、約26 nmのYドープHfO2膜(Y濃度: 3.1 at.%) を形成し、600°C、30sの熱処理を施した。本試料の強誘電性を分極-電界測定で確認し(not shown)、 同試料に対して PFM 観察を行った。PFM 観察では、VAc=0.7 V、共振周波数を約 280 kHz とした。 V_{DC}=-7.0Vの書き込み処理後、V_{DC}=1.0Vで、分極情報の読み取りを行った。Fig.1は読み取りス キャンの Phase 像である。Fig. 1 では、青色領域と赤色領域が混在している。これは強誘電性の HfO2 膜内に、容易に分極反転を起こす領域が存在し、書き込んだ領域においても、単一ドメイン 構造が形成されていないことを示している。この青領域と赤領域を無作為に選び、局所領域の位 相-電圧(P-V)特性の測定を行った。Fig.2は、Fig.1中の赤(A)および青(B)の領域における P-V特性である。共に180度の位相反転が見えているので、YドープHfO2は面内全域で強誘電性 を示している。一方、位相ヒステリシス幅はほぼ同じであるが、位相の電圧方向のシフトが確認 できる。これは、HfO2膜内部における内部電界の異なる領域の存在を示唆している。内部電界が 存在するとき、強誘電体の二重井戸ポテンシャル構造が非対称形となり、その結果、片方の分極 方向が安定化する(Fig. 3)。つまり強誘電体 HfO2の内部では、こうした内部電界の異なる領域が 数十 nm スケールで局所的に分布しており、その分布が面内における分極の不均質性を引き起こ していると考えられる。内部電界の起源については、HfO2 膜中に存在する酸素空孔が作る局所場 の可能性が高いと考えている。強誘電性 HfO2の電子デバイス応用を考えると、強誘電性をナノス ケールで均一に発現しなければならない。そのためには、HfO2 膜中の酸素空孔濃度や分布の制御 に着目したドーピング技術の確立が重要であると考えられる。

本研究はJST-CREST の支援を受けて行われた。

[1] U. Schroeder et al., JJAP 53, 08LE02 (2014). [2] T. Nishimura et al., JJAP 55, 08PB01 (2016).

[3] X. Sang et al., APL 106, 162905 (2015). [4] S. Jesse et al., APL 88, 062908 (2006).



Fig. 1 PFM phase image of 250×250 nm² after poling with V_{DC} =-7.0 V. Reading scan was carried out at V_{DC} = 1.0 V which is determined to suppress the electrostatic effect as well as possible.



Fig. 2 Local phase-voltage curve measured by switching spectroscopy method in the area A and B in Fig. 1 [4].



Fig. 3 Double well potential with and without internal field in ferroelectric material. Potential shape is given by Ginzburg Landau equation.