

HfO₂ 系強誘電体膜の絶縁破壊箇所の電子状態: レーザー励起光電子顕微鏡

Electronic structure of the breakdown area in a HfO₂-based ferroelectric film:

Laser-based photoemission electron microscopy

東大物性研¹, 東大生産研², 東大 d.lab³, 東大新領域⁴, 東大 MIRC⁵, 東大特別教授室⁶

○ 藤原 弘和¹, 糸矢 祐喜², 小林 正治^{2,3}, Cédric Bareille^{4,5}, 辛 埴^{5,6}, 谷内 敏之^{4,5}

Thg University of Tokyo, ○ Hirokazu Fujiwara, Yuki Itoya, Masaharu Kobayashi, Cédric Bareille,

Shik Shin, and Toshiyuki Taniuchi

E-mail: hfujiwara@issp.u-tokyo.ac.jp

Zr:HfO₂ (HZO) は 400 °C 以下の低い結晶化アニール温度で強誘電性を示すため、BEOL プロセス互換の強誘電体メモリデバイスへの応用が期待される [1]。HZO を用いた典型的な強誘電体キャパシタでは、分極反転を繰り返すと残留分極の増加および減少を経て、絶縁破壊 (Dielectric Breakdown: DB) を起こす [2]。一度 DB が起こると分極反転が困難になる。DB の発生機構を解明することで、強誘電体メモリデバイスのより高い耐久性に繋がることを期待される。

レーザー励起光電子顕微鏡 (laser-PEEM) は、物質の仕事関数と同程度の光子エネルギーを持つ励起光を利用することで、表面から 50 nm 以上の深さの電子状態分布を観察可能な顕微イメージング手法である [3]。これまでに、HfO₂ 系強誘電体の DB 箇所の可視化がなされてきた。これまで用いてきた励起光エネルギーは 4.66 eV であり、物質の典型的な仕事関数と同程度だったため、DB 箇所のフェルミ準位 (E_F) 近傍の限られた電子状態しか観測することができなかった [4]。

本研究では、より高い励起光エネルギー 5.82 eV の連続波レーザーを用いて、TiN/HZO/TiN キャパシタの DB 箇所の電子状態解析を行った。Fig. 1(a) に、*in-situ* で取得した分極 P およびリーク電流 I_{leak} のサイクリング特性を示す。5 × 10⁷ サイクルから 7 × 10⁷ サイクルの間で DB が観測された。DB 前後で取得した PEEM 像の差分 (Fig. 1(b)) から、キャパシタ中央付近で DB 箇所が観測された。 $h\nu = 5.82$ eV の励起光を用いて DB 箇所内 (Pos.1) と外 (Pos.2) で取得した光電子スペクトルから、DB 箇所では 1 eV 以上のエネルギー領域に渡って光電子強度が増大していることを解明した。これは、DB 箇所で生成された欠陥状態は 1 eV 以上の幅を持つことを示唆している。本成果は、 $h\nu = 5.82$ eV の連続波レーザーを用いたことで達成されたものであり、高エネルギー連続波レーザーと PEEM の組み合わせが、デバイスの非破壊分析に有用であることを示している。

References: [1] S. J. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **112**, 172902 (2018). [2] M. Pešić *et al.*, Adv. Funct. Mater. **26**, 4601 (2016). [3] Y. Okuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SGGB02 (2020). [4] 藤原弘和他, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 22p-A307-15.

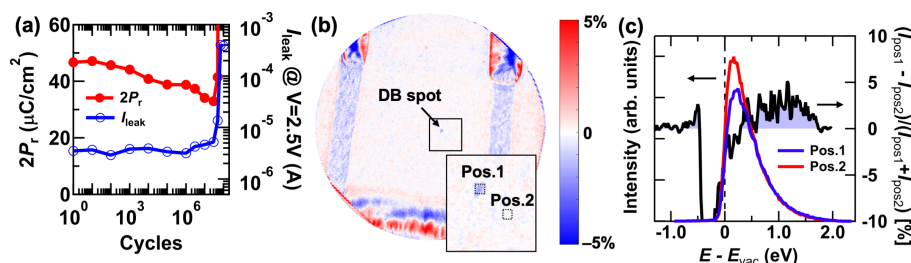


Fig. 1: (a) Field-cycling characteristics of a 30 μm × 40 μm capacitor with 10-nm thick HZO observed. (b) Difference in PEEM images taken before and after DB. (c) Photoelectron spectra at Pos.1 (red, I_{pos1}) and Pos.2 (blue, I_{pos2}), and the difference spectrum obtained from $(I_{\text{pos1}} - I_{\text{pos2}})/(I_{\text{pos1}} + I_{\text{pos2}})$.