

レーザー光電子顕微鏡による強誘電体 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ キャパシタの非破壊分析

Nondestructive analysis of ferroelectric $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ capacitors by laser-based photoelectron emission microscopy

東大物性研¹, 東大新領域 MIRC², 東大 d.lab³, 東大特別教授室⁴

○藤原弘和¹, 谷内敏之², Cédric Bareille², 小林正治³, 辛埴^{2,4}

The University of Tokyo, °H. Fujiwara, T. Taniuchi, C. Bareille, M. Kobayashi, S. Shin

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

Zr ドープ HfO_2 (HZO) は 400°C 以下の比較的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デバイスへの応用が期待される[1]。典型的な強誘電体キャパシタでは、AC ストレス印加によって残留分極 P_r が変動すること (wake-up, fatigue 等) が知られ、そのメカニズム解明は強誘電体キャパシタの信頼性向上に不可欠である。その特性変動メカニズムの一つに、AC ストレスによる HZO 中の酸素欠損の再配置が提案されているが[2]、酸素欠損分布を非破壊かつ高感度でイメージングする実験手法が少なく、物理分析手法開発が必要である。

今回、酸素欠損分布を観測する手法としてレーザー光電子顕微鏡(レーザーPEEM)を提案する。励起光として $h\nu = 4.66 \text{ eV}$ の連続波レーザーを用いており、50 nm 以上の光電子検出深さを実現できる[3]。また、材料の仕事関数と同程度の $h\nu$ を用いることでフェルミ準位近傍の状態密度や仕事関数の違いに敏感なイメージングが可能である[4]。さらに近年、収差補正技術の進歩により空間分解能が 2.6 nm まで飛躍的に向上した[5]。これらの特徴を活かして、強誘電体キャパシタ中の欠陥分布を電極越しに観測することを目的とし、強誘電体キャパシタの PEEM 実験を行った。

試料は Fig. 1(a)に示す構造のキャパシタを用いた。Fig. 1(b)に PEEM イメージを示す。上部電極が存在する領域において、約 30 nm 程度の強度コントラストを観測した (Fig. 1(b), (c))。この強度コントラストのサイズは HZO および TiN のグレインサイズ (10–20 nm [6]) と同程度である。加えて、100–300 nm のスケールでの強度コントラストを観測した。このような強度コントラストは TiN および HZO の SEM 観察では観測されておらず[6,7]、強誘電ドメインまたは化学的不均一性を反映していることが示唆される。本研究成果は、強誘電体キャパシタの非破壊分析手法として、レーザーPEEM が SEM では得られない情報を与えるものであることを示している。

[1] S. J. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **112**, 172902 (2018).

[2] W. Wei *et al.*, IEEE IEDM 39.6.1 (2020).

[3] Y. Okuda *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SGGB02 (2020).

[4] T. Taniuchi *et al.*, IEEE

EDTM 6B-4, 119 (2018).

[5] T. Taniuchi *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **86**, 023701 (2015).

[6] B. Y. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **117**, 022902 (2020).

[7] A. G. Chernikova *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces **10**, 2701 (2018).

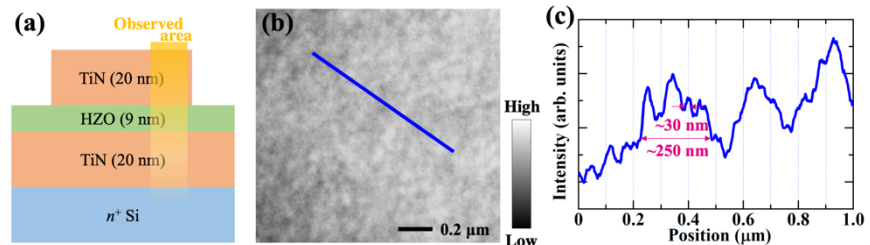


Fig. 1 (a) Capacitor structure. (b) PEEM image. (c) Photoelectron-intensity profile along the blue line shown in (b).