

Y 添加 HfO<sub>2</sub> 強誘電体エピタキシャル薄膜の電気光学効果Electro-optic effect in epitaxial Y-doped HfO<sub>2</sub> ferroelectric thin films

岡大院<sup>1</sup>, 名大工<sup>2</sup>, 東工大<sup>3</sup>, 東工大元素戦略<sup>4</sup> °近藤 真矢<sup>1,2</sup>, 志村 礼司郎<sup>3</sup>, 寺西 貴志<sup>1,3</sup>,  
岸本 昭<sup>1</sup>, 長崎 正雅<sup>2</sup>, 舟窪 浩<sup>3,4</sup>, 山田 智明<sup>2,4</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Okayama Univ.<sup>2</sup>, Tokyo Tech.<sup>3</sup>, Tokyo Tech. MCES<sup>4</sup>

°Shinya Kondo<sup>1,2</sup>, Reijiro Shimura<sup>3</sup>, Takashi Teranishi<sup>1,3</sup>, Akira Kishimoto<sup>1</sup>, Takanori Nagasaki<sup>2</sup>,  
Hirosi Funakubo<sup>3,4</sup>, Tomoaki Yamada<sup>2,4</sup>

E-mail: s-kondo@okayama-u.ac.jp

## 【緒言】

近年、強誘電体材料を用いた電気光学 (EO) デバイスをデータセンターにおける電気デバイスと光デバイスの相互接続のための光集積回路へ応用することが期待されている[1]。Abel らは MBE 法により Si 基板上に作製した BaTiO<sub>3</sub> 薄膜を用いて EO デバイスを作製し、高帯域での光変調を報告している[1]。しかし、デバイスの作製プロセスの面では課題があり、より安価でシリコンフォトニクスに適用しやすい材料開発が必要である。そこで、我々は CMOS プロセスと親和性の高い HfO<sub>2</sub> 基強誘電体薄膜に着目し、(100)配向の Y 添加 HfO<sub>2</sub> (Y-HfO<sub>2</sub>) 膜において強誘電性に起因する EO 係数をはじめて報告した[2]。本発表では、(100)及び(111)配向の Y-HfO<sub>2</sub> 薄膜の電気光学特性の評価を行ったので、その結果について報告する。

【実験方法】 RF マグネトロンスパッタリング法により無添加 HfO<sub>2</sub> 膜及び 7%Y 添加 HfO<sub>2</sub> (Y-HfO<sub>2</sub>) 膜を室温、Ar 雰囲気 10 mTorr の条件で ITO/YSZ(100)及び ITO/YSZ(111)基板上に作製した。膜厚はそれぞれ Y-HfO<sub>2</sub> 膜が 340 nm、290 nm、無添加 HfO<sub>2</sub> 膜が 370 nm である。上部電極は直径 100 μm、厚さ 10 nm の白金層を電子ビーム蒸着法で作製した。薄膜の結晶構造や配向性の評価は X 線回折 (XRD)、電気特性の評価には LCR メーター及び強誘電体テスタを用いた。また EO 特性を自作の電界変調型エリプメトリーを使用して透過法により評価した。

【実験結果】 XRD 測定を行い、4 種類のいずれの試料についても異相はなく、エピタキシャル成長していることを確認した。ただし、Y-HfO<sub>2</sub> 膜についてのみ、準安定相の直方晶相に起因するピークが観測された。次に、Y-HfO<sub>2</sub> 膜の  $P$ - $E$  ヒステリシスループ測定を行い、Fig. 1-(a)及び(b)に示すように配向によらず分極反転を確認した。残留分極値  $P_r$  はそれぞれ 10 μC/cm<sup>2</sup> および 15 μC/cm<sup>2</sup> であった。

そこで、これらの薄膜について分極処理を行った後に EO 測定を行ったところ、分極反転によって 180°の位相反転を示し、変調強度は配向によらず印加 AC 電界に対して線形の変化を示した。これらの残留分極の測定値に対する平均の EO 係数を Fig. 1-(c)に示す。(111)配向膜については、0.67 pm/V と(100)配向膜 (0.49 pm/V) に比べて大きく、分極値の増加によって EO 係数が増大したことが示唆された。

【謝辞】 本研究の一部は、文部科学省元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>(JPMXP0112101001)、(公財) 村田学術振興財団、(公財) 立松財団の助成を受けたものです。

【参考文献】 [1] S. Abel *et al.*, *Nat. Mater.* **18**, 42 (2019).

[2] S. Kondo *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60**, 070905 (2021).

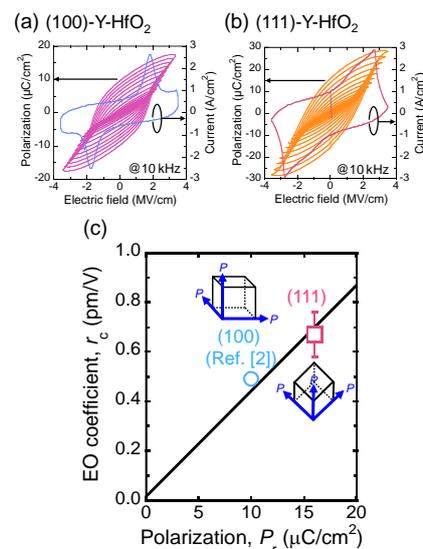


Fig. 1.  $P$ - $E$  hysteresis loops and polarization reversal current measured at 10 kHz and room temperature for (1) the (100)-Y-HfO<sub>2</sub> film and (2) the (111)-Y-HfO<sub>2</sub> film, (c) the EO coefficients  $r_c$  vs. remnant polarization for the (100)-Y-HfO<sub>2</sub> and the (111)-Y-HfO<sub>2</sub> films.