# インピーダンス解析による強誘電性 $HfO_2$ における分極反転過程の観察

## Observation of polarization reversal of ferroelectric $HfO_2$ by impedance analysis

東大院工 [1]，産総研 [2]　安田脩平 [1]，柴山茂久 [1]，○西村知紀 [1]，矢嶋赳彬 [1]，右田真司 [2]，鳥海 明 [1]

The Univ. of Tokyo[1], AIST[2], S. Yasuda[1], S. Shibayama[1], ◦T. Nishimura[1], T. Yajima[1], S. Migita[2] and A. Toriumi[1]

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

【緒言】近年 high-k 膜で知られる $HfO_2$ が他元素の添加により強誘電性を示すことが発見され[1]，この機能を活かした負性容量ゲート絶縁膜や不揮発性メモリへの可能性が模索されている．しかし一方で強誘電性 $HfO_2$ は常誘電相との共存[2]や，抗電界の膜厚依存性が従来の強誘電体とは異なる[3]といった特徴も示されており，デバイス設計における動作周波数の観点等からも分極反転機構の理解が求められる．本研究では強誘電性を示す $HfO_2$ 薄膜についてインピーダンス解析に基づいた分極反転過程の理解を試みた．

【実験】$p^+$Ge 基板上にスパッタにより 30 nm の Ge-doped $HfO_2$（Cation 比: 2.5%）膜を堆積し，$N_2$ 雰囲気中 600ºC の熱処理により結晶化させた後，蒸着により Au 電極を形成し，強誘電性 $HfO_2$ キャパシタを作成した．P-E 特性において強誘電性（**Fig. 1**），及び XRD により常誘電相（単斜晶相）の共存を確認した後，測定信号周波数 1k~1MHz，測定信号電圧 50mV の条件で，試料に対する DC 印加電界を変えながらインピーダンスを評価した．

【結果・考察】DC 印加電界を-3 より+3MV/cm に掃引した際の $HfO_2$ 膜の各 DC 印加電界，測定信号周波数に対応する tan δ（δ：損失角）を **Fig. 2** に示す．ここで直列寄生抵抗成分による tan δへの寄与は除去している．低周波数域では電界の増大に伴ってリークに由来する tan δの増大がみられる．一方高周波数域では+2 MV/cm 近傍に tan δ値のピークが確認され，これは強誘電性 $HfO_2$ の抗電界近傍であることからも，分極反転時の仕事に対応する損失が観測されていると考えられる．更に+2 MV/cm 付近の周波数依存性に着目すると，周波数の増大に伴って tan δが一度減少した後増大しており，この結果は **Fig. 3** に示すリーク抵抗，強誘電性キャパシタ，常誘電性キャパシタの並列回路からなる等価回路に極めて良く対応している．これは負性容量効果の様な奇妙な分極反転プロセスの研究において利用できるのではないかと考えている．

【謝辞】本研究は JST-CREST（Grant Numbers JPMJCR14F2）の支援を受けたものです．

【参考文献】[1] J. Muller, et al., APL **110**, 114113 (2011). [2] L. Xu, et al., JAP **122**, 124104 (2017). [3] S. Migita, et al., EDTM 2018.

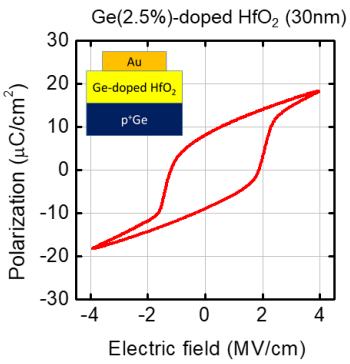


**Fig. 1** P-E characteristic of Au/Ge-doped $HfO_2/p^+Ge$ capacitor.

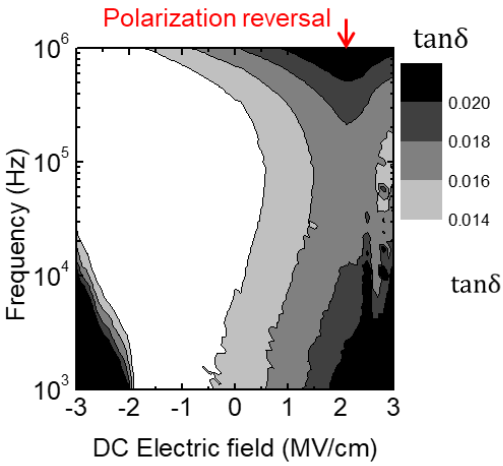


**Fig. 2** Electric field and frequency dependence of tangent δ (δ: loss angle) of Ge(2.5%)-doped $HfO_2$ film.

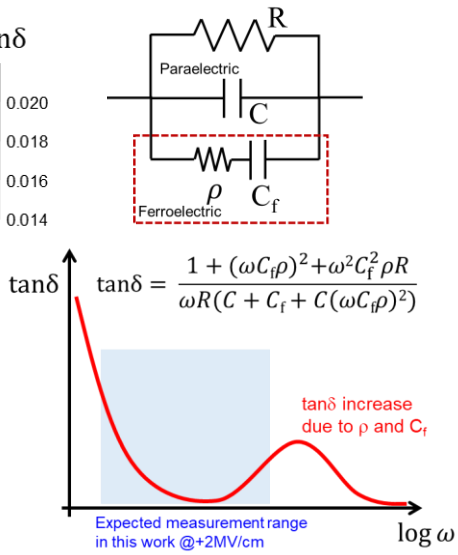


**Fig. 3** Speculated equivalent circuit of Ge-doped $HfO_2$ and its tan δ as a function of measured frequency.