

UV-LED を用いた HfO₂ 系強誘電体キャパシタの アニールプロセス省電力化に関する研究

Energy-efficient Annealing Process of HfO₂-based

Ferroelectric Capacitor using UV-LED for Green Manufacturing

ウシオ電機株式会社¹, 東大生研², 東大 d.lab³ °山田 裕貴^{1,2}, 古江 悟¹, 横森 岳彦¹,
(M2) 糸矢 祐喜², 更屋 拓哉², 平本 俊郎², 小林 正治^{2,3}

Ushio Inc.¹, IIS, Univ. of Tokyo², d.lab, Univ. of Tokyo³, °Hirota Yamada^{1,2}, Satoru Furue¹,
Takehiko Yokomori¹, Yuki Itoya², Takuya Saraya², Toshiro Hiramoto², Masaharu Kobayashi^{2,3}

E-mail: hr.yamada@ushio.co.jp

【はじめに】HfO₂系強誘電体は、CMOSプロセスとの整合性や、膜厚10nm以下の薄膜化が可能である点から新規メモリデバイスの候補として大きな注目を集めてきた[1]。HfO₂系材料は成膜直後には主にアモルファス状態であるが、アニールによって強誘電性を示す orthorhombic 相が形成される [2,3]。アニールの手法として、ハロゲンランプ(HL)から放射される赤外光を用いた RTA が広く用いられている。しかし、強誘電体膜の構成によっては赤外域の吸収率が低く、アニールのエネルギー利用効率が低い場合がある。例えば、強誘電体キャパシタ TiN/Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂(HZO)/TiN は紫外域で高い吸収ピークを持ち、赤外域で吸収率が低下する。これまで高いエネルギー利用効率が期待される短波長域の光源でのアニールによる強誘電体膜の形成については報告されていなかった。そこで、本研究では短波長域の Ultraviolet (UV-) LED 光源をアニールに用いて形成した HZO 強誘電体膜の特性について報告する。

【実験】Si 基板上に TiN、HZO、TiN を堆積し、HL または UV-LED でアニールして MFM (Metal-ferroelectric-metal) キャパシタを形成した。アニール温度は 350~500°C とし、HL と UV-LED での温度プロファイルが一致するように光源出力の制御パラメータ (PID) を最適化した。

【結果と考察】作成した MFM キャパシタについて、吸収特性、ヒステリシス特性及びスイッチング速度の測定を行った。MFM キャパシタの吸収特性 (Fig.1(a)) と、HL 及び UV-LED の発光スペクトル (Fig.1(b)) から、MFM キャパシタの吸収率は HL で 35%、UV-LED で 82% であった。450°C でアニールしたサンプルの PV ヒステリシスカーブを Fig.2 に示す。温度プロファイルを一致させた場合には、アニール光源にかかわらず同等のヒステリシス特性が得られることが分かった。スイッチング速度測定の結果を Fig.3 に示す。スイッチング速度は、分極を一方にセットしたのちに、様々なパルス幅と振幅の電圧パルスを印加することでスイッチングする分極量から評価した[4]。スイッチング速度もアニール光源によらず同等であることが分かった。

【まとめ】HL または UV-LED アニールで作成した HZO キャパシタの特性を調査した。温度プロファイルを一致させた場合、アニール光源によらず同等のヒステリシス特性とスイッチング速度が得られることが分かった。UV-LED を使うことでアニールプロセスの省電力化が期待できる

【参考文献】 [1] T. S. Böske et. al., Appl. Phys. Lett. 99, 102903 (2011). [2] J. Wu et. al., Appl. Phys. Lett. 117, 252904 (2020). [3] T. Xin et. al., VLSI 2022, p.343. [4] Y. Sawabe et. al., Appl. Phys. Lett. 121, 082903 (2022).

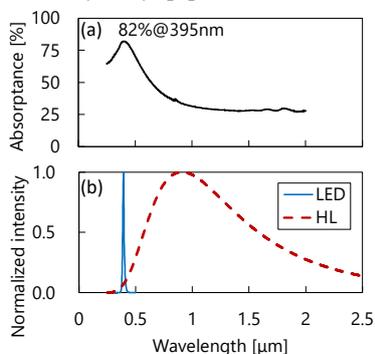


Fig. 1: (a) Absorption of TiN/HZO/TiN capacitors on Si substrate. (b) Spectra of UV-LED, and halogen lamp.

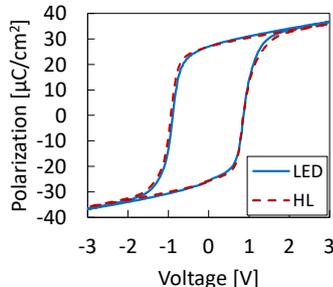


Fig. 2: PV hysteresis curve of the 10.2-nm thick HZO film capacitors annealed by halogen lamp and UV-LED.

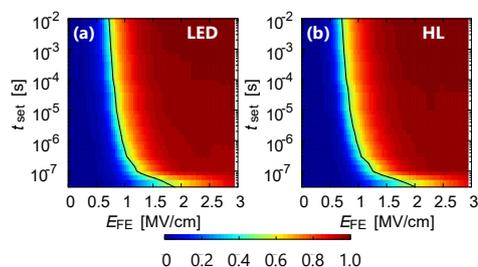


Fig. 3: Contour plots of normalized switching polarization by a switching pulse with various pulse widths and amplitudes [4]. Iso-polarization lines where normalized polarization charge is 0.5 are drawn by black lines.