Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ FeFET を用いた MOS 型光位相シフタの不揮発性動作

Non-volatile operation of MOS optical phase shifter using Hf0.5Zr0.5O2 FeFET

○渡辺耕坪, トープラサートポン カシディット,高木信一, 竹中充 (東大院工)

°K. Watanabe, K. Toprasertpong, S. Takagi, and M. Takenaka (The University of Tokyo)

E-mail: watanabe@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】プログラマブル光回路[1]は深層学習計算や量子計算などの応用が活発に研究されており、 その構成要素としての光位相シフタはプログラマブ ル光回路の更なる高性能化・高機能化に向けて重要 である。中でも低損失かつ不揮発性動作可能な光位 相シフタは in-memory computing による光計算の低消 費電力化や、光位相シフタのクロスバー配線化に向 けて特に重要である。

不揮発性動作可能な光位相シフタとして Ge₂Sb₂Te₅, Sb₂Se₃, Sb₂S₃などの相変化型材料による屈 折率変化を用いた不揮発性動作が検討されているが、 光通信で主に用いられる 1.55 µm 帯や1.3 µm 帯では 光損失が原理的に大きくなることや、動作速度、書き 換え可能回数などに課題がある[2]。我々は低損失か つ高効率な光位相シフタとして III-V/Si ハイブリッ ド MOS 型光位相シフタとして III-V/Si ハイブリッ ド MOS 型光位相シフタの研究を進めてきた[3]。本 研究では、III-V/Si ハイブリッド MOS 型光位相シフ タを強誘電体 Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ (HZO) をゲート絶縁膜とし て用いた強誘電体トランジスタ (FeFET) によって駆 動した不揮発性光位相シフタを提唱する。強誘電体 ゲート絶縁膜中の分極状態に応じて、同じバイアス 条件下においても光位相シフト量が異なる不揮発性 動作を得ることに成功したので報告する。

【動作原理】Fig. 1 に強誘電体と III-V/Si ハイブリッド MOS 型光位相シフタを組み合わせた不揮発性光 位相シフタの構成を示す。FeFET のドレイン端子に ハイブリッド MOS 型光位相シフタを接続したソー スフォロワ回路構成となっている[4]。FeFET に一定 のゲート電圧、ソース電圧を印加した場合でも、 FeFET の強誘電ゲート絶縁膜の分極状態に応じて、 ドレイン端の出力電圧が変化する。分極が上向きの 状態 (Fig. 1a) では、トランジスタの閾値電圧 ($V_{\rm h}$) が高くなり、ドレイン電圧は小さくなる。結果、III-VMOS 界面に電子が誘起されず光位相シフト量は小 さくなる。一方、分極が下向きの状態 (Fig. 1b) では、 $V_{\rm h}$ が低くなり、ドレイン電圧が高くなる。これによ り、III-VMOS 界面に電子が蓄積し、光位相シフト量 が大きくなる。このように、一定のバイアス条件下で も、分極状態により光位相シフト量が変化する不揮 発性動作が得られる。

【実験手法】実験には、ゲート幅 100 µm,ゲート長 25 µm の Si n-FeFET を用いた。ゲート絶縁膜には強 誘電体化した Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂を用いた。光位相シフト量 を測定するため、シリコン光導波路を用いて作製し た非対称マッハ・ツェンダー干渉計のアーム部分に、 InGaAsP/Al₂O₃/Si ハイブリッド MOS 構造を用いた光 位相シフタを集積した素子を用いた。位相シフタ長 は 800 µm とした。FeFET と光位相シフタは同軸ケー ブルによって接続した。ゲート電極への電圧パルス によって強誘電体ゲート絶縁膜の分極状態の書き込 みを行い、ソースフォロワ動作によって出力された ドレイン電圧を光位相シフタに印加した。閾値電圧 を高い状態に書き込むには、リセットパルス(-3.0 V, 10 ms)後に、書き込み電圧矩形波(3.4 V, 10 ms)を 入力した。閾値が低い状態への書き込みには、リセットパルス(-3.0 V, 10 ms)をゲート電圧に印加した。 【実験結果】

高閾値状態、低閾値状態それぞれで得られた透過ス ペクトラム測定結果を Fig.2 に示す。両状態間で、自 由スペクトラム間隔 31.2 nm に対してピーク波長シ フト 18.7 nm を得た。これは位相シフト量にすると 1.19πに相当する。光位相シフト読み出し時の駆動電 圧 (ゲート電圧、ソース電圧)は同じであることから、 強誘電体ゲート絶縁膜の分極量に応じた光位相シフ トを不揮発的に読みだすことに成功した。この結果 から、FeFET との組み合わせが MOS 光位相シフタの 不揮発性動作化に有望であることが分かった。

【謝辞】本研究は JST、CREST、JPMJCR2004 の支援 を受けて実施した。また文部科学省「ナノテクノロジ ープラットフォーム」事業(課題番号: JPMXP09F20UT0021)の支援を受けて、東京大学武田 先端知スーパークリーンルーム微細加工拠点におい て実施された。

【参考文献】

- [1] W. Bogaerts et al. Nature 586, 207–216 (2020)
- [2] M. Delaney et al. Adv. Funct. Mater **30** (2020)
- [3] J.-H. Han *et al.* Nature Photonics, **11**, 486-490 (2017)
- [4] C. Matsui et al. Symposium on VLSI Technology JFS2-8 (2021)



Fig.1 III-V/Si hybrid MOS optical phase shifter drive by FeFET for non-volatile operation.



Fig. 2 Non-volatile optical phase shift.