

[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]₂₀ 超格子の可逆的相転移を用いたプラズモン変調素子

Surface plasmon modulator using reversible phase transition of [(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]₂₀ superlattice

筑波大物理¹ 産総研² JST-CREST³ ○(D) 杉山岳¹, 久保敦^{1,3}, 中野隆志^{2,3}

Univ. of Tsukuba¹, AIST², JST-CREST³, Takeru Sugiyama¹, Atsushi Kubo^{1,3}, Takashi Nakano^{2,3}

E-mail: s1630072@u.tsukuba.ac.jp

研究背景・目的

[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]₂₀ 超格子 (GST 超格子) は, Ge₂Sb₂Te₅ 合金と同様の平均組成を持ち, GeTe 層と Sb₂Te₃ 層とによって超格子化されている. GST 超格子は, Ge 原子の位置の異なる RESET 相と SET 相の 2 種類の結晶相を持っており, 2 つの相状態では電気抵抗や光学定数が異なる. これら結晶相-結晶相間の相転移は液相を介さないため, Ge₂Sb₂Te₅ 合金よりも相転移に必要なエネルギー消費が少なくすみ, 高速なスイッチ動作が可能になる[1, 2].

GST 超格子や, Ge₂Sb₂Te₅ 合金を用いた変調デバイスでは, 金属-誘電体-GST 超格子構造[3], もしくは金属-誘電体-Ge₂Sb₂Te₅ 合金構造[4]に対し, 光パルス照射することで相転移を誘起させ, 導波路構造内の電磁場モードを変調してきた. しかし, 光パルス照射による GST 超格子の相転移では, 可逆的な相転移動作が難しいことが問題となっていた. 本研究では, GST 超格子の相転移に電圧パルスを用いることで, 可逆的な RESET-SET 相転移を誘起し, 通信帯波長 ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) に対する電磁場モードの繰り返し変調動作をおこなうことを目的とする.

シミュレーションによるデバイス構造の設計

Fig. 1 に, ITO (透明電極, 40 nm)/GST 超格子 (40 nm)/ITO (120 ~ 280 nm)/Au (80 nm)/Cr (8 nm)/Al₂O₃ 基板からなるデバイス構造の概略図を示す. GST 超格子の上下の ITO 間に電圧パルスを印加することで, GST 超格子の可逆的な相転移を誘起する. GST 超格子下側の ITO 層内に表面プラズモンモードを導波させ, GST 超格子の相転移にともなう光学定数変化によってモード変調をおこなう.

有限時間領域差分 (Finite difference time domain: FDTD) 法を用いた電磁場シミュレーションによって, デバイス内部の導波モードを解析したところ, GST 超格子下側の ITO 層内部に強く局在する電場領域 (表面プラズモンモード) を確認した. GST 超格子下側の ITO 層における電場の z 成分を, Fig. 2 に示す. RESET 相, SET 相ともに, 入力スリット端 ($x = 0$) から離れるにしたがい電場が減少している. Fig. 2 より, 電場の振幅が $1/e$ に減衰する距離 (伝搬長) を求めると, Fig. 3 のように

なる. ITO の膜厚が 200 nm のとき, 伝搬長は, RESET 相で $3.2 \mu\text{m}$, SET 相で $5.5 \mu\text{m}$ となる. Fig. 4 に, 入力スリット端から $10 \mu\text{m}$ の位置における電場強度の RESET:SET 比を示す. ITO の膜厚が 200 nm の場合, 1:13 の出力比が予想される.

まとめ

ITO と GST 超格子を用いた変調デバイスの構造設計をおこなった. FDTD 法による電磁場シミュレーションの結果, ITO を電圧印加のための電極, 並びに導波路構造として用いることで, 波長 $1.55 \mu\text{m}$ に対する導波モードに 1:13 の出力比が得られることが分かった. 当日の発表では, 実際のデバイスからの出力光を検出することで, 電圧パルス印加による変調動作の実験結果についても報告する.

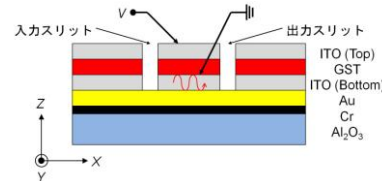


Fig. 1. デバイス構造概略図.

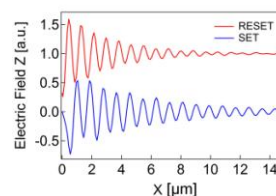


Fig. 2. GST 超格子下側の ITO 層 (膜厚 200 nm) における電場の z 成分. $x = 0$ が入力スリット端に対応する. SET は縦軸に+1.0 のオフセットをかけた.

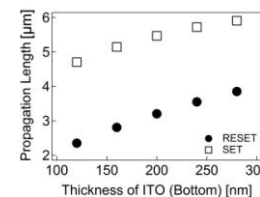


Fig. 3. ITO 層内導波モードの伝搬長の ITO 膜厚依存性. 丸: RESET, 四角: SET.

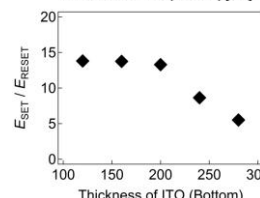


Fig. 4. 入力スリットから $10 \mu\text{m}$ の位置における電場強度の RESET:SET 比.

[1] J. Tominaga *et al.*, Sci. Technol. Adv. Mater. **16**, 014402, (2015)

[2] R. Simpson *et al.*, Nature nanotechnol. **6**, 501, (2011)

[3] T. Sugiyama *et al.*, SSDM2016, 863, (2016)

[4] M. Rude *et al.*, ACS Photonics., **2**, 669, (2015)