

金属積層 Si プラズモン導波路における温度上昇の評価

Evaluation of Temperature Rise

in Si Plasmonic Waveguide Heaters Loaded with Metal Thin Film

東京農工大 太田 那菜, 宮内 智弘, 清水 大雅

Tokyo Univ. of Agri. & Tech. Nana Ota, Tomohiro Miyauchi, Hiromasa Shimizu

E-mail: s192757r@st.go.tuat.ac.jp, h-shmz@cc.tuat.ac.jp

【はじめに】 Si 細線光導波路上に金属を製膜することで、Si 細線中の導波モードと表面プラズモンポラリトンが結合したハイブリッドプラズモンモードが励起される。金属中の自由電子と伝搬光の相互作用が大きいことは、光変調器や光検出器の小型化に応用されている。同時に $0.1 \sim 1.0 \text{ dB}/\mu\text{m}$ の伝搬損失をもたらし、金属内のジュール損失により熱エネルギーに変換される。したがって導波路上部を局所的に加熱するヒータに応用可能であり、熱光学効果による光スイッチや、相変化材料や磁気光学効果を示す強磁性材料を製膜した Si 光導波路における全光メモリへの応用が期待されている[1, 2]。Si 細線光導波路上に膜厚 20 nm の Ti 薄膜を設けた導波路における $0.35 \text{ dB}/\mu\text{m}$ の伝搬損失と、リング共振器へ導入した時の共振特性から 49 K/mW の光熱変換効率が見積もられている[2]。リング共振器の共振波長のシフトから温度上昇を見積もる場合、二光子吸収に伴う導波路損失の変化によって金属を積層した導波路への入力光強度が変わることを考慮した解析が必要である。一方で光導波路上の金属の局所的な温度上昇を測定するには、金属の抵抗の温度依存性の測定が有効である。本研究では、金属として Co を積層した Si 細線導波路ヒータを作製し、光を入力したときの金属の抵抗変化から温度上昇を評価したので報告する。

【設計】 ヒータを実現するためのジュール損失に関わる誘電率の虚部の大きさと、温度上昇を測定する際の抵抗率の温度係数の大きさを考慮し、金属として遷移元素である Co を用いた。Co の誘電率は波長 1550 nm において $-38.0 + 50.7i$ 、抵抗率の温度係数は $0 \sim 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の範囲で $6.0 \times 10^{-3} [1/\text{K}]$ である。Si 細線導波路上の幅 400 nm 、長さ $10 \mu\text{m}$ の領域で強度 1 mW の光が入力し、 $1/10$ に減衰し吸収されたときのエネルギー面密度 $2.5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ を考慮し、伝搬損失の設計値を $1.0 \text{ dB}/\mu\text{m}$ とした。Si 導波路の厚さを 250 nm 、幅を 400 nm とし、厚さ 100 nm の SiO_2 バッファ層を介して厚さ 200 nm の Co を製膜した[3]。

【作製】 設計した導波路を SOI 基板上に EB 描画と反応性イオンエッチングにより形成した。 SiO_2 バッファ層と Co 層は Si 導波路の上部の長さ $l = 8 \mu\text{m}$ の領域に、 SiO_2 はスパッタリング法、Co は EB 蒸着により積層させ、リフトオフして形成した。また、Co 層は導波路上部の電気抵抗測定時の電極としても使用するため、長さ l の領域を Si 導波路に垂直な方向に左右それぞれ $100 \mu\text{m}$ 形成し、幅 0.40 mm 、長さ 0.80 mm の電極パッドに電氣的に接続した。入出力導波路を含む端面間の距離は 3.5 mm である。作製した導波路の断面電子顕微鏡写真を Fig.1 に示す。

【測定結果】 波長 1550 nm 、強度 0 dBm の TM モード光をレンズファイバで入力し結合させた。測定前の素子温度は $22.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、測定中は素子に温度制御を加えなかった。結合後に電極間の抵抗をデジタルマルチメータにより測定し、強度を $0 \sim 8 \text{ dBm}$ の範囲で 1 dBm 刻みで変化させ、抵抗を測定した。TE モード光を入力し、同様に抵抗を測定した。光強度と抵抗の変化量が比例し、TE モードに対しては抵抗の変化量が半分以下と小さかったことから、光導波路上の金属が発熱するヒータを作製し、抵抗の変化として読み出すことに成功したと考えた。TM モードの光を入力した前後における抵抗の変化量は $5.2 \times 10^{-3} \Omega/\text{mW}$ であった。別途測定した電極間の長さ $200 \mu\text{m}$ の抵抗の温度係数 $1.276 \times 10^{-1} \Omega/\text{K}$ と発熱による抵抗の変化が導波路上部の幅 400 nm の領域でのみ発生したと仮定し、入力光強度と偏光の違いに対する温度上昇を計算したものを Fig. 2 に示す。TM モード光を入力したとき、変換効率は 36 K/mW と見積もられた。TE モード光を入力した時の変換効率は 8 K/mW であった。今後は光入力後の抵抗の時間変化の観測による発熱と冷却過程や、導波路長や伝搬損失の違いによる温度上昇の違いを明らかにし、導波路ヒータの性能を活かした全光メモリへの応用を目指す。

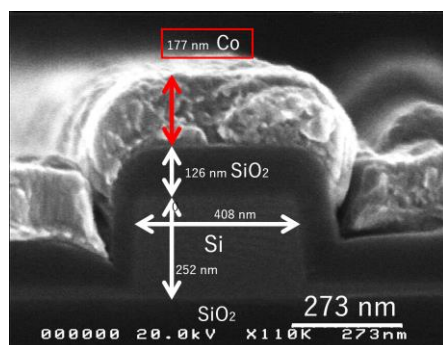


Fig.1 作製したデバイスの断面 SEM 写真

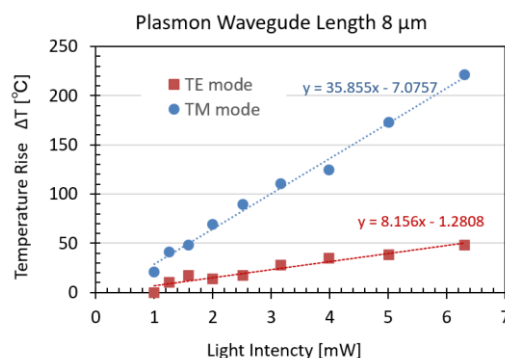


Fig.2 入力光強度と偏光の違いによる温度上昇の評価結果

【参考文献】 [1] Daoxin Dai, et al., Materials, **8**, 6772 (2015). [2] T. Murai, et al., J. Lightwave Technol., **37**, 2223, (2019). [3]宮内他 2020 年第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 9p-Z19-9.