

グラフェン装荷プラズモニック導波路型光スイッチの動作解析

Performance analysis of optical switches based on graphene-loaded plasmonic waveguides

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性科学基礎研², 東工大理³

○小野 真証^{1,2}, 千葉 永^{2,3}, 新家 昭彦^{1,2}, 納富 雅也^{1,2,3}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research Labs.², Tokyo Institute of Technology³,

○Masaaki Ono^{1,2}, Hisashi Chiba^{2,3}, Akihiko Shinya^{1,2}, Masaya Notomi^{1,2,3}

E-mail: masaaki.ono.bm@hco.ntt.co.jp

全光スイッチにおいてスイッチング時間と消費エネルギーの間にあるとされていたトレードオフはフォトニック結晶の技術によって打破されてきたが[1]、ピコ秒以下の超高速領域では依然としてこのトレードオフを破ることは困難であった。そこで我々は、グラフェンの高速なキャリア応答とプラズモニックスの極限的小さを組み合わせることで、これを実現することに取り組んできた。グラフェンは単原子膜厚の物質であるがゆえに光との相互作用が弱く、光素子に応用したとき、一般的にその動作には大きなエネルギーを要する。我々は、深サブ波長サイズ導波路コア ($30 \times 20 \text{ nm}^2$) のプラズモニック導波路 (金属-絶縁体-金属 (MIM) 構造) によって光とグラフェンの相互作用を大きく増強し、35 fJ の消費エネルギーでかつ 260 fs のスイッチング時間で動作する全光スイッチを実現した[2,3]。今回は、多層化による消光比の向上と高速化による消費エネルギーの低減について触れながら、実現されたスイッチング特性について詳細に議論した[2]。今回は、グラフェン層数の性能への影響、損失内訳の解析や緩和時間の解析を総合的に調べることで、更なる高性能化の可能性を議論する。

まずグラフェン多層化の影響を調べるため、多層グラフェン装荷 MIM 導波路 (コアサイズ: $30 \times 20 \text{ nm}^2$) がモード変換器によって Si 細線導波路に結合された構造を考えた (図 1(a))。MIM 導波路における伝搬損失やグラフェン単層あたりの光吸収量等、検討に必要な値は実験で得られたものを用いた。これらをもとに、様々なグラフェン層数 N と MIM 導波路長 l_{MIM} に対する消費エネルギーと挿入損失を数値計算によって見積もった。図 1(b)は挿入損失を固定したときの N に対する消費エネルギーである。ここでは、グラフェンを 4 層積層させることで消費エネルギーが 15 fJ 以下にまで低減されていることがわかる。一方、消費エネルギーを固定して考えることで、 N に対する挿入損失を見積もることができる (図 1(c)、赤点)。ここでは、4 層で数 dB の低減が可能であることが分かる。また、これらの性能は各要素における損失等を改善することによって、更に大きく向上できることも数値計算によって明らかになった (図 1(c)、青点)。一方、実現されたスイッチングにおける時間応答信号からは 100 fs 以下の超高速なキャリア緩和が示唆されていた[2,3]。我々の構造では 30 nm という極めて狭い領域における現象を考える必要がある。発表当日は、グラフェン多層化の高速動作への影響やキャリア拡散を含めて超高速動作の議論も行う。

本研究は JSPS 科研費 JP15H05735 の助成を受けたものです。

[1] K. Nozaki et al., Nat. Photonics 4, 477 (2010). [2] 小野 他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-225B-1 (2018). [3] M. Ono et al., Nat. Photonics 14, 37 (2020).

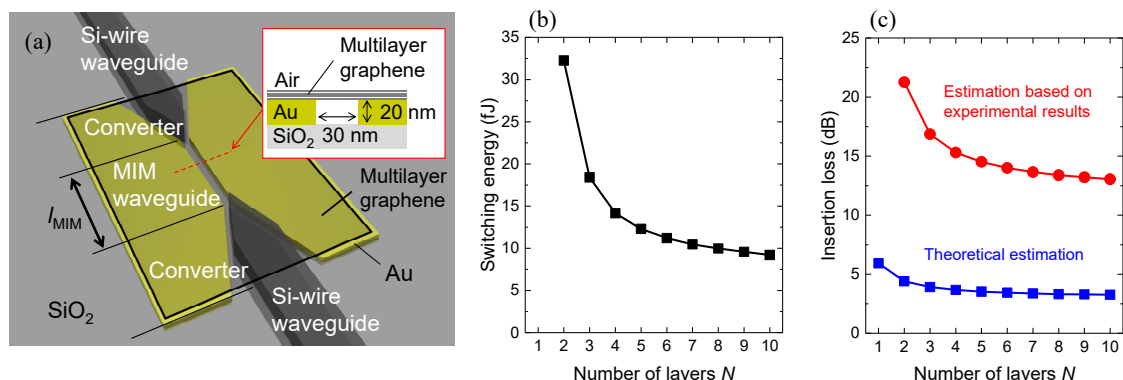


Fig. 1. (a) Schematic structure of the multilayer-graphene-loaded MIM waveguide. (b) Switching energy estimated at an insertion loss of 19 dB and an extinction ratio of 3 dB. (c) Insertion loss estimated at a switching energy of 25 fJ and an extinction ratio of 3 dB.