# グラフェン装荷プラズモニック導波路による超高速全光スイッチ

## Ultrafast all-optical switch 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]，畑 雅則 [2,3]，野崎 謙悟 [1,2]，角倉 久史 [1,2]，納富 雅也 [1,2,3]
NTT Nanophotonics Center [1], NTT Basic Research Labs. [2], Tokyo Institute of Technology [3],
°Masaaki Ono[1,2], Masanori Hata[2,3], Kengo Nozaki[1,2], Hisashi Sumikura[1,2], Masaya Notomi[1,2,3]
E-mail: ono.masaaki@lab.ntt.co.jp

グラフェンは高い吸収係数を有し高速なキャリア応答を示すことから、高速な光スイッチング素子への応用が期待される。しかし、グラフェンは単原子膜厚の物質であるため、光と効率的に相互作用させるためには回折限界を超えた領域での電場集中が必要であった。そこで、我々は Si 細線導波路から高効率モード変換器[1]によってプラズモニック導波路に導入される極小断面積の伝搬モードを用いて、光とグラフェンの相互作用増強に取り組んできた。前回は、更なるモード縮小に取り組み、30 × 20 nm$^2$ コアの金属-絶縁体-金属（MIM）導波路と Si 細線導波路を–1.7 dB の高効率で結合させるモード変換器を実現した[2]。その結果、MIM 導波路上に単層グラフェンを装荷することで、1.7 dB/μm のグラフェン光吸収係数が得られた。これは Si 細線導波路を用いたものより 10 倍以上大きな値である[3]。更に、単層、2 層グラフェンの試料に対してピコ秒レーザを用いたポンプ・プローブ測定を行うことで、2 層グラフェンでは消費エネルギ、消光比ともに大きく改善されることを見出した（消費エネルギ：76 fJ、消光比：2.4 dB）。また、これらの性能がレーザの短パルス化で更に向上することにも触れた。今回は、フェムト秒でのスイッチ動作について詳細に議論するとともに、グラフェンの更なる多層化についての検討結果を報告する。

今回報告する構造は、グラフェン装荷 MIM 導波路（コアサイズ：30 × 20 nm$^2$、導波路長：4 μm）、Si 細線導波路（コアサイズ：400 × 200 nm$^2$）、モード変換器から成る（図 1(a)）。まず、単層グラフェンを装荷した試料に対して可飽和吸収応答を調べた。ここではパルス幅の異なる 2 種類のパルスレーザを用いた（波長：1.55 μm）。ピコ秒パルス（1.9 ps）を用いたときの飽和エネルギは 12 fJ であったが、フェムト秒パルス（230 fs）の場合では 3 fJ まで低減されている（図 1(b)）。これは、ピコ秒パルスではキャリア励起の間に多数のキャリアが緩和しているためと考えられる。そのため、フェムト秒パルスは高速化のみならずエネルギ低減を可能にする。次に、フェムト秒パルスを用いたポンプ・プローブ測定を行った。ここでは、消光比向上の為にグラフェンを 2 層装荷した。その結果、コントロールパルスのエネルギが 35 fJ のとき、グラフェン可飽和吸収に起因する 3.5 dB の透過率変化を観測した（図 1(c)）。信号の線幅は 370 fs であり、これが出力パルスの自己相関によって与えられるとすると、出力パルスの線幅は 260 fs と見積もられる。ここでの消費エネルギはこれまでに報告されているピコ秒スイッチと比べても最小であり、我々のプラズモニック構造は、グラフェンに限らずナノ材料に効率的にアクセスするためのプラットフォームとして期待される。また、グラフェンの多層化は消光比向上に効果的である一方、動作エネルギを上昇させるため、過度な多層化は性能劣化につながることも見出した。当日は、それら素子設計に関する議論も行う。本研究は JSPS 科研費 JP15H05735 の助成を受けたものです。

[1] M. Ono et al., Optica 3, 999 (2016). [2] 小野 他，第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-C301-13 (2018). [3] R. Kou et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52, 060203 (2013).

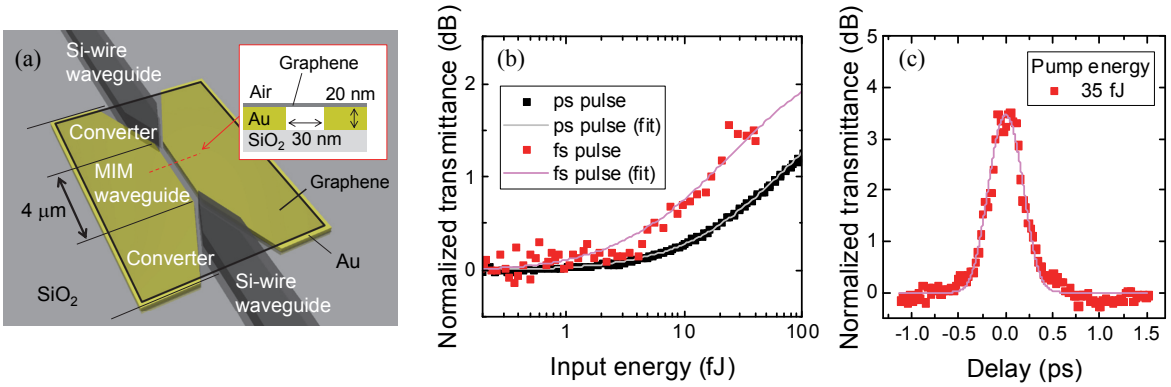


Fig. 1. (a) Schematic structure of the graphene-loaded MIM waveguide. (b) Input energy dependence of transmittance for fs pulse and ps pulse. (c) Pump-probe signal at a control pulse of 35 fJ.