

グラフェンを用いたコヒーレント完全吸収の光スイッチへの検討

Study toward an optical switching device by coherent perfect absorption with graphene

◦佐々木 昂^{1,2}、千葉 永^{1,2}、小野 真証^{2,3}、納富 雅也^{1,2,3}

(1. 東工大理、2. NTT 物性研、3. NTT ナノフォトニクスセンタ)

◦Subaru Sasaki^{1,2}, Hisashi Chiba^{1,2}, Masaaki Ono^{2,3}, Masaya Notomi^{1,2,3}

(1. Tokyo Institute of Technology, 2. NTT Basic Research Labs., 3. NTT Nanophotonics Center)

E-mail: sasaki.s.av@m.titech.ac.jp

【研究背景】

グラフェンは、その大きな光吸収効率と極めて高速なキャリア緩和特性により、可飽和吸収による高速な光スイッチング素子への応用が有望視されている。一例としては、グラフェン装荷プラズモニック導波路による光スイッチング素子がある[1]。この素子では強い光閉じ込めによりグラフェンと光の相互作用が増強され、低消費エネルギー化が実現されたが、金属による余剰損失が残存した。本発表では、金属による損失を避けるとともに、共鳴による増強を図り、光スイッチの性能向上を図る。

近年 Fig.1 のようなグラフェン装荷フォトニック結晶スラブ構造において、コヒーレント完全吸収 (CPA) と呼ばれる現象が実現できることが示された[2]。これは面直の入射光が 100%、グラフェンに吸収される現象である。同構造には金属は存在せず、このとき CPA はグラフェンの吸収率にのみ依存する。よって、グラフェンの吸収率の変化に CPA が大きく影響を受ける。本研究では、グラフェンの可飽和吸収により CPA を制御することで透過光、反射光を ON/OFF する光スイッチング素子を提案する。今回、上記の構造について有限要素法を用いたシミュレーションを行い、その動作エネルギーと動作速度、コントラスト比について調べたので報告する。

【素子の構造】

素子の構造は Fig.1 に示した通りで、円孔正方形格子型フォトニック結晶スラブにグラフェンが装荷されている。穴の半径を r 、格子定数を a 、厚みを H と表すとき、グラフェンの吸収率が 2.3% の時に通信波長帯 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ で CPA が起きる条件は、 $a=1226\text{nm}$ 、 $r=232\text{nm}$ 、 $H=198.6\text{nm}$ であると得られた。このときの透過率 ($T(\%)$)、反射率 ($R(\%)$)、吸収率 ($A(\%) \equiv 1-R-T$) のスペクトルを Fig.2 に示す。

【素子の動作と効率】

光スイッチング動作の ON/OFF のコントラスト比を 3dB (2 倍) とする。また、グラフェンの可飽和吸収の飽和強度は $7.89\text{MW}/\text{cm}^2$ とし[3]、入射光は中心波長 $1.55\mu\text{m}$ 、パルス幅 2 ps のファイ

バレーザ光を仮定する。

結果、波長 1550nm から 1551nm の 1nm に渡る範囲でコントラスト比がはじめて 2 倍を上回るときはグラフェンの吸収が 30% (吸収率が 2.3% から 1.61% に) 飽和したときであった。これに必要な光のエネルギーは $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ のスポットサイズで 5.5 fJ で、プラズモニック導波路型と比べ一桁小さい値を得た。そして、スイッチング速度は Q 値より 213 fs と推定された。

また、グラフェンが 90% 飽和する場合[4]を考えると Fig.3 のように、ON/OFF について透過率で 29.5dB (約 900 倍)、反射率で 20.7dB (約 120 倍) の高いコントラスト比が得られるとわかった。

以上のように CPA を利用したフォトニック結晶型光スイッチング素子はハイコントラスト・高速・低消費エネルギーの光スイッチを実現できる可能性がある。

【謝辞】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., in Conf. on Lasers and Electro-Optics, FF2L.4. (2018).

[2] J. R. Piper et al., Applied Physics Letters, 104, 251110 (2014).

[3] Z. Zheng et al., Optics Express 20, 21,23201-23214 (2012).

[4] S. C. Xu et al., Optics Letters, 39, 2707-2710 (2014).

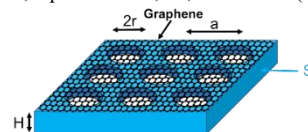


Fig. 1. Photonic crystal structure with graphene

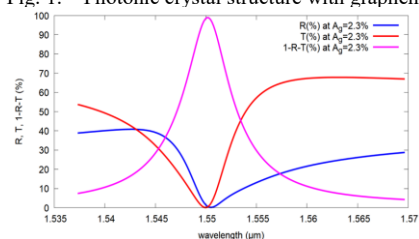


Fig. 2. $T(\%)$, $R(\%)$, and $A(\%)$ at CPA condition

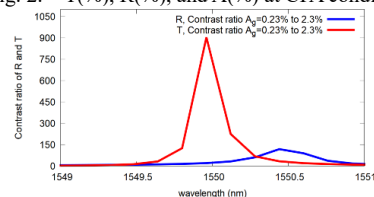


Fig.3. Contrast ratio of Reflectance and Transmittance (at absorption of graphene of 0.23% to 2.3%)