

低損失グラフェン中赤外光変調器の検討

Investigation of low-loss graphene mid-infrared optical modulator

○山口 夕貴¹, 高木 信一¹, 竹中 充¹(1.東大院工)

○Yuki Yamaguchi¹, Shinichi Takagi¹, Mitsuru Takenaka¹ (1.Univ. Tokyo)

E-mail: yamaguchi@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

[はじめに] 炭素六員環がシート状に広がった二次元材料であるグラフェンは、室温で最大 $200,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ の高い移動度や、0 バンドギャップなどの特異な物性から、超高速かつ広波長域動作が可能な光変調器への応用が期待され研究が進められている[1]。吸収変調型グラフェン光変調器の実証報告は多く存在する一方、位相変調器は大きな吸収変調が伴うため通信波長帯においては実現が困難である。吸収変調を充分抑制するには極めて大きなゲート電圧印加が求められるが、ゲート絶縁膜の絶縁破壊が起きてしまい実用的な素子は実現できない。我々は、動作波長を中赤外領域へと長波化することで π 位相シフトに必要なグラフェンの化学ポテンシャルの変化を小さくできることに着目し、グラフェン中赤外光変調器の研究を進めている。動作波長を 3000 nm にすることで、絶縁破壊を起こさない現実的な電圧範囲で損失が小さい位相変調動作が可能であることを数値計算で検討したので報告する。

[計算結果] Fig. 1 に計算に使用したデバイスの概略図と波長 3000 nm の入射光に対する TE モードの電界分布を示す。波長 1550 nm と 3000 nm それぞれの導波光に対して、FDE (finite-difference eigenmode)法により TE モードの実効屈折率と吸収係数を計算した。各波長における変調特性の解析結果をそれぞれ Fig. 2、Fig. 3 に示す。Fig. 2, 3 における破線はグラフェンの化学ポテンシャルが 0.5 eV になる印加電圧を示しており、これ以上の電圧を印加すると絶縁破壊が生じてしまう[2]。グラフェン中では、グラフェンの化学ポテンシャル μ_c と入射光エネルギー $h\nu$ との関係に応じてバンド間遷移($\mu_c < h\nu/2$)とバンド内遷移($\mu_c > h\nu/2$)による吸収が存在する。波長 1550 nm においては、バンド間遷移による吸収が中心となっており、 $1.5 \text{ V} \sim 2.5 \text{ V}$ 間で変調した場合、 π 位相シフト変調時に 30 dB もの非常に大きな吸収変化が生じてしまい、実用性に乏しい。一方、波長 3000 nm では、 1 V 程度のゲート電圧でバンド間吸収は充分抑制されており、それ以降はバンド内遷移による吸収が緩やかに増加していることが分かる。このため、 $1.05 \text{ V} \sim 2.5 \text{ V}$ 間で変調した場合、 $0.0044 \text{ rad}/\mu\text{m}$ の位相変化に伴った吸収の変化はほぼなくすることができる。この動作電圧における $V_{\pi}L$ は 0.1 Vcm となった。

この結果から、動作波長を中赤外光へと長波化することで、変調時の吸収を抑制した低損失位相変調器が可能であることが示唆された。

[謝辞] 本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) および JSPS 科研費 JP26220605 の助成により実施した。

[参考文献]

[1] Ming Liu *et al.*, Nature, **474**, 64-67(2011)

[2] T. Kayoda *et al.*, International Conference on Group IV Photonics, ThD5(2013).

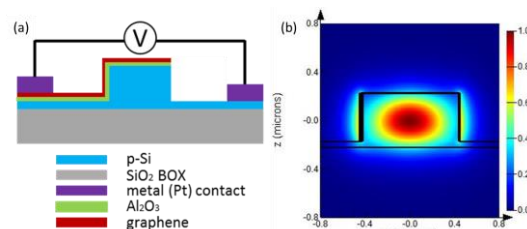


Fig. 1 (a) グラフェン光変調器の概略図 (b) 3000 nm における TE モードの電界分布

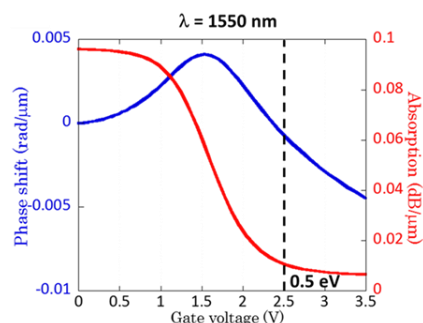


Fig. 2 波長 1550 nm 入射光における位相変調と吸収変調のゲート電圧依存性

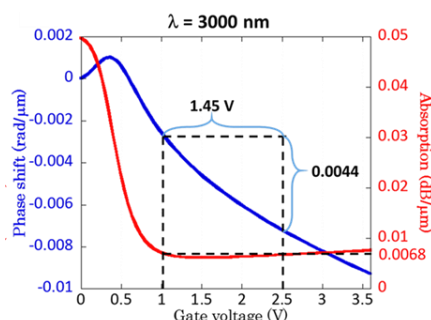


Fig. 3 波長 3000 nm 入射光における位相変調と吸収変調のゲート電圧依存性