グラフェン装荷フォトニック結晶によるオンデマンドナノ共振器の検討

Investigation of on-demand nanocavity based on graphene loaded photonic crystal

[°]千葉 永^{1,2}、納富 雅也^{1,2,3}(1.NTT 物性研、2.東工大院理工、3.NTT NPC)

[°]Hisashi Chiba^{1,2}, Masaya Notomi^{1,2,3}

(1.NTT BRL, 2. Tokyo Institute of Technology, 3. NTT NPC)

E-mail: chiba.h.ag@m.titech.ac.jp

【はじめに】グラフェンはDiracコーンの性質か らフェルミエネルギー μ_F の2倍の周波数でバン ド間遷移が現れるため、この近傍で光学特性が大 きく変化する。この性質を利用して、近年フェル ミエネルギー μ_F 変調による光吸収の変化を応用 した光変調器などが報告されている[1]。一方、 フォトニック結晶(PhC)導波路に屈折率の局所的 な変調を加えるとナノ共振器が形成できること が知られている[2]。本研究では、グラフェンを フォトニック結晶導波路上に局所的に装荷する ことによって、ナノ共振器の形成を試み、さらに μ_F 変調による大きな屈折率変化を用いた共振器 の形成制御を狙う。

本研究ではグラフェンを装荷したSi PhC導波 路上で共振器の形成を可能とする構造を考案し、 設計した。電磁界解析により、装荷したグラフェ ンのµFを変調することにより共振形成の制御で きることを見出したので、ここに報告する。

【素子構造とシミュレーション結果】Fig. 1(a)は 本研究で提案する共振器の構造を示す。Si PhC導 波路の厚さは 200 nm 、格子定数は a = 400 nm 、 線欠陥の幅は $0.98 \times \sqrt{3 \times a}$ とした。グラフェン の装荷領域は $8 \times a$ であり、2次元の電気伝導率を もつ面として設定した。

Fig. 1(b)(c)(d) はSi PhC導波路を有限要素法に より電磁界解析した際の電場分布を示す。グラフ ェンがない場合は光は導波路にわたって広がっ ているのに対して、グラフェン装荷後は波長 1539nm付近で装荷した領域に電場強度が集中し、 光が閉じ込められていることがわかる。 $\mu_F = 0.41$ eV では共振波長1539.2nm、Q = 9.2×10^3 であり、 モード体積が $V_{eff} = 3.7(\lambda/n)^3$ となった。高いQ値と 波長スケールに近いモード体積が得られたこと から、グラフェンを装荷することにより共振器が 形成されたといえる。

 μ_F を増加させた場合、 $\mu_F = 0.48 \text{ eV}$ においてグ ラフェンがない導波路とほぼ同じ電場分布であ ることから、共振はないと判断できる。これは、 $\mu_F = 0.48 \text{ eV}$ 付近でグラフェンの屈折率がほぼ1 になることに呼応していると考えられる。以上の 結果から、 $0.40 < \mu_F < 0.48 \text{ eV}$ の範囲でグラフェン の μ_F を変調させることによりオンデマンドに共 振器の形成が制御可能であることが示された。

また、 $\mu_F < 0.48 \text{ eV}$ の領域ではグラフェンの装 荷領域を反転させ、装荷しない領域に共振器を形 成することが可能である。グラフェンによる吸収 の影響が少ない構造であるため、より高いQ値の 共振器が期待できる。また、検討している構造は μ_F を変調することにより共振器の形成が動的に 制御でき、光スイッチや光メモリへ応用できる可 能性がある。

【謝辞】本研究は<u>JSPS科研費 15H05735</u>の助成を 受けたものです。

【参考文献】[1] M. Liu et al., *Nature*, vol.474, no.7349, pp.64-67 (2011). [2] M. Notomi, H. Taniyama *Opt. Express* **16**(23), 18657(2008)



Fig. 1 (a)Geometry of Si PhC waveguides with graphene. (b)Optical field distribution (E_y, electric field parallel to the 2D plane) of Si PhC waveguide without graphene. (c)Graphene ($\mu_F = 0.41$ eV) loaded waveguide. (d)Graphene ($\mu_F = 0.48$ eV) loaded waveguide.



2 Performance of nanocavities based on graphene loaded PhC. Q and V_{eff} as a function of μ_F . Dot-lines mean that nanocavities can't be identified for the limit of our calculation.