

バンド構造の再構成が可能なフォノンニック結晶の理論検討

Theoretical proposal of reconfigurable phononic crystal

1. NTT 物性基礎研、2. ICFO [○]畑中 大樹^{1,2}、エイドリアン バヒトールド²、山口 浩司¹1. NTT BRL, 2. ICFO [○]Daiki Hatanaka^{1,2}, Adrian Bachtold², and Hiroshi Yamaguchi¹

e-mail: hatanaka.daiki@lab.ntt.co.jp

異なる弾性体の周期構造から成るフォノンニック結晶 (PnC) は、構造によって決まる特異なバンド構造を有する [1]。つまり、人工的にその構造を調整することにより、バンドやバンドギャップ (BG) のデザインが可能となり、音響波から超音波振動、熱に至るまで、あらゆるフォノンの伝搬をこの PnC を通して制御できるようになる。フォノン信号処理デバイスの創成 [2] や熱伝導変調の実証 [3] といった先行研究が示すように、フォノンを扱う上での PnC の有用性は明らかである。しかしながら、既存の PnC はバンド特性が構造によってのみ決まる静的な性質のため、実現できるフォノンの制御技術やその自由度・拡張性にはある程度限界があった。

本研究では、電気的な操作によってフォノンバンド構造の再構成が可能な新しい PnC の実現を目指し、極めて小さい曲げ剛性を有するグラフェンを媒質に用いた一次元 PnC を提案し、有限要素法 (FEM) を用いて電圧によるバンド構造変調の実現可能性について調べた。

図 a にグラフェン PnC の模式図を示す。これは SiO₂ 半導体基板等につくった細長いトレンチを覆うようにサスペンドしたグラフェンから構成される。トレンチの底部にはゲート電極が周期的に配置されており、これとグラフェンの間に定電圧 (V_g^{DC}) を加えると、グラフェンに静電引力 ($F_{es}^{DC} \approx -\frac{\epsilon_0 S}{2d^2} V_g^{DC2}$) が働き、電極に向かって変形する (図 b 上) [4]。その結果、グラフェン振動部の内部に応力が発生し (図 b 下)、トレンチの長手方向に周期的な応力の分布が形成される。この時のフォノン分散関係の計算結果を図 c に示す。 $V_g^{DC} = 0$ V の場合では、グラフェンは導波路として振舞うため、BG のない単純なバンドの分散関係が得られているが、 $V_g^{DC} = 8$ V を印加すると、30 MHz 以下のブリルアンゾーン端において BG (黄色) を有するバンド構造が得られることが判明した。本結果から、グラフェンを媒質に用いることにより、電気的にバンド構造の変調が可能な新しい PnC の実現が期待できる。

[1] M. Maldovan, Nature 503, 209-217 (2013). [2] S. Mohammadi et al., AIP Adv. 1, 041903 (2011). [3] J. Maire et al., Sci. Adv. 3:e1700027 (2017). [4] P. Weber et al., Nano Lett., 14, 2854-2860 (2014).

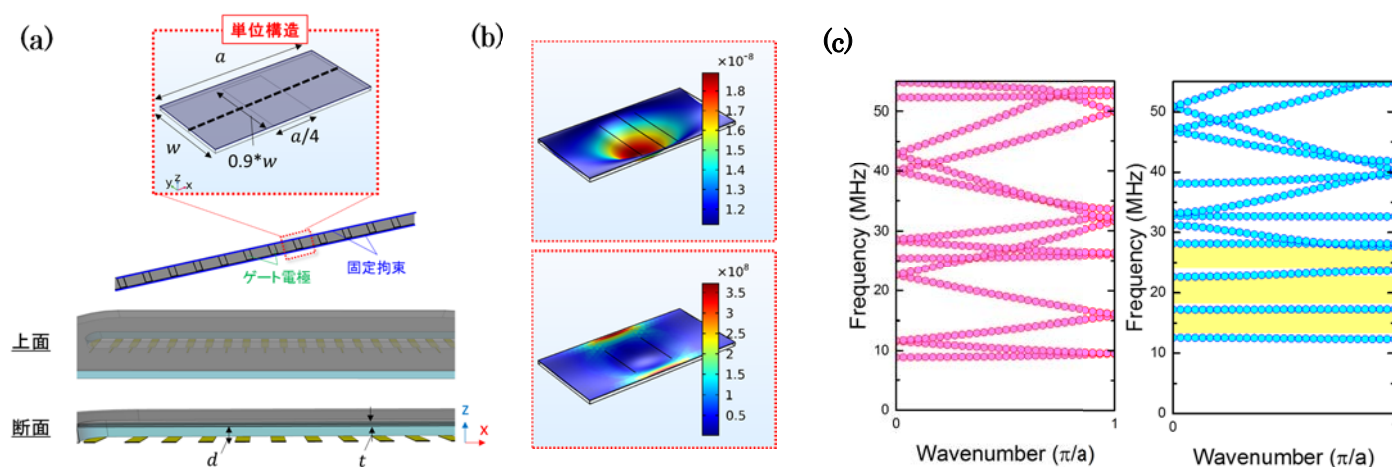


図 (a) グラフェン PnC の模式図 (下二つ) と FEM でのモデル図 (上二つ)。 (b) $V_g^{DC} = 8$ V における PnC 単位構造の静止変位 (スケールバーの単位: m) と面内応力 (Pa) の計算結果。ここでは、 $a = 6.4 \mu\text{m}$ 、 $w = 3.2 \mu\text{m}$ 、 $d = 130$ nm、 $t = 8.5$ nm としている。 (c) グラフェン PnC の $V_g^{DC} = 0$ V (左) と 8 V (右) におけるバンドの分散関係。