完全バンドギャップを有する GaAs バレーフォノニック結晶の設計

Design of valley phononic crystals with complete phononic bandgaps of elastic waves

°金　仁基 [1]，荒川 泰彦 [2]，岩本 敏 [1,2]（1. 東大生研，2. 東大ナノ量子機構）

°Ingi Kim[1], Yasuhiko Arakawa[2], Satoshi Iwamoto[1,2]

(1. IIS, Univ. of Tokyo., 2. NanoQuine, Univ. of Tokyo.)

E-mail: kim-ingi@iis.u-tokyo.ac.jp

[はじめに] 周期構造における波数空間のバレー自由度の活用を弾性波に展開したバレーフォノニック結晶(Valley Phononic Crystals: VPnCs)が最近注目を集めている[1]。量子バレーホール効果とのアナロジーから弾性波のバレートポロジカルエッジ状態はバレー間の散乱が抑制され、急峻な曲げにおいても低損失弾性波伝搬が可能である。しかし、これまで完全バンドギャップを持つ 2D-VPnC に関する研究は、２種類の金属を用いた kHz 帯での検討であり単一材料で MHz～GHz で動作可能なものは報告されていない[2]。今回、GaAs を用いた VPnC を設計し、モノリシックな構造において完全バンドギャップ中でバレートポロジカルエッジ状態が実現可能であることを見出したので報告する。

[結果] 解析した GaAs 2D-VPnC の単位セル(厚み 1 μm, 周期 a=3.65 μm)を Fig. 1(a)に示す。青色に示した小さな三角形穴部分を中心軸から半時計周りに4度回転させる(Type A)と空間反転対称性が破れ、K(K')点付近に存在した複数のディラックコーンは二つの完全バンドギャップを開く(Fig. 1(b))。一方、単位セルの小さな三角形を時計周りに 4 度回すと Type A と同じ周波数領域でバレーの性質が異なるバンドギャップが生成される(Type B)。各単位セルからなる二種類の VPnC を Z 型に接合した界面にはバルク-エッジ対応原理よりエッジ状態が現れる。Fig. 1(c)と(d)はそれぞれ第一バンドギャップと第二バンドギャップ中に存在するエッジモード(658 MHz と 764MHz)の弾性波伝搬の様子(変位場分布)を示す。K 点と K'点の非等価性より急峻な曲げにおいても良好な伝搬特性を示すことがわかる。GaAs-VPnC を利用した複数のバレーエッジ状態の実現は、MHz~GHz 振動の制御技術[3]やトポロジカルハイブリッドシステム[4]などへの応用が期待できる。

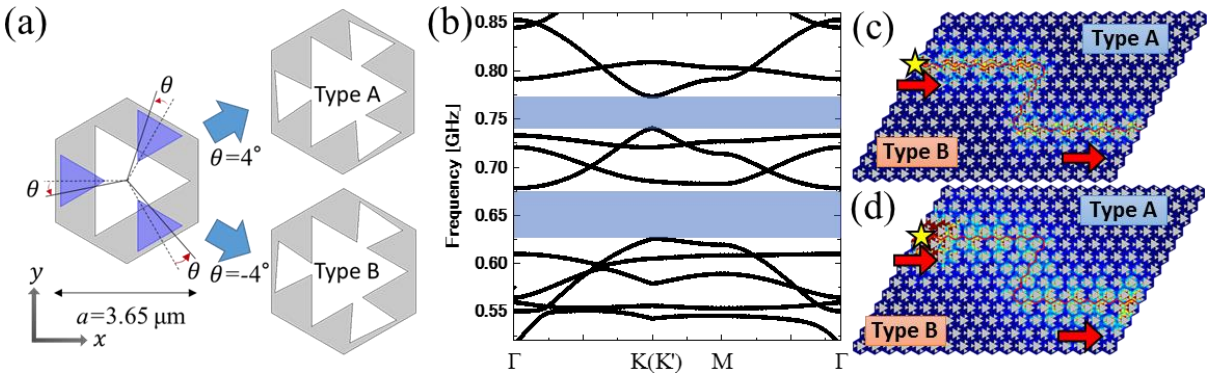

Fig. 1. (a) Different type of unitcells in GaAs-VPnCs. (b) Phononic band structure of a VPnC consisting of the Type A -unitcells (c, d) Total displacement field patterns through Z-shape interfaces shown in red lines at 658 MHz and 764MHz, respectively.

謝辞：有益なご議論を頂いた初貝安弘教授、太田泰友特任准教授、山口拓人氏に感謝する。本研究は特別推進研究(15H05700)、新学術領域研究(15H05868)、基盤 S(17H06138)および科研費(17J09077)により遂行された。
[参考文献] [1]R.K. Pal and M. Ruzzene, New J. Phys. **19**, 025001 (2017), [2] J.J. Chen *et al.*, AIP Adv. **7**, 115215 (2017) [3] D. Hatanaka *et al.*, The 65th JSAP Spring Meeting, 20a-C304-1 (2018), [4] V. Peano *et al.*, Phys. Rev. X **5**, 031011 (2015)