

二次元フォノンニック結晶スラブを用いた極超音波振動制御 Control of hypersonic vibrations in two-dimensional phononic-crystal slab

NTT 物性科学基礎研究所 ○畑中 大樹、山口 浩司

NTT Basic Research Laboratories ○Daiki Hatanaka, and Hiroshi Yamaguchi

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

近年、音や機械振動の素励起である音響フォノンに注目が集まりつつある。その短い波長や異種エネルギーとの高い親和性、さらには、低いエネルギー損失により、量子ハイブリッドシステムの変換器や信号処理デバイスの情報キャリア等への利用が基礎研究レベルにおいて提案・実証されている [1,2]。フォノンの制御性やその技術を高め充実させていくことによって、上記デバイスの機能性や制御性の飛躍的な向上、さらには、フォノンの新しい潜在的な利用・応用先の発見に繋がると期待される。我々はこれまでに、電気機械フォノンニック結晶 (PnC) を用いた超音波フォノン振動の空間的・動的制御技術や、それを用いたメモリ、論理ゲートデバイスを実証してきた [3]。しかしながら、これら PnC は MHz の機械振動を制御対象にしており、PnC 素子の将来的な展開を考慮すると、その動作周波数の低さは実用性や汎用性においてネックとなっていた。そこで本研究では、GHz 近傍で振動する極超音波フォノンを制御対象にした二次元 PnC を新しく作製し、その導波・共振特性をはじめとした基礎的な振動特性を室温において調べたので報告する。

二次元 PnC 素子は、図 a に示すように、二次元周期孔構造を含む GaAs ($\sim 1 \mu\text{m}$) スラブ部と極超音波振動励起用の Inter-digit transducer (IDT) 電極を有する GaAs ($\sim 1 \mu\text{m}$) / $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ ($3 \mu\text{m}$) バルク部から構成されている。この GaAs スラブに、周期間隔 $4 \mu\text{m}$ のスノーフレイク空孔を三角格子状に配列した PnC パターンを作製すると、 $0.4 \sim 0.6 \text{ GHz}$ の広い帯域においてフルバンドギャップが形成される。IDT 電極より 0.5 GHz の極超音波振動を励起すると、バンドギャップ効果によってその伝搬の著しい抑制が実験的に確認された。さらに、周期構造内に線欠陥や点欠陥を導入すると、極超音波振動の空間的な伝送や捕捉が可能な導波路と共振器を実現することにも成功した (図 b)。極超音波フォノンの制御が可能な PnC の実現により、GHz 振動の制御技術が充実し、量子ハイブリッドシステムや信号処理デバイス等、音響フォノンの様々な分野への展開が期待される。

[1] T. Aref *et al.*, arXiv:1506.01631. [2] I. Mahboob *et al.*, Nature Nanotechnol., 3, 275-279 (2008). [3] D. Hatanaka *et al.*, Nature Nanotechnol., 9, 520-524 (2014).

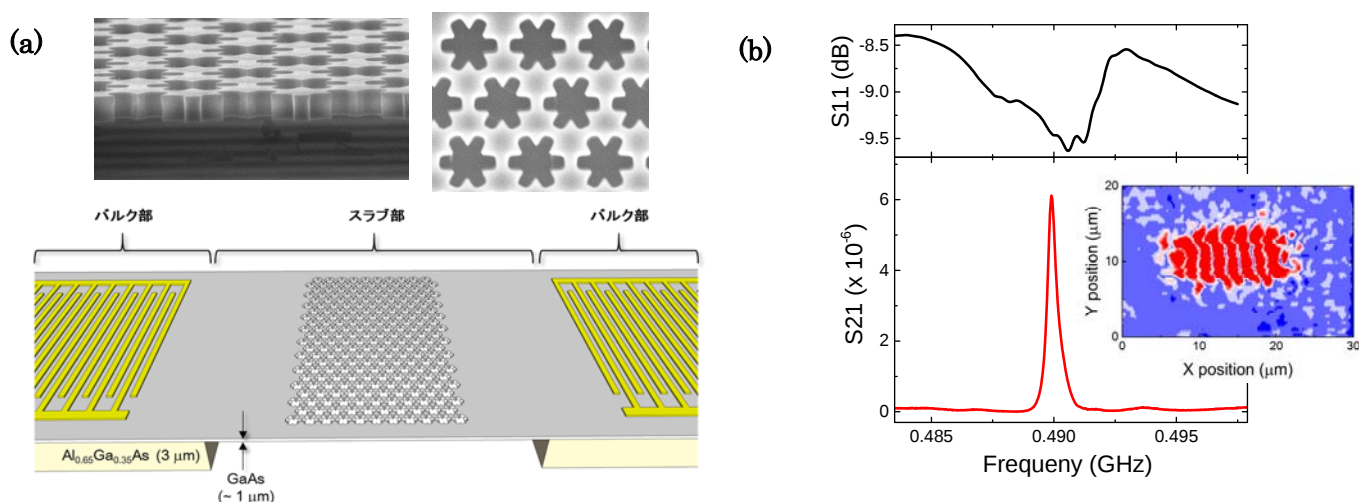


図 (a) 二次元 PnC スラブの模式図。挿入図はスラブ断面 (左) と PnC パターン (右) の電子顕微鏡写真。

(b) IDT 電極 (上) と点欠陥 L3 共振器 (下) の周波数応答の室温・大気中における測定結果。挿入図は実験で得られた 489.6 MHz での共振モード形状。