

熱フォノンによるフォノンエンジニアリング

Phonon engineering by thermal phononics

東大生研¹、JST さきがけ²、野村政宏^{1,2}、Jeremie Maire¹、Roman Anufriev¹IIS¹、The Univ. of Tokyo、PRESTO、JST²、M. Nomura^{1,2}、J. Maire¹、and R. Anufriev¹

E-mail: nomura@iis.u-tokyo.ac.jp

はじめに フォノンクスは、周期構造で弾性波の伝搬特性を制御し、フォトニック結晶中の光伝搬制御とのアナロジーで理解される。ナノスケールの人工周期構造では、熱伝導に寄与する 100 GHz 領域のフォノンに対してもフォノンクスが有効で、熱フォノンクスによるバンドエンジニアリングに基づいた熱伝導制御が報告されている[1]。フォノンエンジニアリングを粒子的描像から波動的描像で記述する領域に拡張する熱フォノンクスは、伝熱工学に新たな物理と技術をもたらすことが期待されるが、その研究は始まったばかりである。本発表では、フォニック結晶(PnC)ナノ構造を用いたフォノン輸送制御による熱伝導制御とその可能性および課題などについて述べる。

結果と考察 試料は周期 300 nm の正方格子状に円孔を設けた、厚さ 145 nm のブリッジ状 Si 二次元 PnC ナノ構造である[図 1(a)]。熱フォノンのコヒーレンスが保障される条件下では、フォノンの波動的描像に基づく熱輸送が起こり、熱フォノンクスの学問領域になる。図 1(b)は、有限要素法により計算したフォニックバンド図であるが、バンドギャップが開き、群速度が低減されることで熱流束スペクトルも特徴的になる[2]。フォノンの状態密度制御により、ある温度範囲では薄膜に空孔を設けることで熱コンダクタンスを増大させるという粒子描像では実現できない熱輸送を実現できる[3]。これまで、熱フォノンクスがどの程度の寸法ならば、どの程度の温度で適用可能かを示す手がかりはなかったが、Siにおいて周期 300 nm の PnC および周期性を乱した構造を系統的に作製し、マイクロサーモリフレクタンス法[4]によって 4 K において熱拡散時間を比較したところ、熱フォノンが人工結晶周期を感じて伝搬し、熱伝導に影響を及ぼすことを明らかにした。

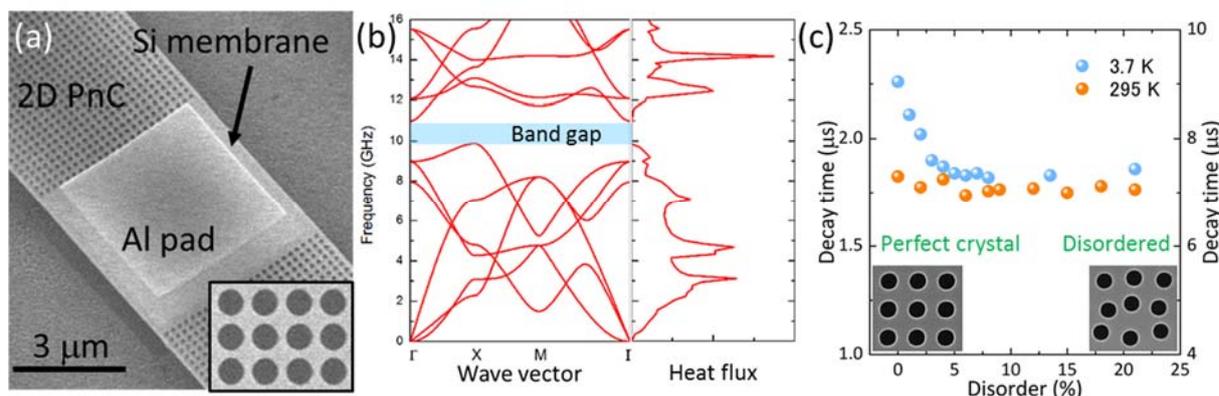


図 1(a) Si PnC ナノ構造の SEM 像。(b) 計算したフォニックバンド図と熱流束スペクトル。(c) フォニック結晶における熱拡散時間の短距離秩序依存性。低温ではフォノンの波動的性が顕著になり、周期 300 nm 程度の構造でも熱フォノンクスによる熱伝導制御が可能になる。

謝辞: 本研究は、文部科学省 イノベーションシステム整備事業、科学研究費補助金(25709090, 15H05869, 15K13270)、および JST さきがけの支援により遂行された。

参考文献: [1] J. Maire *et al.*, arXiv:1508.04574. [2] R. Anufriev *et al.*, PRB **93**, 045410 (2016). [3] R. Anufriev and M. Nomura, PRB **91**, 245417 (2015). [4] M. Nomura *et al.*, PRB **91**, 205422 (2015).