フォノニック結晶におけるネック効果による熱伝導率の低減

Thermal conductivity reduction by neck effect in periodic hole nanostructures

東大生研 [1]、ナノ量子機構 [2]、JST さきがけ [3]、○柳澤亮人 [1]、Roman Anufriev[1]、Jeremie Maire[1]、野村政宏 [1,2,3]

IIS[1], NanoQuine[2] Univ. of Tokyo, JST PRESTO, ○Ryoto Yanagisawa[1], Roman Anufriev[1], Jeremie Maire, Masahiro Nomura[1,2,3]

E-mail: r-yanagi@iis.u-tokyo.ac.jp

背景：ナノ構造における熱伝導はバルクとは異なる性質を示すため、ナノスケールフォノン輸送が盛んに研究されている。構造の寸法がフォノンの平均自由行程(MFP)よりも小さい系では、フォノンは強い表面散乱を受けて熱伝導率が低減する。例えば、シリコンにおいては MFP が 100 nm 以上のフォノンによって 80 %の熱が輸送されているため、数百 nm の構造を用いることで熱伝導率を制御することが可能であると期待される。今回、単結晶シリコンの細線状梁構造に円孔を施したフォノニック結晶（PnC）ナノ構造を作製し、熱伝導率の低減率を評価したので報告する。

結果：図 1 (a)に作製した PnC の走査型電子顕微鏡(SEM)画像を示す。電子線描画とドライエッチングを用いて単結晶 SOI ウエハの厚さ 145 nm の Si 層上に、長さ 10 μm、幅 300 nm のナノ梁構造と周期的な円孔を配列した PnC を作製した。円孔半径と周期を変え、サーモリフレクタンス法を用いて熱伝導率 κ を測定した(図 1 (b))[1]。周期が短く円孔の数が多いほど熱伝導率は小さくなり、円孔半径が大きくなるにつれて熱伝導率が大きく低減されるが、円孔と壁の間のネック幅 n が狭くなるにつれて、周期依存性が小さくなる傾向が見られた。これはフォノンのマルチスケール特性に起因する。フォノンの MFP は数 nm から数 mm 以上まで広く分布するが、ネック幅より長い MFP を持つフォノンは散乱強度が上がり、円孔周期よりも短い MFP を持つフォノンが熱輸送において支配的となるため、周期依存性が小さくなる。

PnC におけるネック効果について、図 1 (c)に示すようにネック幅が大きいときはネック密度が低く円孔が少ないほど熱伝導率は大きくなるが、ネック幅が小さくなると熱伝導率のネック密度依存性が小さくなり、少ない円孔でも熱伝導率が大きく低減される結果となった。

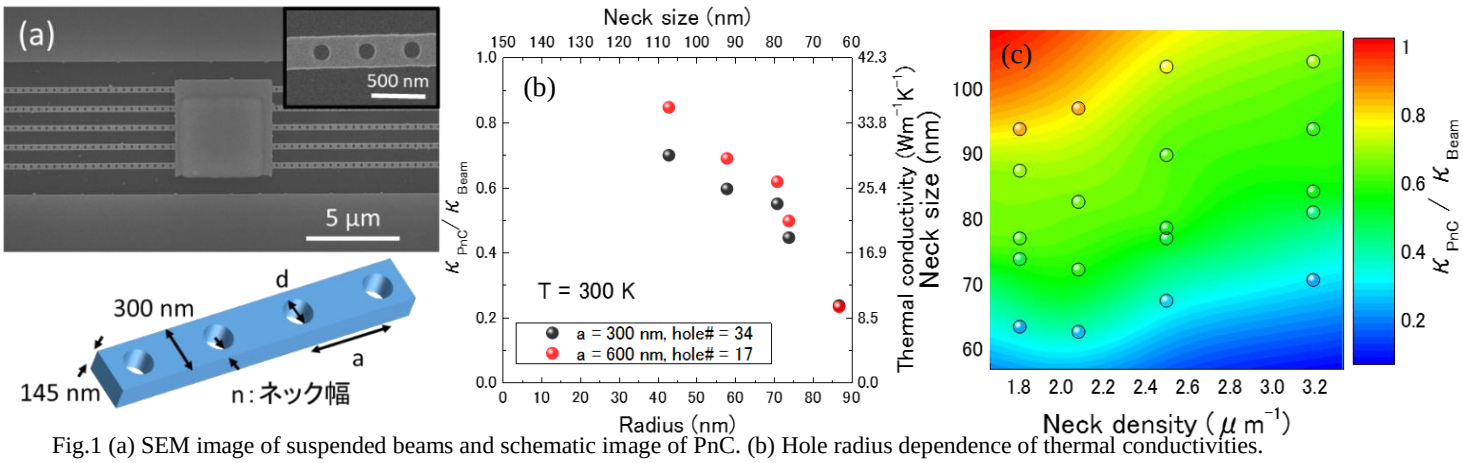

Fig.1 (a) SEM image of suspended beams and schematic image of PnC. (b) Hole radius dependence of thermal conductivities. (c)Thermal conductivity reduction map depending on both neck density and size.

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] Roman Anufriev, Jeremie Maire and Masahiro Nomura, Phys. Rev. B. 93, 045411 (2016)

© 2016年 応用物理学会