

フォノニックナノ構造を用いた熱伝導制御の検討

Controlling thermal conduction by phononic nanostructures

東大生研¹、ナノ量子機構² ○野村政宏^{1,2}IIS¹ and Nanoquine², The Univ. of Tokyo, ○M. Nomura^{1,2}

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

はじめに バルクでは低い熱電変換能にとどまる Si にナノ加工を施し、高効率な熱電変換材料に昇華させる試みがなされており、近年では、フォノン散乱に加え、フォノニックナノ構造を用いた波動性による熱伝導制御が報告されている[1]。我々は、Si フォノニックナノ構造におけるフォノン伝導について理論・実験の両面から、その物理の理解と制御を目指して研究を行っている[2]。今回、バルク Si の室温におけるフォノンの平均自由行程(MFP)と累積熱伝導率を計算し、フォノニックナノ構造の導入による熱伝導制御の可能性について検討したので報告する。

計算結果と議論 不純物散乱、ウムクラップ散乱によるフォノンの緩和時間を計算し、LA および TA フォノンについて MFP スペクトルを計算した(図1)。また、フォノンによる熱伝導の寄与を MFP の短い方から足し合わせた、累積熱伝導率を図2に示す。これらの結果から、100 nm(図中の緑線)よりも長い MFP をもつフォノンが熱伝導に大きく寄与していることがわかる。したがって、100 nm 程度の周期をもつフォノニック結晶(PnC)ナノ構造による、コヒーレントなフォノン伝搬制御が熱伝導に影響すると考えられる。図3(a)に示す Si の周期構造を考え、Floquet 周期境界条件を適用してバンド構造および振動モードを計算した。図3(c)は周期 $a = 300$ nm, $w = 50$ nm の構造のフォノニックバンド構造であり、1 μm よりも長い MFP を有する 10 GHz 程度以上の周波数のフォノン伝搬に影響を与えることがわかる。以上から、周期数百 nm 程度のフォノニックナノ構造における熱伝導は、フォノンの粒子的および波動的側面の両者を取り扱って議論する必要があることが示唆された。

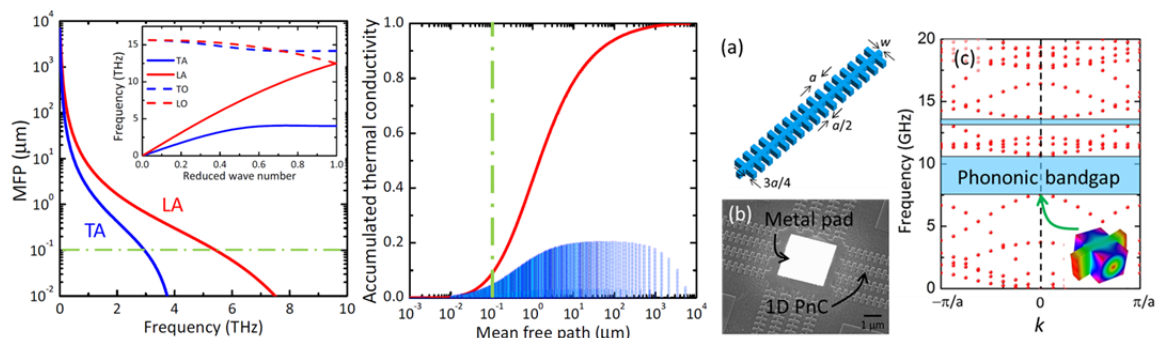


図1(左) バルク Si の Γ -X 方向の分散関係を用いて計算した LA、TA フォノンの MFP スペクトル。図2(中央) 累積熱伝導率(赤線)と各平均自由行程に占める熱伝導率の割合(青線)。図3(a, b) 検討中の一次元 Si PnC ナノ構造の模式図と作製した構造の SEM 写真。(c) 周期 400 nm のフォノニックバンド構造。

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、最先端研究開発支援プログラム、科学研究費補助金(24656576)、および村田学術振興財団の支援により遂行された。有益な議論を頂いた東京大学の塩見淳一郎氏、志賀 拓磨氏、Jeremie Maire 氏に感謝致します。

参考文献: [1] J. Yu *et al.*, Nat. Nanotech., **5**, 718 (2010). [2] M. Nomura, MNC, 1C-6-2 (2012).