

シリコン量子細線における音響フォノンによる 弾道的熱輸送に与える波付け加工の影響

Corrugation Effects on Ballistic Thermal Transport by Acoustic Phonons in Silicon Nanowires

○服部 淳一*, ウラジーミル ポボルチー, 多田 哲也 (産総研)

○Junichi Hattori*, Vladimir Poborchii, and Tetsuya Tada (AIST)

*E-mail: j.hattori@aist.go.jp

背景 熱電材料の良し悪しを判断する指標の一つに性能指数(ZT)がある。シリコン量子細線(Si NW)は実用化の目安である1に迫る ZT を示し、熱電材料としても注目を集めている[1, 2]。最近になって、角柱状Si NWに対し、一对の側面を波打たせることで ZT を更に高められる可能性が示された[3, 4]。この波付け加工の狙いはフォノンによる熱輸送の抑制にある。熱輸送能力が低下すれば、それと反比例の関係にある ZT は向上することになる。本研究では、音響フォノンに焦点を当て、Si NWにおける熱輸送に与える波付け加工の影響を明らかにする。これまでに、波付け幅 Δw と周期長 ℓ (Fig. 1 参照)について熱輸送との関係を調べ、 Δw を大きくするほど、また、 ℓ を小さくするほど熱輸送は抑制される傾向にあることを報告した[5, 6]。今回の講演では、これらの関係をより詳しく調べた結果について報告する。

方法 まず、波付きSi NWの形状を、その幅は細線軸に沿って正弦関数的に変化するとしてFig. 1のようにモデル化した。次に、NWにおける音響フォノンの分散関係を xyz 法[7, 8]によって計算した。そして、フォノンは一切の散乱を受けないという仮定の下で、得られた分散関係からNWの熱コンダクタンス[9]を評価した。

結果 波付け幅 Δw を25 nmとする波付け加工を施した、平均幅 W を100 nm、厚さ H を50 nmとするSi NWの熱コンダクタンスについて、波付け加工を施していないSi NWの熱コンダクタンスに対する比を、Fig. 2に波付け周期長 ℓ の関数として示す。図から、波付け加工によってSi NWの熱輸送能力は低下することが分かる。この波付け加工の影響は、 ℓ が W より大きいところでは、以前に報告した傾向のとおり、 ℓ が小さくなるにつれて強まっていく。しかし、 ℓ が W よりも小さくなると、一転して弱まっていく。これは、波付け加工の効用を最大化するためには、 ℓ を可能な限り小さくすればよいというわけではなく、適切な値に設定する必要があることを意味している。

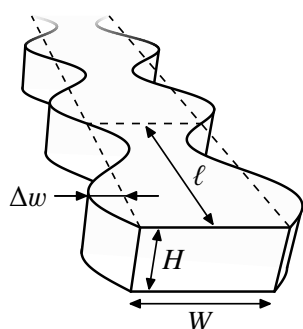


Fig. 1. Schematic view of a corrugated silicon nanowire (Si NW).

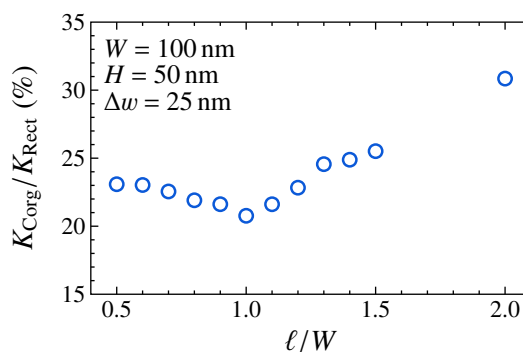


Fig. 2. Ratio of ballistic thermal conductance of Si NWs with to that without corrugation, plotted as a function of the corrugation period length, ℓ .

参考文献 [1] A. I. Boukai *et al.*, Nature **451**, 168 (2008). [2] A. I. Hochbaum *et al.*, Nature **451**, 163 (2008). [3] C. Blanc *et al.*, Appl. Phys. Lett. **103**, 043109 (2013). [4] V. Poborchii *et al.*, Ext. Abstr. SSDM, 2015, p. 736. [5] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. JSAP Spring Meet., 2015, 12p-A27-2 [in Japanese]. [6] J. Hattori *et al.*, Ext. Abstr. JSAP Autumn Meet., 2015, 16p-2D-11 [in Japanese]. [7] W. M. Visscher *et al.*, J. Acoust. Soc. Am. **90**, 2154 (1991). [8] S. Mizuno and N. Nishiguchi, J. Phys.: Condens. Matter **21**, 195303 (2009). [9] J. Hattori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04EP07 (2016).