

有限長シリコン量子細線における弾道的フォノン熱輸送に与えるひずみの影響

Strain Effects on Ballistic Phonon Thermal Transport in Finite-Length Silicon Nanowires

○服部 淳一 (産総研)

○Junichi Hattori (AIST)

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

背景 トランジスタが微細になり、集積度とともに発熱密度が高まるにつれ、半導体集積回路の性能や信頼性に対する熱の悪影響が問題視されるようになった。この問題への対処は今日ますます重要になり、その手掛りとしてトランジスタにおける熱輸送現象への関心が高まってきている。一方、トランジスタの微細化の過程では、ひずみによってそのキャリア輸送能力を高める技術も生まれ、近年は標準的に利用されている。しかし、熱輸送に与える影響については、まだ十分に理解されてはいない。著者らは次世代トランジスタのチャンネル材料と目されるシリコン量子細線 (Si NW) を対象に、フォノンによる熱輸送とひずみの関係を調べ、無限長 Si NW の熱輸送能力がひずみによって変化することを明らかにした [1, 2]。本稿では、より現実的な状況として Si NW の長さが有限の場合について、ひずみがフォノン熱輸送に与える影響を調べる。

方法 まず、Fig. 1 に示すような一部にひずみを加えた無限長 Si NW の原子モデルを、原子の平衡位置を探索する [1] ことによって作成した。次に、非平衡グリーン関数法 [3] を用いて、ひずみを加えた部分におけるフォノンの透過係数を評価した。最後に、得られた透過係数から、その Si NW 断片の熱コンダクタンスを計算した。

結果 Fig. 1 に示した一辺の長さ約 1 nm の正方形断面を有する無限長 Si NW に対し、長さにして約 11 nm に渡って軸方向に 3% の圧縮ひずみを加えた場合について、その部分のフォノン透過係数を計算した。その結果を Fig. 2 に示す。横軸はフォノンのエネルギーを表す。この透過係数から熱コンダクタンスを計算すると 0.607 nW/K であった。これは、無ひずみの場合の 0.728 nW/K より 15% 以上小さい。一方、全長に渡って同じひずみを加えた場合には、熱コンダクタンスの上昇がわずかながらも確認されており [1]、Si NW におけるフォノン熱輸送に与えるひずみの影響は、Si NW の長さに依存する可能性がある。

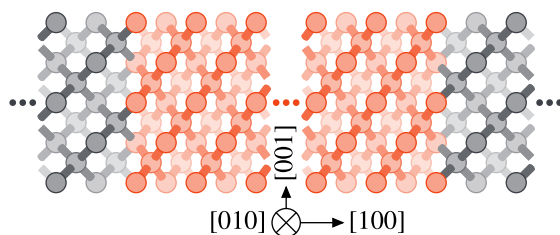


Fig. 1. Side view of a [100]-oriented silicon nanowire (Si NW) having a square cross-section with the side length of about 1 nm. A strain parallel to the NW is applied to the NW segment colored red.

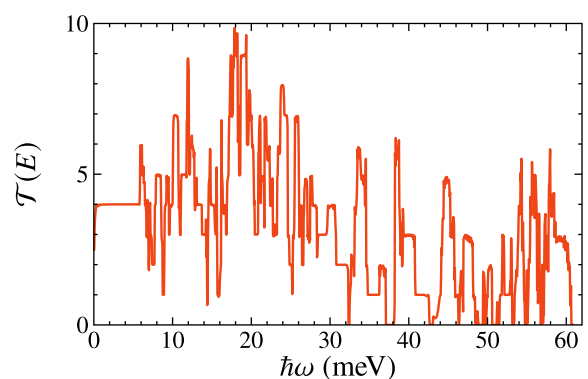


Fig. 2. Phonon transmission of the Si NW segment with the original length of about 11 nm plotted as a function of the phonon energy for a compressive strain of 3%.

謝辞 本研究は、日本学術振興会の科学研究費助成事業の助成を受けたものである (JP16K18082)。

参考文献 [1] J. Hattori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04EP07 (2016).

[2] J. Hattori, Ext. Abstr. JSAP Autumn Meet., 2018, 21a-135-9 [in Japanese].

[3] W. Zhang *et al.*, Numer. Heat Transfer Part B **55**, 333 (2007).