シリコンナノピラーの間隔変化による熱特性への影響

Effect of Si-Nanopillar Spacing on Thermal Properties

宮崎大工 [1]，台湾交通大工 [2]，東北大流体研 [3]　○原田 知季 [1]，安良田 裕基 [1]，大堀 大介 [2,3]，
寒川 誠二 [3]，碇 哲雄 [1]，福山 敦彦 [1]

Univ. of Miyazaki [1], NCTU[2], IFS Tohoku Univ. [3], °Tomoki Harada[1], Yuki Arata[1], Daisuke Ohori[2,3],
Seiji Samukawa[3], Tetsuo Ikari[1], Atsuhiko Fukuyama[1]

E-mail: hk15035@student.miyazaki-u.ac.jp

【はじめに】廃熱を回収し有効利用する技術として安価な Si 系材料による熱電変換が注目されている。無次元性能指数の向上のため、ナノ構造により熱伝導率(κ)を減少させる試みがある。既に我々はバイオテンプレートと中性粒子ビームエッチング(NBE)により Si ナノピラー(Si-NP)を SiGe で埋め込んだ複合膜を作製した。拡張3ω法を適用することで NP 間隔が 40 と 60 nm の複合膜の NP 平行方向のκがそれぞれ 2.6 と 2.8 W/mK になると算出し、κ制御の可能性を報告した[1]。拡張 3ω法は熱源となる電極の幅を制御することでκの異方性を測定できるが、適切な電極幅の設定が必要である。本研究では拡張 3ω法とは異なる観点から熱特性を評価できる圧電素子光熱変換分光法(PPT)を適用し、Si-NP 間隔による熱特性変化を議論した。

【試料詳細および実験方法】NBE により 725 μm と 140 nm の Si/SiO_2 基板上に長さ 90 nm の NP を形成し、その後熱化学気相成長法で NP 間を SiGe で充填した複合膜を作製した。本研究では NP 間隔が 40 と 60 nm の 2 試料を用意した。PPT 測定は断続光を Si 基板側に照射し複合膜側に接触させた $LiNbO_3$ で熱波を検出した。この配置では NP 平行方向の熱伝導を測定できる。複合膜の熱特性は、空気/Si/SiO_2/複合膜/$LiNbO_3$ の 5 層を考慮した熱拡散方程式[2]を用いた理論計算との比較から算出した。複合膜以外の層の物性値は文献値を用いた。

【実験結果と考察】Fig. 1 に PPT 強度の周波数依存性と計算結果を示す。点線で示すように複合膜のκと光吸収係数(α)の変化だけでは実験結果を再現できなかった。そこで、比熱(c)も変化させたところ、実線のように良い一致が得られた。パラメータを Table1 に示す。NP 間隔が大きくなるとκは大きくなる事がわかり、これは拡張 3ω法の結果と一致した。一方、c も NP 間隔が大きくなると増加することがわかった。つまりナノ構造によりκだけでなく、c も変化する可能性が示唆された。

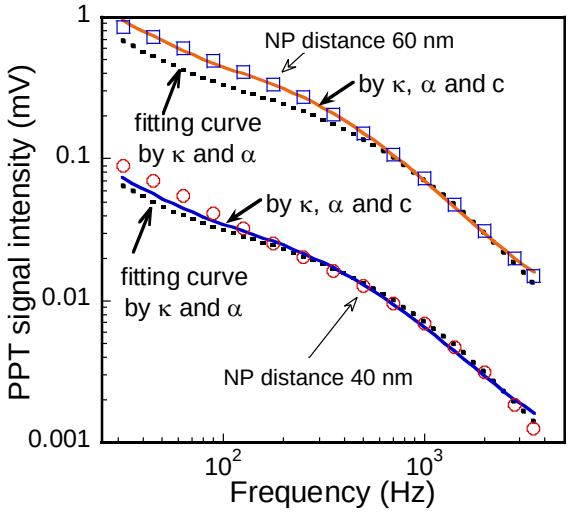

Fig. 1 Frequency dependence of PPT signal intensity

Table1 Fitting parameters

Sample	κ (W/mK)	α (/cm)	c (J/gK)
40 nm	4.5	850	2.0
60 nm	5.5	700	2.2

[1]大堀大介，寒川誠二 他，第 80 回応用物理学会 秋季学術講演会 189-E214-8 (2019).
[2]H. Nabeta *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **30**, Suppl. 30-1, 289 (1991).