Si ナノピラー構造の間隔制御することによる フォノン場制御とキャリア輸送特性に与える影響

Characteristics of Carrier Mobility and Phonon Scattering by Controlling Spacing of Si Nanopillars in SiGe

東北大流体研 [1], 東北大 AIMR [2], 産総研 [3], 東理大 [4], 東大生研 [5] ○(PC)大堀 大介 [1], 久保山 瑛哲 [4], 村田 正行 [3], 山本 淳 [3], 野村 政宏 [5], 遠藤 和彦 [1,3], 寒川 誠二 [1,2,3]

IFS, Tohoku Univ. [1], AIMR, Tohoku Univ. [2], AIST [3], TUS [4], IIS Univ. of Tokyo [5], °Daisuke Ohori[1], Hidesato Kuboyama[4] Masayuki Murata[3], Atsushi Yamamoto[3], Masahiro Nomura[5], Kazuhiko Endo[1,3], Seiji Samukawa[1,2,3]

E-mail: daisuke.ohori.a4@tohoku.ac.jp, samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

【緒言】

近年の高度情報化社会の発達により IoT 社会が到来し、そのセンサ用自立電源では、低環境負荷な Si を用いた熱電変換素子が注目されている。Si 薄膜における熱電変換素子では、Si にナノ構造を形成することで、絶対性能指数(ZT)の向上が図られている[1]。しかしながら、ボールミルやミキサーミリングでナノ材料を焼結し、ナノ構造を有するバルク材料を形成するために、ロット間での材料特性のばらつきが大きく再現性を得ることが困難であるという問題がある。そこで本研究では、間隔を制御した無欠陥 Si ナノピラーを $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ で埋め込むことで起こる、熱伝導率異方性とキャリア輸送特性に与える影響を検討した。

【実験方法および結果】

Si ナノピラー構造の作製には、バイオテンプレート極限加工技術を用いた。マスクには、分子量 2000、10000、20000 のポリエチレングリコールを装飾した酸化鉄内包蛋白質 Ferritin を用い、Ferritin の間隔を 25、40、60 nm、密度を 1.8×10^{11}、0.68×10^{11}、0.34×10^{11} /cm^2 で配置制御した。その後、中性粒子ビームエッチングによって高さ 90 nm、直径 14 nm の Si ナノピラー構造をノンドープ SOI 基板上に作製した。さらに、熱 CVD 法を用いてノンドープ $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ を Si ナノピラー構造に対してエピタキシャル成長させた。これらの試料に対して、電気伝導率の測定および 3ω 法による熱伝導率測定を行った。

Table 1 に作製した Si ナノピラー/ $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ 複合膜 (ピラー間隔: 25 nm、厚さ: 100 nm) の拡張 3ω法による面直方向および面内方向における熱伝導率を示す。この結果、3ω法により面直方向の熱伝導率 κ=1.6 W/mK が得られた。これに対して面内方向の熱伝導率は κ=0.4 W/mK と著しく小さな数値を示し、Si ナノピラー/$Si_{0.7}Ge_{0.3}$ 構造の熱伝導率は Si バルクに比べて 1/350 という非常に小さくかつ異方性を示すことから作製したナノ構造によりフォノン場が制御できていることが示唆される。また、その時、電気伝導率はバルクに比べ向上する結果が得られ、フォノンとキャリアの独立制御の可能性を示していると考えられる。

Table 1. Anisotropic thermal conductivity and high hole mobility in 25 nm in spacing Si NP/$Si_{0.7}Ge_{0.3}$ composite film.

	面直方向の熱伝導率 (W/mK)	面内方向の熱伝導率 (W/mK)
Si NP/SiGe 複合膜	1.6	0.4

Reference [1] S. K. Bux, et al., Adv. Funct. Mater **19**, 2445 (2009)