

金属/絶縁体複合熱伝導層を載せたナノワイヤ型シリコン熱電デバイスの評価

Evaluation of Si-NW μ -TEG with metal/insulator multilayered conductive films

早大理工¹, 物材研² ○平尾 修平¹, 大和 亮¹, 詹 天卓¹, 徐 茂¹, 武澤 宏樹¹, 目崎 航平¹,
富田 基裕¹, 徐 一斌², 渡邊 孝信¹

Waseda Univ.¹, NIMS² ○S. Hirao¹, R. Yamato¹, T. Zhan¹, M. Xu¹, H. Takezawa¹, K. Mesaki¹,
M. Tomita¹, Y. Xu², T. Watanabe¹

E-mail : hirao_syuhei@watanabe.nano.waseda.ac.jp

【はじめに】近年、あらゆるものがワイヤレス通信によって接続される IoT 社会の実現に向け、自立動作を支える電源として熱電発電が注目されている。また、シリコンをナノワイヤ化することで電気伝導率を維持しつつ熱伝導率が低下することが明らかにされ^[1]、CMOS プロセスで安価に製造可能なシリコンナノワイヤ(Si-NW)微小熱電発電デバイス(Micro Thermoelectric Generator: μ -TEG)の研究が活発になっている^[2,3]。我々は、基板に垂直な熱流から基板水平方向に漏れ出る熱流を利用した新しい構造の μ -TEG の開発(Fig.1)を進めている^[4]。 μ -TEG に流入する熱はデバイス上部に設けられた熱伝導層を介して流れるが、この熱伝導層は短絡を防ぐため電氣的に絶縁させる必要があり、かつ熱抵抗を低減することが重要となる。そこで、大部分に熱伝導率の高い金属を用い、絶縁性を確保するため μ -TEG と金属の間に絶縁層を挟む積層構造を考案した。本研究では、過去の研究で最も熱抵抗の低かった積層構造である Al/Ti/SiO₂の熱伝導層と AlN のみを熱伝導層として設けた μ -TEG の特性について比較を行った。

【実験方法】作製した μ -TEG の断面図を Fig.2 に示す。 μ -TEG は Si-NW 発電部と NiSi 電極パッド、熱伝導層で構成されており、パッド間は 400 本の Si-NW でつながれている。ワイヤ長は 8 μ m、ワイヤ幅は 100nm である。Si-NW およびパッドは SOI 基板を EB リソグラフィ後ドライエッチングにより形成し、熱酸化により 20nm の酸化膜を形成した。さらに、P⁺イオンを注入し(1.0 \times 10¹⁵cm⁻², 25keV)、活性化アニールを行った。さらに、Ni スパッタリング後にシリサイド化アニール(410°C, 20min)を行った。そして、片側のパッドに熱伝導層として AlN(550nm)または Al/Ti/SiO₂(400nm/10nm/30nm)をスパッタリングし、2 種類のデバイスを作製した。測定方法としては、318K に昇温した微小熱源を高温熱源として熱伝導層に接近させ、基板ステージはペルチェ冷却を用いて 293K で冷却した。このときの開放電圧から発電量を見積もった。また、顕微サーモグラフィを用いて μ -TEG の温度分布を測定した。

【実験結果】Fig.3 に、測定により得られた発電量を示す。AlN 熱伝導層と比較すると、複合熱伝導層の場合、約 2.85 倍の発電量が得られた。また、発電部(Si-NW)にかかる温度差は、AlN 熱伝導層の場合、0.95K に対し、複合熱伝導層の場合 1.40K に上昇し、約 1.47 倍の温度差がつくことを確認した。これは、熱伝導層の熱抵抗が減少したためと考える。個々の材料を比較すると、AlN が最も熱伝導率が高いと考えるが、熱抵抗を比較すると、複合熱伝導層の方が熱抵抗は小さいと考えられる。これは、フォノン状態密度のミスマッチから AlN と NiSi 間の界面熱抵抗が非常に大きく、一方、複合熱伝導層は積層構造にすることで界面熱抵抗が減少していることが考えられる。今回の実験結果は、界面熱抵抗の影響を考慮した積層構造の熱伝導層を設けることが、 μ -TEG の発電密度を最適化する上で重要であることを示している。

【謝辞】本研究は JST-CREST の支援により実施された。また、デバイス作製は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(NIMS 微細加工プラットフォーム)を利用して実施した。

【参考文献】[1] A. Hochbaum et.al., Nature, **451**, 163 (2008). [2] M. Totaro et al., Microelectronic Engineering, **97**, 157 (2012). [3] G. Penneli, Beilstein J. Nanotechnol, **5**, 1268 (2014). [4] T. Watanabe et al., Electron Devices Technology and Manufacturing conference 2017. [5] 大和亮他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 講演予稿.

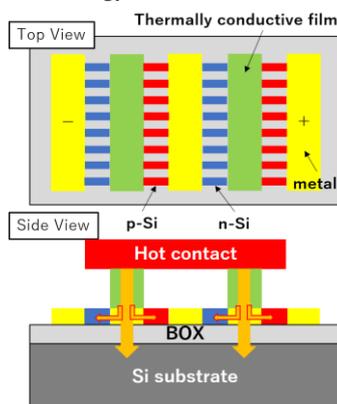


Fig.1 Schematic of the μ -TEG

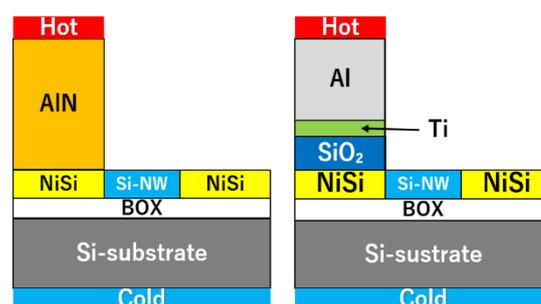


Fig.2 Sectional view of the μ -TEG

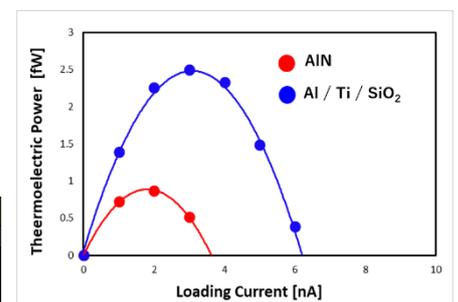


Fig.3 Comparison of thermoelectric power by the difference in thermally conductive layer