熱伝導率異方性制御 CNT シートを用いたプレナー型熱電発電デバイスの設計

Design of planar type thermoelectric device using CNT sheet with anisotropic thermal conductivity

早稲田大学理工学術院 [1]、九大院工 [2]、JST-さきがけ [3]
○島 圭佑 [1]、富田 基裕 [1]、松本 昌修 [2]、藤ヶ谷 剛彦 [2,3]、渡邉 孝信 [1]
Waseda Univ.[1], Kyushu Univ.[2], JST-PRESTO[3]
°K.Shima[1], M.Tomita[1], M.Matsumoto[1, 2], T.Fujigaya[2], and T.Watanabe[1]
E-mail: k.shima10944@asagi.waseda.jp

【はじめに】カーボンナノチューブ(CNT)シートは無毒性とフレキシブル性[1]から、ウェアラブルな熱電デバイス材料として注目されている。しかし、熱電デバイスの構造としてよく検討されている熱源側から排熱側にかけて p 型半導体と n 型半導体を交互に橋渡しさせるようにして直列に接続するπ型構造では、立てるようにしたシートの一端が熱源側、もう一端が排熱側となるためにデバイスが厚くなり、肌に身に着けるようなウェアラブル熱電デバイスとしては不向きであった。そこで我々は p と n が交互にドープされたシートの表面が排熱側、裏面が高温熱源側となるようなプレナー型の熱電デバイスを考案した。このデバイスはシート内の pn 接合間に温度差を設けるためシート裏面側に熱伝導層と断熱層を交互に配置する。さらに、CNT シートにポリマー粒子を添加してシートに垂直な方向の CNT 繊維を増やし、シート面内方向の熱伝導性を低減することで平面型 CNT シート熱電デバイスの発電能力を向上させる。本研究では、デバイスの寸法やポリマー粒子の添加量を変化させた場合の物性値を用いて有限要素デバイスシミュレーションを行った。

【実験】Fig. 1 に CNT シートを用いた熱電デバイスのモデルを示す。幅 5mm, 長さ 21.2mm のシートを n 型領域と p 型領域に二分し、シートの pn 接合直下に厚さ及び長さ 1.2mm の銅を熱伝導層として、それ以外のシート下部に厚さ 1.2mm のシリカエアロゲルを断熱層として配置した。温度条件として裏面を 50℃、シート表面から空気層 1mm 隔てた面の温度を 25℃とした。CNT シートは面内方向の熱伝導を変調するため、ポリマー粒子 0 および 5wt%添加したものを作製した。また、エタノール浸漬と熱処理でポリマー粒子を除去することでさらに熱伝導率を低下させることも試みた。これらシートの熱伝導率、電気伝導率及び、ゼーベック係数を実測し、シミュレーション条件として適用した。このデバイスのシート膜厚 H を変えたときの温度分布及び発電量を計算する。

【結果】Fig. 2 にシート膜厚 25μm, 及び 300μm のときの粒子無添加シートと粒子添加 5wt%シート（粒子除去処理済み）の温度分布を示す。粒子無添加の場合、膜厚 25μm でシート面内方向に温度差が十分に生じているが、厚さが 300μm と厚くなると温度差が小さくなる。対して粒子を 5wt%添加して粒子除去したシートは膜厚が 300μm と厚くなっても面内方向の温度差が保たれている。これは粒子添加による面内方向熱伝導率の低下し、熱の拡散が抑えられたためである。また、Fig.3 に示すように粒子を 5wt%添加し粒子除去処理を施したシートの電気伝導度は低いが、シート面内方向の温度差を大きくでき、シート厚さ 300μm 以上で粒子無添加シートよりも面積あたりの発電量が大きくなる。したがって、膜厚が数百 μm 以上の場合、粒子を添加して熱伝導率の異方性を制御することは平面型 CNT シートの発電性能向上に有効であることを示している。

なお、本研究は JST-CREST (JPMJCR15Q7)、及び JST-さきがけ(JPMJPR15R6)の助成を受けている。

[1] J.L.Blackburn et al., Advanced Materials, (2018), 30, 1704386

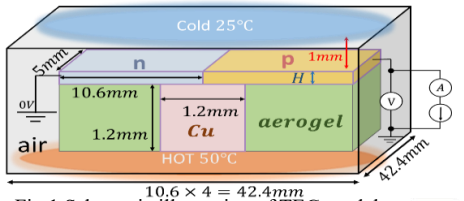

Fig.1 Schematic illustration of TEG model

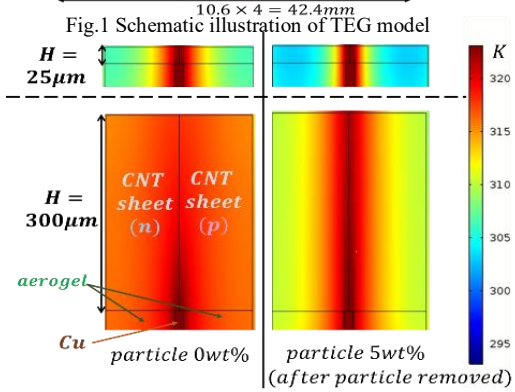

Fig.2 Temperature distribution of CNT sheet

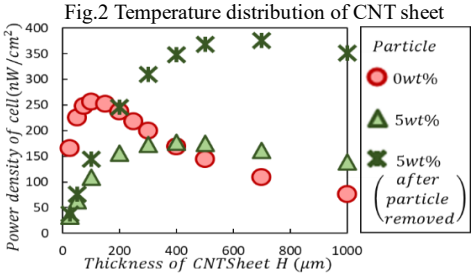

Fig.3 Power density of each CNT sheet

© 2019年 応用物理学会