広温度範囲に亘る

単一セルロースナノファイバーの超高精度熱伝導計測

Ultra-sensitive thermal conductivity measurement of individual cellulose nanofibers
over a wide temperature range

○学 足立 建人 (東京大) 大長 一帆 (東京大)

齋藤 継之 (東京大) 正 児玉 高志 (東京大)

Kento Adachi¹, Kazuho Daicho², Tsuguyuki Saito², Takashi Kodama¹

¹Dept. of Mech. Eng., The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo, Tokyo, 113-8656

²Dept. of Biomat. & Sci., The University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo, Tokyo, 113-8657

Key Words: Thermal conductivity, Nanofiber, Cellulose, Nanoscale, Micro fabrication

近年、集積回路の放熱のために用いる高熱伝導材料や、省エネルギー化のために用いる断熱材料がますます重要になっている。まず、集積回路については高集積化に伴い回路中の発熱量がより一層増加しており、そのため機器が破損しないためには効率的な放熱が不可欠である。中でも、フレキシブル液晶やウェアラブルデバイスに用いられるフレキシブル電子基板の既存材料であるポリイミド等のポリマー材料は熱伝導率が 1 W/(m K) 程度⁽¹⁾と低く、効率的に放熱をすることが出来ないため、高熱伝導フレキシブル基板材料が強く求められている。一方で、省エネルギー社会の実現に向けて、ビルや車等のエネルギー効率を向上させる高断熱材料もまた重要であり、この高断熱材料の候補として、材料内部に多数の空隙を持つことが特徴であるエアロゲルが注目されている。しかし、代表的なエアロゲル断熱材料であるシリカエアロゲルは、ロックウールやグラスファイバーといった既存材料を大きく上回る断熱性能を示すものの⁽²⁾、材料の脆さが実用性を制限している。そのため、高強度高断熱エアロゲルが強く求められている。そして、高熱伝導フレキシブル基板及び高強度高断熱エアロゲルへの要求を満たす将来性を持つ材料として注目されているのがセルロースナノファイバー (Cellulose nanofiber, CNF) である。

CNF は植物、ホヤ、バクテリアなどの生物から得ることが出来、一軸方向に配向した伸びきりセルロース分子鎖からなる高結晶質構造を形成している。また、直径 $2\text{-}20 \text{ nm}$ 程度という非常に小さな幅を持つこのナノファイバーは、低密度、高強度、高弾性率、低熱膨張率、高比表面積等の様々な優れた機械的特性を持つ⁽³⁾。さらに、高熱伝導の面では CNF からなるバルクシートが従来のフレキシブル基板材料よりも優れた熱伝導率を持つことが報告されている⁽⁴⁾。一方で、CNF エアロゲル断熱材が高断熱性能だけでなく、実用性に重要な柔軟性や機械的強さを併せ持つことが報告されており⁽⁴⁾、またその熱輸送は熱伝導、熱伝達、熱輻射の 3 要素からなるが、一定の体積分率では熱伝導が支配的であることが示されている⁽⁵⁾。そして、高熱伝導、高断熱双方の性能向上やその熱マネジメント材料としての潜在能力の把握には、バルク CNF 材料を構成する最小単位である単一 CNF の熱輸送の理解が重要である。しかし、単一 CNF の熱輸送に関しては、解析的に報告された例⁽⁶⁾はあるものの、実験的に計測された先行研究は計測の困難さから存在しない。そこで、本発表では単一 CNF の熱伝導を、マイクロスケールサスペンション測定デバイスとブリッジ回路を組み合わせた超高感度熱伝導計測により $40\text{-}320 \text{ K}$ に亘り評価した結果を、本計測手法の妥当性や計測精度などと併せて報告する予定である。

参考文献

(1) Uetani, K.; Okada, T.; Oyama, H. T. *Biomacromolecules* **2015**, 16 (7), 2220-2227.

(2) Haranath, D.; Pajonk, G. M.; Wagh, P. B.; Rao, A. V. *Mater. Chem. Phys.* **1997**, 49 (2), 129-134.

(3) Saito, T.; Nishiyama, Y.; Putaux, J.-L.; Vignon, M.; Isogai, A. *Biomacromolecules* **2006**, 7 (6), 1687-1691.

(4) Kobayashi, Y.; Saito, T.; Isogai, A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53 (39), 10394-10397.

(5) Otori, M.; Suh, D.; Yamasaki, S.; Kodama, T.; Saito, T.; Isogai, A.; Shiomi, J. *Phys. Rev. Applied* **2019**, 11 (2), 024044.