

配列制御単層カーボンナノチューブ薄膜を用いた界面熱抵抗制御

Control of Thermal Boundary Resistance

using Aligned Single-walled Carbon Nanotube Thin-films

都立大理¹, 産総研², ライス大³, °上治 寛¹, 片桐 温寛¹, 松岡 勇也¹, 武藤 暢宏¹,蓬田 陽平¹, 八木 貴志², 河野 淳一郎³, 柳 和宏¹TMU¹, AIST², Rice Univ.³, °Kan Ueji¹, Atsuhiko Katagiri¹, Yuya Matsuoka¹, Nobuhiro Muto¹,Yohei Yomogida¹, Takashi Yagi², Junichiro Kono³, Kazuhiro Yanagi¹

E-mail: yanagi-kazuhiro@tmu.ac.jp

はじめに: トランジスタなどに代表される電子機器の素子の集積率は非常に高くなっているため、廃熱などの影響が無視できなくなり、素子毎の熱管理も重要になっている。^[1] 単層カーボンナノチューブ(SWCNT)は柔軟性・高い安定性・高い電気伝導率を有するため、有望な素子材料として知られている。しかし、個々のチューブ、バンドル、フィルム間で強い結合をすることから、CNT物質は多様な階層構造をとり、熱伝導率の値は、 $0.1 \sim 1000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ とかなり幅広い値を示す。つまり、CNTの階層構造と熱輸送の相関の理解は、薄膜構造における熱管理をする上で重要な知見となる。近年、SWCNT配列膜を作製できる手法^[2]が確立されたことで、薄膜内部の無秩序性を排除して熱流を議論できる。そこで、我々はSWCNT配列膜を利用して熱流を制御するために、配列薄膜同士の積層する角度(θ)による界面熱抵抗の変化を時間領域サーモリフレクタンス法(TDTR)にて調査した。

実験方法: SWCNT配列膜は人工的なグレーティング面をもつメンブレンフィルター上に減圧ろ過にて作製し、金薄膜上に転写した。ポンプ光(波長: 1550 nm、パルス幅: 0.5 ps)とプローブ光(波長: 520 nm、パルス幅: 0.5 ps)をサンプル裏面から照射し、金薄膜のサーモリフレクタンスの位相を評価することで、配列膜間の界面熱抵抗を評価した。^[3]

実験結果: 図1は、厚さが同じ配列膜の一層のTDTR信号と、 $\theta=0^\circ$ および 90° で積層させた膜のTDTR信号を示しており、一層膜と積層膜のTDTR信号の差分が明らかに異なっている。解析モデルから求められた界面熱抵抗は $\sim 1 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ ($\theta=0^\circ$) と $\sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ ($\theta=90^\circ$) となり、配列膜間の界面熱抵抗に積層角の依存性をもつことが明らかになった。 $\theta=90^\circ$ の時の大きな界面熱抵抗は、1バンドルあたりの接触面積の低下、もしくはフォノンの非調和性による配列膜界面でのフォノン-フォノン結合性の低下に由来すると考えられる。

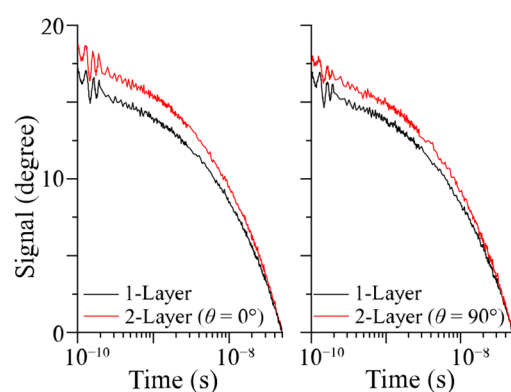


Fig. 1 TDTR signals for 1-Layer and 2-Layer with different θ .

[1] A. L. Moore *et al.*, *Materials today*, **17**, 163. (2014) [2] X. He *et al.*, *Nature Nanotech.*, **11**, 633. (2016)

[3] K. Ueji *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **117**, 133104. (2020)