

垂直配向単層カーボンナノチューブ膜の熱伝導特性の測定

Measurements of heat conduction characteristics of vertically-aligned single-walled carbon nanotube films

石川桂¹⁾, 田中三郎²⁾, 宮崎康次²⁾, 塩見淳一郎¹⁾, 丸山茂夫¹⁾
(東京大学大学院・工学系研究科¹⁾, 九州工業大学・生命体工学研究科²⁾)

Abstract: Single-walled carbon nanotubes (SWNTs) are expected to possess high thermal conductivity. Among the reported works, the bulk thermal conductivity (10^1 – 10^2 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) and the individual thermal conductivity (10^2 – 10^3 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) have around an order of difference. In this work, thermal conductivity of the VA-SWNTs, have been measured. By utilizing the 3-omega method we obtained film thermal resistance 10^{-5} m^2KW^{-1} , which is in fairly good agreement with the previously reported works on bulk carbon nanotubes. However, the result suggests that the effect of the heat conduction is limited by the thermal resistance at the nanotube-substrate contact and/or the metal-nanotube contact. In order to characterize the thermal contact resistance, we propose and discuss a new measurement method utilizing the temperature dependence of the Raman spectrum of SWNTs.

単層カーボンナノチューブ(SWNT)は高い熱伝導特性を持つことが予測されており, 理論モデルによる数値シミュレーション, あるいは架橋構造での SWNT 一本での実験による測定により高い結果では数千 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ にも及ぶ高い値が報告されている [1-3]. しかしこれらのシミュレーション結果及び実験結果のいずれも, SWNT 1 本という理想的な条件のもとでの結果であり, これと垂直配向単層カーボンナノチューブ(VA-SWNT)膜[4]のような集合体膜の熱物性値とを比較すると1桁の差がある. これまで VA-SWNT の伝熱特性の測定を行った例として Zhao らはスーパーグローブ法によるサンプルについてレーザーフラッシュ法を用い 3.5 – 4.2×10^{-5} m^2s^{-1} と単体と比べると比較的低い結果を得た [5]. また Panzer らはサーモリフレクタンス法を用い, 熱抵抗として 12×10^{-6} m^2KW^{-1} という値を報告している [6].

本研究では, ACCVD 法で生成した VA-SWNT 膜を用い, まず 3ω 法 [7-8] を用いて熱伝導特性の測定を行い熱抵抗値として 10^{-5} m^2KW^{-1} を得た. しかしながら 3ω 法では, 界面での熱抵抗が支配的である可能性があり, その寄与の大きさにより導出される熱伝導率が大きく変わりうる. 本研究も含め上記の関連研究 [5] [6] のいずれも温度応答を用いて測定しているため, SWNT 自体の熱伝導率が高いのか, SWNT が途切れ途切れでありその接触部の熱抵抗が大きいのか, 基板-ナノチューブ界面あるいはナノチューブ-金属界面の接触熱抵抗が大きいのか, それぞれの影響が分離できない.

そこで本研究では, 接触部の熱抵抗の影響を分離するため, カーボンナノチューブのラマン散乱の温度依存性 [9] を利用して温度分布を求め接触熱抵抗を測定する方法を提案する.

[1] J. Shiomi et al., Jpn. J. Appl. Phys., 47 (2008), 2005. [2] C. Yu et al., Nano Lett., 5 (2005), 1842. [3] E. Pop et al., Nano Lett., 6 (2006), 96. [4] Y. Murakami et al., Chem. Phys. Lett., 385 (2004), 298. [5] B. Zhao et al., ACS Nano, 3 (2009) 108. [6] M. A. Panzer et al., J. Heat Transf., 130 (2008), 052401. [7] D. G. Cahill, Rev. Sci. Instrum., 61 (1990), 802. [8] S. M. Lee et al., J. Appl. Phys., 81 (1997), 2590. [9] S. Chiashi et al., Jpn. J. Appl. Phys., 47 (2008) 2010.

¹⁾ Kei Ishikawa, Junichiro Shiomi, Shigeo Maruyama: Dept. of Mech. Eng., The Univ. of Tokyo, Tokyo 113-8656

²⁾ Saburo Tanaka, Koji Miyazaki: Dept. of Biological Func. and Eng., Kyushu Inst. Univ., Fukuoka 808-0196