

Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

単層カーボンナノチューブの高温領域における熱伝導率測定

○入田 賢*, 吉野 数基, 堀口 真, 長野 和真, 百瀬 慎太郎, 本間 芳和, 山本 貴博

東京理科大学 理学部 物理学科

Thermal conductivity measurement of single-walled carbon nanotubes in the high temperature region

○Masaru Irita*, Kazuki Yoshino, Makoto Horiguchi, Kazuma Nagano, Shintaro Momose, Yoshikazu Homma, Takahiro Yamamoto

Tokyo University of Science

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)は将来の配線材料として精力的に研究され, その熱伝導特性についても沢山の理論研究報告がある¹⁾. しかし, ナノスケールでの熱伝導を計測することは極めて難しく, また, 構造の明らかな単一 SWCNT の熱伝導特性の報告は少ない. 単一 SWCNT の熱伝導特性を計測することが, 熱ナノテクノロジーの進展に必要である. 室温で銅配線の熱伝導率 400 W/m·K であるのに対して, 単一 SWCNT の熱伝導率 6600 W/m·K の値²⁾が予測されている. SWCNT の熱流は, 電子ではなく, フォノンによる寄与が支配的である³⁾. また, SWCNT の熱伝導率は, 試料の長さ L と温度 T に依存している. SWCNT のフォノン平均自由行程 Λ は, 低温(数 10 K)で数百 μm , 室温で数 μm であり, $L \ll \Lambda$ を満たす際に弾道的フォノン熱伝導を示す. 一方, $L \geq \Lambda$ の領域では, 準弾道的フォノン熱伝導から L が長くなると共に拡散的熱伝導に移り変わっていく. 拡散的熱伝導では, 一定の熱伝導率に収束するとの理論がある⁴⁾. 本研究では, 拡散的熱伝導 ($L \approx 10 \mu\text{m}$, $T \geq \text{室温}$) 領域における単一 SWCNT の熱伝導率の計測に挑む.

本研究では, リソグラフィ技術により作製したピラー基板に, 化学気相堆積法で直接合成した単一架橋 SWCNT について, 熱伝導率を計測した. 計測には, 光ルミネセンス(PL)イメージング分光法を用い, SWCNT の温度分布を計測し, 1次元熱伝導方程式を解くことで熱伝導率を調べた⁵⁾. 図1(a)挿入図に, ピラーに架橋した SWCNT 試料の温度分布を示す. ここでは, ピラーに架橋した SWCNT 全体にレーザーを照射加熱することで, SWCNT の温度分布を計測した. 観察した温度分布では, ピラーの中央部分が 800 K で最も加熱されており, SWCNT が接触しているピラーから熱が逃げていることが観察できている. そして, 計測した温度分布より, SWCNT の熱伝導率の温度変化を得た. ピラー間隔

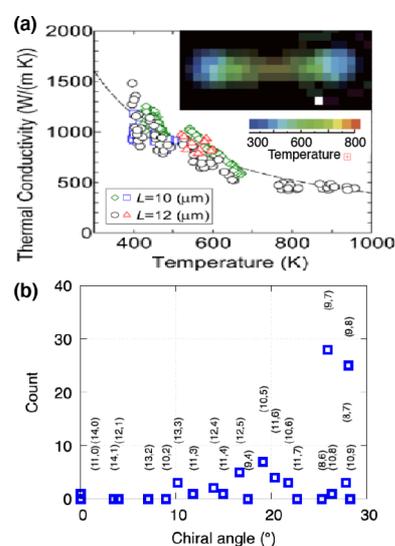


Fig. 1. ピラーに架橋した(9,8) SWCNT の(a) PL イメージングによる温度分布と熱伝導率計測結果⁵⁾. (b)ピラー間隔 10 μm における SWCNT カイラリティーの合成割合⁶⁾.

10 μm に合成できる SWCNT の割合は, 図 1 (b) に示す様にニアアームチェア SWCNT が支配的であり, (9,7), (9,8) SWCNT が合成されやすい⁶⁾. 熱伝導率を計測達成できたのは(9,8) SWCNT のみである. 本研究では他のカイラリティーについて計測を試み, その傾向を明らかにすることを目指す.

本研究は, JST, CREST, JPMJCR18I5 の支援を受けたものである.

文 献

- 1) T Yamamoto et al., Nippon Kinzoku Gakkaishi/Journal Japan Inst. Met. 73, 583 (2009).
- 2) S. Berber et al., Phys. Rev. Lett., 84, 20, 4613, (2000).
- 3) J. Hone et al., Phys. Rev. B, 59, 4, R2514, (1999).
- 4) N. Mingo et al., Nano Lett., 5, 7, 1221, (2005).
- 5) K. Yoshino et al., ACS Omega, 3, 4, 4352, (2018).
- 6) M. Irita et al., Nanomaterials, 11, 9, (2021).

E-mail: irita@rs.tus.ac.jp