

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月22日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656153

研究課題名（和文）グラフェン鎖の1次元化によるナノチューブを超える弾道的熱伝導の発現

研究課題名（英文）Ballistic heat conduction in one-dimensionalized graphene-cups

研究代表者

高橋 厚史（TAKAHASHI KOJI）

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：10243924

研究成果の概要（和文）：ナノワイヤ材料は構造の1次元性の向上によってフォノンが散乱されにくくなる場合がある。これによる平均自由行程の延伸は熱伝導率の上昇をもたらす。本研究では、まず、グラフェンナノリボンとカップスタック型カーボンナノファイバを対象として分子動力学法によって1次元性と熱輸送特性の関係について調べ、グラフェンナノリボンにおいては幅が1nm以下の領域で幅の減少による熱伝導率の増加を確認した。次に、カーボン系ナノ材料において1次元性を阻害する要因の一つであるアモルファスカーボンをオゾンによって除去する手法を確立した。これらと並行して弾道性を検証するための実験手法を開発した。具体的には、ナノワイヤ材料の熱伝導率の試料長さ依存性を計測するもので、その長さを変える手段としてイオン液体とナノ熱プローブを取り扱った。イオン液体については濡れ性によって試料の長さを正確に規定できないことが明らかになったが、熱プローブについてはカーボンナノチューブを用いてナノ接点の温度を計測するシステムの開発に成功した。これを用いて各種カーボン系ナノワイヤ材料1本の熱伝導率を調べた。今のところナノチューブを超える熱伝導の発現には至っていないが、それを見出すための実験技術は確立することができた。

研究成果の概要（英文）：We treat the ballistic heat conduction of grapheme-based nano material. Graphene nanoribbon (GNR) and cup-stacked carbon nanofiber are investigated using nonequilibrium molecular dynamics simulation. For zigzag GNRs, the narrowest ribbon shows the highest thermal conductivity and its value decreases with width possibly due to the ballistic phonon transport. Several experimental techniques are simultaneously developed. Ozone gas is found useful to etch away the amorphous carbon deposited on the nano materials, which degrades the 1D characteristic. Ionic liquid is found unable to work as heat sink due to its wettability. A technique of nanoscale temperature measurement is newly developed using an individual carbon nanotube (CNT) on a platinum hot-film. Several nano materials are investigated by using this thermal probe sensor. Though we have not yet found a thermal conductivity higher than that of single-walled CNT, experimental technique is now prepared for exploring the ballistic heat transfer in nano materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：熱工学

キーワード：ナノ材料、熱伝導率、フォノン

1. 研究開始当初の背景

構造が1次元で粒子間相互作用が調和的である材料(図1)はフォノンが散乱されないために熱抵抗が無いことが理論的に証明されている。これを狭義の弾道的熱輸送と呼ぶ。実在の材料は全て3次元であり相互作用も非調和であるが、単層CNTは弾道的熱輸送性能が最も高い材料だと考えられている。ところが、無数のグラフェンがファンデルワールス力によって鎖のように連結したカップスタック型カーボンナノファイバ(CSCNF)のように単層CNTを凌ぐ弾道的熱輸送性能が期待できる新材料も登場してきた。ただし、バルクの状態では真の熱輸送特性は把握できないことから、弾道的熱輸送が実験的に確かめられたことはない。

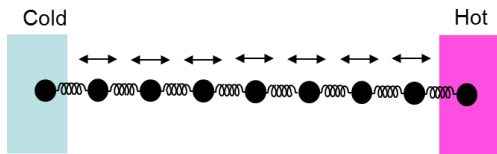


図1

2. 研究の目的

CNTよりも1次元性が強いと期待できる新しいナノ材料を用いて、未だ実証されていない弾道的熱輸送の発現について調べ、熱エネルギーの有効利用に寄与するナノ材料の開発に貢献することを目的とする。そのために、ナノ材料の1次元性の向上と熱伝導率の長さ依存性の計測をそれぞれ可能とする実験手法を開発することも必須の課題である。

3. 研究の方法

ナノ材料の熱輸送特性を正確に把握するためには、ナノ材料を「1本だけ」を取り出して計測する必要がある。本研究の手法は、基板から浮いた状態に製作されたPt薄膜をホットフィルムセンサとして使い、そこにHRTEMで観察済みのナノ材料を1本だけナノマニピュレータを用いてセットし計測するものである。(図2) 熱伝導率の長さ依存性を調べるためには、このセンサと対峙したヒートシンクとの距離を変える必要がある。ヒートシンクを例えばイオン液体とすれば、そこに材料を突き刺すことで長さを変えることができる。1次元性の向上のためにはカーボン系ナノ材料の周囲の余分なカーボンや共有結合をオゾンを用いて除去する技術を開発する。また、試料をプローブにするだけでなく、熱プローブ型のナノセンサを開発して試料の局所温度を計測し、その結果から弾道的熱輸送を調べるシステムも構築す

る。これらの研究の統合によって、熱の弾道的輸送に関する実験技術を確立しながらCNTを超える伝熱材料を探索する。

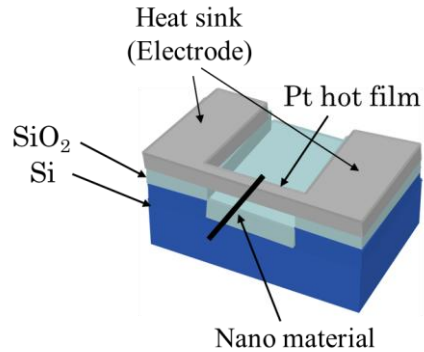


図2

4. 研究成果

グラフェンナノリボンとカップスタック型カーボンナノファイバを対象として、分子動力学法によって1次元性と熱輸送性能の関係を調べた。特に、グラフェンナノリボンにおいては幅が1nm以下の領域で幅の減少による熱伝導率の増加を確認した。(図3)

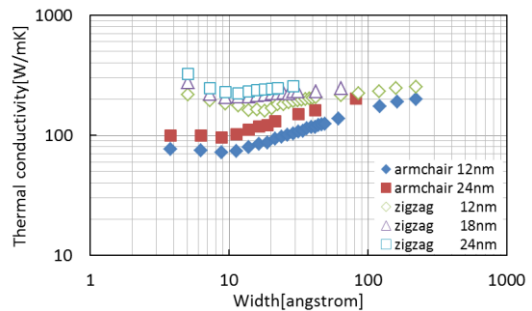


図3

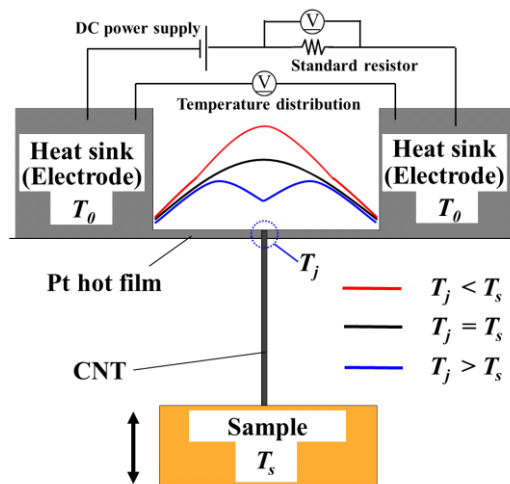


図4

次に、カーボン系ナノ材料の1次元性を阻害するアモルファスカーボンをオゾンによって除去する手法を確立した。これらと並行して弾道性を検証するための実験手法の開発を進めた。具体的には、ナノワイヤ材料の熱伝導率の試料長さ依存性を調べるという内容で、長さを変える手段としてイオン液体とナノ熱プローブを取り扱った。イオン液体については強い濡れ性によって試料の長さを正確に規定できないことが明らかになったが、熱プローブについてはカーボンナノチューブを用いてナノ接点の温度を計測するシステム(図4)を成功裏に開発した。これを用いて各種カーボン系ナノワイヤ材料1本の熱伝導率を調べた。今のところナノチューブを超える熱伝導の発現には至っていないが、それを見出すための実験技術は確立することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5件)

(1) H.-D., Wang, J.-H. Liu, X. Zhang, Z.-Y. Guo, K. Takahashi, "Experimental study on the influences of grain boundary scattering on the charge and heat transport in gold and platinum nanofilms," Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung Volume 47, Issue 8, 2011, pp.893-898.
DOI: 10.1007/s00231-011-0825-5

(2) H.-D., Wang, J.-H. Liu, Z.-Y. Guo, K. Takahashi, "Non-fourier heat conduction study for steady states in metallic nanofilms," Chin. Sci. Bull., 2012, 57(24), 2012, pp.3239-3243.
doi: 10.1007/s11434-012-5288-7

(3) M. Kimura, T. Matsuzaki, K. Takahashi, "EDGE EFFECT ON PHONON TRANSPORT IN SUSPENDED AND SUPPORTED GRAPHENE NANORIBBONS," Computational Thermal Sciences, Vol. 4 (3) 2012, pp.193-199.
DOI:
10.1615/ComputThermalScien.2012004393

(4) H. Hayashi, T. Ikuta, T. Nishiyama and K. Takahashi, "Enhanced anisotropic heat conduction in multi-walled carbon nanotubes," J. Appl. Phys. 113, 2013, 014301
DOI: 10.1063/1.4772612

(5) 天野樹生, 廣谷潤, 生田竜也, 西山貴史, 高橋厚史, 「カーボンナノチューブプローブを用いた表面温度計測法」日本機械学会論文集 (B 編) 79 巻 799 号 2013, pp.390-398

[学会発表] (計 5件)

K. Takahashi, "Thermal Boundary Resistance of an Individual Carbon Nanotube," 5th Korea-Japan Joint Seminar on Heat Transfer, May 26-28, 2011, Busan, Korea

K. Takahashi, "Carbon Nanotube Thermal Probe," 7th US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena - Science and Engineering -, Dec.11-14, 2011, Mie, Japan

H. Hayashi, T. Ikuta, T. Nishiyama, K. Takahashi, "Thermal Conductivity of Partially-Defected Individual Carbon Nanotubes," EIGHTEENTH SYMPOSIUM ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES, June 24-29, 2012, Boulder, CO, USA

Y. Yamada, T. Nishiyama, T. Ikuta, K. Takahashi, "EFFECT OF NANOSCALE STRUCTURE ON THERMAL CONTACT RESISTANCE OF CARBON NANOTUBES," ASME 2012 Summer Heat Transfer Conference, July 8-12, 2012, Rio Grande, Puerto Rico

J. Amano, J. Hirotoni, T. Ikuta, T. Nishiyama, K. Takahashi, "Carbon Nanotube Temperature Profiler using Platinum Hot Film," 23th International Symposium on Transport Phenomena, Sept. 19-22, 2012, Auckland, New Zealand

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 厚史 (TAKAHASHI KOJI)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10243924

(2)研究分担者

生田 竜也 (IKUTA TATSUYA)

九州大学・大学院工学研究院・技術専門職員

研究者番号：70532331

(3)連携研究者

なし