

# 石墨烯悬浮液导热性能的研究

张巍伟

(厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005)

**[摘要]** 石墨烯具有极高导热性能, 近年来被提倡用于散热等用途。在散热片中嵌入石墨烯或数层石墨烯(FLG)可使其局部热点温度大幅下降。故需要对其导热性能进行深入研究。文章采用瞬态热丝法对石墨烯的导热性能进行研究。通过多次实验测得的数据分析加入石墨烯后纳米流体导热性能的变化。分析了不同温度下石墨烯悬浊液导热性能的差异, 不同浓度下石墨烯悬浊液导热性能的差异。研究发现石墨烯能够有效提高液体的导热性能。这为石墨烯作为散热等方面应用提供了良好的理论基础。

**[关键词]** 石墨烯; 导热性; 瞬态热丝法; 纳米流体

**[中图分类号]** O482.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1007-1865(2015)22-0012-02

## Study on the Thermal Conductivity of Graphene Suspensions

Zhang Weiwei

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Graphene has high thermal conductivity. In recent years, it has been advocated for cooling purposes. Embedding graphene and few graphene layers (FLG) in the heat sink can make the local hot spot temperature fall observably. Therefore, it is necessary to go into details of its thermal performance. In the paper, the transient hot wire method is adopted to study the performance of thermal conductivity of graphene. Through experimental data, we analysis the thermal conductivity of nanofluids which added graphene. Analyzed the thermal performance difference of graphene suspensions under different temperature. Analyzed the thermal performance difference of graphene suspensions under different concentration. We found that graphene can improve the performance of thermal conductivity of liquid effectively. The study provides application of graphene as heat sink a good theoretical basis.

**Keywords:** graphene; thermal conductivity; transient hot-wire method; nano fluid

石墨烯是由碳原子组成的二维晶体, 只有一层碳原子的厚度, 是迄今最薄、同时也是最坚硬的材料, 导电、导热性能超强, 几乎完全透明<sup>[1,2]</sup>。有关研究表明, 石墨烯的导热性能优于碳纳米管。在导热材料中添加石墨烯片或者石墨烯粉可以大大的提高材料的导热性能<sup>[3]</sup>。亦可以将石墨烯粉倒入导热溶液中, 在需要散热的汽车部件中加快部件本身的散热速度。因此, 研究石墨烯的导热性能将具有很重要的实际意义。本文采用瞬态热丝法<sup>[4,5]</sup>并且通过数据分析得出石墨烯悬浊液的导热系数。瞬态热丝法属于非稳态测量方法, 由于具有操作简便, 实验仪器简单, 测量误差小的优点, 所以经常在实验中用于测量纳米流体的导热性。

我们设计了一种实验装置, 结合 NI 公司的数据采集卡将悬浊液温度的变化间接测量出来。

### 1 实验部分

#### 1.1 试剂

纯水, N-甲基吡咯烷酮(NMP), 石墨烯粉。

#### 1.2 仪器

NI 数据采集卡, 玻璃瓶, 铜柱, 导线, 电源, 温度计, 铂丝, 铂丝支架, 标准电阻, 计算机, 万用表。

#### 1.3 瞬态热丝法测量原理

由于瞬态热丝法<sup>[6]</sup>具有方便, 快捷, 测量误差小, 测量速度快等优点, 所以此种方法经常被用于测量溶液的导热性能。理想化的瞬态热丝法是一根直径非常小, 无限长的线源垂直插入溶液中, 我们假设它的热容量很小, 导热系数非常大, 可以忽略自然对流的影响。设溶液的初始温度为  $T_0$ , 将线源插入溶液中并且给线源加  $q$  的热量。

定义:

$$q = I^2 R \quad (1)$$

式中  $I$  代表电流,  $R$  代表线源电阻。

于是得到如下计算式:

$$\Delta T(r, t) = T(r, t) - T_0 = -\frac{q}{4\pi k} E_1\left(-\frac{r^2}{4at}\right) \quad (2)$$

式中  $T(r, t)$  代表距离线源  $r$  处且经过时间  $t$  后溶液的温度,  $T(r, t)$  代表距离线源  $r$  处且经过时间  $t$  后溶液的温度的变化,  $k$  代表溶液的导热系数,  $a$  代表溶液的热扩散率。

定义:

$$E_1(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy = -\gamma - \ln x + o(x^2) \quad (3)$$

式中  $\gamma$  代表欧拉常数

假设线源的半径为  $r_0$ , 那么可以得到如下计算表达式

$$\Delta T(r_0, t) = T(r_0, t) - T_0 = \frac{q}{4\pi k} \left[ \ln\left(\frac{4at}{r_0^2 C}\right) + \frac{r_0^2}{4at} + \dots \right] \quad (4)$$

式中  $C = \exp(\gamma)$

如果线源为理想线源即直径足够小, 那么(4)式中右边括号第二项可以忽略不计, 于是得到如下计算表达式:

$$\Delta T(r_0, t) = -\frac{q}{4\pi k} \ln\left(\frac{4at}{r_0^2 C}\right) \quad (5)$$

将式(5)左右两边同时微分, 得到如下公式:

$$k = \frac{q}{4\pi} \frac{d(\ln t)}{dt} \quad (6)$$

于是我们只要做出曲线, 并且得到曲线中  $T$  对  $\ln t$  的斜率就可以得到纳米流体的导热系数了。

#### 1.4 实验方法

实验所搭电路如下图所示:

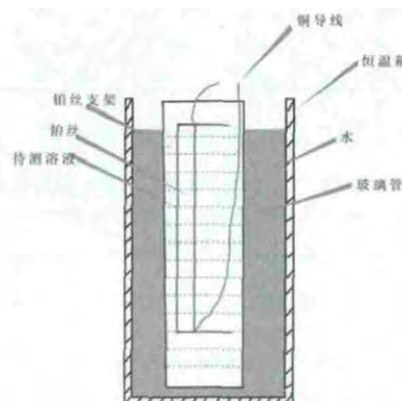


图 1 实验装置图

Fig.1 Experiment device figure

其中铂丝的直径为 10  $\mu\text{m}$ , 长度为 10 cm, 并且外面包裹氧化铝, 氧化铝是绝缘层, 可以有效防止电流泄露到导电的溶液中, 这样的铂丝可以看成是理想的线源<sup>[6]</sup>。采用 NI 公司出产的数据采集卡 NIUSB6008。并且通过 Labview 软件控制采集数据, 其前面板参数设置如图 2 所示。

其中采样率每秒 2 千次。每次共采集 4 千个数据, 我们做的是升温过程的实验, 我们拿一个标准电阻和铂丝分压。我们采用

**[收稿日期]** 2015-10-28

**[作者简介]** 张巍伟(1988-), 男, 福建人, 硕士, 主要研究方向为纳米材料。

恒压源,并且利用数据采集卡同时测量标准电阻和铂丝两端电压。用标准电阻两端电压除以阻值就是电路电流。然后用铂丝两端电压除以电流就是铂丝的电阻。利用铂丝电阻与温度的变化关系就可以计算出铂丝的温度变化情况。再经过一系列公式推导可以得到玻璃管中悬浊液的导热系数<sup>[7,8]</sup>。



图 2 Labview 前面板参数  
Fig.2 Parameters in the Front Panel of Labview

## 2 实验结果与分析

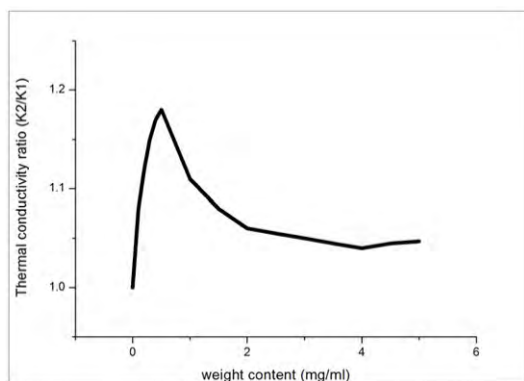


图 3 不同溶度下石墨烯-NMP 纳米流体导热系数比  
Fig.3 The thermal conductivity ratio picture of graphene-NMP nanofluids under different concentration

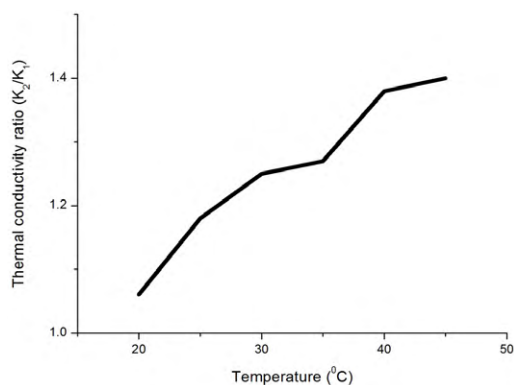


图 4 不同温度下石墨烯-NMP 纳米流体导热系数比  
Fig.4 The thermal conductivity ratio picture of graphene-NMP nanofluids under different temperature

图中 K2 和 K1 分别代表加了石墨烯粉后纳米流体的导热系数和不加石墨烯粉之前纳米流体的导热系数。图 3 是不同溶度下石墨烯-NMP 纳米流体导热系数比中石墨烯-NMP 纳米流体的导热系数比。从图中可以看出悬浊液的导热系数比随着石墨烯溶度的增加先呈线性增大,然后增大趋势逐渐放缓,当溶度达到约 0.5 mg/mL 时导热系数比达到最大值,此后当石墨烯溶度继续增大时,

纳米流体的导热系数反而有所下降。图 4 为不同温度下石墨烯-NMP 纳米流体的导热系数比。从图中可以看出悬浊液的导热系数随着温度的升高呈非线性增大。

通过采集的实验数据还可以发现以下几点:

(1)空瓶子的情况下,铂丝通电后达到平衡的最终电压是 2.90 V,并且达到平衡经历时间为 75 ms。

(2)只加 NMP 溶液情况下,铂丝通电后达到平衡的最终电压是 2.04949 V,并且达到平衡经历时间为 117 ms。

(3)加 0.5 mg/mL 石墨烯粉的 NMP 悬浊液情况下,铂丝通电后达到平衡的最终电压是 2.00874 V,并且达到平衡经历时间为 925 ms。

铂丝最终平衡电压越低说明铂丝的温度越低。加入石墨烯粉以后,铂丝的平衡电压变低,说明铂丝达到平衡时候的温度变低了,也就说明加入石墨烯以后悬浊液的导热性能增强了。

纳米流体达到平衡的时间越长,说明此时纳米流体的导热性能越好。因为导热性能越好的纳米流体,能更快地将铂丝产生的热量传导出去,这样纳米流体更不易达到平衡,所以从开始到稳定经历的时间就越长。加入石墨烯粉以后的纳米流体达到平衡的时间显著变长了,说明石墨烯能够有效提高纳米流体的导热系数。

纳米流体内部的导热载体主要为纳米颗粒。在纳米颗粒与纳米颗粒之间可以进行能量的传递,在纳米粒子和液体之间也可以进行能量的传递。前者主要通过热传递进行,后者主要通过液体的对流进行<sup>[9]</sup>。图 3 中纳米流体的导热系数随着纳米粒子浓度的增大先增大,这是因为纳米粒子越多导热的载体也越多,这样相同时间内将铂丝产生的热量导出去的效率也越大。然而,当纳米流体的浓度达到 0.5 mg/mL 的时候继续再加石墨烯粉纳米流体的导热系数反而下降了。这是因为当石墨烯浓度增大到一定程度时,石墨烯会发生聚集堆垛现象。这种现象会影响到纳米流体的导热能力。因为在分散性良好的纳米流体中,纳米颗粒更容易进行布朗运动,流体的对流也会明显得多。

## 3 结论

(1)在一定温度范围内,纳米流体的导热系数随着温度的增大而增大。

(2)石墨烯纳米流体的导热系数,随着加入的纳米颗粒浓度的增大先非线性增大而后非线性减小。当纳米流体的浓度为 0.5 mg/mL 时,纳米流体的导热系数达到最大。

## 参考文献

- [1]Shamsa M ,Ghosh S ,Calizo I ,et al .Thermal conductivity of nitrogenated ultrananocrystalline diamond filmson silicon[J] . Journal of Applied Physics , 2008 , 103(083538) : 1-8 .
- [2]Geim A K . Novoselov K S . The rise of graphene[J] . Nat Mater , 2007 , 6(3) : 183-191 .
- [3]Li X F , Zhu D S , Wang X J . Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions[J] . J Collid Interface Sci , 2007 , 310(2) : 456-463 .
- [4]Kebllinski P , Phillpot S R , Choi S U S . Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-size particles(nanofluids)[J] . International Journal of Heat and Mass Transfer , 2002 , 45(4) : 855-863 .
- [5]Lee S , Choi S U S , Li S , et al . Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles[J] . Int J Heat Transfer , 1999 , 121(2) : 280 .
- [6]Tian F , Sun L , Mojumdar S C , et al . Absolute measurement of thermal conductivity of poly(acrylic acid) by transient hot wire technique[J] . Journal of Thermal Analysis and Calorimetry , 2011 , 104(3) : 823-829 .
- [7]S W Hong , Y Kang , C Kleinstreuer , et al . Impact analysis of natural convection on thermal conductivity measurements of nanofluids using the transient hot-wire method[J] . International Journal of Heat and Mass Transfer , 2011 , 54(15-16) : 3448-3456 .
- [8]Y Nagasaka , A Nagashima . Precise measurements of the thermal conductivity of toluene and n-Heptane by the Absolute Transient Hot-Wire Method[J] . Ind Eng Chem Fundamen , 1981 , 20 (3) : 216-220 .
- [9]Seok P J , Choi S U S . Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids[J] . Applied Physics Letters , 2004 , 84(21) : 4316-4318 .

(本文文献格式:张巍伟.石墨烯悬浮液导热性能的研究[J].广东化工,2015,42(22):12-13)