文章编号：1000-5773(2012)02-0141-07

PbTe 纳米晶高压热电性能的研究*

张向国[1]，穆　鑫[1]，张增明[2]，丁泽军[1]

（1.中国科学技术大学物理系及合肥微尺度国家实验室，安徽合肥　230026；
2.中国科学技术大学物理实验中心，安徽合肥　230026）

摘要：利用自建的 400 t 四柱双缸液压机，研究了 PbTe 纳米晶在 0～0.8 GPa 压力范围内热电性能随压力的变化。实验结果表明：PbTe 纳米晶电导率随压力的增加而增加，而热电动势随压力的增加而减小，两者随压力的变化具有可逆性；PbTe 纳米晶具有极高的热电动势，在常压下达到 565 μV/K，在 0.8 GPa 压力下，材料的电导率为常压下的 4 倍，热电动势仅降低 20%，功率因子则达到常压下的 3 倍。研究表明，高压能显著提高 PbTe 纳米晶的热电性能。利用第一性原理计算了 0.4～4.0 GPa 压力范围内材料的简约费米能级，计算结果与实验结果相吻合。

关键词：高压；PbTe；热电性能；纳米晶；第一性原理
中图分类号：O521.2　　**文献标识码**：A

1　引　言

塞贝克(Seebeck)效应、帕尔帖(Peltier)效应和汤姆逊(Thomson)效应是热电材料所具有的 3 种基本特性[1]。19 世纪初发现，热电材料能使热能与电能直接相互转换，这种独特性能使得热电材料在发电、局部制冷以及红外探测方面有许多潜在的用途[2-4]。典型的热电材料有氧化物、半导体以及方钴矿[5]。纳米材料具有较大的比表面积，使其增大对声子的散射，减小声子在其内部传播的平均自由程和运动速度，进而降低晶格的热导率 κ。此外，材料结构的纳米化可使热电半导体材料的能级发生分裂，影响其 Seebeck 系数 α[6-8]。

PbTe 是一种典型的半导体热电材料，属面心立方结构，禁带宽度窄，仅为 0.33 eV[9]，其 Seebeck 系数随温度的增加而增加，而电导率随温度的增加而减小。在常温常压下，利用不同方法合成的 PbTe 热电材料的 Seebeck 系数可从几十到几百微伏每开，电导率可以从几到几千西每米。

研究表明，高压技术可用于改进热电材料的性能。Michael 等人[10]测量了 100～300 K 温度范围内 PbTe 块材的热电性能，其实验表明，压力能有效减小该材料的载流子浓度和晶格缺陷密度。Zhu 等人[11]采用高温熔融法合成了 PbTe 块材，并测量了 0～6 GPa 压力范围内该材料的热电性能，其研究表明，材料的功率因子随压力的增加而增加，并且在 6 GPa 时，材料的功率因子是常压下的 7 倍。Ren[12]、Ovsyannikov 等人[13]测量了 PbTe 块材在高温高压下的热电性能，他们发现常压下材料的 Seebeck 系数为 200 μV/K，但在 600 K、5 GPa 时，材料的功率因子是常压下的 2 倍。纳米 PbTe 由于其具有尺寸效应、较大的比表面积以及量子局域效应，因而越来越受到科学界的重视。Yan 等人[14]研究了在 300～500 K

* **收稿日期**：2010-09-30；**修回日期**：2011-05-26
基金项目：国家自然科学基金(10874160)
作者简介：张向国(1983—)，男，硕士研究生，主要从事高压下热电材料性能的研究. E-mail：xgzhangw@mail.ustc.edu.cn
通讯作者：张增明(1966—)，男，博士，副教授，主要从事高压物理、计算物理和激光物理方面的研究.
E-mail：zzm@ustc.edu.cn

范围内 PbTe 纳米线的热电性能，研究表明，在常温下，PbTe 纳米线的 Seebeck 系数为 470 μV/K，远大于 PbTe 块材的 Seebeck 系数。然而，对 PbTe 纳米晶的高压热电性能研究还未见报道。本工作研究在 0～0.8 GPa 压力范围 PbTe 纳米晶的热电性能。实验表明，在常压下，PbTe 纳米晶的 Seebeck 系数为 565 μV/K，压力在 0.8 GPa 时，其功率因子是常压下的 3 倍。

2 实 验

PbTe 纳米晶由水浴法[15-16]制备，所用的试剂均为分析纯。样品结构采用 X 射线衍射仪进行表征(MAC Science MXP18AHF，Cu K_α)；采用扫描电子显微镜(Hitachi S-4800)分析样品的形貌和尺寸。

在 2 MPa 压力的作用下，将 PbTe 纳米晶粉末压制成直径 6 mm、高 2 mm 的圆盘状试样，圆盘的两底面涂抹一层银胶。图 1 是接线示意图，两个 T 型热电偶直接焊接在样品的上、下表面，一片镍铬合金作为加热装置以产生温度梯度；在加热片和样品之间的二氧化硅起绝缘作用。把图 1 中的所有部分使用快速粘接剂密封，防止由于石油醚侵入溶解银胶，而影响电导率和 Seebeck 系数测量的准确性，同时仍可传递压力。

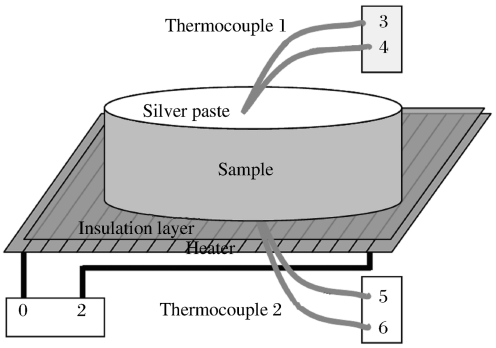


图 1 样品接线示意图

Fig. 1 The sketch of wire-connections on sample

高压由自建的 400 t 四柱双缸液压机产生[17]，石油醚作为传压介质，经高纯 Bi 丝标定的锰铜丝的电阻变化来标定压力。样品和锰铜丝置于充满石油醚的高压腔内，在升压和降压过程中原位测量电阻率和 Seebeck 系数。采用四探针法测量样品的电阻率；在样品的两端保持恒定的温度差，同时测量其两端的温差电动势，计算出 Seebeck 系数。每次加压后保压 10 min，以确保样品处于静水压环境。

所有测量均在室温下进行，样品两端的温度梯度 ΔT、样品的电阻 R 和热电动势 $\alpha(T)$ 均由两个 T 型热电偶采用时分复用方法由 Keithley 2000 型 6-1/2 位数字多用表获得。

3 结 果

3.1 样品形貌测量

图 2 是 PbTe 纳米晶的 X 射线衍射(XRD)谱。XRD 谱的衍射峰都可以指认为面心立方结构，空间群为 $Fm3m$(225T)(JCPDS:78C1905)，由 Scherrer 公式可以估算出样品的平均晶粒尺寸为 17.8 nm。图 3是 PbTe 纳米晶的扫描电镜(SEM)像，从图中可以看出，样品的均匀性较好，晶粒尺寸与 XRD 的计算结果一致。

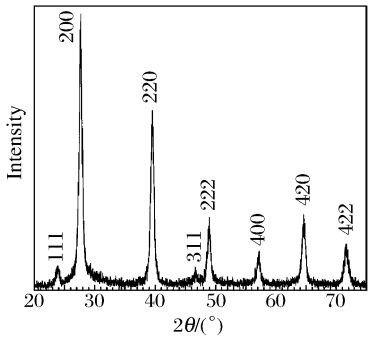


图 2 PbTe 纳米晶的 XRD 图

Fig. 2 The XRD pattern of PbTe nanocrystals

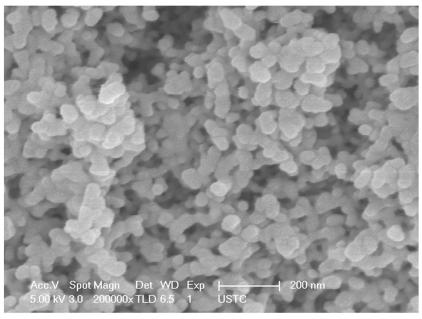


图 3 PbTe 纳米晶的 SEM 像

Fig. 3 The SEM image of PbTe nanocrystals

3.2 高压实验结果

对于热电材料来说,Seebeck 系数 α 和电导率 σ 是表征其热电性能的两个基本物理量。(1)式和(2)式是这两个物理量的表达式

$$\alpha = \frac{\alpha(T)}{C(\alpha_1 - \alpha_2)} \tag{1}$$

$$\sigma = 4L/(\pi D^2 R) \tag{2}$$

式中:C 为热电偶的温度电阻值系数;α_1、α_2 表示样品两端热电偶的热电动势数值;$\alpha(T)$ 为样品两端温度梯度为 ΔT 时的热电动势;α 为样品两端温度梯度为 1 K 时的热电动势,即 Seebeck 系数;L 为样品长度,D 为样品直径,R 为样品的电阻值。

热电优值 Z_T 可表示为

$$Z_T = \frac{\eta}{\kappa}\bar{T} = \frac{\alpha^2\sigma}{\kappa}\bar{T} \tag{3}$$

式中:σ 为样品的电导率,α 为样品的 Seebeck 系数,$\bar{T}$ 为样品两端温度的平均值,κ 为热导率,η 为功率因子。高压下样品的热导率很难测量,热电材料的性能一般用功率因子衡量。

图 4 示出了 PbTe 纳米晶电导率随压力的变化关系,图中实心点表示加压过程,空心圆对应卸压过程。从图 4 中可以看出,在升压过程中,样品的电导率随压力的增加而增加,在 0.8 GPa 时,电导率是常压下的 4 倍。图 5 是样品的 Seebeck 系数与压力的关系。

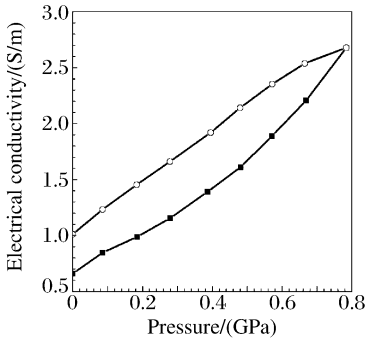


图 4 PbTe 纳米晶的电导率与压力的关系

Fig. 4 Pressure dependence of electrical conductivity for the PbTe nanocrystals

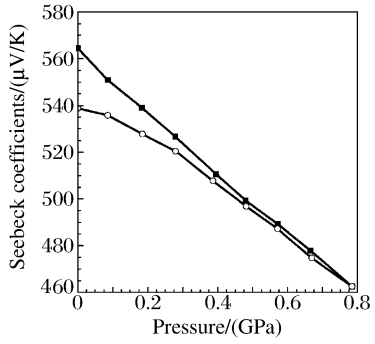


图 5 PbTe 纳米晶的 Seebeck 系数与压力的关系

Fig. 5 Pressure dependence of Seebeck coefficient for the PbTe nanocrystals

高压下样品的 Seebeck 系数为正值,表明 PbTe 纳米晶为 p 型半导体[18]。在 0.8 GPa 压力下,样品的 Seebeck 数值从常压下的 565 μV/K 降为 462 μV/K,降幅仅为 20%。图 6 是样品的功率因子随压力的变化,由图可见,常压下 PbTe 纳米晶的功率因子为 0.21 μW/(K² · m),功率因子随压力的增加而增加,当压力增加到 0.8 GPa 时,功率因子达到 0.58 μW/(K² · m),增幅接近 3 倍。PbTe 纳米晶的电导率、Seebeck 系数以及功率因子在加压和卸压过程中有少许差别,这是由于在卸压过程中,弛豫时间较短所致。

热电材料的 Seebeck 系数和电导率是由其载流子的多少及其运动情况决定的。载流子进行漂移运

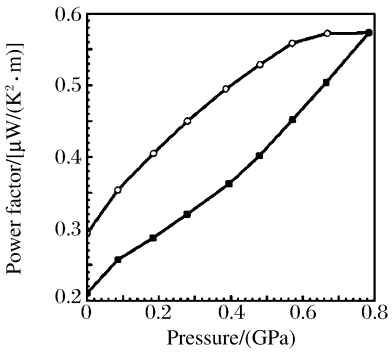


图 6 PbTe 纳米晶的功率因子与压力的关系

Fig. 6 Pressure dependence of power factor for the PbTe nanocrystals

动时，动量发生变化的时间即动量弛豫时间 τ_m 满足指数定律[19]

$$\tau_m = \tau_0 (\varepsilon/k_B T)^{\gamma} \tag{4}$$

式中：τ_0 是常数，ε 为费米能级，k_B 为玻尔兹曼常数，指数 γ 在 $-1/2$（对应于声子散射）和 3/2（对应于杂质缺陷散射）之间。对于非简并系统，Seebeck 系数和电导率可以表示为[19-21]

$$\alpha = -\frac{k_B}{|e|}\left(\gamma + \frac{5}{2} + \xi\right) \tag{5}$$

$$\sigma = ne\mu \tag{6}$$

$$n = 2\left(\frac{2\pi m^* k_B T}{\hbar^2}\right)^{3/2} \exp\xi \tag{7}$$

$$\mu = \frac{4}{3\pi^{1/2}}\Gamma\left(\gamma + \frac{5}{2}\right)\frac{e\tau_0 (k_B T)^{\gamma}}{m^*} \tag{8}$$

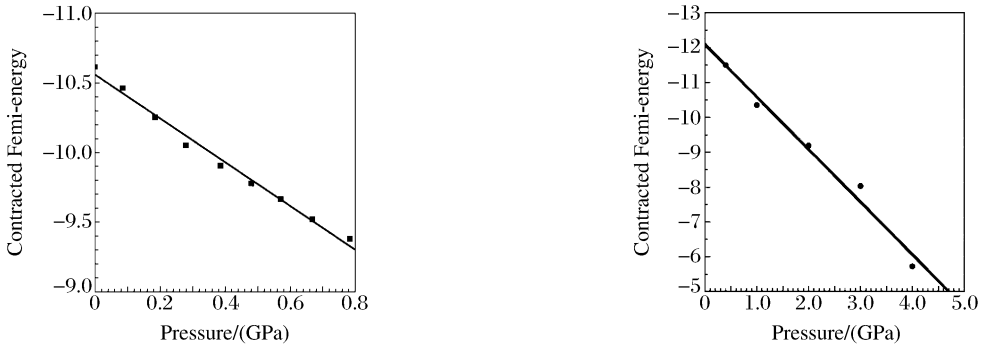
$$\xi = \frac{\varepsilon - \varepsilon_v}{k_B T} \tag{9}$$

式中：ε_v 对应价带顶，ξ 为 p 型半导体材料的简约费米能级，$|e|$ 为电子电量，m^* 为有效质量。实验中 T 始终为 300 K，可得出 $k_B T/|e| = 86\ \mu V$。对于非简并纳米晶 PbTe 半导体，有 $\gamma = 3/2$，(5)式和(6)式可以简化为

$$\alpha = 86(4 + \xi) \tag{10}$$

$$\sigma = C\sqrt{m^*}\exp\xi \tag{11}$$

由方程(5)可知，ξ 正比于 α。根据图 5 可知，α 正比于压力 p，因而 ξ 正比于压力 p，作出高压下 PbTe 纳米晶 ξ 与压力的关系，如图 7(a)所示。



(a) Experiment (b) First principle theories

图 7 纳米晶 PbTe 高压下简约费米能级

Fig. 7 The contracted Femi-energy of PbTe nanocrystals under high pressure

3.3 密度泛函计算结果

Rached 给出了 PbTe 材料在高压下晶格常数随压力的变化关系[22]

$$a(p) = a_0[1 + p(B_0'/B_0)]^{(-1/3B_0')} \tag{12}$$

式中：$a_0 = 0.6426$ nm，为常压下 PbTe 纳米晶的晶格常数；$B_0 = 50.88$，为体弹模量；$B_0' = 4.32027$，是体弹模量的压力系数；p 为压力(GPa)。利用密度泛函理论计算样品在 0.4～4.0 GPa 下的导带底、价带顶、费米能级以及简约费米能级，如表 1 所示。

从表 1 中可清楚地看出，PbTe 纳米晶导带底、价带顶、费米能级和简约费米能级都随着压力的增加而增加，导带底的增加速度快于价带顶，费米能级基本位于价带顶处。

表 1　利用密度泛函理论计算的纳米晶 PbTe 在 0.4、1.0、2.0、3.0、4.0 GPa 下的导带底、价带顶、费米能级、简约费米能级及能隙

Table 1　The conduct band edge, valence band edge, Femi energy, the contracted Femi-energy and energy gap of PbTe under 0.4, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 GPa

Pressure p/(GPa)	Conduction band edge ε_c/(eV)	Valence band edge ε_v/(eV)	Femi energy ε/(eV)	Contract Femi energy ξ	Energy Band ε_g/(meV)
0.4	7.658	7.357	7.358	−11.50	301
1.0	7.808	7.538	7.538	−10.34	270
2.0	8.018	7.778	7.780	−9.19	230
3.0	8.228	8.018	8.018	−8.03	210
4.0	8.408	8.258	8.258	−5.72	150

表 2 是理论计算与实验结果的比较。从表 2 中可以看出,常压下简约费米能级 ξ 的实验值为 −10.56,而理论值为 −12.09,两者相差 12.6%。而简约费米能级的压力系数 $d\xi/dp$ 的实验值为 −1.573,理论值为−1.507,两者相差仅为 4%,理论计算与实验结果一致。

表 2　纳米晶 PbTe 简约费米能级实验和密度泛函理论计算结果的比较

Table 2　The comparison of contracted Femi energy and the pressure coefficient of PbTe nanocrystals based on experiments and the First Principle theories

Parameter	Experiment	First Principle	Inaccuracy/(%)
$\xi(p=0$ GPa)	−10.56	−12.09	12.6
$d\xi/dp$	−1.573	−1.507	4.0

本研究利用第一性原理计算得出,PbTe 纳米晶的能隙随压力呈线性衰减;Nabi[23] 等通过计算得出 PbTe 块材的能隙随压力也呈线性衰减。根据本研究和 Nabi 的计算结果得到,常压下 PbTe 纳米晶的能隙是314 meV,而块材为 188 meV;PbTe 纳米晶与块材的能隙压力系数分别为 −39 meV/GPa 和 −79 meV/GPa。根据(10)式可知,PbTe 纳米晶的 Seebeck 系数远高于其块材。

Zhao 等人[21] 采用热电理论,分析了 Bi_2Te_3 纳米晶(100 nm)和块材(1 μm)混合物的电导率、Seebeck系数随组分的变化(纳米晶的质量分数变化范围为 0～100%)。PbTe 与 Bi_2Te_3 属于同一类型半导体热电材料,据此分析热电理论也可以用于 PbTe 纳米晶材料。

Zhu 等人[11] 研究了在压力下 PbTe 块材热导率的变化,发现其热导率先随压力的增加而减小,当压力达到 3.8 GPa 以上时,其热导率又随压力的增加而增加。Nabi[23]、Cao[24] 等人的研究表明,在常压下,n 型 PbTe 纳米晶的热导率随其尺寸的减小而急剧减小。根据上述实验结果,我们估计 p 型纳米晶 PbTe 的热导率随着压力的增加,样品的热导率逐渐减小。在 0.8 GPa 下,纳米晶 PbTe 的热电性能接近常压下的 3 倍,而 PbTe 块材热电性能在 1 GPa 时还不足常压下的 2 倍[11],表明 PbTe 纳米晶在高压下具有更优良的热电性能。

4　结　论

采用水浴法合成 PbTe 纳米晶,样品晶粒大小均匀,约为 17.8 nm。对 PbTe 纳米晶高压热电性能的研究表明,材料的功率因子随压力的增加而增加,在 0.8 GPa 下,PbTe 纳米晶的热电性能是常压下的 3 倍。采用热电理论和密度泛函理论分别计算了材料的简约费米能级与压力的关系,发现两者的计算结果是一致的。

References:

[1] Goldsmid H J. Thermoelectric Refrigeration [M]. New York: Plenum Press, 1964.

[2] Min G, Rowe D M. Cooling performance of integrated thermoelectric microcooler[J]. Solid State Electron, 1999, 43(5): 923-929.

[3] Stark I, Stordeur M. New micro thermoelectric devices based on bismuth telluride-type thin solid films [A]//18th International Conference on Thermoelectrics [C]. Baltimore, 1999: 465-472.

[4] Tritt T M. Thermoelectric materials: holey and unholey semiconductors [J]. Science, 1999, 283(5403): 804-805.

[5] Chen D Y, Ying P Z, Cui J L, et al. Research situation and application of thermoelectric materials [J]. Mater Rev, 2008, 22(S1): 280-282. (in Chinese)
陈东勇, 应鹏展, 崔教林, 等. 热电材料的研究现状及应用 [J]. 材料导报, 2008, 22(S1): 280-282.

[6] Rowe D M, Bhandari C M. Effect of grain size on the thermoelectric conversion efficiency of semiconductor alloys at high temperature [J]. Appl Energ, 1980, 6: 347-351.

[7] Toprak M S, Stiewe C, Platzek D, et al. The impact of nanostructuring on the thermal conductivity of thermoelectric $CoSb_3$ [J]. Adv Funct Mater, 2004, 14: 1189-1196.

[8] Dresselhaus M S, Chen G, Tang M Y, et al. New directions for low-dimensional thermoelectric materials [J]. Adv Mater, 2007, 19: 1043-1053.

[9] Dughaish Z H. Lead telluride as a thermoelectric material for thermoelectric power generation [J]. Phys B, 2002, 322: 205-223.

[10] McGuirea M A, Malik A S, DiSalvo F J. Effects of high-pressure high-temperature treatment on the thermoelectric properties of PbTe [J]. J Alloys Compd, 2008, 460: 8-12.

[11] Zhu P W, Chen L X, Jia X. Thermoelectric properties of PbTe prepared at high pressure and high temperature [J]. J Phys: Condens Matter, 2002, 14: 11185-11188.

[12] Ren G Z, Jia X P, Zhu P W, et al. In situ measurement of electrical character of PbTe at high pressure and high temperature [J]. Chin Phys Lett, 2005, 22(1): 236-238.

[13] Ovsyannikov S V, Shchennikov V V. Pressure-tuned colossal improvement of thermoelectric efficiency of PbTe [J]. Appl Phys Lett, 2007, 90(122103): 1-3.

[14] Yan Q Y, Chen H, Zhou W W. A simple chemical approach for PbTe nanowires with enhanced thermoelectric properties [J]. Chem Mater, 2008, 20: 6298-6300.

[15] Zhang W X, Zhang L, Cheng Y W. Synthesis of nanocrystalline lead chalcogenides PbE(E=S, Se, or Te) from alkaline aqueous solutions [J]. Mater Res Bull, 2000, 35: 2009-2015.

[16] Zhu T J, Liu Y Q, Zhao X B. Synthesis of PbTe thermoelectric materials by alkaline reducing chemical routes[J]. Mater Res Bull, 2008, 43: 2850-2854.

[17] Su F, Dai W P, Su X. Enhancement of both ionic conductivity and permittivity of the high polymer film $P(EO)_n$-$CuBr_2$ under hydrostatic pressure(Ⅱ)—Application of method to add pPlasticizer [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2001, 15(3): 161-168. (in Chinese)
苏 昉, 戴卫平, 苏 骁. 高聚物 $P(EO)_n$-$CuBr_2$ 薄膜在流体静高压下离子电导率和介电常数的提高(Ⅱ)——添加增塑剂方法的应用 [J]. 高压物理学报, 2001, 15(3): 161-168.

[18] Androulakis J, Hsu K F, Pcionek R. Nanostructuring and high thermoelectric efficiency in p-type $Ag(Pb_{1-y}\cdot Sn_y)_m SbTe_{2+m}$[J]. Adv Mater, 2006, 18: 1170-1173.

[19] Seeger K. Semiconductor Physics: An Introduction [M]. India: Springer Pvt Ltd, 2007.

[20] Wang Y, Chen X, Cui T. Enhanced thermoelectric performance of PbTe within the orthorhombic *Pnma* phase [J]. Phys Rev B, 2007, 76(155127): 1-10.

[21] Zhao L D, Zhang B P, Liu W S, et al. Effect of mixed grain sizes on thermoelectric performance of Bi_2Te_3, compound [J], J Appl Phys, 2009, 105: 023704.

[22] Rached D. Calculated band structures and optical properties of lead chalcogenides PbX(X=S, Se, Te) under hydrostatic pressure [J]. Phys B, 2003, 337: 394-403.

[23] Nabi Z, Abbar B, Meçébih S. Pressure dependence of band gaps in PbS, PbSe and PbTe [J]. Comp Mater Sci, 2000, 18: 127-131.

[24] Cao Y Q, Zhu T J, Zhao X B. Low thermal conductivity and improved figure of merit in fine-grained binary PbTe thermoelectric alloys [J]. J Phys D: Appl Phys, 2009, 42(015406): 1-6.

Thermoelectric Properties of Nanoparticle PbTe under Hydrostatic Pressure

ZHANG Xiang-Guo, MU Xin, ZHANG Zeng-Ming, DING Ze-Jun

(1. *National Laboratory for Physical Sciences at Microscaleand Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei* 230026, *China*;
2. *The Centre of Physical Experiments, School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei* 230026, *China*)

Abstract: The thermoelectric properties of PbTe nanoparticles were studied from ambient pressure to 0.8 GPa by using self-built set-up. The electrical conductivity increased while Seebeck coefficient decreased with loading pressure and these properties can be recovered after pressure released. Moreover, Seebeck coefficient is extremely high, up to 565 μV/K at ambient pressure. At 0.8 GPa, the electrical conductivity enhances four times, the power factor adds three times and Seebeck coefficient is only reduced by 20% comparing with those at ambient pressure. These results indicate that high pressure can improve the thermoelectric properties of PbTe nanoparticle. The contracted Femi-energy is also calculated based on the First Principle under high pressure from 0.4 to 4.0 GPa. The calculated values agree well with experimental data.

Key words: high pressure; PbTe; thermoelectric properties; nanocrystalline; First Principle

《高压物理学报》征稿简则

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物,在国内外公开发行。力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果,读者对象为国内外科技工作者。征稿内容为动态及静态高压技术,人工合成新材料,高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究,动态及静态高压研究中的测试技术,高温高压下的相变,高温高压物态方程等。接受中、英文稿件。

1. 来稿应具有科学性、先进性和实用性,论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在 6 000～8 000 字以内,请使用中华人民共和国法定计量单位。论文格式请参考近期出版的《高压物理学报》。请使用网站(www.gywlxb.cn)的作者投稿系统进行投稿。

2. 所投稿件不得涉及国家及本单位机密,投稿时请附本单位保密审查意见,由审查者签名并加盖公章。

3. 文章标题字数应在 20 字以内。文中图、表应有自明性,所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照,图、表中的文字一律用英文。

4. 第一作者应确保全体作者同意文章署名,请提供第一作者、通讯作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等),以及所有联系方式(通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等),以备联系。请注明论文(工作)的资助项目(资助项目名称和批准号),简要介绍工作背景和论文意义。

5. 来稿应保证文章版权的独立性,严禁抄袭,文责自负,请勿一稿多投。

重点注意事项

▲ 中英文摘要　摘要用第三人称书写,语言要简练,应有具体内容。要求:(1) 拥有与论文同等量的主要信息,重点包括 4 个要素:即研究目的、方法、结果和结论。(2) 以提供论文梗概为目的,不得评论、解释论文内容。中文摘要应在 200～400 个字之间,英文摘要不少于 120 个实词。为便于 Ei Compendex 以及国外其它数据库收录,英文摘要中尽量避免特殊字符(各种数学符号、上下脚标及希腊字母)及由特殊字符组成的数学表达式;第一句不要与英文题名重复;尽量用短句子并避免句形单调;用过去时态叙述主要工作,用现在时态叙述结论,尽量用主动语态代替被动语态。

▲ 参考文献　参考文献应是公开出版物。请充分著录参考文献,引用条数不宜太少,并尽量引用近期国内外文献,采用"顺序编码制"著录。中文参考文献必须附英译文,著录项目应齐全。

▲ 版权与稿酬　《高压物理学报》已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据——数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网、台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)等,并被 Ei Compendex 光盘收录。凡经本刊录用的稿件,其著作权(包括光盘版和网络版出版权)便自动转让给《高压物理学报》编辑部,编辑部不再另行通知。来稿一经发表,即付稿酬(包括光盘版和网络版稿酬)。

《高压物理学报》一贯秉承服务科学、服务读者、服务作者的办刊理念,慎重对待每一篇来稿,尊重作者劳动。优秀稿件享有快速发表通道,重大创新性成果可在 3 个月内刊出。

通信地址:四川绵阳 919 信箱 110 分箱《高压物理学报》编辑部,邮政编码:621900

网　　站:www.gywlxb.cn;　电子邮件:gaoya@caep.ac.cn (征订、咨询)

电　　话:(0816)2490042;　传　　真:(0816)2485139

《高压物理学报》编辑部