

项目名称： 超细单壁纳米碳管及其奇异一维超导的发现和特性研究

主要完成人： 汤子康(澳门大学)，王宁(香港科技大学)，陈子亭(香港科技大学)，沈平(香港科技大学)，张西祥(香港科技大学)

推荐单位意见：

我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。按照要求，我单位和项目完成单位都已对该项目的拟推荐情况进行了公示，目前无异议。

该项目组经十余年研究，开发出独特的沸石晶体模板技术，克服了控制手性和直径等技术上的困难，首次成功地研制出排列规整、直径仅为 0.4 纳米的当时世界最细单壁纳米碳管。这些超细纳米碳管不仅呈现出不寻常的光学、磁学和热学特性，进一步研究还观察到这些纯碳结构纳米管在低温下具有一维超导体特性，首次发现它们除了具有一维超导体体系中的能量涨落现象外，还显示出异常高的临界磁场强度，并且发现了纳米碳管之间的微弱耦合效应在纳米碳管阵列的电导特性中起着关键作用。该项目组又进一步成功制备出直径仅为 0.3 纳米单壁纳米碳管，再次刷新了世界最细小单壁纳米碳管的记录。

该项目的有关成果发表在 Nature、Science、PNAS、Physical Review Letters 等国际一流的学术期刊，八篇代表性论文迄今已被引用超过 2200 次。这一系列成果在国际学术界产生了很大影响，受到国际同行很高评价以及带动后续研究，也为一维纳米材料的物理、化学、电子以及力学特性的研究提供了一个独特的平台，特别是对研究一维导电体系的输运过程以及纳米碳管在纳米电子器件的实际应用具有重要的指导意义。

对照国家自然科学奖授奖条件，同意推荐该项目申报 2017 年度国家自然科学奖二等奖。

项目简介：

由于纳米碳管优异的机械特性，丰富多采的电学和热学特性，以及其诱人的潜在应用价值，它自 1991 年被发现以来一直受到科学家的青睐，被誉为 21 世纪最有前途的新型纳米材料。纳米碳管的研究已成为当今世界上发展最迅速，竞争最激烈的前沿学科之一。不同于自然界存在的碳结构，纳米碳管是通过特殊的实验条件合成制造出来的一种纳米尺度下的碳原子特殊结构。其特殊性质源于它的细小尺寸和卷曲方式，这些特殊性质会随着纳米碳管直径的增加而逐渐消失。虽然迄今为止多种合成纳米碳管的技术已被开发，但是目前科学家所面临技术上

的挑战是怎样控制尺寸和结构均一，排列规整的更细小的纳米碳管，从而实现对纳米碳管性质更准确的理解和技术上的应用。

2000 年，该团队利用沸石单晶体的纳米细孔，首次成功地研制出了排列规整、直径为 0.4 纳米的超细单壁纳米碳管。0.4 纳米直径的碳管已接近最小的纳米碳管的理论极限。这些超细单壁纳米碳管不仅具有新奇的结构特点，而且还显示出不寻常的光学，电传导和多种离子强烈吸附特性。同时这些碳管在低温下还具有一维超导体特性，这也是首次在纯碳结构中发现超导体现象。该团队的研究发现，细小的单壁纳米碳管除具有一维超导体体系中的能量涨落现象，更显示异常高的临界磁场强度。研究还发现纳米碳管之间的微弱耦合在纳米碳管阵列的电导特性中起着关键的作用。2008 年，该团队进而成功制备出直径仅为 0.3 纳米单壁纳米碳管，刷新了他们保持的世界最细小单壁纳米碳管的记录。0.3 纳米直径的单壁纳米碳管只有(2,2)一种手性结构，更能反映细小单壁纳米碳管的独特性质。这些尺寸和结构均一，排列规整的细小的纳米碳管为研究一维纳米材料的物理、化学、电子以及力学等方面的特性提供了一个独特的平台。特别是对研究一维导电体系的输运过程以及纳米碳管在纳米电子器件的实际应用具有重要的指导意义。

该团队有关超细单壁纳米碳管的研究成果 2000 年在 Nature 上发表后，引起很大反响。被美国著名刊物 Chemical & Engineering News 选为 2000 年度在纳米材料领域的世界四大重要工作之一，同时被 485 位中国科学院和工程院两院院士评选为 2000 年度世界十大科学新闻之一。研究成果相继被英国的 BBC、美国的 CNN、中央电视台、人民日报、以及其他诸多国际媒体广为报道。2001 年，超细纳米碳管的一维超导现象在 Science 发表后，又一轮引起了世界同行的关注。著名的英国物理研究所(Institute of Physics, IOP)网站(<http://physicsworld.com>)把他们的工作列为 2001 年度物理学界 11 项最主要成就之一。日本的《日经先端技术》杂志则把他们发表在 Nature (2000) 和 Science (2001) 上的两篇论文同时列为 2000-2001 年最受关注的前二十篇论文。2009 年发表在 PNAS (美国国家科学院院报)上的有关超细纳米碳管超导特性的研究论文，也被该杂志在首页做了专门介绍。该项目先后共发表 SCI 论文 80 余篇(包括 Nature 1 篇，Science 1 篇, PNAS 1 篇, Physical Review Letters 3 篇)，应邀在重要国际大型会议上做特邀报告 50 余次。80 余篇论文的总引用率高达 4100 余次，其中申报书中提交的 8 篇代表性论文迄今 SCI 他引 1348 次, GoogleScholar 他引 2073 次, 其中发表在 Nature (2000)、Science (2001)以及 Physical Review Letters (2001)的论文 SCI 他引分别为 437 次，334 次和 213 次。

客观评价：

本研究项目发表的 80 余篇研究论文迄今已被引用了 4100 余次，其中申报书中提交的 8 篇代表性论文迄今 SCI 他引 1348 次，引起国际同行的广泛关注。

部分评论摘要如下：

(1) 美国伯克利国家实验室资深研究员 Eli Rotenberg 在他的论文 Science 313,951(2006)中引用该团队有关碳管超导研究工作时称：“碳基材料，诸如纳米碳管、石墨插层化合物、富勒烯、超薄石墨薄膜等，呈现出许多奇异现象，比如超导现象，。。。 ” --- “Carbon-based materials such as carbon nanotubes (CNTs), graphite intercalation compounds, fullerenes, and ultrathin graphite films exhibit many exotic phenomena such as superconductivity (1 – 3) and ...”

被引论文: (1). Z. K. Tang et al., Science 292, 2462 (2001);

(2) 比利时鲁汶大学教授 J. C. Charlier 等人在 Rev. Modern Phys. 79, 677-732 (2007) 综述文章中引述说：“王和汤等人(Wang, Tang et al., 2000) 在 AlPO₄-5 沸石细孔（内径约 7.3 Å）中制备出了超小直径的单壁纳米碳管（直径约 4 Å）。细小的直径使得这些单壁纳米碳管具有诸如超电导（Tang et al, 2001）这样的不寻常特性。4 Å 附近的窄小直径分布使得纳米碳管最多只有 3 种可能的结构：(3,3), (4,2), 和 (5,0)。许多理论物理学家用第一性计算原理，对这些超细纳米碳管的物理特性进行了深入细致的研究。” --- “Ultrasmall radius single-wall carbon nanotubes (diameter of about 4 Å) have been produced by confining their synthesis inside inert AlPO₄-5 zeolite channels (with inner diameter of about 7.3 Å) (Wang, Tang et al., 2000). The diameter of these tubes gives them many unusual properties such as superconductivity (Tang et al., 2001). Such a narrow distribution of diameters around 4 Å reduces the potential carbon nanotube candidates to three: the (3,3), (4,2), and (5,0). The properties of these ultrasmall tubes have already been extensively investigated by ab initio simulations.”

被引论文: Tang, Z. K., Lingyun Zhang, N. Wang, X. X. Zhang, et al., 2001, Science 292, 2462.

被引论文: Wang, N., Z. K. Tang, G. D. Li, and J. S. Chen, 2000, Nature 408, 50.

(3) Science 在首页以 “This Week in Science” 的形式 highlight 了该团队的工作。文章提到：“汤等人在沸石晶体细孔中制备出了直径只有 0.4 纳米的超细单壁纳米碳管。输运与磁化的实验数据表明，这些超细单壁纳米碳管具有超电导特性，超导转变温度为 15K，远比纳米碳管捆束的超导转变温度要高。” --- “... Tang et al. (p. 2462) have grown individual single-walled carbon nanotubes just 4 angstroms in diameter in the pores of a zeolite crystal and present transport and magnetic data verifying their superconductivity. Moreover, the very small diameter and isolation of each nanotube

results in a superconductivity transition at 15 kelvin, well above that observed in the bundles.”

This Week in Science, editor summaries of this week's papers : Science 29 June 2001: 2393.

(4) 美国宾州州立大学 Mauricio Terrones 教授在他有关纳米碳管的长篇综述论文中论文 *Annu. Rev. Mater. Res.* 33, 419(2003)中评论：“最近中国的研究团队报道了沸石晶体中 0.4 纳米单壁碳管在 20K 温度以下的超导现象，作者还通过计算证实了小直径单壁纳米碳管超导的可能性，因此，维度（直径以及手性）确实能改变碳管的电子特性” --- “More recently, a Chinese group reported that SWNTs of 4 Å in diameter, embedded in zeolite matrices, superconducting below 20 K (Figure 43) (189). The authors also carried out statistical mechanics calculations confirming the possibility of superconducting within SWNTs of narrow diameters (189). Therefore, dimensions (diameter and chirality) can really modify the electronic properties of nanotubes.”

被引论文: 189. Tang ZK, Zhang LY, Wang N, Zhang XX, et al. 2001. *Science* 292: 2462 – 65

(5) 纳米碳管权威科学家，麻省理工 M. S. Dresselhaus 教授等人在他们的综述文章 *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 362, 2065 (2004) 中引述：“最近，王等人 (Wang et al. 2000) 在沸石细孔 (内径 0.74nm) 制备出了超细的单壁纳米碳管 (直径约 0.4nm)。这些超细单壁碳管具有非常不寻常的特性，例如一维的超导特性 (Tang et al. 2001)。超窄的管径分布，使得这些纳米碳管只有 3 种可能的结构：(3,3), (4,2) 以及 (5,0)。这些超细纳米碳管的物理特性已经被广泛深入地研究。” --- “Recently, ultra-small-diameter SWNTs (diameter ca. 0.4 nm) have been produced by confining their synthesis inside inert AlPO₄-5 zeolite channels (with inner diameter of ca. 0.73 nm) (Wang et al. 2000). The ultra-small diameter of these tubes gives them many unusual properties, such as superconductivity (Tang et al. 2001). Such a narrow diameter distribution (ca. 0.4 nm) reduces the potential candidates to three: (3, 3), (4, 2) and (5, 0). The properties of these ultra-small-diameter tubes have already been extensively investigated using ab initio calculations, since the small unit cell of these tubes allows such accurate calculations to be carried out” .

被引论文: Tang, Z. K., Zhang, L., Wang, N., Zhang, X. X., et al. 2001. *Science* 292, 2462 – 2465.

被引论文: Wang, N., Tang, Z. K., Li, G. D. & Chen, J. S. 2000 *Nature* 408, 50 – 51.

(6) 美国宾州州立大学教授 Ying Liu 等人在 *Science* 294, 2332 (2001) 的文章指出：

“实验上，制备纳米尺度的超电导样品是技术上的一大挑战，从这意义上，有超电导特性的纳米碳管[20]是（研究超电导在纳米尺度行为的）很有前景的备选材料。” --- “Experimentally, the preparation of doubly connected superconducting samples of dimensions on the nanometer scale challenges the existing technologies. In this regard, superconducting carbon nanotubes [20] are a promising candidate for such studies.”

被引论文: [20]. Z. K. Tang et al., Science 292, 2462 (2001).

(7) Kun Gao 等人在 J. Phys: Condens. Matt. 19, 486210 (2007)的文章引用了该团队的一系列研究论文，其中引用该团队的前 6 篇论文(Ref. 6-11)时说：“自从 1998 年以来，0.3-0.5 纳米的超细纳米碳管吸引了众多科学家的注意力[6-10]，特别是沸石晶体中 0.4 纳米单壁碳管的超导特性的发现[11]，激起了对这一类单壁纳米碳管的实验和理论上的更加详尽地研究。” --- “Since 1998, ultrasmall carbon nanotubes with diameters in a range of 0.3 – 0.5 nm have attracted much attention [6 – 10]. In particular, the discovery of superconductivity in 4 Å diameter nanotubes in zeolite matrix [11] has initiated both experimental and theoretical investigation of this kind of SWCNTs [13 – 16].”

被引论文: [6] Tang Z K, Sun H D, et al. 1998 Appl. Phys. Lett. 73 2287; [7] Sun H D, Tang ZK, et al. 1999 Solid State Commun. 109 365; [8] Tang Z K, et al. 2000 Physica B 279 200; [9] Li Z M, Tang Z. K. et al 2001 Phys. Rev. Lett. 87 127401; [10] Jorio A, Filho A. G., Dresselhaus G., et al., Tang Z. K., Saito R. 2002 Chem. Phys. Lett. 351 27; [11] Tang Z K, Zhang L, Wang N, Zhang X X, et al. 2001 Science 292 2462.

(8) 法国纳米科学和凝聚态物理研究中心 T. Roussel 等人，在其研究论文 Phys. Rev. B 76, 235418 (2007)专门以“Structure of narrow-diameter single-wall carbon nanotubes grown in AlPO₄-5 zeolite”为题从理论上研究了该团队沸石纳米孔道中的 0.4 纳米单壁碳管的结构和特性，并引用了多达 16 篇该团队的相关研究论文。在同一篇论文中应用同一个研究组的这么多篇研究论文，实属罕见。该团队的纳米碳管样品体系为理论研究提供了一个不可多得的实验比较平台。

(9) Ivanka Milosevic 等人在他们的一篇理论计算论文中 (Phys. Rev. B. 72, 085426 (2005))引用了该团队系列工作的 13 篇论文，在引言里系统地介绍了该团队的研究工作（该论文中引用的参考文献[4-13，15]，以及[36-37]，均为该团队的研究工作）。在同一篇论文中引用同一个研究组的这么多篇研究论文，显示了同行对该团队一系列研究工作高度感兴趣。

(10) 日本名古屋大学教授 Hisanori shinohara 在她的最近综述论文 ACS Nano 4, 5807(2010)中评价：“最近将超细单壁碳管分散在沸石基体的技术，使得我们研究超细纳米碳管的本质电子输运和超导现象、及其奇异电学和光学特性成为可能”

--- “The present technique may also provide opportunities to extract ultra-narrow SWCNTs embedded in other supporting materials such as zeolite.²⁸ The isolation of such narrow SWCNTs allows us to investigate their intrinsic transport properties related to superconductivity as well as exotic electrical and optical natures with strong quantum confinement.

被引论文: 28. Lortz, R.; et. al.; Tang, Z.; et al. Proc. Natl. Acad. Sci. 2009, 106, 7299 – 7303.

代表性论文专著目录：

1. “Superconductivity in 4 Å Diameter Single Walled Carbon Nanotubes” , Z. K. Tang, L. Y. Zhang, N. Wang, X. X. Zhang, G. H. Wen, G. D. Li, J. N. Wang, C. T. Chan, and P. Sheng, Science 292, 2462 (2001).
2. “Single-walled 4 Å Carbon Nanotube Arrays” , N. Wang, Z. K. Tang*, G. D. Li and J. S. Chen, Nature 408, 50 (2000).
3. “Polarized Absorption Spectra of Single-Walled 4 Å Carbon Nanotubes Aligned in Channels of AlPO₄-5 Single Crystal” , Z. M. Li, Z. K. Tang*, H. J. Liu, N. Wang, and C. T. Chan, R. Saito, S. Okada, G. D. Li, J. S. Chen, Phys. Rev. Lett. 87, 127401 (2001).
4. “Properties of 4 Å carbon nanotubes from first-principles calculations” , H. J. Liu, C. T. Chan, Physical Review B 66, 115416 (2002).
5. “Mono-sized Single-wall Carbon Nanotubes Formed in the Channels of AlPO₄-5 Single Crystal” , Z. K. Tang, H. D. Sun, J. N. Wang, J. S. Chen and G. D. Li, Appl. Phys. Lett. 73, 2287 (1998).
6. “Polarized Raman Spectra of Single-wall Carbon Nanotubes Mono-dispersed in Channels of AlPO₄-5 Single Crystal” , H. D. Sun, Z. K. Tang*, J. Chen, and G. Li, Solid State Commun. 109, 365 (1999).
7. “Resonant Raman Scattering of the Smallest Single-Walled Carbon Nanotubes” , Z. K. Tang, J. P. Zhai, Y. Y. Tong, X. J. Hu, R. Saito, Y. J. Feng, P. Sheng, Physical Review Letters 101, 047402 (2008).
8. “Superconducting characteristics of 4 Å carbon nanotube – zeolite composite” , Rolf Lortz, Qiucen Zhang, Wu Shi, Jian Ting Ye, Chunyin Qiu, Zhe Wang, Hongtao He, Ping Sheng, Tiezheng Qian, Zikang Tang, Ning Wang, Xixiang Zhang, Jiannong Wang and Che Ting Chan, Proc. National Acad. Sci. 106, 7299 (2009).

主要完成人情况表：

姓名	汤子康	排名	1	技术职称	教授
工作单位	澳门大学				
完成单位	香港科技大学				
对本项目技术创造性贡献	全过程策划并统筹了本项目的设计、经费申请、以及课题规划和实施；超细纳米碳管模板技术的开发与研究、以及超细单壁纳米碳管的制备及其特性表征与研究；超细纳米碳管生长机理、纳米碳管结构及对称性分析研究；纳米碳管光学与电学特性的特性测量、数据分析与研究；纳米碳管超电导特性的实验研究。（重要科学发现的所有部分，论文1、2、3、5、6、7、8）				
曾获国家科技奖励情况	2003 国家自然科学奖二等奖（第一完成人）				

姓名	王宁	排名	2	技术职称	教授
工作单位、完成单位	香港科技大学				
对本项目技术创造性贡献	使用高分辨电子显微镜观察并证实0.4纳米单壁碳管，及其在空气中及真空高能量电子束下的稳定性。 ☐ 使用聚焦离子束纳米加工技术成功连接0.4纳米单壁碳管，实现低温下的稳定连接，实现对超细单壁纳米碳管超导及传输性质的测量。 ☐ 探讨 0.4nm 纳米碳管在不同条件下的电子显微成像机制和结构测定。 （重要科学发现的第四部分，论文 1、2、3、5、8）				
曾获国家科技奖励情况	2005 国家自然科学奖二等奖				

姓名	陈子亭	排名	3	技术职称	教授
工作单位、完成单位	香港科技大学				
对本项目技术创造性贡献	对超小半径碳纳米管的新颖光、电、声子和输运的理论分析:对碳纳米管的物理性质进行了系统的研究。 理论计算的重要之处在于能够通过高度精确的第一性原理计算来确定这些纳米管的性质。例如, 通过计算吸收光谱和声子频率, 可以在实验得到光学和拉曼谱中分辨出纳米管的特性, 还可得到了完整的声子谱并通过计算澄清了晶格不稳定(派尔斯转型)和超导电性的竞争关系。计算研究预言了该系统应是一个良好的锂离子吸收体, 从而可应用于锂电池, 并随后被实验组证实。 （重要科学发现的第二、第三部分，论文1、3、4、8）				
曾获国家科技奖励情况	无				

姓名	沈平	排名	4	技术职称	教授
工作单位、完成单位	香港科技大学				

对本项目技术创造性贡献	此项目分超细单壁纳米碳管的制备与表征, 以及超导的发现与确认两部分。本人主要学术贡献是在第二部分, 主要表现在实验的设计、对实验结果的理论分析。 (重要科学发现的第四部分, 论文 1、7、8)
曾获国家科技奖励情况	无

姓名	张西祥	排名	5	技术职称	教授
工作单位、完成单位	香港科技大学				
对本项目技术创造性贡献	参与了低温磁性和电性的测量与分析 (重要科学发现的第四部分, 论文1、8)				
曾获国家科技奖励情况	2012 国家自然科学二等奖				

完成人合作关系说明：

第一完成人湯子康于 1996 年开始探索利用沸石晶体纳米尺度的一维系细孔作为模具合成超细单壁纳米碳管技术, 经过 2 年的摸索, 于 1998 年成功地在 1.0nm 直径的沸石晶体细孔中制备出第一个全球最细的单壁纳米碳管样品, 这一结果发表在 Applied Physics Letters, 73, 2287 (1998).

1999 年第二完成人王宁成功地用透射电镜观测到了单壁纳米碳管的实际尺寸, 直径为 0.4nm, 这一尺度已经非常接近稳定结构单壁纳米碳管的最小直径的数值, 起结果发表在 Nature 408,50(2000).

2000 年开始, 在第一完成人湯子康的主导下, 第五完成人张西祥开始参与纳米碳管样品的低温电学和磁学特性的测量, 第四完成人开始从理论的角度参与对电学和磁学特性的分析与计算, 第三完成人陈子亭开始参与单壁纳米碳管结构的稳定性, 碳管的声子和电子结构的计算和实验分析, 第二完成人在样品制备和结构分析上做了一系列工作, 在大家的共同努力下, 于 2000 年底首次发现 0.4nm 的单壁纳米碳管呈现出独特的一维超导特性, 结果发表在 Science 292, 5526(2001)。2001-2010 期间, 完成人互相合作, 沿着不同方向做了大量研究工作：

- 第一完成人湯子康用显微拉曼技术对纳米碳管的晶格振动做了大量的分析, 从而发现 0.4nm 碳管具有三种不同螺旋度结构, 分别是 (4,2), (3,3)和 (5,0) 结构, 观测到了很强的偏振发光, 于 2008 年更进一步合成出跟细小的 (2,2) 结构的直径只有 0.3nm 的超细单壁纳米碳管, 结果分别发表在 Physical Review Letters 93, 017402(2004), 以及 Physical Review Letters 102, 075505(2009), 同时在合成更高碳管含量密度纳米碳管/沸石晶体复合材料样品上下了大量的功夫；

- 第二完成人王宁系统性地探讨了 0.4nm 纳米碳管在不同条件下的电子显微成像机制和结构测定, 并研究了 0.4 纳米单壁碳管在空气中及真空高能电子束下的稳定性, 同时使用聚焦离子束纳米加工技术成功连接 0.4 纳米单壁碳管, 实现

低温下的稳定连接，保证传输性质的测量。

- 第三完成人陈子亭对超小半径碳纳米管的新颖的光学、电学以及声子和输运的理论分析：对碳纳米管的物理性质进行了系统的研究。通过高度精确的第一性原理计算来确定这些纳米管的性质。不仅得到了完整的声子谱并通过计算澄清了晶格不稳定和超导电性的竞争关系。还预言了该系统应是一个良好的锂离子吸收体，从而可应用于电池，并随后被实验证实。

- 第四完成人沈平进一步从理论角度研究了沸石晶体中纳米碳管阵列之间的微弱相互作用导致碳管的超导特性随着温度从一维到三维结构相变的预测，并之后为实验所证实。

- 第五完成人张西祥继续继续做一些低温磁学和电学的测量表征和分析，但从 2005 年开始逐渐减少参与合作课题的研究，并在 2008 年离开了香港科技大学。之后经过长达 10 年的通力合作研究，对纳米碳管的超导特性做了全面的深入细致的研究，终于完全揭示了超细单壁纳米碳管阵列超导特性随温度从一维到三维的 K-T 结构相变的机理，这是一种全新的超导机制，对发展和开发低维材料的新型超导性能具有指导性的启发意义。支撑这一跨越 15 年之久的研究，依靠的是通力合作、专长互补的团队合作精神。团队成员在困难面前不退却，坚忍不拔的耐力和坚持的品德，也确保了长达 15 年之久而不衰的研究团队凝聚力。

附件 9.7 知情同意报奖证明书

本人 李兆明 已经得知, 本人以第一作者的身份发表的有关超细纳米碳管的学术文章被用于 2017 年度国家自然科学奖申请材料。申请题目: “超细单壁纳米碳管的制备及其特性研究”。本人对此无异议。

(#3: Polarized Absorption Spectra of Single-Walled 4 Å Carbon Nanotubes Aligned in Channels of AlPO₄-5 Single Crystal”, Z. M. Li, Z. K. Tang, et al., *Phys. Rev. Lett.* 87, 127401 (2001))

李兆明

签名: 李兆明 日期: 2017 年 1 月 13 日

本人, 孙汉东, 已经得知, 本人以第一作者的身份发表的有关超细纳米碳管的学术文章被用于 2017 年度国家自然科学奖申请材料。申请题目: “超细单壁纳米碳管的制备及其特性研究”。本人对此无异议。

(#6: Polarized Raman Spectra of Single-wall Carbon Nanotubes Mono-dispersed in Channels of AlPO₄-5 Single Crystal”, H. D. Sun, Z. K. Tang, et al., *Solid State Commun.* 109, 365 (1999))

孙汉东

签名: 孙汉东 日期: 2017 年 01 月 13 日

附件 9.7 知情同意报奖证明书

本人 刘惠军 已经得知，本人以第一作者的身份发表的有关超细纳米碳管的学术文章被用于 2017 年度国家自然科学奖申请材料。申请题目：“超细单壁纳米碳管的制备及其特性研究”。本人对此无异议。

(#4: Properties of 4 Å carbon nanotubes from first-principles calculations”, H. J. Liu, C. T. Chan, *Physical Review B* 66, 115416 (2002))

刘惠军

签名: 刘惠军 日期: 2017 年 1 月 13 日

I, Lortz Rolf Walter have been informed that my paper about ultrathin carbon nanotube property research published previously (I am the first author of the paper) has been used as the supporting materials for the application of the STATE NATURAL SCIENCE AWARD 2017, P.R. CHINA. The title of the application is “Discovery & property study of ultra-thin single-walled carbon nanotubes”. I have no objection to this application.

(#8: Superconducting characteristics of 4 Å carbon nanotube–zeolite composite”, Rolf Lortz, et al., *Proc. National Acad. Sci.* 106, 7299 (2009))

Lortz Rolf

Signature: Rolf Lortz Date: 13 January 2017