

一、 实验室概况

纳米器件物理与化学教育部重点实验室是于2003年10月成立并通过验收的,2007年顺利通过了教育部的评估。实验室集中了物理、化学和电子学等方面的交叉研究力量,现有7名教授、1名教授级高工、10名副教授或副研究员等近20余位固定研究人员。学术骨干中有1位长江特聘教授、2位国家杰出青年获得者和4位教育部新世纪优秀人才。实验室成员在超过15个学术机构中任职。

实验室主要学术定位为探索并利用纳米材料特殊的尺度和维度效应,突破传统器件所面临的制造和性能等方面的瓶颈。重点研究纳米电子、光电器件,显示器件,传感器,新型能源器件等。同时研究新结构、新原理器件和相关纳米器件物理和化学基本问题。实验室研究性质基本为有重大应用牵引的基础研究,所有研究都是围绕着基于纳米材料的纳米器件来开展的。2003年制备出了国内第一个基于单根多壁碳纳米管的场效应晶体管;2004年发展了在氧化硅基底上可控生长超长平行单壁碳纳米管的新方法;2005年成功地制备出了性能达到国际先进水平的基于直径为1-2纳米的单根单壁碳纳米管p-型场效应晶体管;2007年利用金属Sc做电极,首次实现了弹道运输的n-型碳纳米管场效应晶体管;同时实验室还发展出了一系列针对单个纳米材料的结构和性能表征方法。

实验室固定成员名单

序号	姓名	性别	出生年月	最后学位	研究方向	技术职称	在实验室工作期限
1	彭练矛	男	1962-9	博士	纳米电子学	教授	2003年至今
2	陈清	女	1965-10	博士	纳米材料, 电子显微学	教授	2003年至今
3	张锦	男	1969-12	博士	纳米化学	教授	2003年至今
4	李彦	女	1967-2	博士	纳米材料化学	教授	2003年至今
5	张耿民	男	1969-2	博士	物理电子	教授	2003年至今
6	侯士敏	男	1970-12	博士	纳米电子	教授	2003年至今

7	梁学磊	男	1974-1	博士	纳米电子	教授	2003 年至今
8	赵兴钰	男	1950-4	本科	物理电子	高工	2003 年至今
9	申自勇	男	1969-5	博士	扫描探针	副教授	2003 年至今
10	王晶云	女	1971-12	博士	电子显微学	副教授	2003 年至今
11	许胜勇	男	1966-1	博士	凝聚态物理	副教授	2006.4 至今
12	高旻	男	1973-5	博士	材料学	副教授	2006.8 至今
13	叶安培	男	1961-10	博士	原子与分子物理/ 激光生物物理	副教授	2008.9 至今
14	邢英杰	男	1970-1	博士	纳米材料	副教授	2008.9 至今
15	叶林辉	男	1968-10	博士	理论	副教授	2008.11 至今
16	郭等柱	男	1967-12	博士	物理电子	副研	2003 年至今
17	潘华勇	男	1968-10	博士	电子显微学	副研	2004 年至今
18	廖建辉	男	1976-11	博士	纳米电子	副研	2008.9 至今
19	高崧	男	1967-12	博士	扫描探针	讲师	2003 年至今
20	孙文涛	女	1976-5	博士	纳米材料	讲师	2008.3 至今
21	王胜	男	1977-11	博士	纳米电子	助研	2008.7 至今
22	张志勇	男	1977-9	博士	纳米电子	助研	2008.7 至今
23	岳双林	女	1976-2	博士	微纳加工	工程师	2006.7 至今
24	高红	女	1966-10	硕士	化学合成	工程师	2004 年至今
25	张娜	女	1976-9	本科	实验室秘书	会计师	2003 年至今

实验室成员在学术机构任职情况

姓名	学术任职
彭练矛	国际显微学杂志 Ultramicroscopy 编委 国际显微学杂志 MICRON 编委 国际表面科学与纳米科技电子杂志 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 编委 国际晶体学会电子衍射专业委员会委员 中国电子显微学会副理事长 中国晶体学会副理事长 中国仪器仪表学会微纳器件与系统技术分会副理事长
张锦	“Carbon”顾问编委 中国微米纳米技术学会副秘书长
陈清	“金属学报（英文版）”编委， 中国微米纳米技术学会理事， 全国微束分析标准化技术委员会电子探针和扫描电镜分技术委员会委员
李彦	“科学通报”编委
张耿民	中国真空学会副秘书长
叶安培	中国生物物理学会理事 “原子与分子物理学报”编委

二、2008 年主要工作进展总结

实验室 2008 年继续围绕基于纳米材料的纳米器件开展研究，在碳纳米管纳米器件、碳纳米管的可控制备和纳米材料的原位表征、加工和性能研究等方面取得了丰硕的成果。2008 年实验室成员发表高影响因子的 SCI 论文近 40 篇（具体分布见分布表）；取得授权国家发明专利 8 项，新申请国家发明专利 11 项；出版了一部译著，完成了一部专著；在超过 15 个国际会议上做邀请报告(包括一个大会议报告)。

目前实验室人员承担着超过 25 项国家的研究项目（见承担课题表），其中有重大或重点项目 5 项，863 项目 2 项，国家自然科学基金项目 14 项，杰出青年基金项目 1 项和海外及港澳学者合作研究基金项目 2 项。

张锦教授与合作者共同完成的“用于纳电子材料的碳纳米管控制生长、加工组装及器件基础”获得 2008 年国家自然科学奖二等奖（已公示）。

2008 年本实验室又增加了新的力量。我们自己培养的 2005 年全国百篇优秀博士学位论文奖获得者邢英杰博士从国外回到实验室工作，实验室从国外引进了廖建辉博士，从其他单位引进了叶安培副教授和叶林辉副教授，实验室自己培养的 3 位博士后(张志勇,王胜,孙文涛)也在 2008 年留在实验室工作。本年度李彦教授被评为北京大学十佳教师，梁学磊升为正教授。

实验室 2008 年毕业博士 16 人，硕士 11 人。现有在读研究生 70 余人。魏贤龙同学在中国电镜学会 2008 年大会上获得唯一的“郭可信优秀学生奖”。魏贤龙同学还被中德科学中心选为 2008 年林岛（Lindao）学生参加了第 58 届德国林岛诺贝尔奖获得者大会。

实验室负责建设的北京大学 985 重点建设项目“北京大学微纳米加工实验室”于 2008 年建成并投入使用。

承担的主要课题目录

序号	批准号	类别	项目名称	负责人	起止时间
1	2006CB932401	国家重大科学研究计划	碳纳米管结构原位加工, 修饰, 环境的可控变化, 性能实时测量	彭练矛	2006.9-2011.11
2	2006CB932402	国家重大科学研究计划	新型碳纳米管器件, 尤其是新型量子效应器件的加工, 评估和继承方法探索	梁学磊	2006.9-2011.11
3	2006CB932403	国家重大科学研究计划	新型复合碳纳米管材料的合成、结构和性能调控	李彦	2006.12-2011.11
4	2006CB932701	国家重大科学研究计划	碳纳米管的结构调控、生长机制与应用探索	张锦	2006.12-2011.11
5	2006AA03Z350	国家 863 课题	基于扫描电镜的原位、实时纳米器件综合测试系统的研制和纳米表面修饰的原位研究	彭练矛	2006.12-2008.12
6	2006AA05Z107	国家 863 课题	基于纳米材料的光解水制氢技术研究	郭等柱	2006.12-2008.12
7	10434010	自然科学基金重点项目	纳电子材料与器件的物理基础	彭练矛	2005.1-2008.12
8	90606026	重大研究计划面上项目	一维纳米材料电学性能的定量研究	彭练矛	2007.1-2009.12
9	20573002	自然科学基金面上项目	纳米加工辅助表面上单壁碳纳米管的可控生长	张锦	2006.1-2008.12
10	60571002	自然科学基金面上项目	基于碳纳米管、纳米线的纳电子器件的制备和物性研究	梁学磊	2006.1-2008.12
11	60571003	自然科学基金面上项目	单根金属纳米线-接触电极的可控制备与电学特性研究	郭等柱	2006.1-2008.12
12	10674008	自然科学基金面上项目	细胞生长因子 (IL-6) 与细胞表面受体蛋白分子相互作用的单分子研究	叶安培	2007.1-2009.12
13	20673004	自然科学基金	单壁碳纳米管的可控生长、SPM	张锦	2007.1-

		金面上项目	操纵及其能带调控		2009.12
14	50672002	自然科学基金面上项目	ZnO 纳米线材料电致紫外激光发射性能与器件研究	张琦锋	2007.1-2009.12
15	60671022	自然科学基金面上项目	金属富勒烯的结构和电学特性及其应用于纳电子器件的研究	申自勇	2007.1-2009.12
16	10774002	自然科学基金面上项目	无源纳米结器件物理性能的原位研究	许胜勇	2008.1-2010.12
17	50702002	自然科学基金青年基金	基于电子显微镜的单根一维纳米材料“结构-性能”的一体化研究	高旻	2008.1-2010.12
18	50772002	自然科学基金面上项目	基于非 VIII 族金属的单壁碳纳米管制备	李彦	2008.1-2010.12
19	60771002	自然科学基金面上项目	相对论效应对分子电子器件电子输运特性影响的理论研究	侯士敏	2008.1-2010.12
20	60771004	自然科学基金面上项目	新型碳锥-纳米管针尖的制备与场发射特性研究	张耿民	2008.1-2010.12
21	60771005	自然科学基金面上项目	单根碳纳米管的力学特性研究及纳米谐振器的研制	陈清	2008.1-2010.12
22	20725307	杰出青年科学基金	表面结构	张锦	2008.1-2011.12
23	60728102	海外及港澳学者合作研究基金	纳米级和原子级材料及应用的基础研究	左建民/ 陈清	2008.1-2010.12
24	20828004	海外及港澳学者合作研究基金	单壁碳纳米管的发光性能研究	孔敬/ 张锦	2009.1-2010.12
25	国科外字 [2007]203 号	科技部中国与斯洛维尼亚政府间科技合作项目	无机纳米线构成的平板阴极发射器	彭练矛, 王晶云	2007-2009
26	20050001055	教育部博士点基金	纳米器件材料的表征及物性研究	陈清	2006.1-2008.12

2008 年实验室发表的高影响因子论文的刊物分布

刊 物	篇数	刊 物	篇数
Nano Letters	1	J. Am. Chem. Soc.	1
Phys. Rev. Lett.	2	Adv. Mater.	4
Adv. Func. Mater.	2	Chem. Comm.	1
Small	1	J. Phys. Chem. C	13
Crystal Growth & Design	1	Appl. Phys. Lett.	6
Chem. Mater.	1	Phys. Rev. B	1
J. Mater. Chem.	1	Nanotechnology	4

三、重要研究成果简介

(一) 基于碳纳米管的器件研究

2008年度在基于碳纳米管的高性能场效应晶体管、CMOS电路以及光电器件的制备方面取得了重要进展。制备出的n-型碳纳米管场效应晶体管（CNTFET）的性能首次超过了相应的硅基器件。采用自对准的器件加工工艺将其性能进一步推进到了接近理论极限。制备出了多壁碳纳米做互连、单壁碳纳米管为沟道的全碳纳米管电路。制备出的碳纳米管多功能器件单元在一个简单的器件结构中集成了7种优越的性能，为基于碳纳米管的光电功能集成电路打下了基础。

1. 首次实现了 n-CNTFET 性能超过硅基 NMOS

p-型 CNTFET 的性能早已超过硅基 PMOS，然而 n-型 CNTFET 研究仍相对落后于硅基技术。2007 年我们利用金属 Sc 做电极，首次实现了弹道运输的 n-型 CNTFET（Nano Letters 7(2007)3603）。在此研究基础之上，为进一步提高 n-型 CNTFET 的性能，2008 年我们采用了原子层沉积(ALD)技术生长高 K 顶栅，制备出的顶栅结构的 n-型 CNTFET 的性能首次超过了硅基 NMOS（如图 1 所示），在国际上率先取得这方面的突破。相关成果发表在 Appl. Phys. Lett., 92(2008)133117。

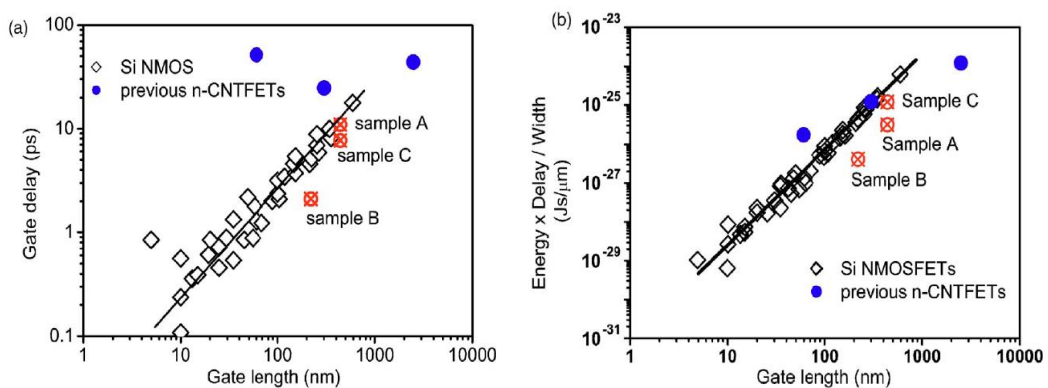


图 1 我们制备出的 n-型 CNTFET 与硅基 NMOS 的比较，显示我们制备的器件性能超过了硅基器件。

2. 发展了自对准加工技术，将 n-CNTFET 性能推进到接近理论极限

发展了一种自对准加工技术(如图2),制备出的 n-CNTFET 器件性能接近理论极限,并且与已经报道的性能最好的 p-CNTFET 相当(表1)。同时还实现了利用不同功函数的金属电极来调节器件的工作点,这有可能使得 p-型和 n-型器件的工作点更加匹配,从而有利于设计更复杂的电路。相关成果发表在 Nano Letters, 8(2008)3696。

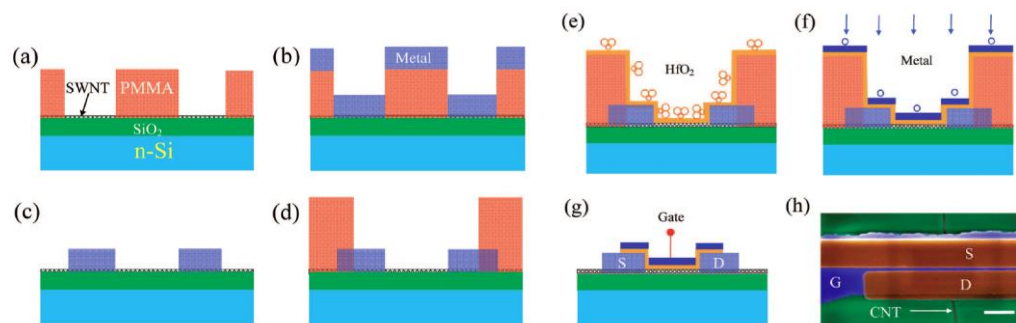


图2 自对制备工艺制备 n-型 CNTFET 的示意

表1 自对准工艺制备的 n-型 CNTFET 与已报道的最好的 p-型 CNTFET 的性能比较

	D nm	L nm	I_{sat} μA	g_m μS	S mV/dec	G_{on} $4e^2/h$	ON/OFF (V_{ds})	τ/L ps/ μm
p-type I	1.8	600	18	12.5	140	<0.1	$10^5(0.3V)$	19
p-type II	1.7	50	25	30	110	0.5	$10^3(0.3V)$	28
n-type (this work)	1.5	120	25	25	100	0.32	$>10^4(0.3V) >10^3(1.0V)$	7.2

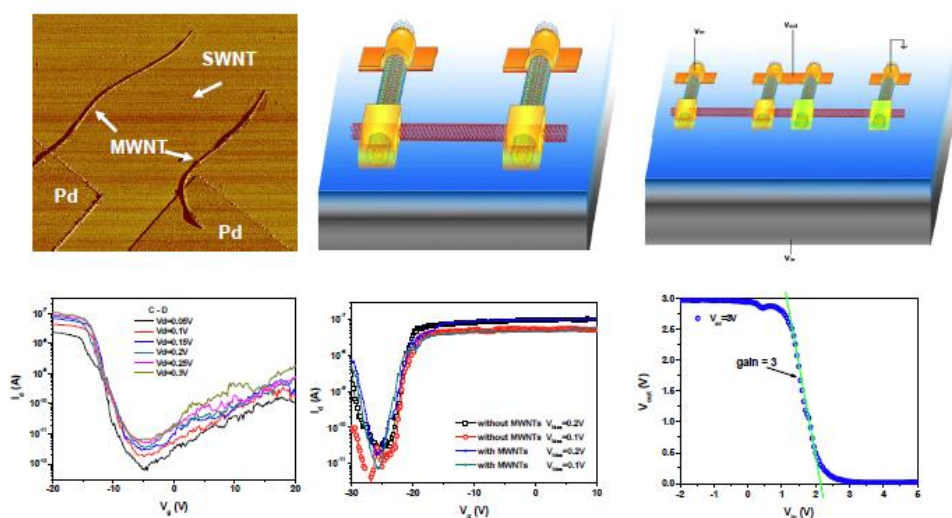


图3 全碳纳米管晶体管的制备及其相应的转移特性曲线。

3. 全碳纳米管电路

碳纳米管根据手性不同，可以分为金属型和半导体型两种。金属型单壁碳纳米管（或者多壁碳纳米管）可以做互连线，半导体型碳纳米管可以做晶体管的沟道，原则上可以制备出全碳纳米管的电路，但在我们的工作之前仍没有这方面的报道。我们率先开展了全碳纳米管电路的研究，成功制备出了以多壁碳纳米管为互连线的 n-型和 p-型单壁碳纳米管晶体管，并再一根单壁碳纳米管上制备出了全碳纳米管的互补反相器（如图 3），为全碳纳米管集成电路的研究打下了基础。相关成果已经被 Adv. Mater. 接收发表。

4. 基于无掺杂碳纳米管 CMOS 的新型多功能器件单元

我们提出在一根碳纳米管上并排蒸镀两个 Pd 电极和两个 Sc 电极可形成无掺杂碳纳米管 CMOS，其中两个 Pd 电极间构成 p-CNTFET，两个 Sc 电极间构成 n-CNTFET。在此基础上，我们发现位于中间的一段碳纳米管（即一端连 Pd 电极，一端连 Sc 电极的一段）有多种优越的功能，可以作为无肖特基势垒的双极型二极管（BFBD）和双极型场效应晶体管。再考虑到这个单元中还包含一个无肖特基势垒的 p-CNTFET 和一个无肖特基势垒的 n-CNTFET，以及一个 CMOS 反相器，即一个简单的结构单元可以表现出多种优越的性能（如图 4），这对未来碳纳米管集成电路的设计提供了更多的选择。相关成果发表在 Adv. Mater., 20(2008)3258。

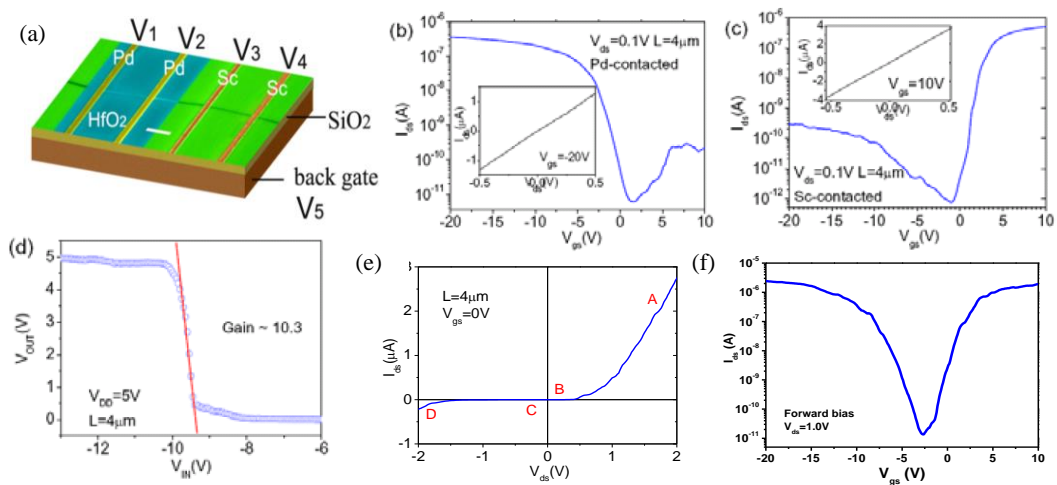


图 4 基于碳纳米管无掺杂 CMOS 的多功能器件单元。(a)器件 SEM 图。(b)两个 Pd 电极之间为 p-CNTFET。(c)两个 Sc 电极之间为 n-CNTFET。(d)CMOS 反相器的性能。(e)位于 Pd 与 Sc 之间的一段碳纳米管既是二极管(e)又是双极型晶体管(f)。

(二) 碳纳米管的可控制备、修饰和复合的研究

1. 碳纳米管的可控制备

在这个方面本年度主要有两点进展：(1) 首次发现 IVA 族金属 Pb 可以作为单壁碳纳米管生长的催化剂。设计了小流量、快速升温和高分子辅助等三种方法来控制 Pb 在碳纳米管生长过程中的过度挥发，获得了高质量的单壁碳纳米管超长平行阵列。利用 Pb 的挥发性，可控制生长条件，使反应结束时直接获得无催化剂残留的碳纳米管。这种无金属杂质的样品特别适合于研究碳纳米管的本质性质，尤其是磁学性质，对研究生物学效应和构筑高性能碳纳米管器件也非常重要。(2) 构筑基于碳纳米管的器件并将它们连接起来形成大规模集成电路时需要各种非直线型的碳纳米管。我们在 CVD 系统中设计引入障碍物来调节气流方向和状态，获得了各种非直线型的超长平行单壁碳纳米管阵列。通过对照流体力学模拟的结果发现碳纳米管完全复制了流线的形状。用这种方法不仅可以可控地制备出各种非直线型碳纳米管，同时也可以通过观察碳纳米管的形状而获得体系中流线的状态，也就是说可以将碳纳米管作为在介观尺度记录流线实际状态的工具。相关成果发表在 *Nano Research* 1 (2008) 213 和 *Chem. Mater.*, 2008, ASAP 等杂志上。

2. 碳纳米管的修饰和分散

碳纳米管的分散问题是制约其应用研究的重要因素。室温离子液体是单壁碳纳米管的最有效的分散介质之一。人们一般认为离子液体中带的正电荷的咪唑环与碳纳米管 π 电子云之间的强烈的正离子- π 相互作用是使碳纳米管稳定分散于离子液体介质中的原因。我们通过大量的红外、拉曼等光谱学数据及分子动力学模拟发现，在该体系中不存在任何强相互作用，碳纳米管与离子液体间只存在弱的范德华作用。建立了“ π - π 作用屏蔽”模型解释了碳纳米管的分散机制。既单壁碳纳米管从管束中游离出来是因为研磨所产生的剪切力，离子液体具有特别大的介电常数，能够屏蔽单壁碳纳米管间的 π - π 相互作用，因此使得碳纳米管能够稳定地分散。这一结果表明离子液体是研究碳纳米管的性质和应用的优良溶剂。相关成果发表在 *ACS Nano*, 2(12) 2008 2540.

3. 具有奇异特性的碳纳米管复合薄膜的制备

我们采用原位聚合的方法制备出了碳纳米管阵列与聚丙烯酰胺水凝胶的复合薄膜（如图 5）。这两种性质迥异的材料复合以后表现出了奇异的性质：依赖于水凝胶的特性，这种薄膜具有良好的亲水性，能够快速吸收液体水；同时碳纳米管的疏水性质以及其在复合材料中保持良好的阵列微观结构，使其具有很高的饱和水蒸气压，因此该复合薄膜又能迅速将吸收的水分以水蒸气形式释放出去。利用这种特性，有望将此复合材料用于医用绷带或海水淡化等过程，利用环境中的热量作为能源将复合薄膜吸收的液体水变成水蒸汽。此外，该复合物薄膜还具有温度和湿度敏感性，可用于制备温度和湿度传感器。相关成果发表在 *Adv. Mater.* 20 (2008) 2201，后被 Nature Asia-Pacific 网站长文介绍。

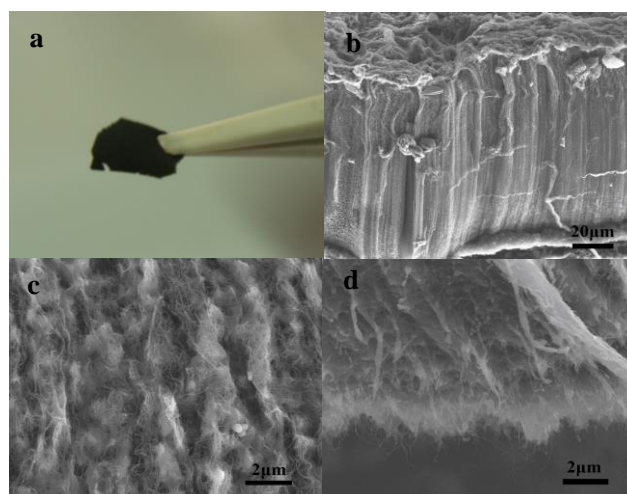


图 5 碳纳米管与聚丙烯酰胺水凝胶复合薄膜的光学和扫描电镜照片

（三）单壁碳纳米管结构的形变调控与共振增强拉曼光谱研究

共振拉曼光谱是表征单壁碳纳米管的有力工具，也是单壁碳纳米管研究的一个重要方面。我们在单壁碳纳米管结构的形变调控与共振增强拉曼光谱研究方面取得系列进展。

1. 金属性单壁碳纳米管中电子声子耦合对拉曼活性模的影响。

金属性和半导体性单壁碳纳米管由于费米能级处电子态的有无，从而造成了只有金属性单壁碳纳米管中存在电子声子耦合作用。我们研究了金属性单壁碳纳

米管中电子声子耦合对拉曼活性模的影响。发现：(a) 电子声子耦合使得金属性单壁碳纳米管的 RBM 软化，频率向低频发生红移，软化程度与单壁碳纳米管的手性相关；(b) 电子声子耦合对金属性单壁碳纳米管的 G 峰具有选择性影响，纵向声子模出现软化，频率向低频发生明显红移，横向声子模却没有受到电子声子耦合的影响（图 6）；(c) 电子声子耦合使得金属性单壁碳纳米管的 D 峰硬化，频率向高频发生蓝移，半高峰宽窄化。相关成果发表在 *J. Phys. Chem. C*, 112 (2008) 8319。

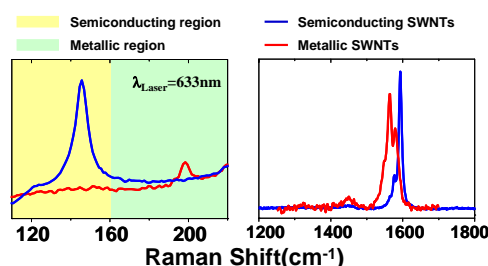


图 6 半导体性和金属性单壁碳纳米管的 RBM（左）和 G 峰（右）谱图

2. 扭转形变下单壁碳纳米管的共振拉曼光谱

通过 AFM 操纵，在超长单壁碳纳米管中离操纵点 $10\ \mu\text{m}$ 左右的范围内引入了扭转形变。研究发现扭转形变使得单壁碳纳米管的 RBM 频率向高频发生移动；对 G 峰的影响取决于各个拉曼活性模的对称性： E_{2g+} 模向低频发生显著的移动（可以达到 $91\ \text{cm}^{-1}$ ）， A_{1g+} 模， A_{1g-} 模， E_{1g+} 模， E_{1g-} 模和 E_{2g-} 模向高频发生较小的移动（一般只有几个波数）；对每根 SWNT 来说， A_{1g+} 模， A_{1g-} 模和 E_{1g+} 模的蓝移最大值相近， E_{1g-} 模的蓝移最大值约为 A_{1g+} 模， A_{1g-} 模和 E_{1g+} 模蓝移最大值的 3~4 倍。这说明扭转形变对单壁碳纳米管的 G 峰不同拉曼活性模的影响与其对称性密切相关。相关成果发表在 *J. Phys. Chem. C.*, 112 (2008) 10789。

3. 单壁碳纳米管的共振拉曼光谱与轴向形变的定量关系

发展了一种可在单壁碳纳米管中引入轴向形变并定量表征单壁碳纳米管的形变率和获取拉曼光谱的方法。研究发现，轴向形变下，RBM 的频率保持不变；G 峰向低频发生红移，且与手性密切相关。一方面，G 峰频率的变化率随着直径的增大而增大，随着螺旋角度的增大而减小（图 7）；另一方面， G^+ 和 G^- 频率的

变化率也存在不同，这是由于碳原子排布与单壁碳纳米管轴向的夹角不同造成的。相关结果已被 J. Phys. Chem. C 接收。

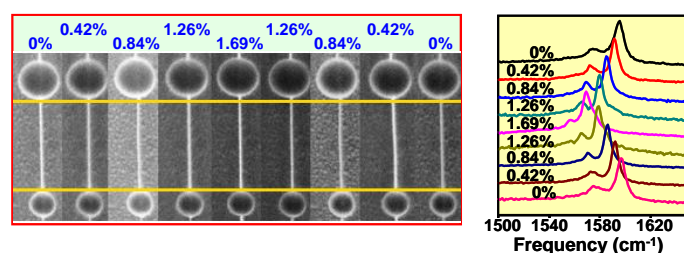


图 7 轴向形变先增大后减小时，单壁碳纳米管的 SEM 图（左）和 G 峰谱图（右）

（四） 纳米材料的原位表征、加工和性能研究

2008 年度进一步发展了原位加工方法，实现了碳纳米管针尖的原子尺度精度的加工；在碳纳米管力学特性研究方面取得了突破；解决了原位测量中非晶碳污染的问题，从而保证了原位测量的可靠性和可重复性；还发展了原有的原位表征和测量系统，增加了测量纳米材料的光学特性和光电特性的功能。

1. 控制碳纳米管的尖端结构的原位场发射技术和原位场蒸发技术

碳纳米管尖端的结构是影响场发射性能的关键因素之一。我们发展了一种透射电镜中的原位加工方法，通过场发射引起的蒸发和结构变化高度可控地加工碳纳米管针尖，并成功地制备了形状可控的锥形碳纳米管闭口针尖，进而系统研究了各种形状针尖的场发射性能(如图 8)。相关成果发表在 Small, 4(11)(2008) 1907.

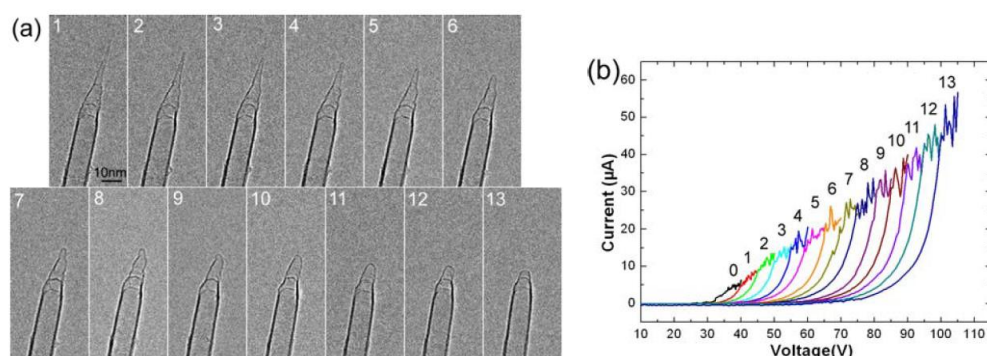


图 8 不同形状碳纳米管针尖及其场发射性能

与场发射不同，场蒸发是正离子在电场作用下脱离材料，蒸发源上是加正电压。传统上，场蒸发被用于研究材料的成分和结构。我们利用透射电镜中的纳米

操纵系统在碳纳米管上加正电压使其在电场作用下蒸发,同时用透射电镜观测碳纳米管的结构变化,发展出一种可在原子尺度控制碳纳米管尖端结构的原位加工方法(如图9)。相关成果发表在 *Adv. Mater.* 20 (2008) 724, 被作为 very important or very urgent 工作提前网上发表, 并被 Nano Werk 重点介绍。

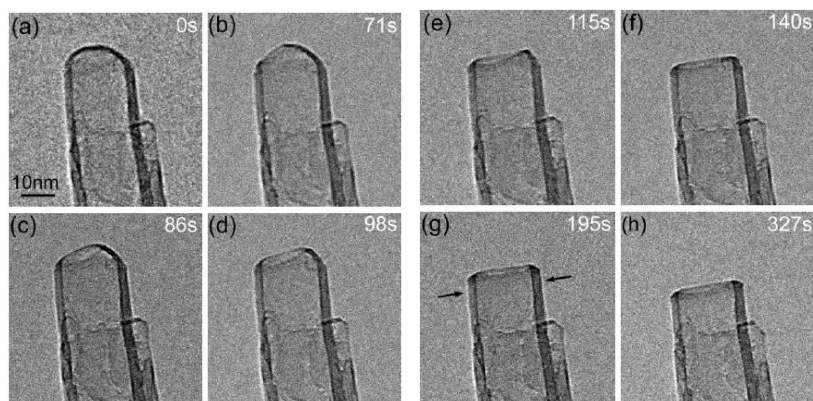


图9 利用场蒸发加工碳纳米管针尖的过程

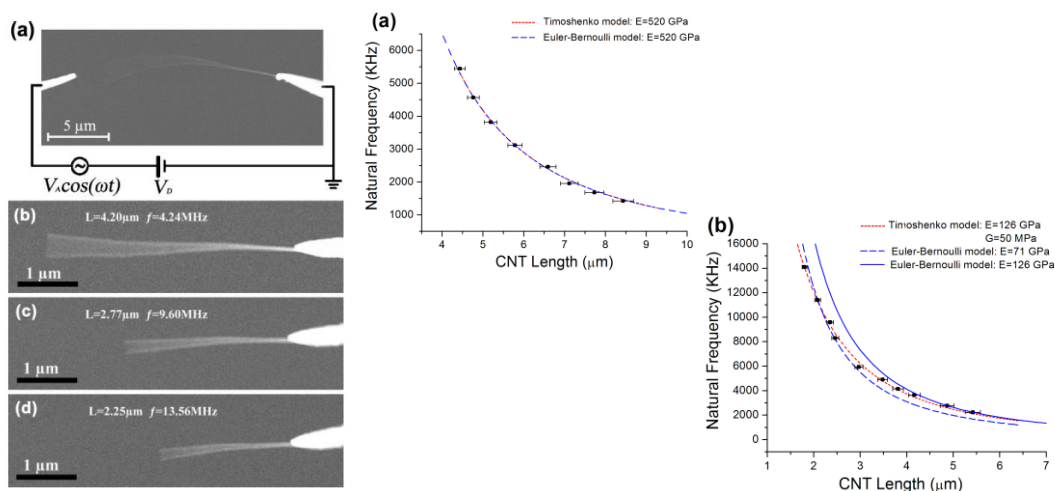


图10 原位测量同一根碳纳米管的谐振频率随长度的变化及经典梁模型与实验结果的比较。

2. 同时测量碳纳米管的切变模量和杨氏模量

利用我们前期发展的“纳米刀”技术(*Nanotechnology* 18 (2007) 185503)结合电激发谐振方法在扫描电镜中原位测量了同一根多壁碳纳米管的谐振频率 f 与其长度 L 的关系。研究发现当碳纳米管的长径比较大时 $f-L$ 关系可用被大家广泛使用的欧拉梁模型拟合; 但当碳纳米管只有几微米长、长径比小于大约100微米时, 忽略了切变和转动的欧拉梁模型不再适用, 而应该用没有简化的 Timoshenko 梁模型(如图10)。Timoshenko 梁模型与实验结果的很好符合表明经典力学模型仍然

适用于分析碳纳米管的力学特性。用 Timoshenko 梁模型拟合实验结果首次同时得到了碳纳米管的切变模量和杨氏模量,发现了碳纳米管的强烈各向异性。相关成果发表在 *Adv. Func. Mater.* 18 (2008) 1555。

3. 控制和避免电子束诱发碳沉积的方法

在电镜中的原位加工和测量实验中,被研究的样品需长时间暴露在电子束照射下,电子束诱发的碳沉积会对样品产生影响,从而影响测量的可靠性。我们发展了通过焦耳热控制和避免上述碳沉积污染的方法,为实行可靠和可重复的原位测量奠定了基础。相关成果发表在 *Nanotechnology* 19 (2008) 355304。

4. 原位的光学和光电测量系统和方法

已有的原位表征系统无法研究纳米材料的光学性质。我们将光纤引入扫描电镜中并与纳米操纵器结合,可将激光引入到特定纳米材料或纳米器件上,并将纳米结构所发出的光引出进行分析。我们进一步结合原位的纳米操纵和纳米电学测量装置和技术,发展出对纳米材料和纳米器件进行原位的光学和光电性能研究的系统和方法。相关成果已申请国家发明专利(专利申请号 200810106087.5),论文还在审稿中。

四、主要研究成果目录

(一) 2008年SCI论文目录

1. Z.Y. Zhang, S. Wang, L. Ding, X.L. Liang, T. Pei, J. Shen, H.L. Xu, Q. Chen, R.L. Cui, Y. Li and L.-M. Peng, "Self-aligned ballistic n-type single walled carbon nanotube field-effect transistors with adjustable threshold voltage", **Nano Letters** 8(11) (2008) 3696
2. W.T. Sun, Y. Yu, H.Y. Pan, X.F. Gao and L.-M. Peng, "CdS quantum dots sensitized TiO₂ nanotube-array photoelectrodes", **J. Am. Chem. Soc.** 130 (2008) 1124
3. C.H. Jin, H.P. Lan, K. Suenaga, L.-M. Peng and S. Iijima, "Metal atom catalyzed enlargement of fullerenes", **Phys. Rev. Lett.** 101 (2008) 176102
4. Q.S. Zheng, B. Jiang, S.P. Liu, Y.X. Weng, L. Lu, Q.K. Xue, J. Zhu, Q. Jiang, S. Wang and L.-M. Peng, "Self-retracting motion of graphite microflakes", **Phys. Rev. Lett.** 100 (2008) 067205
5. M.S. Wang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Grinding a Nanotube", **Adv. Mater.** 20 (2008) 724 (highlighted in NanoWerk: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=4853.php>)
6. S. Wang, Z.Y. Zhang, L. Ding, X.L. Liang, J. Shen, H.L. Xu, Q. Chen, R.L. Cui, Y. Li and L.-M. Peng, "A doping-free carbon nanotube CMOS inverter based bipolar diode and ambipolar transistor", **Adv. Mater.** 20 (2008) 3258
7. Z. Yang, Z. Cao, H. Sun and Y. Li., "Composite Films Based on Aligned Carbon Nanotube Arrays and Poly(N-Isopropyl Acrylamide) Hydrogel", **Adv. Mater.** 20 (2008) 2201
8. X.L. Liang, S. Wang, X.L. Wei, Y.Z. Zhu, Z.Y. Zhang, Q. Chen, Y. Li, J. Zhang and L.-M. Peng, "Toward whole CNT circuit: the fabrication and performance of SWCNT field-effect transistors with local MWCNT interconnects", **Adv. Mater.**, in press
9. X.L. Wei, Y. Liu, Q. Chen, M.S. Wang and L.-M. Peng, "The very low shear modulus of multi-walled carbon nanotubes determined simultaneously with axial Young's modulus via in-situ experiments", **Adv. Func. Mater.** 18 (2008) 1555
10. T. Zhang, S. Zhang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Hydrothermal reaction mechanism and pathway for the formation of K₂Ti₆O₁₃ nanowires", **Adv. Func. Mater.** 18 (2008) 3018
11. M.S. Wang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Field emission characteristics of individual carbon nanotubes with a conical tip: the validity of the F-N theory and maximum emission current", **Small** 4(11) (2008) 1907
12. W.T. Sun, S.Y. Zhou, P. Chen and L.-M. Peng, "Reversible switching on superhydrophobic TiO₂ nano-strawberry films fabricated at low temperature", **Chem. Comm.** 5 (2008) 603
13. J. Wang, H. Chu and Y. Li, "Why Single Walled Carbon Nanotubes Can Be Dispersed in Imidazolium-Based Ionic Liquids", **ACS Nano** 2 (12) (2008) 2540
14. Y.Y. Zhang, Y. Zhang, X.J. Xian, J. Zhang and Z. F. Liu, "Sorting out Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotube Arrays by Preferential Destruction of Metallic Tubes Using Xenon-Lamp Irradiation", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 3849
15. M. Zumer, V. Nemanic, B. Zajec, M.S. Wang, J.Y. Wang, Y. Liu and L.-M. Peng, "The field-emission and current-voltage characteristics of individual W5O₁₄ nanowires", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 5250
16. B. Gao, Y.Y. Zhang, J. Zhang, J. Kong and Z. F. Liu, "Systematic Comparison of the Raman Spectra of Metallic and Semiconducting SWNTs", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 8319

17. D.P. Wei, Y. Ma, H.Y. Pan and Q. Chen, "A versatile CVD method to synthesize one-dimensional silica-sheathed nanostructures", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 8594
18. K. Yao, W.W. Gong, Y.F. Hu, X.L. Liang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Individual Bi₂S₃ nanowire based room temperature H₂ sensor", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 8721
19. B. Gao, X.J. Duan, J. Zhang, G. Wu, J.M. Dong and Z. F. Liu, "G-band Variation of Individual Single-Walled Carbon Nanotubes under Torsional Strain", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 10789
20. H. Chu, Z. Jin, Y. Zhang, W. Zhou, L. Ding and Y. Li, "Site-Specific Deposition of Gold Nanoparticles on SWNTs", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 13437
21. Y.F. Hu, Y. Liu, H.L. Xu, X.L. Liang, L.-M. Peng, N. Lam, K. Wong and Q. Li, "Quantitative study on the effect of surface treatments on the electric characteristics of ZnO nanowires", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 14225
22. W. Zhang, Z.H. Xi, G.M. Zhang, C.Y. Li and D.Z. Guo, "Multiple Telescoping Extension of Multiwalled Carbon Nanotubes and Its Application in Atomic Force Microscopy", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 14714
23. D.P. Wei and Q. Chen, "Metal-Catalyzed CVD Method to Synthesize Silicon Nanobelts", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 15129
24. A.N. Jiang, S. Gao, X.L. Wei, X.L. Liang and Q. Chen, "Amplitude Response of Multi-walled Carbon Nanotube Probe with Controlled Length during Tapping Mode Atomic Force Microscope", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 15631
25. H. Chu, L. Ding, J. Wang, X. Li, L. You and Y. Li, "In Situ Epitaxial Growth of Triangular CdS Nano-Plates on Mica by Dip-pen Nanolithography", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 18938
26. B. Gao, L. Jiang, X. Ling, J. Zhang and Z. F. Liu, "Chirality-Dependent Raman Frequency Variation of Single-Walled", **J. Phys. Chem. C** 112 (2008) 20123
27. M.S. Wang, I. Kaplan-Ashiri, X.L. Wei, R. Rosentsveig, H.D. Wagner, R. Tenne and L.-M. Peng, "In Situ TEM Measurements of the Mechanical Properties and Behavior of WS₂ Nanotubes", **Nano Research** 1 (2008) 22
28. H. Chu, X. Li, G. Chen, Z. Jin, Y. Zhang and Y. Li, "Inorganic hierarchical nanostructures induced by concentration difference and gradient", **Nano Research** 1 (2008) 213
29. Y. Wu, Z.H. Xi, G.M. Zhang, J.L. Zhang and D.Z. Guo, "Fabrication of Hierarchical Zinc Oxide Nanostructures through Multistage Gas-Phase Reaction", **Crystal Growth & Design** 8(8) (2008) 2646
30. Y. Liu, S. Wang, Z.Y. Zhang, L.-M. Peng, L. Shi and Q. Li, "Measuring the electrical characteristics of individual junctions in the SnO₂ capped ZnO nanowire arrays on Zn substrate", **Appl. Phys. Lett.** 92 (2008) 033102
31. Z. Chen, L.M. Tong, Z.Y. Wu and Z.F. Liu, "Fabrication of Electromechanical Switch using Interconnected Single-Walled Carbon Nanotubes", **Appl. Phys. Lett.** 92 (2008) 103116
32. M. Gao, W.L. Li, Y. Liu, Q. Li, Q. Chen and L.-M. Peng, "Microphotoluminescence study of individual suspended ZnO nanowires", **Appl. Phys. Lett.** 92 (2008) 113112
33. Z.Y. Zhang, S. Wang, L. Ding, X.L. Liang, H.L. Xu, J. Shen, Q. Chen, R.L. Cui, Y. Li and L.-M. Peng, "High-performance n-type carbon nanotube field-effect transistors with estimated sub 10ps gate delay", **Appl. Phys. Lett.** 92 (2008) 133117
34. J.Y. Zhang, P.J. Li, H. Sun, X. Shen, T.S. Deng, K.T. Zhu, Q.F. Zhang and J.L. Wu:

- “Ultraviolet electroluminescence from controlled arsenic-doped ZnO anowire homojunctions”, **Appl. Phys. Lett.** 93 (2008) 021116
35. W.L. Li, M. Gao, R. Cheng, X.X. Zhang, S.S. Xie and L.-M. Peng, “Angular dependent luminescence of individual suspended ZnO nanorods”, **Appl. Phys. Lett.** 93 (2008) 023117
 36. Y. Zhang, W. Zhou, Z. Jin, L. Ding, Z. Zhang, X. Liang and Y. Li, “Direct Growth of Single Walled Carbon Nanotubes without Metallic Residues by Using Lead as Catalyst”, **Chem. Mater.** (2008), ASAP.
 37. Z. Qian, R. Li, X.Y. Zhao, S.M. Hou and S. Sanvito, “Conceptual molecular quantum phase transistor based on first- principles quantum transport calculations”, **Phys. Rev. B** 78 (2008) 113301
 38. X.X. Zhang, D.F. Liu, L.H. Zhang, W.L. Li, M. Gao, W.J. Ma, Y. Ren, Q.S. Zeng, Z.Q. Niu, W.Y. Zhou and S. S. Xie, "Synthesis of large-scale periodic ZnO nanorod arrays and its blue-shift of UV luminescence", **J. Mater. Chem.**, in press
 39. W.J. Zhang, J.Y. Zhang, P.J. Li, X. Shen, Q.F. Zhang and J.L. Wu: “The effects of contacts and ambipolar electrical transport in nitrogen doped multiwall carbon nanotubes”, **Nanotechnology** 19 (2008) 085202
 40. X.H. Liu, J. Zhu, C.H. Jin, L.-M. Peng, D.M. Tang and H.M. Cheng, “In-situ electrical measurements of polytypic silver nanowires”, **Nanotechnology** 19 (2008) 085711
 41. J. Xiao, X.X. Zhang and G.M. Zhang, “Field emission from zinc oxide nanotowers: the role of the top morphology”, **Nanotechnology** 19 (2008) 295706
 42. X.L. Wei, Y. Liu, Q. Chen and L.-M. Peng, “Controlling electron-beam-induced carbon deposition on carbon nanotubes by Joule heating”, **Nanotechnology** 19 (2008) 355304
 43. J. Xiao, Y. Wu, X. Bai, W. Zhang and L.G. Yu, “Controlled growth of ZnO pyramid arrays with nanorods and their field emission properties”, **J. Phys. D: Appl. Phys.** 41(2008)135409
 44. S.M. Hou, Y.Q. Chen, X. Shen, R. Li, J. Ning, Z. Qian and S. Sanvito, “High transmission in ruthenium-benzene-ruthenium molecular junctions”, **Chem. Phys.** 354(2008)107
 45. L.G. Yu, G.M. Zhang, Y. Wu, X. Bai and D.Z. Guo, “Cupric oxide nanoflowers synthesized with a simple solution route and their field emission”, **J. Crystal Growth** 310(2008) 3125
 46. Y. Wu, Z.H. Xi, J.L. Zhang and Q. Zhang, “Two types of ZnO-tubular nanostructures fabricated by stepped gas-phase reaction”, **Mater. Chem. Phys.** 110(2008) 445
 47. J. Xiao, Y. Wu, W. Zhang, X. Bai, L.G. Yu, S.Q. Li and G.M. Zhang, “Enhanced field emission from ZnO nanopencils by using pyramidal Si(1 0 0) substrates”, **Appl. Surf. Sci.** 254(2008)5426
 48. C. Li, N. Sun, J. Ni, J. Wang, H. Chu, H. Zhou, M. Li and Y. Li, “Controllable preparation and properties of composite materials based on ceria nanoparticles and carbon nanotubes”, **J. Solid State Chemistry** 181 (2008) 2620
 49. H. Sun, Q.F. Zhang, J.Y. Zhang, T.S. Deng and J.L. Wu: “Electroluminescence from ZnO nanowires with a p-ZnO film/n-ZnO nanowire homojunction”, **Appl. Phys. B: Lasers and Optics** 90(3-4) (2008) 543
 50. Z. Qian, S.M. Hou, R. Li, Z.Y. Shen, X.Y. Zhao and Z.Q. Xue, “A fast matrix inverse algorithm for the NEGF plus DFT approach with localized basis functions”, **J. Computational and Theoretical Nanoscience** 5 (4) (2008) 671
 51. J. Xiao, G.M. Zhang, X. Bai, Y. Wu, W. Zhang, X.Y. Zhao and D.Z. Guo, “Field emission from zinc oxide nanowire arrays grown directly from brass”, **Physica E** 41(2008)309

52. Y. Liu, Z.Y. Zhang, Y.F. Hu, C.H. Jin and L.-M. Peng, “Quantitative fitting of nonlinear current-voltage curves and parameter retrieval of semiconducting nanowire, nanotube and nanoribbon devices”, **J. Nanoscience and Nanotechnology** 8 (2008) 252 (invited paper)
53. C. Li, Z. Jin, H. Chu, Y. Li, “Seed-Mediated Growth of ZnO Nanorods on Multiwalled Carbon Nanotubes”, **J. Nanoscience and Nanotechnology** 8 (2008) 4441
54. Y. Zhang, D.Z. Guo, J. Mallet, M. Molinari, A. Loualiche, M. Troyon, “Electrodeposition and characterization of CdSe semiconducting nanowires”, **J. Nanoscience and Nanotechnology** 8 (2008) 2022
55. X.L. Wei, A.N. Jiang, S. Gao and Q. Chen, “Length Control and Sharpening of Carbon Nanotube Scanning Probe Microscope Tips Using Carbon Nanotube “Nanoknife””, **J. Nanoscience and Nanotechnology**, in press.
56. J. Xiao, W. Zhang, Y. Wu and H. Sun, “Controlled growth of ZnO torch-like nanostructure arrays”, **Cryst. Res. Technol.** 43(6) (2008) 634
57. J. Xiao, G.M. Zhang, X. Bai, L.G. Yu, X.Y. Zhao and D.Z. Guo, “Field emission from zinc oxide nanostructures and its degradation”, **Vacuum** 83(2009)265
58. J.L. Zhang, Z.H. Xi, Y. Wu and G.M. Zhang, “Growth of micron-sized tubes of tungsten oxide”, **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects** 313–314 (2008) 670
59. 彭练矛, 梁学磊, 陈清, 张志勇, 王胜, “后摩尔时代的基于一维纳米材料的CMOS技术”, **中国科学** 38(11) (2008)1488
60. 张永毅, 张依, 张锦, 刘忠范, “蓝宝石基底上高密度定向单壁碳纳米管阵列的控制生长”, **中国科学 G辑** 38 (2008) 1496
61. Z. Yu, X. Li, X. Long, X.W. Cheng, J.Y. Wang, Y. Liu, M.S. Can and F.C. Wang, “Study of synthesis and magnetic properties of Mn-doped ZnO diluted magnetic semiconductors”, **物理学报** 57 (7) (2008) 4539
62. 王艳新, 张琦锋, 孙晖, 常艳玲, 吴锦雷, “ZnO纳米线二极管发光器件制备及特性研究”, **物理学报** 57(2) (2008) 1141
63. 柏鑫, 王鸣生, 刘洋, 张耿民, 张兆祥, 赵兴钰, 郭等柱, 薛增泉, “碳纳米管端口的场蒸发”, **物理学报** 57 (7) (2008)4596
64. 肖竞, 柏鑫, 张耿民, “整齐排列的氧化锌纳米针阵列的场发射性能”, **物理学报** 57 (11) (2008) 7057
65. 朱玉振, 王胜, 魏贤龙, 丁力, 张志勇, 梁学磊, 陈清, 彭练矛, “多壁碳纳米管互连的单壁碳纳米管晶体管的频率响应”, **物理化学学报** 24 (2008) 2122

(二) 邀请报告和会议组织

1. L.-M. Peng, “High performance carbon nanotube based CMOS and optoelectronics devices”, **The 2nd TUS International Collaboration Workshop: Nano Materials Science**, Tokyo, Tokyo University of Science, December 10-11, 2008 (Invited talk)
2. L.-M. Peng, “Quantitative convergent beam diffraction and inversion”, **Advanced Microscopies: Opportunities and Challenges in Nanomaterial and Surface Research**, **Croucher Advanced Study Institute**, Hong Kong, December 8-13, 2008 (Invited lecture)
3. L.-M. Peng, “Characterizing individual nanostructures: the structure and electrical, mechanical, and optical properties”, **The 9th Asia-Pacific Microscopy Conference**

- (APMC9), Jeju, Korea, November 2-7, 2008 (**Plenary lectures**)
4. L.-M. Peng, “In-situ TEM and dynamic TEM”, **European Microscopy Congress 2008**, Aachen, Germany, September 1-5, 2008 (Invited talk , Session Chair)
 5. L.-M. Peng, Y. Liu, S. Wang, Z.Y. Zhang and Q. Li “Measuring and quantitatively analyzing the electrical characteristics of individual semiconducting nanowires in a nanowire array”, **Microscopy and Microanalysis 2008**, Albuquerque, USA, August 4-7, 2008 (invited lecture)
 6. L.-M. Peng, “Development of ballistic n-type CNT based FETs and its implication for CMOS technology”, **The 8th Annual International Centre for Quantum Structures Workshop on Carbon Nanostructures**, Beijing, China, June 9-16, 2008 (Invited talk)
 7. L.-M. Peng, “Developments of carbon nanotube based doping free CMOS and optoelectronic devices”, **The 5th Korea-China Workshop on Nanotubes and Nanowires**, Sokcho, Korea, May 25-29, 2008 (Invited talk)
 8. L.-M. Peng, “Carbon nanotube materials: in-situ manipulation and potential for electronic devices”, **3rd China-Europe Advanced Materials Symposium**, Chongqing, China, April 15-17, 2008 (Invited talk)
 9. L.-M. Peng “Carbon Nanotube Based Doping Free Ballistic CMOS Technology” , **International CNT Conference in Nagoya University**, Japan, February 14-15, 2008 (Invited lecture)
 10. J. Zhang, “Controlled CVD Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes on Surface” **The 2008 Asia Conference on Nanoscience and Nanotechnology**, Biopolis, Singapore, November 3-6, 2008. (invited talk)
 11. J. Zhang, “Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes on Surface”, **5th Korea-China Workshop on Nanotubes and Nanowires**, Sokcho, Korea, May 25-29, 2008 (invited talk)
 12. J. Zhang, “Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes on Surface”, **China-UK Workshop in Solid State Quantum Computing, Quantum Spintronics**, University of Oxford, Oxford, UK, April 6-9, 2008 (invited talk)
 13. Q. Chen, “In-situ measuring and modifying carbon nanotubes and nanowires using nanomanipulators inside SEM and TEM”, **Advanced Microscopies: Opportunities and Challenges in Nanomaterial and Surface Research**, Croucher Advanced Study Institute, Hong Kong, December 8-13, 2008. (Invited lecture)
 14. Q. Chen, “In-situ characterizing carbon nanotubes with outstanding mechanical properties”, **2nd Integration & Commercialization of Micro & Nanosystems International Conference & Exhibition**, Hong Kong, China, June 3-5, 2008. (Invited talk. Session chair, program committee).
 15. Q. Chen, “In-situ characterization and manipulation of individual carbon nanotube inside SEM”, **Workshop on In situ EM in Advanced Materials Research**, Beijing, May 31-June 2, 2008. (Invited talk).
 16. M. Gao, “Incorporating optical techniques in electron microscopy”, **The 64th Annual Meeting of the Japanese Society of Microscopy**, May 21-23, 2008 (Invited talk. Session chair)
 17. Y. Li, “Growth of Ultralong Single-Walled Carbon Nanotubes on Substrates”, **Foundations of Nanoscience 2008**, Snowbird, USA, April 22-25, 2008 (invited talk)
 18. 叶安培, “多功能光镊系统的研制与单细胞/单分子研究”, **首届全国光镊技术及应用学术**

- 交流会, 合肥, 2008 年 11 月 16-18 日(邀请报告)
19. 彭练矛, 中国物理学会 2008 年秋季学术会议, 济南, 2008 年 9 月 19-21 日.(分会主席)
 20. 彭练矛, “一维纳米材料的结构、生长和物性”, 2008 年中国电子显微学会议, 银川, 2008 年 7 月 1-5 日 (全体大会报告) (学术委员会主席)
 21. 李彦, “碳纳米管的可控生长、修饰及性质”, 第二届中国科学院应用化学学术研讨会, 长春, 2008 年 9 月 23-26 日 (邀请报告)
 22. 李彦, “单壁碳纳米管的表面生长”, 中国化学会第 26 届年会, 天津, 2008 年 7 月 13-16 日 (邀请报告)
 23. 李彦, “基于 AFM 刻蚀技术的无机纳米结构制备和组装”, 中国化学会第 26 届年会, 天津, 2008 年 7 月 13-16 日 (邀请报告)
 24. 张锦, “Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes on Surface”, 2008 中国材料研讨会, 广州, 2008 年 11 月 21-23 日 (邀请报告)
 25. 高旻, “纳米光电子材料和器件的原位一体化表征技术”, 中国真空技术学会 2008 年学术年会, 昆明, 2008 年 10 月 17-19 (邀请报告)
 26. 陈清, “碳纳米管的力学特性的原位研究”, 中国物理学会 2008 年秋季学术会议, 济南, 2008 年 9 月 19-21 日 (邀请报告和分会主席)。
 27. 梁学磊, “全碳纳米电路”, 中国物理学会 2008 年秋季学术会议, 济南, 2008 年 9 月 19-21 日 (邀请报告)

(三) 会议一般报告

1. A. P. Ye, Z. Li, “Quantitative analysis of myocardium perfusion and tagging MR Imaging”, **The 13th Annual Joint Symposium of Peking University and Kyungpook National University**, Gyeong, Korea, November 5-8, 2008.
2. Q. Chen, “In situ study on the mechanical properties of individual multi-walled carbon nanotubes”, **9th Asia-Pacific Microscopy Conference**, Jeju, Korea, November 2-7, 2008.
3. M. Gao, “Combination of optical characterization and electron microscopy”, **9th Asia-Pacific Microscopy Conference**, November 2-7, 2008, Jeju, Korea
4. X. X. Zhang, G. M. Zhang, X. Bai, X. Y. Zhao, J. Xiao, Y. Wu, D. Z. Guo, “Field emission from ZnO nanowires on tungsten tips: a field-emission microscopy study”, **21th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC'08)**, Poland, July 13-17, 2008.
5. X. L. Wei, J. Shen, Q. Chen, L. M. Peng, “In situ Manipulating and measuring carbon nanotubes”, **IEEE 纳米电子学国际会议 2008 (NEC2008)**, 上海, 2008 年 3 月 24-27 日。
6. A. P. Ye, F. Yuan, C. Wen, Y. Zhang, “Single-molecule force measurement of IL-6 and IL-6 Receptor interaction on living cells”, **16th International Biophysics Conference**, Long Beach, California, February 2-6, 2008
7. 张俊艳, 邓天松, 沈昕, 朱孔涛, 张琦锋, 吴锦雷: “基于单根砷掺杂氧化锌纳米线的电学及光学特性”, 中国真空学会 2008 年学术年会, 昆明, 2008 年 10 月 17-19 日. (评为中国真空学会 2008 年学术年会学生优秀论文)
8. 邓天松, 张俊艳, 沈昕, 朱孔涛, 张琦锋, 吴锦雷, “水溶液中单步合成杂化 SiO₂ 高单分散小球及其自组装效应”, 中国真空学会 2008 年学术年会, 昆明, 2008 年 10 月 17-19 日。
9. 沈昕, 弋泽龙, 侯士敏, 吴锦雷, “金属茂(铁、钴和镍)分子及其准一维分子链的电学性

- 质研究”，中国真空学会 2008 年学术年会，昆明，2008 年 10 月 17—19 日。
10. 陈清，“扫描电镜中的原位纳米操纵、纳米加工和碳纳米管的力学特性研究”，2008 年全国电子显微学会议，银川，2008 年 7 月 1-5。

(四) 专著和译著

专著：《碳电子学》，薛增泉，将完成编辑加工，科学出版社 2009 年 1 月出版。

译著：《纳米电子学基础》，侯士敏，高旻，梁学磊，清华大学出版社，2008 年出版。

(五) 专利

2008 年度授权专利

1. 彭练矛，陈清，梁学磊，车仁超，“利用调制的复合一维纳米材料制备单电子器件的方法”，专利号：ZL 02157972.5
2. 陈清，彭练矛，“解理纳米线的方法及应用”，专利号：ZL 200410009050.2
3. 彭练矛，陈清，车仁超，“基于纳米碳管的场发射阴极及其制备方法”，专利号：ZL 200410009510.1
4. 彭练矛，王鸣生，王晶云，陈清，“提高碳纳米管阴极发射效率的方法”，专利号：ZL200410009818.6
5. 张亭，彭练矛，陈清，“利用不同频率的光信号实现逻辑器件选址的方法”，专利号：ZL200410009972.3
6. 刘忠范，谢国勇，章国明，张锦，“制备抗反射薄膜的生物模板法”，专利号：ZL 2005 1 0136315.X
7. 张锦，姚亚刚，刘冉，刘忠范，“一种异径单壁碳纳米管的制备方法”，专利号：ZL 2006 1 0113178.2
8. 薛增泉，奚中和，张耿民，张擘，王胜，吴越，王晶云，梁学磊，吴锦雷，彭练矛，赵兴钰，“碳纤维复合单根碳纳米管及其制备方法”，专利号：ZL 2005 1 0011678.0

2008 年度申请专利

1. 彭练矛 梁学磊 张志勇 王胜 陈清，“一种基于碳纳米管的光电器件、光电集成电路单元及电路”，申请号：200810105174.9
2. 彭练矛，张志勇，王胜，梁学磊，陈清，“自对准栅结构纳米场效应晶体管及其制备方法”，申请号：200810223905.x
3. 高旻，彭练矛，陈清，李成垚，丁晨，张立欢，赖嘉霖，“基于光纤和纳米操纵器的纳米材料光学表征方法及其系统”，申请号：200810106087.5
4. 张锦，姚亚刚，冯超群，刘忠范，“一种克隆生长单壁碳纳米管的方法”，申请号：200810222216.7
5. 褚海斌，王金泳，李彦，“一种碳纳米管的修饰方法和碳纳米管电子器件的制造方法”，申请号：200810106415.1。
6. 褚海斌，李彦，王金泳，封格，林亮，林子寅，“一种碳纳米管和金属纳米颗粒复合物及其

- 合成方法”，申请号：200810226843.8。
7. 刘宇, 李彦, “一种气流诱导制备碳纳米管的方法及其产品”, 申请号: 2008101144866。
 8. 许胜勇, 张萌, 彭练矛, “一种操纵带电纳米微粒的静电镊”, 申请号: 2007101795237
 9. 许胜勇, 高亦斌, 王俊逸, 王焯, 彭练矛, “一种测量准一维纳米材料赛贝克系数的方法和系统”, 申请号: 2008101192770
 10. 薛炯微, 张凯, 吴湛, 龚巍巍, 许胜勇, “一种三水合三钼酸钾纳米线的制备方法”, 申请号: 200810119770
 11. 许胜勇, 蔡明博, 孙伟强, 龚巍巍, “一种纳米传感器的原位测量装置”, 申请号: 2008101182590

五、代表性论文选编

1. Z.Y. Zhang, S. Wang, L. Ding, X.L. Liang, T. Pei, J. Shen, H.L. Xu, Q. Chen, R.L. Cui, Y. Li and L.-M. Peng, "Self-aligned ballistic n-type single walled carbon nanotube field-effect transistors with adjustable threshold voltage", *Nano Letters* 8(11) (2008) 3696
2. W.T. Sun, Y. Yu, H.Y. Pan, X.F. Gao and L.-M. Peng, "CdS quantum dots sensitized TiO₂ nanotube-array photoelectrodes", *J. Am. Chem. Soc.* 130 (2008) 1124
3. C.H. Jin, H.P. Lan, K. Suenaga, L.-M. Peng and S. Iijima, "Metal atom catalyzed enlargement of fullerenes", *Phys. Rev. Lett.* 101 (2008) 176102
4. M.S. Wang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Grinding a Nanotube", *Adv. Mater.* 20 (2008) 724
5. S. Wang, Z.Y. Zhang, L. Ding, X.L. Liang, J. Shen, H.L. Xu, Q. Chen, R.L. Cui, Y. Li and L.-M. Peng, "A doping-free carbon nanotube CMOS inverter based bipolar diode and ambipolar transistor", *Adv. Mater.* 20 (2008) 3258
6. Z. Yang, Z. Cao, H. Sun and Y. Li., "Composite Films Based on Aligned Carbon Nanotube Arrays and Poly(N-Isopropyl Acrylamide) Hydrogel", *Adv. Mater.* 20 (2008) 2201
7. X.L. Wei, Y. Liu, Q. Chen, M.S. Wang and L.-M. Peng, "The very low shear modulus of multi-walled carbon nanotubes determined simultaneously with axial Young's modulus via in-situ experiments", *Adv. Func. Mater.* 18 (2008) 1555
8. T. Zhang, S. Zhang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Hydrothermal reaction mechanism and pathway for the formation of K₂Ti₆O₁₃ nanowires", *Adv. Func. Mater.* 18 (2008) 3018
9. M.S. Wang, Q. Chen and L.-M. Peng, "Field emission characteristics of individual carbon nanotubes with a conical tip: the validity of the F-N theory and maximum emission current", *Small* 4(11) (2008) 1907
10. B. Gao, Y.Y. Zhang, J. Zhang, J. Kong and Z. F. Liu, "Systematic Comparison of the Raman Spectra of Metallic and Semiconducting SWNTs", *J. Phys. Chem. C* 112 (2008) 8319