

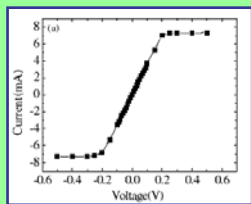
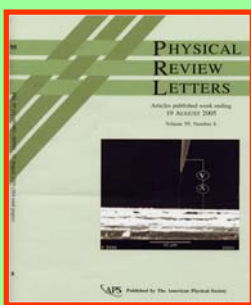
国内进展

多壁碳纳米管的多通道弹道输运特性

考虑到碳纳米管作为纳电子器件或电路的互连导线，电子在碳纳米管中的输运行为是人们研究的重点。人们观察到流经金属性单壁碳纳米管的电流饱和在20-25微安，对应的量子电导为2G₀；对多壁碳纳米管的测量发现饱和电流基本具有相同的数量级。但由于电极接触与测量方法的问题，目前对多壁碳纳米管的电流测量实际只是来自多壁管外层管壁的贡献，并没有反映出大量内层管壁的导电作用。

最近，中国科学院物理研究所微加工实验室顾长志研究员等人与表面物理国家重点实验室的吕文刚副研究员和白雪冬副研究员合作，采用自建的双探针扫描电镜原位测量系统，使测量电极与单根多壁碳纳米管的每层管壁均实现了完美接触，极大地提高了多壁碳纳米管的电流承载能力，所测得的外径为100纳米的多壁碳纳米管在室温下的饱和电流达到了7.27毫安，对应的量子电导为490G₀，且与管的长度无关。这一研究结果表明在多壁碳纳米管中实现了多通道弹道输运。

这是人们首次实现了在多壁碳纳米管中所有管壁共同参与的导电，使多壁碳纳米管的饱和电流和量子电导提高了两个数量级以上，为实现多壁碳纳米管在纳电子器件与电路方面的应用奠定了基础。该成果被选作封面文章发表在Physical Review Letters 95 (2005) 086601上。该工作得到中科院“百人计划”，国家973项目、国家纳米科学中心和物理所设备改造项目的支持。



单根多壁碳纳米管的I-V特性

物理所成功举办“微纳米加工技术讲习班”

由中国科学院物理研究所主办的“微纳米加工技术讲习班”于2005年7月18日-22日在物理所成功举行。讲习班吸引了来自全国49个中科院研究所和高校的350多名科研人员和研究生参加。其中中科院系统有物理所、化学所、半导体所、微电子所、电子所、力学所和金属所等19个研究所和中国科技大学；高校系统有北京大学、清华大学、复旦大学、中山大学、吉林大学等24所高校，以及国家纳米中心和4个部属研究所。讲习班聘请英国卢瑟福国家实验室微结构中心主任、首席科学家崔铮教授主讲，讲授关于微纳米尺度加工技术的基础知识和应用，同时物理所微加工实验室的顾长志研究员、半导体所的杨富华研究员、微电子所的刘明研究员和国家纳米中心的吴晓春研究员还就微纳米加工技术在凝聚态物理、半导体光电子和微纳电子器件、化学材料的合成等研究领域做了前沿专题讲座，并组织参观了物理所微加工实验室。

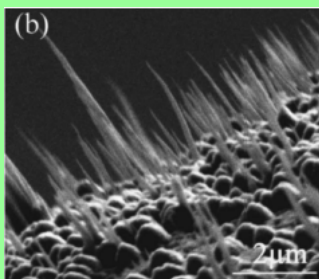
本次讲习班通过全面介绍微纳米加工技术的基础与最新发展，使学员对各种微纳米加工技术及其应用有了一个全面和系统的了解，为进一步在科研工作中应用这些技术奠定了基础，对我国微纳米科学与技术的发展和该领域人才的培养起到了积极的促进作用。这次讲习班的成功举办达到了在国内培养微加工领域人才、搭建合作交流平台的目的，得到了来自全国各地学员的广泛好评。学员听课踊跃，出席率高，会场秩序良好，学员对讲习班的课程内容和教学和组织都很满意，感觉收获很大。

本次讲习班得到中科院人教局、物理所、半导体所、微电子所和国家纳米中心的大力支持。



高长径比的碳纳米锥管的场发射特性

高长径比的锥形纳米结构可以提供较高的力学和热学稳定性，其应用范围得到进一步的拓展，因而受到人们的普遍重视，并积极探索锥形纳米材料的制备与器件应用。中科院物理所微加工实验室的李俊杰博士等人与表面物理国家重点实验室的白雪冬副研究员等人合作，采用热灯丝化学气相沉积技术，利用Pt作为催化剂，在Au衬底上生长出尖端曲率半径小于10纳米的碳纳米锥管阵列，获得了优异的场发射特性。其发射阈值仅为0.27V/um，0.6V/um时的电流密度高达1.9mA/cm²，该纳米结

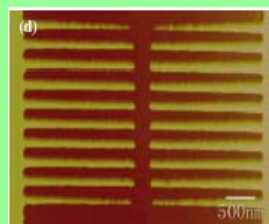


AU衬底上的碳纳米锥管阵列

构材料表现出作为场发射显示器件的巨大潜力。该成果发表在Appl. Phys. Lett. 87 (2005), 143107上。该工作得到了国家自然科学基金委、国家973计划和国家纳米科学中心的资助。

利用纳米压印光刻技术制作金属纳米结构

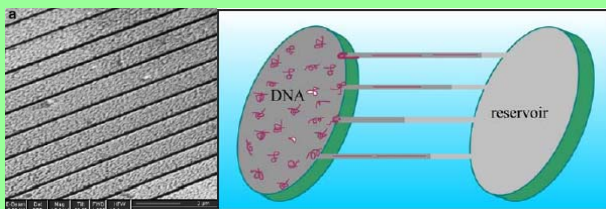
金属纳米结构在电子学、光学等领域具有非常广泛的应用。纳米压印光刻技术在制备纳米结构方面具有高分辨率、大面积和低成本的特点。最近，北京大学刘忠范教授小组的焦立颖博士等人与物理所微加工实验室合作，在二氧化硅衬底上采用电子束光刻与反应离子刻蚀技术制作出了纳米尺度的压印模板，采用该模板，结合湿法刻蚀技术，制作出多种金属纳米结构，如金栅、双金属栅和金纳电极阵列等，该项技术为制作金属纳米结构提供了一个简便有效的方法，制作的大面积纳米结构线宽可以达到100纳米以下，为制作新型纳米器件奠定了基础。该成果发表在Nanotechnology 16 (2005), 2779上。该工作得到了国家自然科学基金委、国家973计划和国家纳米科学中心的资助。



采用金属纳米压印制作的金属纳电极阵列

在纳米流体通道中操纵DNA分子

纳米流体器件可以用来操纵生物分子，因此其制造与应用技术引起人们的广泛关注。特别是单个DNA分子在输运中的行为可以借助纳米流体器件观察和分析，实现基因快速测序。而微纳米加工技术在制作纳米流体器件方面显示出巨大的潜力。中科院物理所软物质实验室王鹏业小组的王凯歌博士等人与微加工实验室合作，利用FIB技术，在自支撑的氮化硅绝缘衬底上制备出线宽为40纳米的纳流体通道，形成DNA探测器，对DNA分子在其中的传输特性进行了测量和分析，对未来生物芯片的发展具有重要意义。该成果发表在Microfluid Nanofluid 1 (2005), 404上。该工作得到了国家自然科学基金委、中科院创新基金和国家纳米科学中心的资助。



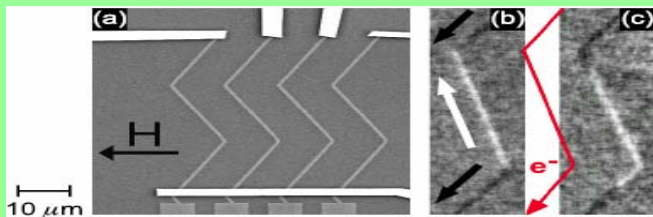
FIB制作的纳米流体通道

DNA分子沿纳米通道传输的示意图

国外进展

直接观察自旋电流引起的磁畴壁形状变化

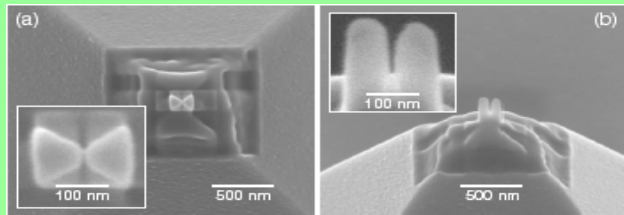
控制纳米结构中的磁化方向是自旋电子器件应用的关键,最近的研究发现,利用自旋迁移效应,注入自旋电流可以改变磁畴壁的位置,从而改变纳米结构中的磁化状况。但是对于电流引起畴壁移动的机制还不是很明确。德国Konstanz大学Kläui等人在硅衬底上,利用电子束光刻技术制作了一系列不同宽度的Ni80Fe20纳米线,宽度范围从100nm到500nm,并利用自旋极化扫描电子显微镜直接观察到在脉冲电流作用下磁畴壁沿着纳米线移动,导致畴壁形状的变化。使用这一结构,畴壁在宽度500nm、厚度10nm的Ni80Fe20纳米线中沿着电流方向以平均0.3m/s的速率移动,并且速率随着脉冲个数的增加而衰减。该成果发表在Physical Review Letters, 95 (2005) 026601上。



自旋极化SEM图象显示通脉冲电流前后Ni₈₀Fe₂₀纳米线中畴壁位置的移动

耦合于一个扫描光学天线的单量子点:一种可调谐超级发射器

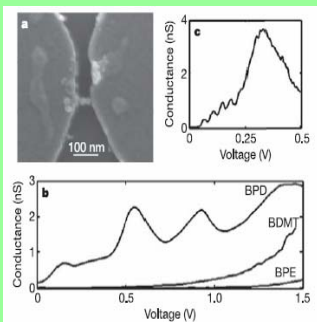
控制以及优化单量子发射器发射特性是当今光学及相关技术的一个核心问题。最近,天线在光学波段的作用引起了人们的关注,目前主要利用拉伸的长尖、小孔、以及小颗粒来研究场增强效应。瑞士科学家J. N. Farahani等利用聚焦离子束刻蚀技术在原子力显微镜的Si3N4尖顶上刻蚀得到一个蝴蝶状的天线,研究了一个单量子点与这种天线之间的相互作用,发现当天线扫过量子点时,在激发态寿命降低的同时,使光致发光得到了增强。此研究表明单量子发射器的弛豫通道可以通过一个高效的辐射状金属纳米天线耦合得到控制。该研究结果发表在Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 017402上。



用FIB在AFM针尖得到的光学天线

单个分子对的电导测量

由硫醇基(SH-)键合而形成的有机分子是良好的分子导体,在单分子器件的制备中有巨大潜力。不过分子电导强烈地依赖于分子中的导电通道以及其与金属电极的接触。以色列Tal Dadosh等人采用了一种测量单个有机分子电导特性的新方法,用以研究在共轭分子中一些局域基团对电导的影响。该方法首先合成二聚体(即用BDP, BPE, BDMT有机分子来连接两个金胶体颗粒),然后采用静电捕获的方法将其捕获在金电极上。二氧化硅衬底上金电极的制备采用了电子束直写(EBL)的方法。相对于BPD

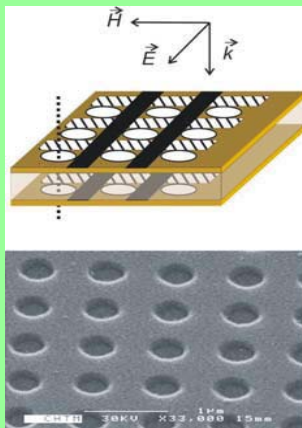


捕获在电极上的二聚体及其电导测试结果

而言, BPE中的氧和BDMT中的甲烷都能对分子电导造成抑制。该结果发表在NATURE, 677, 436 (2005) 上。

近红外负折射超材料的实验证实

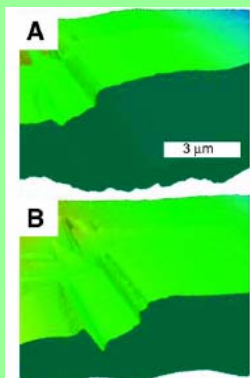
负折射率材料由于其广泛的应用前景引起人们极大的兴趣,超材料和光子晶体是实现负折射的两种基本方法。超材料利用金属结构产生的负介电常数和共振结构产生的负磁导率来实现负折射,近期的研究在10-100THz验证了这种结构能够产生负磁导率的事实,但是在近红外及可见光频率制备基于开口环形谐振器的超材料比较复杂并且很困难。美国新墨西哥大学的Shuang Zhang等人引入了以介质层分隔的一对金属层和贯穿于多层薄膜的孔阵列实现了负折射的方法,实验中,他们采用紫外光源相干曝光和反应离子刻蚀技术,制作周期性的钛点阵列。结果表明在2微米波长实现了负折射,这是负折射超材料研究领域的里程碑性的工作。该成果发表在Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 137404-1上。



带有周期性排布圆孔的Al₂O₃介质层和金薄膜多层结构

离子溅射法制作陡峭表面结构

微纳米三维结构在制作密集型三维结构以及三维功能结构中有着重要应用,有关这种微纳米结构的制备方法越来越受到人们的重视。目前用离子束轰击的相关理论来研究近似水平的表面多有报导,然而,对于有坡度的表面,这方面的理论研究很少。最近,哈佛大学的H.Chen等人在Sigmund's机理的基础上,模拟出离子束溅射法制备陡峭面的实验范围,实现高陡峭面的长距离复制而不丢失图形原貌。并且借助聚焦离子束刻蚀技术,在Si衬底上加工各种陡直度的凹面,然后在不同Ga离子束流辐照下,观察各陡直面的形貌变化,这种加工陡直结构的能力预示了加工小尺度微结构的可能性。该成果发表在Science, 310 (2005) 294 上。



FIB加工的具有各种陡直度的凹面