中国科学院物理研究所
微加工实验室

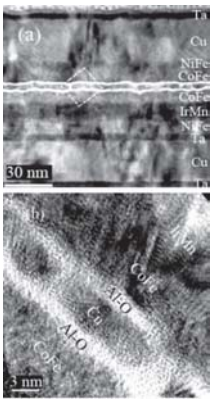
微加工简报

2006年 第4期

国内进展

一种研究自旋翻转散射效应的新方法

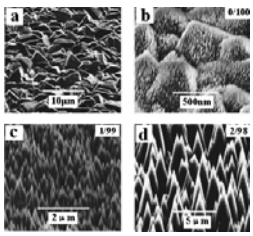
如何有效地观测自旋翻转的长既是自旋电子学中的一个非常重要的基本问题。中科院物理所磁学实验室**韩秀峰研究组曾中明博士**利用**微加工实验室**的条件，采用**紫外光刻和反应离子刻蚀**技术，发展出一种利用纳米尺度的自旋电子学器件有效观测自旋翻转长度可达微米量级的新方法。他们通过比较用同种材料和相同工艺制备出的高质量单势垒和双势垒隧道结的隧穿磁电阻来有效获取自旋翻转的信息，发现在4.2K温度下、位于双势垒隧道结两个双势垒层中间的厚度小于一个纳米的超薄Cu层中，测出电子自旋翻转的长度可达到1～2微米的量级，这个自旋翻转的长度比Cu层本身厚度大千倍以上。该成果发表表**Physical Review Letters 97, 106605** (2006)上。该工作得到**国家基金委、科技部和中国科学院**的资助。



双势垒磁隧道结
TEM截面形貌

自组织选择性离子溅射法制备可控的金刚石纳米锥阵列

表面纳米化技术有助发展新型的光学、电学、力学器件及各类传感器。特别是具有优异理化性能的金刚石膜表面纳米化，对高性能器件的发展至关重要，其中表面锥型纳米结构的制作有利于于器件的可靠性，而引起人们的关注。**物理所微加工实验室王强**博士与**表面实验室白雪冬研究员**合作，采用**无掩膜的自组织选择性离子溅射**方法，实现了大面积金刚石膜的表面纳米化，制作出形状密度可控的金刚石纳米锥阵列。

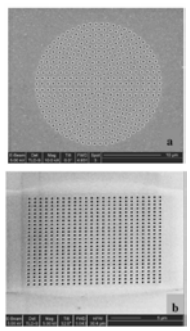


金刚石纳米锥阵列

他们对影响金刚石纳米锥阵列形貌的实验参数进行了系统的研究，结果表明甲基离子对金刚石纳米锥的形成起了关键的作用。这是一种简便、低成本的表面纳米化加工技术。该成果发表在J. **Appl. Phys.，100（2006）034312**上。该工作得到**国家自然科学基金、科技部863项目和国家纳米中心**的资助。

对称性对亚波长金属孔阵列光增强透过的影响

周期性的亚波长金属孔阵列对光的透过有增强作用，很多的实验和理论对结构参数（如：晶格常数、金属膜厚度、孔的形状及衬底介电常数等）对增强透过性的影响进行了研究。物理所光物理实验室**张道中小组的孙梅博士**与**微加工实验室**合作，利用**聚焦离子束**在厚度为120纳米的金膜上加工了不同对称性的亚波长金属孔阵列，并对其对光的增透特性进行了研究。发现具有六次旋转对称轴和中心反演对称的高对称结构对光具有高达41％的透过率，是低对称性结构透过率的6倍。从而证明对称性对亚波长金属结构的增透性有很大的影响，高的对称性结构具有高的增透因子。该成果发表在 **J. Appl. Phys. 100（2006）024320**上。



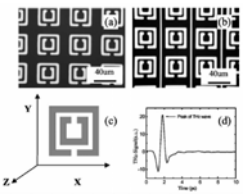
高对称(a)低对称(b)
亚波长金属孔阵列

2006-2007年度微加工实验室重点开放课题开始执行

2006年10月，经微加工实验室学术委员会审议、讨论和投票，确定了执行期为1年的**31项重点开放课题**，其中：所内重点开放课题26项，包括超导物理国家重点实验室6项、表面物理国家重点实验室3项、磁学国家重点实验室2项、光物理实验室3项、先进材料实验室3项、纳米物理与器件实验室2项、极端条件物理实验室5项、固态量子信息实验室2项；所外重点开放课题5项，包括国家纳米中心2项、清华大学1项、深圳大学1项、厦门大学1项。对本次批准的重点开放课题组成员的第一次仪器独立操作培训现已完成，**培训人员48人次**。

人工超材料在THz频段的双各向异性响应

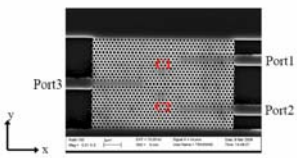
由于具有特殊的物理性质和光学器件的应用潜力，介电和金属的人工周期结构的设计与特性研究引起了人们广泛的兴趣，如光子晶体与超材料，即通过介电常数和磁导率的调制，实现电磁波的特殊传播特性。但人们对THZ波段人工超材料的光学特性的认识还很有限。**光物理实验室汪力小组的徐新龙博士与微加工实验室**合作，采用**紫外曝光和溶脱**技术，制作出微米尺度的开口谐振环阵列，并利用太拉赫兹时域光谱仪研究了开口谐振环的双各向异性电磁响应，发现太拉赫兹电磁波的透过能量峰值对电磁波偏振方向与样品的夹角有规律性的周期变化，并从理论上对这种各向异性进行了解释，丰富了人们对太拉赫兹波段超材料特性的认识。该成果发表在**J. OPT. SOC. AM. B，23（2006）1174**上。该工作得到**国家自然科学基金和国家纳米中心**的资助。



谐振环与谐振环/线
结构和THz时域波形

利用二维光子晶体制作的高分辨三端过滤器

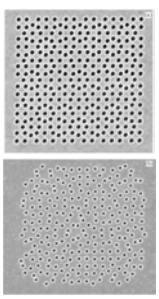
二维光子晶体由于其存在面内的光子晶体带隙及易加工性，成为近些年来人们关注的热点，通过人工缺陷的引入可以实现不同的光子晶体器件，如光波导、共振器、过滤器等。物理所光物理实验室**张道中小组的任承博士**与**微加工实验室**合作，利用**电子束曝光技术及ICP刻蚀**技术在SOI膜上利用二维光子晶体制作了高分辨的三端过滤器，该结构包括一个输入波导、两个输出波导及两个电缺陷共振腔。经测试，通过轻微调整两个点缺陷共振腔的结构，在两个输出端实现了1.5纳米的输出波长的分辨。这种高分辨三端过滤器对于实现高密度光子集成电路是非常有用的。该成果发表在**Opt. Express 14（2006）10014**上。



加工的三端过
滤器SEM照片

周期性在亚波长金属孔阵列增强透过中的作用

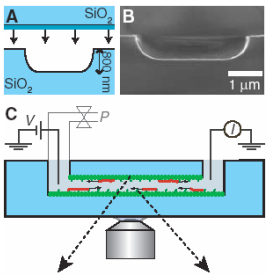
由于亚波长的金属孔阵列对电磁波有透过增强的作用，因此成为人们近期研究的热点。**物理所光物理实验室张道中小组的孙梅**博士与**微加工实验室**合作，利用**聚焦离子束**在厚度为120纳米的金膜上加工了准晶及无序亚波长圆孔阵列，研究了结构的周期性对光透过增强的影响，发现准晶金属孔阵列对入射的电磁波有高达20％的透过率，但在无序结构中未发现增强透过现象，从而证明结构的长程有序在增强透过过程中起到了重要的作用。该成果发表在**Chin. Phys. Lett. 23（2006）486**上。



国外进展

在Kinesin涂覆的通道内对微管的电场操控实现分子的分类

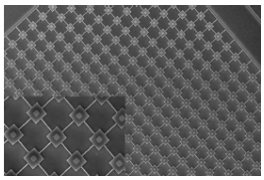
近年来人们非常关注生物分子马达的研究，像Kinesin这样的分子马达，通过水解ATP就会沿着微管行走，因而可以作为驮马在微型分析系统或NEMS中有着潜在应用。可以想象，微管也会沿着Kinesin涂覆的轨道行走，将特定的物质运送到指定的地方。荷兰Delft University of Technology的**Martin G. L. van den Heuvel**等人采用**电子束曝光**和湿法腐蚀的方法在二氧化硅上制作沟道，加上盖片后形成流体通道（如下A,B图所示），将Kinesin涂覆在通道壁上后，微管就会沿着通道移动，利用电场就可以操控微管的移动方向。该成果发表在**Science 312 (2006),910**上。



利用电子束曝光和湿法腐蚀制作的流体通道

耦合纳机电谐振器的二维阵列

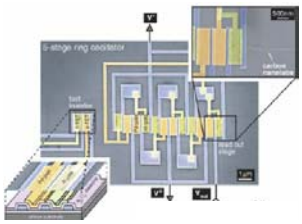
耦合纳机电系统（NEMS）谐振器的集体行为能够极大地改进目前基于谐振器的NEMS器件的性能。美国马里南州 Crofton 的 SFA 公司的 **Maxim K. Zalalutdinov**等人采用**电子束曝光**和湿法腐蚀技术，在单晶硅上制备出了一个20×20的耦合的平板型NEMS谐振器阵列。该工作通过点激光器和干涉动量探测装置研究了谐振器阵列的集体模式，缺陷引起的局域化对弹性波传播的限制作用等，并讨论了这种阵列在无线电频段信号传输上的应用。这项成果发表**Appl.Phys.Lett.，88（2006）143504**上。



耦合NEMS谐振器

单根碳纳米管上集成逻辑电路

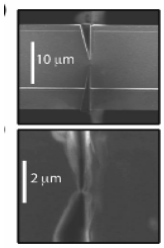
单壁碳纳米管的优异电学性质一直为人们所关注，但是距离实际应用还存在一些问题。最近的研究发现可以用单壁碳纳米管制作尺寸比硅基晶体管更小的晶体管。美国纽约IBM研究中心的**Zhihong Chen**等人利用**电子束光刻**技术通过将12个不同金属组分的场效应管布置在一个长度为18微米的单壁碳纳米管上，制造了一个名为环形振荡器的低功率逻辑器件。这个单分子逻辑电路表明，在未来电子器件中碳纳米管可以类似于硅晶片"被用作电子器件的基础"。该成果发表在**SCIENCE，311（2006）1735**上。



单根碳纳米管上集成五个倒相器形成的环形谐振器

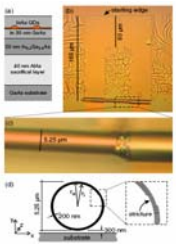
利用电荷密度波纳米压缩和隧穿结技术实现链状隧穿

人们对电荷密度波导研究已经有30多年的历史，以往的工作主要集中对单晶的输运特性上，近年来人们开始构造微纳米尺寸的器件来研究介观电荷密度波物理。荷兰代夫特科技大学的**K.O，Neill**等人利用**聚焦粒子束**和机械控制隧穿结技术在电荷密度波导NbSe3中构造了纵向的纳米压缩结构。经过测量发现在Tp1=145k和Tp2=59k下存在波导峰，并且所测得结果与电荷密度波带隙的值基本上一致。这个结果可以通过CDW—CDW隧道来解释。该成果发表在**PRL 96 (2006) 096402**上。



半导体微管型行谐振器中的光学模

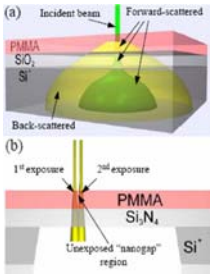
近年来，包含量子点或量子阱的半导体微腔结构引起了人们浓厚的研究兴趣。德国汉堡大学的**T. Kipp**等人采用**光学曝光和湿法腐蚀**技术，利用分子束外延生长的含有砷化铟量子点的多层砷化铟镓/砷化镓材料的自卷机制，制备出了含有量子点的半导体微管结构。该研究通过探测该结构中砷化铟量子点的光致发光谱研究其光学模，证实了这种光学模在这种微管结构中起到了光学环形谐振器的作用。这项成果发表在**Phys.Rev.Lett.，96（2006）077403**上。



微管环型谐振器

电子束曝光制作纳米缝隙用于纳米结构的高分辨成像和电性表征

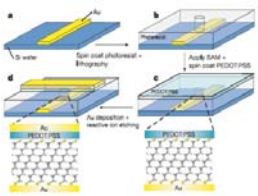
近年来，基于纳米缝隙来实现纳米结构的电接触的研究已有所报道，但是还面临着产量低下、几何形状难于控制等挑战。美国Pennsylvania大学的**Michael D. Fischbein**等人采用**电子束曝光**在Si3N4薄膜衬底上制作纳米缝隙，由于减小了背散射电子的影响，电子束曝光的分辨率可以大大提高（如下图所示），因而可以制作出小于1 nm的缝隙；另一方面，由于缝隙制作在薄膜上，可以方便地用高分辨的透射电子显微镜对缝隙间的纳米结构进行表征。该成果发表在**Appl. Phys. Lett. 88 (2006), 063116**上。

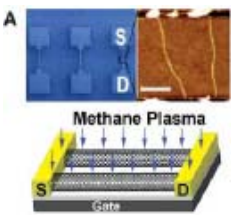


金属空气桥结构

基于大面积的分子接合点的分子电子元件

可以用在两个电极之间进行自组装的单分子层来实现分子电子元件，但它们往往难以重复，不稳定。荷兰Groningen大学的**Akkermant**等人开发出一种制作大面积稳定的分子接合点的相对比较简单的技术，这种金属-绝缘体-金属结器件的尺寸达到了100μm。其中的大面积分子结合点是通过直链硫醇的自组装形成的单层实现的，而在单分子层和顶部金属电极之间旋涂的导电聚合物过渡层有效地阻止了电短路现象的发生，同时这种通过**光刻**在光刻胶上形成圆孔来制作分子接合点的工艺过程既可以消除寄生电流又能使制作的接合点不受环境的影响，有可能为研制实用的大面积分子电子装置提供一种廉价的方法。该成果发表在**Nature 441 （2006）69**上。



金属性碳纳米管的选择性刻蚀

金属性碳纳米管总是和半导性碳纳米管一起生长，普通方法不能获得纯粹的半导性碳纳米管，这对制备碳纳米管场效应管来说是非常不利的。美国斯坦福大学的**张广宇博士**采用甲烷**等离子体反应刻蚀**的方法对生长的单壁碳纳米管进行提纯，在一个小的直径范围内（1.3～1.6 nm）可获100%的半导性碳纳米管。他们采用**电子束曝光等微加工技术**制备了碳纳米管场效应管，测试发现：等离子体处理后的器件表现出纯粹的半导性。这一工作的实现了半导性单壁碳纳米管和直径的精确选择，为实现高可靠性碳纳米管逻辑电路奠定了基础。该成果发表在**Science 314（2006）974**上。