中国科学院物理研究所
微加工实验室

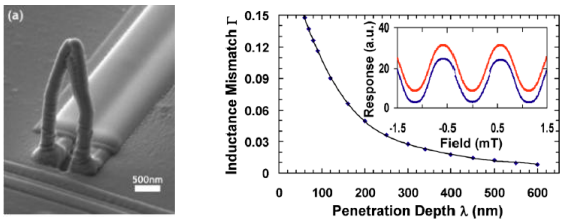
微加工简报

2010年 第4期（总第24期）

国 内 进 展

超导量子干涉器件三维纳米探测线圈的制备

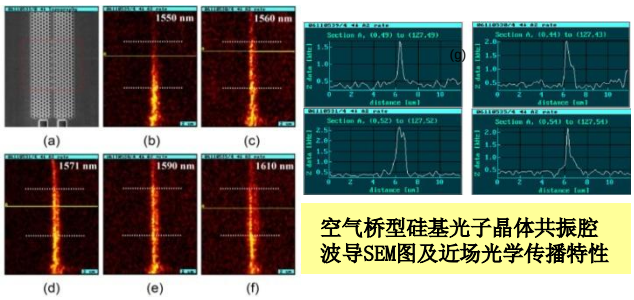
纳米超导量子干涉器件具有单自旋测试的灵敏度。但这些器件只能测量与器件平面垂直的场信号，而且很难与与其相同一芯片上的磁信号实现高度耦合。要对平行于衬底的场分量进行准确的测量，就需要制备垂直于衬底的探测线圈。为此，**英国伦敦纳米中心的Ed Roman等与中科院物理所微加工实验室合作**，利用FIB直写工艺生长超导物纳米结构，实现了超导量子干涉器件的三维纳米探测线圈的制备了。外加局部场后线圈的响应特性研究表明其迈斯纳屏蔽渗透深度λ(0)=330 nm，与BCS理论一致。该工作发表在 **Appl.Phys.Lett. 97 (2010) 222506** 上。



FIB生长的自由站立的三维钨纳米超导探测线圈（a)及其与超导量子干涉器件感应耦合示意图(b)，(c)与(d)分别为模拟与实际测量获得到的特性曲线

光子晶体共振腔波导中的异常光学传播的近场研究

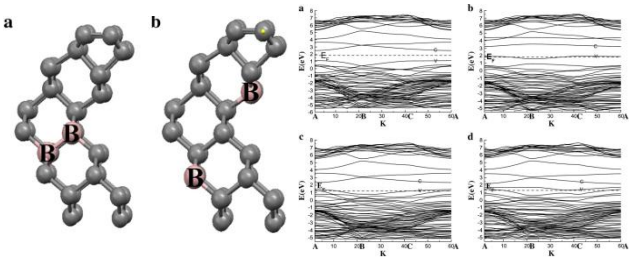
慢光在集成光电路中的光驰豫，时域光信号处理以及非线性光学放大中具有潜在的应用，近期吸引了广大研究者极大的研究兴趣。为获得慢光，硅材料二维光子晶体波导由于具有较宽的带宽并与现有系统集成工艺兼容而备受关注。与光子晶体不同，光在光子晶体共振腔波导中是以局部共振模式在腔与腔中跳跃式传播的。鉴此，**上海交通大学的H. H. Tao与中科院物理所李志远研究员课题组合作，利用物理所微加工实验室的技术手段**，设计制备了空气桥型硅基光子晶体共振腔波导，并研究了其近场光学特性。这项工作发表在**OPTICS EXPRESS 18 (2010) 23996** 上，得到国家自然科学基金委,国家重点基础研究计划等项目的资助。



空气桥型硅基光子晶体共振腔波导SEM图及近场光学传播特性

B-掺杂金刚石表面的金属性研究

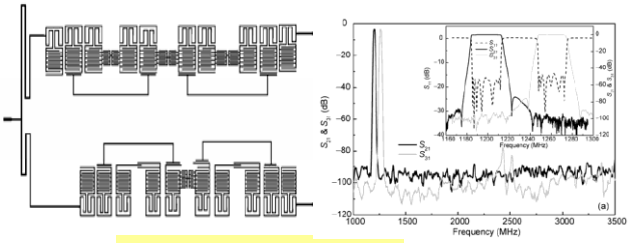
基于金刚石材料器件的优异的性能主要来源于金刚石材料碳原子间极强的共价键作用。为了进一步拓展金刚石的应用领域，研究人员开展了在金刚石中掺杂碱土金属的研究。其中除了B元素以外，其他的碱土金由于原子直径比C原子大很多，都无法实现高浓度掺杂。**中科院物理所微加工实验室的路超等人**，研究了B掺杂金刚石中掺杂情况对金属-绝缘体转变以及电子-声子耦合作用的影响。详细讨论了金刚石表面微结构、能带结构、稳定性以及其金属性随着金刚石表面取向、B原子掺杂的位置以及浓度变化的相关规律与机制。该结果发表在**Diamond & Related Materials 19 (2010) 824**上，得到国家自然科学基金委项目的资助。



表面掺有2个B原子的具有13层C原子的金刚石（100）结构以及单个B原子在替换不同原子层中的C原子时与层数相关的能带图

L-带双工器的高性能设计与制备

双工器是异频双工电台、中继台的主要配件，其作用是将发射和接收的信号相互隔离，保证接收和发射都能同时正常工作。采用HTS制作的滤波器带内插入损耗小，带边陡度高，带外抑制强，在移动通讯、雷达与卫星通信领域均很有吸引力。然而在目前诸多的双工器的研究中，还没有考虑到其群延迟效应，而这一参数在通信领域就如带宽的高选择性参数一样重要。**中科院物理所的何豫生研究员课题组与微加工实验室合作**，在2英寸生长有双面YBCO 薄膜的LaAlO3基片上设计制备了高性能L-带双工器。该器件的插入损耗为0.2dB，回波损耗优于-14.4dB，具有高隔离性能，平坦的群延迟以及深带外抑制性能。该结果发表在 **Chinese Science Bulletin 55 (2010) 3527**上，得到中科院对外合作项目与知识创新工程项目的资助。



双工器结构图与测试特性

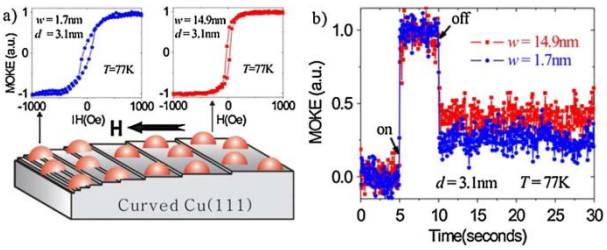
“微纳米加工技术高级培训班”在物理所成功举办

在中国科学院人教局和计财局的资助下，由中国科学院物理研究所主办的“微纳米加工技术高级培训班”于2010年11月25日至12月3日在物理所成功举行。本次讲习班免费面向中科院系统从事纳米领域研究的科技人员,吸引了近100名科技人员参加，其中包括物理所、化学所、半导体所、微电子所、国家纳米中心、理化所、力学所、生物物理所、苏州纳米所和合肥物质院等12个科学院研究所的近60名正式学员。本次培训班将微纳米加工技术基础知识讲授与先进微加工设备介绍和实际操作相结合，聘请了国内外相关领域的专家讲授微纳米加工技术的理论、进展与应用，并由经验丰富的技术人员对学员进行相关设备的操作培训。通过培训，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，对中科院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。

国 外 进 展

基于电子维度变化的铜（111）面上铁纳米点间的铁磁耦合调制

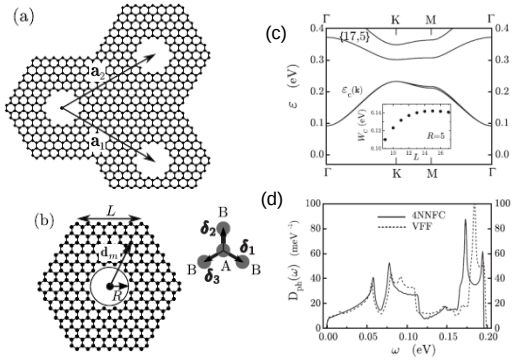
低维材料中量子限域和对称结构的破缺会在材料中产生新奇的电学性质和晶体结构。发现并应用这些新现象主要途径之一是精确调节材料中电子结构的维度。铜（111）表面的二维表面态可以调制许多量子现象，如调制随机分布的铁纳米点间的铁磁耦合，产生二维人工磁体，用来理解纳米材料中的新磁性现象与机制。**美国橡树岭国家实验室和复旦大学的沈建教授**等人用原位磁光克尔效应测量和建模研究了对弯曲的铜（111）面的铁纳米点的磁化各向异性和铁磁耦合调节。研究发现磁化各向异性随着台阶宽度的减小而单调增加，当台阶宽度小于纳米点尺寸大小时，这种变化更明显。而且，当台阶宽度大于纳米点尺寸大小时，铁磁耦合随着台阶宽度的减小而增大；反之，铁磁耦合会随着台阶宽度的的减小急剧减小。他们认为这种意外的现象是由表面电子调制的维度的变化引起的，即当台阶宽度大于纳米点尺寸时，电子被限制在一维尺度下；反之，因为台阶边沿的纳米点加强了电子溢出，使电子被限制在准二维的尺度下。这一工作发表在**Phys. Rev. Lett. 104 （2010）167202** 上。



铜（111）面台阶上的铁纳米点结构示意图及其相关的铁磁特性

石墨烯反量子点结构中电子-声子耦合中的极化行为

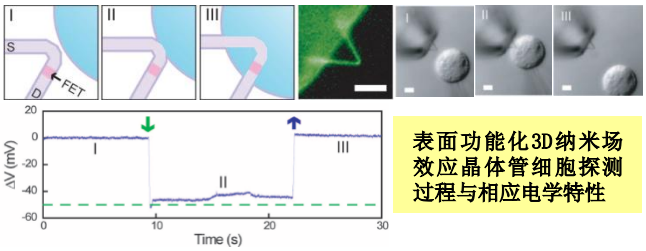
亚微米量级尺寸的石墨烯在室温下具有弹道输运特性，并且在不改变电荷迁移率的情况下，可实现重掺杂。 这些特性引起人们极大的关注。但是石墨烯中没有能带结构，因此无法通过电压进行电导调制。为了在石墨烯中引进能带，人们在石墨烯超晶格的电子特性方面开展了大量的研究工作。其中常用的方法之一是用电子束光刻相关的工艺在石墨烯层制备纳米孔洞。**巴塞尔大学的Vladimir M. Stojanović**等人使用考虑到π电子交换积分的声子耦合模型研究了石墨穿孔超晶格。作者用两种不同的半经验方法计算了所选穿孔石墨超晶格的声子谱。基于采用的模型，通过计算准粒子权重量化了点荷载流子的特性。发现了很强的声子诱导的重归一化过程，同时，当反量子点的直径一定时，有效电子质量随超晶格周期非单调变化。该成果发表在**Phys. Rev. B 81 (2010) 041408R** 上。



具有圆形反量子点孔洞的三角形石墨烯中反量子点晶格片段(a),反量子点晶格原包结构(b)和反晶格结构中的导带分散与带宽特性(c)以及反晶格结构中的声子密度（d）

三维柔性纳米场效应晶体管局部生物探针

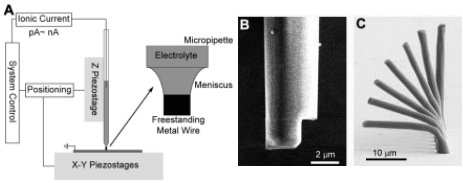
基于纳米线纳米管的纳米电子器件在超灵敏度生物标记探测以及高分辨率生物细包内信息纪录中应用前景巨大。但几乎所有的研究均基于平面器件的设计。实际应用中，较之于迫使被测物附着于衬底平面，移动用来探测的纳米器件使之接近需要探测的细胞或生物分子，从而进行探测将更为有效。然而怎样制备三维纳米器件，怎样保证探测过程中避免三维纳米探测器在深入细胞或细胞网络结构中时对被测物的损害，都需要有新的三维器件结构的设计与研制。最近，**美国哈佛大学的Charles M. Lieber**等人在具有弯曲结构的Si纳米线上合成制备了纳米场效应晶体管。在这种结构中，Si纳米线的弯曲角度可精确的控制，场效应管通过调制掺杂获得的并位于一侧的弯曲臂上。试验证实这种三微可移动场效应晶体管在水溶液环境中具有与大的机械偏转无关的导通特性与灵敏度，并且具有较灵敏的pH测试。通过双层磷脂处理后的三维纳米探针可进入单细胞内进行可靠的细胞内电位测试纪录。该成果发表在**Science 329 (2010) 830** 上。



表面功能化3D纳米场效应晶体管细胞探测过程与相应电学特性

微纳尺度三维互连线电化学沉积直写技术

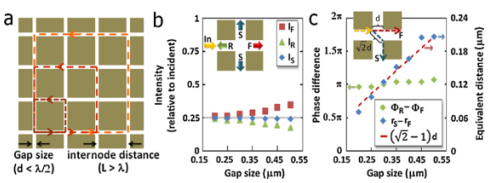
随着三维集成电路的进一步发展，传统的打孔工艺已满足不了多功能三维混合集成中对可靠的，灵活的互连线制备的需求。**美国伊利诺斯大学的Jie Hu and Min-Feng Yu**研究发展了一种基于新月形液态电桥的电化学沉积与三维空间精确的压电位移控制手段结合的方法，成功的制备了微米，纳米尺度的三维空间金属导电互连线。此工艺可在大气环境中进行，三维导电结构的形状，尺寸以及材料的种类均可通过不同的参数获得精确的控制；提供了一种高效可靠的制备高密度、高质量、复杂三维结构的微纳金属导电连线的方法。该成果发表在**Science 329（2010) 313**上。



新月形液桥三维电化学沉积设备示意图与沉积的Cu 线

基于共振的波导网络

近二十年来，光子晶体、超材料等新的光子学理论与设计方法使光色散方向的控制更加灵活与多维化。**加州理工大学的Eyal Feigenbaum和Harry A. Atwater**设计并模拟了一种共振引导的波网络结构。这是一种考虑了排列在波导网络节点上的能量分裂单元的光学材料设计。由于网络中几个波长量级的局域共振，这种结构会产生取决于网络布局的光色散现象。这种结构对于1550纳米波长的局域共振品质因子可达到80。同时，在大的周期网络结构中，对于红外波段存在着光子能带和带隙。该成果发表在**Phys. Rev. Lett. 104 （2010）147402** 上。



二维共振网络结构、谐振环轨迹图以及X型结处的相对能量密度相位