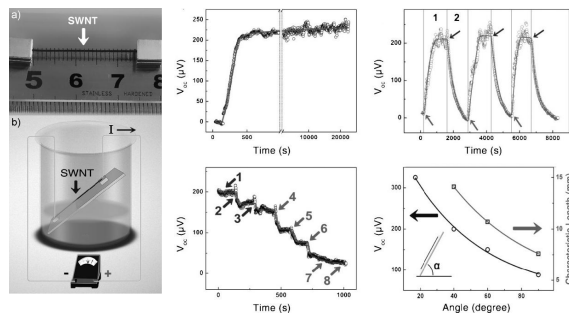


国内进展

单壁碳纳米管表面能供体及其在自供电系统中的应用

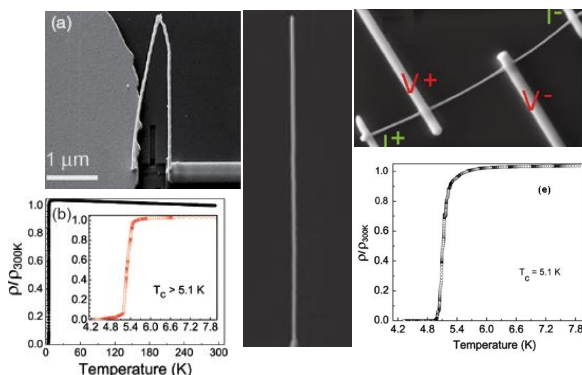
表面能在表面物理学, 生物物理学, 表面化学以及催化作用等方面至关重要。在固体与液体界面的表面能梯度可使液体向上流动。然而, 由于表面的二维特性以及参与的分子/原子数目很少, 使得表面能密度很小, 通常无法作为供能体系。纳米器件所需能耗极低, 用于构建纳米器件的纳米材料具有极大的体表面比, 因此表面能在纳米尺度的器件应用领域很有吸引力。**国家纳米科学中心孙连峰研究员课题组与中科院物理所微加工实验室合作**, 成功地利用单壁碳纳米管收集了乙醇的表面能, 并将之转化成电能。他们发现, 在这种乙醇电热器状结构的设计中, 在表面应力的作用下, 乙醇在碳纳米管毛细管中流动可在结构两端获得一开路电压。恒定的开路电压在有乙醇流动的情况下可持续存在; 每一器件可提供1770pW的电能, 可用于自供电电热调节器。此外, 由于马兰各尼效应, 器件响应特性还可大幅度提高。该成果发表在 **Adv. Mater. 22, 999 (2010)** 上, 得到基金委和科技部973项目的资助。



SWNT器件结构示意图、器件测试装置及器件特性

自由站立的钨纳米结构的超电导性

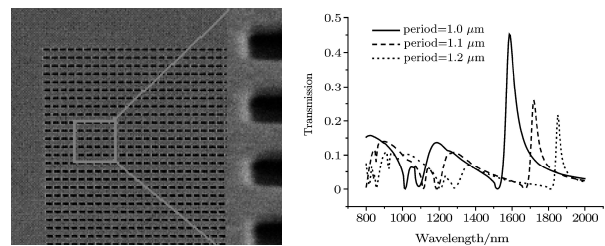
聚焦离子束技术已极为广泛地应用于器件的修饰、纳米电极、原型器件、纳米结构图形的制备以及纳米材的生长等方面。尤其是其三维图形的加工功能, 使之在纳米科学研究中作用独特。**中科院物理所微加工实验室的李无暇等人**与**伦敦纳米研究中心合作**, 采用束流为1pA, 束斑为7nm的离子束束流生长了自由站立的三维钨纳米结构并研究了其导电与超导特性。同时探索了一种将自由站立的纳米材料与衬底分离后进行电学等特性测试的有效方法。研究结果表明, FIB-CVD在垂直纳米电极与配线生长, 脱离掩模版的纳米器件制备, 如超导器件的制备上, 具有潜在的应用前景。该结果发表在 **J. Nanosci. Nanotechnol. 10 1 (2010)** 上, 得到基金委及EPSRC的资助。



空气桥结构, 自由站立的纳米线及其与衬底分离后FIB沉积的四电极SEM图与对应的R-T曲线

金属薄膜中亚波长孔洞阵列中的光学异常透射

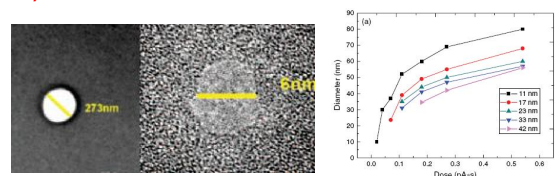
1998年Ebbesen 等人提出了不透明金属中亚波长孔洞中的光学异常透射现象, 即在周期性结构的不透明的金属狭缝中, 透射光的强度远大于经典的衍射理论值。基于这一现象的器件可用于亚波长光学器件、光电器件以及生物传感。已有研究表明, 这一增强效应起源于对表面等离激元激励与耦合作用。同时, 周期性结构中孔洞的尺寸与形状也可能影响到透射光的性质。**中科院物理所光物理实验室李志远研究员课题组与微加工实验室合作**, 在金薄膜上制备了不同几何形状, 尺寸及周期的孔洞阵列, 从实验与理论上研究证实了光学异常透射的结构效应。这项工作发表在 **Chin. Phys. B 19 047309 (2010)** 上。



金膜上亚波长纳米孔阵列SEM图及与周期相关的透射特性

可用于生物分子探测的纳米孔洞的制备

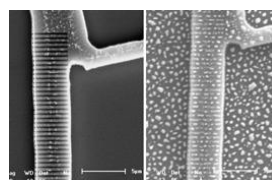
纳米孔洞在生物物理及生物技术应用前景广阔。生物蛋白质形成的纳米孔洞已有研究, 但其性质不稳定。纳米科技的发展使人工固体纳米孔洞的制备成为可能。**西北大学王凯歌教授研究组与中科院物理所微加工实验室合作**, 利用聚焦离子束技术, 系统地研究了刻蚀条件, 如离子束束流与剂量, 支撑膜的厚度等对纳米孔洞的尺寸与形貌的作用规律, 成功制备了直径为6纳米的纳米孔阵列。为直写纳米生物探测器提供了实验基础。该结果发表在 **J. Nanosci. Nanotechnol. 10 1 (2010)** 上, 得到基金委等的资助。



FIB制备的纳米孔洞及氮化硅薄膜对直径的影响规律

用于微形变测量的高频Moire光栅的FIB制备

自从Moire方法产生以来, 基于Moire理论的干涉、SEM、AFM以及STM方法在微形变以及应力测量方面已得到了长足发展。与几何及干涉Moire方法相比, 基于SEM的Moire途径具有可测光栅尺寸范围宽, 可进行原位的形变与器件结构变化的实时观测及易操作等优点。鉴此, **清华谢惠民教授研究组与中科院物理所微加工实验室合作**, 利用聚焦离子束刻蚀在非晶SiC悬臂梁上制备了Moire光栅阵列, 深入研究了光栅尺寸与质量对器件性能的影响, 证实了FIB制备的器件在不同测试温度下的性能稳定性。这项工作发表在 **J. Micromech. Microeng. 20 055037 (2010)** 上, 得到国家基础研究计划、国家基金委等资助。

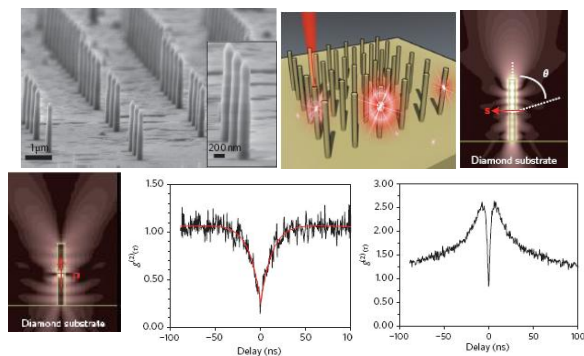


FIB刻蚀在SiC悬臂梁上制备的Moire光栅阵列高温550 °C前后的SEM图

国外进展

金刚石纳米线单光子源

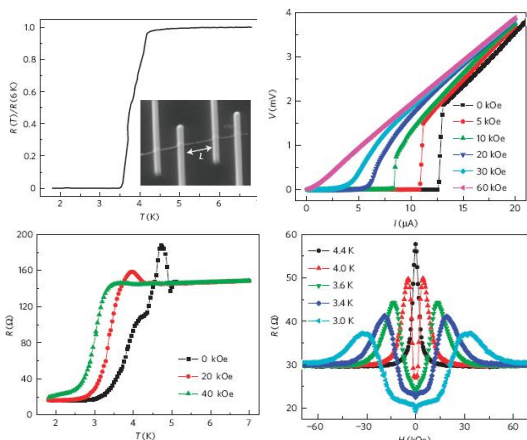
具有高光子通量并能常温下工作的稳定的单光子源的发展将极大促进新技术,如通过量子密钥的光通信的发展。基于荧光燃料分子、量子点、碳纳米管等纳米材料的单光子源器件已研制出来,但这些器件无法同时具备上述要求。氮空位(NV)金刚石可提供自旋量子比特的光输出,但材料中的荧光中心的光输出耦合较差。美国哈佛大学的Thomas M. Babinec等人,通过EBL制备抗蚀剂图形,ICP刻蚀图形转移,在具有NV中心的金刚石薄膜衬底上制备了大面积均匀一致的金刚石纳米线阵列,其单光子通量比对应的金刚石膜提高了10倍,功耗降低了10倍多。这一方法为基于金刚石纳米结构的新型光子器件与量子信息处理提供了可能。该成果发表在Nature Nanotechnology, 5, 195 (2010)上。



NV金刚石纳米线阵列、发光中心示意图及其非经典发光特性

单晶纳米线中的铁磁与超导相互作用

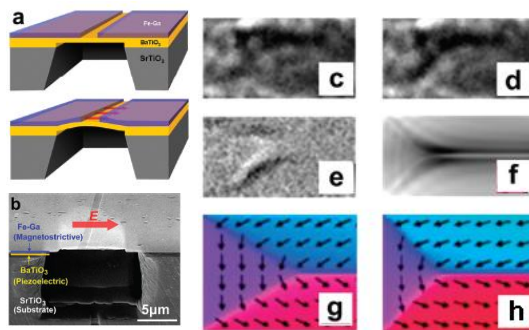
在凝聚态基础物理研究领域,材料具有的铁磁与超导特性中的自旋有序的不兼容性一直吸引了广泛的研究兴趣。概括地讲,当铁磁材料与超导体接触时,超导体中的库珀对在距超导体几纳米的铁磁材料中将不复存在。美国宾夕法尼亚大学的JianWang等人,利用聚焦离子束化学气相沉积,在单晶的Co与Ni纳米线上制备了超导钨电极。磁学特性测试表明这些单晶纳米线具有铁磁特性,低温电学特性测试表明,在低温下,长度为600nm的Co与Ni铁磁纳米线具有零电阻超导特性,显示出显著的长程超导近邻效应(Proximity Effect)。对长度大一些的纳米线的电学特性测量显示纳米线具有不完全超导特性,并且在超导纳米电极的临界转变温度附近具有一电阻峰,其阻值的变化量具有超导自旋三重态特性。该成果发表在Nature Physics DOI: 10.1038/ (2010) 上。



FIB生长的钨超导纳米电极的Co纳米线的超导性、铁磁性质以及磁场与温度对其特性的影响

电场引起的可逆纳磁转变的原位观察

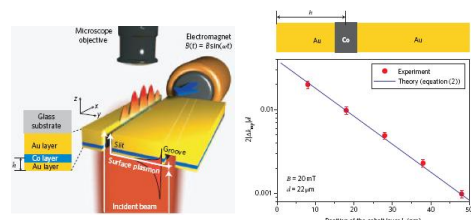
通常静电场下的电场和磁场不能进行耦合,而由于铁电和铁磁态的存在,多铁系统可以实现静的电场和磁场的耦合,并可以应用到诸如磁性随机存储器等器件中。而以往的研究不能确定在应用电场下存在精确的双稳态磁取向的不连续转变。最近,马里兰大学的T. Brintlinger等人,采用微加工手段制备了 $\text{Fe}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}/\text{BaTiO}_3$ 铁磁和铁电双层膜结构,利用洛伦兹力透射显微镜对其磁畴在静电场下的变化进行了观察,成功的实现了静电场作用下,磁畴结构实时成像,实现了单个磁转变的追踪和监测。研究发现,由于静电场引起压电 BaTiO_3 薄膜的形变传递到 $\text{Fe}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$ 磁滞薄膜,从而引起该磁性薄膜磁畴可逆的转变。该成果发表在 Nano Lett. 10 1219 (2010) 上。



测试样品示意图, SEM图以及利用洛伦兹力透射显微镜测得的磁畴移动与模拟结果

金属-铁磁多层结构中的磁等离子体

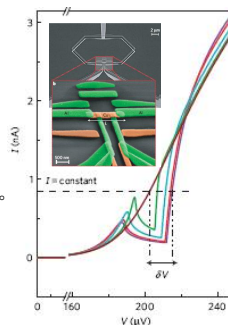
磁场可以控制等离子体的传播,从而使新型的有源等离子体器件成为可能。但利用磁场控制可见光波段贵金属基的等离子体需要很大的磁场,从而限制了该器件的实际应用。最近,麻省理工的V.V. Temnov等人采用金属-铁磁(Au/Co/Au)三层膜结构,利用聚焦离子束技术在上表面制作了槽形结构,利用等离子体微干涉显微镜研究了外磁场对产生的等离子体传播的控制,由于铁磁层的存在,可以利用很弱的磁场就可以实现等离子体传播的控制,并且该方法可以实现电磁场在金属中分布的测量,该测量的分辨率可以达到纳米量级。该成果发表在Nature Photonics, 4 107 (2010) 上。



样品结构、测量示意图及Au层中电磁场分布

超导量子干涉邻近效应晶体管

当超导体接近非超导金属时,在金属材料中会诱发超导相干性,即存在近邻效应,从而改变金属材料的态密度,并且产生一微小带隙。这一带隙的幅度可通过超导体中的超导有序参数进行调制。意大利国家纳米研究所的F. Giazotto与芬兰阿尔托大学的J. T. Peltonen等人利用这一现象,制备了超导量子干涉邻近效应晶体管。通过磁通量的变化来调节超导体中的相位变化,进而达到对非超导金属中的产生的电压的调制。这种器件可获得比超导量子干涉器件低4-5个数量级的功耗,应用前景广阔。这项成果发表在 NATURE PHYSICS 4 254 (2010) 上。



器件结构及特性