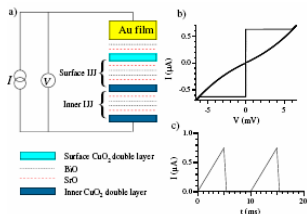


国内进展

单晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 表面本征约瑟夫森结中的宏观量子隧穿现象

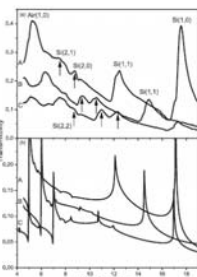
相干量子动力学已在约瑟夫结量子比特中得到证明，预示着在量子计算方面的巨大潜力。然而退相干对约瑟夫结量子比特是一个巨大的障碍。减少缺陷是在所有超导量子比特中提高量子相干的有效途径。**中科院物理所极端条件实验室赵士平研究员小组与美国Kansas大学和物理所微加工实验室合作**，利用**电子束曝光**设备在 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 超导体上制作出各种亚微米尺度的本征约瑟夫森结，通过测量温度相关的开关电流分布，在单晶表面的约瑟夫结中观察到宏观量子隧穿现象，获得了与理论预言相一致的实验结果，确定了宏观量子隧穿的图像。实验结果进一步表明当电流沿晶体C轴流经约瑟夫结时，具有正玄相位关系。该成果发表在**Phys. Rev. Lett 99 (2007) 037002**上。该工作得到**国家科技部和国家基金委**的资助。



单晶表面约瑟夫结的结构及I-V特性

具有周期性孔阵列的金属薄膜中单个界面的表面等离子体

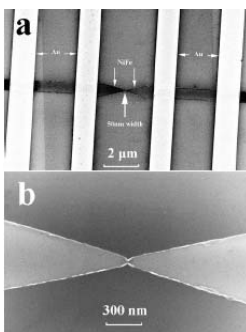
金属中的表面等离子体与真空中的电磁波满足不同的色散关系，通过研究这种色散关系就可得到表面等离子体的特性。此前的工作中，通常使用介电常数接近于1的材料作为金属膜的基片，使得在金属膜两个界面所产生的表面等离子体波有较强的干涉作用，掩盖了其本征性质。**中科院物理所超导实验室邱祥冈研究员小组利用微加工实验室的条件**，在硅衬底上的Au薄膜中制备了孔径3微米，周期为5至7微米的圆孔阵列，并成功地单个金属/电介质界面的表面等离子体现象进行了研究，观察到了表面等离子体在亚波长增强透射中高阶的共振峰，并首次观察到了TE模式入射光照射下表面等离子体低阶对称峰随入射角的劈裂现象，得到了表面等离子体在入射光的TE模式和TM模式下的色散关系，证实了在亚波长增强透射中表面等离子体所起的重要作用。该结果发表在**Phys. Rev. Lett. 99(2007) 066805**上。



金属薄膜上周期孔的透射率（理论与实验结构的对比）

具有不同矫顽力的铁磁金属纳米结构中畴壁的散射

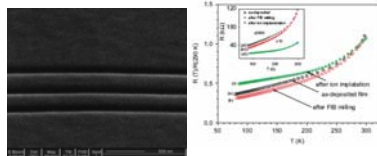
磁畴壁的运动由于在信息存储和处理方面的应用而引起人们的普遍关注。特别是在电流而非磁场下驱动的磁畴壁运动由于具有与目前微电子技术兼容的工艺而引起普遍重视。人们已经证实铁磁金属纳米结构中自旋极化电流具有驱动畴壁运动的能力，但对于具有不同矫顽力的铁磁金属纳米结构钉扎畴壁的能力与电流驱动的特性并没有进行系统的研究。**中科院物理所微加工实验室的徐鹏博士与表面实验室的夏柯研究员合作**，采用**电子束光刻技术**，在室温无磁场条件下，研究了具有不同矫顽力的NiFe合金、Ni、Fe的纳米点接触结构中电子的输运特性，结果表明随着铁磁金属矫顽力的增加，钉扎磁畴的纳米点接触宽度减小，而推动畴壁运动的电流密度增加。该成果发表在**Nanotechnology 18(2007) 295403**上。该工作得到**国家自然科学基金、科学院知识创新工程和国家纳米中心**的资助。



W和U型的刻蚀结构测量结构与形貌

离子束诱导的 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ 人工晶界中增强的非本征磁电阻

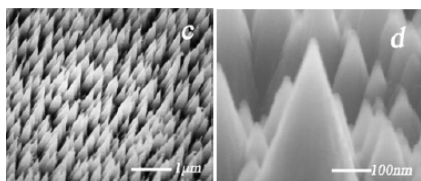
不同磁性氧化物的不同结构所具有的非本征低场磁电阻引起了人们广泛的研究兴趣，对实现高密度信息存储具有重要的应用价值。为获得低场下的高磁电阻，人们建立了各种构筑晶界的方法，但离子注入方法却较少报导。**中科院物理所超导实验室郑东宁研究员小组与微加工实验室合作**，结合**FIB刻蚀和离子注入技术**，发展了一种构筑晶界的新方法。他们利用 LaSrMnO 上的金属铬作为掩膜，刻蚀出70纳米线宽的注入窗口，通过H离子注入，在150K和10K的温度及1T的磁场下获得的磁电阻分别大于为8%和16%。这一简便有效的方法显示了在制作高密度集成器件方面的潜力。该成果发表在**JMMM 316 (2007) L1-L4**上。该工作得到**国家自然科学基金、科技部973项目和国家纳米中心**的资助。



FIB刻蚀的纳米线及电阻与温度的关系

AIN涂层的硅纳米锥阵列的场发射特性

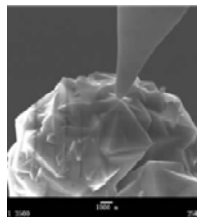
AIN具有宽带隙和负电子亲和势和化学惰性等特性，是理想的场致电子发射材料，而锥形的纳米结构由于高长径比和稳定的力学性能，是理想的场发射结构。结合这两方面的特点，**中国科学院物理研究所微加工实验室的时成瑛等人利用等离子体刻蚀技术**，通过对硅衬底上生长的AIN薄膜的大面积刻蚀，获得了表面AIN涂层的硅纳米锥阵列，对其场发射特性的研究表明，同硅纳米锥阵列相比，这一发射体结构具有明显增强的场发射特性，具有低发射阈值和高发射电流密度的特点，可用于显示器件。该成果发表在**Solid State Phenomena 121-123 (2007) 797**上。该工作得到**科技部973项目和国家纳米中心**的资助。



等离子体刻蚀技术形成的AIN涂层的硅纳米锥阵列

单颗粒CVD金刚石的场发射

金刚石具有优异的理化特性，特别是宽禁带和负电子亲和势使金刚石薄膜可以用作场发射平板显示材料。**青岛海洋大学的元光教授与中科院物理所微加工实验室合作**，利用扫描电子显微镜原位电性测量系统，测试了单颗粒金刚石的I-V和场发射特性，结果表明结晶良好的金刚石的I-V特性服从欧姆定律，而孤立的菜花状金刚石颗粒的I-V特性基本符合Pool-Frenkel输运特性。场发射特性表明，结晶良好的金刚石薄膜基本没有场发射，而孤立的菜花状的金刚石颗粒具有一定的场发射。CVD金刚石的场发射过程中，缺陷对电子的输运起主导作用。这项工作发表在**物理学报 56 (2007)143**上，得到了**科技部973项目**的支持。

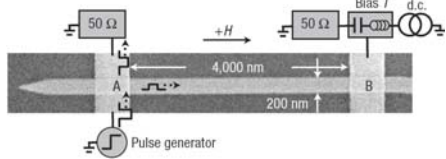


单个CVD金刚石颗粒电输运和场发射测试SEM

国外进展

直接观察磁畴壁在坡墨合金纳米线上的连续传播过程

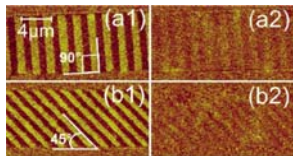
铁磁材料中的畴壁动力学是实现控制畴壁运动，并在磁性电路领域得到应用的关键，人们特别希望在实验上得到畴壁的运动速率、畴壁与电流之间的关系等信息。但由于纳米结构的尺寸远远小于传统磁力显微镜的分辨率，目前的研究手段要用其他方法间接测量。**美国IBM研究中心Masamitsu Hayashi**等人在高阻硅衬底上，利用**电子束光刻**技术制作坡墨合金纳米线，利用超快电脉冲配合高分辨的磁力显微镜，直接观察到了磁畴壁连续传播过程，并测量到了磁畴壁的运动速率等物理信息。该成果发表在**Nature Physics 3 (2006) 21**上。



坡墨合金纳米线的SEM图像及测试系统示意图

人工磁畴壁结构中畴壁磁电阻与畴壁电流夹角的关系

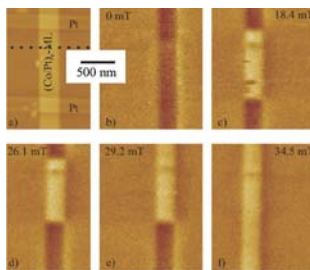
自旋电子学广阔的应用潜力使磁畴壁相关输运现象成为研究的热点，而且畴壁磁电阻的研究可以为探索新型逻辑器件、存储器件等提供理论基础。但是由于畴壁磁电阻的数值很小，而且经常会受到材料本身的缺陷或者外界环境的影响，很难研究畴壁本征的性质。**英国Bath大学A. Aziz**等人在Pt/Co/Pt多层薄膜上，利用**聚焦离子束中的Ga+注入**技术，可以人工控制薄膜中磁畴壁的位置和形状，使用这一结构，他们研究了畴壁磁电阻与畴壁电流夹角之间的关系。该成果发表在**Physical Review Letters 97 (2006) 206602**上。



MFM图像显示由Ga离子注入的沟道形成了畴壁，畴壁方向可以受到外加磁场的调制。

(Co/Pt)₇多层纳米线中单个磁畴壁的磁电阻

有关畴壁磁电阻的由来存在争论，很多理论结果与实验结果都不一致，并且都不能明确验证各自的观点。**德国Duisberg-Essen大学C. Hassel**等人在(Co/Pt)₇多层膜制作的纳米线上利用**聚焦离子束中的Ga+注入**技术，形成一个沟道，用来钉扎住一个单独的磁畴壁，使用这一结构可以完全排除洛伦兹磁电阻和各向异性磁电阻对畴壁磁电阻的影响，实验结果表明单个畴壁的磁电阻为1.8%。该成果发表在**Physical Review Letters 97 (2006) 226805**上。



MFM图像显示由Ga离子注入的沟道处形成了畴壁，畴壁磁场的作用下移动。

悬浮单层石墨片的结构

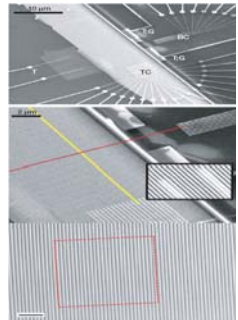
单层石墨片是严格的二维晶体材料，电子平均自由程较长，但是根据理论和实验研究，完美的二维晶体不能以自由态的形式存在。**德国马普学会固态研究所的Jannik C. Meyer**等人通过**电子束曝光和刻蚀**制作了微米尺度的金属支架，并且采用微机械解理的方法将石墨片悬浮于金属微支架上，透射电镜衍射结果直接证实了石墨片是以单层的形式存在。随着入射束倾斜角度增加，衍射峰变宽和模糊，说明单层石墨片应该是以具有皱折的准二维形式存在的。该成果发表在**Nature 446 (2007) 60**上。



悬浮于金属微支架上的单层石墨片

每平方厘米一千亿比特的分子存储元件

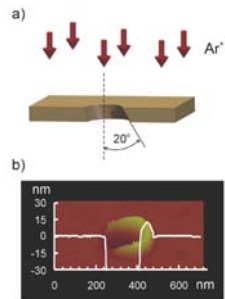
随机存储器的存储密度一直是半导体集成电路领域研究的热点，人们特别希望提高存储密度得到更高容量的存储元件。但由于现在加工技术的局限，要提高目前的存储密度非常困难。**美国Caltech大学Jonathan E. Green**等人在由四硫亚甲环戊二烯组成的高分子材料上，利用**电子束光刻**技术制作了一系列的电极，可以通过电流调制分子团簇的电阻，实现了信息的随机存储。使用这一结构，可以制造出一种**16Kb**的存储器，存储密度达到每平方厘米一千亿比特。该成果发表在**Nature 445 (2007) 414**上。



SEM图像显示由交叉双层结构作为信息存储单元的高密度元件

在离子雕刻纳米孔中形成纳米火山

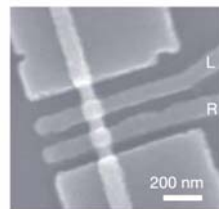
纳米孔在分子电子学和DNA分子排序等方面可能有着重要的应用。直接采用微纳米加工方法刻蚀形成的纳米孔，通常具有相对较大的孔径。**美国哈佛大学的Toshiyuki Mitsui**等人发现**FIB刻蚀**的纳米孔时，孔会收缩，甚至闭合，通过探测透过纳米孔的离子数量反馈控制纳米孔的孔径，在氮化硅薄膜上实现了直径小于2纳米的单个纳米孔。在利用AFM表征纳米孔附近的形貌时，发现伴随着纳米孔的收缩，孔周围形成了火山状的突起。纳米火山的形成与孔的几何形状有关，只在氩离子轰击正面的锐角处形成，另外还跟薄膜背面具有的导电层有关，认为是纳米孔附近的表面电场对火山结构的形成起了重要的作用。该成果发表在**Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 036102**上。



纳米火山只在孔的锐角处形成

量子点中的超导电流反转

对于量子点体系，很多实验研究了其中的库仑阻塞效应。当两个超导体借助一个量子点形成弱连接时，可能是因为缺乏可控的隧穿耦合，还没有观察到约瑟夫森效应。**荷兰代夫理工大学的Jordan A. van Dam**等人用InAs纳米线在Al电极间形成弱连接，并且在InAs纳米线上制作了两个门电极，以形成量子点。由于库仑阻塞，库柏对不能实现共振隧穿，只能通过四级隧穿的方式传输。通过改变门电压，调制量子点的大小，使量子点中增加或减少一个电子时，就可以使超导电流的符号发生反转。该成果发表在**Nature 442 667(2006)**上。



超导Al电极通过量子点耦合形成弱连接