中国科学院物理研究所
微加工实验室

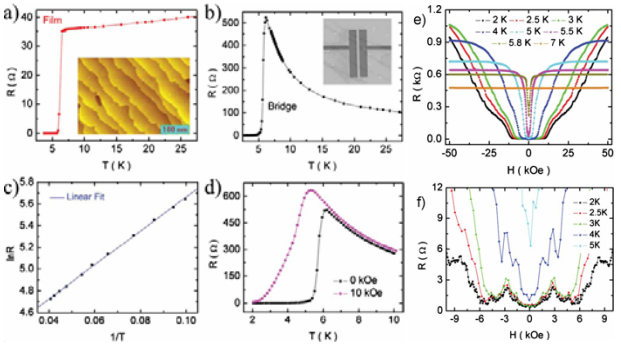
微加工简报

2010年 第3期

国 内 进 展

超薄Pb纳米桥中的半导体-超导转变与磁阻阶梯效应

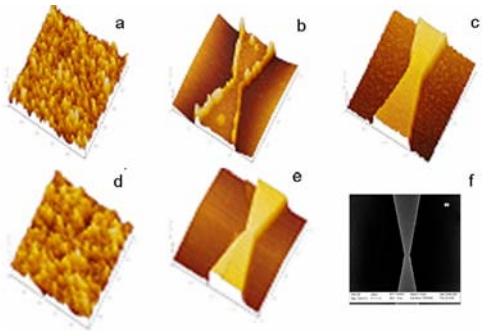
当超导体的尺寸减小到与其超导连续长度相当的尺度范围时，纳米超导体中存在许多新奇的物理现象，如热激发相位滑移、量子相位滑移、超导-绝缘体转变、超导邻近效应、磁阻震荡、量子尺寸效应等。近年来，随着元器件尺寸的不断缩小，超导纳米电路以及低维纳米超导体越来越受关注。采用超导材料与器件制备的电路，其耗散与集成度均可大幅度提高。**北京大学的王建教授与物理所微加工实验室合作**，成功地利用FIB在厚度为28层单原子层的Pb薄膜上制备了宽为500 nm, 长10 μm的纳米桥结构。电学特性测试表明，在远低于其临界磁场的场强下，其超导态具有奇异的电阻震荡现象；在超导转变区，呈现出阶梯效应；在超导转变温度以上，与二维薄膜体不同，一维Pb纳米桥的电阻与温度的相干性具有半导体的特征。该成果发表在**J. Vacc. Sci. Technol. 28(2010)678**上，得到基金委和科技部等的资助。



Pb纳米桥器件结构及其与温度相关的电学与磁学特性

铁磁纳米接触结构的制备

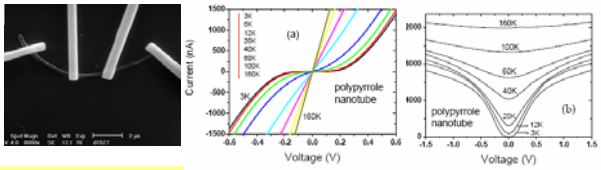
自从自旋极化理论的产生，自旋电子器件引起的诸多领域研究人员广泛的兴趣。研究表明，单个磁畴可以在纳米接触结构的接触处被钉扎，更为有趣的是可以通过极化电流使被钉扎后的磁畴位移。这一物理现象在磁信息存储中应用前景广阔。但磁性纳米接触结构中，金属材料的颗粒度以及纳米线条边缘的平整度是影响纳米结构性能的关键因素。**物理所微加工实验室的张异光与西北大学王凯歌教授课题组合作**，研究了金属薄膜生长方式与加工工艺对接触结构材料的颗粒度、线条的边缘形貌与线宽等的影响，获得了相应的高质量的因瓦、坡莫合金纳米接触的优化制备工艺。**该结果发表在 J. Nanosci. Nanotechnol . 10(2010) 7138** 上，得到国家基金委、陕西基金委及国家纳米科学研究中心的资助。



a、b、c分别为采用磁控溅射生长的的坡莫合金膜及基于此膜采用剥离与刻蚀工艺制备的纳米接触结构的AFM照片;d、e、f为采用热蒸发生长的坡莫合金膜、采用剥离工艺制备的纳米接触结构的AFM及SEM照片.

聚合物纳米线/纳米管单体的电学特性研究

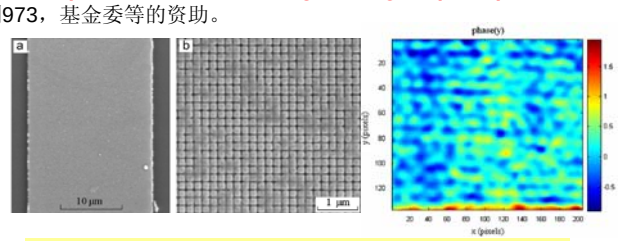
聚3，4－乙烯基二氧噻吩(PEDOT)化学性质稳定，具有高电导率及高空穴注入效率，在场发射、有机场效应晶体管、电铬电致变色显示等领域应用前景较好。**青岛大学的龙云泽教授研究组与物理所微加工实验室等合作**，继PEDOT纳米线与温度相关的电学特性、本征电导及纳米结构对测试结果的影响的研究之后，近期对基于聚焦离子束技术制备的聚合物纳米线/纳米管单体的电学特性进行了更深入系统的研究分析。这项工作作为**Nanowires Science and Technology**一书中的一章发表 (p.223, 2010)上，得到基金委，高校新世界优秀人才计划以及法国Communaute´ urbaine de Nantes的资助。



FIB制备的聚合物纳米线四电极结构及其与温度相关的电学特性

基于FIB与几何相位分析的Cu互连线中的残余应力测试

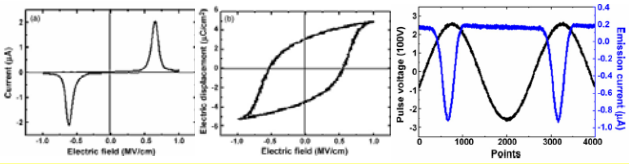
互连线在大规模集成电路，微纳机电系统以及器件的制备中发挥着至关重要的桥梁作用。衬底材料、钝化层以及金属互连线间的热膨胀失配使金属连线中存在机械应力，这一应力是器件与电路电迁移失效的主要因素之一。因此，研究互连线中存在的应力情况，解决互连线的稳定性与可靠性具有重要的意义。**清华大学谢惠民教授研究组与物理所微加工实验合作**发明了一种互连线中残余应力测试的方法。此方法利用聚焦离子束系统，通过铜互连线网栅结构的制备，狭槽刻蚀与图像获取相结合，并采用几何相位分析测量应力释放时与狭槽垂直的形变场，然后通过有限元方法来解析互连线中的残余应力。该结果发表在 **Optics and Lasers in Engineering 48 (2010) 1113** 上，得到973，基金委等的资助。



器件与网栅结构的SEM照片以及沿Y方向的应变相位图

铁电共聚物中的低压脉冲电子发射特性

共聚物P(VDF-TrFE)具有优越的铁电与压电性质,在转换,传感与驱动器件制备方面具有潜在的应用。**物理所微加工实验室的李俊杰等**，采用旋转敷涂的方法制备了P(VDF-TrFE)薄膜并系统的分析了材料在低压脉冲激励下的D-E, I-E特性。获得了高达1.3μA的峰值发射电流。发现与传统的铁电聚合物电子发射不同，此材料的电子发射仅在正偏压的情况下发生。这一现象被认为与非晶相电子捕获过程相关。这项工作发表在**Applied Surface Science 256 (2010) 6433** 上，得到国家基金委以及SRF for ROCS, SEM资助。

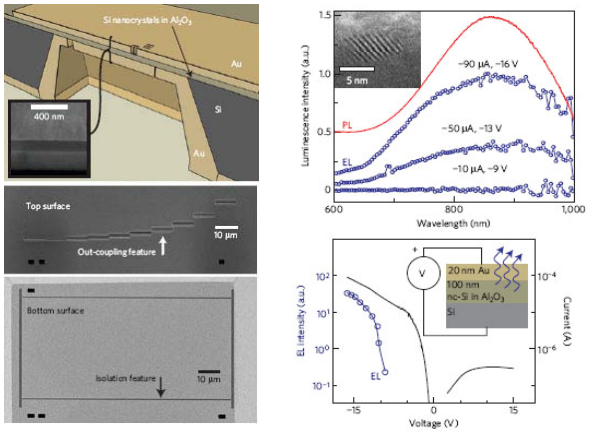


P(VDF-TrFE)薄膜I-E, D-E以及正弦波脉冲电压激励的电子发射特性

国 外 进 展

硅基表面等离激元源

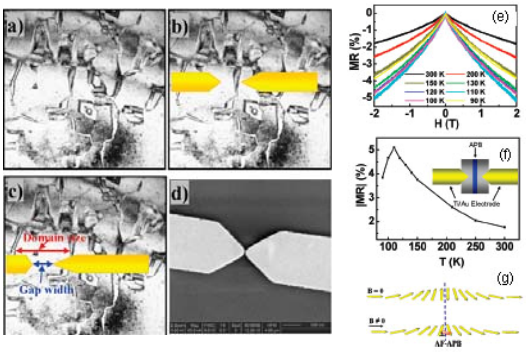
过去的数十年中，硅基微电子技术的发展遵循着Moore定律，为实现电子芯片的集成密度飞速增长，硅基技术目前已经进入到纳米量级，但光学集成器件却仍然停留在微米尺度。这种尺度失配对未来的CMOS光电集成技术的实现构成了巨大的挑战。利用在金属/介质界面上电磁波的一种特殊传播模式—表面等离激元（SPP）而实现的光学系统有可能解决这一问题，这种光学系统能够限制并控制光在低于100nm的尺度内传播。近日，荷兰FOM Institute for Atomic and Molecular Physics的R. J. Walters等人利用了紫外光刻、化学腐蚀ALD以及LPCVD等方法，在能与CMOS后端工艺兼容的较低温度下实现了一种硅基表面等离激元源，在该器件中，光学厚度的金包裹着包含硅纳米晶的氧化铝绝缘层，在足够的电压下，包裹的量子点被隧穿电子激发，但绝缘层厚度太窄而不足以支持光学传播模式，因此量子点辐射只能直接通过近场耦合到SPP模式，从而形成一种SPP源。这项工作发表在**Nature Materials 9 (2010) 29**上。



硅纳米晶SPP源器件结构示意图，扫描电镜照片以及物理特性

基于纳米间隙接触的单个反铁磁性反相边界和单磁畴探测

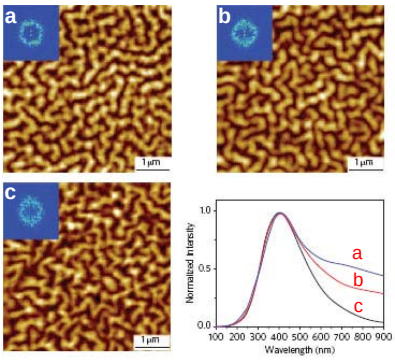
Fe_3O_4 优越的电学与磁学性质使之在自旋器件上应用前景广阔。爱尔兰都柏林大学的H. Wu 等人利用电子束曝光技术制作了纳米间隙接触来研究Fe_3O_4纳米薄膜中的单个反铁磁反相边界和单个磁畴的输运特性。实验发现，和单个磁畴相比，单个反铁磁反相边界具有更高的电阻率、更大的磁致电阻效应和更高的饱和磁场。作者还发现单个反铁磁反相边界的磁致电阻曲线的形状不随温度发生变化，而单个磁畴的磁致电阻曲线的形状却依赖于温度。作者认为这些现象是反相边界使活化能增加并且破坏了单个磁畴的电荷长程序的结果。该文章发表在**Nano Lett. 10（2010）1132**上。



Fe_3O_4薄膜的TEM图像(a)，单个反铁磁反相边界(b)和单个磁畴(c)探测的纳米间隙接触示意图，纳米间隙接触SEM图像(d)以及 测试到的与温度相关的磁学性质(e)-(g)

OLED中基于自发金属褶皱结构的光萃取增强效应

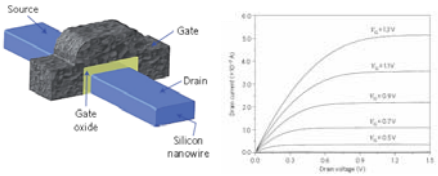
传统的OLED中，绝大部分的光都被限制在了高折射率层中，因此其发光效率极低，往往被限制在20%以下。许多研究人员利用波长尺度的周期光栅来增强其发光的外效率，但这种效率增强仅仅出现在部分满足Bragg衍射条件的波长范围。最近，日本东京技术研究所的Won Hoe Koo等人证明：利用一种准周期的皱褶结构，对于宽频谱分布以及自由方向都能够增强，且不引起光谱频移及定向发光等效应。EL谱表明，这种结构使OLED在全发光频域都有着近两倍以上的增强。这种褶皱图形是利用沉积金属薄膜的弹性材料自发形成的或在相对应的模版上压印而成的。这种发光效率的增强方式在全色彩及白光OLED的制备上有着现实可行且极具吸引力的应用。该工作发表在**NATURE Photonics 4 (2010) 222**上。



与Al金属厚度相关的褶皱结构的AFM照片以及对应的光响应谱(a,b,c 分别为蒸发10nm 厚的Al一次，两次，三次形成的褶皱结构).

无结型纳米线晶体管

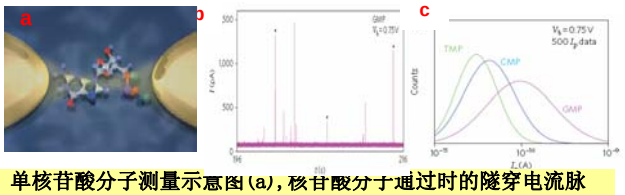
传统意义上的晶体管都是基于掺杂的半导体结型器件来完成其功能的，但是当器件尺寸达到纳米量级时，受到技术的限制,在如此小的范围内掺杂并形成极高的掺杂浓度梯度几乎是不可能的。科克大学延德尔国家研究所的J.Colinge等人制备出了一种新型的无结型的Si纳米线晶体管，测试结果显示该纳米线电流开关比远远大于10e6，阈值斜率达到60mV/dec，在电流-电压、输出特性等方面均显示了远优于金属-氧化物-半导体场效应管的优异性能，该成果发表在**Nature Nanotechnology 5 (2010) 225**上 。



n 型纳米线晶体管结构示意图及输出特性曲线

利用隧道电流识别单个核苷酸

近些年来，世界各国研究小组从理论上提出了一种新的DNA测序模型：利用横向电子输运，即隧穿电流来检测和识别单个核苷酸分子。日本大阪大学的科学与工业研究所的Tomoji Kawai等人利用核苷酸分子穿过间距大约为1nm的两块Au电极时，相互耦合产生的隧穿电流来检测核苷酸的通过，并通过隧穿电流峰值的统计高斯分布的不同来判断不同的碱基，从而识别单个核苷酸。该成果发表在**Nature Nanotechnology 4(2010) 286** 上。



单核苷酸分子测量示意图(a)，核苷酸分子通过时的隧穿电流脉冲信号(b) 以及基于高斯分布的对不同核苷酸分子的识别（c）