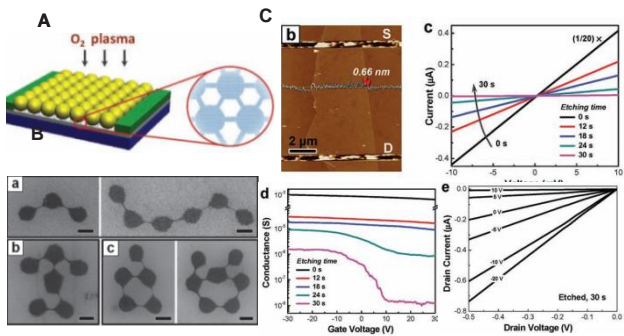


## 国内进展

### 石墨烯纳米带的纳米球刻蚀制备与带隙调控

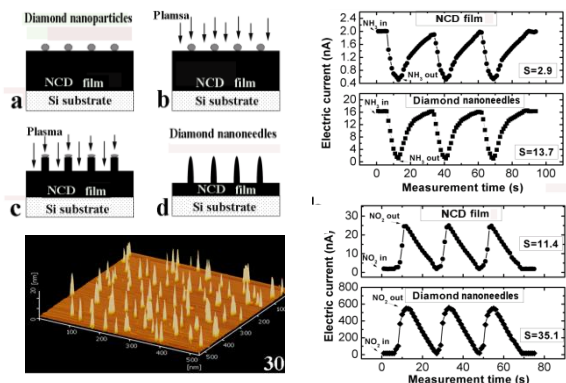
石墨烯具有超高的室温载流子迁移率与可剪裁加工的特性，是未来纳米电子学器件的重要材料。但其二维结构材料体中带隙为零，制备的场效应晶体管难以实现开关特性。**中科院物理所SF1组的刘磊等与物理所微加工实验室合作**，发展出一种基于纳米球刻蚀制备超细石墨烯纳米带的新方法。他们在NSL法刻蚀裁剪石墨烯的过程中，利用胶体微球空隙中氧等离子体束流的局域各向异性分布，通过系统研究刻蚀工艺与参数，获得了高各向异性的准一维超细纳米带结构。该方法除了能够制备大面积互连的石墨烯纳米带有序阵列之外，还可以通过控制胶体微球的受限自组装，在基片特定位置上制备出不同几何构型的石墨烯纳米带互连结构，展现出了丰富的可调性与良好的可控性。研究表明该方法在石墨烯电子器件研究中具有潜在的应用价值。该工作发表在**Adv. Mater. 23 (2011) 1246**上，得到国家自然科学基金委、科技部与中科院的资助。



纳米球刻蚀示意图 (A)，制备的GNR的SEM 照片 (B) 及电学特性 (C)

### 金刚石纳米针阵列及其气敏特性研究

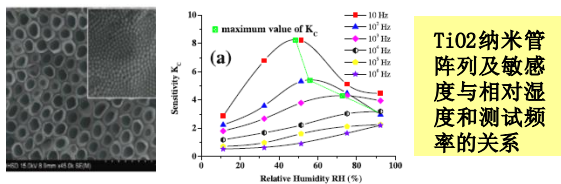
金刚石材料具有优越的机械、电学（低漏电与宽带隙）、热学、稳定的化学性质以及生物兼容性，在化学传感领域备受关注。现有的研究表明，基于金刚石薄膜的气体传感器的灵敏度还亟待提高。鉴于此，**中科院物理所微加工实验室的路超等人**，通过纳米金刚石薄膜材料的生长-纳米颗粒掩模分散-反应离子刻蚀等工艺制备了金刚石纳米针阵列，对氧化性与还原性气体的传感特性测试结果表明：由金刚石纳米针几何结构决定的高比表面积以及针尖效应，明显提高了灵敏度与响应速度。这项工作发表在**Microelectronic Engineering (in press)**上，得到国家自然科学基金委与科学院知识创新工程项目的资助。



金刚石纳米针制备流程、AFM图及其氧化与还原性气敏特性

### 掺氮氧化钛纳米管薄膜湿敏传感器的阻抗与容抗响应特性研究

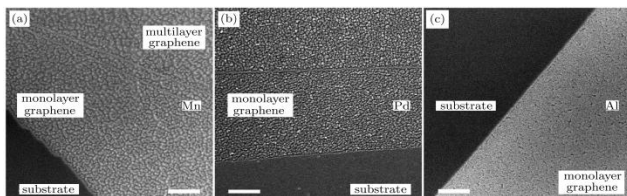
环境湿度测量与控制对人体舒适度调整以及高质量工业化生产中均很重要。怎样制备在高湿度环境中仍具有高灵敏度与响应速度、具有快速恢复能力与热稳定性的湿敏传感器，需要研究新的材料与器件物理。**哈尔滨工业大学的王强等与中科院物理所微加工实验室合作**，采用阳极氧化铝模板制备了TiO<sub>2</sub>纳米管阵列薄膜湿敏传感器，系统的研究了与工作频率和温度相关的器件的阻抗与容抗响应特性。制备的器件可在11.3–93.6%的湿度环境下工作并具有较好的热稳定性。该结果发表在**Nanotechnology 22 (2011) 025501**上，得到国家自然科学基金委与哈尔滨工业大学等的资助。



TiO<sub>2</sub>纳米管阵列及灵敏度与相对湿度和测试频率的关系

### 石墨与石墨烯边缘铁磁与顺磁原子的集聚

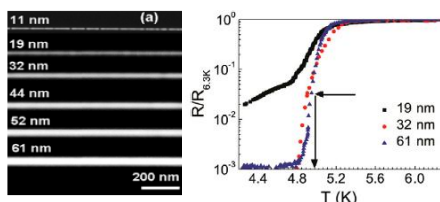
与铁磁材料中存在的特征3d/4f电子相反，石墨及其它碳基材料中只有s/p电子，因此，通常认为这些材料是抗铁磁材料。实验上报道的在石墨及其它碳基材料中观察到的铁磁现象激起了这一领域广泛的研究兴趣。**国家纳米中心孙连峰研究员与中科院物理所微加工实验室合作**，研究了石墨与石墨烯边界处铁磁、顺磁与抗铁磁原子的排布以及磁场对原子分布与表面形貌的影响，发现在边界处存在的铁磁、顺磁原子的集聚与磁场效应，为碳基磁性材料与自旋器件的研究提供了新的方向。该结果发表在**Chin. Phys. B 20 (2011) 026803**上。



石墨烯边沿或层间台阶处Mn (a), Pd (b), Al (c) 纳米线SEM照片

### 基于聚焦离子束直写技术的钨纳米线的制备及超导特性研究

纳米超导体中存在许多新奇的物理现象，如热激发相位滑移与量子相位滑移。在相位滑移过程中，超导相位在滑移点改变 $2\pi$ 产生的多个脉冲电压形成可探测的阻抗电压。探测纳米超导体中这种现象的手段之一是研究其超导临界转变温度附近及更低温度下的R-T以及I-V变化规律。**中科院物理所微加工实验室李无瑕与英国伦敦纳米中心的Paul Warburton 课题组合作**，采用低束流聚焦离子束沉积制备了最小厚度约10nm，宽19nm的超导钨纳米线族，研究了与尺寸相关的超导特性，并在最小尺寸的纳米线中观测到了相位滑移过程，为纳米材料中超导量子现象研究以及脱离掩模版的超导器件的直写制备提供了实验基础。该结果发表在**Microelectronic Engineering (in press)**上，得到国家自然科学基金委与国家留学回国基金等的资助。

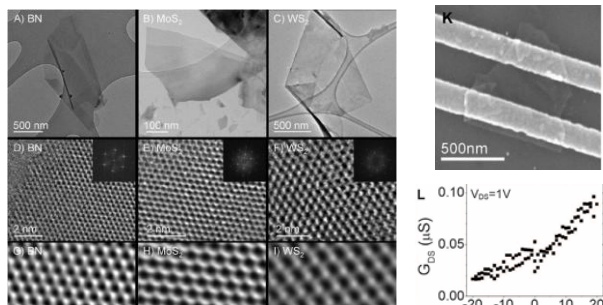


钨纳米线族、与尺寸相关的超导物性及可能的量子相位滑移现象

# 国外进展

## 液相中层层剥离层状材料获得二维纳米片

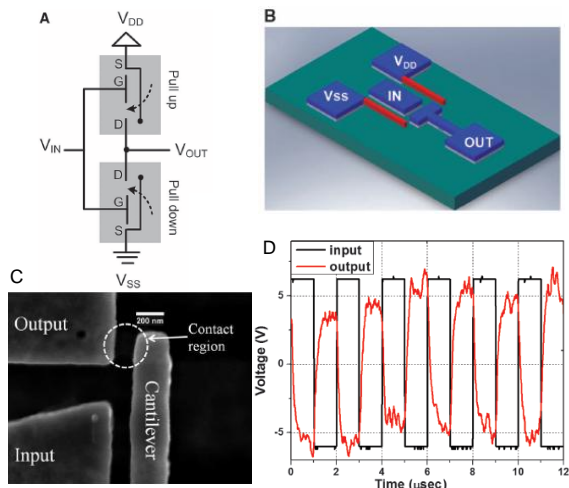
过渡金属二硫化物、氧化物、六方氮化硼、碲化铋和硒化铋等层状化合物具有奇异的电学性质，可作为拓扑绝缘体和热电材料。但是，目前缺乏一种简易的从层状化合物制备大量单层薄片的方法。**都柏林圣三一学院的J. N. Coleman**等人利用能降低层状化合物表面能的通用溶剂，实现了对大块层状化合物晶体的层层剥离，且这种方法对空气和水不敏感。他们进一步将石墨烯或碳纳米管与单片进行杂化获得复合材料，在不降低塞贝克系数的情况下使直流电提高了10个数量级。该技术是一种具有光明前景的纳米材料制备技术。该成果发表在**Science 331 (2010) 568**上。



单层薄片的透射电镜照片，器件结构的SEM照片与电学特性

## SiC高温全机械反相器

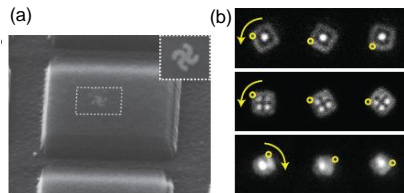
具有高温下稳定工作能力的逻辑电路能解决目前电子器件中昂贵的热沉与热控制问题，在空间推进系统、深井钻探、地质探测等工作温度范围为300-600°C的领域具有广泛的应用与迫切的需求。传统的金属氧化物半导体器件中，在高温下热激发的本征载流子数目会超过掺杂的载流子数，造成严重的p-n结以及热电离漏电，致使器件失效。**美国凯斯西储大学的T. Lee**等使用具有高温稳定性的宽带隙SiC材料，制备了可在500°C高温工作的纳机电系统（NEMS）。采用互补形CMOS电路形式，实现了全机械反相器逻辑。测试表明，反相器工作电压为±6V，工作频率为500kHz；在25°C与500°C的温度下，可分别进行大于21亿次与2亿次的可靠的开关计算；截止态时的漏电低于10fA，具有比目前的高温器件大为缩小的器件面积、工作电压与静态功耗。通过进一步缩小器件结构，可提高器件的工作频率，降低工作电压，获得大致零静态功耗、微波段用的具有高可靠的热学、化学以及机械性能稳定的SiC全机械高温逻辑器件。该成果发表在**Science 329 (2010) 1316**上。



SiC反相器示意图(A)，版图(B)，纳米机电系统器件结构的SEM照片(C)以及反相器的输入-输出特性(D)

## 光驱动的纳米尺度等离激元马达

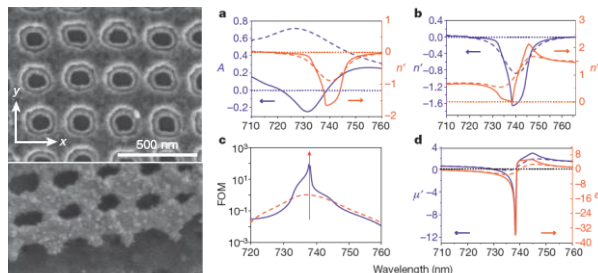
在纳米尺度产生光矩具有很多潜在的应用，但由于光和物质弱的相互作用，从而要产生可用的力矩则需要微米甚至毫米尺度的马达才能实现，同时需要特殊极化的光产生光角动量。最近**美国加利福尼亚大学的X.Zhang**等人利用电子束曝光、镀膜及刻蚀工艺制备了纳米尺度的万字符等离激元结构，并实现了光驱动的纳米马达，该马达在线性极化光的辐照下，能够使相当于该马达尺度4000倍的氧化硅微盘转动，并且转动的方向和速度可以通过调整入射光的波长来实现。该成果发表在**Nature Nanotechnology 5 (2010) 570**上。



纳米等离激元马达及氧化硅微盘SEM照片(a)，氧化硅微盘在光辐照下旋转的暗场显微镜照片(b)

## 无损有源光学负折射人工超材料

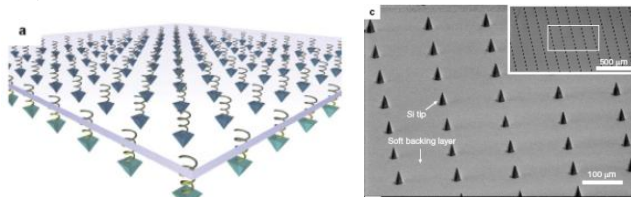
具有负折射的人工超材料具有许多潜在的应用和研究意义，成为近些年研究的热点，然而由于金属内在强的能量耗散，特别是在近红外和可见光波段，从而大大限制了该材料的实际应用。通过结构的设计减小这种损耗基本上难以实现，另一种方法便是在负折射材料中引入增益介质。最近，**普渡大学Shumin Xiao**等人利用电子束曝光及镀膜剥离工艺实现了具有负折射率的渔网结构，然后利用湿法腐蚀方法对中间的介质层进行腐蚀并将增益介质填充在渔网结构的内部，通过泵浦探测，该人工超材料的品质因子大大提高，同时在一定的波长范围内光吸收为负，在提高品质因子的同时，其负折射特性也得到了较大的提高。光该成果发表在**Nature 466 (2010) 735**上。



填充增益介质渔网结构SEM照片及其与波长相关的光学特性

## 硬针尖、软弹簧光刻

扫描探针光刻（SPL）技术与设备由于价格低且分辨率高而受到追捧，但要想提高其产量而不失分辨率却很有挑战。**美国西北大学的Wooyoung Shim**等人设计了一个可以商业化生产的低成本扫描探针光刻方法。该方法把Si的硬针尖阵列结构安装在一种弹性聚合物衬垫上，解决了SPM系统悬臂梁量产难和软压时分辨率低的问题，实现了高分辨率量产。该技术可以在几厘米范围内制备出分辨率优于50nm的任意图形，这给纳米制造领域人员提供了更多的选择方法。该成果发表在**Nature 469 (2011) 516**上。



硬针尖软弹簧印刷技术的模型及制备的Si针尖纳米图形阵列