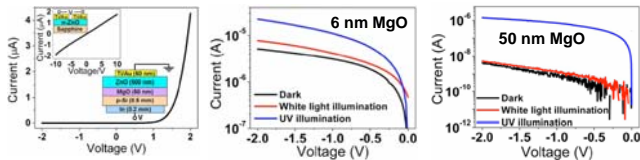


国内进展

n-ZnO/i-MgO/p-Si 双异质结可见盲紫外探测器

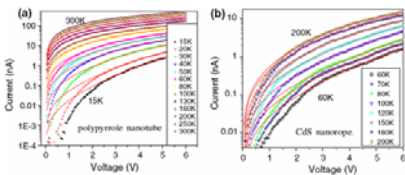
ZnO是第三代半导体的核心基础材料，其优越的光电性能使之在光电器件中应用价值巨大。研制可在可见光环境中工作的紫外探测器是目前此领域研究的重点。**中科院物理所表面室杜小龙研究员小组与微加工实验室合作**，成功设计并用分子束外延技术生长了高质量的n-ZnO/i-MgO/p-Si双异质结，研制出基于此材料的可见盲紫外探测器。在此p-i-n结构中，可见光透过n-ZnO薄层被p-Si中的耗尽层吸收后产生的光生电子-空穴对中的电子，在内建电场作用下向n-ZnO区运动时无法跨越p-Si/i-MgO界面的高电子势垒(3.2V)，随即与空穴复合而阻止后继光生过程的发生，使器件对可见光没有响应。相反，紫外光能在n-ZnO层中全部被吸收，由于空穴势垒较低(0.83V)，大部分空穴能跨越n-ZnO/i-MgO界面，产生可观的光生电流。该研究还发现，较厚的MgO层是此结构能实现可见盲紫外探测性能的关键。该成果发表在**Appl. Phys. Lett.** 94 (2009) 113508上，得到基金委和科技部的资助。



可见盲紫外探测器I-V特性及绝缘层厚度对器件光响应的影响

准一维非均匀体系的I-V特性

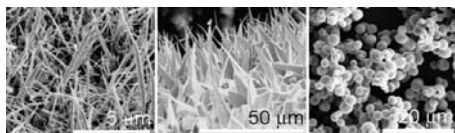
化学掺杂的准一维聚合物的结构独特，即在聚合物链中有些区域结构有序，有些却无序。这一复杂的结构通常被看作是导电区域被小部分绝缘阻挡层所分开。**Kaiser**等提出用基于涨落诱发的逐穿与热激发模型表达式来描述这类材料与温度和场相关的非线性电学特性。**青岛大学的龙云泽教授与中科院物理所微加工实验室合作**，研究了多种掺杂聚合物纳米纤维及螺旋型CdS纳米带的I-V特性，证实了在不太低的温度下Kaiser表达式的有效性。同时发现在低温低场下，实验结果与模拟结果存在偏移。他们认为其主要原因可能是在基于涨落诱发的逐穿理论中，导带电子被认为是可以自由运动的，即忽略了电子之间的相互作用；而在强局域化体系中，电子与电子的相互作用会在费米能级附近产生DOS耗因而影响材料的输运特性。这项工作发表在**Nanoscale Res. Lett.** 4 (2009) 63上，得到基金委和高校新世纪优秀人才培养计划的资助。



掺杂聚合物纳米纤维的I-V (log-linear plot)特性

表面形貌对ZnO纳米结构的场发射特性的影响

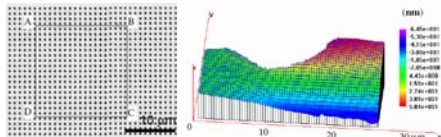
ZnO是很好的场发射材料，具有较好的机械稳定性及在真空环境下负的电子亲和力。其纳米结构的场发射特性的报道较多，但表面形貌对场发射特性的具体影响的研究仍鲜少。**中科院物理所微加工实验室的金红博士等**，采用热蒸发技术，获得了控制ZnO材料纳米结构的简易可靠的方法；通过直接对具有不同表面形貌的纳米结构的场发射特性测试、比较与分析，发现ZnO纳米线结构由于具有较高的场增强因子与发射点密度，比纳米锥及纳米球结构具有更好的场发射性能。这项工作发表在**Microelectronic Engineering** 86 (2009) 1159上，得到基金委的资助。



不同表面形貌的ZnO纳米结构

数字几何相位技术用于MEMS器件形变测量

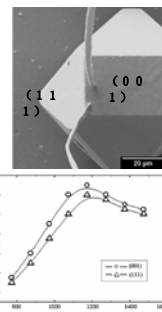
MEMS器件结构形变的定量表征对器件设计与功能的优化极为重要。最近发展的数字几何相位技术利用规则的原子晶体点阵作为位移与形变信息的载体，达到了亚纳米级的灵敏度与空间分辨率。然而MEMS器件所用材料一般不具有自然的晶体点阵结构。**清华大学的谢惠民教授与中科院物理所微加工实验室合作**，利用FIB技术在MEMS器件表面加工了人工点阵。此技术利用SEM来收集MEMS器件移动或形变时表面人工点阵的背散射电子或二次电子图像；由于SEM图像具有高的分辨率与表面形貌灵敏度，面内纳米尺度的位移可以通过收集图像的FFT或IFFT变换所得的相位信息得到。研究表明，此技术可有效的测量MEMS器件的形变并对其黏附力进行表征。该结果发表在**J. Micromech. Microeng.** 19 (2009) 015012上，得到973和基金委的资助。



MEMS表面的人工点阵结构及形变场分布图

氢化金刚石单晶表面的局部电特性

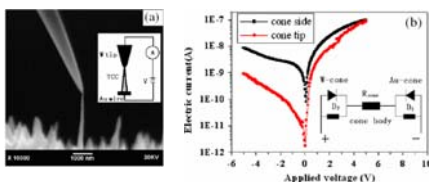
替位式N中心是高温高压(HPHT)金刚石薄膜中的主要杂质来源，然而，它对表面电导的影响仍有争议。同时，人们对HPHT金刚石的氢化机制及其对表面电导的影响的认识还不完整。鉴于此，**中科院物理所微加工实验室的李云龙博士等**，采用双探针扫描电镜测量技术，通过对HPHT金刚石单晶的表面电导的测试，发现表面电导率随氢化时间的增加、气压和温度的上升而增大直至饱和。研究分析表明，长时间高压氢化过程使金刚石表面重新生长了薄层外延薄层；同时，(001)晶面较高的表面电导是由其比(111)面较少的N中心浓度所致；另外，薄膜表面水分子的氢还原反应模型更适用来解释氢化金刚石表面的电子转移过程。这项工作发表在**Vacuum** 83 (2009) 1118上，得到863、基金委和科学院的资助。



双探针测量及氢化温度对表面电导的影响

管状碳纳米锥的石墨层间的金属性电输运

碳纳米管独特的结构和电学性质使其成为近期的研究热点。然而直接测量不同石墨层内与层间的电性质具有技术难度。管状碳纳米锥(TCC)的石墨层排列成鲑鱼骨骺状结构，是石墨层层内与层间的电输运测量的理想实验模型。**哈尔滨工业大学的王强博士与中科院物理所微加工实验室合作**，借助双探针SEM测量技术，形成了W-TCC-Au双二极管结构。对W-TCC-Au的输运特性研究发现其正向电流随温度的升高而上升，反向电流与温度无关；同时由于反偏W-TCC结较高的电阻，升温时锥体的电阻下降对透穿W-TCC的势垒没有影响；反向偏压时，对于W探针与TCC顶部形成的结，其电输运遵循逐穿机制，而对于底部的TCC-Au结，热电子发射与逐穿机制对高阻特性同时起作用。这些结果表明TCC石墨层间的输运具有金属性。该结果发表在**Nanotechnology** 20 (2009) 145201上。

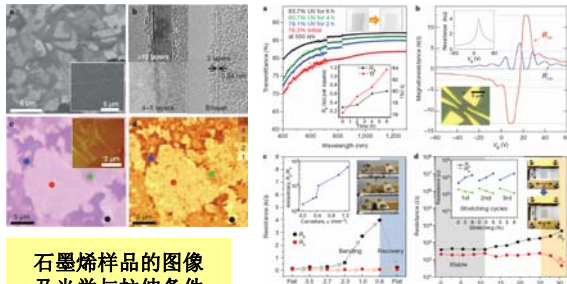


W-TCC-Au接触与I-V特性曲线

国外进展

大规模制备可用作延展、透明电极的石墨烯

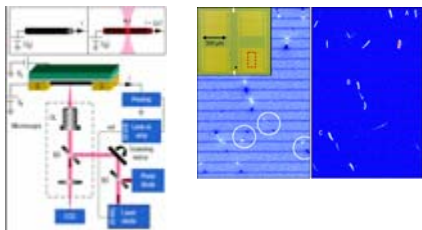
石墨烯具有很多特殊的物理特性，应用前景广阔。但阻碍该材料作为器件应用的一个主要问题是如何大规模的制备高质量的石墨烯材料。**韩国成均馆大学的K. S. Kim**等人利用CVD方法，优化生长工艺，在镍薄膜上成功制备了厘米尺度的石墨烯膜，并通过湿法和干法将其转移到了其它衬底上，得到了高晶体质量的石墨烯。该方法制备的石墨烯具有高度光透射率(>80%)、高电导率及高机械强度，薄膜电阻约为280欧姆/平方。在预拉伸的PDMS衬底上，高达25%的拉伸情况下，电阻基本保持不变。因此，利用该方法制备的石墨烯可用来制造具有优异机械和电学稳定性的可延展的透明电极。该成果发表在 *Nature* 457 (2009) 706上。



石墨烯样品的图像及光学与拉伸条件下的电学性质

用光热电流显微镜对碳纳米管逐个进行电导成像

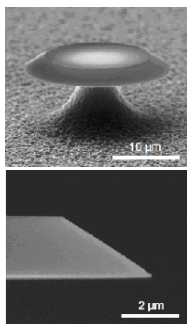
纳米碳管非凡的光学和电学性能使其成为器件研究的新锐。最近发现，纳米管的电导性能在光加热情况下显著降低。**美国康奈尔大学的A. W. Tseng**等人揭示了这种电导的降低与纳米管原始的导电情况相关，并用这种效应发展了一个新的纳米管电表征工具。他们通过激光在器件表面扫描的同时测量电流，构筑了单根或多根纳米管晶体管的电导空间分布图。此研究结果使光热电流显微镜成为研究碳纳米管和其他一维纳米材料表征技术的重要辅助技术。该成果发表在 *Nature nanotechnology* 4(2009)108上。



测量方法示意图与多根纳米管光热电流显示

高品质因数的SPP耳语廊微腔

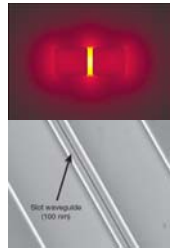
存在于金属与介质交界面的电子密度波-表面极化等离子激元(SPPs)可以在亚波长尺度调制光子，特别是等离子激元共振腔的研究对未来相关的超小体积器件的开发有着重要意义。但之前的等离子激元共振腔品质因数(Q值)通常都在100以下，远低于理论上可能获得的Q值。近日，**美国加州技术研究所的Bumki Min**等人利用光刻和缓冲氧气蚀刻以及湿法腐蚀等方法，制备出一种在表面覆盖了金属银层的耳语廊结构的SPP微腔，这种结构的微腔在特定波长具有高达 1376 ± 65 的Q值。这种新结构的SPP微腔的Q值虽然还小于光子晶体或介质微腔，但为新的等离子激元微腔器件的开发提供了基础。这项工作发表在 *Nature* 457 (2009) 455上。



耳语廊结构的表面等离子激元微腔

在亚波长狭缝波导中对纳米颗粒与生物分子进行光操纵

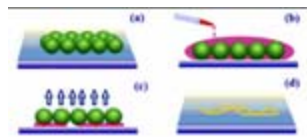
对微观物质精确操控的能力是当前纳米系统发展的关键。光镊对于数微米至百纳米尺度的微观物质是一种非常有力的操作工具。但是由于衍射极限的限制，对于百纳米以下的微观物质很难进行光操纵。最近，**美国康乃尔大学的A. H. J. Yang**等人利用EBL制备出一系列80-120纳米宽亚波长尺寸的狭缝波导，成功地对100纳米以下的纳米颗粒以及生物DNA分子实现了光操纵，利用这一器件可以自如地“抓住”或“释放”狭缝相应位置的纳米颗粒。这项工作发表在 *Nature* 457 (2009) 71上。



亚波长狭缝波导

金纳米颗粒通过干燥液桥组装形成微线网络

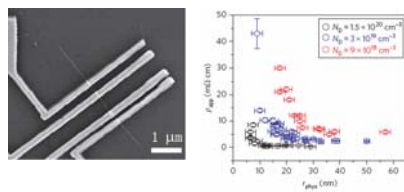
基于颗粒阵列模版的微纳图形化方法在基础研究和工业应用方面都有重要意义。目前的光学光刻和纳米压印等方法在制作纳米尺度的图形方面已经取得了很好的成果，但是它们通常需要复杂昂贵的设备，工艺步骤也很多。**日本京都大学的Ivan U. Vakarelski**等人提出了一种简单的“drying lithography”方法，利用聚苯乙烯颗粒排成二维晶体模版，含有金纳米颗粒的悬浮液在晶体间隙中形成连接的液桥网络，通过干燥液桥将金纳米颗粒组装成为微线网络。在该方法中，往悬浮液中添加表面活性剂是形成稳定液桥的关键，控制较低的蒸发温度才能利于金纳米颗粒有足够的时间扩散。这一简单廉价的方法可以用于制作透明导电层，也可用于制作半导体、磁性、聚合物分子等功能网络。该成果发表在 *Phys. Rev. Lett.* 102, 058303 (2009)上。



通过干燥液桥组装金属网络的过程示意图

硅纳米结构中的施主杂质失活作用

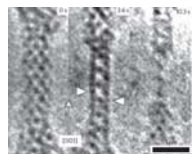
在大部分半导体器件中，自由载流子浓度是由掺杂原子来控制的。众多新型半导体器件的成功应用，决定于施主半导体中激活杂质原子的位置和数量的精确控制。**瑞士苏黎世研究实验室Mikael T. Bjork**等人通过实验观察到纳米线的电阻率随着其半径的缩小而增加，并提出一个模型，证实产生这种现象的原因是纳米线的中心与周围环境的介电失配而引起的施主电离能的增加，从而导致载流子密度急剧下降，造成施主杂质原子失活。该成果发表在 *Nature Nanotechnology* 4 (2009) 103上。



硅纳米结构及与纳米线直径相关的掺杂失活特性

具有方形截面的最小金属纳米管

纳米结构和宏观物质中的原子排列不同，主要由于表面能的作用，施加在纳米结构上的机械力使原子或电子内部发生相互作用，从而使原子排列发生惊人的变化。**巴西的坎皮纳斯州立大学的国家实验室D. Ugarte**等人利用STM针尖接触拉伸银纳米线，改变银原子的位置，形成了具有方形截面的直径不足1nm的银纳米管。并从理论对实验结果加以证明，分子模拟计算表明中空的纳米管的形成是因为这种结构使得表面能量最小，该成果发表在 *Nature Nanotechnology* 3 (2009) 144上。



沿[001]晶向拉伸的银纳米管