中国科学院物理研究所
微加工实验室

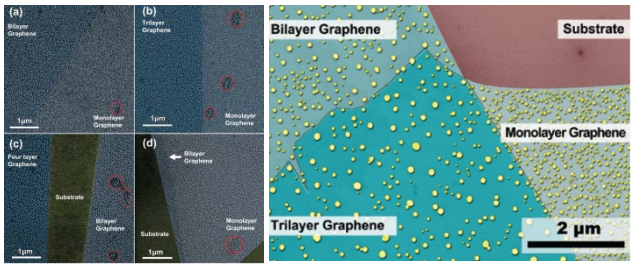
微加工简报

2010年 第1期

国 内 进 展

石墨烯层数对其表面上金的形貌的影响

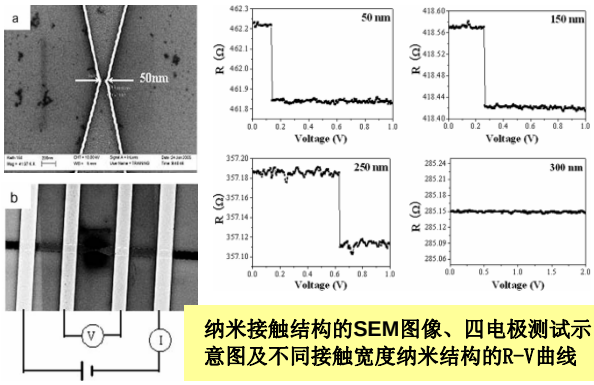
自2004年发现以来，多层石墨烯吸引了广泛的研究兴趣。其结构独特，物性新奇并且强烈的依赖其层数。**国家纳米科学中心孙连峰研究员与中科院物理所微加工实验室合作**，在具有不同层数的石墨烯表面蒸发了金薄膜，研究了金与衬底间的相互作用与石墨烯层数间的关系。借助扫描电子显微技术，研究了这种相互作用的差别。发现蒸发在石墨烯表面的金的表面形貌随石墨烯的层数变化，原因在于:一方面,因层数引起的石墨烯表面自由能的差异使蒸发的金与衬底间的作用与层数密切相关；另一方，层数的差异会使表面扩散系数不同，而扩散系数决定了沉积的金原子在成核，生长以及形成的“岛”的密度之间的竞争结果。他们还发现，不同层数数目的石墨烯上金表面形貌的差别通过退火处理可表现得更明显；利用其他金属可得到相似的结果，证实了这一现象的普遍性，表明SEM可用于石墨烯的层数鉴别。该技术工作效率远远优于AFM，空间分辨率优于拉曼光谱学。该成果发表在 **J. AM. CHEM. SOC. 944(2010) 132**上，得到基金委和科技部的资助。



沉积在n层石墨烯表面的金及其热退火处理后的的表面形貌

铁磁金属纳米接触的制备与输运特性

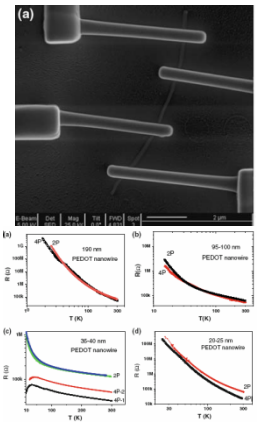
当铁磁材料纳米接触结构的宽度小于一定值时，具有磁畴钉扎效应，并且可通过外场或极化电流对磁畴进行操纵，产生磁畴磁阻(DWMR)。这一物理现象在纳米器件中应用前景广阔，如磁逻辑门。**中科院物理所微加工实验室的顾长志研究员等人**采用电子束相关工艺制备了livar合金纳米接触结构，发现当纳米接触的宽度小于300nm时，磁畴可以在纳米接触处钉扎并可通过极化电流使其位移、从而引起纳米接触的电阻变化，即形成DWMR。DWMR随着接触宽度的增加而降低，但临界电流密度为一常数。他们还发现，在具有不同宽度的多个纳米接触的串行结构中，可通过增加极化电流依次使磁畴移动；然而对于具有相同宽度的多个接触的串行结构，磁畴则是同时被推走的，因而可获得较大的DWMR。表明铁磁纳米结构中通过极化电流对磁畴运动的控制可用于磁逻辑门。**该结果发表在Microelectronic Engineering 87(2010)1603**上，得到基金委的资助。



纳米接触结构的SEM图像、四电极测试示意图及不同接触宽度纳米结构的R-V曲线

单根聚合物纳米线两端与四端电导特性

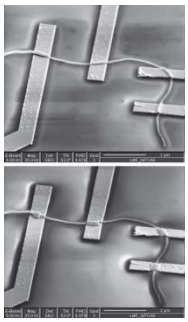
聚3，4－乙烯基二氧噻吩(PEDOT)化学性质稳定，具有高电导率及高空穴注入效率，在场发射、有机场效应晶体管、电铬电致变色显示等领域应用前景较好。**青岛大学的龙云泽教授与中科院物理所微加工实验室合作**，继分离PEDOT纳米线与温度相关的电学特性的测试工作之后，进一步对这些共轭PEDOT纳米线的本征电导及纳米结构对测试结果的影响进行了系统研究。四端测试发现直径为190, 95–100, 35–40 以及 20–25 nm 的PEDOT纳米线分别位于绝缘，临界，金属，以及金属-绝缘转变的绝缘区域；而二端测试结果表明这些纳米线均为半岛体。其原因在于纳米接触特性掩盖了纳米线的本征特性。这项工作发表在 **Nanoscale Res Lett 5 (2010) 237**上，得到基金委，高校新世界优秀人才计划以及法国Communauté urbaine de Nantes的资助。



PEDOT纳米线结构图及其二端与四端电学特性

MWCNT外层与所有层接触电输运特性比较

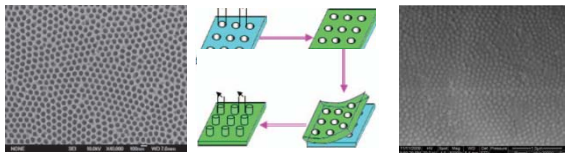
金属性多壁碳纳米管由于其极大的电流输运能力，可在纳米电子器件与集成电路中用作连接线。通常测试碳纳米管输运能力的方法是在其表面形成接触电极，由此电流主要是通过最外层管壁输运，而最内层管壁承载的电流很小甚至没有。已有研究显示，MWCNT的内层管壁也具有很强的电流输运能力，但是这些测试方法与集成电路工艺不兼容。**中科院物理所微加工实验的罗强等人**，首先通过EBL相关工艺对MWCNT的最外层形成接触，然后利用FIB刻蚀与材料沉积功能，成功地对MWCNT的所有层制备了电极接触，通过电输运特性比较，发现对所有管壁进行电极接触时碳纳米管的电导比只有在最外层管壁上形成电极接触时的值提高了8倍。该结果发表在**J. Nanosci. Nanotechnol. 101(2010)**上，得到基金委与国家纳米中心资助。



MWCNT外层与多层接触SEM图像

可用于生物单分子研究的纳米柱阵列

纳米柱阵列在微流体沟道减阻、长链DNA分子的分离、选择性细胞成图以及光子晶体等领域均具有潜在的应用。表面纳米结构功能新奇，然而其在工程上的应用还没有实现，这主要是目前纳米结构加工的高成本与低效率所致。**西北大学王凯歌研究组与中科院物理所微加工实验室合作**，在草酸溶液中通过两步阳极氧化的电化学方法，制备了高度有序的阳极氧化铝膜版（AAO）；并以此膜板为基础，通过旋涂PMMA 聚合物，高温烘烤，剥离等工艺，制备了PMMA纳米柱阵列。有望提供一种低成本高产出的纳米柱阵列的制备方法。这项工作发表在 **J J. Nanosci. Nanotechnol. 101(2010)**上，得到基金委等的资助。

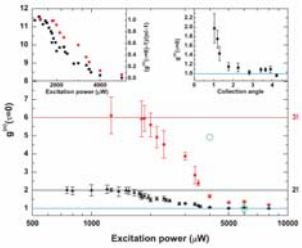


AAO的SEM 图像、基于AAO膜版的PMMA纳米柱阵列制备示意图及位于AAO内的PMMA 柱SEM图像

国 外 进 展

半导体微腔中的高阶光子群聚

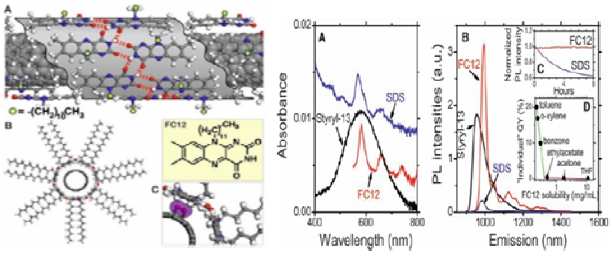
二阶光子群聚的发现成为量子光学发展的转折点。由于光子相干时间处于皮秒量级，一般实验方案很难达到如此高的时间分辨率，所以高阶光子的群聚一直没有被发现。多特蒙德技术大学的M.Bayer和丹麦技术大学的M.van der Poel等人合作，通过给超高速扫描照相机加上随时间增加的偏转电压，使不同时间到达荧光屏的光电子落在不同的位置，将时间分辨率提高到10ps。实验观察到了的二个、三个和四个光子的群聚，并验证了高阶关联函数的n!预言。这些发现将在在量子光学相干断层技术和光学重影等方面有很大的应用前景。该成果发表在Science 325(2009) 297上。



零延迟高阶关联函数随激发能变化图：黑线、红线与绿圈分别为两个、三个与四个光子的群聚

通过表面活性剂组织排氧吸附来获得单壁碳管的高荧光量子产额

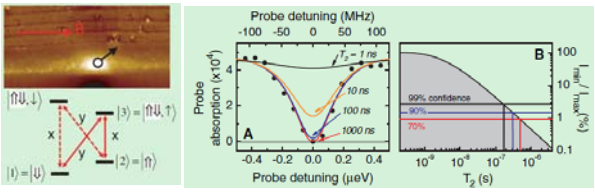
获得高荧光量子产额一直是单壁碳管在光电子和传感器应用上的一个难题。在各种非辐射方法中，侧壁的氧吸附掺杂是公认的激子淬灭机制之一。碳管团簇由于化学键的作用和碳管的不均匀性可进一步导致荧光猝灭。美国康涅狄格大学的Sang-Yong Ju等人合成了一种脂肪质黄素单核苷酸的衍生物FC12表面活性剂。与其他表面活性剂不同，FC12的表面结构十分严密，可以从单壁碳管的表面排除氧吸附，而且可以使单壁碳管足够的分散，组织其团簇，使单壁碳管达到高达20%的量子产额。研究发现采用甲苯分散的，FC12包覆的碳管具有非常尖锐的吸收谱（宽度为12—26meV）。该成果发表在Science 323(2009)1319上。



FC12包覆的单壁碳管的俯视图和侧视图及其吸收谱和发光谱

半导体中的相干空穴自旋态

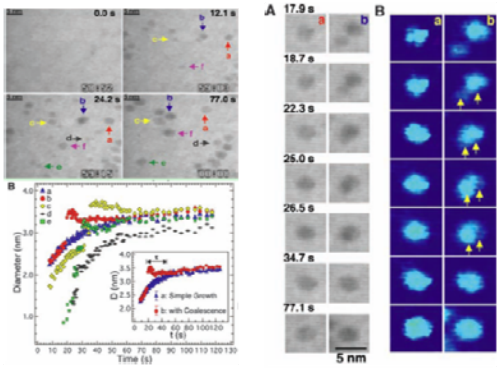
半导体材料具有出众的电学和光学性能，然而却很难在半导体中发现高度相干的量子态，尤其是电子自旋态，其退相干时间极短。英国爱丁堡赫瑞瓦特大学的Daniel Brunner等人在半导体中制备出了空穴自旋态。他们在GaAs基底上的InGaAs量子点中注入了空穴，发现其具有相干布局囚禁的现象。他们的实验证实量子点中的空穴自旋态是高度相干的。该项成果发表在Science 325(2009)70上。



空穴量子点的STM图像及其吸收谱图

对单个胶质铂纳米晶体生长过程的观察

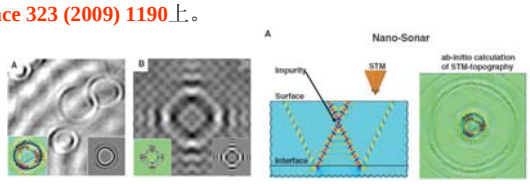
理解胶质纳米晶体的生长机制对于合成具有特殊物理性质的纳米晶体是必不可少的。生长单分散的纳米晶体的经典模型大都是：成核-单元结构吸附生长。这些模型忽略了粒子与粒子之间的相互作用。最近的研究表明粒子间的相互作用不容忽视。对纳米晶体生长机制理解上的不一致主要是由于缺乏纳米晶体在溶液中生长的直接证据。劳伦斯伯克利国家实验室的H. M. Zheng等人通过一种可以安装在STM中的液体反应单元，在STM中原位观察了溶液中胶质纳米晶体铂的动力学生长过程，显示了溶液中单元结构的吸附或者粒子的结合都可以形成铂的纳米晶体。这两个过程的结合，可以使当初很宽的粒度分布自发地变窄成近乎单分散的分布。并且胶质纳米晶体生长的路径与其尺寸和形态所依赖的内能有关。该成果发表在Science 324(2009) 1309上。



Pt胶质纳米晶生长过程 比较

利用纳米尺度电子聚焦在实空间观察费米面

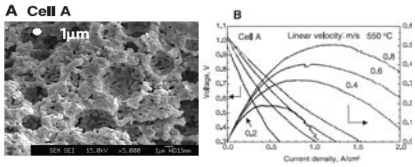
费米面能够描述固体材料电子能带结构的重要信息，然而却很难在实验上通过揭示局域变化的方式来绘制其图像。德国哥廷根大学物理研究所的Alexander Weismann等人利用低温扫描隧道显微镜观察研究了金属Cu表面下的杂质Co原子对中的电子散射后在金属中的传播。他们发现即使是费米面形状比较简单的Cu也会导致电子传播的各向异性，电子集中在长条形的传播区域内。在此附近的电荷密度振荡变化可用来探测缺陷和界面的深度及其它性质。该项成果发表在Science 323 (2009) 1190上。



STM得到的表面形貌及此项技术的应用

固态氧化物燃料电池阳极微结构效应

改善固态氧化物燃料电池(SOFC)的工作温度对其实现商业化生产具有极为重要的作用。通过控制SOFC阳极微结构来改善它的性能是一个有效途径。日本名古屋先进加工工艺研究所的Toshio Suzuki等人通过共烧结法制备出镍复合氧化锆基多孔阳极，镍颗粒的粒径小于100nm。制备出的燃料电池的能量密度超过1W/cm2，工作温度低于600° C。同时发现，较高的燃料气体通入速率也可提高电池的性能。这项成果发表在Science 325(2009)852上。



阳极微结构图及其电化学性能