

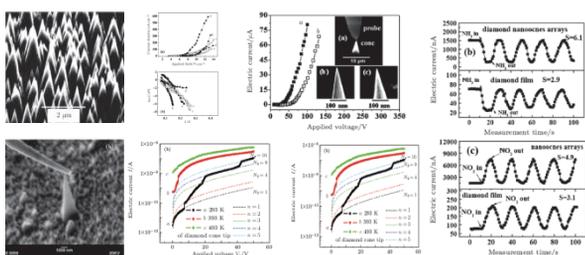
国内进展

金刚石纳米锥的独特电学性质

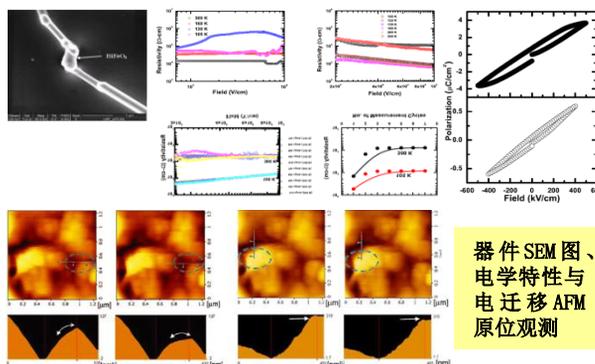
低维结构材料,尤其是那些可加工成有序阵列的纳米材料,如纳米柱、纳米线、纳米锥等,在光学、电学、生物传感以及热力学表征等领域,已展示出巨大的应用前景。其中,尤数纳米锥结构,因具有很多优越的性能而被预言在热核反应控制器件、冷阴极场发射显示器以及量子电子器件中具有潜在的应用。而这些应用需要具有多功能化的优质纳米结构。金刚石是具有负电子亲和势的宽禁带半导体,具有最高的硬度、热导率以及极好的化学惰性,其锥形纳米结构在很多领域可作为多功能单元。鉴此,中科院物理所微加工实验室的**顾长志研究员**等与**哈尔滨工业大学的王强教授**及**北京师范大学的夏珂教授**合作,采用基于热灯丝化学气相沉积系统的无掩膜方法制备了大面积金刚石纳米锥阵列。系统研究了单个纳米锥及其阵列的电子发射、气体传感以及量子传输特性。揭示了加工条件对金刚石锥的尺寸、形貌及其分布的影响,并深入的研究了电学特性与结构特性间的构效关系。为金刚石纳米锥走向实际应用提供了技术与理论基础。该工作发表在**Chin. Phys. B 22 (2013) 098107**上,得到国家自然科学基金委与国家自然科学基金委等资助。

纳米BiFeO₃电学特性的训练效应

在纳米电子器件与自旋器件中,纳米线或纳米链功能单元的稳定性与可靠性至关重要。电场涨落引起的缺陷迁移或相位的亚稳态,对器件的光学、电学、磁学等功能影响极大。在金属与氧化物纳米体系中,人们通过电导率的弛豫或噪声谱测试,或直接采用透射、扫描隧道显微镜与原子力显微镜观测缺陷的电迁移。用以研究纳米材料特性,以提高器件的性能。**BiFeO₃**是一种很有应用前景的多铁材料,纳米**BiFeO₃**中的训练效应(training effect)还鲜有报道。鉴此,**印度玻璃与陶瓷研究中心的D. Bhattacharya博士**课题组与**微加工实验室**合作,通过聚焦离子束技术,制备了**BiFeO₃**纳米器件。不同电场下的电阻率特性测试中观测到了当外加电场达到一定程度后,这一纳米材料的电学特性随测试次数变化,即呈现出训练效应。进一步,他们通过原子力显微镜,原位观测到了**BiFeO₃**纳米线中缺陷的电迁移现象。为纳米材料的物性研究提供了新的理论与技术基础。该工作发表在**Nanotechnology 24 (2013) 135705**上,得到中英合作项目与国家自然科学基金委等资助。



金刚石纳米锥结构、场发射特性、传感特性与量子输运



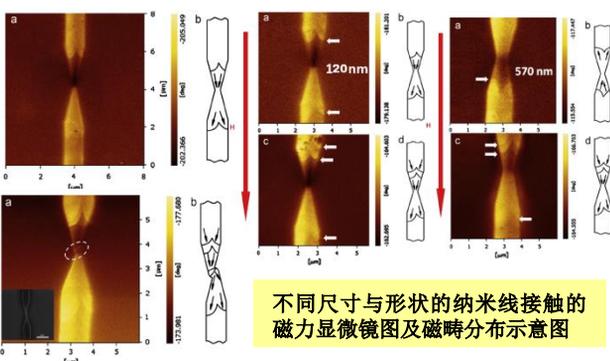
器件SEM图、电学特性与电迁移AFM原位观测

铁磁纳米点接触结构中磁畴壁的分布与形成的磁力显微镜检测

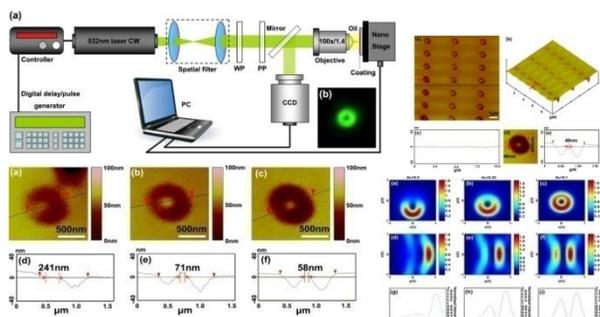
在铁磁金属中,电子与磁畴壁的相互作用可促使畴壁运动。当铁磁纳米点接触结构的尺寸小到一个特征值时,磁畴在点接触处受到散射。实验上,已经观测到了纳米点接触结构中,电流致使的电阻的非连续改变。模拟结果显示畴壁在点接触处可被钉扎,并能通过自旋极化流推动。然而,畴壁钉扎的精确位置并没有得到试验证实。鉴此,中科院物理所**微加工实验室的姚宗婉**等,在SiO₂/Si衬底上,通过电子束光刻制备了不同尺寸与结构的点接触光刻胶图形,然后采用电子束蒸发以及金属溶脱工艺,获得了厚度为30nm的Ni₈₀Fe₂₀点接触结构。通过磁力显微镜在剩磁与消磁两种情况下的测试,观测到了磁畴壁处于点接触结构较窄的部位并顺着纳米线的轴线方向;同时发现剩磁可以改变磁畴壁的分布。另外还揭示了几何结构,如错位型的点接触,也可用来控制磁畴壁的形成。该工作发表在**J. Magn. Magn. Mater. 342 (2013) 1**上,得到国家自然科学基金委和科学院等项目的资助。

直径为λ/11纳米柱阵列的可见连续波激光直写制备

纳米尺度的结构,如纳米柱与纳米孔阵列,是目前纳米科学应用中功能化纳米织构化的基本单元。纳米柱阵列已用于研究场发射、太阳能电池工业生产、生物传感、微纳流体、近场光学以及微芯片技术中。为满足纳米科技发展的需求,目前纳米柱与纳米孔加工技术与方法也得到了长足发展。但考虑到加工速度、成本、图形的可设计性以及三维加工能力,激光直写技术普遍认为是具有优势与发展潜能的技术。鉴此,**西北大学的王凯歌教授**课题组与**物理所微加工实验室**合作,设计加工了一种可见连续波激光直写系统,并探索了相关的制备工艺。该系统采用中心波长为532nm的连续光,通过精密的光路设计、模拟与测试,在800nm厚的光刻胶上制备了直径为71nm的纳米柱阵列。该工作发表在**Nano. Res. Lett. 8 (2013) 280**上。得到国家自然科学基金委等资助。



不同尺寸与形状的纳米线接触的磁力显微镜图及磁畴分布示意图

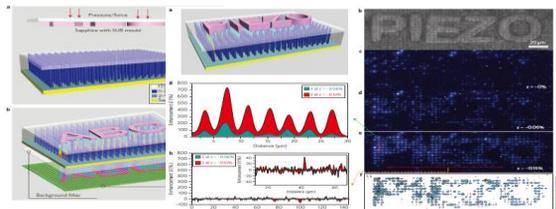


设备原理图,纳米柱阵列的AFM图及形貌表征,彗形像差效应、像散对甜甜圈形状聚焦点的影响的模拟结果

国外进展

基于压电纳米线LED阵列的高分辨电致发光接触成像

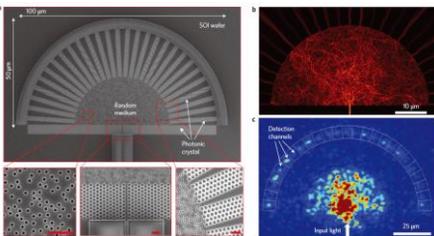
用电学方法将触感转换为信号可用于智能机器人或者人机交互环境。美国乔治亚理工学院/北京纳米能源与系统研究所的王中林教授研究组，探索了基于纳米线LED阵列压力感应的二维成像技术，分辨率可达2.7mm，远高于目前报道值和人类皮肤的分辨率。他们首先在p-GaN上光刻形成均匀的孔阵列，然后用湿法化学生长在光刻胶图形中制备ZnO纳米线，在顶层生长ITO透明电极底层并在p-GaN上制备NiAu欧姆接触。当电极间施加偏压时，所有纳米线LED均能发光。由于ZnO纳米线横截面小，应变较大，ZnO的压电效应在p-GaN/ZnO节上产生一额外电压，使该区域LED发光大大增强。这一技术在触摸屏设备、指纹识别、生物科学、微传感器等领域具有应用潜力。该成果发表在Nature Photonics 7 (2013) 752上。



压力传感发光器件的结构、原理图以及高分辨成像效果图

基于无序光子晶体的紧凑式光谱仪

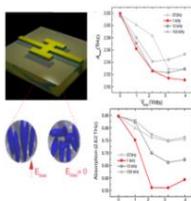
无序介质中的光散射在自然和人工体系中普遍存在。研究光子晶体时，通常需要减小不利的光散射，但在某些特定的应用领域，如光伏器件，则需有意的引入光散射，以增强器件性能。美国耶鲁大学应用物理系的B. Redding等人，利用硅-绝缘芯片上的无序结构产生多重光散射来用作光谱仪。他们利用电子束光刻和反应离子刻蚀工艺，在SOI片上制备出了无序孔结构以及附属的光子晶体波导结构。利用缺陷光波导将光引入无序光子晶体的圆心处，多重散射光会进入周围的光波导，传播至端点并被半圆状结构引出。实验中，他们首先用一束探测光获得多个通道的光谱数据，计算出其传输矩阵T；然后探测任意入射光的多通道光谱数据，并用该传输矩阵反推出入射光的光谱。另外，通过将无序光子晶体替换为部分无序的光子晶体，可减少光的面外散射，将光信号增强了近3倍。该成果发表在Nature Photonics 7 (2013) 746上。



光学天线结构示意图、SEM图以及两种有机单分子的定向拉曼光谱

液晶可控超材料吸收器

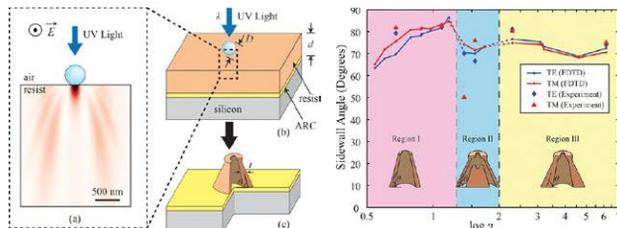
实际应用中，超材料频率响应的带宽限制通常不是问题，人们更多在意的是其对电磁响应的可控性。液晶所具有的电控的双折射效应为电控制的超材料提供了新的方向。美国波士顿大学的D. Shrekenhamer等人采用光刻与聚合物封装技术，将可主动控制的液晶引入超材料结构单元的特定位置，获得了太赫兹波段的电控制的超材料吸收器。在2.62THz频率下，实现了对吸收30%范围的调控，同时在频率带宽方面也可实现4%的调制，在探测、成像、能量收集等诸多应用领域有着巨大的应用前景。该成果发表在PRL 110 (2013) 177403上。



可调至超材料吸收器结构与特性

基于胶体颗粒光散射的三维纳米光刻技术

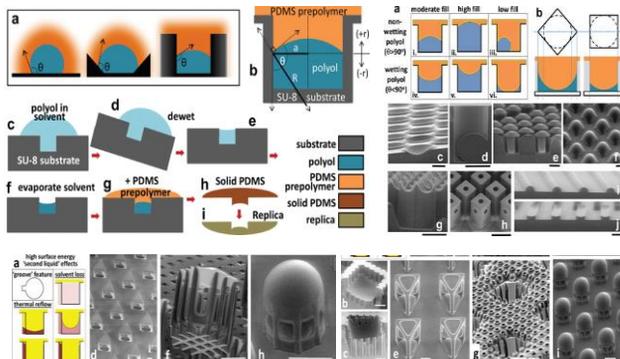
三维纳米结构具有许多固有的优势，近年来，在纳米科学领域引发了许多创新研究，如三维光子晶体、太阳能电池、超导量子干涉器件、生物探测器等。然而，现有的三维纳米结构的加工存在加工成本高、生产效率低、需要专业的技术和设备等问题。鉴于，美国北卡罗莱纳州立大学的X. A. Zhang等人，发展了利用胶体颗粒的光散射效应制备中空火山形三维纳米结构的技术。所加工的结构是由光与胶体颗粒间的相互作用产生的近场光学图案经过紫外曝光形成的。通过控制胶体颗粒的尺寸与入射光波长的比值以及入射光的偏振方向，可以构造出多种形态的火山形三维纳米结构。他们还利用自组装的密堆积胶体颗粒薄膜制备出火山形结构阵列，这种三维结构可用于捕获纳米粒子、精确药物传输、生物传感等众多领域。该成果发表在ACS Nano 7 (2013) 6121上。



火山形三维纳米结构的制备工艺、原理及多种形态结构的SEM图

基于结构表面不互溶液体间相互作用的三维微结构制备

三维微结构在微电子学、光子学以及生物技术领域有着广泛的应用。传统的微加工技术适用于二维微纳结构的精细加工，通常简单三维结构的制备是在二维结构基础上增加z方向的维度，但真正的复杂三维结构加工则需要专业的技术及昂贵的硬件支持，如灰度光刻、多光子光刻及干涉曝光技术等，且多依赖于光敏性材料。鉴于，美国北卡罗莱纳大学的J. J. Balowski等人，提出一种液体光刻技术，能够高效地制备复杂的三维结构而不需要图形校准和专业设备。他们利用SU-8（衬底）、多羟基醇和PDMS多种不互溶有机材料间的浸润特性，通过衬底修饰及不同多羟基醇的比例混合来控制不互溶液体间的表面能，通过改变其浸润特性来形成凹凸结构。该方法方便快捷，制备成本低廉，通过设计衬底的结构可以制备出多样化的三维结构，在多领域有潜在的应用价值。该成果发表在Adv. Mater. 4107 (2013) 25上。



多种复杂三维结构的液体光刻工艺流程及SEM图