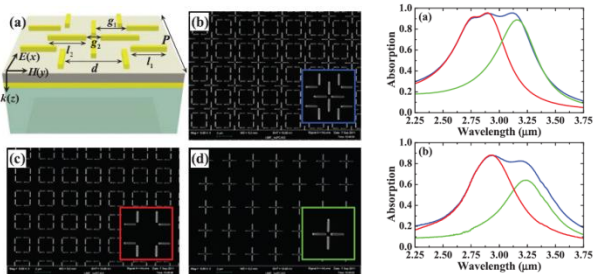


国内进展

近红外极化不敏感、全方位近完美吸收平面超材料结构的制备与特性研究

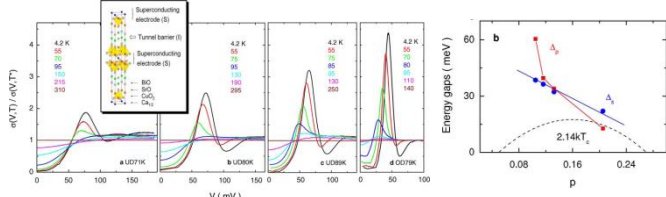
超材料是人工设计的微细结构，具有自然材料所不具备的超常的物理性质。超材料具有亚波长结构，可通过微结构设计有效的进行等效电磁参数调控，实现负群速度、负折射率、电磁波极化控制、电磁隐身以及完美吸收等。最近，基于超材料电磁耦合谐振特性的完美吸收材料引起了广泛的关注。完美吸收超材料结构主要有两种，其中基于有效媒质理论与理想阻抗匹配理论的超材料吸收体具有结构厚度薄、吸收强、频带窄等特点；而基于开口环与多层膜结构的超材料吸收体具有吸收频带宽、极化不敏感与宽入射角等特点。但吸收频带的展宽是以牺牲结构的整体厚度为前提的，加工工艺复杂、成本高、不利于应用化。鉴于，南开大学的田建国教授课题组与物理所微加工实验室合作，设计制备了近红外极化不敏感、全方位近完美吸收平面超材料结构。这一结构由平面金金属层、介质隔离层以及金开口线圈组成。每层结构间无需精确的对准，大大降低了工艺难度。实验证实这种结构具有非极化、高吸收率及较宽的光入射角等优点；在波长2.9 μm处，吸收峰值高达96%。这一加工技术可拓展到更多层复合结构的加工，在热探测等领域具有潜在的应用。该工作已发表在 *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011) 253104上。得到国家重点基础研究计划以及国家自然科学基金委等的资助。



超材料结构（示意图、双层以及内外层SEM照片）及光吸收特性

Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}材料中的超导能隙

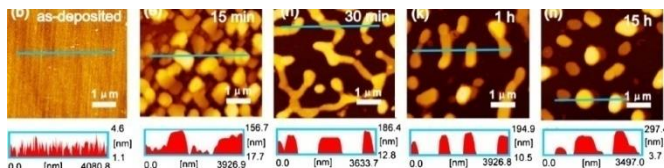
在超导转变温度T_C以上很宽的温度范围内，在铜氧化物材料中存在费米能隙及费米弧，正确理解这些现象是研究超导配对机理的重点。Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}本征约瑟夫森结是目前质量最好的铜氧化物材料平面型隧道结。此类结是以晶体内的CuO₂双层作为电极、BiO/SrO作为隧道势垒层所形成，特性测试中可避免实验中一些不确定因素的影响，从而与温度相关的特性测试具有高重复性与高可靠性。但早期研究中，此类隧道结的研究受自热效应的影响，本征隧道谱出现严重的变形。最近，中科院物所赵士平研究组和微加工实验室合作，优化了Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}本征约瑟夫森结表面层的接触并将结的面积减小到深亚微米尺度，成功解决了自热效应，获得了多种掺杂的Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}材料在全温区的本征隧道谱。分析发现，在T* 温度费米能隙出现后，随着温度的降低超导能隙会在某个高于超导转变温度的温度值开始打开；且超导能隙随温度的变化与d-波BCS能隙规律完全符合，并证实了零电导随温度的变化规律。通过计算，研究了超导相中由准粒子和库柏对的有限寿命所导致的费米弧以及弧长对温度的线性依赖关系，为高T_C超导探索提供了新的实验依据。这一成果发表在 *Sci. Rep.* **2** (2012) 248 上。得到基金委、科技部和中国科学院相关项目资助。



掺杂Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}超导体本征电子隧道谱及掺杂对能隙的影响

热退火处理中氧分子对金岛形貌的影响

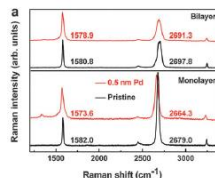
纳米尺度的金材料具有优越的催化性能以及独特的光学性质，因此，基于金材料的微纳米结构的可控制备研究备受关注。最近，中科院电工研究所的韩立研究员课题组与物理所微加工实验室合作，研究了金薄膜材料热退火过程中，不同环境（真空、氮气、氧气、氩气）对所形成的金纳米岛形貌的影响。发现在高温下，氧分子对金原子的迁移过程具有决定性的作用，而这一作用在以往的工作中常被忽略。文中系统地揭示了在氧氛围中与退火温度相关的形貌变化过程，研究了与表面/界面能最小化相关的形貌形成机制，此研究为金属纳米结构的大面积可控制备提供了一种有效途径。该工作发表在 *Appl. Surf. Sci.* **258** (2011) 377上，得到基金委及中科院公共技术服务平台项目资助。



金薄膜在350°C，氧气环境下热处理，金纳米岛形貌随退火温度变化的原子力显微镜照片及尺寸表征

与层数相关的n-层石墨烯上Pb的表面形貌及载流子交换特性

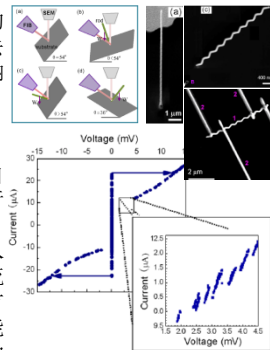
基于整数、分数和常温霍尔效应以及弹道输运特性的石墨烯器件研究表明石墨烯具有超乎寻常的晶体结构与超高的电子迁移率。器件制备中，金属电极接触至关重要，因此研究石墨烯与金属接触界面的性质具有重要的物理意义与应用价值。国家纳米中心的孙连峰研究员课题组与物理所微加工实验室合作，利用拉曼-光谱相关的测量方法，研究了石墨烯上Pb薄膜的表面形貌以及石墨烯与Pb膜之间的载流子交换特性；发现随着石墨烯层数的增加，Pb膜的粗糙度增加，而两者之间的载流子转移数减少，并进一步探讨了与石墨烯层数相关的载流子迁移机制及拉曼光谱学在这一研究中的有效性。该工作发表在 *Chem. Commun.* **47** (2011) 9408上，得到国家自然科学基金委资助。



Pb拉曼光谱对石墨烯层数的依赖性

聚焦离子束刻蚀用于自支撑纳米材料与衬底的分离

聚焦离子束具有纳米尺度定点定位的三维加工功能，可进行图像观测、材料去除及生长，广泛应用于纳米图形加工、纳米器件制备及纳米操纵。最近，物理所微加工实验室与伦敦纳米中心P. Warburton小组合作，发展了一种基于聚焦离子束的低束流侧向刻蚀技术，使自支撑纳米材料单体与衬底分离，用来进行结构以及电学等特性测试。他们系统阐述了侧向刻蚀过程中自支撑纳米材料与入射离子束之间的相对位置以及离子束束流等参数的影响。实验表明，这一技术具有很好的可控性并且对纳米材料的本征性能没有明显影响，为单个自支撑纳米材料的结构与物性研究提供了新方法。该工作发表在 *Nanotechnology* **23** (2012) 105301上，得到国家自然科学基金委、中国科学院等相关项目的资助。

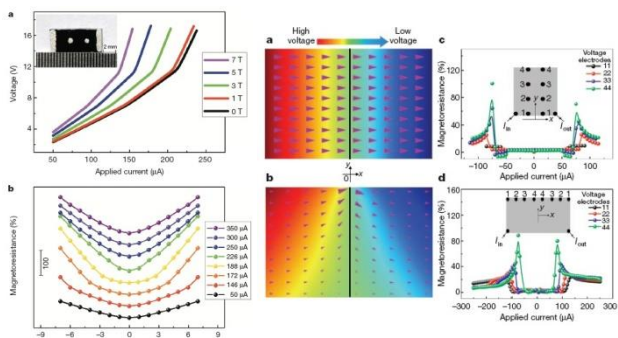


自支撑纳米材料与衬底分离的实验设置图、纳米线及分离后位于衬底上的SEM图及电学特性

国外进展

硅中低场磁阻的几何增强

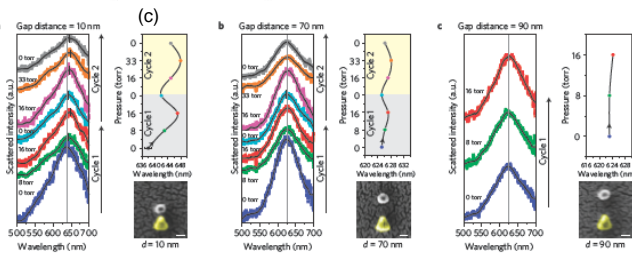
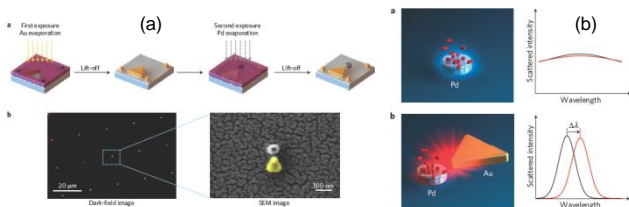
许多理论研究表明，载流子迁移率的空间变化是非均匀性诱导磁阻 (IMR) 的形成原因。**清华大学**的**万彩华**等研究发现，低掺杂硅中的IMR在空穴注入后有显著增强，且在低场下会随外加电流的增加而上升。所制备的器件在p-n边界处掺杂不均匀，在外加磁场的作用下，边界区域的电流分布可产生很大的磁阻；通过器件几何形状的设计，可进一步增强了IMR效应。所得器件低场灵敏度在0.07T的场强下可达到10%，而在0.2T下达到100%。这种器件结合了低磁场下的高灵敏度与很大的高磁场响应两方面特性，在磁传感应用上很具有吸引力。传统的硅基衬底也使得器件易于集成，有助于硅基磁电子学的发展。该文章发表在**Nature 477 (2011) 304**上。



磁场下硅材料的I-V特性、300K下的磁阻变化、势场与电流密度的分布以及电极几何位置对磁阻的影响

单个纳米聚焦系统中气体传感的可设计天线增强效应

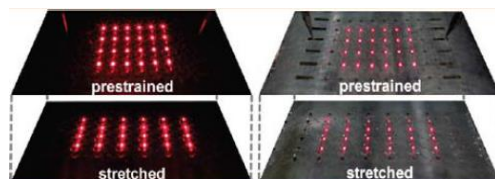
金属纳米结构存在表面等离子体共振，能将光约束到纳米尺度。在单个纳米结构的限制下，电磁场能强烈地集中到几百个立方纳米或更小的体积内。这对表面等离子体传感而言是很理想的光学聚焦。任何放到这个单点区域的物体都会由于改变介电特性而影响纳米结构的共振。**美国加利福尼亚分校伯克利大学**的**N. Liu**等展示了纳米天线对单个颗粒上氢气传感的增强。把单个铂纳米颗粒放置在金纳米天线的尖端区域附近，在氢气气氛下用暗场显微镜检测系统的光学特性改变。这种实验方法避免了基于大量纳米颗粒的传感器中可能存在的非均匀展宽及统计效应，推进了纳米反应器中单个催化反应过程的观察与单分子层次的生物传感的研究。该成果发表在**Nature Materials 10 (2011) 631**上。



金纳米天线与铂纳米颗粒的制备过程示意图，结构暗场像及典型SEM图 (a)；天线增强单纳米颗粒气体传感示意图 (b)；及光散射测量金天线与铂颗粒间距对氢气传感特性的影响 (c)

橡胶衬底上无机发光二极管阵列柔性透明石墨烯连线的制备与特性

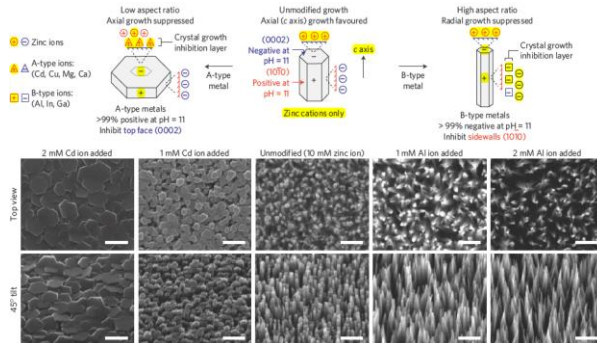
石墨烯在力、热、电、光方面的优点，使其广泛应用于触摸屏、光电管、LED等研究中。其中，石墨烯良好的力学性能和便宜的价格，使其有望替代传统的透明氧化导电材料 (TCOs)，在有机/无机LED方面的应用也有许多报道；但在单像素显示和可延展电子/光电子器件方面的研究还不多。最近，来自**美国伊利诺伊大学**的**Rak-Hwan Kim**等人，在柔性的橡胶上制备了微米级LED阵列，并设计加工了基于透明石墨烯电互连线。测试表明，石墨烯连线具有多种优良性能，包括极佳的表面保形能力和近100%可逆延展性等。这个属性与传统薄膜结合可以获得高性能器件，预示着石墨烯在LED显示、生物制药和其他环境科学领域可观的应用前景。该文章发表在**Nano Lett. 11 (2011) 3881**上。



石墨烯连线橡胶衬底上无机LED阵列在应力作用下发光的光学照片

水热合成氧化锌纳米线的静电面选择控制

自下而上制备无机纳米材料的过程中，如何实现表面形貌和功能的选择性可控加工，一直是人们研究的重点。来自**美国麻省理工**的**Jaebum Joo**等人引入经典的热力学模型，研究了碱性环境下氧化锌纳米材料生长中的非锌离子的静电选择吸收过程，探索了这一过程所控制的生长机制。实验表明，通过控制溶液中离子的种类和浓度，可以很好的控制氧化锌纳米线的几何形状；所制备的纳米线可具有0.1-100的长宽比。并且用该方法制备了基于氧化锌纳米线的高分子器件。该成果发表在**Nature Materials 10 (2011) 596**上。

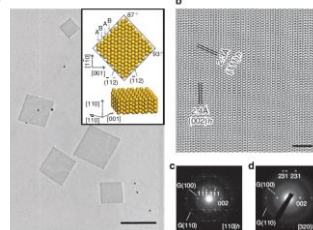


氧化锌纳米线水热合成生长原理图及扫描电镜照片

六角密排结构的金纳米片的合成

金纳米颗粒在生物探测与催化等领域有着广泛的应用。过去人们对金纳米颗粒和纳米线的合成进行了大量研究，但一直没有找到可进行各向异性生长的可控生长方法，而且材料的晶体结构也很难控制。鉴此，**新加坡南洋理工大学**的**X. Huang**等人，用氧化石墨烯作为模板，在化学溶液中合成出了厚度约2.4 nm的六角密排

结构金纳米片，这与大家所熟知的金最稳定的面心立方结构不同。并且发现当金纳米片的厚度从2.4 nm增加到6 nm的过程中，fcc结构开始出现。另外hcp结构的金纳米片在TEM中经电子束辐照一定时间后也会转变成fcc结构，hcp结构金纳米片的稳定存在是表面效应影响的结果。该成果发表在**Nature Communications 2, 292 (2011)**上。



金纳米片的透射电镜分析结果