

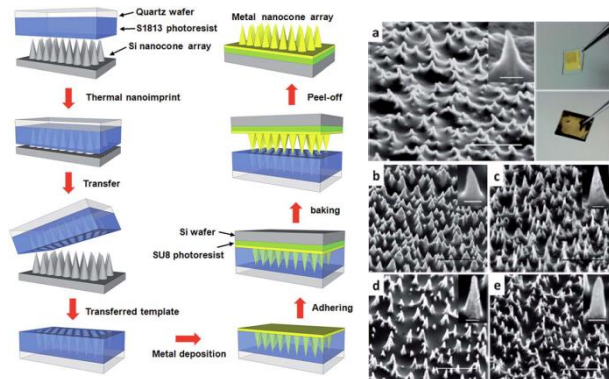
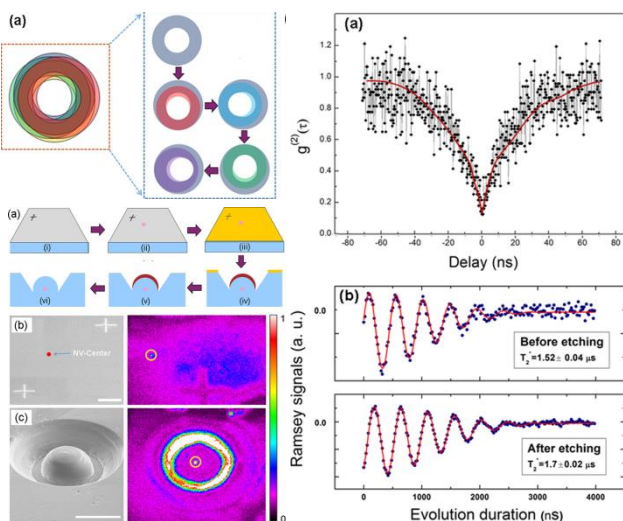
国内进展

金刚石NV色心单光子源结构的FIB图形化加工与光学特性

高质量单光子源是量子通讯与信息处理的重要部件。金刚石中的色心是潜在的单光子源载体，可在常温下产生光量子态并对其进行操控。但由于金刚石/空气界面处的折射，块材金刚石单光子源的收集效率较低。在众多的研究中，聚焦离子束技术已被广泛的用来加工金刚石结构，但由于金刚石晶体特性并且导电性能较差，FIB加工中存在离子通道效应与核电效应，使曲面结构的加工困难重重。鉴此，**中科院物理所微加工实验室的博士研究生姜倩倩等与固态量子实验室Q01的潘新宇副研究员**课题组合作，发展了一种图形叠加制备半球透镜单光子源的方法。加工过程包括：定位标记的制备，NV色心三维空间位置的确定，导电金属层的沉积，FIB半球透镜的加工，金属层去除以及结构表面再沉积污染与非晶层的干法/湿法腐蚀去除。所获得结构较之于块材，单光子收集效率与信噪比均提高了约10倍，而相干时间基本不变。为金刚石NV色心单光子源的研究提供了新方法。结果发表在 **J. Appl. Phys. 116 044308 (2014)**上。该工作得到了中国科学院、国家自然科学基金委和科技部相关项目的资助。

高密度金属纳米锥阵列的大面积快速模板制备及其SERS特性

表面等离子激元拉曼增强效应具有广阔的应用前景。目前的研究中，基于平面结构加工工艺的结构包括金属纳米颗粒、纳米方块、纳米环、纳米光栅结构等，由于工艺成熟，已有大量研究。最近，3D等离激元纳米结构由于其维度效应逐渐受到关注。其中，锥形结构具有纳米尺度的尖端与优越的机械性能受关注。已有研究显示金属纳米锥可以有效地传播表面等离激元并可在其尖端获得聚焦效果，但这类结构的有效加工方法还比较欠缺。鉴此，**中科院物理所微加工实验室的博士研究生赵静等**，发明了一种模板剥离金属纳米锥的制备方法。其工艺过程包括Si锥阵列模板的制备，石英衬底上光刻胶的旋涂，热压印图形反转(对Si锥模板与敷涂有光刻胶的石英衬底进行硬接触热处理)，光刻胶凹锥图形中金属的蒸发填充，SU8/Si提取衬底制备，金属填充后光刻胶/石英衬底与提取衬底的热处理接触，金属纳米锥的剥离转移。所制备的图形密度高达 5×10^8 。该工作发表在**J. Mater. Chem. C 2 9987 (2014)**上。得到国家自然科学基金委及中国科学院等相关项目的资助。



金属纳米锥阵列的高密度大面积模板制备流程图及SEM照片

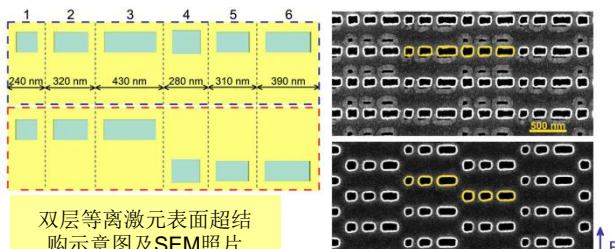
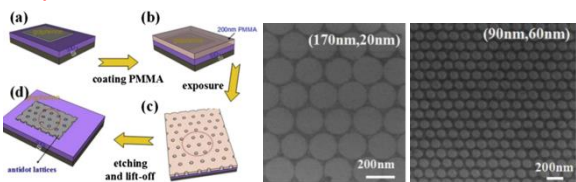
FIB对称交错叠加图形加工方法示意图、NV色心金刚石单光子源器件加工过程、SEM照片及其单光子源特性

石墨烯反点阵列的电子束光刻与氧等离子刻蚀制备

单层本征石墨烯没有带隙，应用受到限制。反点阵晶格的制备是在石墨烯中引入带隙的重要方法。最近，**中科院物理所微加工实验室的硕士研究生刘灵芝等**，通过电子束光刻掩模图形的制备与氧等离子体干法刻蚀，在单层石墨烯上制备了周期性石墨烯反点阵阵列。通过电子束光刻图形尺寸及干法刻蚀时间，使图形尺寸在20纳米至几百纳米间可调。显示了这一常规工艺极好的可控性、可调制性与可重复性。该结果发表在**Vacuum 105 21 (2014)**上。得到国家自然科学基金委等项目的资助。

偏振方向与相位同步调制的等离激元超表面

现代光子学应用中通常涉及到光信号偏振方向与相位的调控。现有器件中，多采用多个分立的部件分别对光的偏振极化方向与相位调控来获得集中成果，不利于器件集成度的提高，并且加工工艺复杂。鉴此，**南开大学田建国教授课题组与中科院物理所微加工实验室等**合作，设计制备了一种等离激元表面超结构，可同时对光的极化方向与相位进行调控。这一结构包括精心设计的双层纳米光阑结构阵列。其工艺过程包括在石英衬底上Au薄膜磁控溅射生长，Au膜上光刻胶的旋涂，电子束光刻图形的加工，反应离子刻蚀金纳米图形的转移，光刻胶的溶解去除获得底层纳米光阑结构。然后沉积SiO₂并重复第一层光阑制备工艺，获得第二层光阑结构。由于在界面处引入了稳定的相位梯度，结构具有近乎完美的宽带异常折射现象，为空间光传播的自由调制提供了新的方法与途径。该结果发表在**Adv. Funct. Matt. 1 (2014) DOI: 10.1002/adfm.201403669**上。得到国家自然科学基金委等项目的资助。



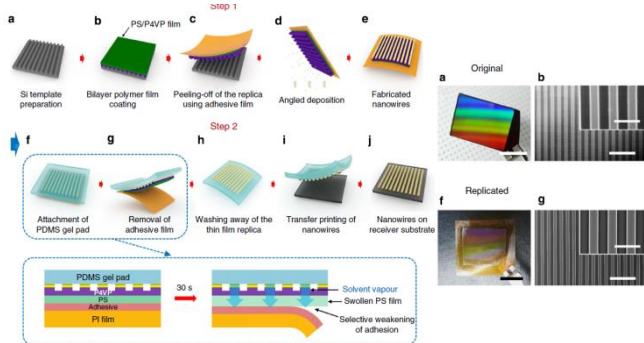
双层等离激元表面超结构示意图及SEM照片

石墨烯反点阵阵列加工原理图及结构的SEM照片

国外进展

高分辨界面定向黏附切换纳米转移压印技术

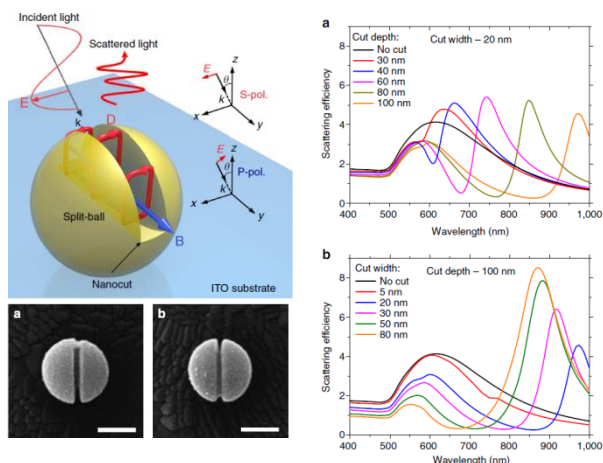
纳米转印技术具有工艺简单与高产量的突出优势，在晶体管、超材料以及表面器件的加工中具有潜在的应用。然而，在亚50纳米的纳米转印技术中，高精度模板的制备以及高保真脱模过程仍是两大难点，限制了纳米转印技术的实际应用。鉴此，**韩国先进科技研究所的Jeong等**，发展了一种溶液辅助的纳米转印技术，获得了亚20纳米图形的高保真复制加工。这一技术包括两个主要步骤，首先是通过模板的制备，模板图形到柔性衬底的转移获得与模板相反的聚合物图形结构，然后进行功能材料在柔性衬底图形上的填充；之后是通过聚二甲基硅氧烷（PDMS）凝胶块作为转换媒质，对复制软模板双层聚合物进行有效的选择性塑化处理，获得有利于后续脱模过程的金属表面黏附性。脱模后将复制软模板溶解，得到PDMS上的纳米结构，最后可将纳米结构继续转移至目标支撑表面上。此技术可应用于各种衬底材质上，包括人体皮肤与水果皮。作者还展示了所制备的金属纳米结构及其优异的表面拉曼增强特性。相关研究成果发表在 **Nature Communications 5:5387 (2014)** 上。



模板转印技术流程图及模板与所制备的结构的SEM照片

平面开口谐振环的三维对应体劈裂球谐振器

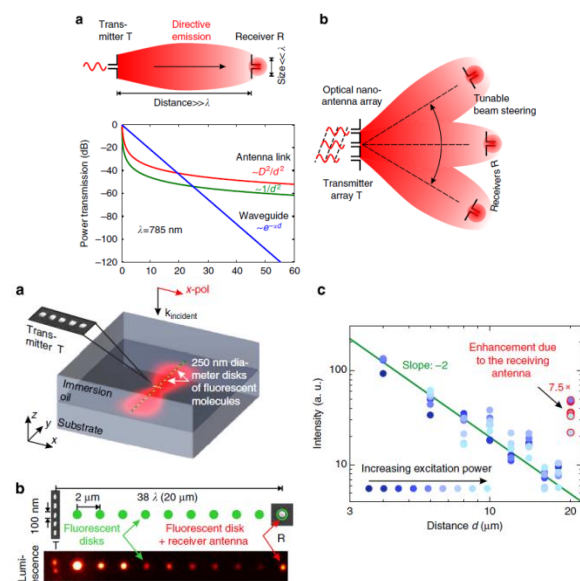
开口谐振环是基本的等离子激元结构，金属纳米结构开口谐振环中可获得磁响应。然而，至今这一结构在可见区的响应还面临挑战。最近，**新加坡科学技术与研究处信息存储所的Kuznetsov等**，设计加工了一种三维的劈裂球谐振结构。作者首先采用激光辐照诱导加工获得了完美的金属纳米球颗粒，然后通过聚焦氦离子显微镜系统对纳米颗粒制备纳米切口。加工工艺具有纳米尺度的精度与分辨率，同时切割结构侧壁非常陡直光滑。所制备的Au与Ag劈裂球的磁响应分别位于600nm与656nm处，为混合谐振模式及超高近场增强研究提供了新的手段。该成果发表在 **Nature Communications 5:3104 (2014)** 上。



开口谐振球结构模型、SEM图像及等离子激元特性的尺寸效应

石墨烯及其二维晶体与混合结构在能源转换与存储中的应用

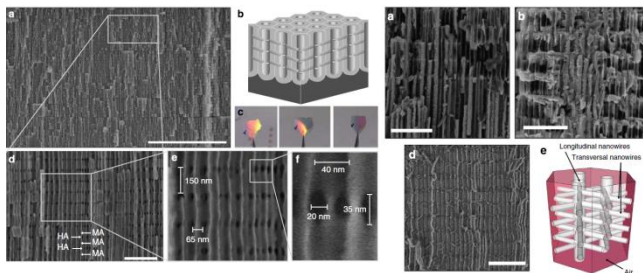
光学纳米天线可对光信号的传输与接收进行调制。由于在宽波谱范围可对光辐射的方向与角分布进行操控，纳米天线是纳米光电路中的重要单元。最近，**德国斯图加特第四物理研究所与研究中心的Dregely等**，研究测试了等离子激元无线光纳米天线间的远场能量传输。展示了可通过光束操控来改变纳米接收器间信号的传输通道。作者还通过光致发光谱仪对单个纳米天线的辐射进行了成像，描绘了在没有干扰情况下，等离子激元结构周围的能量密度分布。利用在接收天线附近放置纳米尺度荧光接收器的测量方法，定量的研究了与能量发射体与接收体间间距相关的能量传输效率。通过对发射器入射光波面的调制，可在29°范围内对辐射传播方向进行控制，为光能的无线传播的实现提供了依据。该工作发表在 **Nature Communications 5:4354 (2014)** 上。



光学纳米天线间无线能量传输模型及能量传输特性

阳极氧化铝中的三维有序互联构型

三维纳米材料与结构具有诸多的优异性能，在新物理现象探索与新概念器件研究中受到越来越多的关注。最近，**西班牙马德里微电子研究所的Martin等**，通过自组装的方法，以阳极氧化铝衬底为模板，制备了互联三维Bi₂Te₃ and 3D PS混合材料结构。与常规的加工方法不同，作者在阳极氧化的过程中，交替采用恒定电压与恒定电流的模式。在恒定电流模式下获得纳米孔洞结构沿垂直方向上生长，而在接下来的恒压模式在，恒定电流模式下生长的氧化铝被部分腐蚀，形成横向与纵向连通的三维网络结构。通过阳极氧化时间以及恒压恒流模式下各参数的设置，AAO模板结构的几何尺寸可以进一步得到调制。该成果发表在 **Nature Communications 5:5130 (2014)** 上。



三维AAO结构及Bi₂Te₃ and 3D PS混合结构的SEM图像