物理所双层金属纳米结构阵列的可控加工及光学应用研究获进展

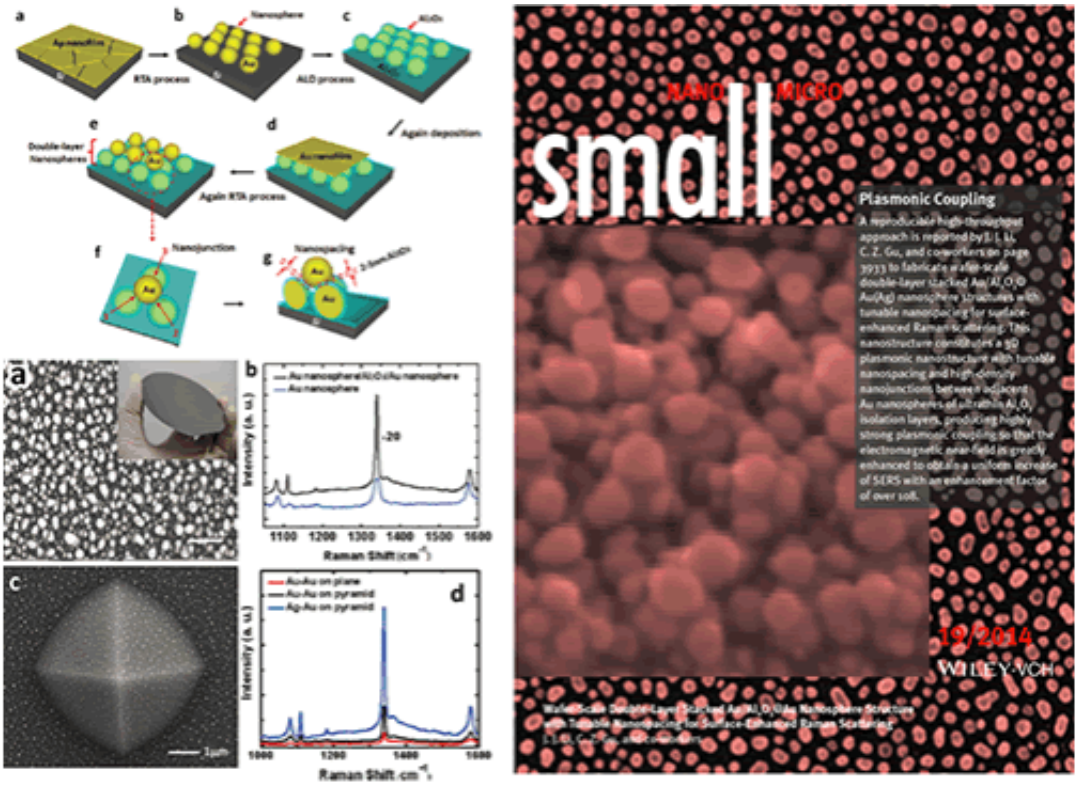

图1. 双层垛积间距可控的Au/Al_2O_3@Au(Ag)纳米球结构阵列及高灵敏度SERS应用

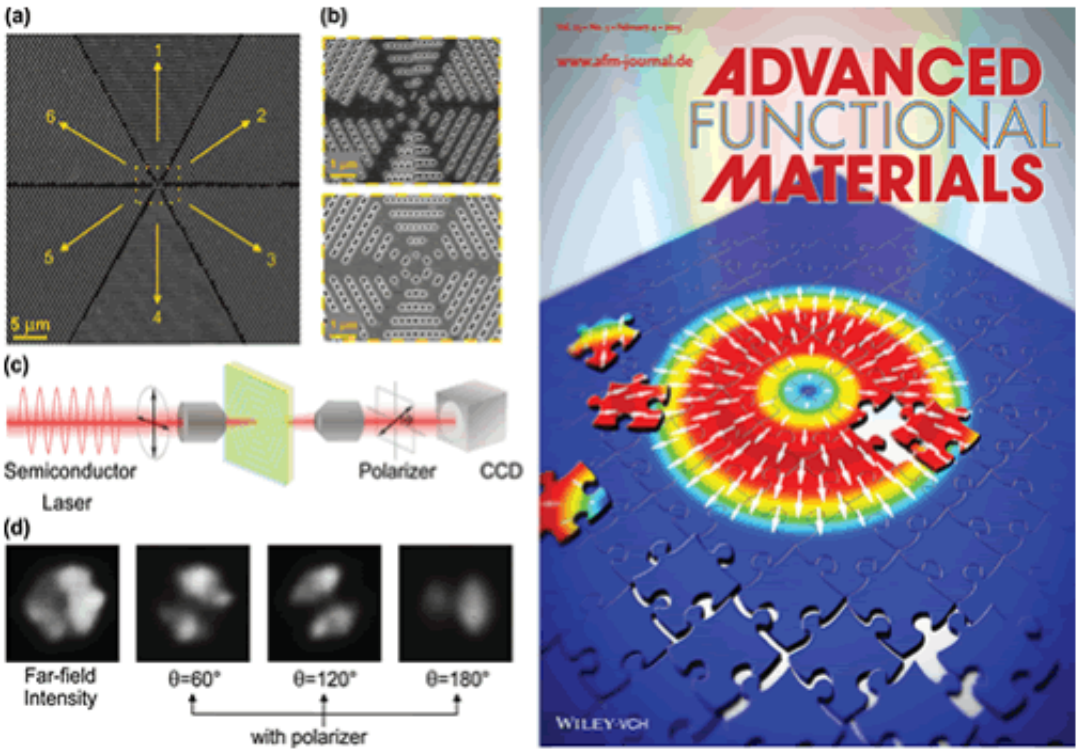

图2. 双层等离激元超表面结构同时控制光偏振和相位分布

最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室（筹）微加工实验室在双层金属纳米结构阵列的可控加工及光学应用方面取得新进展，主要包括制备出大面积双层垛积间距可控的金属纳米球阵列结构和双层等离激元超表面结构，分别在高灵敏增强拉曼检测和调控光的空间自由度研究方面取得突破。

贵金属纳米颗粒阵列是最简单的等离激元纳米结构，其相邻金属颗粒之间的等离激元耦合能够产生强烈的电磁聚焦和局域场增强（“热点”效应），可以极大地提高光响应，非常有利于高灵敏度表面增强拉曼光谱（SERS）检测应用，因而一直备受关注。由于贵金属纳米颗粒的相邻位置是产生强烈等离激元耦合效应的关键，所以如何精确调控金属颗粒大小和间距成为研究关注的焦点。目前，采用溶胶金属颗粒的化学制备方法从一定程度上实现了金属纳米颗粒的形貌控制，但是其在精确控制相邻间距、克服易团聚、保持背景干净和晶片尺寸均匀制备等方面还存在较多的问题难以解决，因此，可控制备仍然是一个重大挑战。

目前，微加工实验室的胡赵胜和李俊杰及研究员顾长志等提出一种控制贵金属纳米颗粒相邻位置的物理制备方法，实现了颗粒大小及间距的精确控制，其间距可控制～5nm以内。该方法结合电子束沉积、快速退火技术及原子层沉积（ALD）技术，成功制备出双层垛积间距可控的Au纳米球阵列结构Au/Al2O3@Au，其中纳米球间距由ALD沉积介质层厚度进行精确调控（1～10nm）。研究结果表明这种间距可控的叠层Au纳米球构建了三维等离激元纳米结构，其相邻纳米球由～5nm介质层隔离，能够产生强烈的等离激元耦合效应，极大提高了局域电磁场强度，进一步通过异质纳米球（Au/Ag）和金字塔形阵列结构基底进行优化和调制，其场增强因子（EF）可以提高近4个数量级（EF=～109）。这种纳米结构的加工方法简单高效、易控制、无污染、可图形化和晶片尺寸均匀制造，适用于超灵敏拉曼检测及分子电子学和光子学领域。该结果作为卷首插图发表在Small, 10 (2014) 3933上。

偏振和相位是光的两个基本属性，对二者进行精确控制是研究光与物质作用的一个重要课题。传统方法是利用光在晶体和聚合物中的双折射和全内反射现象来实现对光偏振态的控制，依靠材料的几何形状以及折射率空间分布的设计来实现对光波前的控制，只有通过多个分立光学器件的结合才能实现同时操控光的偏振态和相位分布。同时传统光学器件体积庞大且光谱响应窄，很难实现系统的小型化和集成化，也无法满足新兴技术发展的需求。近期已有报道利用等离激元超材料结构的各向异性分别实现了界面处实现光相位的梯度渐变分布和线偏振光极化方向的转换，但是对于如何同时操控光的偏振方向以及相位分布仍然是一个难以解决的问题。

针对这个难题，微加工实验室的李俊杰、杨海方和顾长志与南开大学及美国洛斯阿拉莫斯国家实验室合作，设计并利用纳米加工技术制备出一种双层等离激元超表面材料，实现了样品透射光相位和偏振方向的同时控制。此材料可以在不改变偏振的前提下通过两层间的对齐和错位大范围实现对透射光相位的控制，同时利用矩形镂空结构具有偏振选择透过的性质实现对透射光偏振方向的控制，获得了具有任意光偏振和相位分布的光场。此结构展示偏振可控的宽带异常折射现象很好的表征了等离激元超结构的光学特性，还进一步利用此结构生成了径向矢量光束。研究结果提出的等离激元超表面材料扩展了对光调控的自由度，在光子学领域具有非常广的应用。该结果作为Back Cover 发表在Adv. Func. Mater., 25(2015) 704 – 710上。

上述工作得到了科技部、国家自然科学基金委和中科院的项目资助。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/73680.html