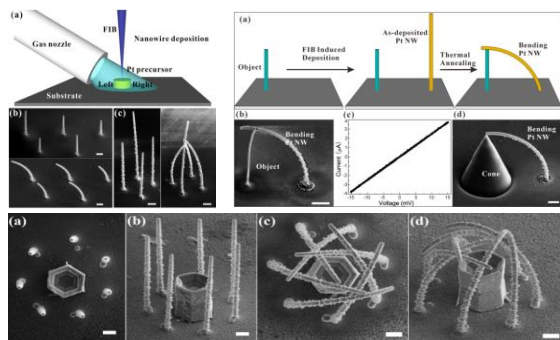


国内进展

热处理诱导的自支撑一维纳米线的三维形变调制

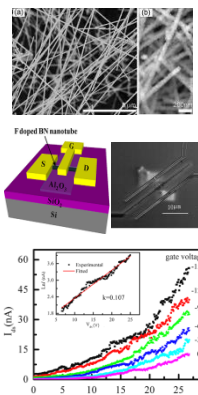
作为信息社会进步基础的微电子器件与电路的发展历程突出地表现为小型化、高密度和多功能化的趋势。三维器件与电路不仅体积小、集成度高,更重要的是三维结构的引入使之具有更优越的性能、更新颖的效应,以及更广泛的功能。因此,探索三维功能纳米结构的成型机理与机制,实现三维功能纳米结构与器件的可控加工,一直备受关注。与块材或微米尺度的材料相比,一维纳米材料体系在热处理过程中,物质扩散、颗粒生长以及再结晶过程的差异能更显著的以形变的方式体现。因此,热处理有望成为一维纳米结构生长后三维形变调控研究的潜在手段。但怎样在纳米尺度上可控的引入组分、结构以及应力分布的变化,还具有很大的挑战性。最近,物理所微加工实验室的崔阿娟等与先进材料实验室的姚澔副研究员以及英国Salford大学的沈铁汉教授等合作,在前期工作的基础上,通过利用单一金属有机物气体注入系统,在有机气态分子源受限的模式下,实现了自支撑铂混合物纳米线沿径向上的组分与微结构的非均匀、非对称生长。纳米线形变前后化学组分与高分辨显微分析证实,与金属有机物气体注入系统的位置相对应,铂混合物纳米线两侧具有化学组分、微结构的非均匀性,并导致了纳米线两侧产生不同程度的形变量。通过形变规律的探索与量化处理,进一步掌握了形变的可控手段,获得了硅顶部的自支撑纳米点接触以及将ZnO双层纳米浴盆进行固定的微笼结构。显示了该技术在三维纳米电学、光学、磁学以及生物分子学等领域的应用前景。该结果发表在 *Scientific Reports*, **3** (2013) 2429 上。以上工作得到了中国科学院、国家自然科学基金委员会和科技部相关项目的资助。



纳米线生长示意图及其形变现象,热处理形变形成自支撑点接触及构筑微笼结构对ZnO双层纳米浴盆进行固定

F-掺杂BN纳米管p-型导电的实验证实

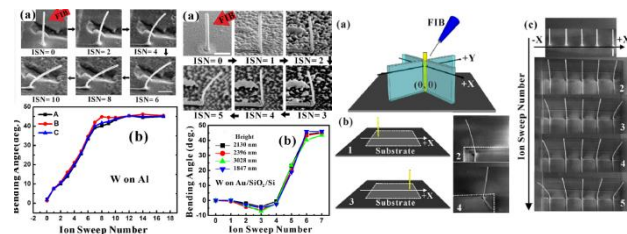
BN是一种宽禁带半导体材料,具有重量轻、耐高温、抗氧化等特点。BN纳米管虽然与碳纳米管在结构上具有很多相似性,但很多物理性质却绝然不同,如BN纳米管的带隙与其手性、尺寸、形貌无关。这意味着此类材料可具有一致的电学性质,同时表明只有通过化学掺杂,才能对其带隙进行调控。虽然F-掺杂BN纳米管已有报道,但怎样简单准确地对其导电类别进行甄别的方法还不多。鉴于,中科院物理所微加工实验室的赵靓等,采用电子束光刻、金属沉积、溶脱、ALD介质生长、干法刻蚀等工艺,制备了基于掺F-BN纳米管的三端器件,通过不同栅压下的输运特性测试验证了F-掺杂BN纳米管的p-型导电特性,为BN纳米材料与器件的研究提供了一种切实可行的方法。该结果发表在 *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 153107 上。得到国家自然科学基金委与科学院等项目的资助。



F-掺杂BN纳米管SEM图、器件结构及输运特性

离子束辐照诱导自支撑非晶纳米线弯曲的衬底与核电效应

较之于平面结构与器件,三维纳米结构与器件可具有更优越的性能并实现新的功能,如集成有超导三维探测线圈的超导量子干涉器件,可测与之垂直和平行方向的磁信号。而自支撑纳米结构是构建三维纳米器件的基础单元。聚焦离子束具有纳米尺度定点定位的三维加工功能,广泛应用于纳米图形加工与纳米器件制备。通过离子束辐照进行自支撑纳米材料生长后的形变调控,可用来制备更为复杂的结构并实现结构功能化,如形成空间纳米点接触及互连线等。中国科学院物理所微加工实验室的崔阿娟等,在前期的工作中,发展了一种基于聚焦离子束辐照诱导的三维纳米操纵技术,即通过离子束辐照,使自支撑一维纳米线发生塑性形变的方法。系统的研究了聚焦离子束辐照技术对纳米线的形变控制过程与规律。但对形变的机制的理解还不够深入。最近,通过不同衬底以及不同扫描方式的使用,进一步阐明衬底的导电性能以及核电效应产生的电相互作用可以很大程度的决定纳米线的形变方向,为这一技术在形变过程中的可调控性提供了新的理论与技术基础。该工作发表在 *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 213112 上,得到国家自然科学基金及中国科学院等相关项目的资助。

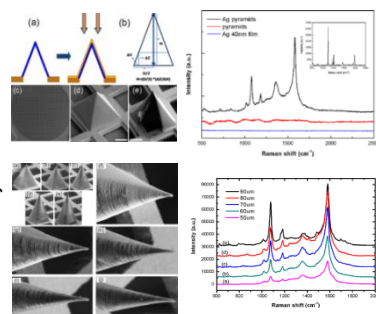


与衬底材料及扫描位置相关的离子束辐照产生的一维纳米线形变

中空金属金字塔等离激元结构的三维激光直写制备

三维微纳米功能结构在很多领域有着重要的应用,尤其是在新型三维光电结构与器件领域,可以用来有效的产生或调制表面等离激元,实现超越衍射极限的局域聚焦。三维激光直写是通过双光子聚合作用,在聚焦光学系统的聚焦区内激发局域聚合作用,可大面积地制作任意形状的微纳三维结构,近年来,已有大量的这一方面的研究。但这些工作中,三维结构一般制备在平面衬底上,不可避免的存在衬底对三维光电器件性能的影响,如对待测光信号的强度和相位等,产生不可忽略的消极影响。鉴于,中科院物理所微加工实验室的牟佳佳等与L01组的李家方副研究员合作,发展了一种在镂空支撑衬底上采用双光子吸收光聚合制备中空金字塔结构并通过热蒸发进行表面金属化的三维微纳结构加工技术。

采用这一技术,可在镂空衬底上制备各种高度、边长以及截面几何形状的光刻胶聚合物结构。可以克服以往制备方法复杂、低效、无法自由设计的缺点,实现多种衬底上三维中空微纳米功能结构的批量、可重复、可设计、可控制备,以满足新型光电以及传感领域。有效地解决了现有器件中支撑衬底对光强度与相位的影响问题。该结果发表在 *Microelectron. Eng.* **110** (2013) 307 上。得到国家自然科学基金委与科学院等项目的资助。

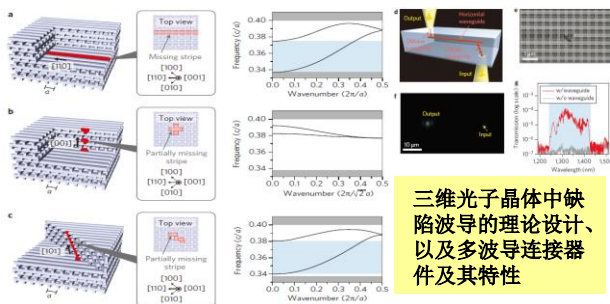


中空金字塔等离激元结构及其表面拉曼增强光谱特性

国外进展

光子晶体中三维光子传输的实现

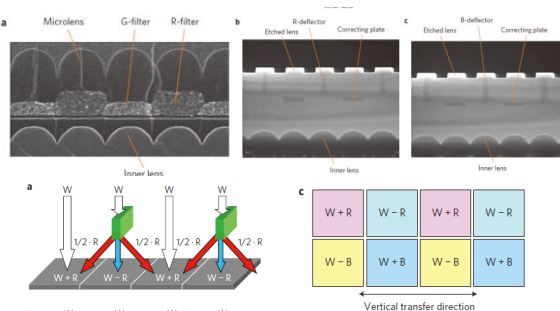
三维光子晶体是实现三维光子操控的一个基本组成单元。然而，由于人们对于在三维空间中使光子转向和定向传输的基本原理还不清楚，以及制备大面积、无缺陷的三维光子晶体技术不够成熟，三维光子操控的实现依然非常困难。日本京都大学的Kenji Ishizaki等研究了一种新型的可实现三维光传导和弯曲的硅基结构。他们首先通过模拟计算，发现水平波导和倾斜波导都能在一个较宽频段通过光子，并提出如果联合利用这两种波导，可以实现光子的三维传导。他们利用一套将二维结构对准、键合、堆叠的工艺，制备出了包含水平缺陷和倾斜缺陷的木堆积三维结构。光谱测试表明，将水平波导和倾斜波导进行不同的三维组合可以实现多种形式的光子三维传输。该成果发表在**Nat. Photonics 7 (2013) 133-137**上。



三维光子晶体中缺陷波导的理论设计、以及多波导连接器件及其特性

用于高分辨率成像的高效分色器

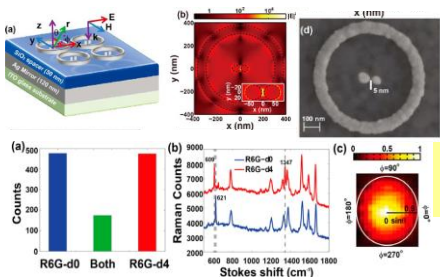
当光学传感器的像素点尺寸减小虽然到与可见光波长相当时，可探测到的光学信号的强度就会大大降低。而传统光学传感器分色彩使用的是滤波器，滤波器能够吸收部分光子，这就使得进入探测器的光强更弱。解决这一问题的方案之一是使用透明的分光器件将不同颜色的光分离开来避免光损耗。日本松下电器公司器件方案解决中心的Seiji Nishiwaki等人，采用微米尺寸的透明平板状结构，取代传统CCD中滤波元件，进行分光，实现光的近场偏转成像。他们利用薄膜生长和刻蚀技术，制备了埋藏在氧化硅中的氮化硅微米平板状结构，并以此作为光偏转器，实现了红光或蓝光侧向偏转，而其它光垂直透过。不同方向出射的光可被下方的探测器接收，然后通过一定的信号线性组合，还原出入射光中红、绿、蓝三种颜色的分量。这一探测方法的优点在于，入射光的不同颜色分量被偏转后进入不同探测器，不存在材料光学损耗；克服了分光光栅与光学传感器尺寸不匹配的问题。该成果发表在**Nat. Photonics 7 (2013) 240-246**上。



传统CCD中滤波器与文中光偏转器的对比以及光偏转器成像原理

光学天线狭缝中的单分子的定向拉曼散射

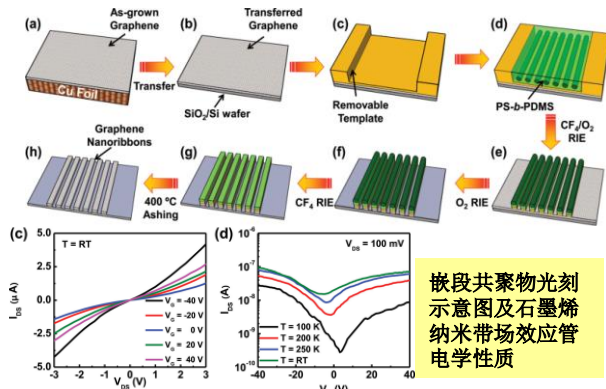
单发射器光发射的可控性是纳米光学研究的重要课题。光学天线常用来调控单量子和单分子的荧光效应。单分子研究中，单分子拉曼散射测量能够有效的观察分子的振动谱，但信号十分微弱。美国哈佛大学的D. Wang等，利用两次电子束光刻技术设计制备出一种基于ITO玻璃衬底的光学天线，该天线在普通天线（有狭缝的银颗粒对）基础上增加了Z方向上的镜面设计以及x-y平面的银纳米环设计，使得光激发的天线狭缝间电场达到普通天线电场强度的21倍，有效实现了单分子的定向拉曼散射增强。这一实验设计使得人们能在更基础的层面上理解生物化学体系，有望实现单分子参与化学反应的整个过程的观测。该成果发表在**Nano Lett. (2013) 13**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

嵌段共聚物光刻制备亚10nm石墨烯纳米带场效应晶体管

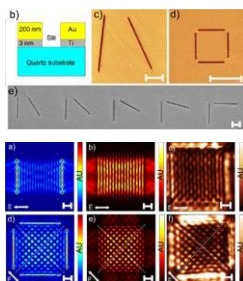
石墨烯禁带宽度为零，即在狄拉克点处能带交叠，没有带隙，不能用来制作半导体器件。因此需要发展调节石墨烯带隙宽度的工艺，以满足基于石墨烯半导体器件的需求。为了使石墨烯打开带隙，拓宽其在电子器件的应用，已有多种方法，如通过光刻、外加电场调节法等针对石墨烯几何尺寸、结构提出来的物理方法。研究表明，通过多种纳米加工技术对石墨烯纳米带的宽度进行调制，可实现其禁带宽度的调制。美国剑桥麻省理工学院的Jeong Gon Son等人利用PS-b-PDMS嵌段共聚物光刻的方法成功制备了宽度小于10nm石墨烯纳米带阵列场效应晶体管。与传统石墨烯相比，这种场效应管具有较高的开关比。宽度为9nm的石墨烯纳米带的带隙为58meV，12nm石墨烯纳米带的带隙为78meV左右。这种方法在基于石墨烯超晶格热电装置或石墨烯量子点光致发光器件研究领域具有潜在的应用。该成果发表在**Adv. Mater. 25 (2013) 34**上。



嵌段共聚物光刻示意图及石墨烯纳米带场效应管电学性质

表面等离激元干涉图样的控制与近场探测

在纳米光子学中，电磁场的近场特性调控是一核心任务。但关于调控表面等离激元的干涉图样的研究鲜有报道。鉴于此，捷克布尔诺科技大学的Petr Dvorák等人，发展了将扫描近场光学显微镜与聚焦离子束工艺相结合，利用金属膜上的两条狭缝，通过改变狭缝间角度、入射光偏振方向及不均匀背光照射来达调控等离激元的近场分布的方法。该方法简单易行，可用于纳米光刻、纳米粒子的捕获及选择性生长等纳米科学领域。该成果发表在**Nano Letters (2013) 13**上。



狭缝样品的SEM图及实测和模拟的干涉图样