

# 金膜上亚波长小孔阵列表面等离子激元颜色 滤波器偏振性质\*

王培培<sup>1)</sup> 杨超杰<sup>1)</sup> 李洁<sup>1)</sup> 唐鹏<sup>1)</sup> 林峰<sup>1)†</sup> 朱星<sup>1)2)</sup>

1) (北京大学物理学院, 人工微结构与介观物理国家重点实验室, 北京 100871)

2) (国家纳米科学中心, 北京 100190)

(2013年3月16日收到; 2013年5月20日收到修改稿)

金属薄膜上制备的表面等离子激元颜色滤波器具有很强的颜色可调性. 在 200 nm 厚的金膜上, 通过聚焦离子束刻蚀, 制备一系列周期逐渐变化的圆形、方形、矩形亚波长尺寸小孔方阵列表面等离子激元颜色滤波器, 改变入射光的偏振方向, 观察其超透射滤波现象. 研究发现: 对于矩形小孔阵列, 其透射光颜色随入射光偏振方向的变化而改变; 而对于圆形、方形的小孔阵列, 其透射光颜色对入射光的偏振方向并不敏感. 分析表明, 对于金膜上刻蚀的小孔结构, 虽然结构的周期性导致的表面等离子激元极化子会对透射光的颜色变化产生一定影响, 但是随小孔形状变化的局域表面等离子激元共振才是影响透射光颜色的决定性因素. 如果入射光没有在小孔中激发出局域表面等离子激元, 则表面等离子激元极化子对透射光的影响也会消失. 根据不同形状小孔周期结构透射光颜色随入射光的偏振变化特点, 制备出了包含两种小孔形状的复合周期结构. 随着入射光偏振方向的改变, 该结构会显示出不同的颜色图案.

**关键词:** 表面等离子激元极化子, 局域表面等离子激元, 颜色滤波器, 亚波长小孔阵列

**PACS:** 73.20.Mf, 42.25.Bs, 78.20.-e, 81.16.-c **DOI:** 10.7498/aps.62.167302

## 1 引言

颜色滤波器是互补金属 - 氧化物 - 半导体 (CMOS) 图像传感器、液晶显示、发光二极管等应用器件中的重要光学元件<sup>[1-3]</sup>. 目前, CMOS 芯片上一般使用有机材料组成的颜色滤波器, 主要是能够发射三基色的有机染料分子. 然而, 有机染料滤波器受到一些本征应用限制: 在较高温度和长时间紫外照射下, 不稳定、易分解、易失效; 由于染料分子材料的吸收系数较低, 滤波器层需要有较大的厚度; 三种颜色的有机染料分子要分层制备, 形成一个全像素点也需要复杂的套刻光刻工艺, 在应用上既不方便, 又会导致像素点尺寸较大. 近年来, 在金属薄膜上制备的亚波长小孔阵列作为表面等离子激元颜色滤波器引起了人们的极大兴趣<sup>[4-7]</sup>. 这种滤波器由金属薄膜上的周期孔阵组成, 仅仅通过

改变单层金属薄膜的厚度、金属薄膜上的小孔尺寸和形状、小孔排列方式和阵列周期等物理参数, 就可以方便地改变滤波颜色. 因此, 表面等离子激元颜色滤波器可应用于多颜色显示系统, 具有很强的颜色可调性, 并且不会受高温和紫外光照射影响而丧失透光选择性能, 可以克服有机染料滤波器的上述不足.

关于金属薄膜上二维小孔阵列超透射滤波选择效应的文献报道有很多<sup>[8-10]</sup>, 超透射滤波效应是由金属表面的小孔周期结构补偿入射光波矢后与表面等离子激元极化子 (surface plasmon polaritons, SPPs) 耦合形成的. 然而, 进一步的研究表明, 小孔内部的局域表面等离子激元 (localized surface plasmon, LSP) 也发挥一定的作用<sup>[11]</sup>. 一般认为, 对于小孔阵列结构, SPPs 和 LSP 将共同起作用<sup>[12]</sup>; 小孔阵列的周期会影响到 SPPs 的共振峰位<sup>[13]</sup>, LSP 峰

\* 国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2012CB933004) 和国家自然科学基金 (批准号: 61176120, 60977015) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: linf@pku.edu.cn

位主要取决于小孔尺寸、小孔形状等因素<sup>[14-17]</sup>. 近来,利用二维小孔周期阵列做成的颜色滤波器的金属材料主要是铝<sup>[4,18]</sup>,因为用铝做成的滤波器可以获得在可见光波段的全颜色显示.但是铝在可见光波段的介电常数的虚部值很高,不利于表面等离子共振的产生,因而会削弱超透射效应.在可见光波段,金的介电常数的虚部值要小于铝的相应数值,因而金比铝更适合研究表面等离子共振颜色滤波器的透射特征.本文通过聚焦离子束(FIB)微加工手段,在200 nm厚的金膜上制备亚波长圆形、方形和矩形孔表面等离子共振颜色滤波器,在不同偏振方向的白光照射下,研究其在可见光波段的颜色显示和透射特征,实现了对同一个样品仅仅通过偏振变化就可达到颜色调节的目的.这为表面等离子共振颜色滤波器在CMOS器件应用提供了很好的前景.

## 2 实验

通常来说,对于一个具有足够厚度的均匀的金属薄膜,入射光是无法直接透过的.然而具有亚波长周期小孔阵列的金属薄膜可以激发出SPPs,而选择性地透过特定波长的入射光<sup>[13]</sup>.由SPPs导致的透射光波长与亚波长小孔阵列周期、金属或介质的介电常数等因素有关.对于按二维四方阵列分布的亚波长小孔结构,在光束垂直入射条件下,一般认为其透射波长可由如下公式确定<sup>[9]</sup>:

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{i^2 + j^2}} \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_d + \epsilon_m}}, \quad (1)$$

其中, $P$ 代表阵列周期大小, $\epsilon_m$ 和 $\epsilon_d$ 分别代表金属介电常数和与其接触的介质的介电常数, $i,j$ 代表小孔阵列的散射级次.由上式可知,对于给定的金属材料 and 介质界面,亚波长小孔的周期决定了由SPPs造成的透射波长.实验中,样品结构的设计根据(1)式来大体确定小孔周期阵列的结构参数.

选取金膜作为样品制备的基础,金膜厚度为200 nm,远大于其趋肤深度,如果金膜表面没有亚波长小孔结构,入射光将无法透过金膜.样品的制备过程如下:首先,在石英玻璃衬底上用电子束蒸镀方法淀积200 nm厚的金薄膜;然后利用聚焦离子束(FIB)刻蚀系统(Strata FIB 201, FEI company, 30 keV Ga ions)在金膜上制备圆形、方形、矩形(长宽比为4:1)一系列不同周期的15×15的孔阵结构.这样大小的透射面既能保证周期阵列超透

射现象的产生,又方便了实验过程中的测量.小孔形状造成的LSP共振在超透射滤波过程中发挥了重要作用<sup>[14-16]</sup>,本文通过制备圆形、方形和矩形三种形状的亚波长小孔阵列,研究不同形状小孔阵列在偏振光入射下的透射特点.为了涵盖绿、黄、红三种颜色,阵列周期分别定为300, 400, 500和600 nm.为了更好地说明SPPs和LSP对透射光位置的影响,又制备了无序排列的矩形小孔阵列.此外,根据不同小孔阵列的透射特点,制备了两种小孔阵列结构组成的复合结构.

本文以卤素灯作为光源,这种光源光谱覆盖范围广,发光稳定.光经汇聚透镜垂直入射到偏振片后,再入射到样品的玻璃衬底上,从小孔阵列处发出的透射光,透过50倍物镜聚焦,经半透半反镜分别由CCD和光谱仪收集,获得光学图像和透射谱图.改变光源的偏振方向,即可得到随偏振变化的光学图像和透射谱图.对于所测得的光谱,根据和小孔阵列相同的一个较大孔洞透过的光进行归一化处理,得到亚波长小孔阵列的相对透射光谱.

## 3 结果与讨论

利用上述实验方法,制备出了长宽比为4:1的亚波长矩形小孔周期阵列结构,其扫描电子显微镜(SEM)图像如图1(a)所示,此样品为15×15方形阵列,阵列周期为300 nm,单个矩形小孔尺寸为240 nm×60 nm.规定偏振角度为0°时,入射光电场方向平行于矩形孔长边,偏振角度为90°时,入射光电场方向垂直于矩形孔长边.改变入射光源偏振方向,得到从0°逐渐变化至90°的系列光学显微图像,如图1(b)所示.从图中可以明显看出,随着偏振角度的变化,矩形阵列的光学显微像从0°时的绿色,逐渐改变至90°时的黄色.

同时,用光谱仪测量不同偏振角度下的透射谱图,归一化后的谱图如图1(c)所示.图中透射谱与样品显示颜色能很好对应,偏振角度为0°时,只观察到491 nm处有透射峰,与图1(b)中的绿色相对应.前人研究表明,491 nm处的透射峰对应金膜中固有电磁透射峰<sup>[19]</sup>,与表面等离子共振产生的透射增强没有关系.对于金薄膜,当波长大于517 nm时,满足Drude自由电子模型,其透射强度随波长增加而减小;而波长小于517 nm时,各种带间跃迁将导致其透射减小.因而在517 nm附近会

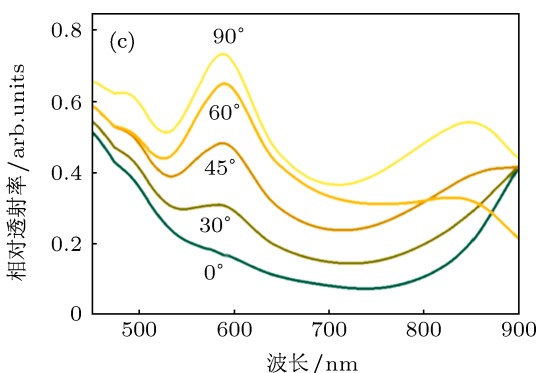
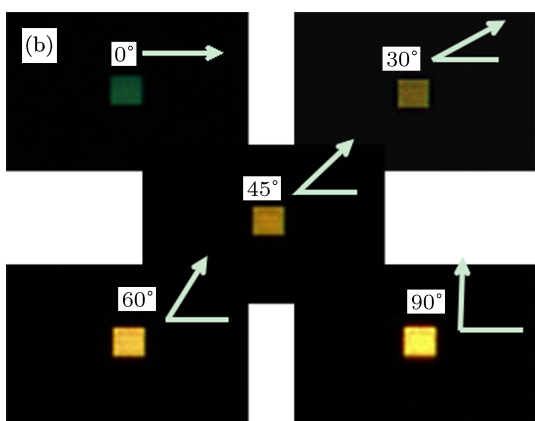
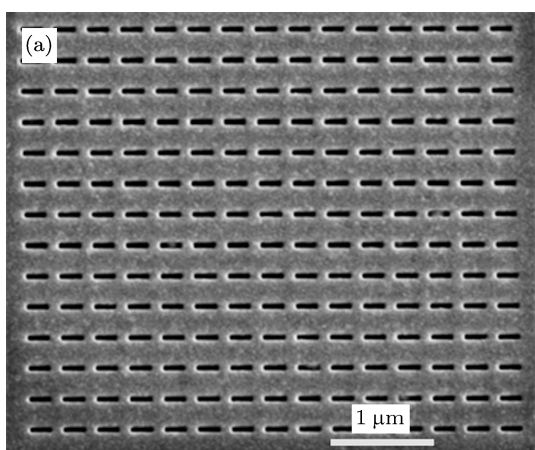


图 1 偏振光入射下亚波长矩形小孔周期阵列的超透射滤波现象 (a) 厚度为 200 nm 的金膜上亚波长矩形小孔阵列扫描电子显微镜图像, 阵列周期为 300 nm, 矩形小孔尺寸为 240 nm × 60 nm; (b) 改变亚波长矩形小孔阵列的入射光偏振方向得到的光学显微图像, 其中偏振角度为 0° 代表电场方向平行于矩形小孔长边方向, 偏振角度为 90° 代表电场方向垂直于矩形小孔长边方向, 随着偏振角度的逐渐增大, 样品颜色由绿色逐渐变为黄色; (c) 与图 (b) 中偏振角度相对应的相对透射光谱

出现一个透射峰位, 这个透射峰位受到等离激元共振影响而发生移动, 这里 491 nm 处的透射峰位即由金膜 517 nm 附近的固有透射峰移动导致. 但当入射光偏振角度从 0° 变化至 90° 时, 在波长 592 nm 处出现一个逐渐增强的峰, 此峰与图 (b) 中的黄

色对应. 此时, 入射光的电场方向与矩形孔的长边垂直, 入射平面波和单个亚波长小孔相互作用, 形成 LSP 共振, 透过小孔, 从透射面发射出来. 图 1(c) 中的结果也表明这时 592 nm 的透射峰最强, 说明沿矩形短边方向振荡的偶极子在透射过程中起到了主要作用. 依照 (1) 式, 对于周期为 300 nm 的阵列结构, 对透射谱贡献最大的 (1,0) 散射峰位应在 540 nm 处. 而图 1(c) 中结果表明, 只在 592 nm 处出现了由 LSP 造成的透射峰位, SPPs 并没有起作用. 此外, 在入射光偏振角度小于 30° 时, 样品的颜色基本保持为绿色, 说明当入射光电场方向与矩形孔短边接近垂直时, 即偶极子沿着长边方向振荡时 (这里长边的尺寸是 240 nm), 其电磁振荡强度很低.

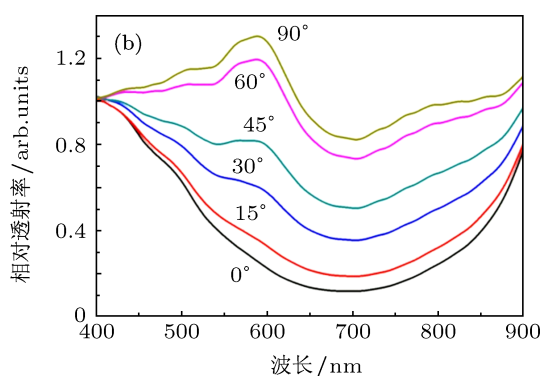
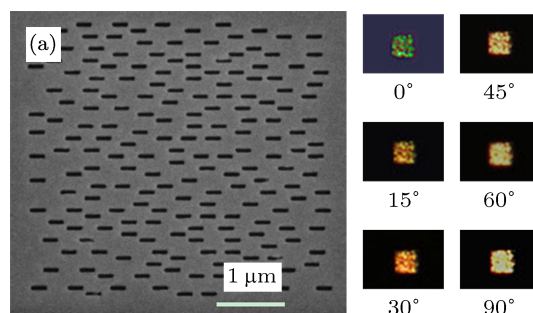


图 2 偏振光入射下亚波长矩形小孔无序阵列的超透射滤波现象 (a) 左侧为无序排列的亚波长矩形孔结构的 SEM 图像, 单个矩形孔尺寸为 240 nm × 60 nm, 右侧为入射光偏振角度从 0° 逐渐变化至 90° 时样品的光学显微图像; (b) 入射光偏振角度从 0° 逐渐变化至 90° 时所对应的透射光谱

为了更好地说明 LSP 对样品透射光谱的影响, 我们制备了无序排列的亚波长矩形孔结构, 这样可以排除由阵列周期造成的 SPPs 的影响. 小孔尺寸与前面周期排列的矩形孔相同, 仍为 240 nm × 60 nm, 其 SEM 图像如图 2(a) 左侧所示. 逐渐改变入射光偏振方向后, 得到一系列光学显微图像如图 2(a) 右侧所示, 随着入射光偏振角度的增大, 矩形孔无序结构所显示的颜色从绿色逐渐变为黄色, 其颜色变

化规律和图 1(b) 中结果基本一致, 说明即使孔阵列不存在周期性, 仍存在随入射光偏振而改变的透射滤波现象. 此样品透射光谱如图 2(b) 所示, 在偏振角度为  $0^\circ$  时, 透射谱只在 504 nm 附近显示与绿色相对应的透射峰; 随着偏振角度的增大, 在 589 nm 附近逐渐出现与样品所呈现的黄色对应的透射峰, 与图 1(c) 中 592 nm 处透射峰在峰位和偏振的依赖关系上都一致. 由于这个样品不具有周期性, 无法产生 SPPs 共振峰位, 此 589 nm 的透射峰主要是单个小孔的 LSP 共振引起. 同时说明, 图 1 中周期结构的 592 nm 处透射光也主要来自于 LSP 作用. 对于矩形小孔, 由于其长短边尺寸的差异, 由 LSP 共振引起的透射光谱对入射光偏振方向有很强的依赖关系.

不同形状小孔的透射滤波性质会有所不同<sup>[12,14-16]</sup>, 为了进一步说明在偏振光入射下各种形状小孔结构的透射滤波特点, 分别制备了不同周期的圆形、方形和长宽比为 4:1 的矩形孔阵列, 逐渐改变入射光偏振方向, 获得的颜色显示图像如图 3 所示. 文中所述样品尺寸一般为几个微米, 三种形状的周期结构都按方形阵列分布. 图 3(a) 为亚波长圆孔阵列组成的系列图像, 上部为其中一个周期结构的典型 SEM 图像, 下部是横坐标为周期, 纵坐标为偏振角度的光学图像. 其中, 单个圆孔尺寸是其相应阵列周期的一半. 从图中可以看出, 在相同偏振角度下, 随着小孔阵列周期从 300, 400 到 500 nm 逐渐增大, 其颜色显示从绿色逐渐变到黄色, 透射峰位明显红移, 这与之之前所述的金膜中 SPPs 造成的共振透射规律相符. 随着入射光偏振角度的逐渐变化, 每个周期结构小孔阵列的颜色基本没有发生变化, 这是由于对圆形孔而言, LSP 在每个激发光偏振方向上的共振特征都是一样的. 而图中颜色的微小差异, 是实际制备的圆形小孔并不是理想圆形造成的. 而周期为 600 nm 时阵列周期显示为绿色, 这和 SPPs 造成的共振透射理论不相符, 因为由 (1) 式, 此时的 SPPs 共振波长应该在 886 nm 处. 研究表明, 对于单个矩形孔而言, 随着与入射光偏振方向平行的边长的增大, 由 LSP 造成的峰位强度将逐渐变弱<sup>[8]</sup>. 对应图 3(a) 中由于圆孔尺寸过大, LSP 的作用非常微弱. 此时圆孔阵列显示出的绿色, 是金膜中固有电磁透射峰<sup>[19]</sup>. 这个结果也说明了对于金膜上的小孔结构, LSP 对透射光波长的调制是主要的, 如果 LSP 不再发挥作用, SPPs 对透射光的

影响也会消失. 图 3(b) 为亚波长方孔阵列组成的系列图像, 其单个小孔尺寸也是对应阵列周期的一半, 它表现出和圆孔阵列相似的透射现象, 整体颜色受 SPPs 调制, 但在周期为 600 nm 时, 由于 LSP 作用较弱, SPPs 对透射光的调制也消失. 图 3(c) 为亚波长矩形孔阵列组成的一系列图像, 单个矩形小孔的长度是相应阵列周期的 4/5, 宽度是相应阵列周期的 1/5. 在入射光偏振角度为  $0^\circ$ , 即电场方向与矩形长边平行时, 四个矩形小孔周期阵列样品都呈现为绿色; 而入射光偏振角度较大时, 越接近  $90^\circ$ , 样品透射光颜色随周期改变而发生的变化越明显. 对于周期相同的五个样品, 随着偏振角度的逐渐增大, 都表现出比较明显的颜色变化, 即从绿色变为黄色或红色. 说明在入射光偏振角度为  $0^\circ$  时, 在此方向上孔的尺寸较大, LSP 强度很小, 难以产生共振透射现象, 金膜中 SPPs 造成的共振透射的影响也无法显现, 因而样品表现出金膜本身的透射特性. 当偏振角度增大时, 由矩形小孔短边方向产生的 LSP 逐渐增强, 从而产生了共振透射. 同时, 随着样品周期尺寸的改变, 其颜色变化也体现了金膜中 SPPs 共振透射的影响.

对比图 3(a), (b), (c) 三组系列图发现, 圆孔、方孔和矩形孔在颜色显示方面有一定的区别. 随着入射光偏振角度从  $0^\circ$  逐渐变化至  $90^\circ$ , 矩形孔阵列对应的颜色显示图像随偏振的改变要比圆孔和方孔明显许多, 并且在偏振角度仅仅改变十几度的时候即出现由绿色到黄色的明显变化, 这是由矩形小孔特殊的几何特征造成的, 因为其长宽比为 4:1, 偏振方向与矩形长边垂直时, 偶极子沿矩形短边方向的振荡, 其产生的影响要远大于偶极子沿长边振荡的影响. 所以当入射光偏振方向与矩形孔长边平行时, 由于偶极子沿长边振荡的作用很小, 所以样品表现出金膜本身的透射特性, 颜色显示为绿色. 而当入射光偏振方向与矩形长边垂直时, 矩形阵列颜色显示出长波段的黄色和红色, 这就是之前所述的 LSP 共振, 即短边振荡偶极子所造成的透射增强现象. 综合圆孔、方孔和矩形孔三种小孔的透射特征, 可以看出, 三种形状的周期小孔阵列结构都是受 SPPs 和 LSP 共同作用的, 但二者并不是独立作用. 当与入射光电场方向平行的小孔尺寸较大时, LSP 对小孔透射产生的影响较弱, 这会影响到 SPPs 的作用, 使得 SPPs 对小孔透射的影响也几乎无法体现.

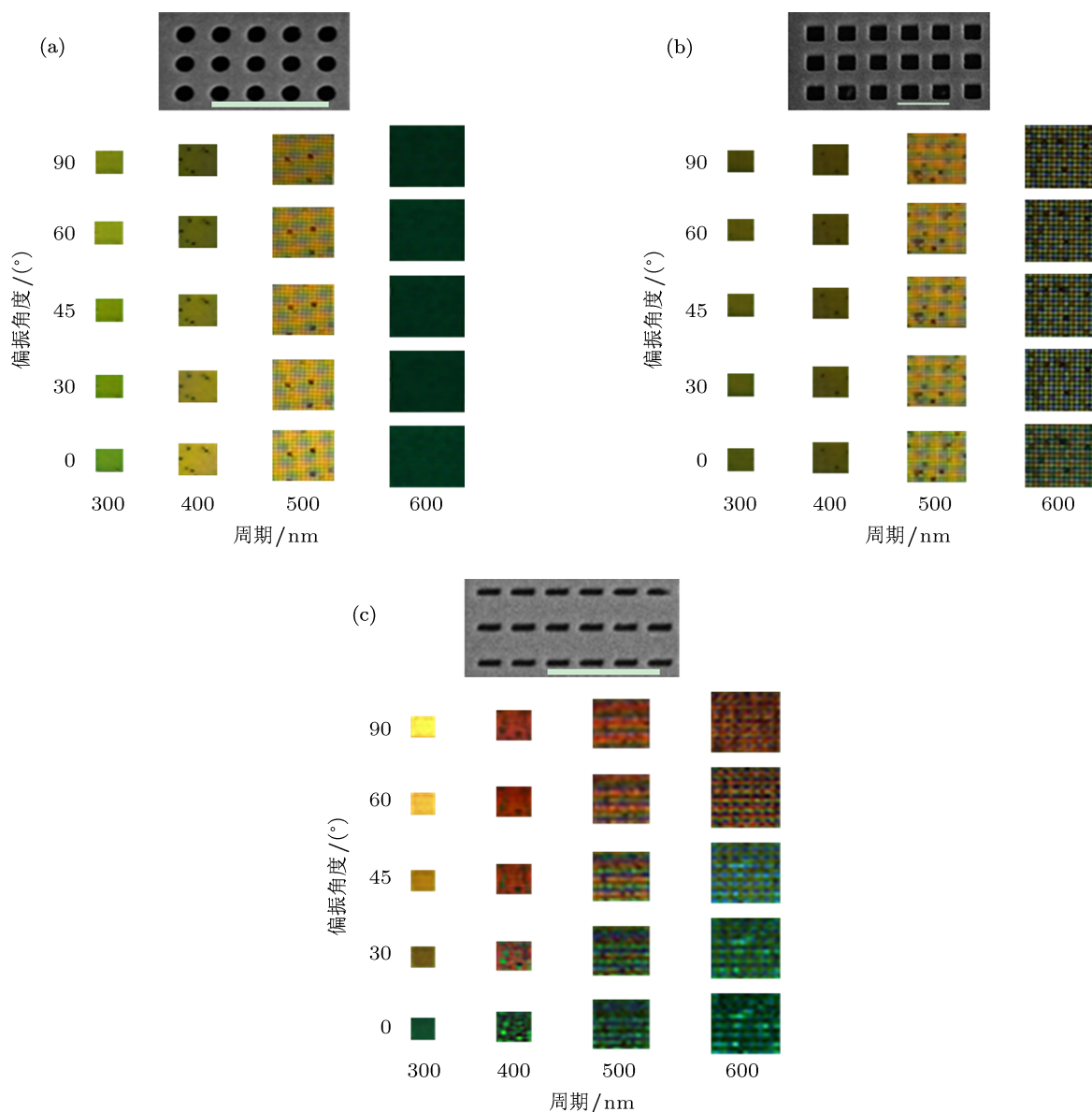


图3 偏振光入射下圆形、方形和长宽比为4:1的矩形孔阵列随周期改变的系列颜色显示图像 (a) 亚波长圆孔阵列随周期和偏振改变后得到的光学显微镜图像; (b) 亚波长方孔阵列随周期和偏振改变后得到的光学显微镜图像; (c) 亚波长长矩形孔阵列随周期和偏振改变后得到的光学显微镜图像. 图中横坐标代表阵列的周期从300 nm 逐渐变化至600 nm, 纵坐标代表阵列的偏振角度从0° 逐渐变化至90°; 图中上部分的插图分别代表三种形状小孔阵列的典型SEM 图像; (a), (b), (c) 中三个标尺均代表1 μm

结合上述实验结果, 根据小孔结构、尺寸、周期的不同, 可以设计出随入射光偏振变化的不同图案. 我们制备了矩形孔阵列和圆孔阵列的复合结构, 其 SEM 图像如图 4(a) 左侧所示. 此复合结构包括一个 T 形部分和两个方形部分, T 形部分由周期为 300 nm 的矩形孔阵列组成, 单个矩形孔大小为 240 nm × 60 nm; 两个方形部分由周期为 160 nm 的圆形孔阵列组成, 单个圆形孔直径为 80 nm. 改变入射光偏振方向, 得到其光学显微图像如图 4(a) 右侧所示, 在偏振角度为 0° 时, 两部分样品都表现为绿色, 随着偏振角度的增大, T 形部分的矩形阵列颜

色从绿色逐渐变为黄色, 而方形部分的圆孔阵列并未出现相应的颜色变化. 这是因为当圆形小孔尺寸小于 100 nm 时, 这样的周期阵列小孔结构是不能发生共振透射的, 只是表现为金膜本身的透射特性. 而这里 T 形部分的矩形小孔阵列随偏振的颜色变化同图 1 中的结果一致.

复合结构的透射光谱如图 4(b) 所示. 在偏振角度为 0° 时, 透射谱中只是在 498 nm 附近出现了与绿色相对应的峰位, 对应该复合结构中圆形孔和矩形孔中金膜本身的透射光; 随着偏振角度的增大, 逐渐在 601 nm 处出现了与 T 形部分的黄色相对应



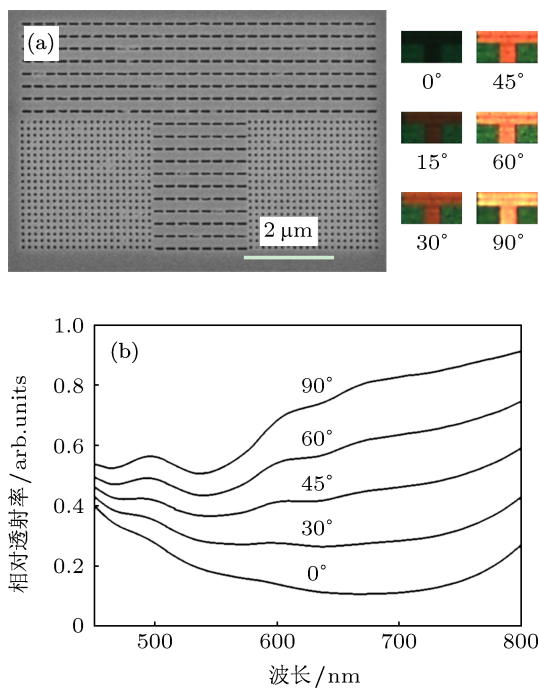


图4 金膜上亚波长圆形孔和矩形孔阵列的复合结构 (a) 左侧为圆孔和矩形孔复合结构的 SEM 图像, T 形部分为矩形孔阵列, 周期为 300 nm, 两边的方形阵列为圆孔结构, 周期为 160 nm, 右侧为入射光偏振角度从  $0^\circ$  逐渐变化至  $90^\circ$  时的光学显微图像; (b) 入射光偏振方向逐渐改变时所对应的透射光谱图

的峰位, 方形部分显示的绿色所对应的 498 nm 处的峰位也同时存在, 对应着圆形孔阵列部分的透

射光.

## 4 结论

本文采用 FIB 微加工手段, 在基底为石英玻璃的 200 nm 厚金膜上制备了圆形、方形和矩形小孔的一系列表面等离激元颜色滤波器样品. 逐渐改变入射光偏振方向后, 得到了它们的颜色显示特征. 分析表明, 三种形状的小孔阵列的透射光虽然一定程度上受到了 SPPs 的影响, 但是 LSP 是影响其颜色变化的主要因素. 对于长宽比为 4:1 的矩形小孔阵列, 其无序排列的样品与周期排列的样品所产生的透射滤波效果是一样的. 如果样品小孔尺寸大至不足以引起 LSP 的作用, 则 SPPs 对透射光的影响也会消失, 这充分说明 LSP 是影响小孔阵列超透射现象的主要因素. 亚波长小孔阵列的上述现象说明, 只要改变入射光的偏振方向, 即可方便调节一个单层金属薄膜上样品的透射波段. 利用不同小孔的透射特征, 还制备出了特殊的复合颜色显示模块. 这为表面等离激元颜色滤波器在色彩合成图像显示、CMOS 图像传感器等领域提供了很好的应用基础.

- [1] Cho Y, Choi Y K, Sohn S H 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 051102
- [2] Catrysse P B, Suh W, Fan S, Peeters M 2004 *Opt. Lett.* **29** 974
- [3] Kanamori Y, Shimono M, Hane K 2006 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **18** 2126
- [4] Yokogawa S, Burgos S P, Atwater H A 2012 *Nano Lett.* **12** 4349
- [5] Chen Q, Das D, Chitnis D, Walls K, Drysdale T D, Collins S, Cumming D R S 2012 *Plasmonics* **7** 695
- [6] Laux E, Genet C, Skauli T, Ebbesen T W 2008 *Nat. Photon.* **2** 161
- [7] Xu T, Wu Y K, Luo X G, Guo L J 2010 *Nat. Commun.* **1** 1058
- [8] Degiron A, Lezec H J, Yamamoto N, Ebbesen T W 2004 *Opt. Commun.* **239** 61
- [9] Genet C, Ebbesen T W 2007 *Nature* **445** 39
- [10] Yi Y X, Wang G P, Long Y B, Shan H 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 604 (in Chinese) [易永祥, 汪国平, 龙拥兵, 单红 2003 物理学报 **52** 604]
- [11] Degiron A, Ebbesen T W 2005 *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **7** S90
- [12] Hua Y L, Fu J X, Li J Y, Li Z Y, Yang H F 2010 *Chin. Phys. B* **19** 047309
- [13] Ghaemi H F, Thio T, Grupp D E, Ebbesen T W, Lezec H J 1998 *Phys. Rev. B* **58** 6779
- [14] Klein Koerkamp K J, Enoch S, Segerink F B, van Hulst N F, Kuipers L 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 183901
- [15] van der Molen K L, Klein Koerkamp K J, Enoch S, Segerink F B, van Hulst N F, Kuipers L 2005 *Phys. Rev. B* **72** 045421
- [16] Sun M, Liu R J, Li Z Y, Cheng B Y, Zhang D Z, Yang H F, Jin A Z 2006 *Chin. Phys.* **15** 1591
- [17] Zhao Q, Li C, Zhou Y S, Wang H Y 2011 *J. Phys.: Condens. Matter* **23** 015005
- [18] Chen Q, Cumming D R S 2010 *Opt. Express* **18** 14057
- [19] Schwind M, Kasemo B, Zoric I 2013 *Nano Lett.* **13** 1743

# Polarization properties of plasmonic color filters comprised of arrays of subwavelength size holes on Au films\*

Wang Pei-Pei<sup>1)</sup> Yang Chao-Jie<sup>1)</sup> Li Jie<sup>1)</sup> Tang Peng<sup>1)</sup>  
Lin Feng<sup>1)†</sup> Zhu Xing<sup>1)2)</sup>

1) (*State Key Laboratory for Mesoscopic Physics, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China*)

2) (*National Center for Nanoscience and Nanotechnology, Beijing 100190, China*)

(Received 16 March 2013; revised manuscript received 20 May 2013)

## Abstract

Plasmonic color filters comprised of metal films can be adjusted easily. Periodic arrays of subwavelength size holes with circle, square and rectangular shape are fabricated on 200 nm thick Au films by using focused ion beam. The structures are utilized as plasmonic color filters for exhibiting color variation under the illumination of white light in different polarization directions. We find that for rectangular hole arrays, the color of the transmitted light changes greatly with polarization direction. However, for arrays of circle and square holes, color of the transmitted light is not sensitive to the polarization direction of incident light. We conclude that localized surface plasmon around a single hole is a key factor in influencing the color of transmission light, rather than surface plasmon polaritons induced by periodic arrays. If incident light does not excite the localized surface plasmon around the holes, the effect of surface plasmon polariton will disappear. Based on different display colors of transmitted light of the subwavelength holes with polarization, a composite color display sample is prepared, which will exhibit different color patterns as the polarization direction of incident light changes.

**Keywords:** surface plasmon polaritons, local surface plasmon, color filters, arrays of subwavelength size hole

**PACS:** 73.20.Mf, 42.25.Bs, 78.20.-e, 81.16.-c

**DOI:** 10.7498/aps.62.167302

\* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2012CB933004) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61176120, 60977015).

† Corresponding author. E-mail: linf@pku.edu.cn