中国光学
Chinese Optics
核心期刊

胶体光子晶体环的研制及其光学性能

崔丽影 卢扬 钟双玲

Fabrication and optical properties of a ring-shaped colloidal photonic crystal

CUI Li-ying, LU Yang, ZHONG Shuang-ling

引用本文:
崔丽影, 卢扬, 钟双玲. 胶体光子晶体环的研制及其光学性能[J]. 中国光学, 2021, 14(6): 1348-1354. doi: 10.37188/CO.2021-0107
CUI Li-ying, LU Yang, ZHONG Shuang-ling. Fabrication and optical properties of a ring-shaped colloidal photonic crystal[J]. *Chinese Optics*, 2021, 14(6): 1348-1354. doi: 10.37188/CO.2021-0107

在线阅读 View online: https://doi.org/10.37188/CO.2021-0107

文章编号　2095-1531(2021)06-1348-07

胶体光子晶体环的研制及其光学性能

崔丽影*, 卢　扬, 钟双玲
（吉林农业大学 资源与环境学院，吉林 长春 130118）

摘要: 为了满足图案胶体光子晶体在实际应用中的需要,提出旋涂这种简单胶体光子晶体环的快速制备方法。基底为圆型图案光刻胶结构,乳胶球为疏水核亲水壳结构聚(苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯-丙烯酸)乳胶球。对所制备的样品进行形貌和光学性能表征,研究了旋涂速度、乳胶球浓度和不同圆型光刻胶图案基底对旋涂过程中乳胶球组装形貌的影响。结果表明制备胶体光子晶体环的最佳参数如下:旋速为 2000 r/min,乳胶球质量百分比浓度为 7.5%,圆型光刻胶结构的直径约为 22.8 μm;环中乳胶球进行相对有序组装,这与光谱图中峰的位置和宽度相一致,分析原因可能是由于组装时间太短导致的。这种快速的胶体光子晶体环的成功构筑归因于图案基底的物理限域和浸润性差异,这种方法可能在光学器件、传感和防伪方面有着广泛的应用前景。

关　键　词: 胶体光子晶体;旋涂;图案
中图分类号: TP394.1;TH691.9　　**文献标志码:** A　　**doi:** 10.37188/CO.2021-0107

Fabrication and optical properties of a ring-shaped colloidal photonic crystal

CUI Li-ying*, LU Yang, ZHONG Shuang-ling
(*College of Resources and Environment*, *Jilin Agricultural University*, *Changchun* 130118, *China*)
* *Corresponding author*, *E-mail*: *cuily@iccas.ac.cn*

Abstract: The quick fabrication of ring-shaped colloidal photonic crystal was demonstrated on the circle-patterned photoresist substrate by spin-coating, which is promising for practical application. Latex spheres were designed with a hydrophobic core and a hydrophilic shell of poly(styrene-methyl methacrylate-acrylic acid). Scanning Electron Microscopy (SEM) images and reflectance spectra of the as-prepared ring-shaped colloidal photonic crystals were acquired. The influences of spinning speed, latex sphere concentration and different circle-patterned photoresist substrates on the morphology of the ring-shaped colloidal photonic crystal were investigated. The results indicate that the optimal parameters for preparing a ring-shaped colloidal photonic crystal are achieved with a spinning speed of 2000 r/min, a latex sphere concentration of 7.5% and a circle-patterned photoresist structure (diameter: 22.8 μm). The SEM images showed that the latex spheres were almost all deposited at the periphery of the ring and were dispersed with relative order, which was attributed to fast evaporation. This fast self-assembly method for preparing ring-shaped colloidal photonic crystals was achieved by spin-coating and relied on the physical confinement of patterned photoresist substrates and their

收稿日期: 2021-05-12; **修订日期:** 2021-05-26
基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(No.51403076)
Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51403076)

wettability difference. It will have important applications in optical devices, sensing materials and anti-counterfeiting.

Key words: colloidal photonic crystal; spin coating; pattern

1　引　言

胶体光子晶体是指直径在微米或亚微米级别的无机或有机单分散乳胶粒在重力、静电力或毛细管力等作用下组装形成的二维或三维有序阵列结构。由于胶体光子晶体膜在传感、检测、催化等方面具有潜在的应用前景,使其在基础研究及实际应用方面吸引了科研人员的广泛关注[1-7]。图案化的胶体光子晶体为构建高性能光子晶体器件提供了新途径。通常,人们通过图案基底诱导自组装[8-16] 和喷墨打印[17-23] 两种方法制备图案化光子晶体。图案基底诱导自组装最初是基于基底拓扑结构的物理限域[8],之后基于图案浸润性基底实现鱼[9] 和国际象棋[10] 形状胶体光子晶体的制备。近年来,由于纳米技术的迅速发展,中国科学院化学研究所宋延林研究员课题组利用基于超浸润基底的三明治自组装法实现了对单一尺寸和两种不同尺寸颗粒的有序一维共组装结构的精细调控和图案化[12-16],通过控制体系黏度,可以得到精细的锯齿型和线型组装结构。这是纳米印刷技术在先进制造领域的一大突破,对微纳米材料精细图案化和功能器件的印刷制造具有重要意义。喷墨打印作为有竞争力的图案制备方法在制备性能优异器件方面有着广泛的应用。中国科学院宋延林研究员课题组报道了利用喷墨打印技术在疏水基底上制备了半球结构光子晶体和连续光子晶体线图案。进一步将光子晶体荧光增强特性与表面浸润性图案相结合,将其先后应用于无标记蛋白[21]、四环素[22] 和痕量检测[23]。

胶体光子晶体环具有对光的传输方向进行调控的独特优势,这将有助于推进光子晶体在光电集成领域的应用。但关于胶体光子晶体环的报道较少[24-28]。目前报道的方法主要是利用咖啡环[24-26] 和三明治[27-28] 两种方法。例如,2016 年,中国科学院理化技术研究所王京霞[27] 研究员等将单分散胶乳液填充在超亲水基底与超疏水硅柱形成的三明治结构中,利用疏水硅柱的限域作用,不仅实现了光子晶体微环阵列的制备,而且所制备光子晶体微环具有光波导性能,传播距离是可以调控的[27]。旋涂方法的发展提供了一种胶体光子晶体的快速制备方法,可以在几分钟内制备厘米尺寸的样品。鉴于以上情况,为了满足胶体光子晶体在实际应用中的需要,发展一种简单胶体光子晶体环的制备方法非常必要。本文利用旋涂法在图案浸润性基底实现厘米尺寸胶体光子晶体环阵列的制备。该方法无需引入分散剂,所制备的胶体光子晶体环中乳胶球可进行相对有序组装。这种快速的图案胶体光子晶体构筑方法对光子晶体的应用具有重要意义[29-34]。

2　实　验

2.1　试剂与仪器

正性光刻胶(BP212)购于北京科华微电子材料有限公司。苯乙烯、甲基丙烯酸甲酯和丙烯酸经过减压蒸馏提纯后使用。碳酸氢铵、过硫酸钾和过硫酸铵均经过重结晶提纯后使用。硫酸、过氧化氢、无水乙醇、氢氧化钠均未经过其他纯化处理。实验用水为去离子水。

利用 KW-4A 台式旋涂仪进行涂膜;采用日本电子株式会社的 JEOL FESEM-6700F 型扫描电子显微镜表征样品的形貌;接触角采用德国的 Dataphysics 接触角测量仪 OCA20,测试时液滴的体积均为 2 μL,每个接触角的数值是 5 次独立测量的平均数值;反射光谱采用海洋光学公司生产的 HR4000CG&NIR 光纤光学 UV-vis-NIR 分光光度计测试(范围为 400~2 500 nm)。

2.2　基底超亲水处理

使用前,将单晶硅片(100)作为基底,切至所需大小并放入 70 ℃ 的浓硫酸与双氧水的混合液(体积比为 7∶3)中浸泡 5 h,然后用去离子水和乙醇多次洗涤,最后吹干待用。

2.3　圆型光刻胶图案的制备

将光刻胶通过旋涂机以3 000 r/min 的速度旋

涂在清洗过的硅基片上，旋涂时间是 1 min，得到大约 2 μm 厚的光刻胶。用具有圆型图案的光刻板作为掩模板(圆型图案透光，其余地方不透光)，对旋涂有光刻胶的硅基底进行紫外曝光，时间为 1 min。在显影液中摇动 1 min 后，用去离子水冲洗，再用氮气吹干后，即得到具有圆型图案的光刻胶结构。

2.4 聚 (苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯-丙烯酸) 单分散乳胶粒的制备

聚 (苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯-丙烯酸) 乳胶球的制备是根据文献 [1,17] 方法进行改进，通过一步乳液聚合的方法制备而成。在 100 mL 水中加入 10.00 mmol 甲基丙烯酸甲酯、13.89 mmol 丙烯酸和 182.60 mmol苯乙烯，随后溶入一定量的乳化剂十二烷基苯磺酸钠 (0~0.011 mmol，其浓度低于临界胶束浓度) 和缓冲剂碳酸氢铵 6.30 mol。反应液在 70 ℃ 保持 0.5 h，然后加入 2.12 mmol 过硫酸铵的水溶液，连续搅拌并于 80 ℃ 聚合 10 h，便得到无需纯化可直接使用的单分散乳胶球。

3 胶体光子晶体环形貌的影响因素

实验采用简单易行的旋涂法制备胶体光子晶体环，但在短时间内实现乳胶球的自组装比较困难，为此设计了具有疏水的核和亲水的壳的功能乳胶球以使乳胶球在旋涂过程中快速进行自组装[17]。文中所使用的乳胶球直径均为 286 nm。乳胶液的多分散性约为 0.005，是由 ZetaPALS BI-90plus (Brookhaven Instrument) 测定的。旋涂法需要高黏性的乳液，必须经过复杂的再分散过程，而分散剂的引入将降低所制备胶体光子晶体膜的光学性能，而且亲水基底容易形成咖啡环结构。实验设计采用图案浸润性基底，其中光刻胶膜的接触角约为 80°，硅基底超亲水处理后接触角约为 0°。结合基底的图案浸润性和光刻胶结构的物理限域从而实现胶体光子晶体环的制备。众所周知，蒸发时间、乳液组成和基底结构等因素对乳胶球的自组装有着重要的影响，本文主要考察了旋涂速度、乳胶球浓度和基底图案对旋涂过程中乳胶球自组装行为的影响。

3.1 旋涂速度对胶体光子晶体环形貌的影响

自组装时间对旋涂过程中乳胶球的去浸润行为有着重要的影响。图 1 是不同旋涂速度所制备的胶体光子晶体环的扫描电镜图。所使用的乳胶球质量百分比浓度为 1%。从图 1 中可以明显看出，当旋涂速度为 1 000 r/min 时，所制备胶体光子晶体环是不连续的，分析原因是由于旋涂速度慢导致乳液很难在基底上均匀分散。当旋涂速度为 3 000 r/min时，环中乳胶球分布是不均一的，分析原因是虽然旋涂速度快可以使乳液在基底均匀分散，但由于组装时间短，乳胶球很难快速沉积在基底上。因此，旋涂速度太快或太慢都会导致胶体光子晶体环不均一和不连续。而当旋涂速度为 2 000 r/min 时，所制备的胶体光子晶体环中乳胶球分布相对均一，但未进行长程有序组装(图 1(e))。分析原因可能是由于乳胶球浓度较低以及组装时间太短。因此，选取旋涂速度为 2000 r/min 进行实验。

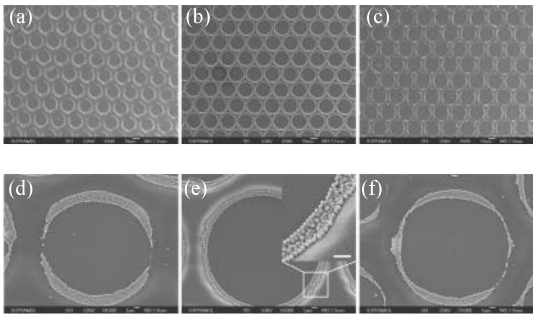

图 1 不同旋涂速度制备的胶体光子晶体环的扫描电镜图。(a, d)1 000 r/min; (b, e)2 000 r/min; (c, f)3 000 r/min。(d)，(e)和(f)是相应(a)，(b)和(c)的放大扫描电镜图

Fig. 1 SEM images of the ring-shaped colloidal photonic crystal deposited at different spinning speeds. (a, d) 1 000 r/min; (b, e) 2 000 r/min; (c, f) 3 000 r/min. (d), (e) and (f) are corresponding magnification SEM images of (a), (b) and (c).

3.2 乳胶球浓度对胶体光子晶体环形貌的影响

为了进一步考察影响所制备样品形貌的因素，研究了乳胶球浓度与胶体光子晶体环形貌之间的关系(图 2)。从图 2 可以看出，当乳胶球质量百分比浓度提高为 7.5% 时，胶体光子晶体仍然保持环形，并且环中乳胶球可进行局部有序组装。因此，适当的乳胶球浓度对旋涂过程中乳胶球的有序组装有着重要影响。但当乳胶球质量百分比浓度继续提高为 13.4% 时，胶体光子晶体环

结构消失。分析原因可能由于乳胶球质量百分比浓度太高不利于基底结构的物理限域。因此, 制备胶体光子晶体环的最佳质量百分比浓度为 7.5%。

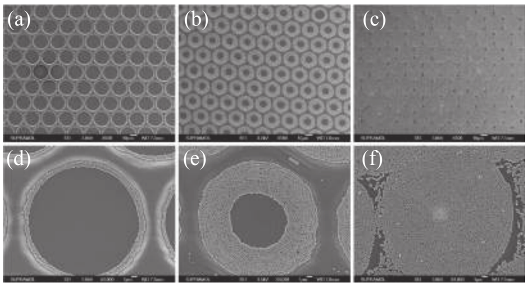

图 2　不同乳胶球浓度旋涂法制备的胶体光子晶体环的扫描电镜图。(a, d)质量百分比浓度为 1%; (b, e)质量百分比浓度为 7.5%; (c, f)质量百分比浓度为 13.4%。(d), (e)和(f)是相应(a), (b)和(c)的放大扫描电镜图

Fig. 2　SEM images of the spin-coated ring-shaped colloidal photonic crystal deposited with different latex sphere concentrations. (a, d) Mass percentage concentration is 1%; (b, e) mass percentage concentration is 7.5%; (c, f) mass percentage concentration is 13.4%. (d), (e) and (f) are corresponding magnification SEM images of (a), (b) and (c).

3.3　基底结构对胶体光子晶体环形貌的影响

从上述实验可以知道, 旋涂速度太快, 乳胶球浓度太高都不利于胶体光子晶体环的制备, 为了获得高质量的胶体光子晶体环结构。本文选择乳胶球质量百分比浓度为 7.5%, 旋涂速度为 2000 r/min, 又进一步研究了基底拓扑结构在旋涂过程中对胶体光子晶体环形貌的影响。从图 3(a)可以看出每个圆型光刻胶结构内的胶体光子晶体成圆环状, 中心没有乳胶球, 空白区直径约为 10 μm。这归因于中间裸露的硅基底是超亲水的, 使得圆型光刻胶的物理限域和其与硅基底的浸润性差异导致几乎所有乳胶球沉积在圆型边缘。进一步从图 3 可以看出, 当图案光刻胶基底圆直径减小时, 乳胶球不仅填满圆型结构内部, 而且无序分布在光刻胶结构表面 (图 3(d))。分析原因可能由于基底结构尺寸减小, 导致乳胶球浓度相对较高不利于基底结构的物理限域, 这与图 2 结果一致。另外, 从图 3(a)插图可以看出图案基本保留了掩版的圆型, 直径约为 22.8 μm, 大于掩版圆直径 20 μm。这是由于光刻采用的是接触光刻导致的。

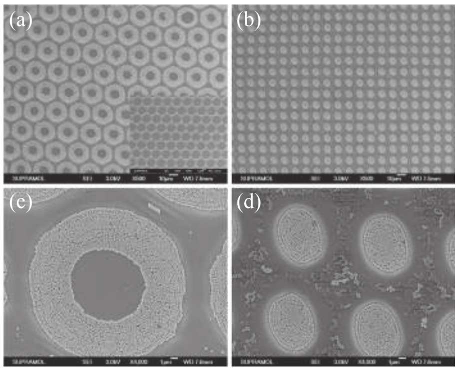

图 3　不同直径圆型光刻胶结构基底旋涂法制备的胶体光子晶体环的扫描电镜图。制备光刻胶结构所使用掩版(a, c)直径为 20 μm; (b, d)直径为 5 μm。(c)和(d)是相应(a)和(b)的放大扫描电镜图。(a)中插图为所使用的圆型光刻胶结构的扫描电镜图

Fig. 3　SEM images of spin-coated ring-shaped colloidal photonic crystals on circle-patterned photoresist structures obtained with diameters of mask (a, c) 20 μm and (b, d) 5 μm. (c) and (d) are corresponding magnification SEM images of (a) and (b). The inset of (a) is the SEM image of the circle-patterned photoresist structure.

3.4　旋涂法制备胶体光子晶体环的光学性能表征

图 4 是旋涂法在圆型光刻胶结构基底上制备的胶体光子晶体环的反射光谱图(沿着膜 [111] 方向入射), 从图 4 中可以看出光刻胶图案基底没有反射。当乳胶球质量百分比浓度为 7.5% 时, 反射峰不明显, 这与图 2 中扫描电镜结果一致。众所周知, 胶体光子晶体膜的光学性能取决于膜的厚度以及膜中乳胶球的长程有序组装[1, 17]。反射峰不明显一方面是由于组装时间短导致乳胶球很

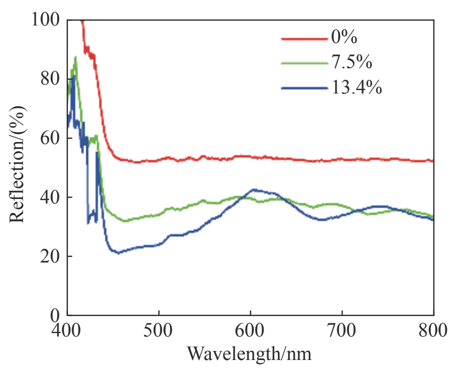

图 4　不同乳胶球浓度旋涂法制备的胶体光子晶体环的反射光谱图

Fig. 4　Reflectance spectra of as-prepared ring-shaped colloidal photonic crystals with different latex sphere concentrations.

难快速进行长程有序组装，另一方面由于受限于图案光刻胶膜的厚度(约为 2 μm)，胶体光子晶体环厚度较低。通过延长组装时间以实现旋涂过程中乳胶球的有序组装和调控环厚度从而获得高质量胶体光子晶体环的研究仍在进行中。但当乳胶球质量百分比浓度为 13.4% 时，出现反射峰位于 611 nm。反射峰的位置与所使用的乳胶球粒径 286 nm 相一致。

4 结　论

采用旋涂法在图案浸润性基底上快速制备胶体光子晶体环，主要通过设计具有疏水性核和亲水性壳乳胶球，有助于乳胶球在旋涂过程中进行快速组装。图案基底为圆型光刻胶结构。图案基底的物理限域和浸润性差异对于胶体光子晶体环的制备至关重要。制备胶体光子晶体环的最佳参数如下：旋涂速度为 2 000 r/min，乳胶球质量百分比浓度为 7.5%，圆型光刻胶结构的直径为 22.8 μm。关于旋涂过程中乳胶球组装机理以及高质量胶体光子晶体环的制备仍在进一步研究中。通过旋涂实现快速胶体光子晶体图案化的简单构筑方法在光学器件、传感和防伪等领域具有潜在的应用前景。

参考文献:

[1] WANG J X, WANG L B, SONG L Y, *et al*.. Patterned photonic crystals fabricated by inkjet printing[J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2013, 1(38): 6048-6058.

[2] 董贤子, 段宣明. 双光子三维微结构快速制备技术[J]. 光学 精密工程, 2007, 15(4): 441-446.
DONG X Z, DUAN X M. High speed two-photon laser nanofabrication of three-dimensional microstructures[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(4): 441-446. (in Chinese)

[3] 叶鑫, 倪锐芳, 黄进, 等. 自组装法制备的亚波长纳米多孔二氧化硅薄膜[J]. 光学 精密工程, 2015, 23(5): 1233-1239.
YE X, NI R F, HUANG J, *et al*.. Sub-wavelength nano-porous silica anti-reflection coatings fabricated by dip coating method[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(5): 1233-1239. (in Chinese)

[4] 毛小洁. 高功率皮秒紫外激光器新进展[J]. 中国光学, 2015, 8(2): 182-190.
MAO X J. New progress in high-power picosecond ultraviolet laser[J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(2): 182-190. (in Chinese)

[5] 冯迪, 赵正琪, 房启蒙, 等. 光子晶体光纤端面研磨损伤的分析[J]. 光学 精密工程, 2017, 25(11): 2895-2903.
FENG D, ZHAO ZH Q, FANG Q M, *et al*.. Analysis of end face damage in lapping for photonic crystal fiber[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(11): 2895-2903. (in Chinese)

[6] 杨晶, 龚诚, 赵佳宇, 等. 利用3D打印技术制备太赫兹器件[J]. 中国光学, 2017, 10(1): 77-85.
YANG J, GONG CH, ZHAO J Y, *et al*.. Fabrication of terahertz device by 3D printing technology[J]. *Chinese Optics*, 2017, 10(1): 77-85. (in Chinese)

[7] 李天琦, 毛小洁, 雷健, 等. 固体激光器与光纤激光器对光子晶体光纤棒耦合的分析与对比[J]. 中国光学, 2018, 11(6): 958-973.
LI T Q, MAO X J, LEI J, *et al*.. Analysis and comparison of solid-state lasers and fiber lasers on the coupling of rod-type photonic crystal fiber[J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(6): 958-973. (in Chinese)

[8] OZIN G A, YANG S M. The race for the photonic chip: colloidal crystal assembly in silicon wafers[J]. *Advanced Functional Materials*, 2001, 11(2): 95-104.

[9] GU ZH Z, FUJISHIMA A, SATO O. Patterning of a colloidal crystal film on a modified hydrophilic and hydrophobic surface[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2002, 41(12): 2067-2070.

[10] SUN W, JIA F, SUN ZH Q, *et al*.. Manipulation of cracks in three-dimensional colloidal crystal films via recognition of surface energy patterns: an approach to regulating crack patterns and shaping microcrystals[J]. *Langmuir*, 2011, 27(13): 8018-8026.

[11] WU L, DONG ZH CH, KUANG M X, *et al*.. Printing patterned fine 3D structures by manipulating the three phase contact line[J]. *Advanced Functional Materials*, 2015, 25(15): 2237-2242.

[12] SU M, HUANG ZH D, LI Y F, *et al*.. A 3D self-shaping strategy for nanoresolution multicomponent architectures[J]. *Advanced Materials*, 2018, 30(3): 1703963.

[13] GUO D, LI CH, WANG Y, *et al*.. Precise assembly of particles for zigzag or linear patterns[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2017, 56(48): 15348-15352.

[14] DUO D, ZHENG X, WANG X H, *et al*.. Formation of multicomponent size-sorted assembly patterns by tunable templated dewetting[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2018, 57(49): 16126-16130.

[15] GUO D, LI Y N, ZHENG X, *et al*.. Programmed coassembly of one-dimensional binary superstructures by liquid soft confinement[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140(1): 18-21.

[16] SU M, QIN F F, ZHANG Z Y, *et al*.. Non-lithography hydrodynamic printing of micro/nanostructures on curved surfaces[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2020, 59(34): 14234-14240.

[17] CUI L Y, LI Y F, WANG J X, *et al*.. Fabrication of large-area patterned photonic crystals by ink-jet printing[J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2009, 19(31): 5499-5502.

[18] 邝旻翾, 王京霞, 王利彬, 等. 喷墨打印高精度图案研究进展[J]. 化学学报, 2012, 70(18): 1889-1896.
KUANG M X, WANG J X, WANG L B, *et al*.. Research progress of high-precision patterns by directly inkjet printing[J]. *Acta Chimica Sinica*, 2012, 70(18): 1889-1896. (in Chinese)

[19] LIU M J, WANG J X, HE M, *et al*.. Inkjet printing controllable footprint lines by regulating the dynamic wettability of coalescing ink droplets[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2014, 6(16): 13344-13348.

[20] KUANG M X, WANG J X, BAO B, *et al*.. Inkjet printing patterned photonic crystal domes for wide viewing-angle displays by controlling the sliding three phase contact line[J]. *Advanced Optical Materials*, 2014, 2(1): 34-38.

[21] SHEN W ZH, LI M ZH, YE CH Q, *et al*.. Direct-writing colloidal photonic crystal microfluidic chips by inkjet printing for label-free protein detection[J]. *Lab on a Chip*, 2012, 12(17): 3089-3095.

[22] HOU J, ZHANG H CH, YANG Q, *et al*.. Hydrophilic–hydrophobic patterned molecularly imprinted photonic crystal sensors for high-sensitive colorimetric detection of tetracycline[J]. *Small*, 2015, 11(23): 2738-2742.

[23] HOU J, ZHANG H CH, YANG Q, *et al*.. Bio-inspired photonic-crystal microchip for fluorescent ultratrace detection[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2014, 53(23): 5791-5795.

[24] XIE ZH Y, LI L L, LIU P M, *et al*.. Self-assembled coffee-ring colloidal crystals for structurally colored contact lenses[J]. *Small*, 2015, 11(8): 926-930.

[25] DING H B, ZHU C, TIAN L, *et al*.. Structural color patterns by electrohydrodynamic jet printed photonic crystals[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, 9(13): 11933-11941.

[26] KAWAMURA A, KOHRI M, YOSHIOKA S, *et al*.. Structural color tuning: mixing melanin-like particles with different diameters to create neutral colors[J]. *Langmuir*, 2017, 33(15): 3824-3830.

[27] WANG Y ZH, WEI C, CONG H L, *et al*.. Hybrid top-down/bottom-up strategy using superwettability for the fabrication of patterned colloidal assembly[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2016, 8(7): 4985-4993.

[28] ZHANG B, MENG F SH, FENG J G, *et al*.. Manipulation of colloidal particles in three dimensions via microfluid engineering[J]. *Advanced Materials*, 2018, 30(22): 1707291.

[29] 黄雪雯, 许升, 赵伟, 等. 聚合物纳米组装体修饰丝网印刷电极构建过氧化氢传感器[J]. 应用化学, 2020, 37(2): 235-241.
HUANG X W, XU S, ZHAO W, *et al*.. Hydrogen peroxide sensor based on a polymeric self-assembled nanoparticles-modified screen-printed electrode[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2020, 37(2): 235-241. (in Chinese)

[30] 孙振龙, 闫顺杰, 周容涛, 等. 基于抗菌肽的智能型抗菌涂层研究进展[J]. 应用化学, 2020, 37(8): 865-876.
SUN Z L, YAN S J, ZHOU R T, *et al*.. Recent progress in the development of smart coatings based on antimicrobial peptides[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2020, 37(8): 865-876. (in Chinese)

[31] 张哲烽, 黄小东, 闻利平. 受荷叶自清洁效应启发的手术服表面改性与防污染性能[J]. 应用化学, 2019, 36(1): 34-40.
ZHANG Z F, HUANG X D, WEN L P. Surface modification and antifouling performance with surgical clothing[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2019, 36(1): 34-40. (in Chinese)

[32] 杨正军, 刘博, 黄湃, 等. 多孔聚合物微球孔结构对丙烯催化聚合性能的影响[J]. 应用化学, 2020, 37(7): 746-755.
YANG Z J, LIU B, HUANG P, *et al*.. Effect of pore structures of porous polymer microspheres on catalytic propylene polymerization[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2020, 37(7): 746-755. (in Chinese)

[33] 黄河, 李雅瑜, 郭子砚, 等. 双重响应性生物基自修复凝胶的制备及其性能[J]. 应用化学, 2019, 36(2): 146-154.
HUANG H, LI Y Y, GUO Z Y, *et al*.. Preparation and properties of dual responsive self-healing bio-based hydrogels[J].

Chinese Journal of Applied Chemistry, 2019, 36(2): 146-154. (in Chinese)

[34] SHI Y L, FENG X J, YANG R H, *et al*.. Preparation of superhydrophobic and superoleophilic corn straw fibers oil absorbents and application to the removal of spilled oil from water[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2020, 37(7): 793-802.

作者简介:

崔丽影(1979—),女,吉林省长春人,博士,高级实验师,研究生导师,2009年于中国科学院化学研究所获得博士学位,主要从事功能胶体光子晶体的制备和咖啡环问题的解决研究。E-mail: cuily@iccas.ac.cn

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊,A4开本;刊号:ISSN 2095-1531/CN 22-1400/O4;国内外公开发行,邮发代号:国内12-140,国外BM6782。

- ★ 荷兰Scopus数据库
- ★ 美国《乌利希国际期刊指南》
- ★ 美国《化学文献》
- ★ 波兰《哥白尼索引》
- ★ 俄罗斯《文摘杂志》
- ★ 美国工程索引(Ei)数据库
- ★ 美国ESCI数据库
- ★ 中国精品科技期刊
- ★ 中国科技核心期刊
- ★ 中国光学学会会刊
- ★ 中国科技论文与引文数据库
- ★ 中国期刊全文数据库
- ★ 万方数字化期刊全文数据库
- ★ 中国科技期刊数据库
- ★ 中国光学期刊网数据库

主要栏目:微纳光学、信息光学、集成光电子、光谱学和光谱仪器、激光技术与应用、光学功能材料、光学设计与工艺、大气与空间光学、光学仪器与测试、综述、前沿动态、产业资讯、科普教学、实验室介绍、自然科学基金项目进展、前沿热点访谈、热点论文等。

发稿类型:学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿。

主管单位:中国科学院
主办单位:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
协办单位:激光与物质相互作用国家重点实验室
编辑出版:《中国光学》编辑部
投稿网址:http://chineseoptics.net.cn
邮件地址:chineseoptics@ciomp.ac.cn; zggxcn@126.com
联系电话:0431-86176852; 0431-84627061 传 真:0431-84627061
编辑部地址:长春市东南湖大路3888号(130033)