

# 垂直沉积法自组装胶体光子晶体的研究进展\*

喻平<sup>1,2</sup>, 欧红叶<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学 江苏省光电技术重点实验室, 南京 210097; 2. 重庆师范大学 学报(自然科学版)编辑部, 重庆 400047)

**摘要:**光子晶体是一类电介质常数非均匀分布的人工材料, 由于其折射率的非均匀分布对入射电磁波的调制会产生类似于半导体能带结构的光子带隙特性。自1987年提出光子晶体的概念以来, 采用自组装方法制备胶体晶体已成为近年来的光子晶体领域的研究热点。基于垂直沉积的自组装方法因具有设备简单、经济、制备周期短, 晶体层厚可控等优点而受到日益广泛的重视。本文阐述了垂直沉积法自组装的机理、实验方法、缺陷控制、应用研究等方面的最新进展, 并对垂直沉积法自组装光子晶体的发展趋势及前景作了介绍。

**关键词:**垂直沉积; 自组装; 胶体; 光子晶体

中图分类号: O743

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2008)04-0074-05

光子晶体<sup>[1-2]</sup>是一类电介质常数非均匀分布的人工材料, 由于其折射率的非均匀分布对入射电磁波的调制会产生类似于半导体能带结构的光子带隙特性。利用光子晶体的这种特性可以操纵和控制光的传播, 这在光通讯、高Q值激光器、集成光路等领域有着潜在的应用前景<sup>[3]</sup>。目前, 光子晶体加工中常采用精密机械加工、半导体加工工艺(激光光刻、电子束和X射线刻蚀等)、激光全息、自组装等方法。传统的微机械加工仅用于制作微波波段光子晶体, 现有半导体加工工艺主要用于平面二维光子晶体的加工, 他们对可见光波段和三维光子晶体加工都还有一定难度。而采用光全息暴光的方法虽可以制备诸如金刚石等复杂结构<sup>[4]</sup>的三维光子晶体, 但是制备的工艺条件要求较高、费用昂贵。而通过单分散胶体微球自组装光子晶体具有简单、经济的优点, 因此是制备近红外及可见光波段光子晶体最有效的途径。一般采用重力沉淀、电场辅助沉淀、离心法、物理限制法、垂直沉积法等自组装方法来制备光子晶体。但由于重力沉淀得到的样品缺陷较多、厚度不易控制、形成大小不一的多晶区域, 离心法和物理限制法等需要的工艺条件较高而且制备的晶体层数具有不可控的缺点, 而垂直沉积自组装方法具有层数可控、制备周期短等优点, 日益受到研究者的关注<sup>[5]</sup>。

## 1 垂直沉积自组装理论

### 1.1 晶体生长的动力学模型

Nagayama 等人最早提出了微小粒子的流动传输自组装单层膜的方法, 并建立了薄膜生长动力学的理论模型<sup>[6]</sup>。如图1所示, 将一片清洁处理的亲水玻片作为基片垂直插入胶体溶液中并保持其固定不动, 在毛细作用的驱动下, 在基片—液体—空气界面形成的弯月面内粒子进行自组装形成单层或多层胶体晶体。Nagayama 将晶体的形成分为两个主要过程: 1) 粒子流动传输, 由于基底上液体蒸发造成的毛细管力驱动溶液向基片上的输送过程; 2) 基底上溶液薄层内粒子间相互作用, 这个作用是造成形成不同晶体结构的原因。Nagayama 引入一个压力梯度  $\Delta P$  来表示溶液向基片上输送的原因

$$\Delta P = (\Pi + P_{cp}) - (P_c + P_h) \quad (1)$$

(1)式中  $\Pi$  表示基片上湿薄膜内范德瓦尔斯力和分离压的总和,  $P_{cp}$  表示由于粒子之间由于液体产生的毛细浸润力,  $P_c$  表示参考毛细作用力,  $P_h$  表示垂直湿薄膜的静水压力。考虑到晶体形成过程中的粒子和溶液量守恒, 得到一个晶体生长的速度公式

$$V_c = \frac{\beta l i_c \varphi}{k d (1 - \varepsilon) (1 - \varphi)} \quad (2)$$

其中  $\beta$  为一依赖于粒子之间和粒子基片之间相互作用的比例系数(取值范围为 0 ~ 1, 通常取为

\* 收稿日期 2008-04-17 修回日期 2008-06-26

资助项目 江苏省高新技术基金资助项目( No. BG2006024 )

作者简介 喻平(1980-)男, 助理研究员, 硕士研究生, 研究方向为光子晶体相关技术。

1)  $l$  为引入的一常数称为蒸发长度,  $j_e$  表示液体蒸发速度,  $\varphi$  表示液体中粒子体积分,  $d$  为粒子直径,  $k$  为排列层厚,  $\varepsilon$  表示粒子排列的孔隙率。考虑六角密排列情况 (2) 式可以写为

$$V_e = \frac{\beta l j_e \varphi}{0.65 k d (1 - \varphi)} \quad (3)$$

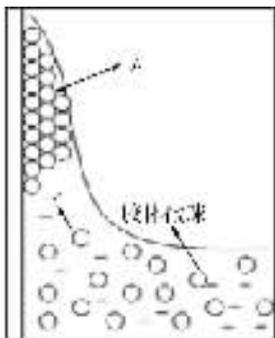


图 1 垂直沉积法自组装胶

Nagayama 研究了晶体生长过程中相互作用, 指出制备高质量排列需具有以下条件: 1) 基片须是亲水性的且液气界面形成一弯月面; 2) 应避免大粒子沉淀过快的情况; 3) 蒸发应限制在基片上粒子液体层以防止液体表面粒子的聚集; 4) 蒸发速度应足够慢以适合薄膜生长。

Colvin 等人将 Nagayama 的思想引入单分散微球自组装光子晶体的制备中, 通过多次重复沉积制备的光子晶体厚度超过 50 以上, 无缺陷区超过 10 以上<sup>[7]</sup>。Colvin 等人不但从实验上验证了 (3) 式的合理性, 而且通过控制实验条件使得 (3) 式中溶液蒸发速度等于晶体生长速度, 由 (3) 式可得到一个晶体层厚度公式

$$k = \frac{\beta l \varphi}{0.65 d (1 - \varphi)} \quad (4)$$

令人感兴趣的是 (4) 式表明蒸发速度等于晶体生长速度条件下晶体层数与溶液体积分、实验状况常数  $\beta l$ 、粒子直径等有关, 而与溶液蒸发速度无关。

Nagayama 提出的公式在低溶液浓度下与实验符合得较好, 但在溶液体积分增高的情况下与实验结果出现严重的偏离。最近, Ko 和其合作者 Shin<sup>[8]</sup> 指出 Nagayama 的模型仅仅是引入了一个蒸发长度  $l$  来减少计算与实验结果的误差, 但其并未考虑微粒之间的液体桥接, 这在多层排列情况下尤其不能忽略。他们引入一个常数  $\Gamma$  来表征粒子间溶液量, 将 (3) 式修正为

$$k = \frac{\beta l}{0.605 d v_c + \Gamma} \frac{j_e \varphi}{1 - \varphi} \quad (5)$$

其中  $\Gamma$  在不同浓度下有不同的值, 在溶液体积分数为 5% 情况下测得的  $\Gamma$  为  $0.0289 \mu\text{m}^2/\text{s}$  通过 (5) 式计算的结果与实验在不同浓度下都符合得很好。

## 1.2 晶体结构

采用垂直沉积法制备的胶体晶体多为面心立方结构<sup>[7, 9-12]</sup>。理论计算表明, FCC (Face Centred Cubic) 结构比 HCP (Hexagonal Closest Packed) 结构具有更低能量的稳定形式, 但他们之间差别很小, 对于胶体粒子单个粒子间相差约为  $10^{-3} kT$ <sup>[13]</sup> 因此较高的温度下这个差值更大, 制备得到的晶体更倾向于形成 FCC 结构。Ye 等人<sup>[10]</sup> 指出, 在实验温度为  $55^\circ\text{C}$  条件下, 粒子的成核、传输、结晶达到个平衡, 制备的晶体为面心立方结构且具有最好的晶体质量。

Norris 提出一个简单的晶体排列表面液体流机制来定性说明更容易形成 ABCABC... 而非 ABAB... 结构的原因<sup>[14]</sup>。如图 2a 所示, 为简单起见, 假设垂直的基本上已沉积了两层六角密排列的单层, 蒸发过程中液体将沿着晶体孔隙流动。图中微球之间空隙分为两类, 一类称为亮隙 C, 另一类称为暗隙 O。当分散溶液蒸发引起的毛细流驱动小球到基片时, 液体将优先通过亮隙涌入晶体空隙, 液体的流动将使微球更容易被“捕获”在亮隙处。图 2b 表示平行于基片表面方向运动的情况, 由于侧面毛细作用力的作用, A 球和 B 球在侧面毛细作用力作用下沿平行基片方向的移动情况是不一样的, 若 A 球开始时处于亮隙, 要到达暗隙需要比开始处于暗隙的 B 球从暗隙到达亮隙需要的距离要多 4 倍, 即微粒更易从暗隙运动到亮隙形成稳定的面心立方结构。

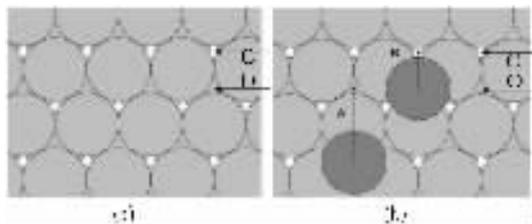


图 2 晶体结构形成示意图

## 2 制备方法

### 2.1 基片提升法

为了避免大粒子沉积过快的问, Sato 等人<sup>[15]</sup> 提出采用机械提升基片向上运动的方法来减小粒子沉降过快对结晶的影响。其实验装置示意图如图 3 所示。实验中采用了电控精密位移台, 位移速度为  $0.1 \sim 0.7 \mu\text{m}/\text{s}$ 。这种方法制备光子晶体的时间较短, 可以利用不同的提升速度来控制晶体厚度。这

种方法的缺点是提升过程中容易引起附加的振动,扰动晶体的结晶过程,可能导致位错等缺陷的产生。

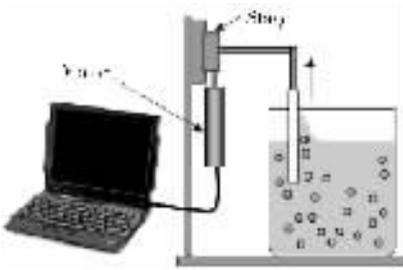


图3 基片提升法示意

## 2.2 流速控制法

与基片提升法相反,Zhao等人<sup>[16]</sup>采取使液面下降的方法来避免大粒子沉淀过快的问题。他们使用一可调速的微型蠕动泵从容器中抽取溶液,抽运速度为0.2445~0.009 mL/min,用于制备晶体的粒子直径超过1.5 μm以上。这种方法的优点是避免了提升法中基片的振动,制备的晶体质量有所提高。

## 2.3 机械搅动法

Yang等人<sup>[17]</sup>提出采用磁力搅拌激励的方法来抑制大粒子的沉降,可用于制备晶体的粒子直径超过700~2500 nm。他们在容器底部加一个旋转磁子以每分钟100~300 rpm的速度转动,这种激励保持了溶液中粒子的分散态同时保持液面弯月面的稳定,制备的晶体在红外和可见光域有较好的光学特性。Kocher等人<sup>[12]</sup>在容器底部引入一个声场振动来保持微球的分散状态,同时声场振动有利于微球二次自组装为有序的结构,实验发现引入这种声场振动可以有效地减少常规方法中易产生的层错等缺陷,得到的晶体样品范围内高度有序。这两种方法要求在小溶液容器底部搅拌的磁子距弯月面的距离较大,磁子的转速或者声场的强度要选择合适以不至于影响到弯月面处粒子传输和自组装过程。

## 2.4 对流补偿法

Norris等人<sup>[5]</sup>在溶液竖直方向引入一个温度梯度来补偿粒子的沉淀状况。他们在容器小瓶的底部和顶部将温度分别控制在80℃和65℃,温差引起的对流足以平衡掉粒子过快沉降造成的浓度梯度。制得的样品层错缺陷密度仅为1%,点缺陷为 $10^{-3}$ /单位体积。

Ozin领导的研究小组<sup>[9]</sup>采取恒温加热快速蒸发的方法来中和大粒子过快的沉淀速度。如实验装置如图4所示,实验中采取在恒温腔内将盛有乙醇的小瓶加热到79.8℃而保持溶液不沸腾,形成的对流可以很好地保持粒子的分散状态,制备1 cm尺寸

的晶体所用的时间仅1 h左右。基片的插入并不打破加热所形成的对流,粒子沿着容器壁上升而在中央基片处下降,如图4C所示。

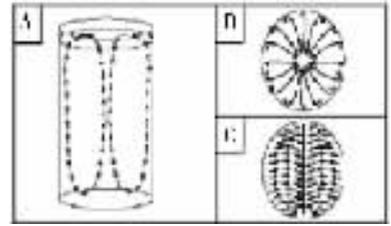


图4 对流补偿法示意

Meng等人<sup>[18]</sup>为了避免过高温度对粒子造成的聚结,将压力控制引入恒温快速蒸发法以灵活地控制蒸发速度等实验参数,制备得到较高质量的光子晶体。

## 2.5 弯月面调节法

Park等人<sup>[19]</sup>研究了以不同角度将基片插入溶液中的情况,如图5所示。在不同的倾斜角度下,弯月面的形貌和高度是不一样的。如果在较高的蒸发速度下,在-10°、0°倾斜角情形下会产生类似“coffee rings”的周期状条纹缺陷,而在倾斜度大于10°时制备的晶体无条纹产生。



图5 基片在不同倾斜度时的弯月面形貌

Cademartiri研究小组<sup>[20]</sup>引入干燥气流使弯月面处产生微小的振动,同时也提高了弯月面处的液体蒸发速度。弯月面的上下振动促进了基片上湿膜内的粒子的密集排列,得到的无缺陷单晶区域超过了 $\text{cm}^2$ 量级。实验中采用的气体流速为1.5 mL/h,溶液体积分数为0.2%,在1 cm/h的生长速度下生长的晶体厚度超过160层。这种方法的优点是很快生长速度和低的溶液浓度,主要的缺点是弯月面附近溶液和气流的平衡难于控制。

## 2.6 双基片垂直沉积法

Yang等人<sup>[21]</sup>发展了垂直沉积法的思想,采用双基片代替单基片,其实验示意图如图6所示。

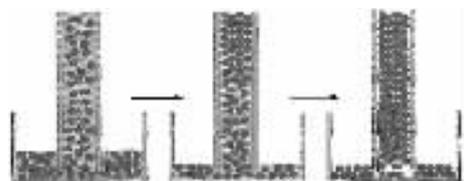


图6 双基片垂直沉积法示意图

由于基片间更强的毛细驱动作用和基片的保护限制,制备出的胶体晶片具有较高机械稳定性和质量,其缺点是由于双基片的不严格平行可能引起层错等缺陷的产生。

### 2.7 环境气压调节法

南京大学闵乃本等人<sup>[22]</sup>对低气压环境下胶体的自组装行为进行了研究,实验表明调节气压可以有效地控制溶液的蒸发速度和温度。这种方法不但缩短了制备周期,而且这种方法亦适用于单分散度大于10%的粒子体,制备所得的晶体样品带隙宽度超过78%以上,带边达到5.2%。

## 3 缺陷控制及应用研究

目前光子垂直沉积法对缺陷的控制能力还较弱<sup>[23]</sup>,通过垂直沉积自组装方法获得大尺寸高质量的光子晶体还比较困难,寻找有效的方法避免、减少缺陷将和恰当地引入缺陷都是十分必要和有意义的。

### 3.1 单分散微球和基片的影响

文献[9],[11]指出粒子单分散性对制备高质量晶体的重要性,制备中常采用单分散系数小于2%的微球粒子,实验中应该严格避免过大或过小的特异粒子。Wiesner研究了溶液表面张力和粒子强度对自组装的影响,提出有机的低离子强度溶液更容易形成六角密排列,高离子强度的溶液容易导致树状的粒子聚集<sup>[24]</sup>。Ten等人建议通过改善基片的亲水性并减小蒸发速度,有利于提高晶体质量避免干燥过程引起的裂缝<sup>[25]</sup>。

### 3.2 裂缝

在SEM下观察到的样品表面有较多的裂缝,一般认为这种裂缝的出现是由于晶体在干燥过程中微球粒子间收缩引起的<sup>[7,9,15]</sup>。Norris等人<sup>[26]</sup>采用在自组装前600℃下预煅烧二氧化硅小球,小球的密度和折射率虽有所变化,但在硅胶填充过程中不会出现裂缝。Meng等人<sup>[27]</sup>用超小粒子在垂直沉积过程中直接填充球隙,避免了制作反结构时出现的大面积裂缝。Zhao等人<sup>[28]</sup>则是在溶液中加入一种TEOS硅预聚物,它水解后在二氧化硅小球间隙形成糙硅成分,这种填充同样可以防止胶体晶体干燥过程中裂缝的形成。

### 3.3 应用研究

采用垂直沉积自组装方法制备光子晶体是实现光子晶体器件化的重要途径之一。Han等人<sup>[29]</sup>利

用垂直沉积法制备具有多禁带和更宽禁带的光子晶体异质结,Ozin和Yang等<sup>[30-31]</sup>采用垂直沉积法在光纤表面制备一层禁带中心波长处于近红外的光子晶体及其反结构,这种方法可能被用于实现三维光子晶体光子光纤的制备。最近的一些文献<sup>[5,12,32]</sup>报道了使用垂直沉积法结合半导体加工技术在光刻有不同图案的硅片上沉积光子晶体,这种“绝缘层上硅衬底光子晶体”<sup>[12]</sup>为集成光路的实现展现了辉煌的前景。

## 4 结束语

垂直沉积自组装方法为光子晶体的制备研究提供了一条经济、简单、有效的道路,但目前的研究还处于基础阶段,离工程应用中需要的大尺度范围高质量光子晶体还有一定距离。垂直沉积法是一种自底向上的制备方法,其自组装的机理和避免引入缺陷的方法都还有待更进一步研究,这对提高工艺可靠性以及制备高质量晶体和实现光子晶体器件化都有重要意义。目前来看,自组装方法和现代成熟的半导体加工技术相结合,研究自组装方法在制备光子晶体光纤、光子晶体单元器件、集成和功能器件等方面的应用将是以后发展的重要方向。光子晶体器件及其应用的进一步发展将影响着人们的生活,把人类带入全新的光子信息时代。

### 参考文献:

- [1] YABLONOVITCH E. Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20):2059-2062.
- [2] JOHN S. Strong Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(23):2486-2489.
- [3] JOANNOPOULOS J D. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light[M]. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- [4] KRALCHEVSKY P A, NAGAYAMA K. Capillary Interactions Between Particles Bound to Interfaces, Liquid Films and Biomembranes[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2000, 85(2-3):145-192.
- [5] VLASOV Y A, BO X Z, STURM J C, et al. On-Chip Natural Assembly of Silicon Photonic Bandgap Crystals[J]. Nature, 2001, 414(6861):289-293.
- [6] DIMITROV A S, NAGAYAMA K. Continuous Convective Assembling of Fine Particles into Two-Dimensional Arrays on Solid Surfaces[J]. Langmuir, 1996, 12(5):1303-1311.

- [ 7 ] JIANG P , BERTONE J F , HWANG K S , et al. Single-Crystal Colloidal Multilayers of Controlled Thickness[ J ]. *Chem Mater* , 1999 , 11( 8 ) : 2132-2140.
- [ 8 ] KO Y G , SHIN D H. Effects of Liquid Bridge Between Colloidal Spheres and Evaporation Temperature on Fabrication of Colloidal Multilayers[ J ]. *Journal of Physical Chemistry B* , 2007 , 111( 7 ) : 1545-1551.
- [ 9 ] WONG S , KITAEV V , OZIN G A. Colloidal Crystal Films : Advances in Universality and Perfection[ J ]. *Journal of the American Chemical Society* , 2003 , 125( 50 ) : 15589-15598.
- [ 10 ] YE Y H , LEBLANC F , HACHE A , et al. Self-Assembling Three-Dimensional Colloidal Photonic Crystal Structure with High Crystalline Quality[ J ]. *Applied Physics Letters* , 2001 , 78( 1 ) : 52-54.
- [ 11 ] YE J , ZENTEL R , ARPIAINEN S , et al. Integration of Self-Assembled Three-Dimensional Photonic Crystals onto Structured Silicon Wafers[ J ]. *Langmuir* , 2006 , 22( 17 ) : 7378-7383.
- [ 12 ] KOCHER G , KHUNSIN W , ARPIAINEN S , et al. Towards Si-Based Photonic Circuits : Integrating Photonic Crystals in Silicon-on-Insulator Platforms[ J ]. *Solid-State Electronics* , 2007 , 51( 2 ) : 333-336.
- [ 13 ] ZHONG Y C , ZHU S A , SU H M , et al. Photonic Crystal with Diamondlike Structure Fabricated by Holographic Lithography[ J ]. *Applied Physics Letters* , 2005 , 87( 6 ) : 06110301-06110303.
- [ 14 ] NORRIS D J , ARLINGHAUS E G , MENG L L , et al. Opaline Photonic Crystals : How Does Self-Assembly Work ? [ J ]. *Advanced Materials* , 2004 , 16( 16 ) : 1393-1399.
- [ 15 ] GU Z Z , FUJISHIMA A , SATO O. Fabrication of High-Quality Opal Films with Controllable Thickness[ J ]. *Chem Mater* , 2002 , 14( 2 ) : 760-765.
- [ 16 ] ZHOU Z , ZHAO X S. Flow-Controlled Vertical Deposition Method for the Fabrication of Photonic Crystals[ J ]. *Langmuir* , 2004 , 20( 4 ) : 1524-1526.
- [ 17 ] YANG S M , MIGUEZ H , Ozin G A. Opal Circuits of Light-Planarized Microphotonic Crystal Chips[ J ]. *Advanced Functional Materials* , 2002 , 12( 6-7 ) : 425-431.
- [ 18 ] ZHENG Z Y , LIU X Z , LUO Y H , et al. Pressure Controlled Self-Assembly of High Quality Three-Dimensional Colloidal Photonic Crystals[ J ]. *Applied Physics Letters* , 2007 , 90( 5 ) : 0519101-0519103.
- [ 19 ] TEH L K , TAN N K , WONG C C , et al. Growth Imperfections in Three-Dimensional Colloidal Self-Assembly [ J ]. *Applied Physics A-Materials Science & Processing* , 2005 , 81( 7 ) : 1399-1404.
- [ 20 ] CADEMARTIRI L , SUTTI A , CALESTANI G , et al. Flux-Assisted Self-Assembly of Monodisperse Colloids [ J ]. *Langmuir* , 2003 , 19( 19 ) : 7944-7947.
- [ 21 ] CHEN X , SUN Z Q , CHEN Z M , et al. Two-Substrate Vertical Deposition for Stable Colloidal Crystal Chip[ J ]. *Chinese Science Bulletin* , 2005 , 50( 8 ) : 765-769.
- [ 22 ] ZHANG J H , LIU H Y , WANG Z L , et al. Assembly of High-Quality Colloidal Crystals Under Negative Pressure [ J ]. *Journal of Applied Physics* , 2008 , 103( 1 ) : 031517-0131521.
- [ 23 ] COLVIN V L. From Opals to Optics : Colloidal Photonic Crystal[ J ]. *Mrs Bulletin* , 2001 , 26( 8 ) : 637-641.
- [ 24 ] CHUNG Y W , LEU I C , LEE J H , et al. Fabrication of High-Quality Colloidal Crystals by a Capillary-Enhanced Method[ J ]. *Applied Physics A-Materials Science & Processing* , 2004 , 79( 8 ) : 2089-2092.
- [ 25 ] WOODCOCK L V. Entropy Difference Between the Face-Centred Cubic and Hexagonal Close-Packed Crystal Structures[ J ]. *Nature* , 1997 , 385( 6612 ) : 141-143.
- [ 26 ] CHABANOV A A , JUN Y , NORRIS D J. Avoiding Cracks In Self-Assembled Photonic Band-Gap Crystals[ J ]. *Applied Physics Letters* , 2004 , 84( 18 ) : 3573-3575.
- [ 27 ] MENG Q B , GU Z Z , SATO O , et al. Fabrication of Highly Ordered Porous Structures[ J ]. *Applied Physics Letters* , 2000 , 77( 26 ) : 4313-4315.
- [ 28 ] WANG L K , ZHAO X S. Fabrication of Crack-Free Colloidal Crystals Using a Modified Vertical Deposition Method[ J ]. *Journal of Physical Chemistry C* , 2007 , 111( 24 ) : 8538-8542.
- [ 29 ] LI J , LUAN S F , HUANG W H , et al. Colloidal Crystal Heterostructures by a Two-Step Vertical Deposition Method [ J ]. *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects* , 2007 , 295( 1-3 ) : 107-112.
- [ 30 ] LI J Z , HERMAN P R , VALDIVIA C E , et al. Colloidal Photonic Crystal Cladded Optical Fibers : Towards a New Type of Photonic Band Gap Fiber[ J ]. *Optics Express* , 2005 , 13( 17 ) : 6454-6459.
- [ 31 ] MOON J H , YI G R , YANG S M. Fabrication of Hollow Colloidal Crystal Cylinders and Their Inverted Polymeric Replicas[ J ]. *Journal of Colloid and Interface Science* , 2005 , 287( 1 ) : 173-177.
- [ 32 ] OZIN G A. The Race for the Photonic Chip : Colloidal Crystal Assembly in Silicon Wafers[ J ]. *Advanced Functional Materials* , 2001 , 11( 2 ) : 95-104.

---

(上接第 78 页)

## The Progress in Fabrication of Self-assembled Colloidal Photonic Crystal Via Vertical Deposition Technique

*YU Ping<sup>1 2</sup>, OU Hong-ye<sup>2</sup>*

- (1. Optoelectronic Technology Key Laboratory of Jiangsu Province, Nanjing Normal University, Nanjing 210097;  
2. Dept. of Journal of Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

**Abstract**: Photonic crystal is a type of synthetic material with photonic band gaps. When electromagnetic wave propagates in certain directions with specified frequencies, the nonhomogeneous dielectric constants distribution will operate and prevent it from propagating, namely the photonic band gaps appears. Ever since Yablonovitch and John proposed the concept of photonic crystal, extensive interests has existed in fabricating colloidal crystals for photonic application via self-assembly method in the use of gravity, centrifugal force, lateral capillary forces or externally applied electric potentials. Among these self-assembled methods, the vertical deposition technique proposed by Nagayam and later developed by Jiang et al is getting more and more attentions for its facile, cost-effective, short fabrication period, and crystal layer controllable characteristics. In this paper, we summarize the latest progress of vertical deposition technique on self-assembled mechanism, several typical modified fabrication methods are presented with comparison. Defect control and possible applications are also mentioned, and the outlook which may be achieved is introduced.

**Key words**: vertical deposition; self-assembled; colloids; photonic crystal

(责任编辑 欧红叶)