

# 胶体晶体和基于胶体晶体的纳米结构\*

曹丙强 蔡伟平<sup>†</sup> 李越 孙丰强

(中国科学院固体物理研究所 合肥 230031)

**摘要** 胶体晶体及基于胶体晶体的各种纳米结构的制备和物理性质是近来物理学和材料科学共同关注的一个热点. 文章简要阐述了胶体颗粒间的基本相互作用, 着重介绍了各种胶体晶体的制备方法; 结合我们近期的工作, 综合评述了胶体晶体在二维纳米颗粒阵列、二维有序孔单层膜及三维光子晶体等纳米结构材料研究中的应用, 并对未来的发展进行了展望.

**关键词** 胶体晶体 模板 纳米结构

## Colloid crystals and nanostructures based thereon

CAO Bing-Qiang CAI Wei-Ping<sup>†</sup> LI Yue SUN Feng-Qiang

(Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract** The preparation and basic physical properties of colloid crystals and nanostructures based upon them are a new focus of research in physics and material science. We first present an overview of the interactions of colloidal particles, with emphasis on the preparation of colloid crystals. With reference to our own work, we then review the applications of colloidal crystals in the study of 2D nanoparticle arrays, 2D ordered porous films and 3D photonic crystals. Future prospects for this area are also discussed.

**Key words** colloid crystals, templates, nanostructures

## 1 引言

胶体是一种特殊的分散体系, 它的分散相颗粒的特征长度介于 1—1000nm 之间. 一般称分散的颗粒为胶体颗粒, 它们在液态介质中将做无规则的热运动(布朗运动). 因此, 它们可以被视为分子, 可用统计力学的理论来描述它们<sup>[1,2]</sup>.

制备均一稳定的胶体是 20 世纪胶体科学的重要课题之一. 均一稳定是指胶体颗粒的形状、大小、化学成分、结晶性质及表面功能团均一, 并且整个胶体体系稳定. 现在普遍使用的胶体制备方法是含水无机氧化物的沉淀法<sup>[3,4]</sup>和乳浊液聚合<sup>[1,5]</sup>. 例如, 用正硅酸乙酯水解来制备二氧化硅胶体, 用苯乙烯聚合来制备聚苯乙烯胶体, 并可以获得单分散的胶体商品, 用于科研或工业生产. 胶体的单分散性对于理解胶体及胶体形成的各种材料的光学、电学及磁学性质都有重要作用.

传统的无序胶体体系已经发展成为一门相对成熟的学科. 近年来, 人们开始了有序胶体体系的研

究. 胶体晶体就是一种典型的有序胶体体系, 即单分散的胶体颗粒在胶体中自组织形成的长程有序结构<sup>[1]</sup>. 例如, 自然界中存在的许多病毒及美丽的蛋白石都是胶体晶体, 其中后者是由无色的二氧化硅胶体球组成, 这在生物学和材料科学等领域已经有广泛的用途. 人工制备胶体晶体大多使用的是实验室合成的二氧化硅胶体和聚苯乙烯胶体, 这两种胶体的胶体颗粒形状一般都是球形, 人们习惯称之为胶体球. 胶体晶体与普通晶体在光散射、弹性及晶格动力学等许多方面都有不同的性质, 这主要体现了体系的尺度效应<sup>[1]</sup>.

胶体晶体及基于胶体晶体的各种纳米结构的制备及性质研究是近年来物理、化学及材料科学的研究热点之一. 本文简要介绍了胶体颗粒间的基本相互作用, 结合我们近期的工作, 着重对胶体晶体及基于胶体晶体的各种纳米结构进行综合评述和展望,

\* 国家自然科学基金(批准号 50271069)资助项目

2002-05-19 收到初稿 2003-07-23 修回

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: wpcai@issp.ac.cn

其中有关二维胶体晶体刻蚀法及基于此法的纳米颗粒阵列已有相应的评述<sup>[6,7]</sup>,在此不再赘述.

## 2 胶体球间的基本相互作用

在人们对胶体球间相互作用的研究过程中形成三种比较成熟的模型:

第一种是刚球模型.它只考虑胶体球之间短程的空间排斥作用,其势能表达式为

$$U(r) = \begin{cases} 0 & (r > 2a) \\ \infty & (r < 2a) \end{cases}, \quad (1)$$

其中  $r$  为两球心之间的距离,  $a$  为胶体球半径.当两个胶体球球心之间的距离大于其直径时,即胶体球之间没有接触,它们之间就没有相互作用;而当胶体球之间开始相互接触时,它们之间的相互作用势能立刻变得无穷大,即胶体球是刚性的,因而是相互排斥的.对应的势能曲线如图 1(a)所示,这是一种最理想化的模型.

第二种是 Sogami 模型<sup>[8]</sup>.它是在刚球模型的基础上,进一步考虑胶体球之间的范德瓦尔斯作用,即 Lennard-Jones 势:

$$U(r) = 4\varepsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right], \quad (2)$$

式中  $\varepsilon$  是胶体分散介质的介电常数,  $\sigma$  为常数.这是由于瞬时电偶极矩感应作用引起的,是一种长程 ( $>100\text{nm}$ ) 相互作用,其势能曲线如图 1(b)所示.这种模型主要适用于电中性的胶体系.

第三种是 DLVO 模型<sup>[9]</sup>.对于真实的胶体系来说,胶体球之间的相互作用是比较复杂的.一般说来,在考虑上述两项的基础上,还必须包括第三项,即 Yukawa 势:

$$U(r) = \frac{(ze)^2}{\varepsilon} \left( \frac{e^{\kappa a}}{1 + \kappa a} \right)^2 \frac{e^{-\kappa r}}{r}, \quad (3)$$

其中  $z$  表示胶体球所带的电荷数,  $e$  为基本电荷,  $\kappa^{-1}$  是静电屏蔽长度.这是一种库仑屏蔽作用,是由于胶体球附近的分散相颗粒带电荷引起的.上述(1)—(3)式之和,就是著名的 DLVO( Derjaguin-Landau-Vervey-Overbeek )势能表达式,它是最接近真实胶体体系的相互作用模型,势能曲线如图 1(c)所示.

由(3)式可以看出, Yukawa 势是随胶体球之间的距离  $r$  的增大而呈指数衰减的,因此,在胶体的结晶过程中,起主要作用的是范德瓦尔斯吸引作用,在所形成的胶体晶体中,胶体球是相互接触的.只有在分散介质浓度非常小 ( $<10^{-5}\text{M}$ ) 的情况下,胶体球才能通过排斥作用形成互不接触的有序构型.

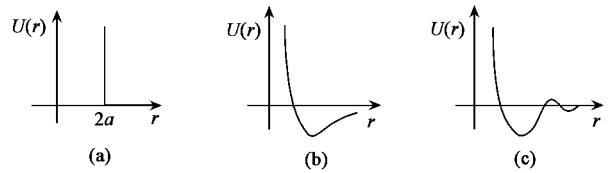


图 1 胶体球之间三种相互作用模型的势能曲线 (a)刚球模型 (b)Sogami 模型 (c)DLVO 模型

## 3 胶体晶体的制备

在胶体球间的相互作用及外界因素(如电场、重力、溶剂的表面张力等)的影响下,胶体球将在一维、二维、三维空间自组织构成有序排列,形成胶体晶体.

### 3.1 一维胶体晶体

一维胶体晶体是指由胶体球所形成的一维链状结构.由于胶体球在胶体溶液中受各向同性的范德瓦尔斯引力作用,不可能出现某一优先生长的方向,故难以自组织形成稳定的一维胶体晶体.即使在胶体的表面液层中,由于相邻分子间的吸引作用比内部分子间的吸引作用要大,即胶体球受表面张力作用,在平滑的衬底上容易形成二维层状结构(见 3.2 节),但也很难形成链状一维胶体晶体.然而在经特殊修饰过的衬底上可以形成一维胶体晶体.表面起伏格栅( surface relief gating )便是一种常用的制备一维胶体晶体的衬底,它是利用全息光学技术在偶氮苯衬底上形成一维的格栅,然后通过胶体球的自组装在其上形成一维胶体晶体<sup>[10,11]</sup>,如图 2 所示.

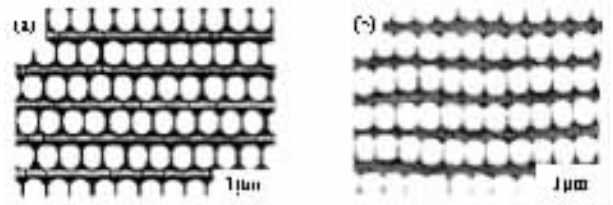


图 2 一维胶体晶体的扫描电镜照片<sup>[11]</sup> (a)未做任何后续处理 (b)165 °C 下加热 100s

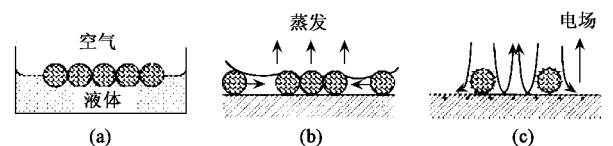


图 3 三种制备二维胶体晶体方法的示意图<sup>[2]</sup> (a)在液-气界面上形成二维胶体晶体 (b)在固-气界面上形成二维胶体晶体 (c)电泳沉积法形成二维胶体晶体

### 3.2 二维胶体晶体

二维胶体晶体是指单分散的胶体球自组织形成的长程有序的单层或双层膜. 单分散的胶体球可以在固体衬底或液体表面上自组织形成二维胶体晶体<sup>[12, 13]</sup>. 按其形成过程大致可以分如下三种类型(见图3).

(1)液-气界面上形成<sup>[14-16]</sup>,如图3(a)所示. 用于这种制备方法的胶体球必须预先进行表面修饰,使得被分散到液-气界面上时只是部分地浸入液体中,从而通过胶体球之间的相互吸引作用在液-气界面上形成二维胶体晶体. 可以通过改变胶体球的大小、浓度、表面亲水性、表面电荷密度及承载液体的类型来改善二维胶体晶体的结晶性质. 这种胶体晶体可以转移到固体衬底上.

(2)固-气界面上形成<sup>[17-20]</sup>,如图3(b)所示. 在溶液表面张力的作用下,胶体球在平滑的固体衬底上所形成的液膜中自组织形成二维胶体晶体. 这个过程可以分为两个阶段(i)结晶成核:随着滴在衬底上的胶体乳浊液的蒸发,当液膜的厚度达到胶体球直径时,胶体球之间开始形成凹液面,在横向表面张力的作用下,形成六方密排的二维晶核(ii)晶体生长:即胶体球向成核区域的对流输运,并且在表面张力的作用下,围绕成核区域生长,逐步形成大面积的二维胶体晶体. 在这个过程中,表面衬底的性质及对晶体生长的控制是影响大面积二维胶体晶体形成的关键因素,一般必须要求所使用的衬底是平坦、洁净、化学成份均匀,而且要有良好的亲水性<sup>[6]</sup>.

(3)电泳沉积形成<sup>[21, 22]</sup>,如图3(c)所示. 通过把一滴胶体溶液限制在两片导电玻璃之间,加上电场,使得吸附在阳极上无规则排列的带负电胶体球相互移动达到平衡,形成二维胶体晶体. 这种方法主要的调节参数就是加在玻璃片上的电压.

利用上述三种类型所制备的二维胶体晶体都是由许多晶畴组成的,最大晶畴所包含的胶体球的数目可达 $10^6$ <sup>[23]</sup>,晶体中的胶体球是相互接触的,因此,其晶格常数是通过调节胶体球的直径来实现的.

### 3.3 三维胶体晶体

制备三维胶体晶体的方法很多,大致可以分为以下三类:

#### (1)沉淀法

即在重力场作用下,胶体球通过沉淀而形成胶体晶体的方法,这是一种较为简单的制备方法,其中胶体的密度及沉淀速度是影响胶体晶体形成的两个重要参数. 溶剂中胶体球在重力和浮力共同作用下

下沉,当沉淀过程足够慢时,聚集在容器底部的胶体球有足够的时间调整其平衡位置,从而经历一个从无序到有序的相变过程,图4(a)为胶体晶体的相图. 其中 $P/nKT$ 表示通过热能 $KT$ 和立方密堆积结构的颗粒密度 $n$ 约化的压力. 从相图可以看出,硬球的体积百分比接近50%时,胶体体系开始出现有序相,这种从拓扑无序的液相到长程有序相的转变称为Kirkwood-Alder相变,相变过程中没有能量的改变,它仅仅是熵改变的结果. 非带电胶体球的沉淀就可以用这种模型来描述.

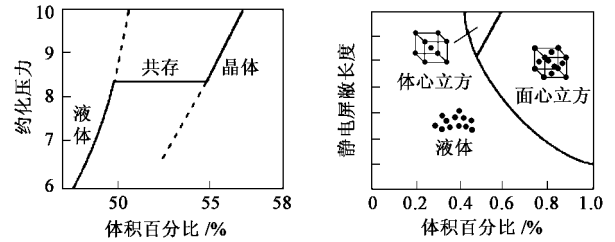


图4 胶体晶体的相图<sup>[2]</sup>

(a)刚球模型 (b)DLVO模型

如果胶体球尺寸或密度太小,它们将按重力势能作用下的玻尔兹曼统计规律呈现出分散的平衡态. 而非晶二氧化硅胶体球的密度较大,故可用沉淀法来制备胶体晶体. 一般认为,这种方法制备的胶体晶体是立方密堆积结构(ccp)或面心立方结构(fcc),并且晶体的(111)面平行于容器的底部. Jiang等人<sup>[24]</sup>就用逐层沉淀的方法制备了沿111方向生长的立方密堆积结构的二氧化硅胶体晶体. 这两种结构的堆积密度都约为74%,正好满足制备完全带隙反蛋白石结构的光子晶体的结构要求. 这种方法最大的缺陷就是难以控制胶体晶体的表面形态和晶体层数,而且制备的时间较长(数周乃至数月)这种胶体晶体一般是多晶的.

#### (2)物理限制下的自组织

单分散的胶体球在物理限制下容易自组织形成高度有序的三维晶体结构<sup>[25, 26]</sup>. 夏幼男等人<sup>[27]</sup>利用这种简单而又方便的方法将胶体球堆积成了有序结构. 在两层玻璃中间用感光树脂做成了一个围栏,并在一段围栏上开一些小孔道(尺寸小于胶体球的直径)来排放溶剂. 在上面的玻璃中,开了一个3mm左右的洞,安装一个玻璃管. 将浓度约0.05%(wt)的单分散胶体球从玻璃管中注入,由于上面的压力,溶剂会从感光树脂的孔道之中渗出来,而胶体球则会在底部完全沉淀下来,形成立方密堆积的结构(如图5所示),其(111)晶面平行于玻璃衬底,这种

结构的堆积密度约为 74%。

以上两种方法,形成机制类似,体系由无序向有序的转变过程都是由于胶体球的局域浓度变大所致,并且所得的胶体晶体大都是多晶结构。其主要原因在于 (i) 胶体球的结晶成核一般在不同的区域进行 (ii) 较高的浓度阻止了胶体球的充分排列 (iii) 杂质的存在使晶格畸变。制备大尺度的具有预期晶格结构和无缺陷的胶体晶体仍然是一个巨大挑战。

(3) 利用库仑斥力结晶 在一定条件下,带电胶体球可以自发形成多种晶体结构。Robbins 和 Grest 等人<sup>[28]</sup>指出,这种胶体乳浊液体系的相图可以用两个热力学参数——胶体的体积百分比和静电屏蔽长度  $\kappa^{-1}$ ——来描述,如图 4(b) 所示。随着胶体的体积百分比和静电屏蔽长度的增加,带电胶体球可以形成体心立方结构,也可以形成面心立方结构。但是,不管形成那种结构,发生 Kirkwood-Alder 相变的体积百分比都远比硬球模型情况下低。如果静电屏蔽长度小于胶体球直径时,所形成的胶体晶体是面心立方结构;反之,为体心立方结构。可以看出,通过增大胶体的体积百分比浓度或静电屏蔽长度,可以促使体系由无序相向有序相转变。

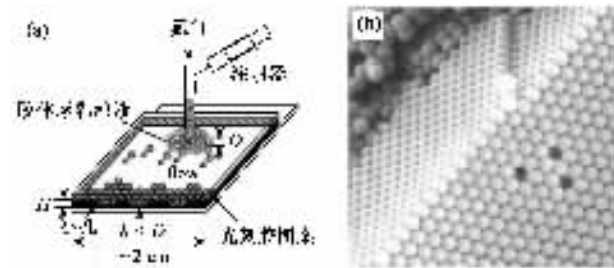


图 5 (a)一种物理限制下的制备胶体晶体的方法 (b)所制备样品的 SEM 图<sup>[27]</sup>

## 4 基于胶体晶体的纳米结构

近年来,以胶体晶体为模板合成各类纳米结构体系,日益成为人们关注的热点。

### 4.1 二维胶体晶体刻蚀

当胶体球在衬底上形成二维胶体晶体时,胶体球之间的三角锥形空隙也构成了二维周期性阵列。因此,若以此为掩膜来沉积各种不同的材料,然后,用超声溶解或煅烧的方法把掩膜处去掉,则可得到与胶体球之间的空隙阵列结构相同、形状也类似的纳米颗粒阵列或称为量子点阵列。详见文献 [7]。

### 4.2 二维有序多孔单层膜

除了真空沉积和溅射等方法外,还有溶液浸渍

和电沉积等方法,由于这些方法是在溶液环境中进行的,因此,胶体晶体需要预先处理,如适宜温度(稍低于胶体晶体的玻璃化转变温度)下的退火等。在溶液的环境中,离子(原子)更容易扩散到胶体晶体的空隙中去,因此,很容易形成一些二维的网络结构,并且这种网络结构的形态很容易受前驱液浓度及处理过程中胶体球的形变等因素的影响。这方面工作的报道还不多。近来,我们基于二维胶体晶体,采用溶液浸渍和电沉积方法,获得了金属及金属氧化物的二维有序多孔薄膜,孔型可通过浓度及模板的预处理来调制,图 6 所示的为浸渍法所得的  $Fe_2O_3$  有序孔薄膜的部分结果。

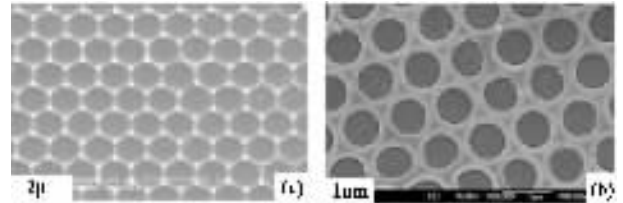


图 6 基于二维胶体晶体和溶液浸渍法所得的  $Fe_2O_3$  有序孔单层膜 [扫描像] 前驱液浓度分别为 (a) 0.06M 和 (b) 0.8M ]

### 4.3 基于三维胶体晶体的有序多孔材料

这一方面的研究主要是用于光子晶体。它主要是利用了胶体晶体及基于胶体晶体的反蛋白石结构的多孔材料的光学性质。此外,这类多孔材料在催化、膜分离和导电、反射涂层方面也有广泛的用途<sup>[29]</sup>。

#### (1) 光子晶体 (photonic crystal)

如果将不同介电常数的介电材料构成周期结构,电磁波在其中传播时由于布拉格散射,电磁波会受到调制而形成能带结构,这种能带结构叫做光子能带。光子能带之间可能出现带隙,即光子带隙。具有光子带隙的周期性介电结构就是光子晶体<sup>[30]</sup> (photonic crystals),它可以像半导体影响电子的输运一样来控制电磁波在其中的传播。

光子晶体的带隙可以分为完全带隙和非完全带隙两种。所谓完全带隙是指光在整个空间所有传播方向上都存在带隙,且每个方向上的带隙互相重叠;不完全带隙是指空间各方向上的带隙不能完全重叠,或者只能在某个特定方向上产生带隙。由于带隙只能产生在布里渊区的边界处,原则上完全带隙更容易产生在近球形的结构中。在各种简单的晶体结构中,面心立方的布里渊区是最接近球形的,因此,具有面心立方结构的光子晶体更容易产生完全带隙。除了晶体结构在光子晶体带隙形成过程中起重

要作用外,不同介质之间的介电常数应相差足够大。

迄今为止,人们已经发明了许多种制备光子晶体的方法,主要可以分为以下两种:

第一种是用机械加工的方法制备微波区域的光子晶体。最初人们制备二维、三维光子晶体都是用精密机械打孔的方法。这种方法由于受机械加工精度的制约,因此,制备出光学带隙在近红外、可见和紫外区域的光子晶体是非常困难的。

第二种就是胶体法<sup>[31]</sup>。这种方法主要是利用单分散的胶体球(或胶体椭球)制备出的胶体晶体。如果胶体球的介电常数与空气的介电常数相差足够大,那么这种胶体晶体就有可能形成光学带隙。遗憾的是通常人们用来制备胶体晶体的二氧化硅和聚苯乙烯的介电常数与空气相差不大,因此,不能产生完全带隙。人们采取了向胶体晶体内注入高介电常数介质的方法来改变这两种介质的介电常数差<sup>[32]</sup>。

## (2) 反蛋白石结构

反蛋白石结构是指低介电常数的小球(通常是球形孔隙)以面心立方密堆积结构分布于高介电常数的连续介质中。理论计算表明<sup>[33,34]</sup>,这种结构有望产生完全带隙。虽然,这种反蛋白石结构可以通过传统的光刻方法逐层制备出来,但是不可能制备出光学带隙在红外或可见光范围内的光子晶体。为此,人们发明了一种新的模板法——胶体晶体模板法。即:以二氧化硅或聚苯乙烯三维胶体晶体为模板,向其中的有序空隙处填充高介电常数的材料,然后通过煅烧或超声溶解等方法将胶体球去除,从而得到球形孔隙的反蛋白石结构光子晶体(见图7)。

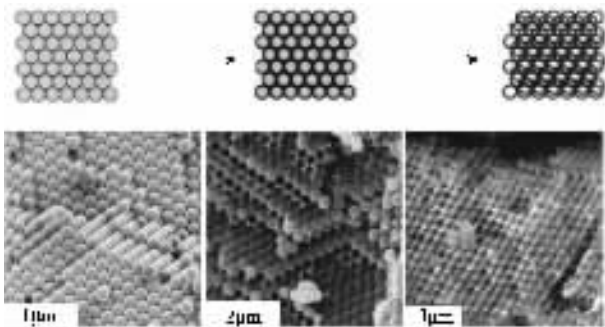


图7 胶体晶体模板法示意图与相应的SEM照片<sup>[29]</sup>

最理想的实现完全带隙的基质材料是一些宽带隙的半导体材料,如:金刚石,硫族半导体(CdS, CdSe)及一些氧化物(TiO<sub>2</sub>, InSnO<sub>2</sub>)等。因为这些材料的介电系数都比较大,而且它们在可见光波段范围内都是透明的。其他一些高介电常数的半导体材料(如:硅、锗等),由于在可见光范围内有强烈的吸

收,因此,可以用于近红外区域。

自从1997年Veleev等人首次利用这种方法制备出二氧化硅的反蛋白石结构的光子晶体以来<sup>[35]</sup>,人们做了许多这方面的工作,并且近来又有许多新的进展<sup>[36]</sup>。

## 5 结束语

众所周知,纳米科技的终极目标是在原子水平上实现对物质结构的控制。单分散的胶体球作为各种纳米结构的有序组装单元正显示出巨大威力。以胶体晶体及其衍生结构为模板来合成各种有序纳米结构体系,日益引起了人们的关注,并且已经在有序多孔材料(光子晶体)的制备及性质方面做了许多有意义的工作。但在二维胶体晶体刻蚀及纳米颗粒阵列方面的研究才刚刚起步,许多基本的科学问题,如纳米颗粒阵列的生长机理及热力学动力学稳定性、环境敏感性等,还有待于进一步深入研究,特别是获得大尺度、无缺陷的纳米颗粒阵列体系仍然是一挑战。这种特殊的纳米结构材料在下一代光通信、超高密度存储、超高分辨平面显示及生物、化学传感等领域有着广泛的用途,而以胶体晶体为模板是获得这种结构材料的非常有效的手段。

## 参 考 文 献

- [1] Pierranski P. *Contemp. Phys.*, 1983, 24, 25
- [2] Xia Y N, Gates B, Yin Y D *et al.* *Adv. Mater.*, 2000, 12, 693
- [3] Stober W. *Afink. J. Colloid. Interface. Sci.*, 1968, 26, 62
- [4] Iler R K. *The Chemistry of Silica*. New York: Wiley Press, 1979, 224
- [5] Piiram I. *Emulsion Polymerization*. New York: Academic Press, 1982, 126
- [6] 李越, 蔡伟平等. *物理*, 2003, 32(3): 153 [Li Y, Cai W P *et al.* *Wuli (Physics)*, 2003, 32(3): 153 (in Chinese)]
- [7] 孙丰强, 蔡伟平等. *物理*, 2003, 32(4): 223 [Sun F Q, Cai W P *et al.* *Wuli (Physics)*, 2003, 32(4): 223 (in Chinese)]
- [8] Popiel W J. *Introduction to colloid science*. New York: Exposition Press, 1978
- [9] Visser J. *Surface and Colloid Science*. New York: Wiley Press, 1976
- [10] Ye Y H, Badilescu S, Truong Vo-Van. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, 79, 872
- [11] Yi D K, Kim M J, Kim D Y. *Langmuir*, 2002, 18, 2019
- [12] Murray C A, Winkle D H V. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, 58, 1200
- [13] Skjeltorp A T, Meakin P. *Nature*, 1988, 335, 424
- [14] Hurd A J, Shearer D W. *Phys. Rev. Lett.*, 1985, 58, 1043
- [15] Wickman H H, Korley J N. *Nature*, 1998, 393, 445
- [16] Kondo M, Shinozaki K *et al.* *Langmuir*, 1995, 11, 394
- [17] N D Denkov, O D Veleev, Kralchevsky P A *et al.* *Langmuir*, 1992, 8, 3183
- [18] Dimitrov A S, Dushkin C D, Yoshimura H *et al.* *Langmuir*, 1994, 10, 432
- [19] Dimitrov A S, Nagayama K. *Langmuir*, 1996, 12, 1303

[ 20 ] Deckman H W , Dunsmuir J H. Appl. Phys. Lett. ,1982 41 : 377

[ 21 ] Trau M , Saville D A *et al.* Science ,1996 272 506

[ 22 ] Richetti P , Prost J. J. Phys. Chem. ,1984 45 : L1137

[ 23 ] Lazarov G S , Deakov N D *et al.* J. Chem. Soc. Faraday. Trans. ,1994 90 2077

[ 24 ] Jiang P , Bertone J F , Hwang K S *et al.* Chem. Mater. ,1999 , 11 :2132

[ 25 ] Pieranski P *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1993 50 900

[ 26 ] Leiderer P *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1997 79 2348

[ 27 ] Gates B , Yin Y D , Xia Y N. Chem. Mater. ,1999 ,11 :2827

[ 28 ] Robbins M O , Grest G S. J. Chem. Phys. ,1998 88 3286

[ 29 ] Stein A ,Micro. Meso. Mater. 2001 44—45 227

[ 30 ] Joannopoulos J D *et al.* Photonic Crystals. New Sersey : Princeton University Press ,1995

[ 31 ] Stein A , Schroben R C. Cuur. Opin. in Solid state and Mater. Sci. ,2001 5 553

[ 32 ] Vlasov Y A , Luterova K *et al.* Appl. Phys. Lett. ,1997 ,71 : 1616

[ 33 ] Ho K M , Chan C T , Soukoulis C M. Phys. Rev. Lett. ,1990 , 65 3125

[ 34 ] Busch K , John S. Phys. Rev. Lett. ,1999 83 967

[ 35 ] Velev O D , Jede T A *et al.* Nature ,1997 ,389 :447

[ 36 ] Charles-Andre F *et al.* Adv. Mater. 2003 ,15 :1025



· 书评和书讯 ·

## 科学出版社物理类图书精品推荐

书 名	作(译)者	定价	出版日期	发行号
医用加速器	顾本广	¥110.00	2003年10月	R-1192
非均匀材料力学	王保林 韩杰才等	¥39.00	2003年10月	
软 X 射线射线与极紫外辐射的原理和应用	张 杰	¥59.00	2003年9月	O-1682
磁性液体理论及应用	李德才	¥45.00	2003年8月	O-1711
超导理论	章立源	¥40.00	2003年9月	O-1640
滞后非线性系统的分岔与奇异性	杨绍普	¥39.00	2003年6月	O-1757
非线性随机动力学与控制	朱位秋	¥48.00	2003年5月	O-1725
应用力学对偶体系	钟万勰	¥42.00	2002年3月	O-1542
广义相对论和引力场理论	胡 宁	¥15.00	1999年3月	O-1157
激光的衍射及热作用计算	李俊昌	¥34.00	2002年3月	O-1553
高激发原子	詹明生	¥35.00	2003年2月	O-1683
微米纳米尺度传热学	刘 静	¥23.00	2002年3月	O-1289
半导体光谱和光学性质	沈学础	¥88.00	2003年4月	O-0507
电介质物理学(第二版)	殷之文	¥58.00	2003年4月	O-1655
粉末衍射法测定晶体结构	梁敬魁	¥68.00	2003年4月	O-1697

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书. 凡购书者均免邮费, 请按以下方式和我们联系, 同时欢迎访问科学出版社网址:  
<http://www.sciencep.com>

电 话 :010-64017957 64033515 电子邮件 :mlhukai@yahoo.com 或 cndpyan@cspg.net.

通讯地址 :北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 邮政编码 :100717 联系人 :胡凯 鄢德平



· 物理新闻与动态 ·

## 宇宙学理论加速更新

宇宙学理论随着新的观测信息的出现而不断更新. 宇宙的几何形状和性质是最使人类着迷的问题之一. 在 20 世纪, 哈勃对向远处退去的星系的观察与测量支持了时空框架在膨胀的观念. 这个现在称作大爆炸的模型已经过了几次修补, 以便包容宇宙早期的膨胀阶段. 最近讨论的暗能的概念显然与望远镜能看到的宇宙的膨胀是在加速而不是在减速相符合. 同样在加速的是关于宇宙观念的不断更新. 去年新提出了“ekpyrotic”模型, 按照这个模型, 我们的宇宙与其中的所有能量和物质都产生于两个巨大的基体的碰撞, 这些基体是嵌在一个更大的多维体积中的. 近来, 又一个新的有趣的宇宙学的理论提出, 宇宙是有限的, 而且具有十二面体(像足球那样)的几何形

状(见 Luminet *et al.* Nature 9 October 2003). 在此期间, 又出现了一个最重要的宇宙学新闻, 在克利夫兰的一个学术会议上报告了哈勃空间望远镜记录的非常遥远的(距我们 80—100 亿光年)异常光亮的超新星. 这项观察与暗能模型符合, 该模型认为宇宙的膨胀在 100 亿年以前是较为缓慢的, 而此后, 由于暗能的排斥效应胜过了万有引力的吸引和减速效应, 使宇宙膨胀大大加速(见 Science News Online, 11 October). (树华编译自 Physics News Update Number 657 #1, October 14 2003)