

## 利用 LB-BAM 联用技术研究温度对二氧化硅纳米颗粒有序薄膜的影响

刘毅<sup>1</sup>, 李丽平<sup>2</sup>, 王娟<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>西京学院电子信息学院 陕西西安

<sup>2</sup>北京市朝阳区外国语学校初中部物理组 北京

**【摘要】**本文采用 Langmuir-Blodgett (LB) 技术与 Brewster Angle Microscopy (BAM) 技术联用, 系统研究了温度对空气-水界面上二氧化硅纳米颗粒有序薄膜形成的影响。实验结果表明, 在 10-20°C 条件下, 二氧化硅单层膜的等温曲线变化较小, 薄膜在较大表面压力范围内保持固相, 且纳米颗粒排列紧密有序。当温度高于 25°C 时, 等温曲线发生显著变化, 气相向液相转变过程减缓, 纳米颗粒堆积行为受到影响。在 25°C 条件下, 表面压力为 36 和 40mN/m 时, 单层膜较为平坦, 而在较低压力下出现亮区和暗区, 表明液相扩张相与凝聚相共存。温度升高至 45°C 时, 单层膜出现相分离和纳米颗粒团聚现象, 均匀性显著降低。研究证实, 压缩速率为 7mm/min 时, 温度控制在 20°C 以下, 有利于形成均匀且有序的二氧化硅纳米颗粒薄膜。本研究为优化 LB 技术制备工艺提供了重要指导, 对探索温度调控下的新型有序薄膜结构及其应用具有参考意义。

**【关键词】** LB 技术; BAM 技术; 有序薄膜; 二氧化硅

**【收稿日期】** 2025 年 1 月 23 日      **【出刊日期】** 2025 年 2 月 26 日      **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250059

### The effect of temperature on the ordered thin film of silica nanoparticles was studied by LB-BAM combination technique

Yi Liu<sup>1</sup>, Liping Li<sup>2</sup>, Juan Wang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Electronic Information, Xijing University, Xi'an, Shaanxi

<sup>2</sup>Physics Group, Junior High School, Chaoyang Foreign Language School, Beijing

**【Abstract】** In this paper, Langmuir-Blodgett (LB) technique was combined with Brewster Angle Microscopy (BAM) technique to systematically study the effect of temperature on the formation of ordered thin films of silica nanoparticles at the air-water interface. The experimental results show that under the condition of 10-20°C, the isothermal curve of silica monolayer film changes little, the film remains solid in a large surface pressure range, and the nanoparticles are arranged tightly and orderly. When the temperature is higher than 25°C, the isothermal curve changes significantly, the transition process from gas phase to liquid phase slows down, and the stacking behavior of nanoparticles is affected. Under the condition of 25°C, when the surface pressure is 36 and 40mN/m, the monolayer film is relatively flat, while bright and dark areas appear at lower pressures, indicating that the liquid expansion phase and the condensed phase coexist. When the temperature rises to 45°C, phase separation and nanoparticle agglomeration occur in the monolayer film, and the uniformity is significantly reduced. Studies have shown that when the compression rate is 7 mm/min and the temperature is controlled below 20°C, it is conducive to the formation of a uniform and ordered silica nanoparticle film. This study provides important guidance for optimizing the LB technology preparation process and has reference significance for exploring new ordered film structures and their applications under temperature control.

**【Keywords】** LB technology; BAM technology; Ordered film; Silica

\*通讯作者: 王娟, 副教授, 研究方向: 材料制备、材料辐照改性。

## 1 引言

二氧化硅纳米颗粒因其独特的表面效应、小尺寸效应以及高稳定性, 在材料科学领域具有广泛的应用潜力<sup>[1]</sup>。二氧化硅纳米颗粒形成有序薄膜, 被广泛应用于光子晶体、传感器以及界面工程等领域, 发挥其优异的光学和热学特性<sup>[2]</sup>。

Langmuir-Blodgett (LB) 技术<sup>[3]</sup>是一种制备单层或多层薄膜的有效方法, 其通过在空气-水界面上形成有序排列的分子膜, 并将其转移到固体基底上, 从而获得高质量的薄膜结构。Brewster Angle Microscopy (BAM) 技术<sup>[4]</sup>则是一种高分辨率的表面分析工具, 能够实时地观察薄膜的微观形貌和结构。结合 LB 和 BAM 技术, 可以实现对二氧化硅纳米颗粒薄膜的精确表征和性能优化, 并将二氧化硅薄膜有序沉积在 BGO 等晶体表面, 增强晶体的光提取效率, 提升光探测器性能。这种方法相比电子束刻蚀法、原子层沉积法, 操作更简单, 成本较低, 可在提高晶体光提取效率的实际应用中进行推广。

在 LB 技术沉积二氧化硅薄膜中, 最重要的是确定二氧化硅在空气-水界面上形成有序薄膜的制备条件。温度是影响界面行为的重要因素之一。研究表明, 温度的变化会显著影响纳米颗粒在空气-水界面上的吸附行为、排列方式以及薄膜的稳定性<sup>[5]</sup>。因此, 研究温度对二氧化硅有序薄膜形成的影响, 对探索二氧化硅有序薄膜的 LB 技术制备工艺具有指导价值。

为了摸索 LB 技术沉积有序二氧化硅薄膜的最佳工艺, 本文采用 LB 技术和 BAM 技术联用, 系统

研究温度对空气-水界面上二氧化硅纳米颗粒有序薄膜的影响。这有助于深入理解温度对纳米颗粒界面行为的作用机制, 为下一步沉积工艺提供技术指导。

## 2 实验材料与方法

### 2.1 实验材料

疏水性二氧化硅纳米颗粒溶液购买自美国 Sigma 试剂公司, 高纯水利用 milliq plus 净水系统 (18.2 M $\Omega$ /cm, Millipore, USA) 制备。

### 2.2 LB 与 BAM 联用实验

利用 LB 膜仪在空气-水界面上铺展疏水性二氧化硅纳米颗粒, 通过界面两侧滑障的压缩, 形成薄膜。在压缩过程中得到界面物质的等温曲线, 分析物质单层膜的相相行为。在 LB 实验时, 提前在空气-水界面下方放入反光板。

当入射光以布鲁斯特角入射到空气-水界面时, 反射光完全偏振且无反射光透射。实验过程中, 利用布鲁斯特角显微镜实时观测不同温度、不同表面压力的条件下空气-水界面上的薄膜形态, 与等温曲线分析相互验证。

## 3 结果与分析

### 3.1 二氧化硅单层膜的等温曲线分析

根据前期研究经验, 当滑障的压缩速率低于 25mm/min, 二氧化硅单层膜排列紧密有序<sup>[6]</sup>。为了探究温度对二氧化硅单层膜在空气-水界面上形成有序薄膜的影响, 选择滑障压缩速率为 7mm/min, 在不同温度下获得二氧化硅单层膜的等温曲线, 如图 1 所示。

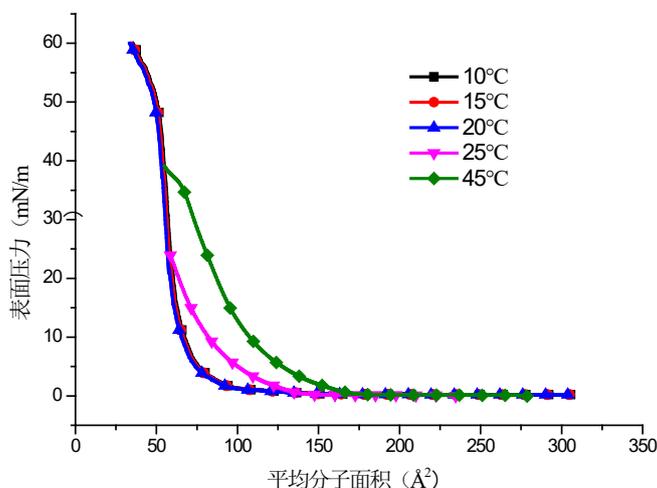


图 1 不同温度下的二氧化硅等温曲线 (7mm/min)

从图 1 中可知, 10-20°C条件下, 二氧化硅单层膜的等温曲线变化不大, 但当温度高于 25°C时, 等温曲线发生明显变化, 从气相转为液相的过程变缓慢。即在低表面压力下, 随着单层膜的压缩, 平均分子面积的变化减缓。这可能是由于温度对二氧化硅纳米颗粒在空气-水界面上的堆积产生一定影响。在较低温度条件下, 二氧化硅颗粒单层膜可以在更大的表面压力范围内保持固相。

### 3.2 二氧化硅单层膜的 BAM 实时图像

当单层膜压缩速率为 7mm/min 时, 利用 BAM 技术观测了 20°C、25°C和 45°C时不同表面压力下的二氧化硅薄膜。

从图 2 中分析可知, 空气-水界面上单层膜两侧的压缩速率为 7mm/min 时, 实时监测到的单层膜界面较为均匀, 这与单层膜表面压力-单分子面积曲线结果相符。且图像中均匀单层膜上的颗粒感很强, 说明单层膜上的纳米颗粒排列紧密度较高, 较为有序。

从图 3 中可知, 压缩速率为 7mm/min, 温度为 25°C时, 表面压力为 36 和 40mN/m 时, 单层膜相对于其他表面压力下, 较为平坦。在低于 36mN/m 时, 单层膜上出现分散开的亮区和较大空间的暗区, 这是由于在该温度下, 单层膜在 36mN/m 压力下还处于液相扩张相和凝聚相的相变过程中。BAM 图像实时检测结果与单层膜等温曲线分析结果一致。

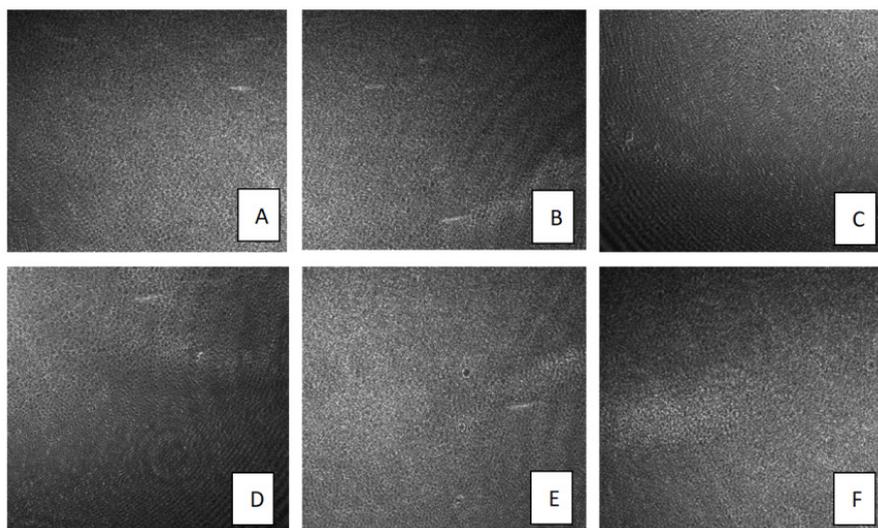


图 2 速率为 7mm/min, 温度为 20°C条件下, 表面压力为 20mN/m (A), 24mN/m (B), 28mN/m (C), 32mN/m (D), 36mN/m (E), 40mN/m (F) 时空气-水界面上的二氧化硅粒子单层膜

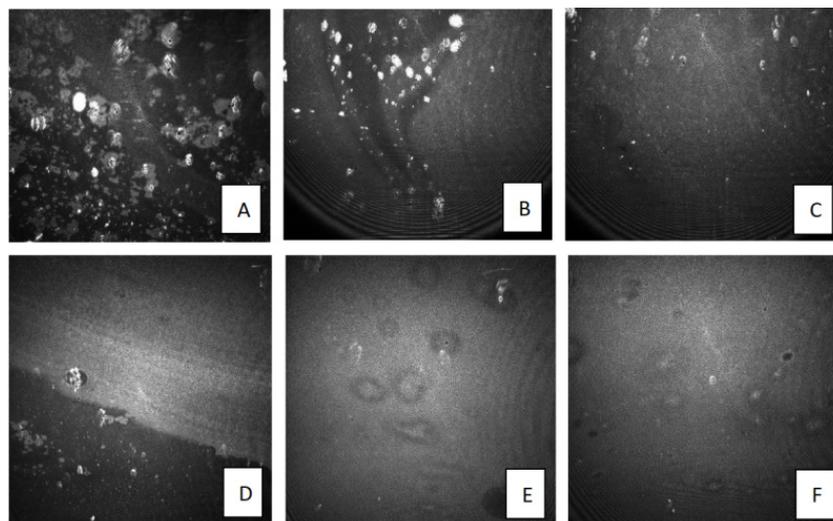


图 3 速率为 7mm/min, 温度为 25°C条件下, 表面压力为 20mN/m (A), 24mN/m (B), 28mN/m (C), 32mN/m (D), 36mN/m (E), 40mN/m (F) 时空气-水界面上的二氧化硅粒子单层膜

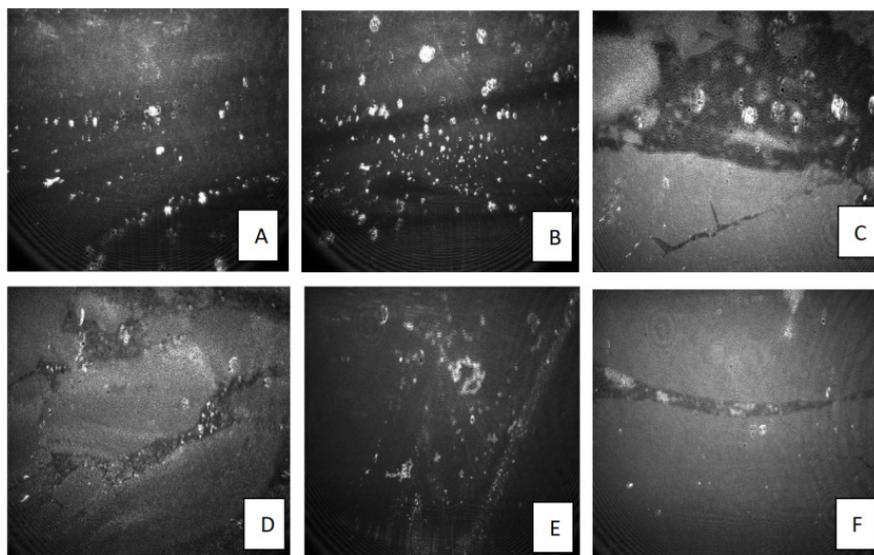


图4 速率为 7mm/min, 温度为 45°C条件下, 表面压力为 20mN/m (A), 24mN/m (B), 28mN/m (C), 32mN/m (D), 36mN/m (E), 40mN/m (F) 时空气-水界面上的二氧化硅粒子单层膜

当温度升高到 45°C时, 在实验涉及的所有表面压力下, 单层膜都较为不均匀, 不同程度地出现相分离, 纳米颗粒团聚等现象 (图 4)。

#### 4 结论

研究表明, 制备温度对界面单层膜的有序性具有较大影响。在空气-水界面上铺展形成二氧化硅纳米颗粒, 当单层膜两侧以 7mm/min 的速度压缩时, 温度控制在 20°C以下, 有利于形成较为均匀、排列紧密有序的二氧化硅纳米颗粒薄膜。这为进一步利用 LB 技术将二氧化硅单层膜沉积到晶体表面提供技术指导, 也对进一步探索温度调控下的新型有序薄膜结构及其潜在应用的研究具有参考意义。

#### 参考文献

- [1] 李艳, 付绍云, 林大杰, 等. 二氧化硅/聚酰亚胺纳米杂化薄膜室温及低温力学性能[J]. 复合材料学报, 2005, (02): 11-15.
- [2] 迟聪聪, 李嘉昊, 屈盼盼, 等. SiO<sub>2</sub> 基光子晶体与非晶光子晶体结构色构筑[J]. 陕西科技大学学报, 2024,

42(05): 84-91.

- [3] 李新宇, 萧汉敏, 康诗钊, 等. Langmuir-Blodgett 膜技术的应用研究进展[J]. 应用化工, 2023, 52(11): 3107-3112.
- [4] 刘江清, 于长卉, 郭源, 等. 二次谐波光谱和布鲁斯特角显微镜研究二棕榈酰磷脂酰胆碱和维生素 B<sub>2</sub> 的相互作用[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(05): 1484-1489.
- [5] Parul Katiyar, Jayant K. Singh. A coarse-grain molecular dynamics study of oil-water interfaces in the presence of silica nanoparticles and nonionic surfactants[J]. J. Chem. Phys. 2017, 146, 204702.
- [6] 黄宇, 宋怡萱, 贺溪, 高嘉艺, 王娟. 利用 LB 技术制备 BGO 晶体表面二氧化硅有序薄膜[J]. 百科论坛电子杂志, 2024(11): 261-263.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

