



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY

## 二维材料薄膜的制备方法

学院名称：材料科学与工程学院

姓 名：张朋朋

学 号：ZY2401325

指导教师：祝微

2024 年 12 月



## 摘要

本文综述了二维材料薄膜的制备方法，重点探讨了化学气相沉积（CVD）、物理气相沉积（PVD）、溶液法与液相剥离、自组装与模板规则等技术。二维材料薄膜因其独特的物理化学性质，在电子、光电子、能源存储等领域展现出巨大的应用潜力。随着纳米科技的飞速发展，这些材料的制备技术已成为研究热点。本文首先定义了二维材料薄膜，并详细讨论了其特性。随后，分析了各种制备方法的原理、优势、局限性及最新研究进展。最后，展望了二维材料薄膜制备技术的未来发展方向，包括大面积制备、高质量控制、功能化以及环境友好性。本文的目的是为研究人员和工程师提供一个全面的二维材料薄膜制备技术综述，以促进该领域的进一步发展。

**关键词：**二维材料薄膜，制备方法，CVD，PVD，溶液法，自组装



## 目录

第一章 绪论 .....	1
1.1 课题背景 .....	1
第二章 二维材料薄膜的特性及制备方法 .....	3
2.1 二维材料薄膜的定义 .....	3
2.2 化学气相沉积 (CVD) .....	4
2.3 物理气相沉积 (PVD) .....	4
2.4 溶液法与液相剥离 .....	5
2.5 自组装与模板规则 .....	6
参考文献 .....	8



## 第一章 绪论

### 1.1 课题背景

在当今材料科学领域，二维材料薄膜因其独特的物理化学性质和在电子、光电子、能源存储等领域的广泛应用前景，已成为研究的热点。二维材料薄膜，指的是在厚度方向上尺寸为纳米量级的薄膜，或具有纳米结构特性的薄膜，它们在电子器件中能有效抑制短沟道效应，缩小器件尺寸，降低功耗。本文将详细探讨二维材料薄膜制备方法的研究背景、主要内容和未来展望。

二维材料薄膜的制备技术是实现其广泛应用的关键。随着纳米科技的飞速发展，二维材料薄膜因其卓越的电学、热学、光学和机械性能，展现出巨大的应用潜力。例如，石墨烯作为最著名的二维材料，具有高导电性和高强度，而过渡金属硫化物（如  $\text{MoS}_2$ ）则因其半导体性质在电子器件中具有重要应用。这些材料的制备方法多样，包括物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）、溶胶-凝胶法等，每种方法都有其独特的优势和局限性。

在众多制备方法中，Zhang F<sup>[1]</sup>等人发现物理气相沉积（PVD）技术因其能够在较低温度下实现高质量薄膜沉积而受到广泛关注。PVD 包括各种不同加热方式的蒸发、直流、高频或射频溅射、离子束溅射等，这些技术能够精确控制薄膜的厚度和成分。化学气相沉积（CVD）技术则是制备大面积二维材料薄膜的关键方法，通过优化生长参数，可以在低温下直接合成大面积石墨烯薄膜。此外，Lee C-Y 等人研究发现<sup>[2]</sup>等离子体辅助增强化学气相沉积（PECVD）因其低温环境对基底友好以及无转移生长的优势，吸引了越来越多的研究者关注。溶胶-凝胶法作为一种湿化学方法，通过溶液中的溶胶和凝胶的转化来制备薄膜材料，这种方法在氧化物薄膜领域有广泛应用。其他方法如涂布法、旋涂法、分子束外延等，这些方法各有特点，适用于不同的材料体系和应用场景。

二维材料薄膜的制备技术将继续朝着大面积、高质量、功能化和环境友好的方向发展。随着电子和光电子学应用的发展，对大面积二维材料薄膜的需求日益增加。未来的研究需要突破成核及生长速率的控制，扩大晶粒尺寸，提升电学性



能，并开发更为先进的 CVD 系统。此外，新型结构的二维晶体合成，如 Janus 结构的 MoSSe，将为材料科学带来新的研究方向和应用前景。同时，环境友好和可持续性也是未来薄膜研究的一个重要方向，这涉及到薄膜材料的可持续性和环境友好性。功能化薄膜的发展是薄膜研究的一个重要方向，通过在薄膜表面引入功能单元，可以实现薄膜的自清洁、自修复等功能。

二维材料薄膜的制备技术不仅对基础科学研究具有重要意义，而且对推动高新技术发展和产业应用也至关重要。随着科技的进步和社会的发展，对材料性能的要求越来越高，二维材料薄膜以其独特的性质满足了这些需求。然而，我们也必须意识到，这些材料的制备和应用过程中可能带来的环境问题和挑战。因此，未来的研究不仅要注重材料性能的提升，还要考虑材料的可持续性，实现环境保护和经济发展的双赢。



## 第二章 二维材料薄膜的特性及制备方法

### 2.1 二维材料薄膜的定义

二维材料薄膜，作为材料科学中的一个新兴领域，具有深远的研究意义和广泛的应用前景。以下是对二维材料薄膜的定义、重要性以及在科研和工业领域的应用的详细阐述。

二维材料是指电子仅可在两个维度的非纳米尺度（1-100nm）上自由运动（平面运动）的材料，如纳米薄膜、超晶格、量子阱。这类材料的独特之处在于它们的电子和光学性质发生了非常显著的变化，这是由于它们的厚度达到了原子级别，使得载流子迁移和热量扩散都被限制在二维平面内。

二维材料薄膜，这些仅由单层或几层原子构成的材料，展现出了一系列引人入胜的独特性质。首先，它们拥有极高的表面积与体积比，这一特性使得二维材料薄膜在催化、能源存储和传感器等领域展现出巨大的应用潜力。在电子性质方面，二维材料薄膜表现出与传统三维材料截然不同的行为，例如石墨烯的零带隙特性赋予了它非凡的导电性能，而像  $\text{MoS}_2$  这样的过渡金属硫化物则表现出层依赖的半导体性质，这些性质为电子器件的设计与制造提供了新的可能性。

在机械强度方面，尽管二维材料薄膜极薄，它们却展现出了惊人的强度和柔韧性，这使得它们在柔性电子和复合材料领域备受青睐。在光学性能上，许多二维材料薄膜如石墨烯和过渡金属硫化物即便在单层状态下也保持了高透明度，这对于透明电子器件和智能窗户等应用至关重要。热导性也是二维材料薄膜的一大亮点，石墨烯等材料的高热导率为热管理提供了新的解决方案。

化学活性方面，二维材料薄膜表面原子的高暴露度赋予了它们极高的反应活性，这在催化和能量转换等领域尤为重要。此外，层间相互作用在多层二维材料薄膜中可能导致新的物理现象，如层间激子和摩尔纹效应，为材料科学带来了新的研究课题。最后，二维材料薄膜的带隙可通过改变层数或施加外部电场进行调节，这对于光电器件的设计和性能优化至关重要。

二维材料薄膜的这些特性不仅在理论上具有重要意义，而且在实际应用中也展现出巨大的潜力。随着科技的进步和对这些材料更深入的理解，我们可以预见



二维材料薄膜将在未来的科技发展中扮演越来越重要的角色。

## 2.2 化学气相沉积（CVD）

化学气相沉积（CVD）技术在二维材料薄膜的制备中扮演着至关重要的角色，它通过在衬底表面进行化学反应来沉积固态薄膜<sup>[3]</sup>。CVD 过程涉及将气态前驱体输送至加热的衬底表面，在衬底表面上发生化学反应，形成固态产物，即我们所需的二维材料薄膜。这种方法的优势在于其能够以合理的成本生产高质量、大面积的二维材料，同时通过精确控制生长参数，可以调控产物的层数、尺寸、形态和方向，甚至实现掺杂或缺陷的引入。当前的研究热点集中在实现大面积单层或多层材料的制备、发展低温 CVD 技术，以及合成新型结构的二维材料。然而，徐创霞等人<sup>[5]</sup>发现 CVD 技术在二维材料薄膜的制备中仍面临一些挑战，包括对成核及生长速率的控制、大面积制备的均匀性以及材料的制备水平。这些挑战需要我们深入理解 CVD 生长机理，以指导高质量二维材料薄膜的大面积生长。随着研究的深入和技术的进步，CVD 技术有望在未来实现更高质量、更大面积的二维材料薄膜的制备，推动二维材料从理论走向应用的脚步，这不仅将促进基础科学的发展，也将为工业应用带来革命性的变革。

## 2.3 物理气相沉积（PVD）

物理气相沉积（PVD）技术在二维材料薄膜的制备中扮演着重要角色，其独特的优势和面临的挑战对材料科学领域有着深远的影响。

PVD 技术是一种在真空环境中，通过物理方法将材料源转化为气态原子、分子或离子，并在基底上沉积形成薄膜的过程<sup>[4]</sup>。这项技术能够制备出高纯度、高致密度的薄膜，且与基底结合力强，显著提升材料的耐磨、耐腐蚀及光学性能。PVD 过程的灵活性高，可适用于多种材料的镀膜处理，包括金属、陶瓷及复合材料等，满足不同领域的特定需求。此外，PVD 工艺温度较低，有效保护热敏基材，拓宽了应用范围至热敏性较强的材料领域。PVD 还能实现薄膜厚度的精确控制及多层复合结构的构建，为材料表面性能的定制化设计提供了无限可能。

在二维材料薄膜的制备中，PVD 技术展现出其多方面的优势。例如，PVD 技术可以用于制备绝缘层、保护膜，特别适合于聚合物和生物材料的处理。它能



够在较低温度下操作，扩展了材料的种类和基片的适用范围<sup>[6]</sup>。然而，PVD 技术也面临一些挑战，如设备成本较高，过程控制更为复杂。此外，PVD 技术在实现大面积、高质量的二维材料薄膜生长方面仍需进一步优化，以满足日益增长的市场需求。

PVD 技术在二维材料薄膜的制备中具有重要的应用前景，但仍需克服成本、过程控制和大面积制备等方面的挑战。随着技术的不断进步，PVD 技术有望在未来实现更高效、更环保的二维材料薄膜制备，进一步推动相关工业领域的发展。

## 2.4 溶液法与液相剥离

溶液法和液相剥离是两种常用于二维材料薄膜制备的技术，它们各自具有独特的优势和挑战。

溶液法，也称为溶液沉积法，涉及将前驱体溶液滴在基材上，通过旋转或浸涂的方式使溶液均匀铺展，随后溶剂蒸发形成均匀的固态薄膜。这种方法的优势在于工艺简单、成本较低，且适用于大面积制备。溶液法的关键影响因素包括转速、溶液粘度和浓度，这些因素共同决定了薄膜的厚度和均匀性。溶液法在光伏器件和有机电子器件的制备中得到了广泛应用，如有机太阳能电池和有机发光二极管（OLED）。

液相剥离法则是一种将块体材料在溶剂中剥离，以获取单层或少层二维材料的技术。这种方法可以分为直接液相剥离和插层剥离。直接液相剥离通过超声等方式直接从块体材料中获得二维材料，但产率较低。插层剥离法则通过化学或电化学方法将异质组分插层至二维材料中，从而高效获得单层二维材料，且产率较高。液相剥离技术因其溶液可加工性、可规模化、产品具有大横向尺寸和高单层产率而受到欢迎。优化溶剂和超声处理等参数，可以制备出高质量、稳定的二维材料，且具有良好的电化学性能，适用于多种储能应用。

溶液法和液相剥离在二维材料薄膜的制备中各有优势。溶液法适合于需要大面积均匀薄膜的应用，而液相剥离法则更适合于需要高产量和高质量单层或少层材料的应用。液相剥离技术相比传统的机械剥离方法具有较高的产率和较低的成





本，通过优化溶剂和超声处理等参数，可以制备出高质量、稳定的二维材料。这些方法的发展对于二维材料的工业化应用至关重要，因为它们提供了从实验室到工业规模生产的可能性。然而，这些技术也面临着挑战，如提高产率、控制薄膜质量和尺寸的一致性，以及开发更环保、成本效益更高的方法。随着研究的深入，这些技术有望在未来实现更高效、更可控的二维材料薄膜制备。

## 2.5 自组装与模板规则

自组装和模板规则是两种在二维材料薄膜制备中非常重要的技术，它们利用分子间的相互作用或模板的引导作用来实现材料的有序排列和生长。

自组装技术是一种基于分子间相互作用，通过溶液中自然形成纳米材料的技术。在二维材料的制备中，自组装技术可以利用两亲卟啉换单体在戊烷-水界面的特性和类层流的运输方式，实现大面积连续单层二维高分子薄膜的制备。这种方法的创新之处在于，它不仅能够制备大面积的单层二维高分子薄膜，还可以利用层流互不混合的特性制备不同二维高分子的平面异质结构。自组装技术的应用，使得二维材料的制备过程更加简单快捷，且成本较低，同时能够保持材料结构的有序性和稳定性。

模板规则技术则是一种通过特定模板结构引导物质自发组装成所需形状的方法。在二维材料薄膜的制备中，模板的形状和表面性质对所形成的结构具有决定性的影响。例如，选择合适的衬底材料，可以促进二维材料的大面积且取向一致的薄膜沉积<sup>[7]</sup>。Cu(111)衬底与石墨烯具有相同的晶格取向，因此是制备石墨烯薄膜的常用衬底。此外，模板规则技术还可以用于制备具有高度有序排列的纳米线阵列，用于提高电子器件的导电性和光电转化效率。

自组装和模板规则技术，可以实现二维材料薄膜的精准制备。例如，通过有序一维碲纳米线的取向搭接，可控地制备出厘米级准二维碲纳米薄膜。这种策略不仅能够制备出具有特定结构和性能的纳米材料，还能够模拟生物体内的结构和功能，为生物医学研究提供新的平台。

总的来说，自组装和模板规则技术在二维材料薄膜的制备中发挥着重要作用，它们不仅能够实现材料的有序排列和生长，还能够降低制备成本，提高材料的性



能和应用范围。随着这些技术的不断进步和创新，二维材料薄膜的制备将更加高效、可控，为未来的科技发展提供更多可能性。



## 参考文献

## 参考文献

- [1] Zhang F, Li S, Zhang Q, et al. Adsorption of different types of surfactants on graphene oxide[J]. Journal of Molecular Liquids, 2019, 276: 338-346.
- [2] Lee C-Y, Lin C-S, Lin B-R. Localized electrochemical deposition process improvement by using different anodes and deposition directions[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2008, 18(10).
- [3] Zhang Y, Zhen B, Hu Y, et al. A reverse micellar system with Triton X-100: effect of surfactant polydispersity and preparation of monodisperse silica nanoparticles[J]. Soft Matter, 2020, 16(2): 383-389.
- [4] Sh. Y, Jh. C, Kha. S. On the effects of ultrasonic vibrations on localized electrochemical deposition[J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2002, 12(3).
- [5] 徐创霞, 刘洋, 张伟, 等. 光催化技术在室内空气净化中的研究进展[J]. 化学研究与应用, 2017, 29(9): 1282-1288.
- [6] H. C J, Sweehock Y. Enhancement of spatial resolution of microfabricated columns using localized electrochemical deposition[J]. Nanyang Technological Univ (Singapore), 2001, 4236.
- [7] 晏超贻. 新型二维材料及异质结的可控制备和性能研究[D]. 电子科技大学, 2019.