

Preparation of graphene thin films and their applications in electronic materials

Liheng Sun

Shenzhen Zhongxuantian Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

This paper outlines the main preparation methods of graphene films, and these methods provide a solid foundation for the industrial production and quality control of graphene films. Subsequently, the paper discusses in detail the four core applications of graphene thin films in the field of electronic materials: flexible electronic devices, high-speed integrated circuits, sensors, and thermal management materials. In terms of flexible electronic devices, graphene thin films have become ideal materials for flexible displays and wearable devices because of their excellent flexibility and electrical conductivity. In the field of high-speed integrated circuits, graphene's high electron mobility makes it the key to improving circuit speed and energy efficiency. In sensor applications, the high sensitivity and rapid response characteristics of graphene make it a preferred material in environmental monitoring, biosensing and other fields.

Keywords

graphene film; preparation method; flexible electronics; integrated circuit

石墨烯薄膜的制备及其在电子材料中的应用

孙立恒

深圳市中炫天科技有限公司, 中国 · 广东 深圳 518000

摘要

本文概述了石墨烯薄膜的主要制备方法, 这些方法为石墨烯薄膜的工业化生产和质量控制提供了坚实的基础。随后, 文章详细探讨了石墨烯薄膜在电子材料领域的四大核心应用: 柔性电子器件、高速集成电路、传感器以及热管理材料。在柔性电子器件方面, 石墨烯薄膜因其出色的柔韧性和导电性, 成为柔性显示屏、可穿戴设备等领域的理想材料。在高速集成电路领域, 石墨烯的高电子迁移率使其成为提高电路速度和能效的关键。传感器应用中, 石墨烯的高敏感性和快速响应特性使其成为环境监测、生物传感等领域的优选材料。

关键词

石墨烯薄膜; 制备方法; 柔性电子; 集成电路

1 引言

石墨烯, 作为一种由单层碳原子以六边形晶格紧密排列构成的材料, 自 2004 年被成功分离以来, 便因其独特的物理、化学性质而备受瞩目。石墨烯薄膜, 作为石墨烯的一种重要形态, 保持了石墨烯的优异性能, 还因其可加工性、可调控性等特点, 在电子材料领域展现出了巨大的应用潜力。石墨烯薄膜的制备方法多样, 从最初的机械剥离法到如今的化学气相沉积法、电化学法等, 每一种方法都有其独特的优势和适用范围。石墨烯薄膜在电子材料中的应用也日益广泛, 从柔性电子器件到高速集成电路, 从传感器到热管理材料, 石墨烯薄膜都展现出了其不可替代的作用。

2 石墨烯薄膜的制备方法

2.1 化学气相沉积法 (CVD)

CVD 法制备石墨烯薄膜的过程通常涉及将含碳气体(如甲烷、乙烯等)通入沉积炉中, 同时以金属(如铜、镍等)作为催化基底。在高温条件下, 含碳气体在金属基底表面发生分解, 碳原子沉积并逐渐形成石墨烯薄膜。金属基底的选择、温度的控制、气体的流量以及反应时间等因素都会对石墨烯薄膜的质量和性能产生重要影响。以铜为例, 铜基底 CVD 法制备石墨烯薄膜时, 碳原子在铜表面优先形成单层石墨烯结构。铜表面双层及多层石墨烯是在原单层沉积基础上继续生长的。精确控制反应条件, 如甲烷与氢气的流量比、反应温度以及反应时间, 实现石墨烯薄膜的高质量生长。铜基底 CVD 法制备的石墨烯薄膜具有面积大、质量高、导电性好等优点, 非常适合于大规模工业化生产。

与铜基底不同, 镍基底在 CVD 过程中会吸收大量的碳

【作者简介】孙立恒(1981-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 工程师, 从事电子材料研究。

原子，形成碳的饱和固溶体，当反应结束后，通过快速冷却镍基底，碳原子会从镍中析出并在表面形成石墨烯薄膜。CVD 法制备石墨烯薄膜时，金属基底的选择对石墨烯的生长机制和性能有着重要影响，铜基底倾向于形成单层石墨烯，而镍基底则更容易形成多层石墨烯。金属基底与石墨烯之间的相互作用也会影响石墨烯的结构和性能。

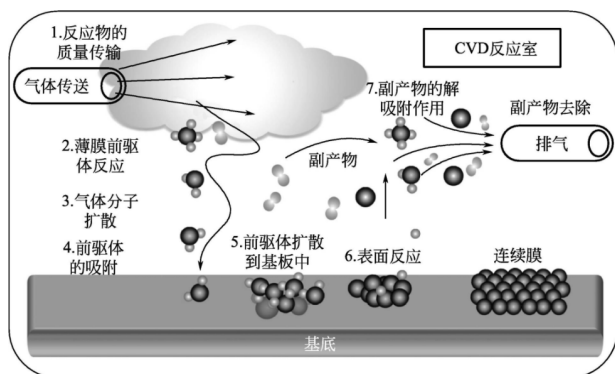


图 1 化学气相沉积法

2.2 剥离法

剥离法通常包括机械剥离和化学剥离两大类。机械剥离法主要利用物体与石墨烯之间的摩擦和相对运动，施加外力将石墨烯从基底上剥离，这种方法最早由 Geim 和 Novoselov 等人采用，他们通过胶带反复粘贴和撕拉，成功地从石墨中剥离出了单层石墨烯，这一发现也开启了石墨烯研究的新纪元。机械剥离法的优点在于能够制备出高质量、缺陷少的石墨烯薄膜，但其生产效率较低，难以实现大规模工业化生产。化学剥离法主要利用化学试剂的作用，削弱石墨烯与基底之间的结合力，从而实现石墨烯的剥离。氧化石墨烯的制备是化学剥离法的典型代表。将石墨与强氧化剂（如高锰酸钾、浓硫酸等）反应，在石墨层间引入含氧官能团，形成氧化石墨烯。化学剥离法制备的石墨烯薄膜通常具有较大的比表面积和丰富的官能团，有利于其在复合材料、能源存储和传感器等领域的应用。

2.3 电化学法

电化学法主要利用电化学反应的原理，在电场的作用下，电解质溶液中的离子与电极表面的反应，实现石墨烯在电极上的沉积或剥离，从而制备出石墨烯薄膜。这种方法操作简便、成本较低，而且能够实现对石墨烯薄膜厚度、结构和性能的精确调控。电化学法制备石墨烯薄膜的过程通常涉及电解质的选择、电极材料的制备以及电解条件的控制等多个环节。在电解质方面，常用的有硫酸、硝酸、磷酸等无机酸以及有机电解质，这些电解质能够提供丰富的离子环境，促进电化学反应的进行。电极材料则通常选用具有高导电性和稳定性的材料，如铂、金、钛等金属或碳材料等，这些电极材料能够确保电化学反应的高效进行，同时避免对石墨烯薄膜的污染。

在电解过程中，施加适当的电压和电流，以调控电解

质溶液中的离子在电极表面的反应速率和沉积方式，从而实现石墨烯薄膜厚度和结构的精确控制。在阳极氧化剥离法中，将石墨作为阳极，在电解质溶液中进行电解，促使石墨层间的氧化反应，进而实现石墨烯的剥离和沉积。而在阴极还原沉积法中，则是利用电解还原氧化石墨烯或其他含碳前驱体，在阴极表面形成石墨烯薄膜。电化学法制备石墨烯薄膜的过程中，电解条件的控制对石墨烯薄膜的质量和性能具有重要影响。电解质的浓度、电解电压和电流的大小、电解时间和温度等因素都会影响石墨烯薄膜的生长速率、厚度、结晶度和表面形貌等，在制备过程中需要精确控制这些参数，以获得具有优异性能的石墨烯薄膜。由于该方法主要利用电化学反应进行制备，因此不需要高温、高压等苛刻条件，也不会产生大量的废弃物和污染物。电化学法可利用可再生能源（如太阳能、风能等）提供的电能进行制备，进一步降低了生产成本和环境负担^[1]。

3 石墨烯薄膜在电子材料中的应用

3.1 柔性电子的未来：石墨烯薄膜在可穿戴与显示技术中的革新

石墨烯薄膜的引入，在可穿戴设备领域，石墨烯薄膜的应用为设备的舒适性、耐用性和功能性带来了显著提升。传统的可穿戴设备，如智能手表和智能手环，往往受限于电池续航、屏幕柔韧性和材料耐用性等问题。而石墨烯薄膜的引入，则有效解决了这些难题。石墨烯的高导电性使得电池的能量密度和充放电效率得到大幅提升，从而延长了可穿戴设备的续航时间，石墨烯薄膜的柔韧性和机械强度确保了屏幕在弯曲、折叠等形变下仍能保持良好的性能，使得可穿戴设备的外观设计更加贴合人体工学，提升了用户的佩戴体验。

在显示技术方面，石墨烯薄膜的应用同样带来了革命性的变化。石墨烯薄膜的引入，则为柔性显示屏的制备提供了全新的解决方案。石墨烯的高透光性和高导电性使得其作为柔性显示屏的透明电极材料，提高了屏幕的透光率和导电性能，还使得屏幕在弯曲、折叠等形变下仍能保持良好的显示效果。在传感器领域，石墨烯的高导电性和化学敏感性使其成为气体传感器、生物传感器等传感器的理想材料，能够实现各种环境参数的精确监测。在太阳能电池领域，石墨烯的高透光性和高导电性使得其作为透明导电膜，提高太阳能电池的光电转换效率。在超级电容器领域，石墨烯的高比表面积和优异的电化学性能使得其成为超级电容器的理想电极材料，能够大幅提升电容器的能量密度和功率密度^[2]。

3.2 高速与高效：石墨烯薄膜在集成电路中的突破性应用

在集成电路中，石墨烯薄膜的应用首先体现在其出色的导电性能上。与传统的金属导体相比，石墨烯具有更高的电子迁移率，这意味着电子在石墨烯中的传输速度更快，

能量损耗更低，这一特性使得石墨烯薄膜成为集成电路中高速信号传输的理想材料。石墨烯薄膜因其优异的导热性能，有效地将芯片上的热量快速传导出去，从而保持芯片的工作温度稳定，延长其使用寿命。在集成电路的小型化和集成化方面，石墨烯薄膜的引入，则为集成电路的小型化提供了新的解决方案，石墨烯薄膜构建的集成电路，实现更小的器件尺寸和更高的集成密度，从而大幅提升集成电路的功能性和性能。

3.3 敏感与智能：石墨烯薄膜传感器技术的革新与发展

石墨烯薄膜传感器技术的革新，首先体现在其超高的灵敏度上。石墨烯的二维结构和优异的电学性能，使得其对环境中的微小变化能够产生显著的电信号响应。例如，在气体检测方面，石墨烯薄膜传感器能够实现对有害气体的快速、准确检测，为工业安全、环境保护等领域提供了有力的技术支持。在生物传感方面，石墨烯薄膜传感器能够实现对生物分子的高灵敏度检测，为疾病诊断、药物筛选等生物医学研究提供了全新的手段。石墨烯的高电子迁移率，使得其能够快速响应外部环境的变化，从而实现对快速变化信号的实时捕捉，使得石墨烯薄膜传感器在动态监测、实时反馈等方面具有显著优势。例如，在环境监测中，石墨烯薄膜传感器能够实现对空气质量、水质等环境参数的实时监测，为环境保护和灾害预警提供了重要的技术支持^[3]。

3.4 热管理的革新：石墨烯薄膜在电子设备散热中的应用

石墨烯的导热系数远超传统金属散热材料，如铜和铝，其单层导热系数可达到惊人的 5300 W/mK（根据不同制备方法和条件，导热系数会有所变化，但普遍远高于传统材料）。在电子设备中，石墨烯薄膜可以作为热传导层，直接

贴合在发热元件上，如 CPU、GPU 等，将热量迅速导出，防止过热导致的性能下降和硬件损坏。热阻是衡量材料导热性能的重要指标，热阻越低，材料的导热性能越好。石墨烯薄膜的热阻显著低于铜和铝等传统散热材料，在散热过程中，石墨烯薄膜能够减少热量损失，提高散热效率。在电子设备中，石墨烯薄膜的低热阻特性使得热量能够更高效地传递到散热装置，如散热片、风扇或液冷系统，从而保持设备的稳定运行。石墨烯薄膜则可以根据实际需求进行定制，实现更加精准的散热效果。在智能手机、平板电脑等消费电子产品中，石墨烯薄膜可以贴合在电池、处理器等发热元件上，形成高效的散热系统，防止过热导致的性能下降和电池损坏。

4 结语

石墨烯薄膜作为一种新型电子材料，其制备方法和在电子材料中的应用均取得了显著的进展。石墨烯薄膜的多样化制备方法为工业化生产和质量控制提供了坚实的基础，而其在柔性电子器件、高速集成电路、传感器以及热管理材料等领域的应用则彰显了其独特的优势和广泛的应用前景。然而，石墨烯薄膜的研究与应用仍面临诸多挑战，未来的研究需要更加深入地探索石墨烯薄膜的制备工艺，优化其性能，同时不断拓展其应用领域，以实现石墨烯薄膜在电子材料领域的更大突破和更广泛应用。

参考文献

- [1] 陈建丽. 石墨烯薄膜的制备及其在电子材料中的应用 [J]. 电子技术, 2023, 52 (10): 20-21.
- [2] 徐雅文, 朱朋举, 逢锦慧. 石墨烯薄膜的制备及其在电子材料中的应用 [J]. 信息记录材料, 2021, 22 (11): 30-32.
- [3] 石晓东. 大面积石墨烯薄膜的制备及其在电子器件中的应用 [D]. 河北工业大学, 2017.