

For citation: Xu Bin, Lygdenov B.D. Analysis and research on the development status of composite conductive films // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (21)'2024 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2024.01) — EDN: <https://elibrary.ru/BRRBWW>

UDK 669

ANALYSIS AND RESEARCH ON THE DEVELOPMENT STATUS OF COMPOSITE CONDUCTIVE FILMS

Xu Bin^{1}, B.D. Lygdenov^{1,2*}*

1 Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China

2 Zhejiang Xinchang Sanxiong Bearing Co., Ltd, Zhejiang Xinchang, 312500, China

E-mail: 13061159209@163.com ; lygdenov59@mail.ru

Abstract: Composite conductive film as an extremely important functional materials, because of its unique physical and chemical properties make it in many fields of science and technology plays an extremely important role. Composite conductive films made from the combination of flexible substrates and conductive fillers have excellent tensile properties, electrical conductivity, cyclic stability and so on. They have a wide range of applications in the field of smart wearable devices, electronic skin, flexible robots and so on. This paper specifically introduces the preparation methods of composite conductive films, including centrifugal spinning, screen printing and electrochemical deposition method. The researchers used different preparation methods according to different requirements to obtain the best performance performance. The article also analyzes and describes the current research progress of composite conductive films. Composite conductive films are gradually becoming an important bridge connecting the future development of science and technology with their excellent comprehensive performance.

Keywords: Composite Conductive Films; Preparation methods; comprehensive performance; Application Prospects

复合导电薄膜的发展现状分析与研究

徐彬^{}, 雷格德诺夫 布利亚尔^{1,2*}*

1 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 中国, 武汉, 430073

2 浙江新昌三雄轴承有限公司, 中国, 浙江新昌, 312500

E-mail: 13061159209@163.com ; lygdenov59@mail.ru

摘要: 复合导电薄膜作为一种极为重要的功能性材料, 因其独特的物理和化学性质使它在许多科技领域扮演着极为重要的角色。由柔性基底与导电填料组合而成的复合导电薄膜具有优异的拉伸性能, 导电性能, 循环稳定性等。它们在智能可穿戴设备, 电子皮肤, 柔性机器人等领域具有广泛的应用前景。本文具体介绍

了复合导电薄膜的制备方法, 包括离心纺丝, 丝网印刷和电化学沉积法等. 研究者根据不同的要求, 采用不同的制备方法, 以获得最佳的性能表现. 文章还对目前复合导电薄膜的研究进展进行了分析与介绍. 复合导电薄膜以出色的综合性能, 逐渐成为连接未来科技发展的重要桥梁.

关键词: 复合导电薄膜; 制备方法; 综合性能; 应用前景

0 引言

在当今快速演变的科技时代, 新材料技术的发展已成为推动各行各业革新的关键因素之一. 复合导电薄膜因为其优异的功能性和广泛的应用场景受到了科研人员和工业界的特别关注. 随着可穿戴设备, 柔性电子, 智能传感器, 人机交互等领域的需求日益增长, 复合导电薄膜的开发与研究正处在前所未有的发展机遇之中, 对复合导电薄膜的制备方法以及性能表现提出了更高的要求. 不仅需要实现优异的电学性能, 还要关注复合导电薄膜的机械性能, 兼容性问题. 在制备加工方面, 要不断降低加工和制备工艺的成本, 并且追求达到大规模生产的要求. 因此复合导电薄膜已成为目前科学研究领域的重要方向之一, 本文旨在通过分析复合导电薄膜的发展现状, 为复合导电薄膜的进一步开发与应用提供有价值的参考和启示.

1 复合导电薄膜制备工艺的发展现状

复合导电薄膜的制备工艺是一个复杂的, 多技术集成的过程 [5], 其中涉及材料科学, 机械工程, 化学工程以及纺织科学工程等多个领域的知识和技术. 目前, 复合导电薄膜的制备方法主要包括了: 物理蒸发沉积 (PVD), 化学气相沉积 (CVD), 离心纺丝法, 自组装技术, 复合溶液法等.

其中离心纺丝法通过将导电填料与聚合物材料进行溶液融合, 然后利用离心纺丝设备如图1 所示, 通过离心力将混合溶液在离心舱内进行高速旋转并快速甩拉形成纺织纤维, 最终沉积到收集器上, 制成导电纤维膜. 离心纺丝法制备的导电薄膜具有纳米级尺寸, 导电性能优异, 均匀性好, 拉伸能力强等特点, 针对如柔性电子, 智能穿戴等领域具有广泛的应用前景.

化学气相沉积 (CVD) 的原理如图2 所示, 通过将多种反应气体输送到反应室中, 进行外部加热来使反应室达到一定的温度促进反应气体分子与基底表面发生反应, 形成固态薄膜, 未完全反应的剩余气体将通过排气系统排出反应室. CVD 制备导电薄膜是一种极具潜力的制备技术, 特别适合用于要求大面积, 均匀且有复杂结构的导电薄膜生产之中.

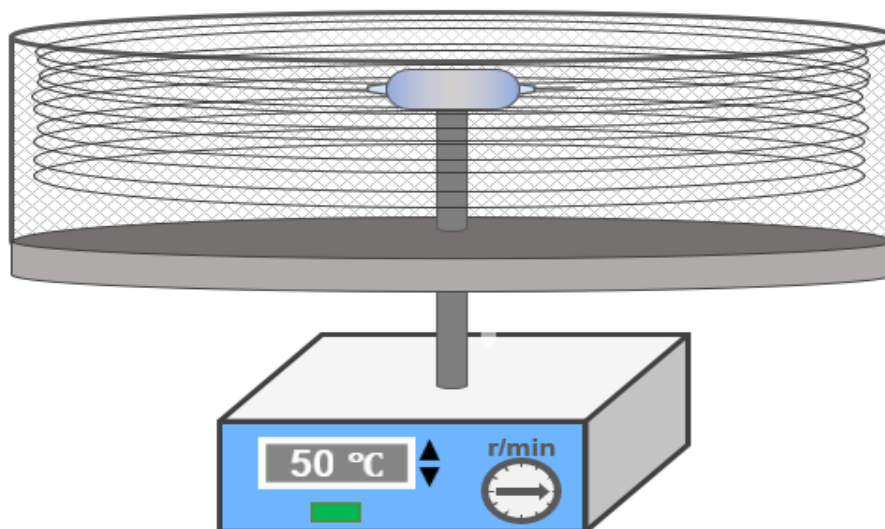


图1 离心纺丝设备简图

Figure 1. Centrifugal spinning equipment sketch

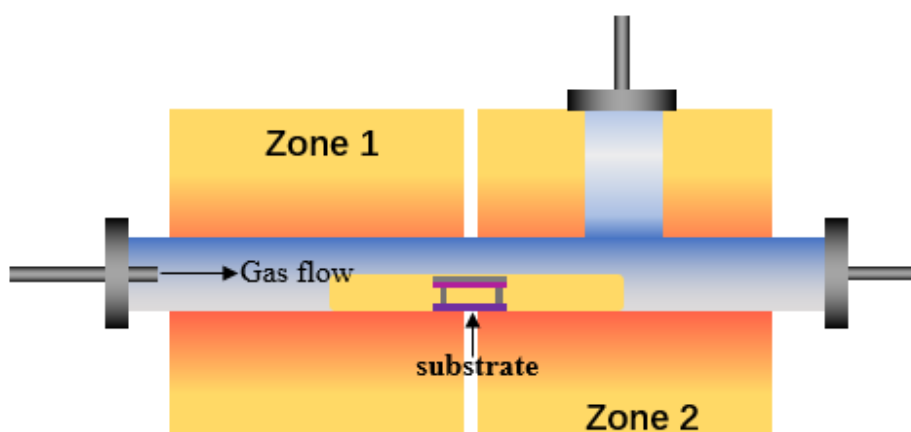


图2 化学气相沉积原理图

Figure 2. Chemical Vapor Deposition Schematic

此外自组装技术, 复合溶液旋涂法, 丝网印刷也是当前制备复合导电薄膜领域内广泛研究和应用的三种技术 [4]. 自组装技术是利用材料分子之间的作用力在固定柔性基底上形成有序结构如图3 所示, 特别适用于纳米级别的导电薄膜制备, 能有效控制薄膜的厚度和结构, 但对应用场景和选取材料的要求较高. 复合溶液旋涂法通过将导电材料与聚合物溶液混合后进行旋涂, 能在较大面积的基底上快速形成均匀的复合导电薄膜, 适合于大规模生产, 但需要合理的旋涂参数来获得理想的膜厚和性能. 丝网印刷则是一种高效, 低成本的印刷技术, 通过印刷版将导电材料直接印刷在基底上, 广泛应用于柔性电子, 触摸屏等领域, 具有操作简便, 适应性强的优点, 但在精细度和分辨率上存在一定的缺点. 每种制备技术都有其各自的特点, 在制备复合导电薄膜的过程中呈现出了互补的状态.

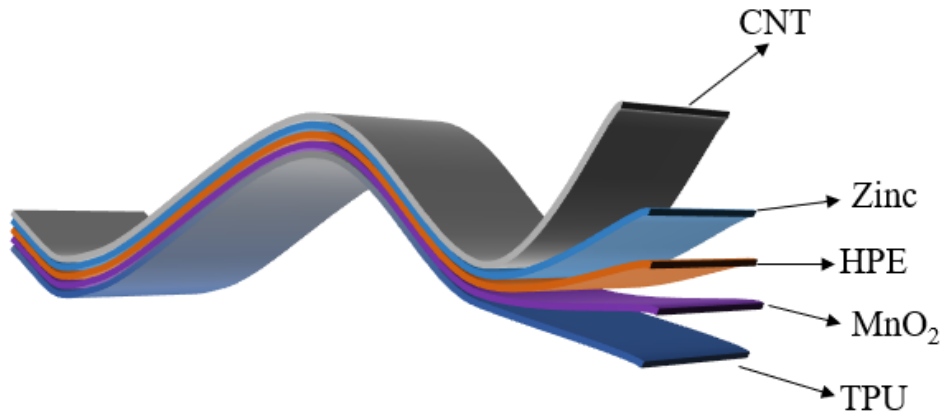


图3 自组装制备的导电薄膜结构概念图

Figure 3. Conceptual diagram of the structure of conductive thin films prepared by self-assembly

2 复合导电薄膜的近期研究介绍

复合导电薄膜作为当前科学研究的热门课题。随着科技的发展和对高性能材料的需求日益增加, 科研人员将复合导电薄膜的研究不断地推向深入, 他们的工作主要聚焦在几个关键方面: 提升材料的电导率, 确保工作长期可靠, 增强薄膜的机械性能以及提高所选材料的环保性等。

首先, 在提高复合导电薄膜电导率的研究方面, 科研人员试图通过多种导电填料的混合 [1] 如图4 所示 (2023, a College of Chemistry and Materials Engineering, Zhejiang A&F University, Zehui Li et al.), 改变复合导电薄膜内部的导电网络结构以及对制备工艺的优化, 来提高薄膜内部的电流响应和传导能力。

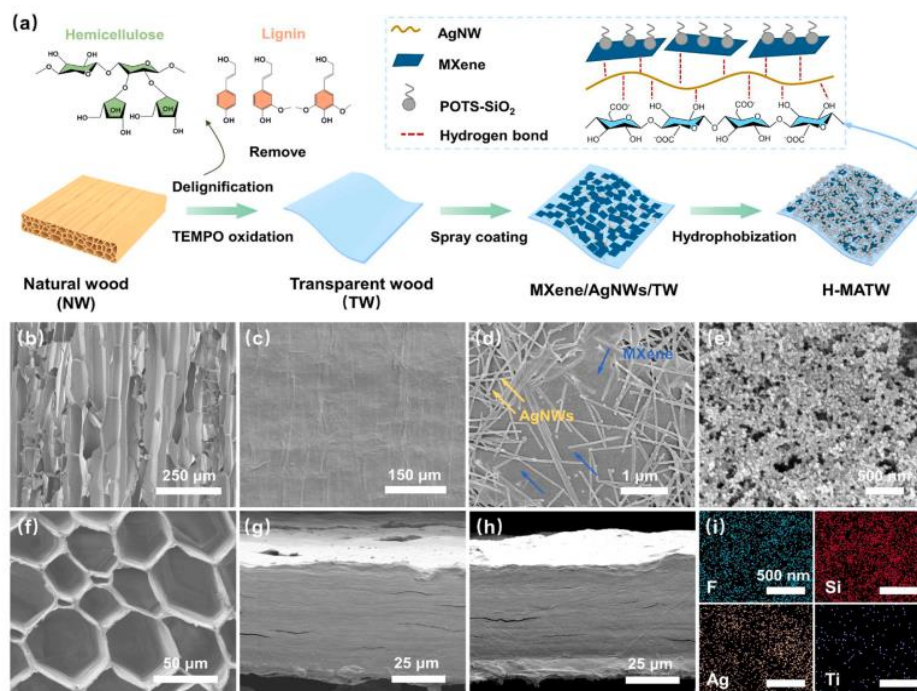


图4 采用 MXene/银纳米线装饰的坚固, 疏水, 透明木质薄膜 [1]

Figure 4 Strong, hydrophobic, transparent wood film decorated with MXene/silver nanowires [1]

其次, 在可靠性方面, 为了确保复合导电薄膜在不同环境条件下长期使用, 科研人员进行了多项研究. 比如如图5 所示 (2023, College of Engineering and Applied Sciences, Jiangsu Key Laboratory of Artificial Functional Materials, and Collaborative Innovation Center of Advanced Microstructures, National Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University, Guang Xiao et al.) 在干燥过程中提供可控约束条件, 从而避免在薄膜的制备过程中产生不期望的褶皱或其他缺陷 [3], 通过柔性基底与生物质施胶剂相结合 [6], 增强复合导电薄膜在特定环境中的稳定性和使用寿命.

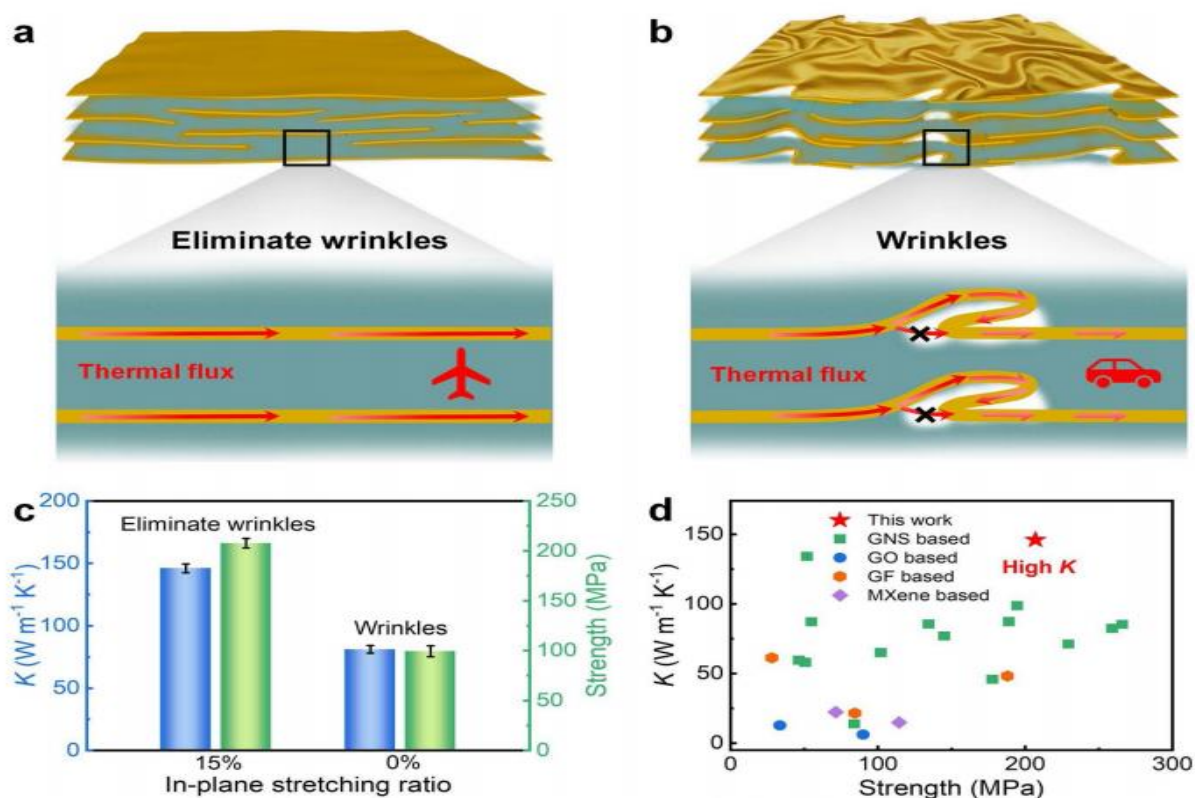


图5 通过消除纳米片褶皱实现高导热性, 高强度石墨基复合薄膜 [3]

Figure 5 Highly thermally conductive, high-strength graphene-based composite films by eliminating nanosheet wrinkles [3]

在环境保护方面, 科研人员也在积极探索使用可降解聚合物来制备复合导电薄膜, 以实现材料在使用后能够被自然分解, 减少对环境的负担. 例如开发可降解传感器 [2] 如图6 所示 (2024, School of Materials and Chemistry, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, China, Wei Peng et al.), 在满足功能性要求的同时, 也实现了对环境的保护.

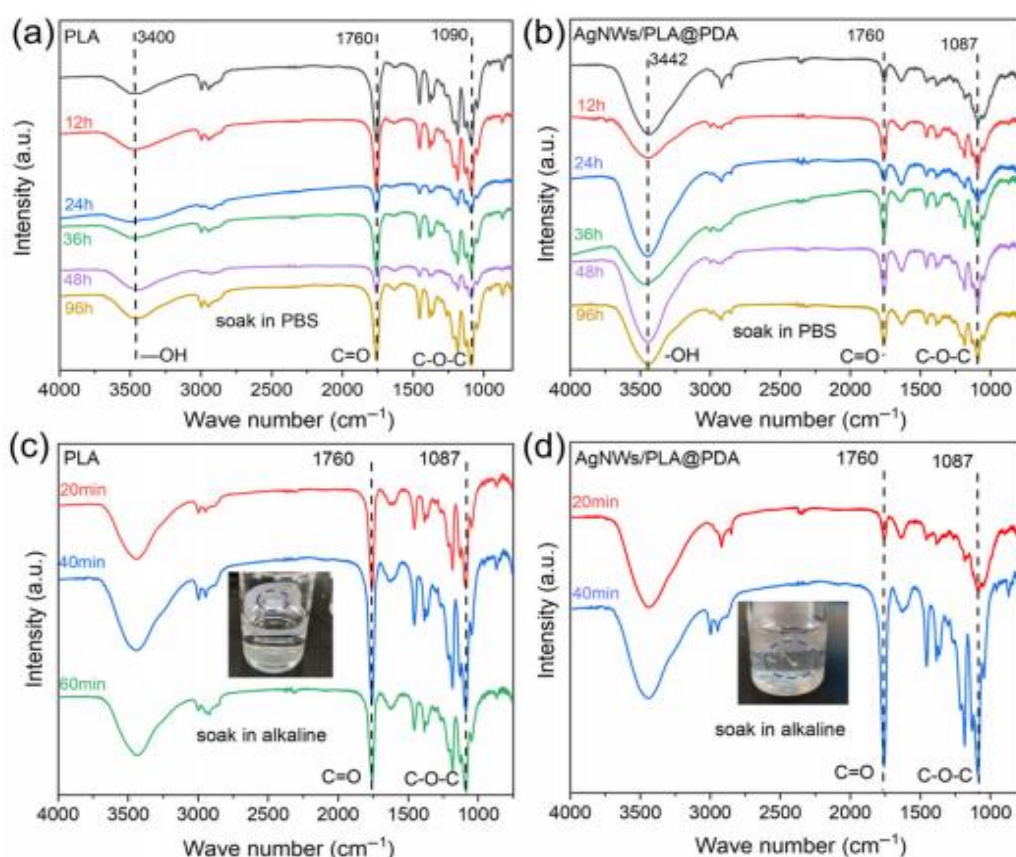


图6 基于棉条纳米线和聚乳酸电纺纤维的可生物降解柔性导电薄膜 [2]
Figure 6. Biodegradable flexible conductive films based on tampon nanowires and polylactic acid electrospun fibers [2]

3 复合导电薄膜未来的发展趋势

复合导电薄膜在多个已知领域扮演着重要角色，伴随着新技术的出现与发展，复合导电薄膜的未来方向预计会集中在几个关键趋势上，一是在材料方面，将会出现更广泛的材料选择范围以及更多性能优异的材料将会应用在研发复合导电薄膜中。二是制备的方法上，通过对现有制备方法的融合和改进，将会使制备过程更加精准可控，发展的重点可能会聚焦于降低成本，实现大面积高效制备复合导电薄膜的方向。三是在功能性上，将来的复合导电薄膜将逐步走向智能化和多参数并行高精度检测等方面。此外，自我产能储能，自我修复以及外观变化的复合薄膜也将是未来研究的重点。四是应用领域方面，随着性能的提高，功能的增强以及成本的降低，复合导电薄膜的应用范围也将进一步扩大，如可穿戴电子设备，柔性太阳能板，医疗生物电极以及环境检测等领域。

综上所述，复合导电薄膜的未来将随着科研与技术的不断发展推进，将在众多行业领域之中得到更广泛和更深入的应用。

参考文献

- [1] Zehui L., Wenbo C., Yingqiu J., et al. Strong, hydrophobic, and transparent wood film decorated with MXene/silver nanowire for electromagnetic interference shielding and electrothermal conversion[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2023, 676(PB).
- [2] Peng W., Wang LT, Zhang MY, et al. Biodegradable flexible conductive film based on silver nanowires and PLA electrospun fibers[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2024.
- [3] Guang X., Hao L., Zhizhou Y., et al. Highly Thermoconductive, Strong Graphene-Based Composite Films by Eliminating Nanosheets Wrinkles[J]. *Nano-Micro Letters*, 2023, 16(1):17-17.
- [4] 蔡斌, 张效林, 罗倩, 等. 导电薄膜材料的研究进展[J]. *化工学报*, 2023, 74(06):2308-2321.
- [5] 刘亚丽, 张素风, 李楠, 等. 纳米纤维素基柔性导电薄膜的构筑及其在柔性电子器件中的应用研究进展[J]. *中国造纸*, 2023, 42(05):87-97.
- [6] Min G., Yang L., Hong D., et al. Durable, breathable, sweat-resistant, and degradable flexible sensors for human motion detection[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 462.

References

- [1] Zehui L., Wenbo C., Yingqiu J., et al. Strong, hydrophobic, and transparent wood film decorated with MXene/silver nanowire for electromagnetic interference shielding and electrothermal conversion[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2023, 676(PB).
- [2] Peng W., Wang LT, Zhang MY, et al. Biodegradable flexible conductive film based on silver nanowires and PLA electrospun fibers[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2024.
- [3] Guang X., Hao L., Zhizhou Y., et al. Highly Thermoconductive, Strong Graphene-Based Composite Films by Eliminating Nanosheets Wrinkles[J]. *Nano-Micro Letters*, 2023, 16(1):17-17.
- [4] CAI Bin, ZHANG Xiaolin, LUO Qian, et al. Research progress of conductive thin film materials[J]. *Journal of Chemical Engineering*, 2023, 74(06):2308-2321.
- [5] LIU Yali, ZHANG Sufeng, LI Nan, et al. Research progress on the construction of flexible cellulose-based conductive nanofilms and their application in flexible electronic devices[J]. *China Paper*, 2023, 42(05):87-97.
- [6] Min G., Yang L., Hong D., et al. Durable, breathable, sweat-resistant, and degradable flexible sensors for human motion detection[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 462.