

## 苏州纳米所利用层状化结构工程策略构筑高导电碳纳米管气凝胶薄膜

气凝胶是一种具有三维多孔结构的超轻固体纳米材料。近年来，以高分子纳米纤维、碳纳米纤维、石墨烯、碳纳米管及MXene等为纳米构筑单元的气凝胶层出不穷，多种多样的纳米构筑单元结合微观结构设计进一步拓宽了气凝胶的应用领域。气凝胶薄膜具有气凝胶的多孔特性、薄膜的维度特性，在电池、超级电容器等领域颇具应用价值。目前，研究多聚焦在气凝胶薄膜的构筑单元选择上，尚无有效的方法实现气凝胶薄膜纳米构筑单元微观结构的设计。近日，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所张学同团队提出了纳米纤维三维网络结构层状化工程策略，实现了碳纳米管气凝胶薄膜的高效导电网络构筑，制备出了一种具有致密层状多孔结构的高导电碳纳米管气凝胶薄膜。

如图1所示，芳纶纳米纤维/碳纳米管（ANF/CNT）复合气凝胶薄膜是由纳米纤维构筑的三维网络结构，纳米纤维随机取向。在定向应力诱导下，纳米纤维向垂直于应力方向重新排布，最终所有的纳米纤维将在垂直于应力方向堆积，形成致密层状结构。致密的层状结构能够有效增强力学性能和构筑高效导电网络。而在这一过程中，气凝胶的多孔结构由于致密堆积而部分消失，同时不导电ANF的致密堆积不利于导电网络的形成。后续通过热处理碳化，刻蚀掉不导电的ANF，保留致密堆积的碳纳米管，实现高效导电网络的构筑，在这个过程中，ANF的碳化热分解会诱导孔隙再生。

如图2所示，研究通过广角X射线散射（WAXS）探究了ANF/CNT气凝胶薄膜在应力诱导下的双轴取向过程。ANF/CNT的2D散射图形呈圆形，表明ANF和CNT是随机取向的。当施加一定的应力后，从SEM图上可以明显看到ANF和CNT均发生了重构现象，采取取向因子F定量研究了纳米纤维双轴取向过程与定向应力之间的关系（ $F = 0$ 表示完全随机； $F = 1$ 表示完全取向）。

如图3所示，研究剖析了碳化温度对气凝胶薄膜力学、比表面积、孔径结构、电导率、密度以及亲疏水性能的影响。研究通过ANF和CNT的双轴取向重构后，气凝胶薄膜的力学性能得到显著增强。随着碳化温度的增加，薄膜的电导率逐渐增强。当碳化温度为750 时，薄膜的电导率可达 $8540\text{S m}^{-1}$ ；进一步提高碳化温度后，薄膜的电导率逐渐降低。这是由于ANF在热分解碳化过程中产生小分子的气体会诱导薄膜的孔隙再生行为。CNT和ANF具有疏水性和亲水性，随着ANF的热分解，气凝胶薄膜的疏水角逐渐增加，表现出一定的疏水性能。

由于致密层结构形成的高效导电网络和多孔结构的多重内部反射，该碳纳米管气凝胶薄膜在X波段表现出 $200648\text{dB cm}^2\text{g}^{-1}$ 的优异绝对屏蔽效能（SSE/t），超过多数已报道的气凝胶材料。此外，该气凝胶具有良好的电加热性能。当施加电压为2 V时，气凝胶薄膜的表面温度在1 min内可升至 $40.5^\circ\text{C}$ ，施加电压为5 V时，表面温度可达 $100.2^\circ\text{C}$ ，同时该薄膜在弯折情况下表现出良好的电加热性能。结果表明，所获得的碳纳米管气凝胶薄膜在轻量化电磁屏蔽材料和电加热材料领域具有广阔的应用前景。

该研究利用层状化结构工程策略实现了碳纳米管气凝胶薄膜纳米构筑单元的有序排列，在碳纳米管气凝胶中引入层状致密堆积结构，构筑出高效的导电网络，为高导电性碳纳米管气凝胶薄膜的制备提供了新思路。此外，该碳纳米管气凝胶薄膜在轻量化电磁屏蔽材料和电加热等领域显现出应用前景。相关研究成果以Laminated Structural Engineering Strategy toward Carbon Nanotube-Based Aerogel Films为题，发表在ACS Nano上。研究工作得到国家重点研发计划、江苏省自然科学基金、国家自然科学基金、英国皇家学会-牛顿高级学者基金等的支持。

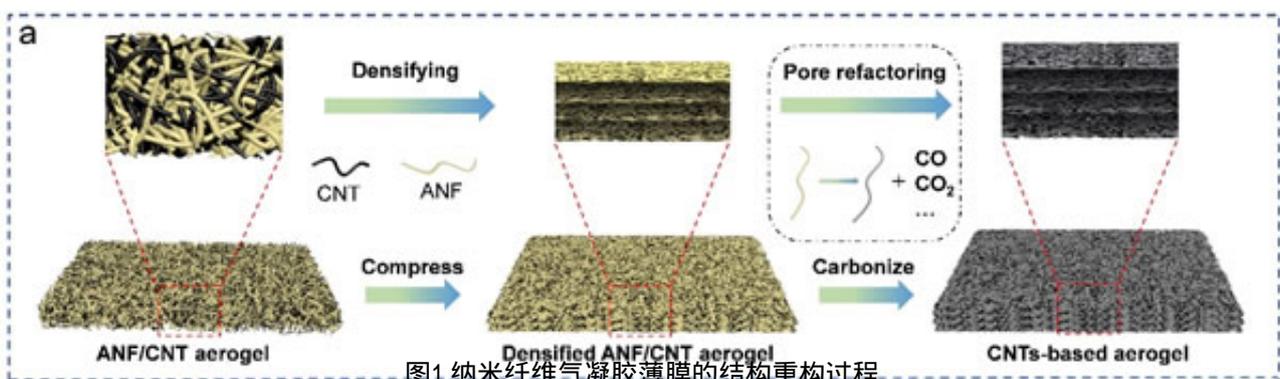


图1. 纳米纤维气凝胶薄膜的结构重构过程

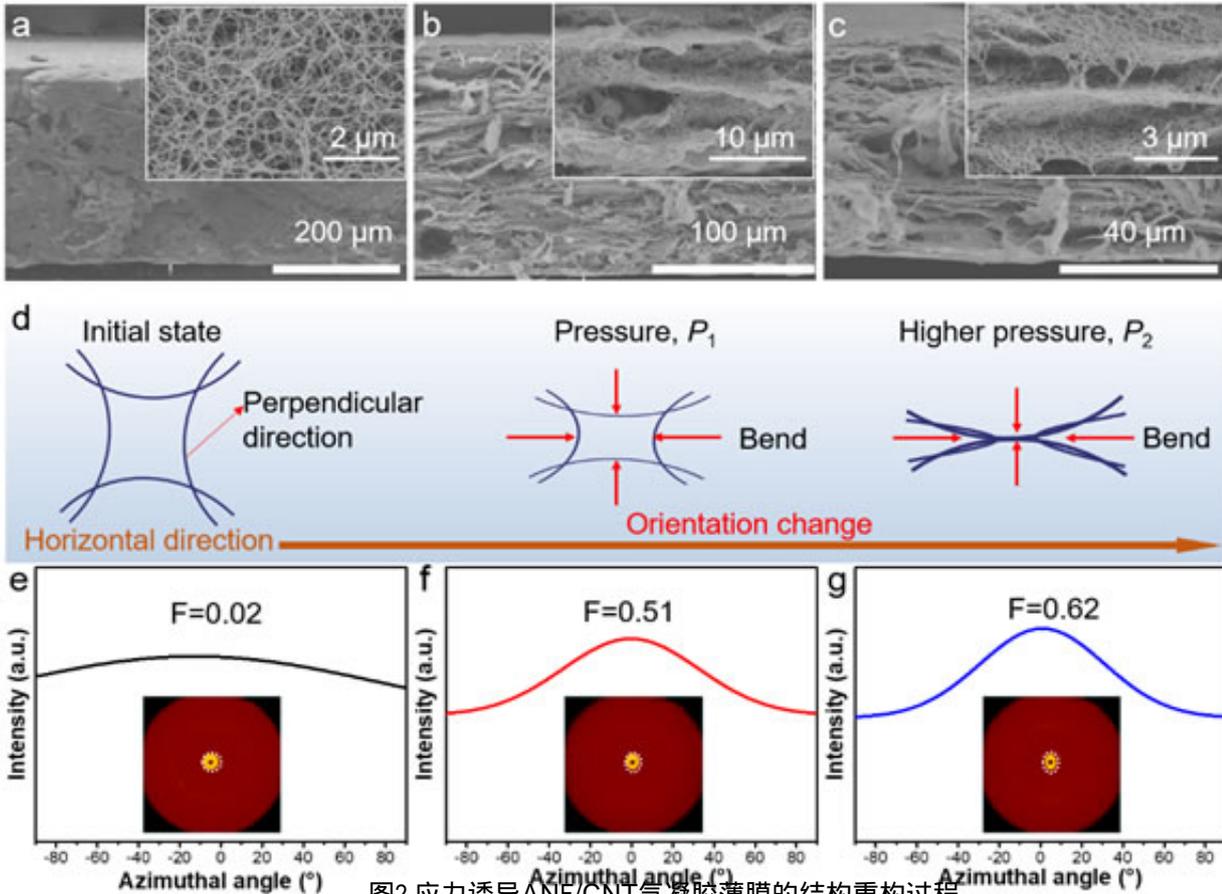


图2.应力诱导ANF/CNT气凝胶薄膜的结构重构过程

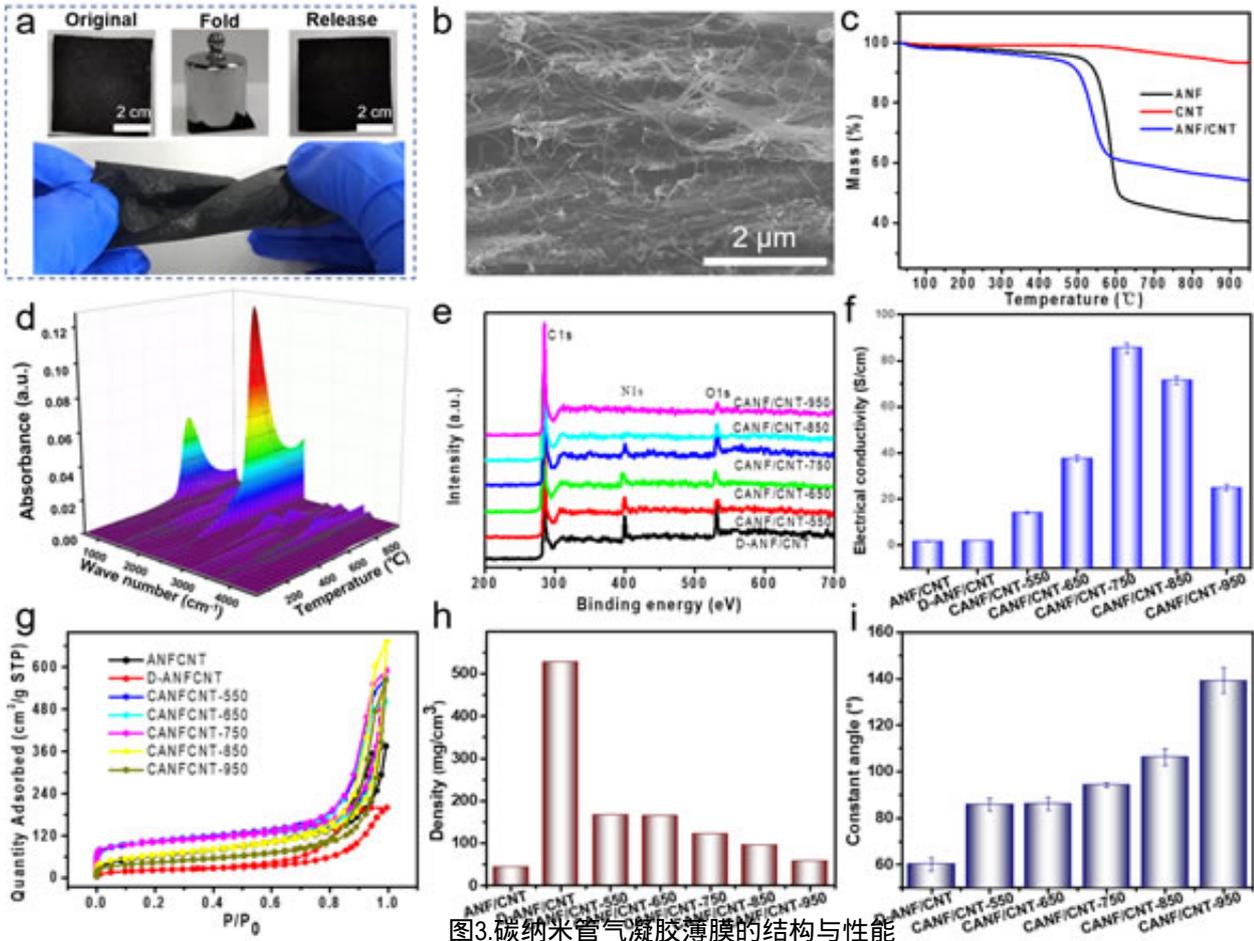


图3.碳纳米管气凝胶薄膜的结构与性能

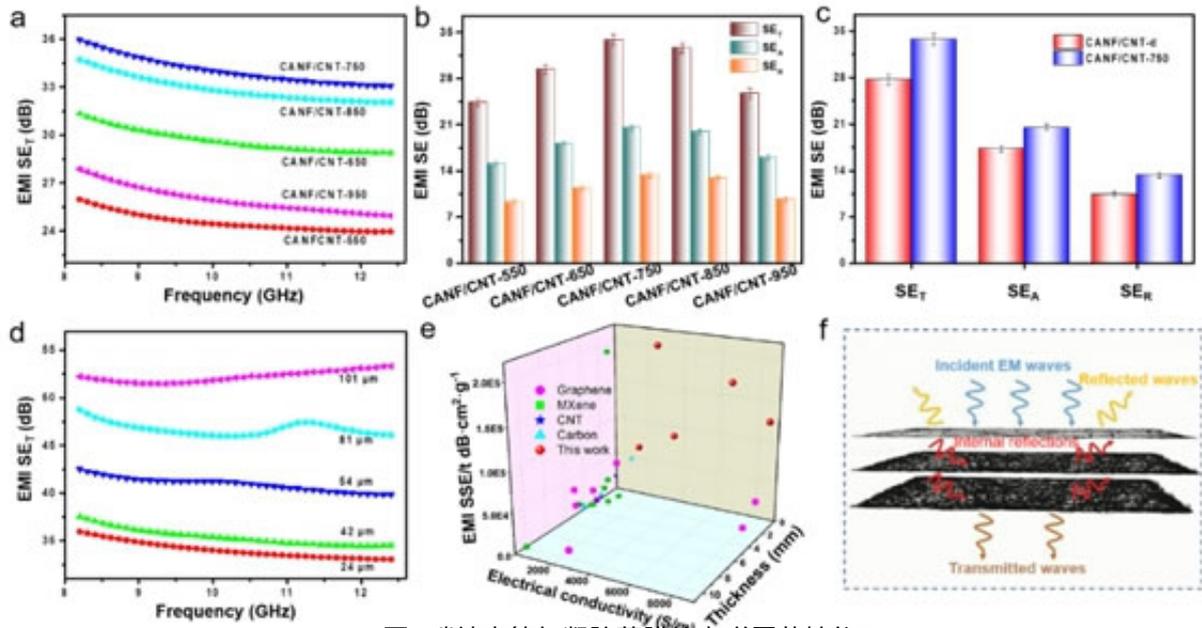


图4.碳纳米管气凝胶薄膜的电磁屏蔽性能

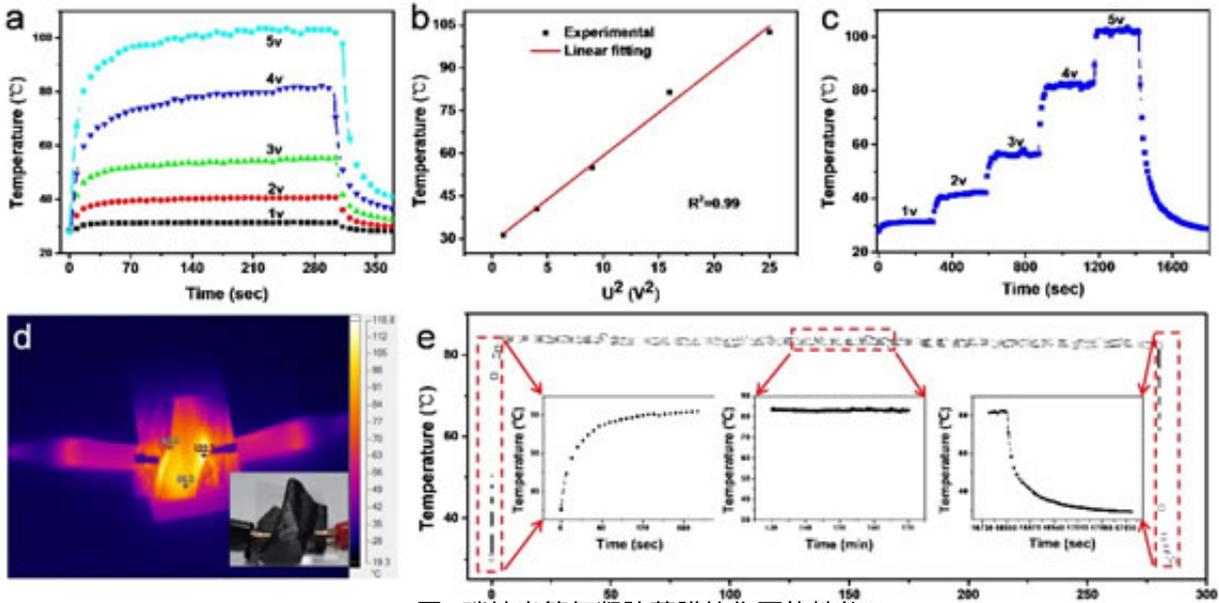


图5.碳纳米管气凝胶薄膜的焦耳热性能

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/182608.html>