
合肥研究院等在小型化高性能滤波电容器研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19786.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所研究员孟国文团队与美国特拉华大学教授魏秉庆合作，成功研发了一种新型三维碳管网格膜，将其作为双电荷层电容器（EDLC）电极，大幅提升了电容器的频率响应性能以及在相应频率下的面积比电容和体积比电容，有望作为电子器件中的高性能交流滤波电容器，为电子产品的小型化提供了新的技术路线与核心关键材料。相关成果以 *Structurally Integrated 3D Carbon Tube Grid-Based High-Performance Filter Capacitor* 为题于8月26日发表在《科学》（*Science*）上。将交流电转换为直流电，对电子设备的长期稳定运行至关重要。在此过程中，滤波电容起到了平滑电压纹波的关键作用，保证电子设备的质量和可靠性。目前，人们常用铝电解电容器（AECs）作为交流滤波电容，但其体积比电容较小，一直是电路中的最大电子元件，制约了电子产品向小型化与便携化发展。

电化学双电荷层电容器是一种超级电容器，其比电容相对较大，如果用其替代交流滤波常用的铝电解电容器，则有望使滤波器件小型化。然而，传统的双电荷层电容器的电极材料一般由含有大量细小孔隙或闭孔的活性炭等组成，其响应频率很低（~1赫兹），无法实现对交流信号滤波。为了提高双电荷层电容器的频率响应性能，近十多年来国际上开展了大量研究，较普遍的做法是采用具有取向性高的碳纳米材料作电极，这样虽然提高了电容器的工作频率，但其比电容量非常有限。另外，在这种电极结构中，相邻碳纳米材料之间是通过物理拼接的方式连在一起的，不仅增加了器件的内电阻、降低了频率响应特性，而且电极材料的质量载荷严重受限，难以有效提高器件的比电容量。因此，亟需研发全新结构的纳米碳电极材料，以确保在快速频率响应的同时，提高双电荷层电容器的比电容量。

研究团队从2015年开始该项研究，经过长期攻关，成功研发了由“管中管”结构的碳管相互连接组成的三维碳管网格膜。这种“一体化”的三维碳管网格膜，不仅取向性高、结构稳定、导电性好，而且是一种开放式多孔结构，因此有望满足小型化高性能双电荷层滤波电容器对电极材料的要求。为了获得这种独特的结构，研究人员对含少量杂质Cu的铝片进行阳极氧化，获得了孔壁上含有均匀分布的Cu杂质颗粒的有序垂直多孔氧化铝模板；用磷酸选择性腐蚀掉模板孔壁上的含Cu杂质颗粒，得到了均匀分布的横向孔道，这些横向孔道将有序排列的垂直孔道之间相互连通，获得了一种三维互连多孔氧化铝模板（简称3D-AAO）（图1左上）。该研究采用化学气相沉积（CVD）方法，利用模板孔道的空间限域效应，在多孔模板的垂直孔道和横向孔道中生长碳管（CT），选择性腐蚀掉氧化铝模板后，获得了垂直碳管与横向碳管通过化学键互连的三维碳管网格膜（简称3D-CT）（图1右上）。

为了进一步增加这种结构的比表面积，提高电容器的面积比电容和体积比电容，研究人员又采用

了两种措施：在CVD过程中，将“模板孔限域生长”和“催化剂诱导生长”相结合，在垂直碳管和横向碳管中均填充直径更细的高质量碳纳米管（CNT），获得了一种“管中管”结构的新型三维碳管网格膜（简称3D-CNT@CT）（图1左下）；采用KMnO₄溶液对碳管网格膜进行表面处理，获得了具有更高比表面积的三维碳管网格膜（简称3D-RCT）（图1右下）。

研究人员以上述三维碳管网格膜直接做电极，构建了一系列尺寸大小不同的对称型双电荷层电容器（图2A）。研究发现这些器件不仅具有理想的电容器特征（图2B），而且具有很好的频率响应性能（120赫兹频率下的相位角 $<-81^\circ$ ，图2C）和非常高的面积比电容（以3D-RCT组装的电容器在120赫兹下对应的面积比电容为 2.81 mF cm^{-2} ，图2D）。为了满足对较高电压交流线路滤波的需求，研究人员又将6个相同的电容器串联起来，发现串联后其仍然保持理想的电容特性（图3A），同时表现出与单个电容器同样好的频率响应性能（120赫兹下的相位角 $<-82^\circ$ ，图3B）；当将其用于120赫兹交流线路滤波时，发现其具有很好的滤波性能（图3C）。

这种新型三维碳管网格膜的创新研制，以及新型高性能滤波电容器的成功演示，展现出了替代目前交流线路滤波常用的大尺寸铝电解电容器的可能性与可行性（图3D），有望为电子产品的小型化与便携化提供新的解决方案与核心关键电极材料。

相关研究工作得到国家自然科学基金重点项目和面上项目、中科院前沿重点项目和创新国际团队项目，以及合肥研究院院长基金项目等的资助。

[论文链接](#)

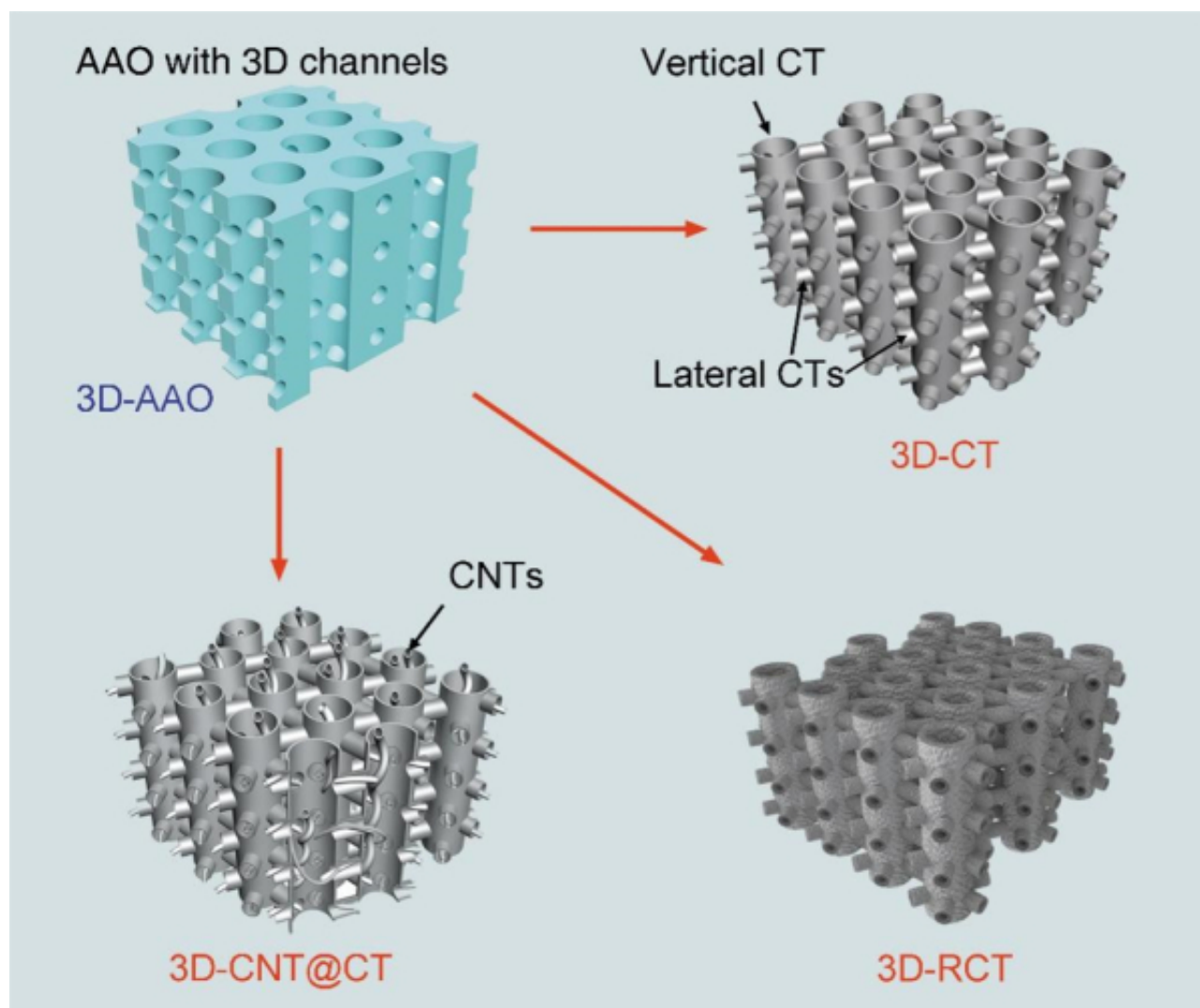


图1 典型三维互连碳管网格膜示意图。

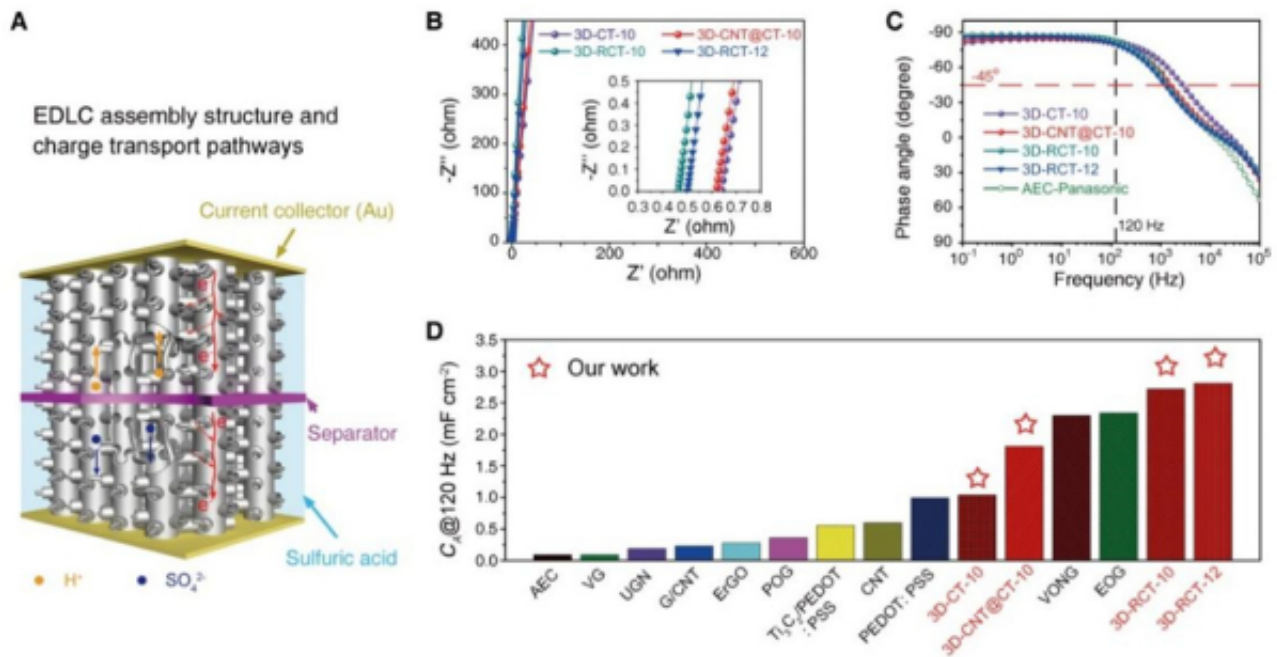


图2 基于三维互连碳管网格膜的双电层电容器示意图 (A) 及其阻抗 (B)、频率响应 (C)，以及面积比电容与其它结构电极材料的对比 (D)。

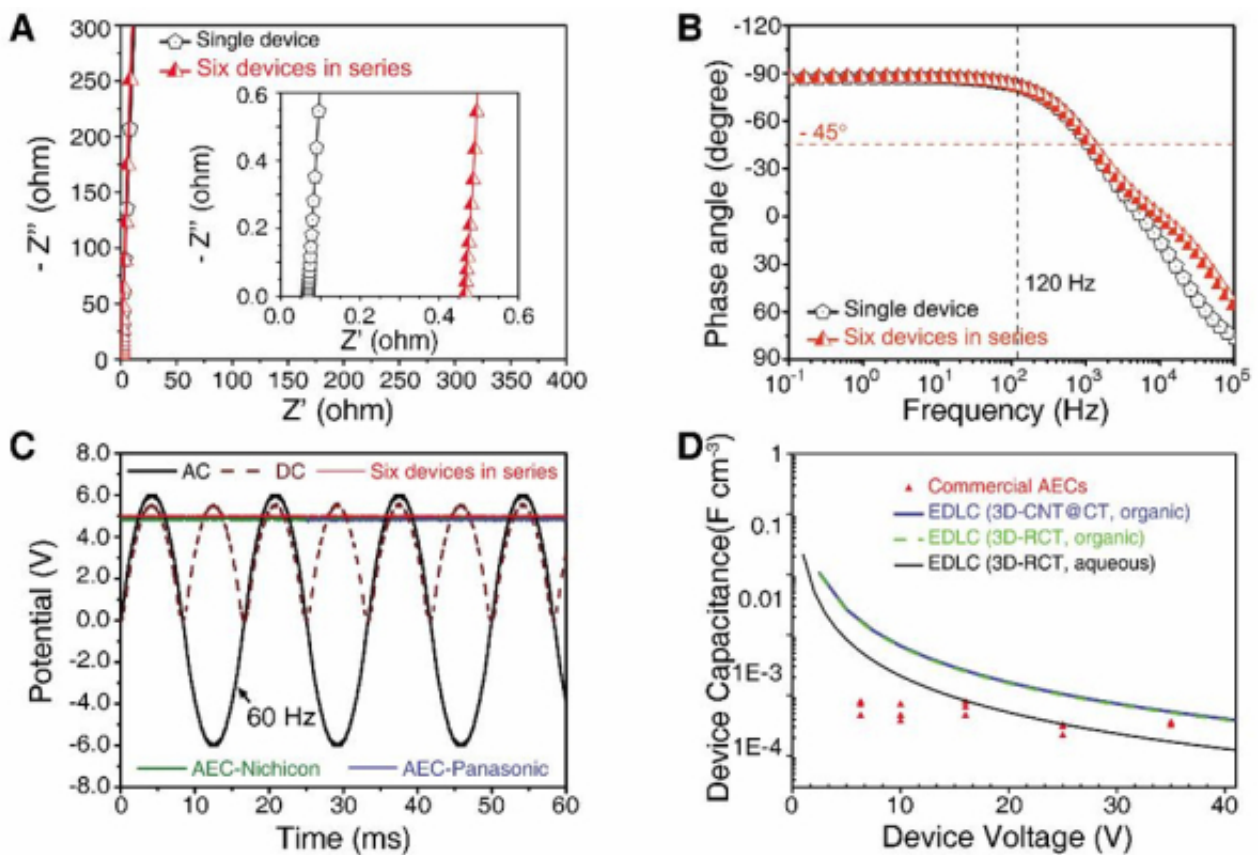


图3 六个基于三维互连碳管网格膜的电容器串联后的阻抗 (A)、频率响应 (B)、滤波性能 (C)，以及与相同额定电压下的铝电解电容器的体积比电容比较 (D)。

研究团队单位：合肥物质科学研究院

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发