

合肥研究院等创制出套娃结构碳管阵列并构筑出小型化滤波电容器

近期，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和韩方明团队，与美国特拉华大学教授魏秉庆合作，在前期基于结构一体化三维互连碳管网格膜的高性能滤波电容器的基础上，设计制备了类似“俄罗斯套娃”结构的多壳层同轴碳管的三维互连阵列，进而将其作为对称型双电层电容器的电极，构建了新型滤波超级电容器。类套娃结构的多壳层同轴碳管阵列在提高电极面积和比电容的同时，不影响电解液离子的传输速度和响应频率，因此基于套娃结构碳管的滤波超级电容器具有更小的体积，有望为集成电路和芯片等提供小型化供电方案。相关研究成果发表在《焦耳》(Joule)上。

滤波电容器在交/直流电转换中具有平滑整流信号中纹波的作用，对高端电力电子设备的稳定运行颇为重要。铝电解电容器(AECs)占据了这一领域的大部分市场。AECs容量小、体积大，通常是电路中最大的元件之一，但制约了电子器件的小型化发展。双电层超级电容器(EDLCs)的比电容比商用铝电解电容器AECs高几个数量级。如果能够将EDLCs用于滤波，有望满足电子设备小型化发展的需求。然而，传统的双电层超级电容器EDLCs因多孔碳基电极中的弯曲、复杂孔结构而具有高的容量，但响应频率一般低于1Hz，不能对市电滤波以供电子设备使用。

为了提高双电层超级电容器的频率响应性能，科学家探究了以具有垂直取向大孔结构的多种碳基纳米材料为电极构建的滤波双电层电容器，但发现器件在市电频率下的面积和体积比电容均较低，对市电滤波后的纹波仍较大，不能给电子器件提供平滑稳定的电源。因此，研发既具有高取向性、快速响应频率，又具有大比表面积、高容量的电极，对小型化滤波超级电容器至关重要。

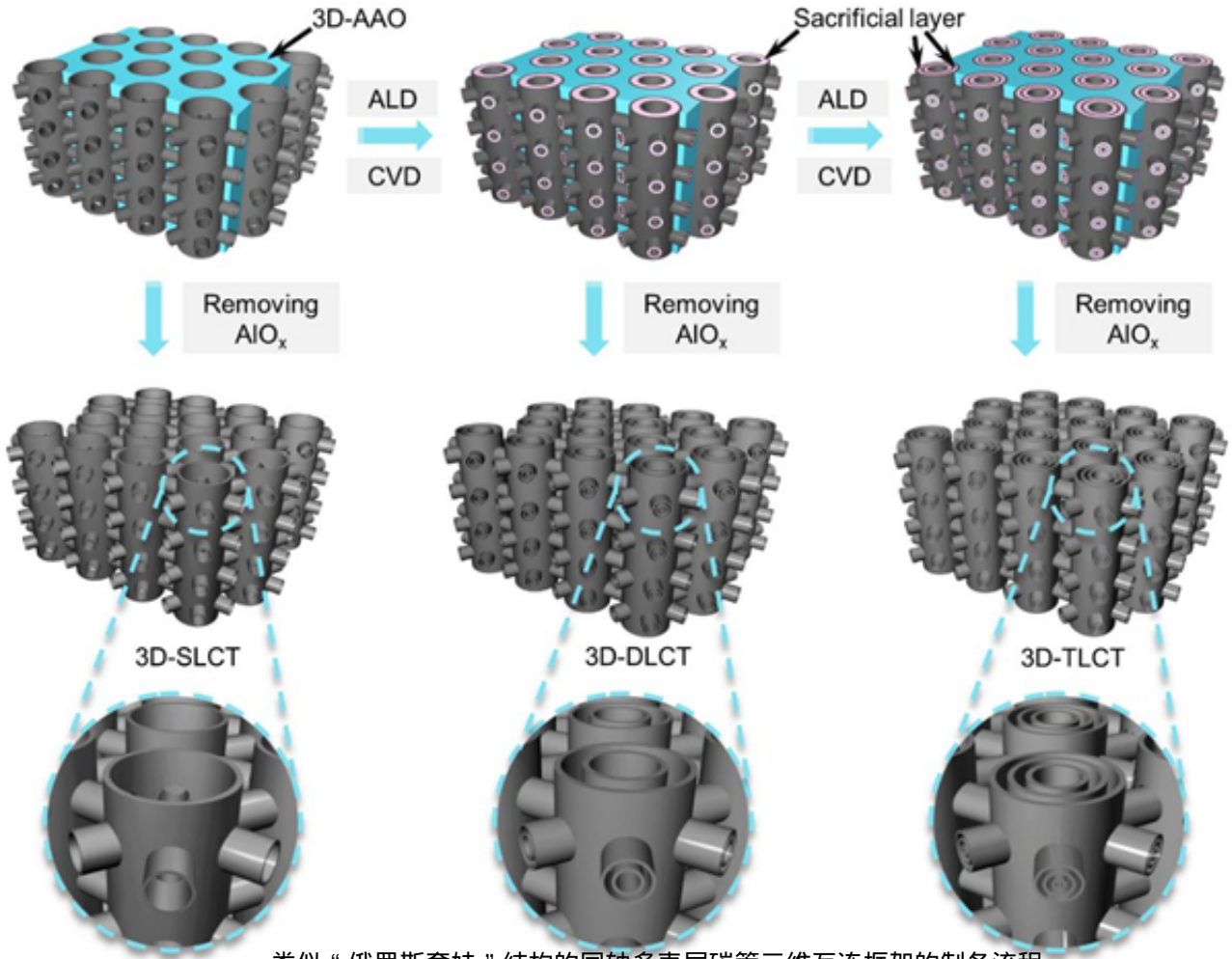
该团队以前期创制的三维互连多孔阳极氧化铝为模板，在模板孔的限域诱导下交替进行化学气相沉积碳层和原子层沉积AlO_x牺牲层，选择性腐蚀氧化铝模板和牺牲层AlO_x后，构筑了同轴结构的两层和三层碳管互连组成的三维框架。分析表明：在这种同轴多壳层三维互连碳管网格膜中，所有碳管类似于“俄罗斯套娃”结构，且其内层碳管均匀地填充在同轴外层碳管的内部；这种三维互连套娃碳管网格膜不仅具有更大的表面积存储电荷，而且其中的垂直碳管之间具有高度取向的大孔结构，利于电解液离子快速传输。

该研究以这种三维互连套娃碳管网格膜为电极，构筑了对称型双电层电容器。研究显示，三层套娃碳管电极构建的器件，在频率120 Hz下表现出-80.1°的阻抗相位角和0.25毫秒的较短电阻-电容时间常数。这表明该电极类似有序光滑的离子快速输运通道，促进了离子的快速分布。器件的面积比电容达到3.08 mF cm⁻²，比商用AECs的高2个数量级，也高于迄今为止报道的三明治构型的水系滤波超级电容器。此外，研究还发现器件的损耗因子低、储能效率高。

为了验证器件的交流滤波功能，该工作对标10伏商用铝电解电容器，将十组相同的新型器件串联，以扩展器件滤波的工作电压。研究发现，串联后的器件组仍具有优异的频率响应性能，进而搭建了滤波电路，以验证串联器件组对交流线路的滤波性能；60 Hz交流市电信号经过整流和器件组滤波后，可输出稳定平滑的恒定直流信号为直流电器供电；器件能够将各种不同类型的输入信号（如方波、三角波和任意波形等）滤波为平滑的输出电信号。进而，为了直观地展示器件的滤波功能，科研人员进行了演示实验，利用器件组对纳米发电机发出的脉冲电压滤波后点亮发光二极管。研究发现，未接通滤波电容器前，发光二极管一直在不断闪烁；而接通滤波电容器后，发光二极管发出稳定的光，说明器件组具有较好的平滑脉冲电压的功能。

综上所述，基于套娃碳管三维互连网格膜电极的超级电容器，具有高的比电容、低的等效串联电阻和快速的频率响应性能，为研发兼具高容量和快速频率响应性能的下一代小型化滤波电容器开辟了新途径。

研究工作得到国家自然科学基金和合肥研究院院长基金等的支持。



类似“俄罗斯套娃”结构的同轴多壳层碳管三维互连框架的制备流程

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/208814.html>