

## 宁波材料所在基于热固性树脂的碳材料制备方面取得系列进展

生物基热固性树脂以可再生资源为主要原料，它们的规模化应用是实现热固性树脂及复合材料可持续发展的重要手段之一。与石油基热固性树脂一样，它们在固化交联之后，同样面临难降解、难回收的问题。实现生物基热固性树脂的高价值回收利用对当前低碳、环保、可持续性发展具有重要意义。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员刘小青基于多年的生物基热固性树脂研究经验，提出开发生物基材料的本质是为了实现对生物碳的高效利用。基于此，研究团队利用激光烧蚀的方法，将生物基热固性树脂转化为功能性碳材料，拟完成从“生物碳”到“生物基树脂”再到“功能碳”的闭环转化。

首先，基于苯并噁嗪树脂高成炭率的优势，团队利用红外激光光刻技术实现了从生物基苯并噁嗪树脂到多孔石墨烯材料的高附加值、低成本转化（图1）。相较于其他树脂前驱体材料，苯并噁嗪树脂制备的多孔石墨烯材料展现出极高的比表面积（883 m<sup>2</sup>/g）以及导电性（35 /sq），同时苯并噁嗪树脂基底极强的耐化学能力也保证了这类可图案化制备的石墨烯材料在苛刻环境下的使用稳定性（Carbon, 2020, 163, 85-94）。

为了进一步突出生物基苯并噁嗪树脂作为前驱体的优势，团队利用苯并噁嗪单体的高流动性特征，以金属有机化合物/苯并噁嗪树脂为碳源，开发了一种新颖的无溶剂制备金属氧化物纳米颗粒均匀负载多孔石墨烯材料的方法（图2）。整个制备过程周期短、安全环保。得益于其特殊的多孔结构以及优异的电性能和磁性能，所制备的杂化材料展现出出色的绝对电磁屏蔽效率（28,044 dB cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>）；同时，这类杂化材料作为吸附剂在水处理中也展现出良好的应用前景。但是，这种通过激光辐照在树脂表面生成的多孔石墨烯材料在走向实际应用时，受制于树脂本身性能的限制。为此，团队提出了一种全新的分离策略，即利用树脂基底与碳材料热膨胀系数的差距，以液氮作为淬冷剂，实现两者的快速分离，得到在结构和性能上具有高保留完整度的独立自支撑多孔石墨烯膜（Carbon, 2021, 183, 600）。

激光加工参数可控、路径可调等特点可进一步赋予了功能碳材料多样性设计制备的优势。受自然界中具有极高太阳光利用效率的针叶森林结构启发，团队通过碳材料多级结构调控，成功构建了一种由多孔石墨烯“树”密排列成的三维石墨烯薄膜（Forest-like LIG）（图3）。这种独特的多级结构使得入射光在“树”之间以及“树枝”之间进行多次反射，显著减小了石墨烯的光反射。结合石墨烯本身的光热特性，Forest-like LIG在太阳光全波长范围内具有高达99.0%的光吸收率以及优异的光热转换性能（在一个太阳光强度的氙灯照射下平衡温度达到90.7 ± 0.4

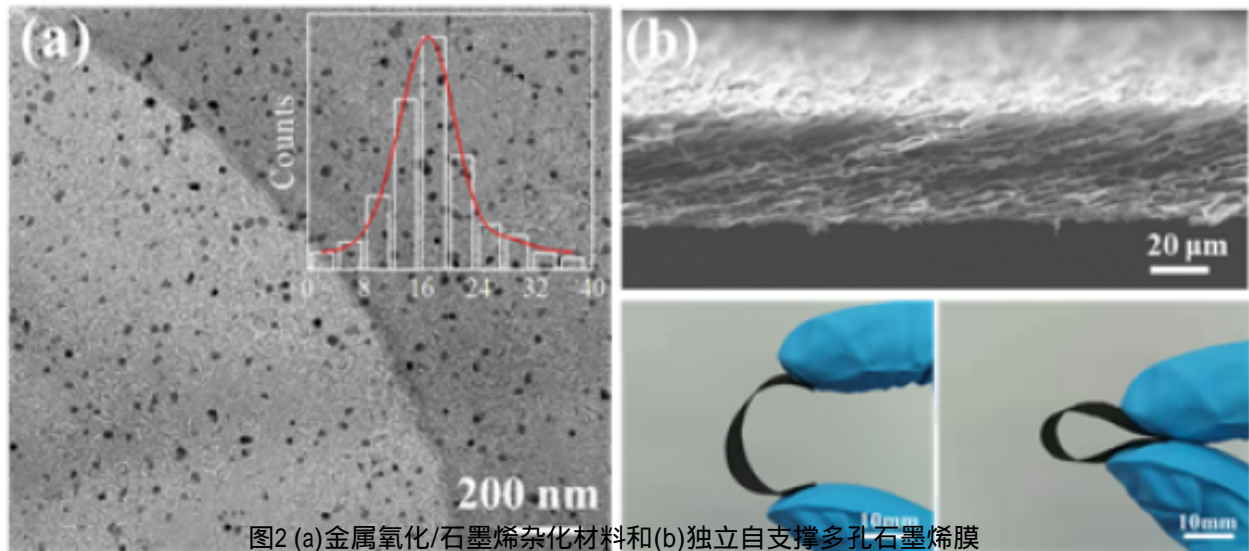
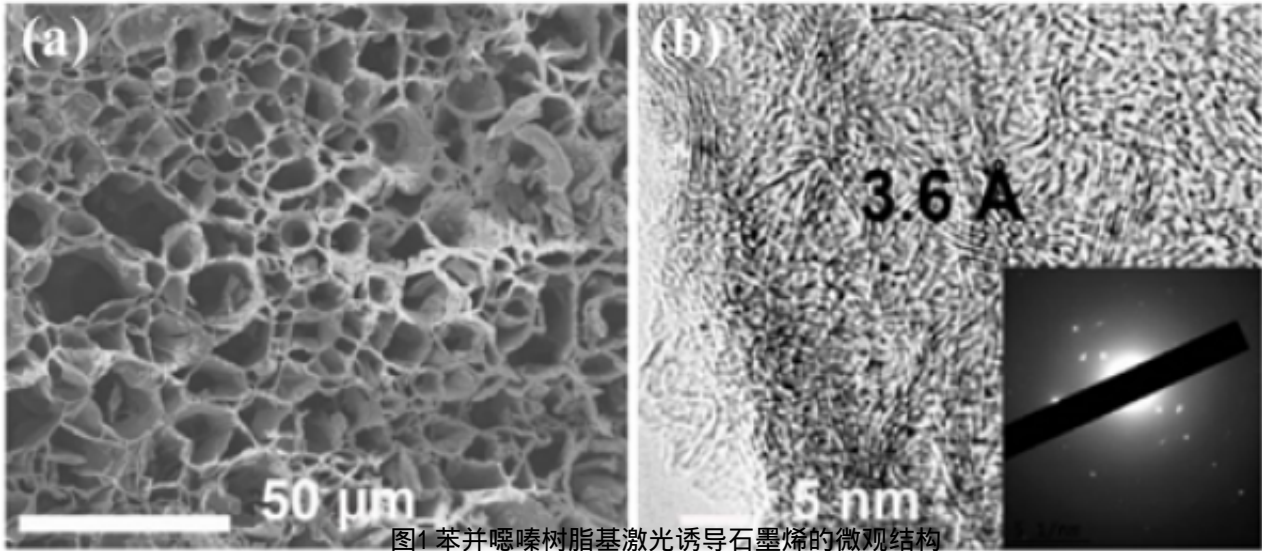
）。同时因为Forest-like LIG独特的化学性质及表面微纳结构，材料表现出超疏水性能。基于这两种特性，团队开发出具有快速驱动响应和高运动速度的光热驱动器以及具有持久抗盐性能和高太阳能蒸发效率的双层太阳能界面海水淡化膜，揭示了Forest-like LIG在光热领域的应用潜力（ACS Nano, 2021, 15, 12, 19490-19502）。

借助激光扫描路径可控的优势，团队设计制备了图案化石墨烯复合材料并探究了其在热管理领域的应用（图4）。通过重复激光处理，石墨烯的质量大幅度提高，同时多孔结构得以保留；填充树脂后，所制备复合材料的导热系数可以达到8.2 W/(m·K)，与纯树脂相比提高了近45倍。通过图案化设计，复合材料的热量传递具有明显的方向性，并且展现出良好的散热效果。此外，基于石墨烯优异的电热性能，团队还提出可设计性图案化加热器，其中每个加热单元的电热性能可以通过调整激光参数进行定制。这为模拟电子设备中非均匀热源的真实情况提供了独特的机会，将有助于散热系统的设计和开发。这种激光加工制造工艺可以在局部和任何区域添加功能特性，并不会对基底造成过度损害而影响结构完整性，为多功能结构一体化复合材料的设计和制备提供了一种选择可行性。（Nano Energy, 2022, 100, 107477）

近日，团队通过简单调控激光扫描模式，设计制备了图案化超润湿石墨烯表面，实现了高效的能源利用和转换（图5）。团队利用激光光栅扫描和矢量扫描两种模式，构建了不同的超润湿石墨烯表面，即具有多孔石墨烯结构的超亲水（LSHL）表面和具有石墨烯颗粒覆盖微柱阵列结构的超疏水（LSHB）表面。通过设计图案化超润湿性表面，形成毛细管力梯度，研究成功地将表面能转化为液体动能，从而实现水的定向、无泵输送以及电子器件的局部冷却。此外，得益于其独特的阵列结构，LSHB表面具有出色的机械稳定性和化学稳定性。同时，结合石墨烯本身的电热和光热特性，LSHB表面还表现出优异的电热转换（222

· cm<sup>2</sup>/W）和光热转换（88%）性能。基于以上特征，LSHB材料在防结冰和除冰中展现出应用潜力（Small, 2022, DOI:10.1002/smll.202202906）。

上述工作得到国家自然科学基金、浙江省杰出青年基金和宁波市自然科学基金等的支持。



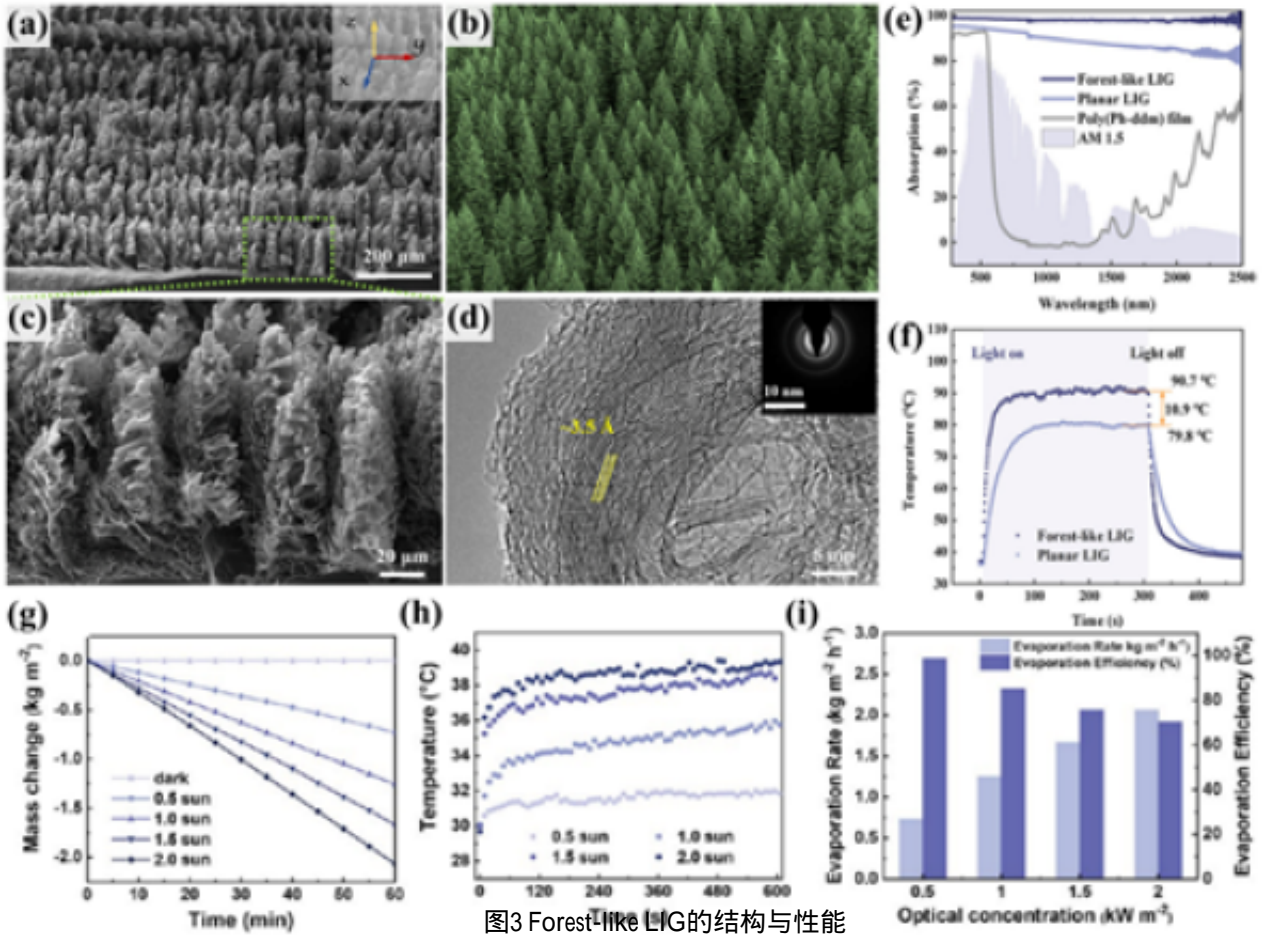


图3 Forest-like LIG的结构与性能

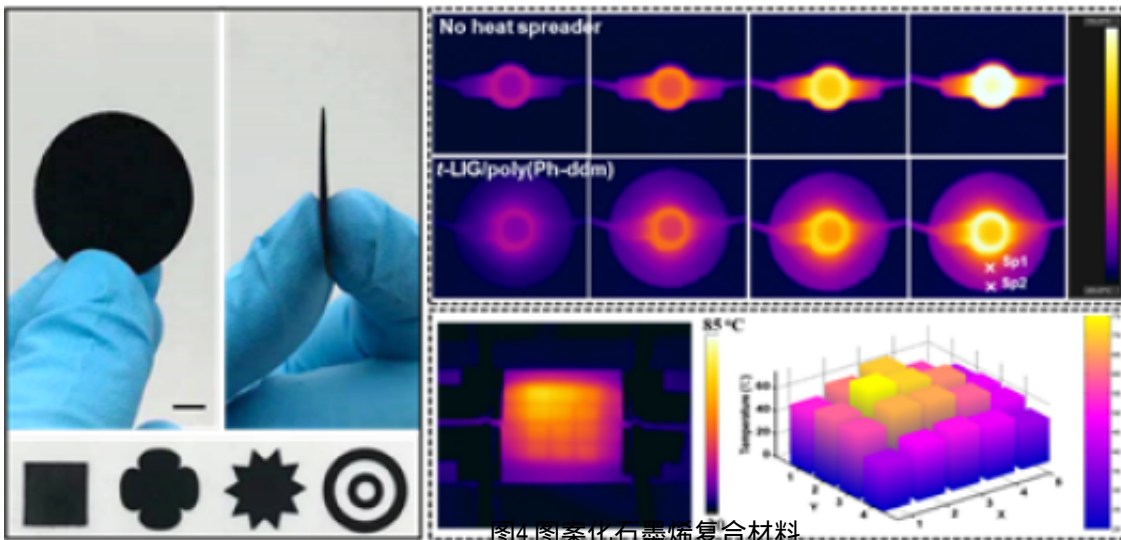


图4 图案化石墨烯复合材料

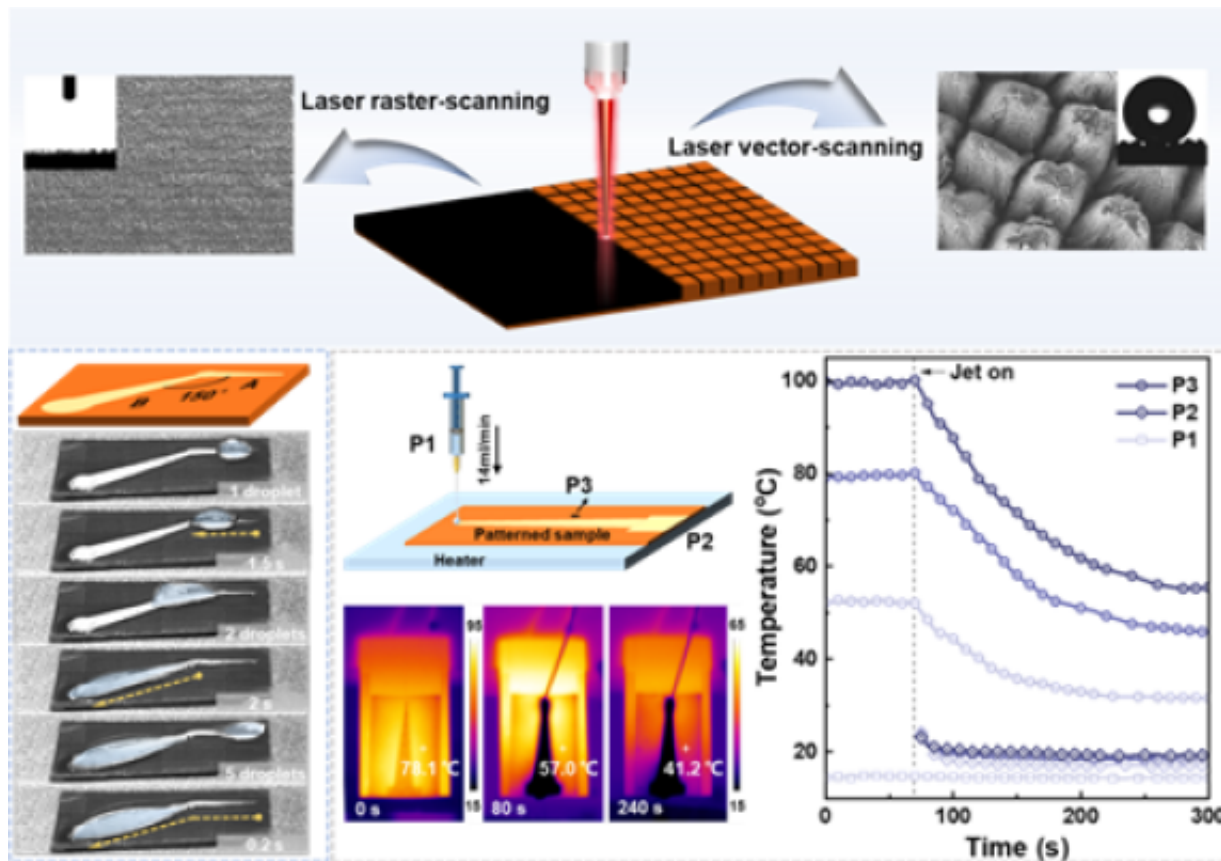


图5 图案化超润湿石墨烯表面

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/183975.html>