耐高温、本征高导热的聚合物电介质薄膜

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/22159.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！

耐高温、本征高导热的聚合物电介质薄膜。
北京时间2023年3月2日，上海交通大学黄兴溢教授团队联合美国宾夕法尼亚州立大学王庆教授团队在聚合物电工绝缘材料研究领域取得重大突破，相关成果以Ladderphane copolymers for high temperature capacitive energy storage为题发表在Nature期刊上。

聚合物是一类重要的电工绝缘材料，然而聚合物材料的导热性普遍性较差，提升聚合物的导热性往往以牺牲绝缘性能为代价，绝缘和导热的互为矛盾是制约聚合物材料在先端电气电子装备发展的瓶颈问题之一。通过等规链段层状排列构建阵列化纳米区域，并在阵列化纳米区域中引入亲电陷阱基团，在大幅提升柔性聚合物电介质薄膜导热性能的基础上使电阻率提升了一个数量级，解决了导热和绝缘的矛盾。聚合物电介质薄膜厚度方向的本征导热系数为1.96 ± 0.06 W/(mK)，是目前报道的绝缘聚合物本征导热系数的最高值。聚合物电介质薄膜在200 °C、90%效率下的放电能量密度为5.34 J/cm3，在50000次充-放电循环后储能性依然稳定，且具有良好击穿自愈性，在电磁能装备、新能源汽车、电力电子等领域极具应用前景。

黄兴溢教授和王庆教授为通讯作者，陈杰助理研究员、周垚博士和黄兴溢教授为共同第一作者，上海交通大学为论文的第一完成单位。黄兴溢教授和陈杰博士申请的相关发明专利已获得授权。

聚合物电介质薄膜电容器具有极高的能量转换速率，在电磁能装备、电力电子以及新能源装备等领域的作用至关重要。随着装备、器件往紧凑化、轻量化、工作环境极端化方向发展，对聚合物电介质薄膜的储能密度以及耐高温性能的要求越来越高。电荷存储密度和电场强度的平方成正比，因此，电介质薄膜承受的电场增加，电荷存储密度则会快速增加。然而，聚合物薄膜在高电场下以电子电导为主，不再符合欧姆定律，电导电流随电场强度增加呈指数增大，会产生大量的焦耳热。传统聚合物电介质的导热系数普遍较低(< 0.2 W/(mK))，散热效率很低，会造成介质温度快速升高，进而引起电导指数增加、耐电强度急速降低等连锁反应，从而造成器件、装备失效等严重问题，在高温下工作的器件装备散热问题尤其提出。尽管可以通过引入纳米添加等方式增加聚合物电介质的导热系数，但这往往以牺牲耐电强度为代价，更重要的是纳米添加给薄膜制造工艺带来极大挑战。因此，开发耐高温、本征高导热的聚合物电介质薄膜是最好选择。

黄兴溢团队设计了一种含氟缺陷的双链结构共聚物PSBNP-co-PTNI，该共聚物通过π-π堆叠作用自组装成高度有序阵列。通过偏振拉曼光谱测试发现，共聚物薄膜的偏振信号在平面上呈各向同性，在断裂面上呈各向异性，表明有序阵列平行于表面，因此，电介质薄膜在垂直平面方向表现出1.96 ± 0.06 W/(mK)的高导热系数。

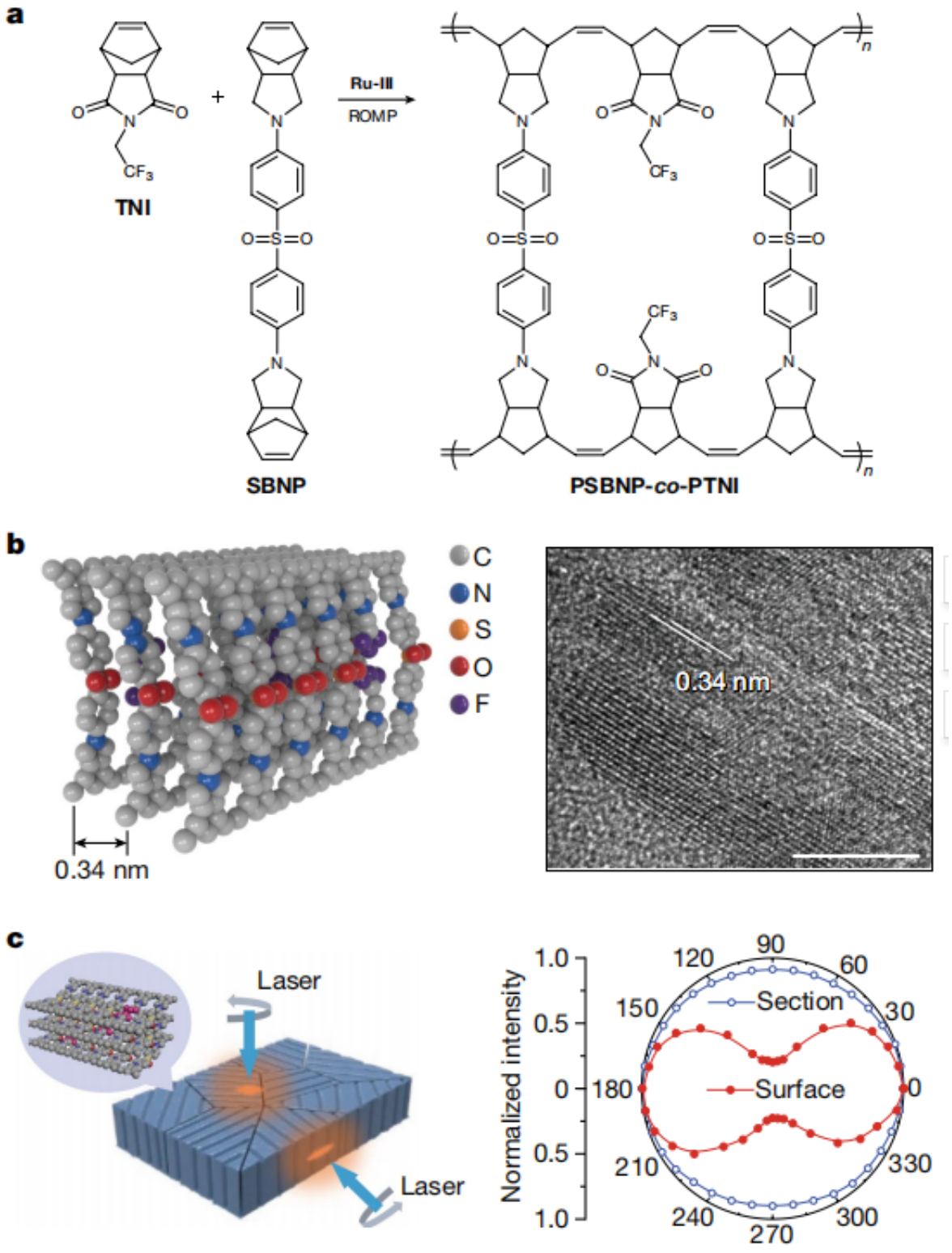


图1：双链结构聚合物电介质薄膜的分子结构和自组装形貌

密度泛函理论分析和热刺激电流实验表明，PSBNP和PTNI嵌段间存在深度为1.51 eV的电荷陷阱，且随着外电场强度增加，电荷陷阱深度进一步增大。在PSBNP有序阵列中引入2 mol%的PTNI分子，共聚物PSBNP-co-PTNI0.02表现出最优的电气绝缘性和最高的电击穿强度。

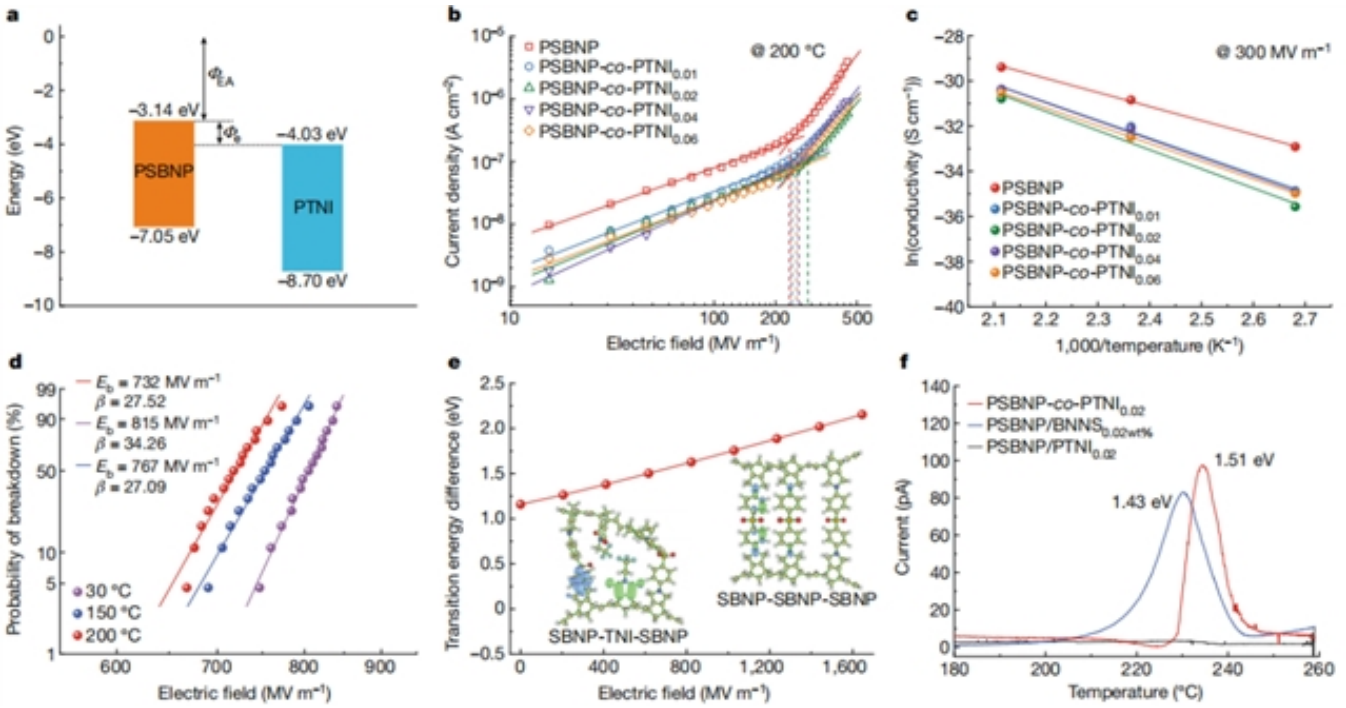


图2：双链结构聚合物电介质的导电性和电击穿强度

电极化储能测试表明，PSBNP-co-PTNI0.02在150 °C和200 °C下最大放电能量密度分别为10.42 J/cm3和8.37 J/cm3，90%效率下的放电能量密度分别为6.18 J/cm3和5.34 J/cm3，远优于现有的聚合物及其复合电介质薄膜。

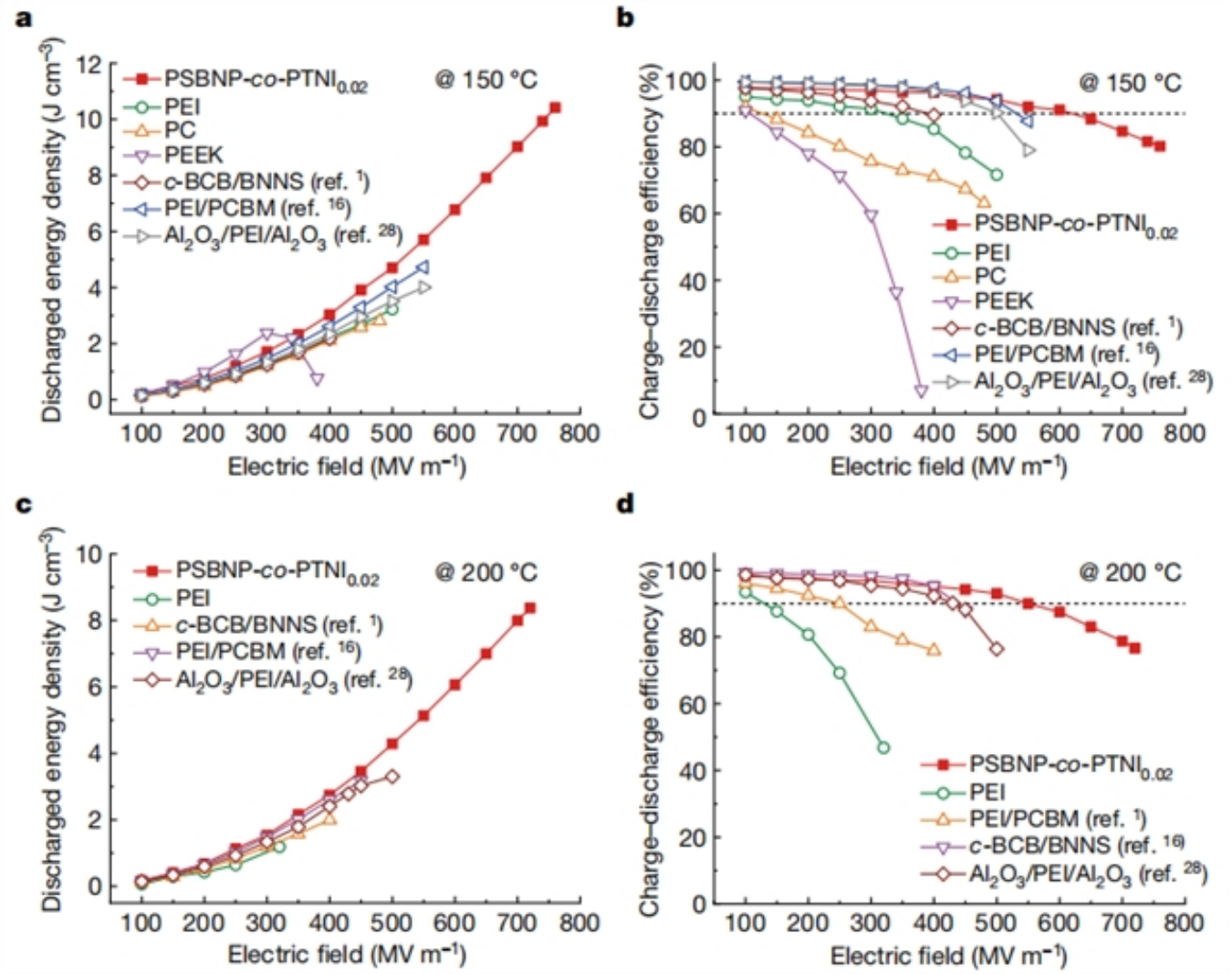


图3：双链结构聚合物电介质的静电储能性

采用红外相机直观地研究了200 °C、300 MV/m下PSBNP-co-PTNI0.02和聚醚酰亚胺(PEI，已知最好的商品耐高温聚合物电介质薄膜)的连续充-放电循环过程中的发热现象，在高导热的PSBNP-co-PTNI0.02薄膜中未观察到局部热积聚现象，而低导热的PEI膜则出现了明显的局部热积聚。研究团队模拟电介质薄膜电容器芯子的热场分布，发现PSBNP-co-PTNI0.02薄膜电容芯子的中心温度远低于PEI薄膜电容芯子，充-放电循环更加稳定，实验也证明PSBNP-co-PTNI0.02薄膜连续充-放电循环寿命是PEI薄膜的6倍。

值得一提的是，PSBNP-co-PTNI0.02的碳含量相对较低，这赋予了其优异的自愈性，电镜图像清晰显示了电击穿区域四周的铝金属电极被蒸发除去，碳化通道孤立于金属电极，使击穿后的金属化聚合物薄膜整体仍保持高绝缘性。自愈后的储能性没有出现明显劣化，仍能进行10000次的连续充-放电循环。

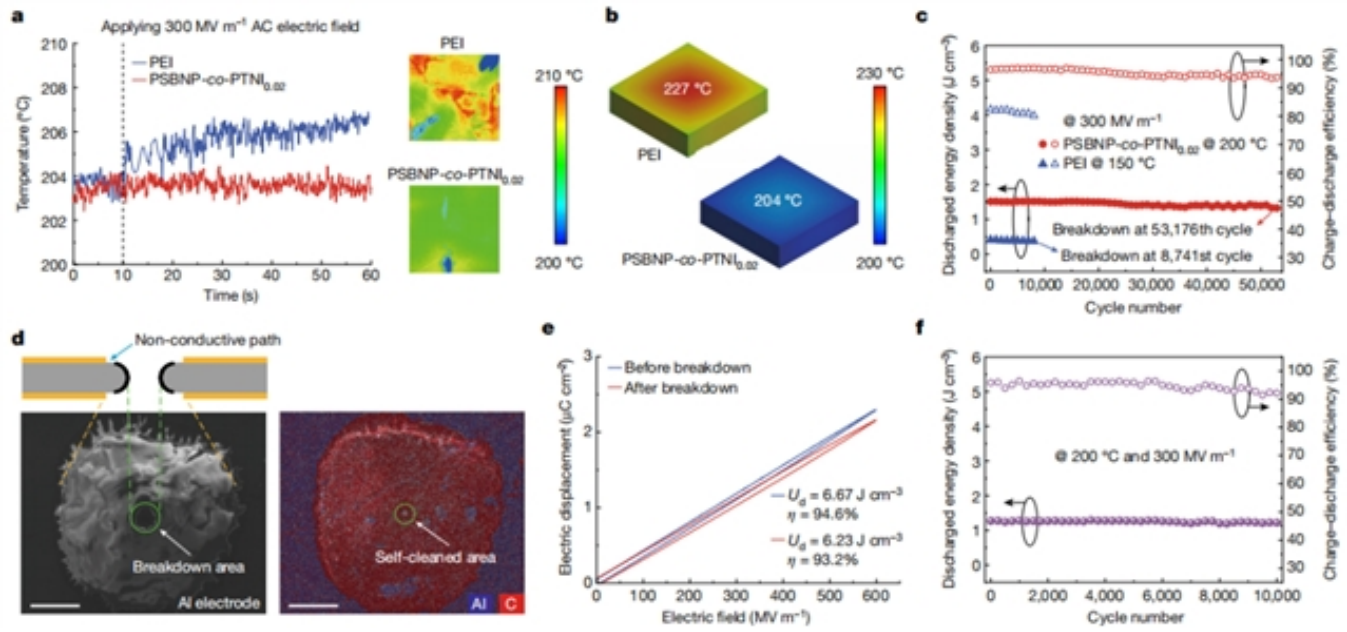


图4：双链结构聚合物电介质的循环稳定性和自愈性

该研究是电气工程、化学、材料、工程热物理等多学科的深度交叉融合。上海交通大学江平开教授、朱新远教授、于春阳副研究员、钱小石教授、鲍华教授、西安交大李盛涛教授和西南交大吴广宁教授等也参与了该项研究。研究获得了国家自然科学基金(51877132, 52003153, U19A20105, 51522703, 52103303)、上海市优秀学术带头人计划(21XD1401600)、电力设备电气绝缘国家重点实验室开放基金(EIPE20203, EIPE21206)等的资助。(来源：科学网)

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-022-05671-4

作者：黄兴溢等 来源：《自然》

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转发