“绝缘”又“导热”，突破尖端电子装备发展瓶颈

作者：writer 来源：科学网

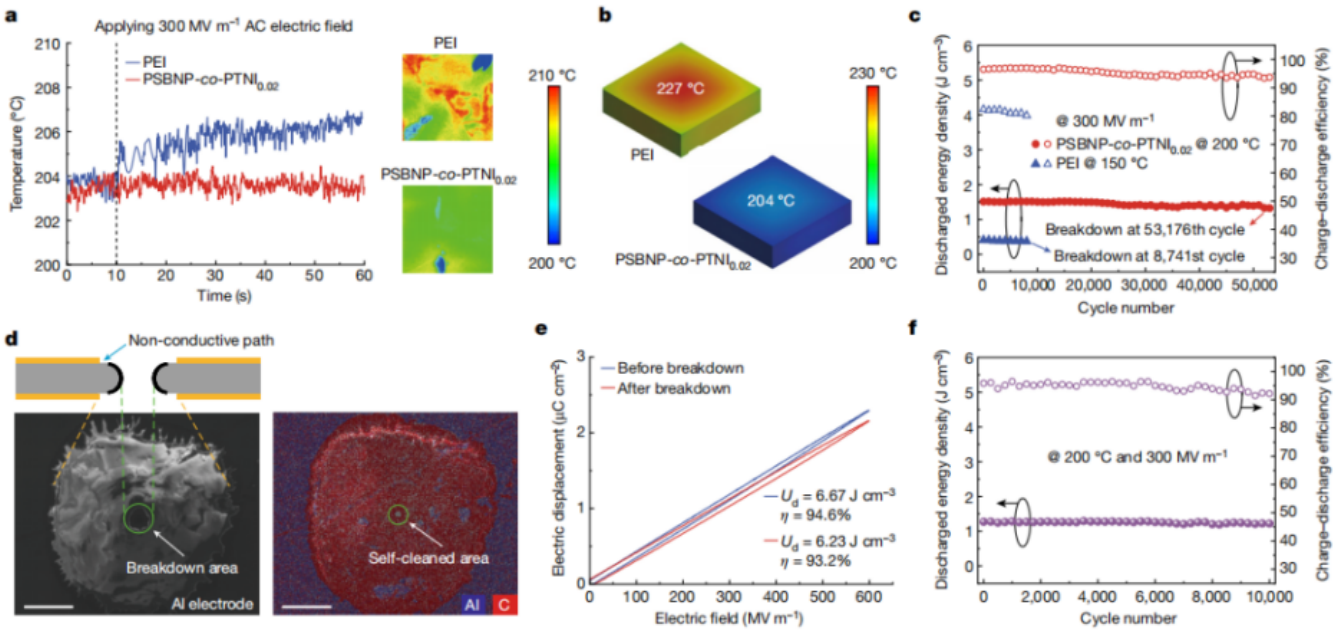
本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/22177.html

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！

“绝缘”又“导热”，突破尖端电子装备发展瓶颈。

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。绝缘和导热的矛盾是制约聚合物材料在尖端电气电子装备应用的瓶颈之一。

3月2日，《自然》刊发上海交通大学化学化工学院教授黄兴溢团队与合作者的最新研究成果。研究人员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，解决了聚合物材料导热和绝缘的矛盾。这种聚合物电介质薄膜性能稳定，且具有良好击穿自愈性，因此在电磁能装备、新能源汽车、电力电子等领域将有广阔应用前景。



双链结构聚合物电介质薄膜分子结构和自组装形貌 上海交大供图

导热和绝缘矛盾

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储能密度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，电介质薄膜承受电场的能力增强，电荷存储密度就会快速增加。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，会产生大量的热。

传统聚合物电介质的导热系数普遍较低，且散热效率也很低，这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，造成器件、装备失效等严重问题。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也带来极大挑战。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。

设计双链结构共聚物

为解决此类问题，黄兴溢团队设计出一种双链结构共聚物(PSBNP-co-PTN)。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。

这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高导热系数。黄兴溢说。

研究团队通过密度泛函理论分析和热刺激电流实验发现，这种共聚物的链结构段间，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有序阵列中引入一定量的PTNI分子，共聚物能表现出最优的电气绝缘性和最高的电击穿强度。电极化储能测试表明，其最大放电能量密度远优于现有的聚合物及其复合电介质薄膜。

突破电子装备发展瓶颈

普通聚合物和聚醚酰亚胺(PEI，已知最好的商品耐高温聚合物电介质薄膜)连续充-放电循环过程中的发热现象，在这种高导热的共聚物电介质薄膜中并未出现，研究人员甚至未观察到局部热积聚现象。实验证明，这种共聚物电介质薄膜连续充-放电循环寿命是PEI薄膜的6倍。

值得一提的是，该薄膜的碳含量相对较低，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，仍能进行连续充-放电循环。

这种共聚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。该论文共同第一作者、助理研究员陈杰介绍说，共聚物电介质薄膜在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。

这一研究是电气工程、化学、材料、工程热物理等多学科的深度交叉融合。黄兴溢介绍说，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，以及西安交通大学李盛涛教授和西南交通大学吴广宁教授都参与了本项研究。

目前，相关技术已获发明专利授权，相关产品将在电磁能装备、新能源汽车、电力电子等领域得到广泛应用。(来源：中国科学报 张双虎 李晨阳)

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