
宁波材料所在肌肉生理功能启发下的聚氨酯基可拉伸电子基体研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/12569.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！

当前，可拉伸电子器件已成为下一代电子设备最有价值的前沿之一，其可适应柔软和弯曲的形状，预计在人工智能时代将发挥更大作用，并给日常生活带来重大变化。为了满足特定及各种需求，必须使用多功能传感材料和弹性基体，其是可拉伸电子器件的基本组成部分。迄今已有较多种类的聚合物弹性体被集成到电子设备中，并提供了各种功能（如可拉伸性、韧性或自愈合性能）。这些弹性体在耐用和可拉伸电子器件的开发中扮演越来越重要的角色。

但是，所需的弹性体不仅应具有优异的机械性能（拉伸性和韧性），而且也应具有诸如自愈合之类的其他功能，以保持可拉伸电子器件的耐用性和稳定性，现面临两种挑战：一是弹性基体力学性能和自愈合性能的权衡，在通常情况下，科研人员将可逆的动态共价键或非共价相互作用基团引入聚合物中，以实现可重复的自愈合能力，但对于多数自愈合高分子来说，力学性能（拉伸性和韧性）与自愈合性能的提高以及它们之间进行权衡是提高可拉伸电子稳定性和耐用性的关键挑战之一；二是弹性基体过度拉伸后的恢复性能，长时间拉伸或超出其固有的可拉伸极限后，弹性体会发生应力松弛甚至撕裂，其本质在于微观结构的破坏，然而，大部分弹性基体没有自恢复性能，因其分子链结构中缺乏有效的自恢复驱动基团，因此，赋予弹性基体此种功能是提高可拉伸电子稳定性和耐用性的关键挑战之一。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所研究员朱锦团队基于前期在可拉伸电子弹性基体领域的研究（ACS Appl. Mater. Inter. 2020, 12, 11072；Mater. Today Phys. 2020, 14, 100219；Chem. Eng. J. doi.org/10.1016/j.cej.2020.127691；Chem. Eng. J. 2021, 410, 128363），近期开发出一种受肌肉生理功能启发，用于可拉伸电子的超强韧、热修复及自愈合的聚氨酯（DA-PU）（图1）。该DA-PU适合用作可拉伸电子产品的弹性基体，可确保电子器件在复杂环境下甚至在严重损坏后仍能够稳定工作。基于此，DA-PU的可拉伸电容式传感器同样具有出色的可拉伸性、抗疲劳性及自愈特性。

该研究中，研究人员合成了一种主链上电子供体（Donor）和电子受体（Acceptor）基团交替分布的聚氨酯（DA-PU），实现了分子链内和链间的D-A自组装，使其具有韧性及自愈合性能；其可以像人体肌

肉一样具有热修复功能，其

断裂伸长率为1900%，韧性为175.9MJ/m³

，力学性能优异。即使在较大的应变变形或长时间拉伸的情况下，经过60 s的热修复，在60s内几乎可以完全恢复到原始长度。随着温度的升高，该聚氨酯的自愈速度逐渐提高，在60-80 °C范围内，自愈速度可达1.0-6.15 μm/min。研究人员制备出一种可拉伸和自愈合的电容式传感器，

证明了DA-PU能够大幅提高电子器件的耐用性和稳定性。

1. 聚氨酯的力学性能评估

DA-PU的化学结构如图2a所示。D和A基团沿聚氨酯链交替分布，它们可以在链内和链间进行自组装，这是其出色力学性能的驱动力。研究人员比较了D-PU、A-PU、D-PU + A-PU共混样品和DA-PU的典型机械性能（图2b）。由于链内和链间的D-A自组装相互作用，DA-PU展示出良好的机械性能；此外，其还展示出拉伸过程中优异的抗撕裂和抗刺穿性能（图2c）。作为一种弹性基体，良好的抗撕裂性和抗穿刺性是DA-PU的重要优势，它可抵抗意外损坏并保持可拉伸电子器件的功能。在1000次不同形变量的循环拉伸测试中，DA-PU表现出良好的抗疲劳特性（图2d）。即使在其过度拉伸发生永久形变时，加热能够使其恢复原始的D-A自组装，从而恢复至原长（图2e）。这一优势能够进一步确保可拉伸电子器件的耐用性和稳定性。

2. 聚氨酯的自愈合性能评估

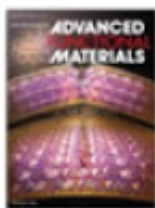
将DA-PU样条的中间部分完全切开，然后让其进行自愈合。通过其力学性能恢复的程度以定量分析其自愈合程度，如图3a所示，力学性能随着时间的推移而增加，并可恢复到原始韧性的97%。为了进一步验证自修复后机械性能的变化，研究人员对自修复的DA-PU进行了循环拉伸试验，表明了其良好的机械性能恢复性和自愈后的抗疲劳能力（图3b）。DA-PU的自我修复效率通过在宏观尺度上的重量加载演示进行了表征（图3c）。图3d是DA-PU与最近3年报道的通过各种动态化学基团驱动自愈合的聚氨酯在拉伸性、韧性和自愈合温度方面的比较，表明了DA-PU在上述三方面的优势。

综上，受肌肉生理功能的启发，研究人员设计并合成了D和A基团沿主链交替分布的聚氨酯（DA-PU），通过D-A自组装，增强了材料的韧性，实现了抗疲劳、抗应力松弛、热修复及自愈合性能。该DA-PU适合用作可拉伸电子产品的弹性基体，可确保电子器件在复杂环境下甚至在严重损坏后仍能够稳定工作，为今后柔性电子器件的基体开发和应用提供了研究思路和新视角。相关研究成果发表在Advanced Functional

Materials

（DOI:10.1002/adfm.202009869）上。朱锦团队的副研究员应邬彬和研究员张若愚分别是论文的第一作者和通讯作者。

[论文链接](#)



A Biologically Muscle-Inspired Polyurethane with Super-Tough, Thermal Reparable and Self-Healing Capabilities for Stretchable

Wu Bin Ying, Guyue Wang, Zhengyang Kong, Chen Kai Yao, Yubin Wang, Han Hu, Fenglong Li, Chao Chen, Ying Tian, Jiawei Zhang, Ruoyu Zhang*, and Jin Zhu

DOI: 10.1002/adfm.202009869

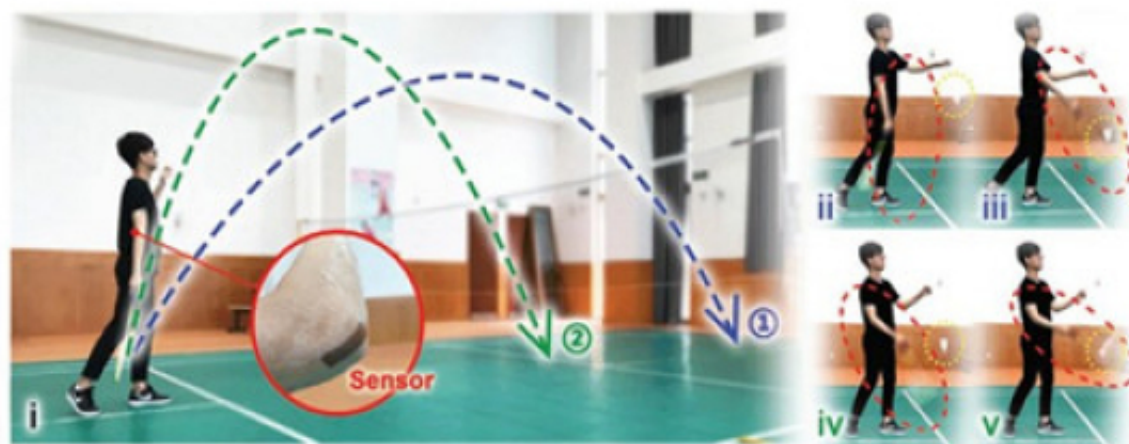
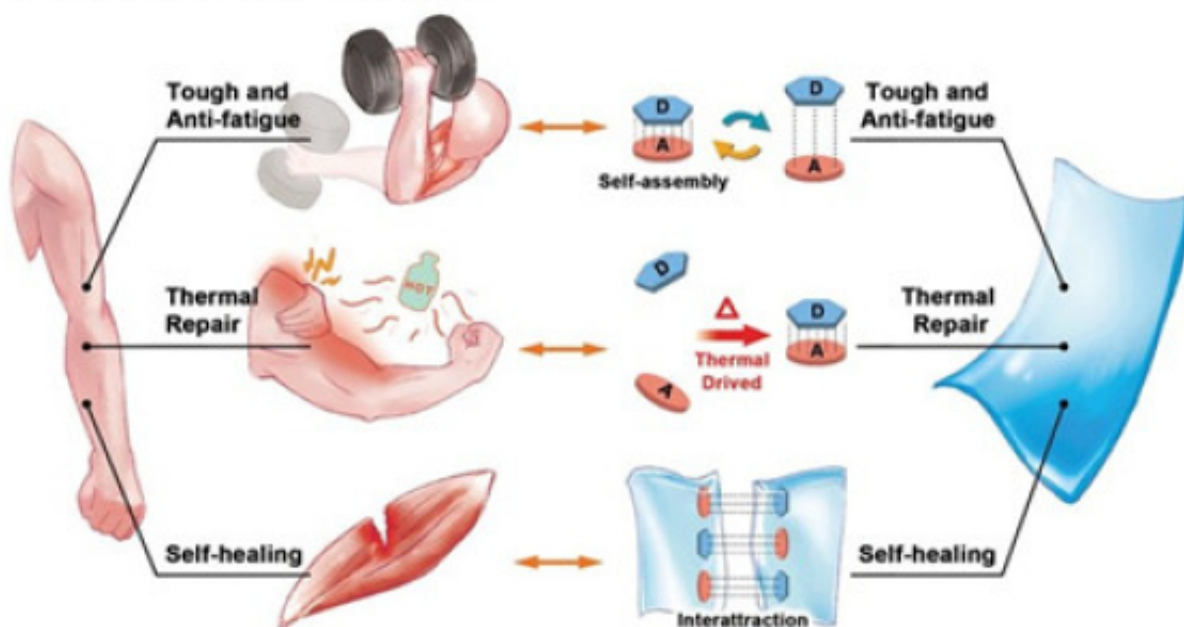


图1 由肌肉生理功能启发，用于可拉伸电子的超强韧、热修复以及自愈的聚氨酯（DA-PU）

图2 DA-PU和D-PU + A-

PU的分子设计以及它们在基础拉伸、抗撕裂和刺穿、抗疲劳以及热恢复测试中的优异表现

图3 DA-PU样条在自愈合不同时间段的应力-

应变曲线，自愈后的循环拉伸试验和宏观展示，以及与其他自愈聚氨酯的性能对比

研究团队单位：宁波材料技术与工程研究所

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](http://www.iikx.com)转发