力学所提出提高可拉伸电子器件弹性延展性的新策略

可拉伸电子器件被广泛应用于健康监测、康复医疗、智能工业及航空航天等领域。无机可拉伸电子器件的关键技术创新在于通过力学结构设计实现弹性拉伸性，对任意复杂曲面实现共形贴附/包裹，且能维持稳定的电学性能。例如，“岛-桥”结构是可拉伸电子器件中的常见结构。其中，功能性元器件置于不可变形的“岛”上，互联导线形成“桥”并提供整体结构的弹性延展性。实现可拉伸电子器件弹性延展性的策略至关重要。

尽管先前已有较多研究聚焦于可拉伸结构的设计，但目前主要只有两种策略用于实现或提高结构的弹性延展性（图1）。一是预应变策略。波浪形条带是典型的例子，平面的条带被转印/粘接在预拉伸的弹性基底上，释放预应变后，由于压应力的存在使得条带产生面外屈曲变形，形成具有拉伸性的波浪形结构。此外，更加复杂的三维可拉伸微结构也可以通过二维平面前驱体粘接在预应变的基底上制备而成。二是几何结构设计策略。各种具有弹性可拉伸的几何互联被设计出来，如“之”字型、马蹄型、蛇型、分型、非屈曲蛇型、螺旋型及剪纸结构等。这些几何结构在弹性延展性和各种应用场景中表现出不同特点。这两种类型的策略也可以相互结合以增强结构的弹性延展性，例如，预应变基底显著增加了蛇形互联结构的弹性延展性。

近日，中国科学院力学研究所苏业旺团队创新性地提出了第三种提高可拉伸电子器件弹性延展性的新策略——过加载策略（图2）。互联结构转印、粘接在弹性聚合物基底上后，对整体结构进行过弹性极限拉伸，释放拉伸应变后，互联结构的弹性延展性可以提高到原来的两倍，这对可拉伸电子器件的性能颇为重要。理论、有限元及实验结果均证明，过加载策略对不同几何构型、不同厚度的互联结构有效（图3、4、5）。它的基本机理在于：过加载过程中弹塑性本构关系的演变使得互联结构关键部位的弹性范围扩大一倍。过加载策略易于操作，并可与其他两种策略相结合以提高结构弹性延展性。这对无机可拉伸电子器件的设计、制造及应用具有深远意义。

相关研究成果以An Overstretch Strategy to Double the Designed Elastic Stretchability of Stretchable Electronics为题，发表在《先进材料》（Advanced Materials）上。研究工作得到国家自然科学基金、中国科学院基础前沿科学研究计划从0到1原始创新项目、中国科学院交叉学科创新团队和国家WR计划青年项目的支持。

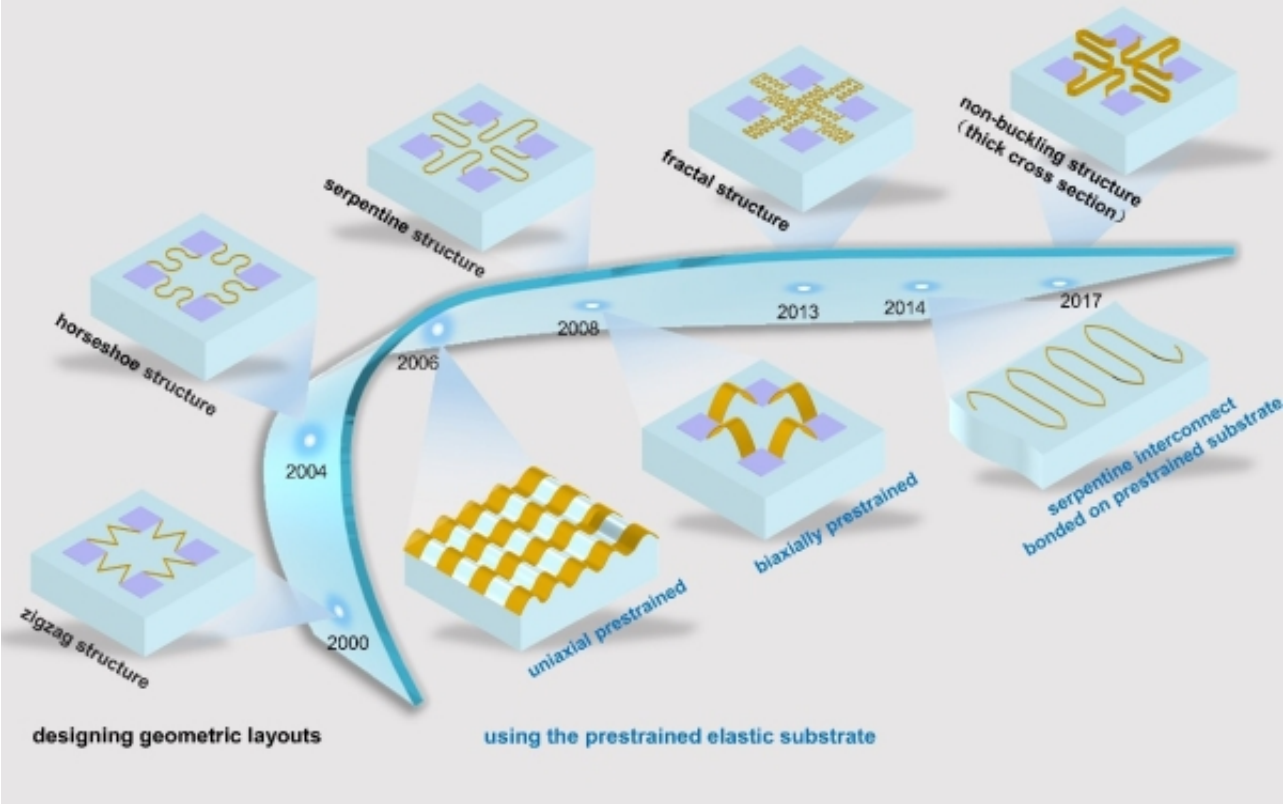

图1. 可拉伸结构在过去几十年的发展过程

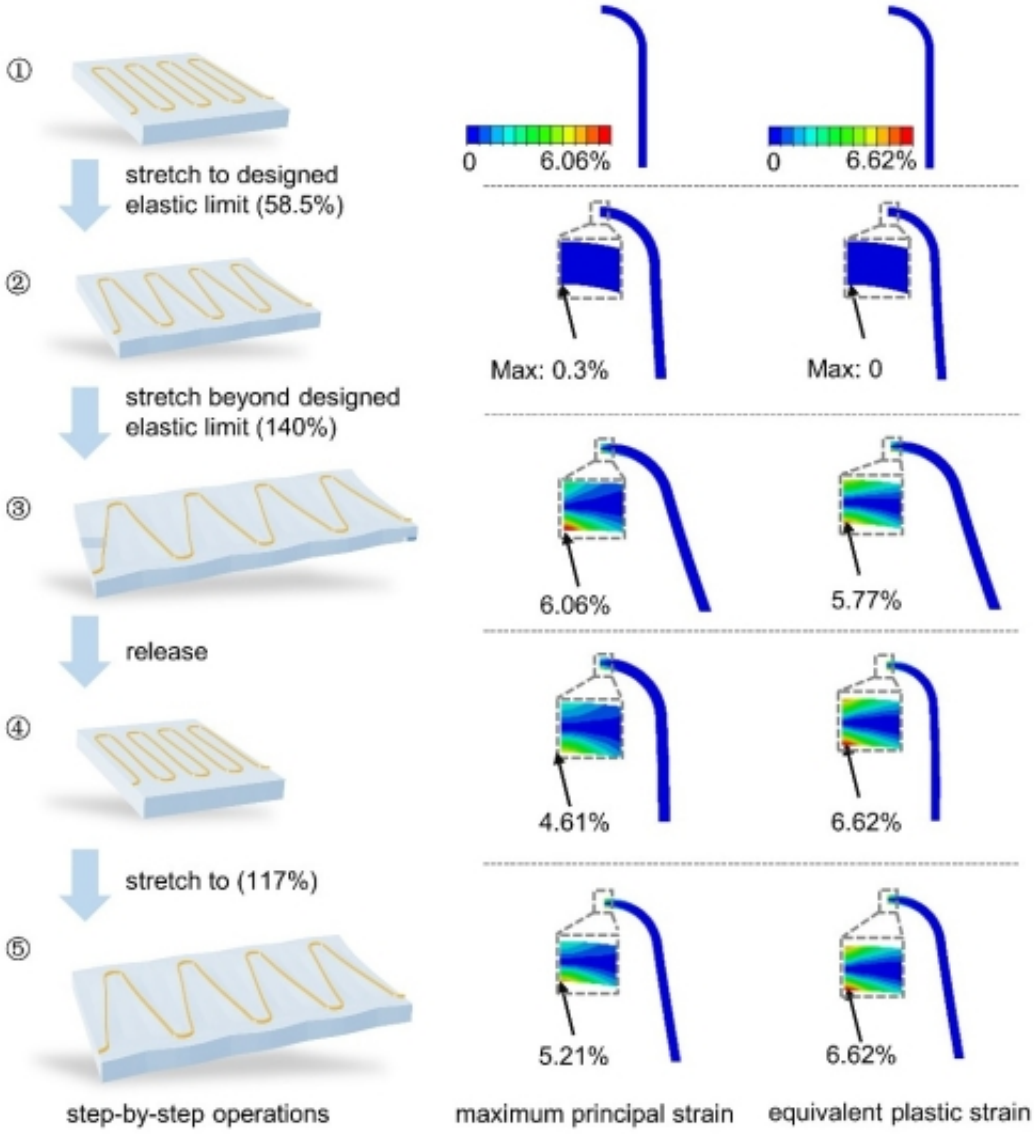

图2. 过加载策略的操作过程以及各过程中蛇形互联结构的应变分布

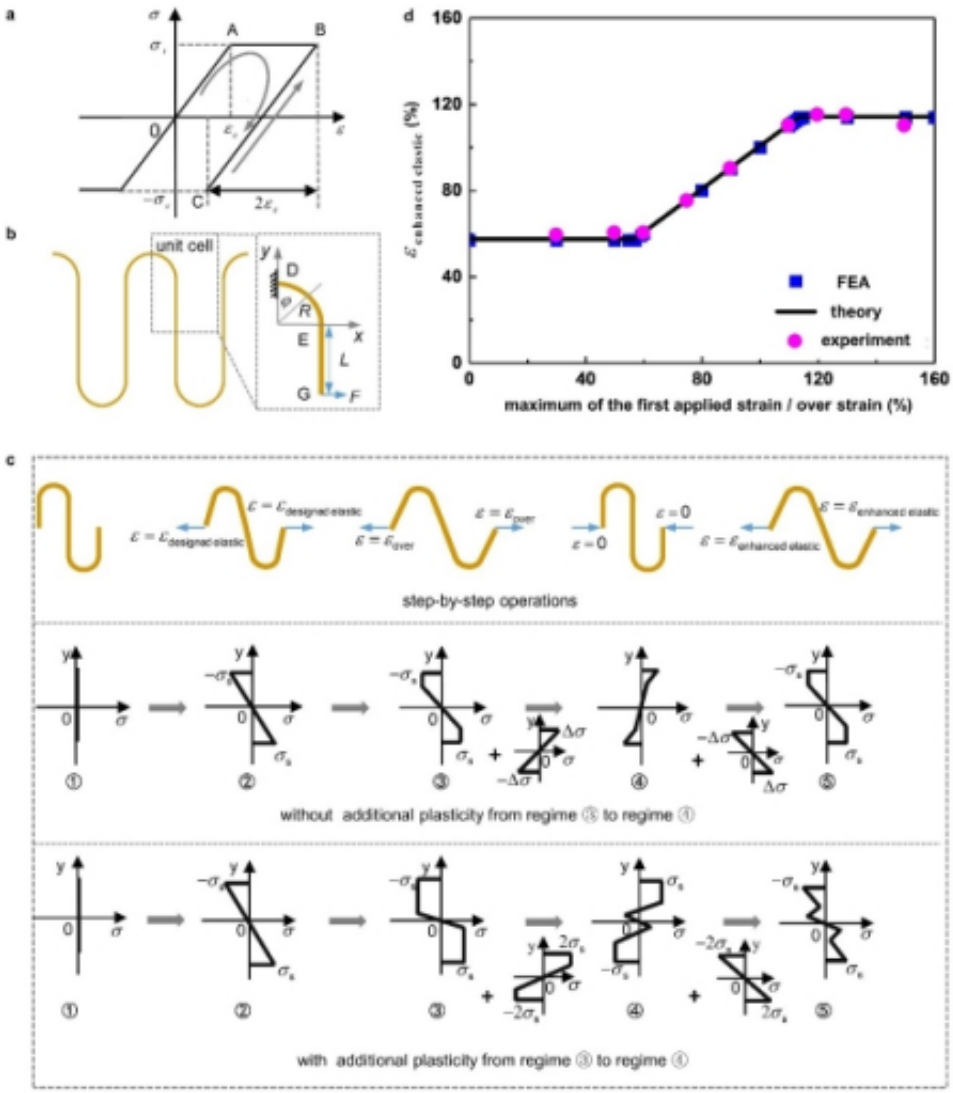

图3. 基于独立金属厚蛇形互联（MTSI）的过拉策略力学分析。（a）MTSI的本构关系：理想弹塑性；（b）MTSI的力学模型；（c）过加载操作过程示意图以及各过程中蛇形互联圆弧顶截面处应力分布；（d）MTSI的增强弹性延展性随第一次施加应变/过加载应变的变化，包括理论、有限元和实验结果。

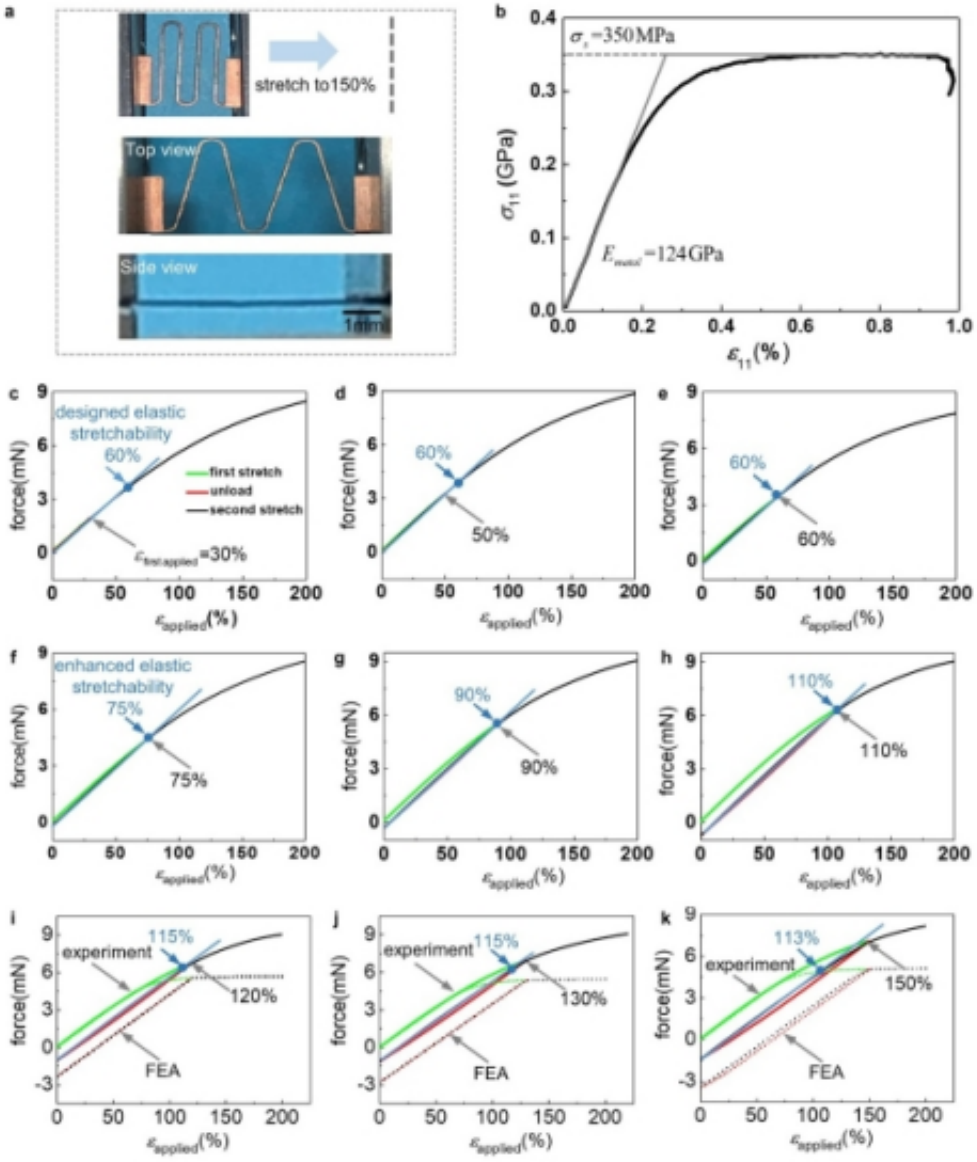

图4. 基于独立MTSI的过加载策略的实验验证。（a）独立MTSI初始状态的图像以及拉伸150%时的正面和侧面视图；（b）狗骨头形铜片的单向拉伸应力-应变曲线；（c-k）在第一次施加拉伸、卸载和第二次施加拉伸过程中，力与施加应变的关系曲线，第一次施加应变分别为30%、50%、60%、75%、90%、110%、120%、130%、150%。

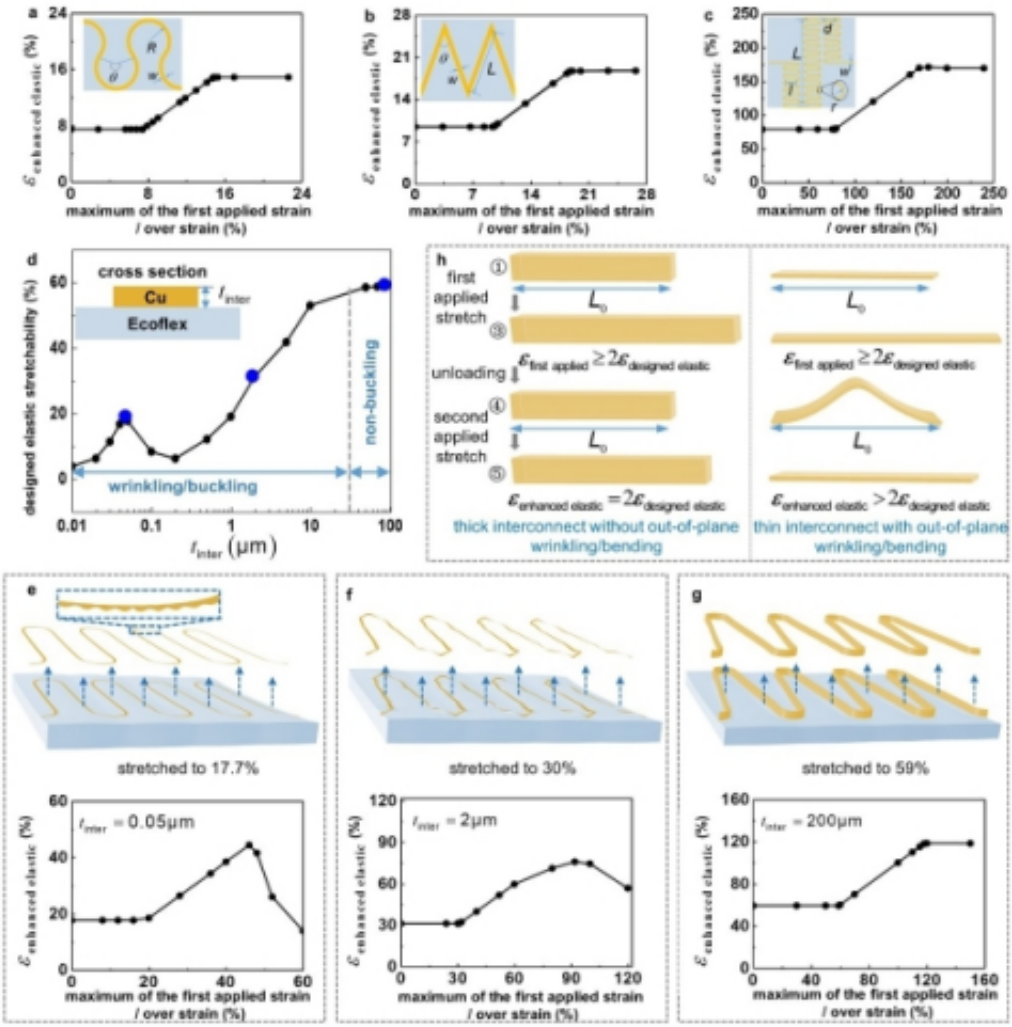

图5. MTSI粘结在软基底上的力学分析。（a-c）粘接在软基底上的厚马蹄形、“之”字形、分形互联的增强弹性延展性与第一次施加应变/过加载应变的关系；（d）粘接在软基底上蛇形互联结构的弹性延展性随其厚的变化关系；（e-g）三种不同厚度蛇形互连增强弹性延展性与第一次施加应变/过加载应变关系的有限元分析结果。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/196488.html