



上海科技大学

ShanghaiTech University

[首页](#)
[学院概况](#)
[新闻信息](#)
[学院活动](#)
[科学研究](#)
[教职员工](#)
[教育培养](#)
[招生工作](#)
[人才招聘](#)

凌盛杰课题组与合作者利用蚕丝开发出可规模化生产的多功能电子织物

时间: 2019-10-19 浏览: 386

“这是一项具有竞争力的、可以制备应用于现实世界电子纺织品的技术”。

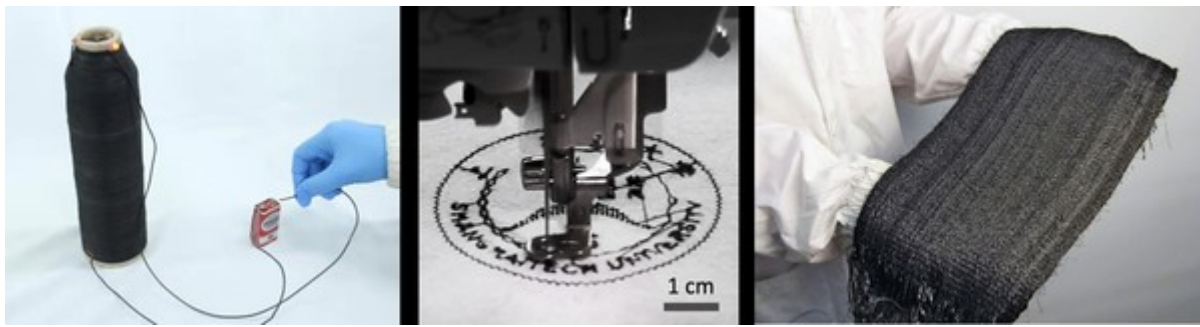
——Markus J. Buehler教授（《Chemical & Engineering News》）

近日，物质学院凌盛杰课题组与塔夫茨大学（Tufts University）大学的David L. Kaplan教授及MIT的Markus J. Buehler教授合作，基于天然蚕丝开发出可规模化生产的多功能导电纤维。这类纤维具有优异的力学性能和良好的导电性，可以通过工业化纺织设备直接加工成具有环境响应性、力学响应性的多功能电子织物。该成果论文“Design and Fabrication of Silk Templated Electronic Yarns and Applications in Multifunctional Textiles”于10月9日在Cell旗下材料领域子刊Matter在线发布，并被Chemical&Engineering News同步报道。



C&EN同步报道

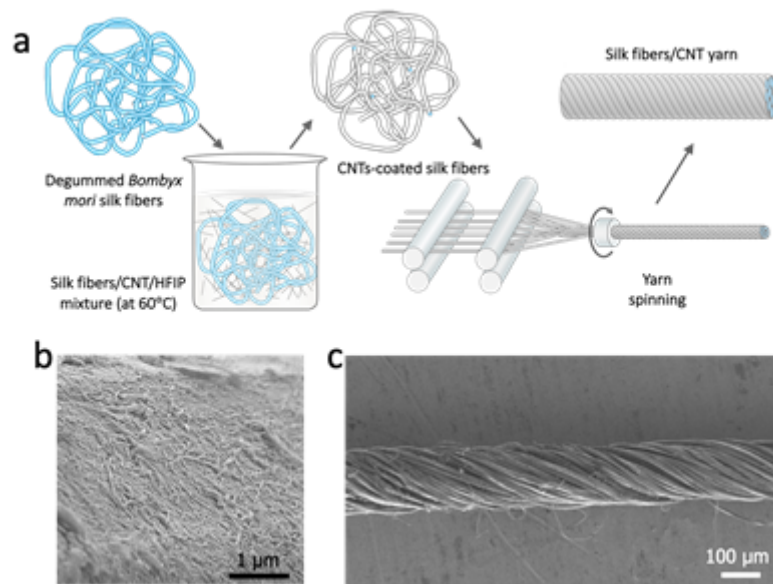
天然蚕丝纤维作为一种传统纺织纤维，具备优异的力学性能，其织物具有轻薄透气等优点。智慧织物在可穿戴、软体机器人、人机交互及实时医疗监护等高科技领域显示出广大的市场。蚕丝基智慧织物则可具有更好的穿着舒适性及美观性，然而其设计和制造存在诸多难题，特别是常规方法制备的导电蚕丝纤维在机械性能、加工性和耐久性无法与原始纤维相比，难以规模化生产。



连续化生产的导电蚕丝纱线（左），机械绣花（中）和织物（右）

基于这一需求以及之前的研究基础 (Nat. Commun.2017, 8,1387)，凌盛杰课题组设计了一种碳纳米管混合浆料，利用简单的浸泡-纺纱技术即可制备高性能导电蚕丝。相比其他基于蚕丝的功能化纤维的制备方法，如湿法、干法纺丝、碳化蚕丝等，这个新的策略几乎完全保持了天然蚕丝本身的结构及力学性能，并且可以稳定负载较大含量的导电纳米材料。

该方案通过利用六氟异丙醇溶剂实现对蚕丝表面温和可控地溶解至发粘状态而不破坏蚕丝纤维的主体结构，同时在其表面均匀负载碳纳米管，形成牢固的碳纳米管-蚕丝粘附。“这是决定该工作成败的关键。”匹兹堡大学的机械工程师Mostafa Bedewy在接受《Chemical & Engineering News》采访时表示。获得导电碳纳米管涂层的蚕丝纤维脱除溶剂后，便可通过工业纺纱手段直接制成连续的导电蚕丝纱线。

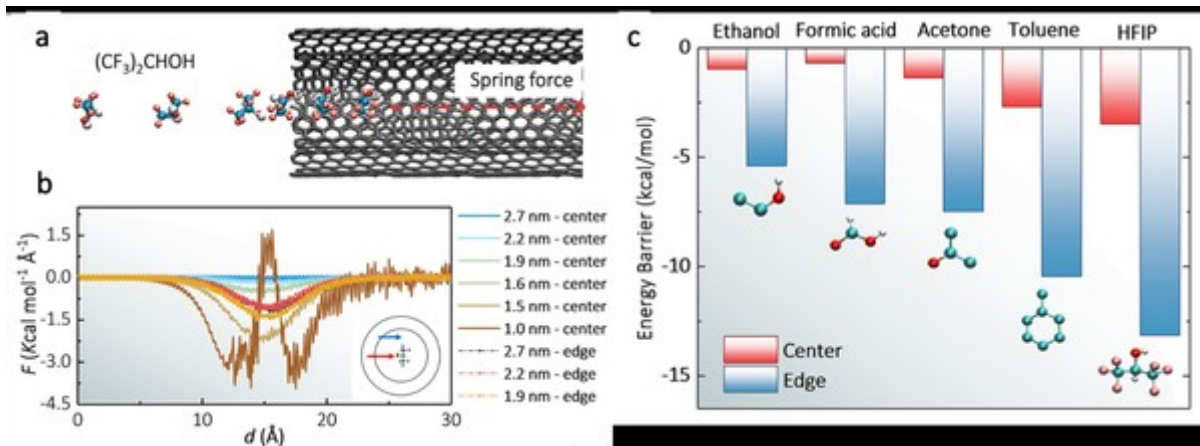


导电蚕丝纱线的制备及表征。 (a) 导电蚕丝纱线制备流程图。 (b) 单根导电蚕丝表面扫描电镜照片。
(c) 导电蚕丝纱线扫描电镜照片。

力学测试表明：导电蚕丝的拉伸强度和应变分别为 $633 \pm 168 \text{ MPa}$ 和 $12 \pm 4\%$ ，与天然蚕丝纤维相当。制备导电纱线的过程中发现，一般短纤维组成的纱线的断裂行为会受到加捻程度的显著影响。随着加捻程度的增加，短纤维之间的滑动将受到限制。而本研究中的单根纤维很长，在拉伸载荷作用下，纱线的变形主要由各纤维的张力决定。加捻过程的增加减小了每根导电蚕丝纤维之间的间隙，减小了纱线的横截面积，导致纱线断裂应力的增加和机械稳定性的提高，但不会影响纱线的总断裂载荷。因此，良好的综合力学性能使得导

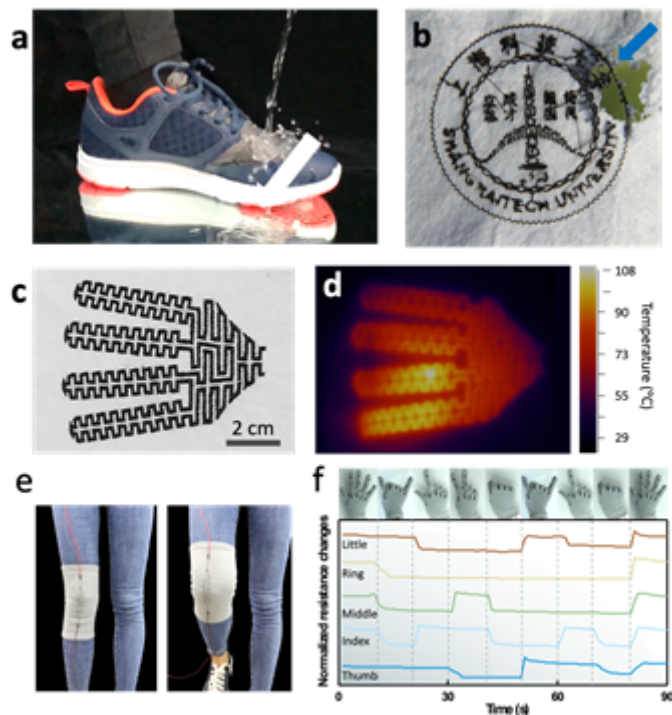
电蚕丝纱线可以经受剧烈的机械加工过程，而直接制成织物或绣花图案，并可耐受商业洗衣机的激烈水洗程序。

成功制备出导电纤维的关键在于所碳纳米管混合浆料的选择。单纯的六氟异丙醇溶剂很容易将丝直接溶解成微纤维。碳纳米管的加入减弱了溶剂对丝的溶解，使得这一进程更加可控。该研究利用定向分子动力学模拟进一步模拟这一过程，发现六氟异丙醇进入碳纳米管内部的势垒低于沿着碳纳米管外部移动的势垒。此外，研究人员还比较了几种有机溶剂进入碳纳米管内部空间的能力。结果表明，溶剂分子与碳纳米管之间的相互作用决定了溶剂分子扩散能力大小顺序为：乙醇<甲酸<丙酮<甲苯<六氟异丙醇。



定向分子动力学模拟发现 (a, b) 溶剂分子更倾向于进入碳纳米管内部。(c) 不同溶剂分子在碳纳米管内移动的势垒对比。

导电蚕丝纱线及织物除了成功保持蚕丝固有的优异力学性能之外，还获得碳纳米管所带来的一系列特性，包括疏水性、耐溶剂性、吸热保温性等，并且具有对环境温度电阻响应性：温度升高，导电蚕丝纱线的电阻减小；温度降低，电阻同步增大。温度响应性具有良好的可重复性，导电蚕丝纱线的纱线结构则赋予了其应变响应性。利用绣花机将导电蚕丝纱线加工在衣服的不同位置，可以用来监测人体运动，以及手势等。这一特性显示出导电蚕丝纱线在可穿戴传感器、医疗监控以及人机交互领域中的应用潜能。正如Markus J. Buehler教授在接受《Chemical & Engineering News》采访时说的那样：“这是一项具有竞争力的、可以制备应用于现实世界电子纺织品的技术”。



导电蚕丝纱线具有 (a) 疏水性。 (b) 耐溶剂 (丙酮、乙醇、甲苯、甲酸、六氟异丙醇) 腐蚀性, 箭头所指处展示绣花基底无纺布已被腐蚀镂空。 (c, d) 吸热保温性, 图为绣花机加工图案红外灯照射后的热像仪图像。 (e, f) 应力响应性, 可用来监测行走或进行手势翻译。

本论文的第一作者为上海科技大学物质学院2019级博士生叶超以及凌盛杰课题组助理研究员任婧, 通讯作者为上科大凌盛杰教授、塔夫茨大学 (Tufts University) 大学David L. Kaplan教授及MIT的Markus J. Buehler教授。上海科技大学为第一完成单位。此项研究在开展过程中, 得到了中国科学院过程工程研究所王艳磊博士和MIT的靳凯博士在理论计算方面提供的协助, 及中国科学院海西研究院泉州装备制造研究所的韩军研究员在材料表征方面提供的帮助。此外, 上科大物质学院分析测试平台和电镜中心在材料表征方面也提供了大力支持。该研究得到了国家自然科学基金、上海浦江人才计划、上海扬帆计划及上科大启动资金等的支持。

文章链接: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.07.016>

Chemical & Engineering News 报道链接: <https://cen.acs.org/materials/biomaterials/Coating-silk-carbon-nanotubes-yields/97/web/2019/10>

地址：上海市浦东新区华夏中路393号物质科学与技术学院

邮编：201210  沪公网安备 31011502006855号



学校微信



学院微信