

材料月报

第 2 期

太原理工大学材料学院 主办

2018 年 6 月 20 日

要 目

P6 热电材料新进展

北京航空航天大学材料学院赵立东教授课题组发现具有层状结构的 SnSe 的二维界面对声子具有强烈的散射作用，相关成果于 5 月 18 日在线发表在《Science》杂志上。

P8 我国发现首个可弯曲无机半导体材料

最近，中国科学院上海硅酸盐研究所发现首个可弯曲无机半导体材料 α -Ag₂S(硫化亚银)。这种典型的半导体在室温中拥有良好的延展性和可弯曲性，有望在柔性电子中获得广泛应用。相关研究成果已在国际著名学术期刊《Nature Materials》发表。

P10 界面强化使材料不易断裂

近日，浙江大学研究人员发现高温合金中贵金属“铼”的最佳添加位置是界面位错网的位错核心。在这个关键的位置，铼能发挥一种特殊的作用，通过强化界面强度使材料不易断裂，进而促进材料性能优化。这项研究成果发表在近日上线的金属材料领域顶级期刊《Acta Materialia》。

P12 重大突破，清华 80GPa 超强碳纳米管纤维

近日，清华大学在世界上首次报道了接近单根碳纳米管理论强度的超长碳纳米管管束，其拉伸强度超越了目前发现的所有其它纤维材料。相关成果发表于纳米领域国际顶级学术期刊《Nature Nanotechnology》上。

目 录

前沿要闻

- P1 无机半导体在黑暗中的超常可塑性
- P2 用于无束缚快速转变软材料的铁磁畴印刷
- P3 具有 25.2% 功率转换效率的全纹理化单片钙钛矿/硅
串联太阳能电池
- P4 石墨烯纳米带的磁性边缘态和相干操作
- P5 铜和铝掺杂实现锂离子电池中 LiCoO_2 电极的容量极
限

科研进展

- P6 热电材料新进展
- P8 我国发现首个可弯曲无机半导体材料
- P10 界面强化使材料不易断裂
- P12 重大突破，清华 80GPa 超强碳纳米管纤维
- P14 可调控的 J 型应力应变曲线超材料
- P16 巧用 SEM 实现衬底支撑石墨烯的高质量成像

材料动态

- P18 0.03 毫米高强度镁合金丝诞生，只有头发的 1/4
- P19 我国纳米核心技术取得系列重大突破
- P21 新一批国家重点研发计划项目揭晓

高等教育

- P22 高校为什么需要工程教育认证

材料美学

- P24 端午节献礼之纳米粽子

图书推介

- P26 张进涛：《Chemically Derived Graphene :
Functionalization, Properties and Applications》

主办：太原理工大学

材料科学与工程学院

主编：王晓敏

副主编：乔璐威 程伟丽

责任编辑：贾兰 陈超

出版日期：2018 年 6 月 20 日

（第 002 期）

仅供内部参阅，正式引用时请
自行核实

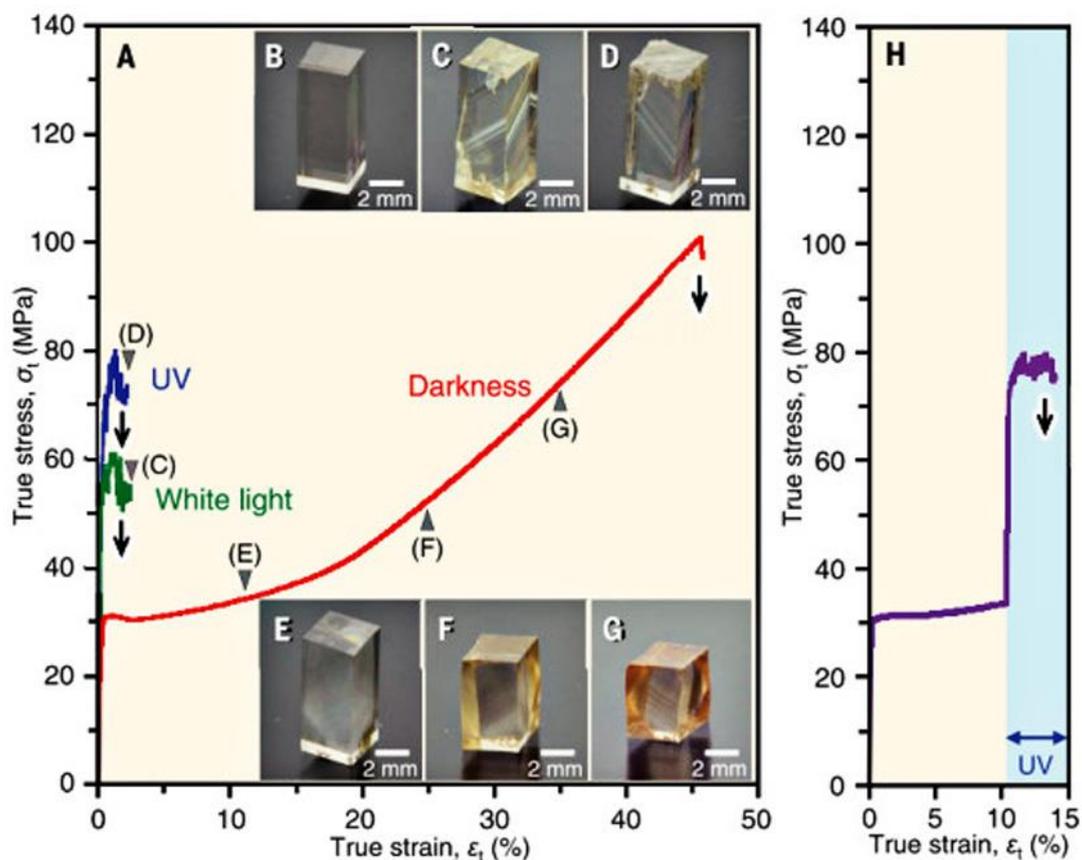
无机半导体在黑暗中的超常可塑性

(Extraordinary plasticity of an inorganic semiconductor in darkness)

材料名称：硫化锌 (ZnS)

研究团队：日本名古屋大学 Matsunaga 研究组

无机半导体通常倾向于碎裂的方式损坏。而 Oshima 等人报导如果变形是在“完全黑暗的环境中”进行的，那么无机半导体可以出现超常的“可塑性”。在不同的光照条件下进行了硫化锌 (ZnS) 的室温变形试验，ZnS 晶体在光照下变形时会立即断裂；与之相反的，发现 ZnS 晶体在完全黑暗中可以塑性变形达到变形应变 $\epsilon_t = 45\%$ 。另外，变形后 ZnS 晶体的光学带隙明显减小了。这些结果表明，ZnS 中的位错在完全黑暗中会变得可移动并且倍增的位错会影响整个晶体的光学带隙。无机半导体并不一定是脆性的。(Science DOI: 10.1126/science.aar6035)



—摘编自新材料在线公众号 2018-05-21

用于无束缚快速转变软材料的铁磁畴印刷

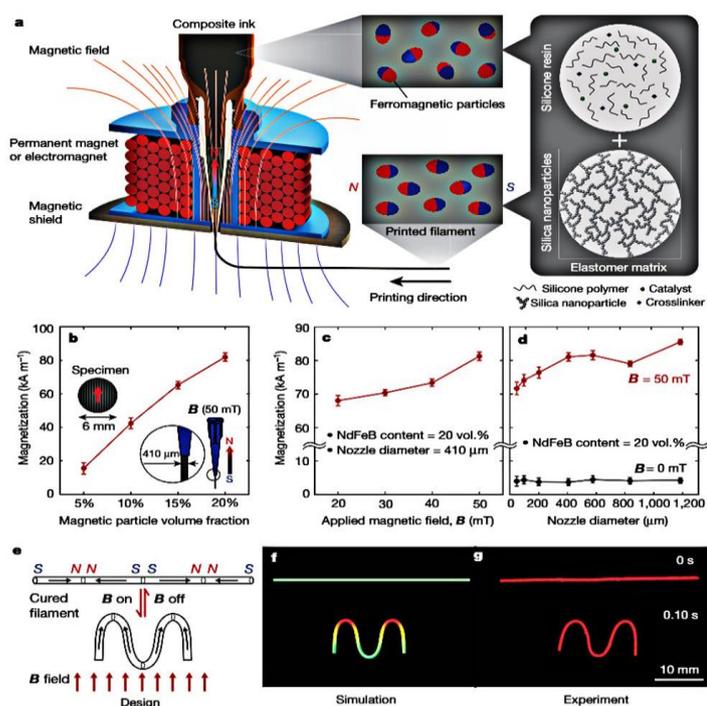
(Printing ferromagnetic domains for untethered fast-transforming soft materials)

材料名称：磁响应软材料

研究团队：麻省理工学院 Shawn A. Chester 和 Xuanhe Zhao 研究组

随着磁场控制的进步，柔性磁响应材料也从嵌入分立磁体或将磁性颗粒加入到软化合物中从而在聚合物片材中产生非均匀磁化分布的情况得到了发展和进步。Zhao 等人报告了软材料中编程化铁磁畴的 3D 打印，这促成了通过磁驱动实现复杂 3D 形状之间的快速转变。这一方法基于含有铁磁性微粒的弹性体复合材料的直接印刷。通过在印刷时向分配喷嘴施加磁场，并沿着施加的场对粒子进行重新定向，从而为印刷的细丝赋予图案化的磁极性。这种方法使得能够在复杂的 3D 打印软材料中对铁磁畴进行编程，从而实现一系列先前无法获得的转变模式，例如对具有负泊松比的机械超材料的远程控制拉胀。带有编程铁磁畴的印刷软材料的驱动速度和功率密度比现有的 3D 印刷活性材料大出了多个数量级。Zhao 等人还进一步展示了复杂形状变化所衍生出的多种功能，包括可重新配置的软电子设备，可以跳跃的机械超材料以及爬行、滚动、捕捉快速移动物体并传输药物剂量的软机器人。

(Nature DOI: 10.1038/s41586-018-0185-0)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-18

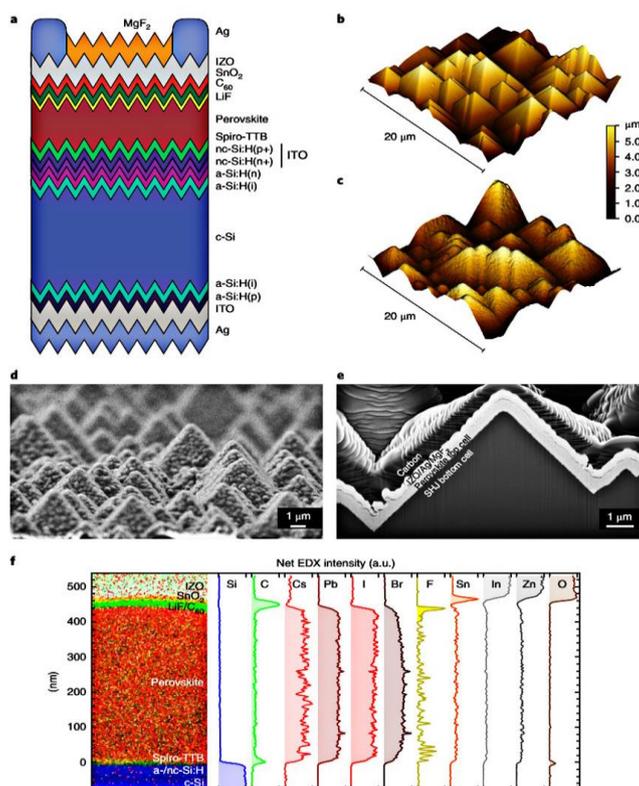
具有 25.2% 功率转换效率的全纹理化单片钙钛矿/硅串联太阳能电池

(Fully textured monolithic perovskite/silicon tandemsolar cells with 25.2% power conversion efficiency)

材料名称：钙钛矿/硅串联太阳能电池

研究团队：洛桑联邦理工学院 QuentinJeangros 研究组

结合了钙钛矿和硅太阳能电池的串联器件，有望以合理的成本实现 30% 以上功率转换效率。迄今为止最先进的单片双端钙钛矿/硅串联器件，是以硅为底部并将其正面抛光从而与钙钛矿制造工艺兼容。这一让步导致了更高的潜在生产成本、更高的反射损失并使得光捕获情况变得不理想。为了解决这个问题，Jeangros 等人开发了一种顶部电池沉积工艺，可以直接在单晶硅微米尺寸金字塔纹理上实现具有可控光电特性的多种化合物的共形生长。具有硅异质结电池和纳米晶硅重组结的串联器件表现出了经认证的 25.2% 的稳态效率。Jeangros 等人的这一光学设计产生了 $19.5 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的电流密度（这要归功于硅的金字塔结构），并为实现 30% 单片钙钛矿/硅串联器件提供了一条途径。（Nature Materials DOI: 10.1038/s41563-018-0115-4）



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-18

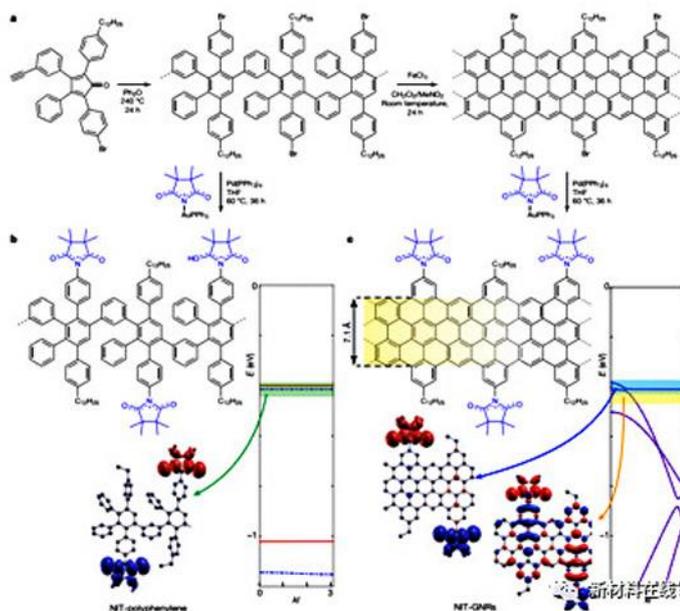
石墨烯纳米带的磁性边缘态和相干操作

(Magnetic edge states and coherent manipulation of graphene nanoribbons)

材料名称：石墨烯纳米带

研究团队：牛津大学 Bogani 研究组

石墨烯是碳原子的单层网络，具有优异的电子和机械性能。纳米级宽度的石墨烯带（纳米带）能够表现出半金属性和量子限制效应。对于自旋电子学和量子计算器件来说，石墨烯纳米带的相干操作前景可观，研究人员已经从理论角度对其磁性边缘进行了广泛的研究。然而，纳米带的边缘不能以原子精度产生，并且已经提出的石墨烯末端化学性质不稳定，这两个问题一直阻碍着研究的进展。Slota 等人通过稳定的自旋轴承基团功能化分子石墨烯纳米带，研究解决了这两大问题。实验观察到预测的非局域磁边缘状态，并测试了自旋动力学和自旋-环境相互作用的理论模型。与非石墨化的参考材料相比，Slota 等人能够清楚地识别自由基功能化石墨烯纳米带的特征行为。研究量化了自旋轨道耦合的参数，定义了相互作用模式并确定了自旋退相干通道。即使没有任何优化，自旋相干时间能够在室温下的微秒范围内，实现边缘和自由基自旋之间的量子反演操作。Slota 等人的方法提供了一种在石墨烯纳米带实验中测试磁性理论的方法。观察到的相干时间开辟了量子自旋电子器件中使用磁性纳米带的令人鼓舞的前景。(Nature DOI: 10.1038/s41586-018-0154-7)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-04

镧和铝掺杂实现锂离子电池中 LiCoO_2 电极的容量极限

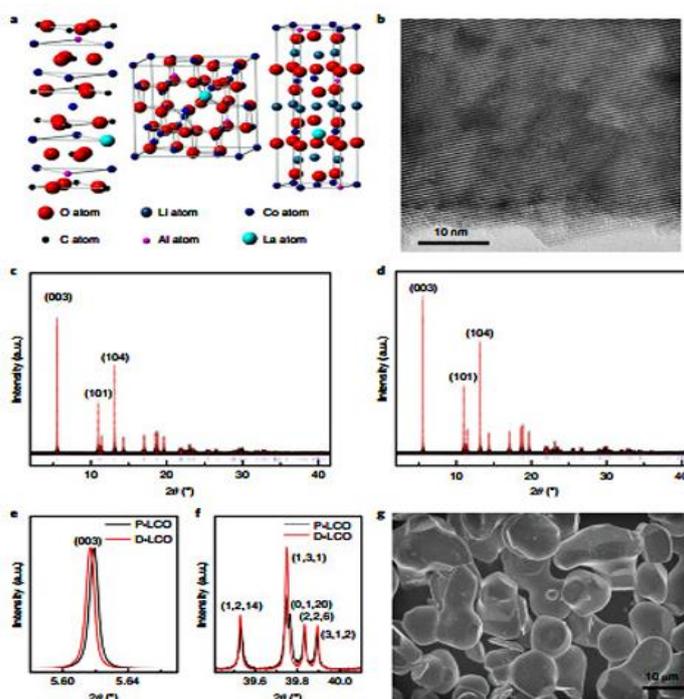
(Approaching the capacity limit of lithium cobalt oxide in lithium ion batteries via lanthanum and aluminium doping)

材料名称：镧和铝掺杂 LiCoO_2 电极

研究团队：美国阿贡国家实验室和中国华为公司研究团队

LiCoO_2 具有很高的理论比容量 (274 mAh/g)，然而，基于 LiCoO_2 的电极电压相对于 Li/Li^+ 超过 4.35V 时容易引起结构不稳定和严重的容量衰减。因此，商业化额 LiCoO_2 表现出最大容量仅有 165 mAh/g 左右。Liu 等人发展了一种掺杂技术能够解决这一长期循环不稳定的问题，并且能够增加 LiCoO_2 的容量。La 和 Al 共同掺杂在 LiCoO_2 的晶格中，其中 La 作为支柱增加 c 轴的间距，而 Al 作为正电荷中心促进 Li^+ 的迁移，即使在 4.5V 的截止电压也能够稳定结构和抑制循环过程中相变。这种掺杂的 LiCoO_2 电极表现出极高的容量 (190 mAh/g)，保持 96% 的容量能够稳定循环 50 圈，而且能够提高材料的倍率性能。

(Nature Energy, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0180-6>)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-18

北航赵立东教授课题组：热电材料新进展

(3D charge and 2D phonon transports leading to high out-of-plane ZT in n-type SnSe crystals)

5月18日,《Science》杂志在线发表了北京航空航天大学材料科学与工程学院赵立东教授课题组在热电材料研究上取得的新进展。共同参与该工作的有:南方科技大学的何佳清教授(共同通讯作者)课题组、黄丽教授课题组和王克东教授课题组,清华大学的李敬锋教授课题组、中科院上海应用物理研究所的朱方圆副研究员和香港大学的陈粤教授课题组。

热电转换技术是一种利用半导体材料直接将热能与电能进行相互转换的技术。热电转换效率是衡量热电材料性能的关键指标,它主要取决于材料的性能平均 ZT 优值。复杂互动的热电参数关系使得实现高热电优值 ZT 成为一个巨大的挑战。通过协同调控电传输和热传输的关系来实现 ZT 值净增长 (net ZT) 的方法层出不穷:引入点缺陷、位错、纳米沉积、基体纳米化、能带结构调控、电-声-磁协同调控、调整晶体结构对称性、界面(晶体结构、能带结构和显微结构)控制、有机-无机复合、相转变、高熵、多尺度化学键设计和寻找具有复杂晶胞、非谐振效应、类液态声子传输、孤对电子等特点的低热传导材料等。

赵立东课题组研究发现具有层状结构的 SnSe 的二维界面对声子具有强烈的散射作用(图 1 左),使得 SnSe 沿着层间方向具有很低的热导率,在 773K 温度下可达最小理论值~0.18 W/mK。在聚焦 SnSe 层间低热导率的基础上,如能在此方向上实现高的电传输性能,则可实现高的热电性能。

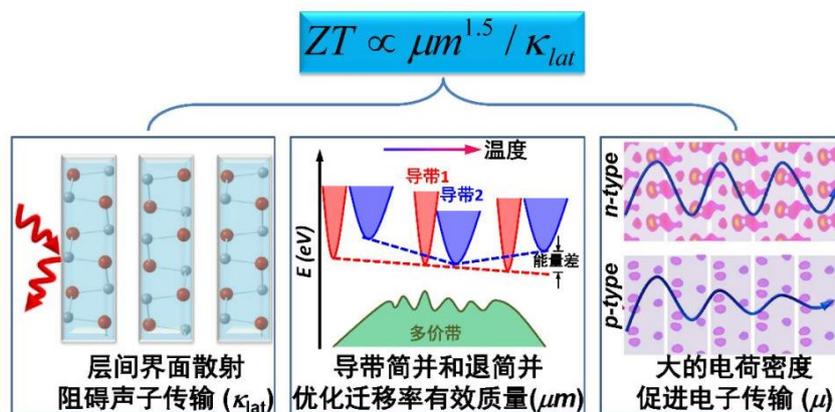


图 1. “二维声子/三维电荷”传输显著提高 n 型 SnSe 的热电性能: 层间界面散射阻碍声子传输产生超低热传导; 连续相变引起的多导带简并和退简并优化了迁移率和有效质量; 大的电荷密度使得电子(n 型)易于空穴(p 型)传输。

SnSe 材料在 800K 温度点存在一个从 Pnma 到 Cmcm 的相变, 经过同步辐射实验测试发现该相变从 600K 便开始持续发生。利用该持续相变特性, 通过调整电子掺杂浓度可将轻导带和重导带经历一个简并收敛和退简并收敛的过程。利用这一过程, 恰好优化了迁移率和有效质量的乘积(μm) (图 1 中), 使得 SnSe 在整个温度范围内都保持较高的电传输性能。通过电子掺杂后 Sn 和 Se 的 p 轨道在导带底会产生电子离域交叠杂化, 使得 n 型 SnSe 的电荷密度增大到足以填满层间空隙, 实现了层间电子的隧穿(图 1 右)。

这一现象可简单描述为: 本征的 SnSe 的层状结构就像一堵墙, 可以同时阻碍声子和载流子(电子和空穴)的传输。但通过重电子掺杂后, 导带底的电子离域杂化现象增大了电荷密度, 在墙和墙之间为电子量身定制了一条传输的隧道, 如图 2 所示。在大电荷密度的基础上, 加之连续相变引起的能带结构变化和晶体对称性的提高三个主要因素使得 SnSe 在层间方向表现出优异的电传输性能, 当温度高于 700K 时, SnSe 的层间方向产生了比层内更优异的“三维电荷”传输效应。这种“二维声子/三维电荷”传输特点大幅提高了 n 型 SnSe 的热电性能(感谢德国 Netzsch 公司和中国 Cryoall 公司出具的第三方性能检测报告)。

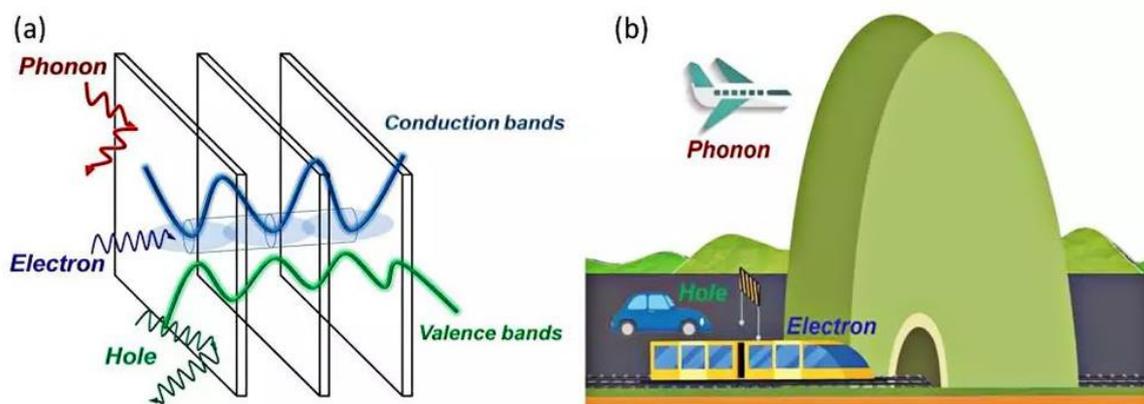


图 2. “二维声子/三维电荷”传输图示: (a)导带底的电子产生离域杂化, 增大电荷密度, 为电子在层间传输提供通道, 声子和空穴受到层的界面阻挡; (b)不受轨道限制的飞机(声子)受到高山(层界面)的阻挡, 火车(电子)可以穿越隧道, 而汽车(空穴)由于轨道不匹配不能穿越隧道。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-05-22

我国发现首个可弯曲无机半导体材料

(Room-temperature ductile inorganic semiconductor)

最近，中国科学院上海硅酸盐研究所研究员史迅、陈立东与德国科学家合作，发现首个可弯曲无机半导体材料 $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ （硫化亚银）。这种典型的半导体在室温中具有非常反常的与金属类似的力学性能，尤其是拥有良好的延展性和可弯曲性，有望在柔性电子中获得广泛应用。相关研究成果已在国际著名学术期刊《Nature Materials》发表。

近年来，柔性电子引起全世界的广泛关注并得到迅速发展，被认为有可能带来一场电子技术革命。它是将有机/无机材料电子器件制作在柔性衬底上的新兴电子技术，以其独特的可变形性以及高效、低成本制造工艺，在信息、能源、医疗、国防等领域，具有广泛应用前景。

然而，目前的无机材料尤其是半导体均为脆性材料，在大弯曲、大变形下以及拉伸状况下，极易发生断裂进而导致器件失效；此外，有机半导体相对无机半导体迁移率较低，且电学性能可调范围较小，无法满足半导体工业的蓬勃发展需求。因此，开发具有良好延展性和弯曲性的无机半导体材料，实现柔性电子技术在集成装备和制造工艺领域的突破，是柔性电子发展的迫切需求。

经过多年研究，上海硅酸盐研究所研究团队发现，相对于其他半导体或者陶瓷， $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 具有非常奇异和独特的力学性能。它具有和金属一样的延展性和变形能力，在外力和大应变下不发生材料的破坏和破碎，压缩变形最大可以达到 50% 以上，弯曲最大形变超过 20%，拉伸形变可达 4.2%。所有这些数值均远远超过已知的陶瓷和半导体材料，而与一些金属的力学性能相似。

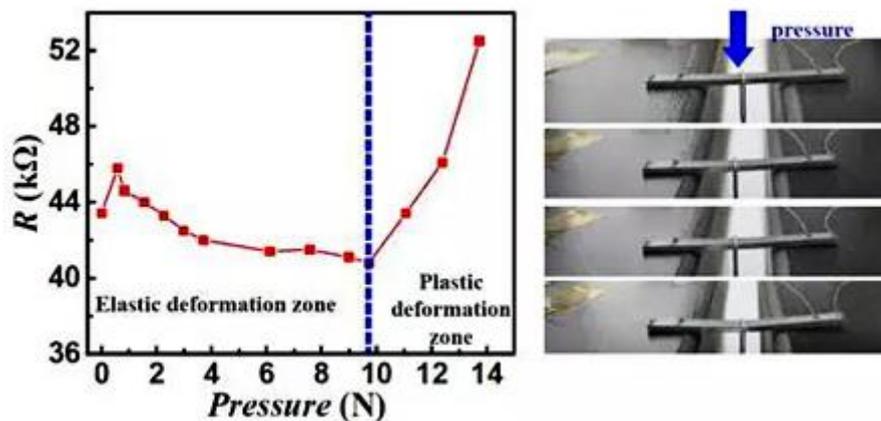


图 1 $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 半导体弯曲过程中的电阻变化

对此，研究团队进一步研究了 $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 这些反常力学性能的机制和机理，并针对柔性电子的应用，制备出 $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 薄膜。研究发现， $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 具有比块体材料更大的变形能力，并且，在数十、上百次重复弯曲变形后，它的电性能基本维持不变或变化很小。此外，不同于已知脆性的陶瓷和半导体材料， $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 半导体具有类似金属的力学性能，在弯曲和变形下能维持材料的整体性和电学性能。它宽范围内可调的电性能、合适的带宽、大的迁移率使其有望广泛应用于柔性电子领域。同时，这项研究也将开启寻找和发现其他具有类似金属力学性能的半导体材料的研究工作。



图 2 无机半导体材料硫化亚银的压缩实物照片。

相关研究发表于《自然材料》杂志，并被 *nat mater* 在新闻和视野 (news & views) 中报道，在报道中，韩国首尔国立大学的柔性电子学专家 Dae-Hyeong Kim 和 Gi Doo Cha 评论道：“虽然金属和绝缘体都有合适的力学性能，但如今潜在的柔性半导体（如碳纳米管，石墨烯，二硫化钼）无法同时拥有力学延展性、高载流子迁移率及合适的带隙。满足以上所有要求的高质量无机半导体尚不存在。现在，该研究团队在 *Nature Materials* 上报道了一种在室温下能表现出金属般延展性的优秀半导体材料： $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 。”

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-05-24

界面强化使材料不易断裂

(Re Segregation at interfacial dislocation network in a nickel-based superalloy)

高温合金是航空发动机的重要结构材料，也是我国研发新一代航空发动机的瓶颈所在。近日，浙江大学研究人员发现高温合金中贵金属“铼”的最佳添加位置是界面位错网的位错核心。在这个关键的位置，铼能发挥一种特殊的作用，通过强化界面强度使材料不易断裂，进而促进材料性能优化。这项研究成果发表在近日上线的金属领域顶级期刊《Acta Materialia》。这篇论文也成为高温合金研究领域最高水平的科研论文之一。

本工作的研究对象为航空发动机的重要战略结构材料—镍基高温合金。新一代高温合金相较于前，最大的差异就是元素“铼”(Re)。科研人员依托浙江大学电镜中心的球差校正电镜，首次从原子层面“看清了”铼元素在高温合金中的分布，这也是该研究的创新点之一。

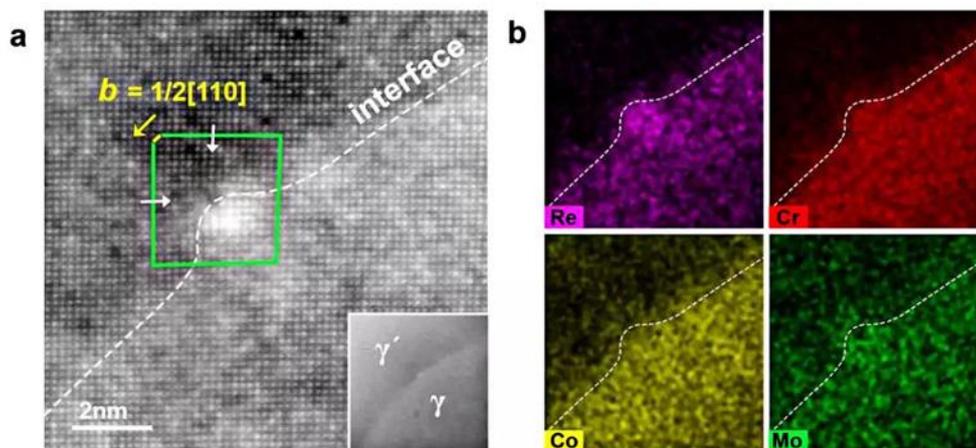


图 1 相界面位错核原子结构图和成分分析。(a) 界面位错核的高分辨 HAADF-STEM 图。

(b) (a)图中位错核的 γ 相形成元素 Re, Cr, Co 和 Mo 的分布 EDS 图。

而依托原位电镜，浙大科研人员还对铼发生作用的过程有了清楚的了解，并将材料性能和结构进行关联研究。将这些研究方式结合起来用于高温合金的研究，在国际上还是第一次实现。

材料断裂是航空发动机损毁的致命原因。而断裂往往是由裂纹造成的。防止裂纹发生和裂纹发生后的快速生长，就成了决定材料强度的关键一环。材料的软肋在哪里？就在两相界面！在高温合金中，两相界面中会形成致密的界面位错网。通过特定的热处理，科研人员可以通过控制扩散的手段，将铼有目的性的放到相关位置，

进而开展研究。本课题组发现，当把铼放置在界面位错网的核心位置时，铼会很明显地强化界面位错网，进而强化这个界面。界面强化后，两相之间的“剪切”就会很困难，不易失效。为什么会有这样神奇的效果呢？

他们进一步研究发现，界面错位网上铼的存在让界面变得非常稳固，进而让材料中的裂纹不易贯穿。“当力的作用不断加大，有铼的高温合金也会出现裂纹，但裂痕生长在单相中呈现锯齿形，延缓了快速开裂。”在相同作用力下，界面位错网上没有铼时，材料容易出现裂纹，而且没有了阻挡，裂纹会呈直线型快速生长，贯穿整个材料，从而导致断裂。

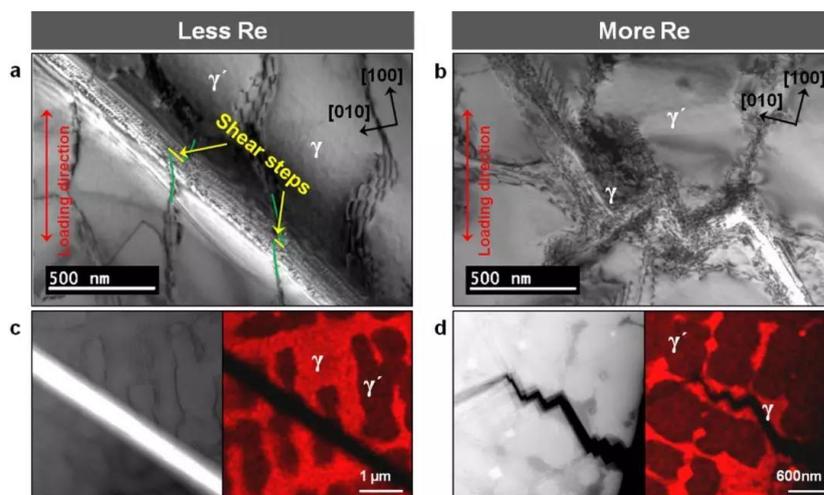


图 2 相界面位错网含 Re 量不同的样品 A (左列) 和样品 C (右列) 中的位错行为。(a,b) 原位 TEM 拉伸试验截图。样品 A 中位错直接穿过相界面位错网，而样品 C 中位错无法穿过相界面形成锯齿状滑移带。(c, d) (a) 图和 (b) 图中区域的低倍 STEM 图 (左) 和清晰显示 γ/γ' 相界面的 Cr 元素分布图 (右)。样品 A 为直裂纹，而样品 C 中为锯齿状裂纹。

浙江大学电子显微镜中心主任张泽院士一直非常重视结构材料的研究，特别是国家发展重大需求的战略材料。李吉学是浙大求是特聘教授，是浙大电镜中心最资深的建造者之一。余倩于 2014 年加盟浙江大学，成为当时学校最年轻的博士生导师。近年来她一直从事传统金属的研究，“可能这不是个时髦的研究，但却有着重大的战略意义。”

课题组的这项研究可以说是研究所成立后的第一项重要成果，在航空发动机高温材料领域发出了浙江大学的聲音。本课题受到国家基金委的资助。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-05-30

重大突破，清华 80GPa 超强碳纳米管纤维

(Carbon Nanotube Bundles with Tensile Strength over 80 GPa)

近日，清华大学化工系魏飞教授团队与清华大学航天航空学院李喜德教授团队合作，在超强碳纳米管纤维领域取得重大突破，在世界上首次报道了接近单根碳纳米管理论强度的超长碳纳米管管束，其拉伸强度超越了目前发现的所有其它纤维材料。相关成果于 5 月 14 日在线发表于纳米领域国际顶级学术期刊《Nature Nanotechnology》上。

对材料极致性能的追求一直是人类社会发展的一个重要推动力之一。材料的力学强度是材料众多性能中被人类极为看重的一种性能。美国航空航天局 (NASA) 在 2005 年设置了一个“超强纤维挑战竞赛” (Strong Tether Challenge) 并将其作为世纪挑战，希望找到一种比强度 (即单位质量强度) 高达 $7.5\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ 的宏观超强纤维材料。遗憾的是，直到 2011 年这个竞赛取消这个目标都没能实现。

目前已知宏观材料的比强度都远远低于 $7.5\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ ，比如钢丝绳为 $0.05\sim 0.33\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ ，碳纤维为 $0.5\sim 3.5\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ ，高分子纤维为 $0.28\sim 4.14\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$ 。此外，超强纤维在其他领域也有着极为广阔的应用前景，例如高性能运动器材、防弹衣、大飞机、大型运载火箭、超级建筑等。

碳纳米管被认为是目前发现的最强的几种材料之一，其杨氏模量高达 1TPa 以上，拉伸强度高达 100GPa 以上 (比强度高达 $62.5\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$)，超过 T1000 碳纤维强度 10 倍以上。

理论计算研究表明，碳纳米管是目前唯一可能帮助我们实现太空电梯梦想的材料。然而，当单根力学性能优异的碳纳米管制备成宏观材料时，其性能往往远低于理论值。例如，已报道的碳纳米管纤维的强度只有 $0.5\sim 11.5\text{GPa}$ (比强度 $0.3\sim 7\text{GPa}/(\text{g}/\text{cm}^3)$)，远低于碳纳米管理论强度 ($>100\text{GPa}$)。主要原因是形成纤维的碳纳米管均长度较短，单元体之间以范德华力相互搭接，在拉力作用下极易发生相互滑移，无法充分利用碳纳米管的本质高强度。此外，碳纳米管内的结构缺陷和杂乱取向等都会导致纤维强度下降。

相比之下，超长碳纳米管具有厘米甚至分米长度并且具有完美结构，具有一致取向和接近理论极限的力学性能，在制备超强纤维方面具有巨大的优势。研究团队通过采用原位气流聚焦方法，可控地制备了具有确定组成、结构完美且平行排列的厘米级连续超长碳纳米管管束，巧妙避免了上述限制因素。

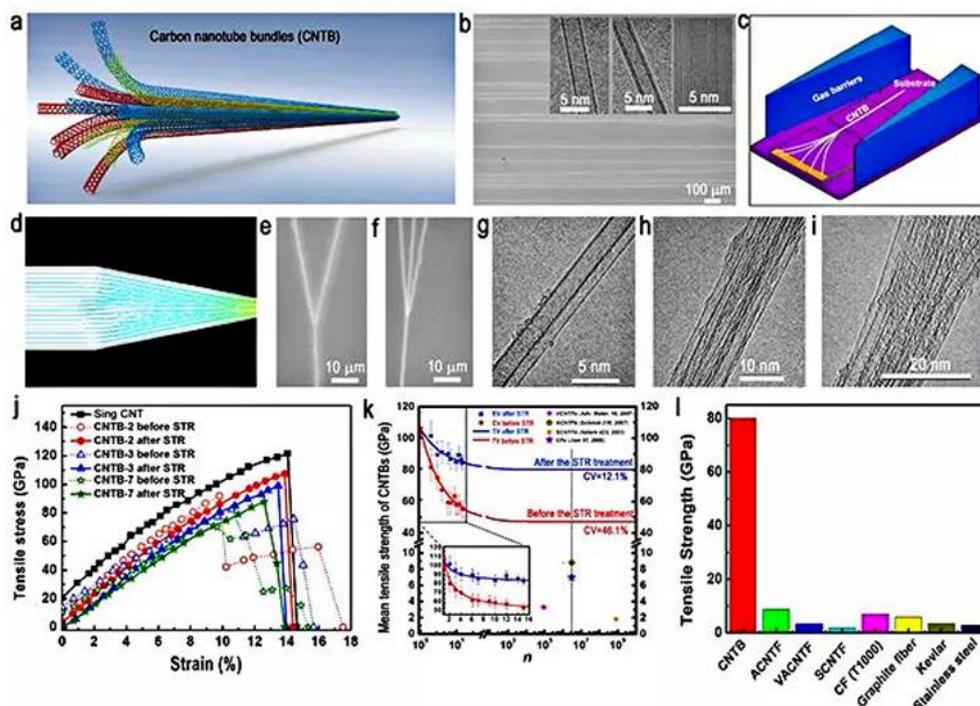


图 1 超长碳纳米管管束的结构制备及力学性能 a. 碳纳米管管束示意图；b. 所用到的超长碳纳米管的结构；c. 利用气流聚焦法制备超长碳纳米管管束的示意图；d. 超长碳纳米管在聚焦气流下发生合并的模拟图；e-i. 所制备的具有确定组成的超长碳纳米管管束；j-k. 所制备的碳纳米管管束的力学性质；l. 超长碳纳米管管束与其他材料拉伸强度对比图

通过制备含有不同数量单元的超长碳纳米管管束，定量分析其组成和结构对超长碳纳米管管束力学性能的影响，建立了确定的物理/数学模型。研究发现，管束中碳纳米管的初始应力分布不均匀，从而使得管束中的碳纳米管无法同步均匀受力，进而导致了整体强度的下降，亦即“丹尼尔效应”。据此，本研究团队提出了一种“同步张弛”的策略，通过纳米操纵来释放管束中碳纳米管的初始应力，使其处于一个较窄的分布范围，从而将碳纳米管管束拉伸强度提高到 80GPa 以上，接近单根碳纳米管的拉伸强度。数学模型计算结果表明，对于含有无限数量的此类超长碳纳米管形成的管束而言，在保证其长度连续、结构完美、取向一致以及初始应力分布均匀的前提下，其拉伸强度仍可逼近单根强度。

这项工作揭示了超长碳纳米管用于制造超强纤维的光明前景，同时为发展新型超强纤维指明了方向和方法。审稿人评价说：“论文作者取得了一个具有里程碑意义的突破性进展，在世界上首次报道了接近单根碳纳米管强度的碳纳米管管束。这项工作具有极其深远的影响力，它无疑会引起世界范围内的广泛关注”。该研究工作得到国家自然科学基金委员会和国家重大研究发展计划资助。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-05-21

可调控的 J 型应力应变曲线超材料

(Soft mechanical metamaterials with unusual swelling behavior and tunable stress-strain curves)

6月8日，清华大学航天航空学院张一慧课题组与北京理工大学教授、清华大学双聘教授方岱宁课题组合作，在《科学进展》(Science Advances) 期刊上发表了题为《具有非常规溶胀行为及可调控应力应变曲线的软质力学超材料》的研究论文，系统报道了一类具有负溶胀等非常规溶胀性质以及可调控“J”型应力-应变曲线的软质力学超材料。

具有极端面积/体积变形能力的超材料在航空工程、光学和微电子领域有着广泛的应用。然而现有的负溶胀超材料变形范围较小，且不具备各向异性的性质，很难实现对材料面积/体积变化的大幅调控，在很大程度上限制了该类力学超材料的发展和应用。

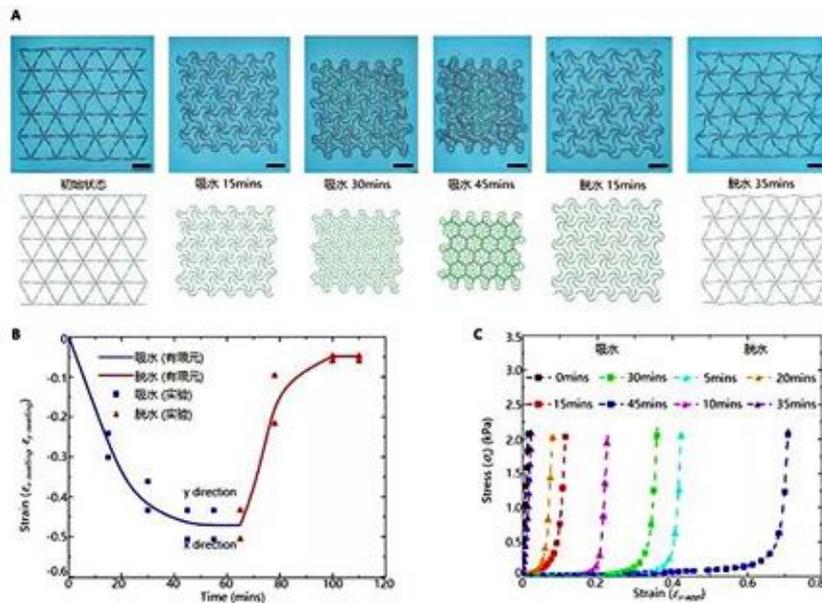


图 1 A 图为网状材料吸水和脱水过程中的构型演变。B 图为溶胀应变随时间演变的曲线图。

C 图为对应吸水/脱水状态下的应力-应变曲线。比例尺为 40 毫米

为解决上述问题，航院张一慧课题组提出了一种基于平面点阵的异质材料组装设计。该设计基于复合梁的偏心原理，利用不同层材料吸水变形过程中膨胀变形的差异，实现网状材料整体的较大膨胀和收缩。其微结构采用了马蹄形的三层夹心设计，有效解决了变形过程中界面分离以及结点自接触的问题。结合先进增材制备技术，利用高精度多材料光固化喷墨型 3D 打印机，实现了该网状超材料的数字化制备。

在《科学进展》论文中，研究团队首先展示了网状材料的吸水变形和脱水回复的过程，验证了网状材料的变形可逆性；详尽阐述了网状材料的变形机制以及调控原理，建立了定量的力学预测模型；通过有限元仿真和理论分析，提出了具有非常规溶胀行为的超材料设计方法，并实现了网状材料力学性质的各向异性调控。研究表明新设计的网状材料具有独特的“J”型应力-应变曲线，通过控制吸水时间，可以精确控制网状材料的弹性模量及临界应变等力学性质，在可展开天线和软体机器人的构型主动控制方面有着重要的潜在应用。

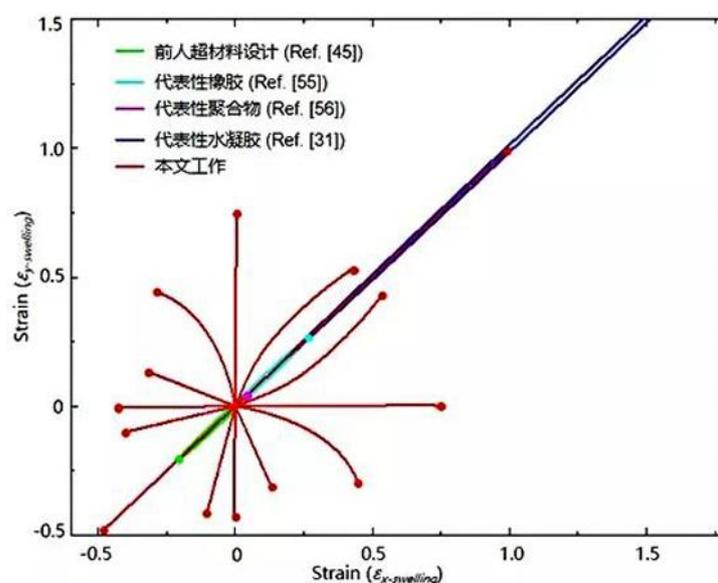


图 2 各向异性大溶胀行为设计，其中红线表示本项工作中展示的溶胀行为

张一慧副教授与方岱宁教授为本文的共同通讯作者。清华大学航院 2016 级博士生张航为本文的第一作者。合作者包括清华大学航院博士后郭晓岗和 2014 级本科生邬军。该研究成果得到了国家自然科学基金项目、中组部青年千人计划项目和清华信息科学与技术国家实验室的支持。

—摘编自材料科学与工程 2018-06-11

巧用 SEM 实现衬底支撑石墨烯的高质量成像

(High - Contrast SEM Imaging of Supported Few - Layer Graphene for Differentiating Distinct Layers and Resolving Fine Features: There is Plenty of Room at the Bottom)

想知道如何巧用扫描电镜 (SEM) 来对衬底支撑石墨烯进行高质量成像吗? 非常简单实用的技巧, 就在哈尔滨工业大学甘阳教授课题组的最新《Small》文章。文章题目中还借用了费曼的名言“*There is Plenty of Room at the Bottom*”作为点睛之笔, 寓为电镜工作距离加大后成像效果大幅提升。

常见的衬底支撑石墨烯体系, 有 SiC 热解生长石墨烯、Cu 等金属衬底上 CVD 法生长石墨烯、Si 上转移石墨烯等。石墨烯的常用结构表征技术包括透射电镜、拉曼 (Raman)、原子力显微镜 (AFM)、光学显微镜以及扫描电镜 (SEM)。其中, SEM 具有分辨率达纳米级、观测范围大、速度快、无损等优点, 在石墨烯的生长机理研究、表面覆盖度确定、褶皱等缺陷观察、相对厚度测定等研究方面具有独特优势。目前, 几乎所有的 SEM 均配备了二次电子 (SE) 探测器进行表面形貌分析, “标配”的 SE 探测器是腔室内的旁置式 E-T 探测器。

对于衬底支撑的单层或少层石墨烯, 石墨烯膜的厚度一般为亚纳米或几纳米量级。SEM 电子枪发射的电子束与衬底和石墨烯作用后, 会产生几种二次电子。E-T 探测器对各种 SE 的收集效率和它们对总 SE 数量的相对贡献, 决定了衬底支撑石墨烯的图像衬度 (石墨烯覆盖区域和未覆盖区域的图像相对灰度比值, 以及不同层数石墨烯覆盖区域的图像相对灰度比值) 的优劣。

一直以来, 研究者发现低加速电压 (<5 kV) 下成像可以显著提升衬底支撑石墨烯的 E-T SE 图像衬度。但是, 对于另外一个很重要的成像参数-工作距离 (样品上表面与物镜极靴下端面之间的距离) 的影响, 却少人关注, 研究者一般均设其为高加速电压下的数值 (8 - 12 mm)。而且, 文献中缺乏统一的理论框架来自洽地解释工作距离和加速电压两个因素对衬度的影响规律。

哈尔滨工业大学大学化工与化学学院的甘阳教授和指导的博士生黄丽, 与河北半导体所专用集成电路国家级重点实验室的冯志红博士合作, 采用 Zeiss 热场发射 SEM, 对多种衬底 (SiC、Si、Cu、Au) 支撑的石墨烯体系进行了大量表征分析, 系统改变了工作距离和加速电压两个重要成像参数, 探索对图像衬度的影响规律。他们意外发现, E-TSE 图像衬度随着工作距离增加而显著提升, 即使工作电

压较高，也能够实现与低加速电压条件下的类似高图像衬度（如下图 1），能够对纳米级褶皱等细节进行高清晰成像。他们进一步深入讨论了工作参数对探测器的 SE 收集效率的影响，建立了统一的理论框架，能够同时自洽地解释工作距离和加速电压两个因素对衬度的影响规律。

该工作从实验和理论上阐明了提升石墨烯 SEM 图像衬度的方法和机制。他们还发现，借助高衬度 SEM 图像，再辅以 AFM 和 Raman 测试，可以实现全衬底范围内的石墨烯层数的快速、准确的定量确定。以上研究结果，对衬底支撑石墨烯以及其它二维材料和薄膜材料的高质量 SEM 表征具有借鉴意义。

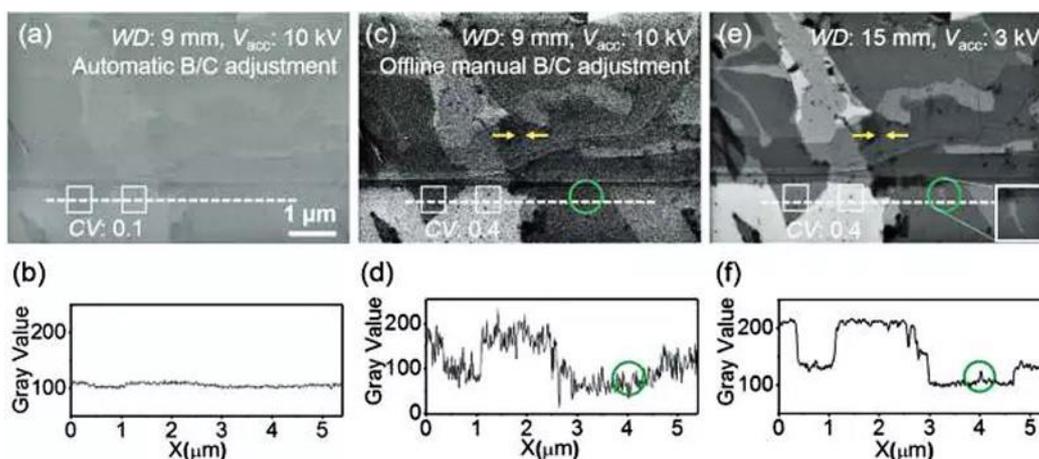


图 1 同步调控 V_{acc} 和 WD 前后对 G/SiC 同一区域 SEM 表征图像的对比

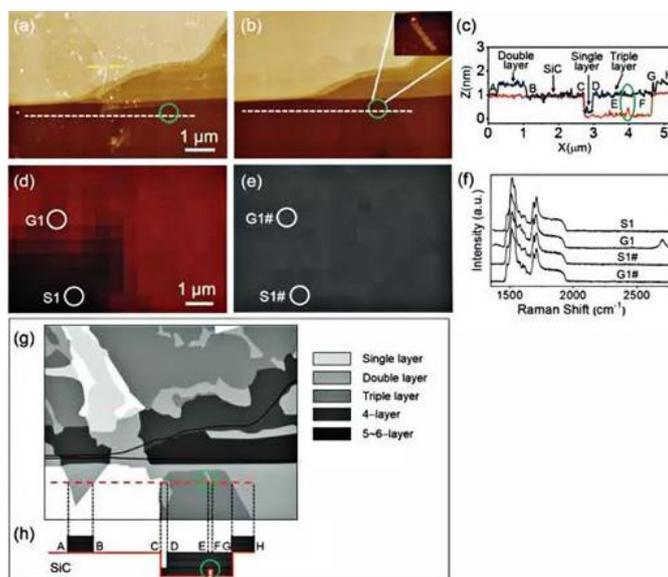


图 2 原子力显微镜和拉曼光谱对同一区域石墨烯移除前后表征图像的对比

甘阳教授课题组正在利用扫描电镜和多种表征技术，对不同环境下使用的石墨烯和其它二维材料的结构和特性进行深入研究。该研究得到了国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划项目、黑龙江省重大科技招标计划项目的资助。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-06-05

0.03 毫米高强度镁合金丝诞生, 只有头发的 1/4

日本熊本大学尖端镁国际研究中心与东邦金属公司和福田金属箔粉工业公司共同制造出了直径仅 30 微米 (0.03 毫米) 的超细镁合金金属丝, 大幅更新了镁合金金属丝直径的最细世界记录。而且, 此次制造的超细金属丝还打破了以往的常识, 大幅更新了超细镁合金金属丝的机械强度记录, 具备令人吃惊的 788MPa 机械强度 (屈服强度)。

镁在实用金属中为重量最轻的金属。与其他金属相比, 镁用于人体时的安全性比较高, 而且具备最终能在体内分解吸收的特性, 因此作为体内植入型医疗器械用材料得到了全世界的广泛关注。实际的体内植入型医疗器械需要使用直径 30 微米的镁合金金属丝, 但凭借以前的技术, 50 微米已达到极限。此次, 起始原料采用以快速凝固粉末冶金法制作的纳米级晶体材料, 并强化了拉丝加工技术, 从而实现了直径为 30 微米的镁合金极细金属丝。与以前相比, 金属丝的直径减至五分之三, 截面积减至约三分之一。

另外, 以前的极细镁合金丝的机械强度 (屈服强度) 最高约为 600MPa, 而此次制作的超细金属丝显示出 788MPa 的屈服强度, 机械强度提高了约 50%。

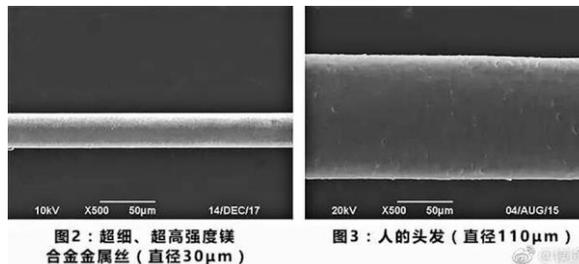


图 1 左图为超细超高强度镁合金金属丝 (直径 30 μm), 右图为人的头发 (直径 110 μm)

超细超高强度镁合金金属丝在以下领域的应用备受期待:

- 1) 生物可降解支架等循环器官用医疗器械;
- 2) 生物可降解缝合线及血管接合器材等外科手术和植入用医疗器械;
- 3) 电气布线材料的轻量化(线束等);
- 4) 燃料电池的电极材料。

此次使用的镁合金原料中不含不适合留置体内的铝, 在可降解医用材料方面的应用尤其受到期待。今后, 熊本大学、东邦金属和福田金属箔粉工业将加速推进共同研究, 开发极细化、量产化的产品化技术, 并把这种技术应用于 KUMADAI 不燃镁合金等其他镁合金, 推进可降解医用材料等应用产品的开发。

—摘编自微博镁途 2018-05-29

我国纳米核心技术取得系列重大突破

中国科学院战略性先导科技专项“变革性纳米产业制造技术聚焦”团队6月13日在北京宣布，经过5年协同攻关，专项在长续航动力锂电池、纳米绿色印刷、纳米催化、健康诊疗及饮用水等产业领域形成了一系列纳米核心技术创新，吸引和带动社会资本投入超过50亿元。

在长续航动力锂电池方面，专项开发的多款动力电池单体电芯能量密度达到300瓦时/千克以上，居世界先进水平，目前正在进行电池组集成优化，为装车演示做准备；开发的锂电池关键材料均已进入中试阶段，已供货30多家电池与电动汽车等企业并形成合作关系，初步形成了产业影响；在高能量密度锂离子电池新一代正负极材料、固态电池、锂硫电池、高水平动力电池失效分析技术方面，取得了大量原创成果，为我国下一代动力电池发展奠定了重要基础。

在纳米绿色印刷方面，研究人员突破国际上通行的感光制版技术思路，发展了纳米绿色印刷制版技术；突破传统版材电解氧化的工艺路线，建成世界上首条无电解氧化工艺的600万平方米纳米绿色版基示范线；突破水性油墨难以用于塑料包装印刷的国际难题，实现绿色水性塑料印刷油墨的关键技术突破；从源头解决了制版工艺高危废水排放、版基生产电解废液/废渣/VOC等排放的历史性难题，形成了包括“绿色版材、绿色制版、绿色油墨”在内的完整的绿色印刷产业链技术。

在纳米健康技术方面，将“纳米健康技术”成功应用到体外诊断产品和纳米药物制剂开发领域中。专项研发了多项具有完全自主知识产权的体外诊断关键技术。其中，炎症纳米微流控免疫检测芯片，将三种炎症标志物进行联合检测，能够快速区分细菌感染和病毒性感染，判断感染所处的阶段，为科学、有效使用抗生素提供依据。此外，研发新型的“肿瘤捕手”技术基于高亲和力磁颗粒—多肽纳米材料，实现了对循环肿瘤细胞的高效富集和检测，产品性能显著高于国内外同类型产品。在药物研发方面，完成多项纳米药物制剂的初期研发工作，部分样品已进入临床审批环节。

在现代高技术产业的发展中，标准发挥着越来越重要的作用。围绕纳米制造产业化过程的关键标准和规范的制修订，专项主导制定8项ISO/IEC国际标准（2项已发布实施，6项在研）和30余项国家标准，涵盖了纳米储能材料、生物富集用磁性纳米材料、催化剂载体用氧化物纳米材料等体系，涉及热重、红外、荧光光谱等多种方法，并制定系列纳米技术健康环境标准，提升了我国纳米产业标准化水平，

增强了我国在纳米技术国际标准领域的话语权，为我国纳米领域市场健康发展和国际贸易奠定基础。

此外，甲烷无氧制烯烃和芳烃技术，成功构建了晶格限域的单铁中心催化剂，使甲烷分子在催化剂表面可控解离，实现了甲烷直接活化和定向转化，**破解了甲烷选择活化这个化学领域的百年难题**，为碳基资源的高效、清洁利用开辟了新途径，在国际学术界和产业界形成了重大影响。

“变革性纳米产业制造技术聚焦” A 类战略性科技先导专项于 2013 年 4 月 25 日审议通过并开始实施。专项针对我国在能源、先进制造、人口健康等领域迫切需要解决的关键科学技术问题，系统布局了动力锂电池、绿色印刷、纳米器件、体外诊断等 8 个板块共 17 项研发任务。

—摘编自光明日报 2018-06-15

新一批国家重点研发计划项目揭晓

继前一段时间发布了 2018 年国家重点研发计划 17 个重点专项的立项清单后，昨天（5 月 21 日），科技部又公示了 1 个重点专项的立项清单。本次公示的是“国家质量基础的共性技术研究与应用”重点专项，拟立项项目总数共 40 个，总经费达到 3.5 亿元。从项目所在单位来看，基本都由中国计量科学研究院等科研院所牵头，仅有 1 项由高校牵头，这个项目上是山东大学崔兆杰教授负责的“农产品产地环境评价分级与保护改良共性标准研究”，项目经费为 371 万元。

表 1 最新获批的国家重点研发计划项目的统计数和详细名单

国家重点研发计划“国家质量基础的共性技术研究与应用”重点专项2018年度项目安排					
序号	项目名称	项目牵头承担单位	项目负责人	中央财政经费(万元)	项目实施周期(年)
1	超大带宽信息传输计量标准和关键技术研究	中国计量科学研究院	崔孝海	2351	2.5
2	水运工程关键计量标准及溯源技术研究	交通运输部天津水运工程科学研究所	杨鲲	485	2.5
3	纳米几何特征参量计量标准器研究及应用示范	中国计量科学研究院	施玉书	892	2.5
4	多参量高精度计量标准器的研制	中国计量科学研究院	冯金扬	2219	2.5
5	高纯多肽及蛋白质中杂质精确分析计量装置开发与应用	中国计量科学研究院	黄泽建	1105	2.5
6	高精度重磁计量标准装置研发	工业和信息化部电子第五研究所	王实	877	2.5
7	多自由度系统位置与姿态过程控制计量关键技术研究	中国计量科学研究院	薛梓	495	2.5
8	食品、环境现场仪器与方法的计量溯源技术研究	中国计量科学研究院	马康	591	2.5
9	电能与电子气体关键计量技术研究	湖南省计量检测研究院	李庆先	776	2.5
10	人体生物特征识别关键技术标准研究	中国电子技术标准化研究院	王文峰	475	3
11	质量信息资源整合与数据挖掘共性技术标准研究	中国标准化研究院	王双	380	2.5
12	支撑重大环保设施高效运营的关键技术标准研究及应用	中国标准化研究院	黄进	314	3
13	重要设防建筑、港口及海洋科考领域灾害与风险防控技术标准研究	中国建筑标准设计研究院有限公司	邓焯	432	3
14	农产品产地环境评价分级与保护改良共性标准研究	山东大学	崔兆杰	371	3
15	农业清洁与循环生产共性技术标准研究	中国标准化研究院	杨丽	583	3
16	智慧农业生产流通设施与管理控制标准研究	北京农业信息技术研究中心	陈天恩	683	3
17	制造服务关键基础共性技术标准研究	机械工业仪器仪表综合技术经济研究所	刘丹	680	3
18	煤层气、页岩气及现代煤化工关键技术标准研究	煤炭科学技术研究院有限公司	李凤明	693	3
19	金融风险防控关键技术标准研究	中国金融电子化公司	安荔荔	495	3
20	数字出版技术标准研究	新闻出版总署信息中心	刘成勇	278	3
21	战略新兴产业重要国际标准研究(二期)	中国航天标准化研究所	陆静	694	3

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-05-07

高校为什么需要工程教育认证

西安大学王永泉教授在结合自身工作实践，深感于专业认证的意义绝非仅仅是为了获得某种资质、标签或身份认可，更重要的是，它在本质上体现着当前工程教育转型发展的某些深层次需要，并且为助推和实现这种转型提供了有效抓手。

近两年来，在协助院系负责人推进西安交大机械工程专业认证工作的过程中，笔者不时会感受到来自相当一部分教师以及基层教学管理人员的疑惑：我们为什么要做专业认证？这种认证是否形式大于内容？作为一种衍生于国际工程教育标准和框架的“舶来品”，它是否适合中国工程人才培养的实际情况？等等。如果对这些问题的回答不能给出教育学意义上的回答，如果仅仅把认证视为一种行政力量主导下的形式评估或衔接职业/执业资格认定的制度安排，就无法使一线教师真正理解、认同专业认证的基本理念、价值内涵并自觉加以践行，从而也就无法真正打通教育教学改革的“最后一公里”。

结合自身工作实践，笔者深感于，专业认证的意义绝非仅仅是为了获得某种资质、标签或身份认可，更重要的是，它在本质上体现着当前工程教育转型发展的某些深层次需要，并且为助推和实现这种转型提供了有效抓手。

一是教育价值转型的需要。

教育的核心在于培养什么样的人。工程人才在经过四年本科培养后的“产出 (Outcome)”标准究竟应该是什么，专业认证用 12 条必须涵盖和达成的毕业要求给予了明确回答。需要注意的是，在这 12 条指导性的通用标准中，仅有 5 条相关工程知识和技术性能力，而有 7 条则指向了工程社会观、团队协作、沟通表达、经济管理以及学生自我革新、终身学习的能力和素质。可以说，这在教育目标上是对长期将工程教育窄化为技术教育这一观念误区的有力冲击和矫正，更体现了未来新经济发展对具有综合性、多维度能力的新型工程科技人才的紧迫需求。它固然是对以华盛顿协议为代表的国际工程教育变革趋势和目标体系的积极响应，但也完全可植根于中国大地，赋予工程人才培养以具有中国特色、学校特色、专业特色的价值内涵。如西安交大机械工程专业在最新版本本科生培养目标中，即鲜明提出毕业生应具有“‘一等品行’和强烈的社会责任感”，树立“以‘精勤、敦笃、果毅、忠恕’为核心的人格价值观”，并分别在毕业要求第八条“职业规范”和第十二条“终身学习”下，将校训精神分解为 4 个有支撑、可考核、需达成的二级指标项，结合工程职业特点，对其进行了详细的内涵界定与阐释。

作为教育价值观的另一要义，教育的关照对象到底是谁？这似乎是一个不成问题的问题，但近年来在教育实践中却有一种有意无意被忽视甚至曲解的趋势。工程教育认证的首要理念就是以学生为中心，而以学生为中心的基本前提就是以全体学生为中心。也即是说，认证所强调的是以全体合格毕业生的平均水平来衡量教育质量，而不是仅仅针对个别拔尖的佼佼者。在这样的价值导向下，我们在评价中更应秉持的是一种面向本专业全体学生学习效果的“底线思维”，而所谓“亮点思维”“拔尖思维”，则庶几可以休矣。

二是教学模式转型的需要。

工程教育认证的三大理念，不仅传递着鲜明的价值取向，更蕴含着丰富的模式内涵。“产出导向（OBE）”在形式上对应的是一种由培养目标到毕业要求到课程体系再到教学目标、教学环节的结构化支撑体系；“持续改进”则是基于达成度评价分析的由多个闭环反馈环节所构成的规范化保障机制。它们在相对宏观的层面上，共同定义了人才培养体系构建和质量保证的基本模式与逻辑框架。而在具体的教学过程中，“以学生为中心”的理念在实践中同样聚焦于学生获得什么能力和能够做什么的目标产出，本质上是一种要求学生作为教学活动主体的培养模式，特征化地对应着讨论式、启发式、探究式、问题驱动式等主动学习方法。对照当前我们的课堂上仍普遍盛行的由教师主导的“指令式”教学模式，必须理性地看到，受文化观念、惯性思维和支撑条件等种种因素的制约，实现这一转型尚任重而道远。

三是教师行为转型的需要。

教育界一个广泛的说法是，教育教学改革“难在校长、痛在教师”。相信经历过评估认证的一线教师对后半句话都有深切感受。这种“痛”，或许首先来自于新的教育理念对既有思维和认识的冲击与撼动，同时——毋庸讳言，也来自于各种严格、繁复的形式上的规定与要求。但从长远来看，可能更多地来自于这些新标准、新模式、新方法对于教师能力素质的新的更高的要求。这两年，笔者也发现了身边一个颇具积极意义的现象，那就是不少教师尤其是青年教师在工作中的“能力恐慌”“本领恐慌”，已不再仅仅局限于科研，而开始更多地来自于教学。形式要素的构建有助于形成更好的教学规范、教学秩序与教风环境，但教师行为转型的深层含义在于如何科学、有效地实现从教学活动的主导者到引导者、参与者的角色转换。对于真正热爱教学工作的教师来说，这种“痛”与“快乐”无疑是伴生的。外部的力量一旦转化为内生的自觉，就会成为教师不断提升自身素质、转变教学模式、改进教学方法的原动力，而这，才是我们所有教育教学改革最根本、最直接、最持久的推动力。

—摘编自中国高等教育公众号 2018-05-10

端午节献礼之纳米粽子

说起端午节，自然而然就想到了粽子，大家每年到这个节日都会吃着香喷喷的粽子，一起怀念着伟大的诗人屈原。粽子从平面上看就是一个三角形，整体呈现是一个三棱柱形状。但是纳米粽子大家有见过吗？今天就给大家介绍一下材料美学之纳米粽子。

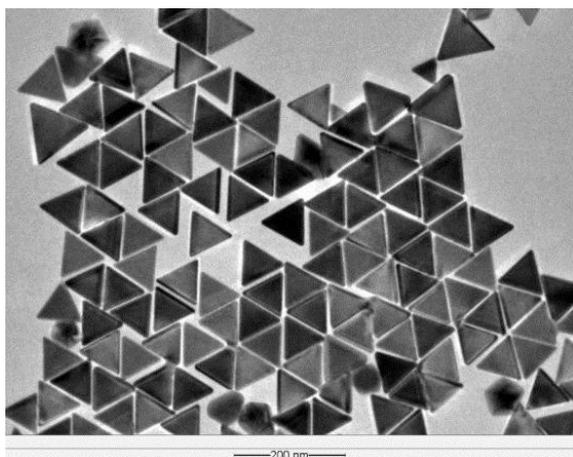


图 1 纳米粽子之银纳米三棱柱

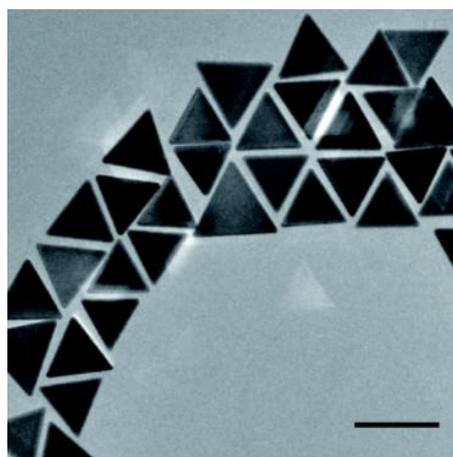


图 2 包覆表面活性剂的 Au 纳米粽子

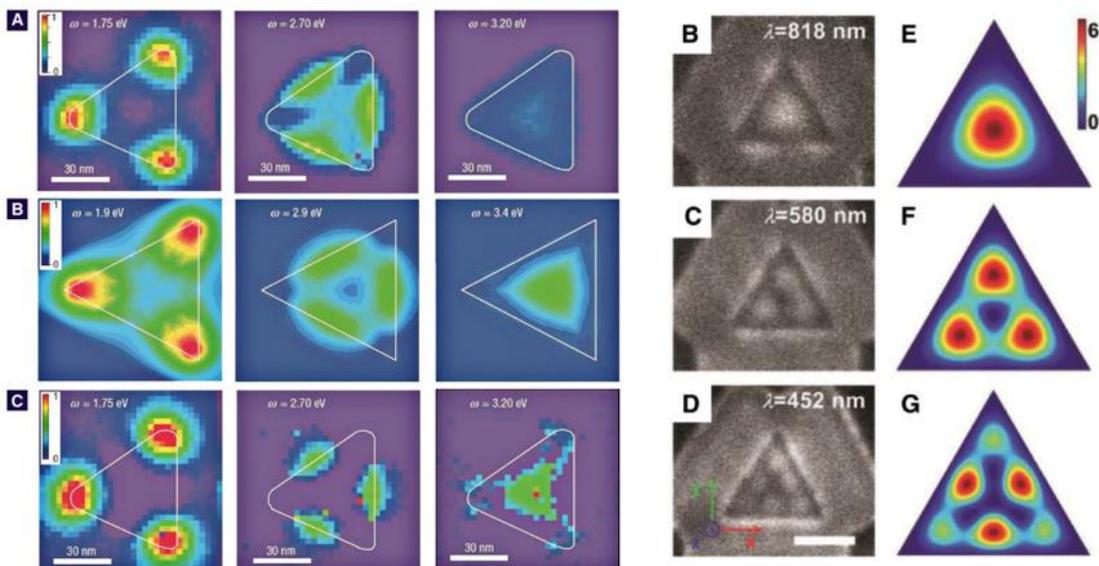


图 3 近场扫描显微镜表征 Ag 纳米粽子表面等离子体空穴；

图 4 带有不同“馅”的模板法生成的 Ag 纳米粽子及其分子图谱

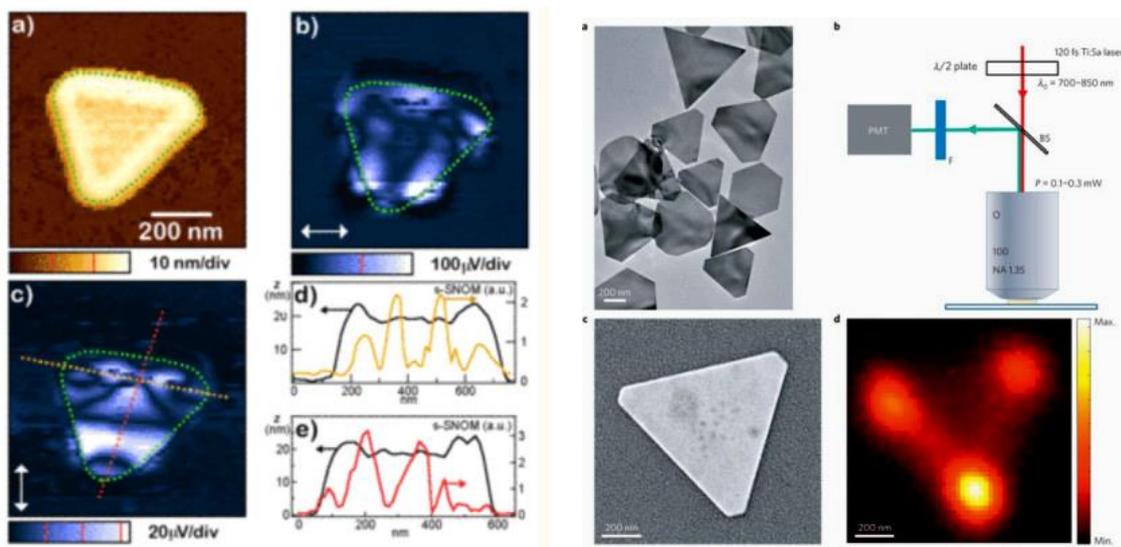


图 5 Au 纳米棒子的拓扑结构及其近场光学散射图谱及其光学行为；

图 6 Au 纳米棒子的双光子发光现象

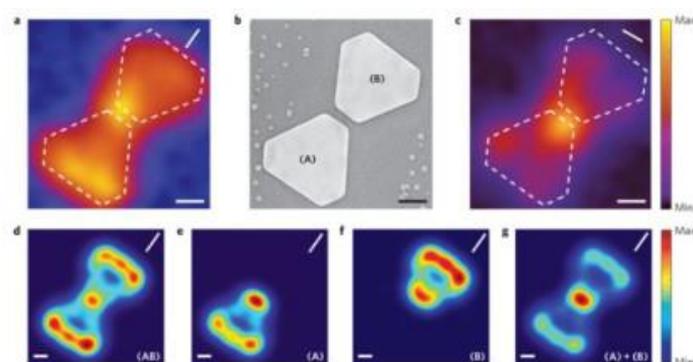


图 7 两个 Au 纳米棒子的结合

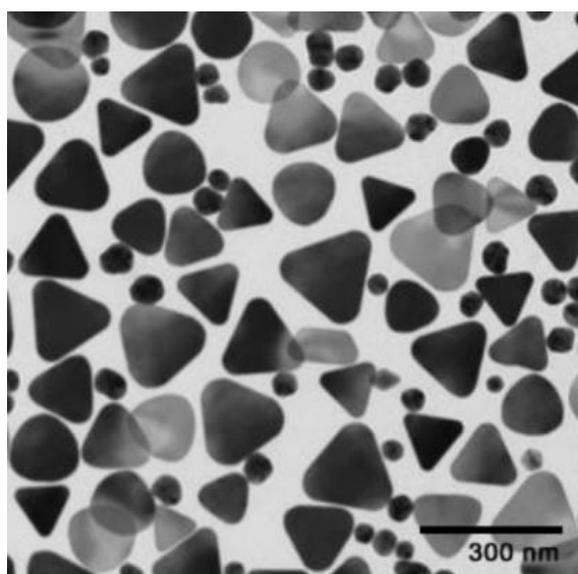


图 8 方圆相间的纳米粽子

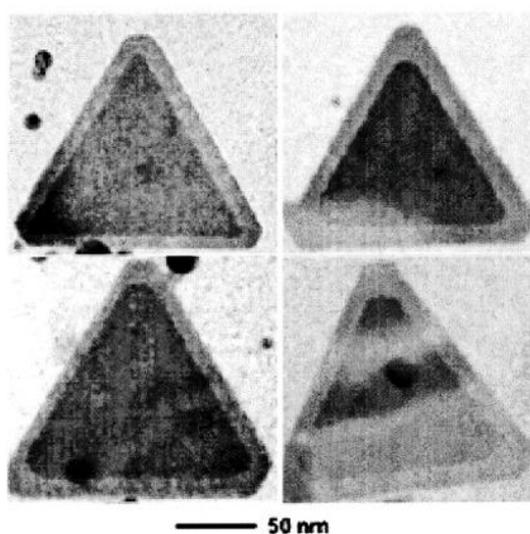
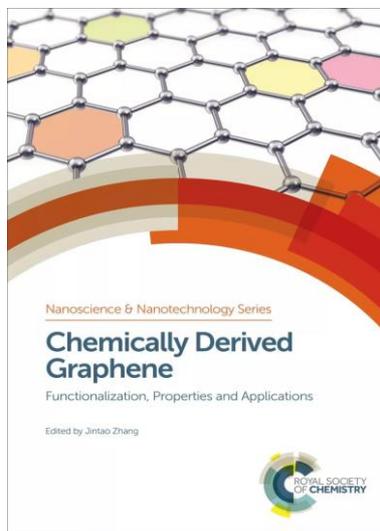


图 9 内部可调控的纳米粽子

—摘编自新材料在线公众号 2018-06-18

图 书 推 介



内容简介

受英国皇家化学会的邀请，山东大学化学与化工学院张进涛教授联合国内外的著名专家学者，历时两年从石墨烯的功能化、性质及应用方面倾心编著了这本内容紧凑、涵盖当前最新研究进展的石墨烯专业书籍。

石墨烯是由碳原子以 sp^2 杂化轨道组成的呈蜂巢状的二维碳材料。以其优异的电学、光学、力学特性，在化学、材料、能源、生物医药等领域具有重要的应用前景。近几年来，关于石墨烯的研究成果不断涌现。本书既可以做为初学者掌握石墨烯发展的入门启蒙书籍，又可帮助科研工作者快速了解相关领域的研究动态和进展。

作者简介

张进涛，山东大学化学与化工学院教授、博士生导师。主要从事碳基功能材料的电化学催化与储能方面的研究工作。博士毕业于新加坡国立大学，并先后在新加坡南洋理工大学和美国凯斯西储大学做博士后。至今，在 *Nature Nanotech.*、*Nature Commun.*、*Angew. Chem. Int. Ed.* 等刊物上发表论文 40 余篇，已被引用 4500 余次，H 指数为 26。单篇论文引用 690 余次，10 篇入选 ESI 高被引论文。

图书名称：Chemically Derived Graphene: Functionalization, Properties and Applications

作 者：张进涛

出版社：RSC 英国皇家化学会, 2018-6