

材料月报

第 3 期

太原理工大学材料学院 主办

2018 年 7 月 20 日

要 目

P6 钙钛矿太阳能电池破记录

北京大学物理学院的朱瑞研究员、龚旗煌院士与合作者展开研究，首次采用“胍盐辅助二次生长”技术调控钙钛矿半导体特性，在提升反式结构钙钛矿太阳能电池性能方面取得了突破性成果，创下了该类太阳能电池器件效率的最高记录，相关研究发表于《Science》。

P10 力学结构超材料取得重要进展

清华大学李晓雁课题组、与中国科学院金属所、美国布朗大学以及大连理工大学合作，设计并制备了一种由高熵合金和聚合物组成的复合纳米点阵超材料。兼具高强度和良好的可恢复性，该研究发表于《Nano Letters》。

P14 米级单壁碳纳米管薄膜

中国科学院金属研究所先进炭材料研究部孙东明团队与刘畅团队合作，提出了一种连续合成、沉积和转移单壁碳纳米管薄膜的技术，实现了米级尺寸高质量单壁碳纳米管薄膜的连续制备，并基于此构建出高性能的全碳薄膜晶体管（TFT）和集成电路（IC）器件，该研究发表于《Advanced Materials》。

P16 纸上画出高效摩擦纳米发电机

近日，浙江大学朱智源博士研究小组研发了一种新型的 X 型高效摩擦纳米发电机，具有结构简单、体积小、成本低、以及可收集人体运动能等诸多特点。这项研究发表于《Nano Energy》。

目 录

前沿要闻

- P1 碳纳米管可以作为新兴的量子光源
- P2 连续波升频转换纳米微粒微型激光器
- P3 在平面 α -Fe₂O₃/Co 异质结构中室温下观察磁涡旋对
- P4 由表面活性剂胶束导向的高度对称超小型无机笼的自组装
- P5 通过与非手性磁性底物的对映体特异性相互作用分离对映体

科研进展

- P6 钙钛矿太阳能电池破记录
- P8 熔融锂金属电池获重要进展
- P9 中科院成功合成金属氮
- P10 力学结构超材料取得重要进展
- P12 综述：调控石墨烯带隙的界面技术
- P14 米级单壁碳纳米管薄膜
- P16 纸上画出高效摩擦纳米发电机
- P18 变“废气”为高附加值高分子材料

材料动态

- P20 全球首发：首钢超低噪声取向硅钢
- P21 马钢现有设备也能生产 QP980 了

高等教育

- P22 本科教育应该怎么搞？来看看川大的答卷

材料美学

- P24 材料界隐藏着一位印象派艺术大师

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7月20日

（第003期）

仅供内部参阅，正式引用时请
自行核实

碳纳米管可以作为新兴的量子光源

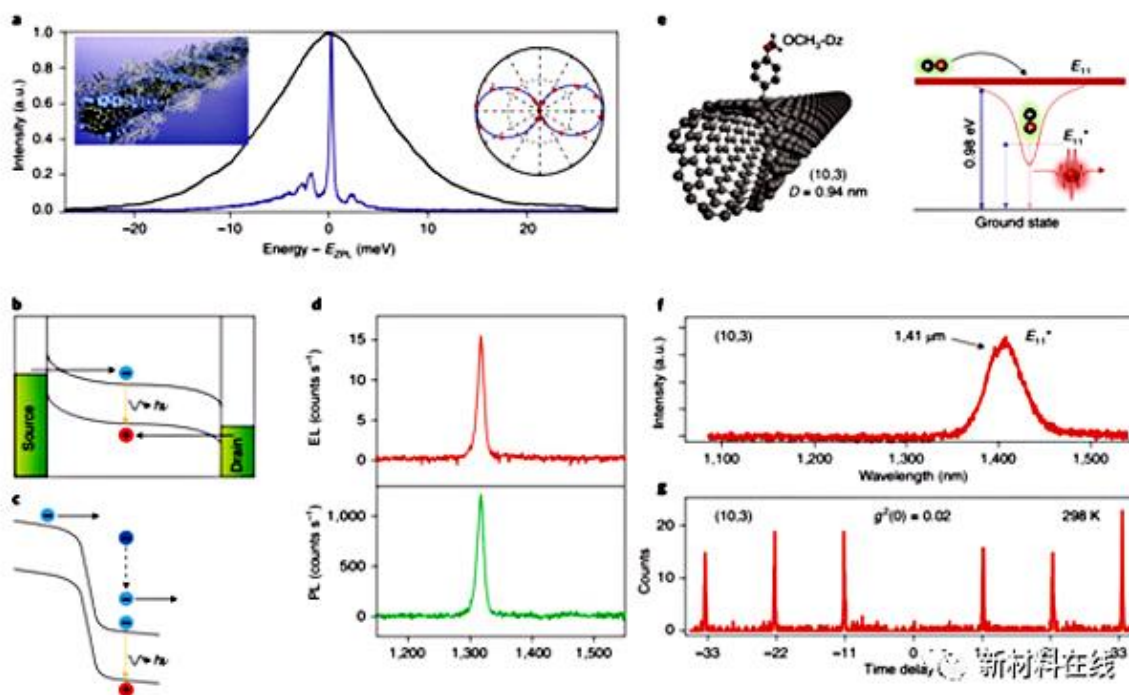
(Carbon nanotubes as emerging quantum-light sources)

材料名称：碳纳米管

研究团队：法国国家科学研究中心 Y. Chassagneux 和 C. Voisin 研究组

量子计算和量子密码学的进步，需要有室温下电信波长的高效电子触发单光子源。长期以来人们都知道半导体单壁碳纳米管（SWCNT）会表现出强烈的激子结合并在很宽的波长范围内发光，但是由于其量子产率较低且对光谱扩散和闪烁具有高敏感性，因而阻碍了其应用。He 等人讨论了通过化学、电接触和谐振器耦合来主导 SWCNT 光学性质并改进它们作为量子光源用途的最新进展。并按照单光子纯度、产生效率和不可分辨性对最新的结果进行了描述。最后，还考虑了 SWCNT 的独特性质以及基于 SWCNT 的芯片集成量子光子源最有前景的道路上的主要根本挑战。

(Nature Materials DOI: 10.1038/s41563-018-0109-2)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-25

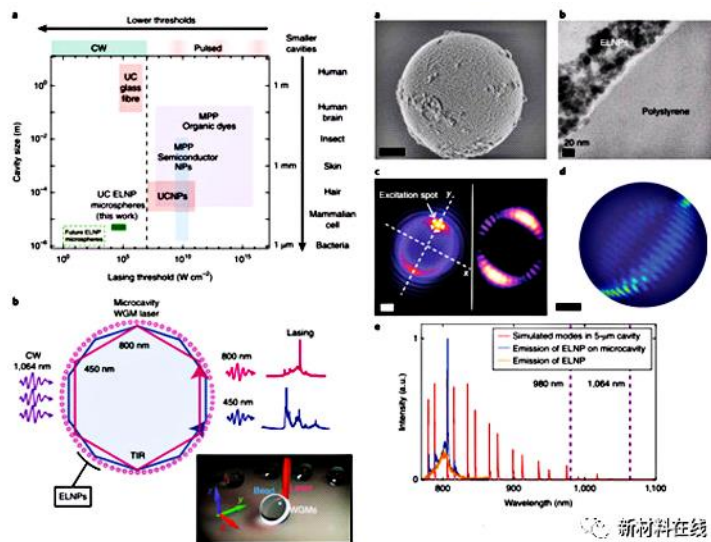
连续波升频转换纳米微粒微型激光器

(Continuous-wave upconverting nanoparticle microlasers)

材料名称: Tm^{3+} 掺杂升频转换纳米微粒

研究团队: 美国劳伦斯伯克利国家实验室 Emory M. Chan 和 P. James Schuck 研究组

将激光器的尺寸缩小到微尺度的尺寸能够实现专门针对从超高速微处理器到活脑组织等有限空间内的操作而设计的新技术。然而，腔尺寸减小会增加光学损耗，并需要更大的输入功率才能达到激光阈值。使用纳米材料如镧系元素掺杂的升频转换纳米微粒 (UCNP) 作为激光介质小型化的多光子泵浦激光器需要高泵浦强度来实现紫外和可见发射并且因此要在脉冲激励情况下工作。Fernandez-Bravo 等人利用最新描述的 Tm^{3+} 掺杂的 UCNP 中的能量循环激发机制，在低至 $14 \text{ kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的激发能量下在独立微腔中实现了连续波升频转换激光作用。连续波激光是不间断的，并使信号最大化且实现了光学相互作用的调制。通过将能量循环纳米微粒耦合到聚苯乙烯微球体的回音壁模式，Fernandez-Bravo 等人同时在蓝色和近红外波长处诱导实现了超过 5 小时的稳定激射。这些微腔在能够透射生物的第二近红外 (NIR-II) 窗口中被激发，并且足够小能够嵌入到生物体、组织或装置中。并且在浸入血清中的微腔中产生连续波激射的能力突出了这些微型激光器在复杂生物环境中用于感测和照射的实际应用。(Nature Nanotechnology DOI: 10.1038/s41565-018-0161-8)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-25

在平面 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}$ 异质结构中室温下观察磁涡旋对

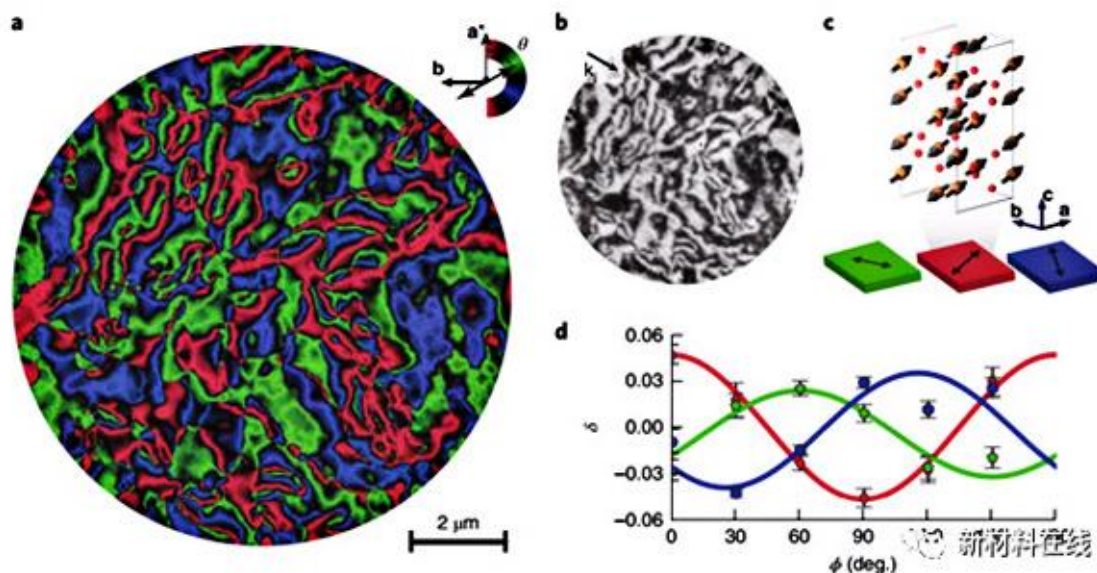
(Observation of magnetic vortex pairs at room temperature in a planar $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}$ heterostructure)

材料名称: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}$ 异质结构

研究团队: 英国牛津大学 C.-B. Eom 和 P. G. Radaelli 研究组

当流场围绕一维核心“旋转”时发生的涡旋是最简单的拓扑结构（物理学的许多分支中普遍存在）之一。在结晶态中，涡旋的形成是很少见的，因为其通常受到远距离相互作用的阻碍：在铁质材料（铁磁和铁电）中，只有当偶极-偶极相互作用的影响通过纳米尺度的限制或者与涡量相关的参数不直接与应变耦合时，才会观察到涡旋。Chmiel 等人在反铁磁赤铁矿（ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）外延膜中观察到了前所未有的涡旋形式，其中的初级涡旋参数是交错磁化。值得注意的是，其中在超薄 Co 铁磁层上通过界面交换印上了具有与 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 涡旋相同涡度和绕数的铁磁拓扑物体。数据表明，铁磁涡旋可能是 meron（半斯格明子，带有离面核心磁化），并表明涡旋/meron 对可以通过施加面内磁场来操纵，从而产生大规模的涡旋-反涡旋湮灭。

(Nature Materials DOI: 10.1038/s41563-018-0101-x)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-25

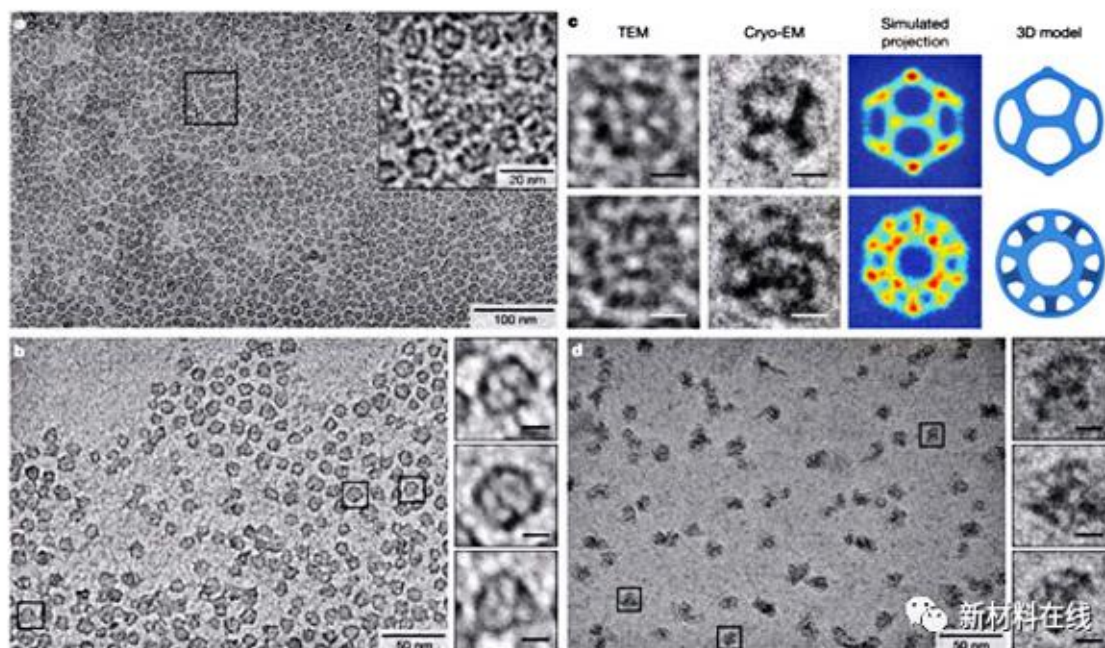
由表面活性剂胶束导向的高度对称超小型无机笼的自组装

(Self-assembly of highly symmetrical, ultrasmall inorganic cages directed by surfactant micelles)

材料名称：十二面体二氧化硅笼

研究团队：美国康奈尔大学 Ulrich Wiesner 研究组

最近已经有能够从 DNA、RNA 或蛋白质组装而成具有高度对称的笼状多面体形状（通常具有二十面体对称性）纳米大小的实体，用于生物学和医学应用。这些成就取决于可编程自组装生物材料的发展，以及用于从单粒子的低温电子显微镜图像中产生三维（3D）重建（提供生物复合物的高分辨率结构表征）技术的快速发展。但这种单颗粒三维重建方法还未成功应用于高度对称笼状合成无机纳米材料的鉴定。Ma 等人利用冷冻电子显微镜和单颗粒三维重建相结合，表明存在具有十二面体结构的孤立超小型（小于 10 nm）二氧化硅笼。并表明了这种高度对称的自组装笼，可以通过在带有相反电荷的表面活性剂胶束表面上的水溶液中排列初级二氧化硅簇而形成。这一发现为由二氧化硅和其他无机材料制成的用作各种先进功能材料应用构筑块的纳米级笼子铺平了道路。（Nature DOI: 10.1038/s41586-018-0221-0）



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-25

通过与非手性磁性底物的对映体特异性相互作用分离对映体

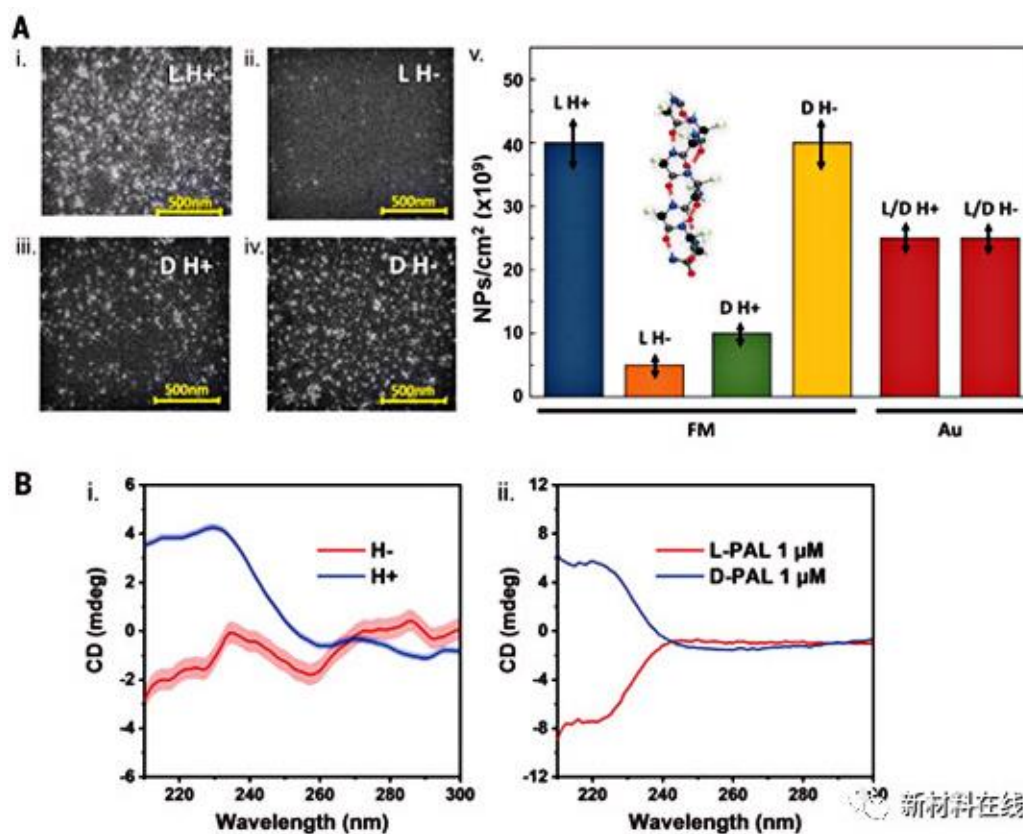
(Separation of enantiomers by their enantiospecific interaction with achiral magnetic substrates)

材料名称：对映体

研究团队：以色列希伯来大学 Yossi Paltiel 研究组

通常认为，无论是在自然界还是在人造系统中，手性的识别和辨别都完全依赖于空间效应。然而，最近的研究表明手性分子中的电荷再分布表现出了对电子自旋取向的对映选择性偏好。因此 Banerjee-Ghosh 等人推断诱导自旋极化可能能够通过交换相互作用影响对映体识别。并通过实验表明，手性分子与垂直磁化底物的相互作用是对映体特异性的。因此，当磁偶极朝上时，其中一种对映体优先吸附，而磁化朝向相反时则另一种对磁体吸附更快。相互作用不是由磁场本身控制的，而是由电子自旋取向控制的，并且该研究开启了用于对映体分离的独特方法的前景。

(Science DOI: 10.1126/science.aar4265)



—摘编自新材料在线公众号 2018-06-25

钙钛矿太阳能电池破记录

(Enhanced photovoltage for inverted planar heterojunction perovskite solar cells)

北京大学物理学院“极端光学创新研究团队”的朱瑞研究员、龚旗煌院士与合作者展开研究，首次采用“胍盐辅助二次生长”技术调控钙钛矿半导体特性，在提升反式结构钙钛矿太阳能电池性能方面取得了突破性成果，创下了该类太阳能电池器件效率的最高记录。相关研究于2018年6月29日在国际顶级学术期刊《科学》(Science)上发表。

随着人类社会的不断进步，由工业生产所导致的能源和环境问题日益凸显，化石燃料（石油、煤炭、天然气等）的有限储量及其燃烧带来的全球变暖等问题促使人们不断地寻找和开发绿色可再生的新型能源。太阳能具有清洁、无污染、分布广泛且能量充分的优势，是有希望获得大规模应用的新型能源之一。

太阳能电池利用光生伏特效应将太阳光能直接转化为电能，受到来自学术界和工业界的广泛关注和研究，也得到了各国政府的大力支持。近年来，钙钛矿太阳能电池以其制备简单、成本低和效率高的优势迅速崛起成为新型光伏技术领域的新宠，其光电转换效率在短短八年内实现了跳跃式增长，目前报道的最高效率已达到商业化单晶硅太阳能电池的效率水平，表现出极大的优势和应用潜力。

钙钛矿太阳能电池分为正式(n-i-p)和反式(p-i-n)两种器件结构。相比于正式器件，反式结构器件因制备工艺更加简单、可低温成膜、无明显回滞效应、适合与传统太阳能电池（硅基电池、铜铟镓硒等）结合制备叠层器件等优点，受到越来越多的关注。但是，反式结构器件也存在一些显著不足，例如，开路电压与理论值差距较大、光电转换效率相对偏低，这主要是由于器件中存在大量的缺陷所导致。这些缺陷主要存在于钙钛矿活性层中、钙钛矿活性层与电荷收集层界面处，造成了光生载流子的非辐射复合，进而致使能量损失严重，最终限制了开路电压的提升和光电转换效率的改善，制约了该类结构器件的发展。

针对反式结构钙钛矿太阳能电池在光电转换效率上存在的瓶颈，朱瑞研究员、龚旗煌院士与合作者展开研究，首次提出了“胍盐辅助二次生长”方法，开创性地实现了钙钛矿薄膜半导体特性的调控，显著降低了器件中非辐射复合的能量损失，在提升器件开路电压方面取得了突破，首次在反式结构器件中获得了超过1.21 V的高开路电压（材料带隙宽度~1.6 eV）。同时，在不损失光电流和填充因子等性能参数的情况下，显著提高了反式结构钙钛矿电池的光电转换效率——实验室最高效率

达到 **21.51%**。

经中国计量科学研究院认证，器件的光电转换效率也高达 **20.90%**，这是目前反式结构钙钛矿太阳能电池器件效率的最高记录。该结果为提升反式钙钛矿太阳能电池器件效率、推进该类新型光伏器件的应用化发展提供了新思路。这种制备技术也有望进一步拓展到钙钛矿叠层太阳能电池以及钙钛矿发光器件中，**具有潜在的应用前景和商业价值。**



图 1. 左：反式结构钙钛矿太阳能电池。右：电池器件在正向电压（ 2V ）下的发光照片（表明电池器件具有较低的非辐射复合能量损失）。

研究论文的共同第一作者是朱瑞研究员课题组的博士研究生罗德映和杨文强，以及牛津大学的王植平博士。合作者还包括英国牛津大学的 **Henry J. Snaith** 教授课题组、萨里大学的张伟博士课题组和剑桥大学的 **Richard H. Friend** 教授课题组等。该工作得到国家科技部、自然科学基金委、北京大学人工微结构和介观物理国家重点实验室、“极端光学协同创新中心”“2011 计划”量子物质科学协同创新中心、“青年千人计划”、英国工程和自然科学研究委员会（EPSRC）以及皇家学会等单位的支持。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-05

熔融锂金属电池获重要进展

(An intermediate temperature garnet-type solid electrolyte-based molten lithium battery for grid energy storage)

7月2日，清华大学材料学院伍晖副教授课题组与斯坦福大学崔屹等合作，在《自然能源》(Nature Energy)上发表了题为《一种用于电网储能的中温石榴石固态电解质基熔融锂电池》的研究论文。提出了一种面向大规模储能应用的全电池系统，设计并验证了以熔融锂金属为负极，锡铅合金和铋铅合金为正极， $\text{Li}_{6.4}\text{La}_3\text{Zr}_{1.4}\text{Ta}_{0.6}\text{O}_{12}$ (LLZTO)陶瓷管为电解质的液态金属电极(LME)电池。通过将固态电解质引入LME电池，有效降低了LME电池的运行温度，显著提高了电池的库伦效率和循环寿命。

可充电电池具有能量效率高，成本可控，不受地形空间限制等优点，应用于储能领域具有较大的潜力。储能电池需要满足高功率、高安全性、长寿命和低成本等要求，新一代储能电池的开发，一直是电池研究领域的热点。LME电池是大规模储能电池的候选方案，在这一类电池体系中，如何降低电池的工作温度、减少电池的成本、提高电池的可靠性和安全性，是LME电池发展的主要挑战。

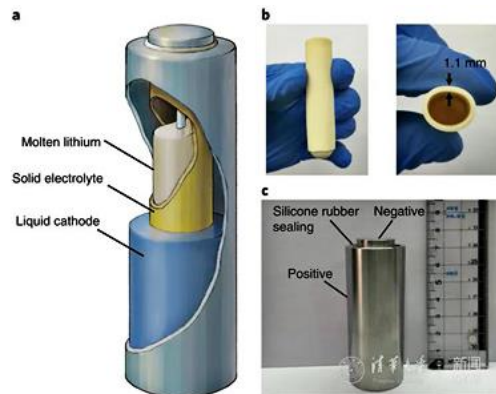


图1 基于固态电解质的熔融锂电池的示意图

为解决上述问题，伍晖副教授课题组与美国斯坦福大学崔屹教授课题组合作，将固态电解质引入LME电池(如图)，取代传统的熔融盐电解质(通常需要 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的运行温度)，将LME电池的运行温度降低至 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。LLZTO固态电解质在 $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 工作时具有远高于室温条件下的离子电导率，可以实现在大电流密度下的充放电，且可以有效抑制电池自放电和副反应，提升电池的库伦效率。这种新型电池系统未来有望在大规模储能系统中得以应用。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-15

中科院成功合成金属氮

(Metallization and molecular dissociation of dense fluid nitrogen)

近期，中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所极端环境量子物质中心在合成超高含能材料金属氮方面取得突破。量子中心科研团队采用超快探测方法与极端高温高压实验技术，以普通氮气为原材料成功合成了超高含能材料聚合氮和金属氮，揭示了金属氮合成的极端条件范围、转变机制和光电特征等关键问题，将金属氮的研究向前推进了一大步。相关成果发表在 Nature Communications 上。

氮是自然界中含量最丰富的元素之一，氮气占大气总量的 78%。通常情况下氮气以无色无味的双原子气体分子形式存在，然而在极端高温高压条件下，氮分子会发生一系列复杂的结构和性质变化，比如分子发生解离进而发生聚合作用形成聚合氮或进一步形成金属氮，这两种形态的氮材料都是典型的超高含能材料，是目前常用炸药 TNT 能量密度的十倍以上，具有含能密度高、绿色无污染和可循环利用等种种优点，如果能作为燃料应用于载人火箭一、二级推进器，有望将目前火箭起飞重量提升数倍以上。其原子形态“金属氮”的成功合成，更能够为“金属氮”的实现提供重要参考。然而，金属氮并不容易获得，需要高达百万大气压(GPa)的极端高压和几千度(kK)的高温条件。

基于氮气合成高含能材料的研究由来已久，其中高温高压合成方法被证明是最有效的合成方法之一。然而，鉴于传统的高温高压实验方法和探测手段的局限性，前人的结果仅仅部分地反映了氮在极端条件下的行为，而其由绝缘态的氮分子向金属氮转变的压力-温度-物性全息相图并未被实验研究揭示过。

量子中心科研团队在原有的金刚石对顶砧装置的基础上，引入了脉冲激光加热技术和超快光谱探测方法，建成了集高温高压产生及物性测量的原位综合实验系统。利用综合实验系统，研究人员获取了高达 170 GPa、8000 K 高温高压极端条件，并在此条件下原位研究了氮分子在绝缘体-半导体-金属转变过程中的光学吸收特性和反射特性，确定了氮分子解离的相边界及金属氮合成的极端压力温度条件范围 (125 GPa-2500 K 以上)，原位光谱分析研究也进一步证实了实验中确实合成了具有半金属性质的聚合氮和具有完美金属特性的“金属氮”。极端高温高压条件下聚合氮和金属氮的合成，不仅能够对其他形式高能氮材料的合成提供指导，也为未来“金属氮”的成功合成奠定了重要基础。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-11

力学结构超材料取得重要进展

(Three-Dimensional High-Entropy Alloy - Polymer Composite Nanolattices That Overcome the Strength - Recoverability Trade-off)

清华大学航天航空学院李晓雁课题组、与中国科学院金属所、美国布朗大学以及大连理工大学合作，在《纳米快报》(Nano Letters)发表了题为《克服强度-可恢复性制约的三维高熵合金—聚合物复合纳米点阵超材料》的研究论文。设计并制备了一种由高熵合金和聚合物组成的复合纳米点阵超材料。该点阵材料兼具高强度和良好的可恢复性，克服了早先所有微纳米点阵材料的强度与可恢复性之间相互制约的问题。

三维微纳米点阵材料具有优异的力学性能，如低密度、高刚度等。但是，现有的微纳米点阵材料的强度与可恢复性之间存在着相互约束，即**高强度的点阵材料通常表现为脆性，而可恢复性能好的点阵材料的强度较低**。这一强度与可恢复性的制约在很大程度上限制了微纳米点阵材料在能量存储和机械致动等领域的应用潜力。

李晓雁课题组提出了一种基于复合材料的设计方案，解决上述难题。该设计方案首先采用了**先进的纳米尺度增材制造技术**（三维双光子光刻激光直写）直接打印高弹性聚合物材料组成的纳米点阵结构（最小特征尺寸约为 260 nm），然后通过磁控溅射手段将具有高强度的高熵合金材料均匀镀层在聚合物骨架的表面（厚度仅为 14.2-126.1 nm），从而实现了“1+1>2”的优异力学性能。

该纳米点阵不仅保有聚合物材料的高弹性和良好的可恢复性，而且由于高熵合金纳米镀膜的存在，使得该纳米点阵兼具高强度的优点，从而使得该复合纳米点阵材料克服了早先微纳米点阵材料具有的强度与可恢复性之间相互制约的问题。

在论文中，研究团队首先展示了该复合纳米点阵材料的制备和微结构及其力学性能表征。通过原位扫描电镜压缩实验证实了复合纳米点阵材料同时具有高的强度和良好的可恢复性。该纳米点阵结构的比强度高达 $0.027\text{MPa/kg} \cdot \text{m}^3$ ，最大压缩应变超过 50% 仍然可以实现几乎完全恢复，且单位体积能量吸收高达 4.0MJ/m^3 ，这一数值比自然界具有相同密度的多孔材料高 1-3 个数量级。研究结果同时表明，随着高熵合金镀层厚度的增加，压缩过程中主要变形机制发生从局部屈曲到脆性断裂的转变。当厚度介于 14.2-50.0nm 之间时，复合纳米点阵材料的比模量和比强度达到极大。

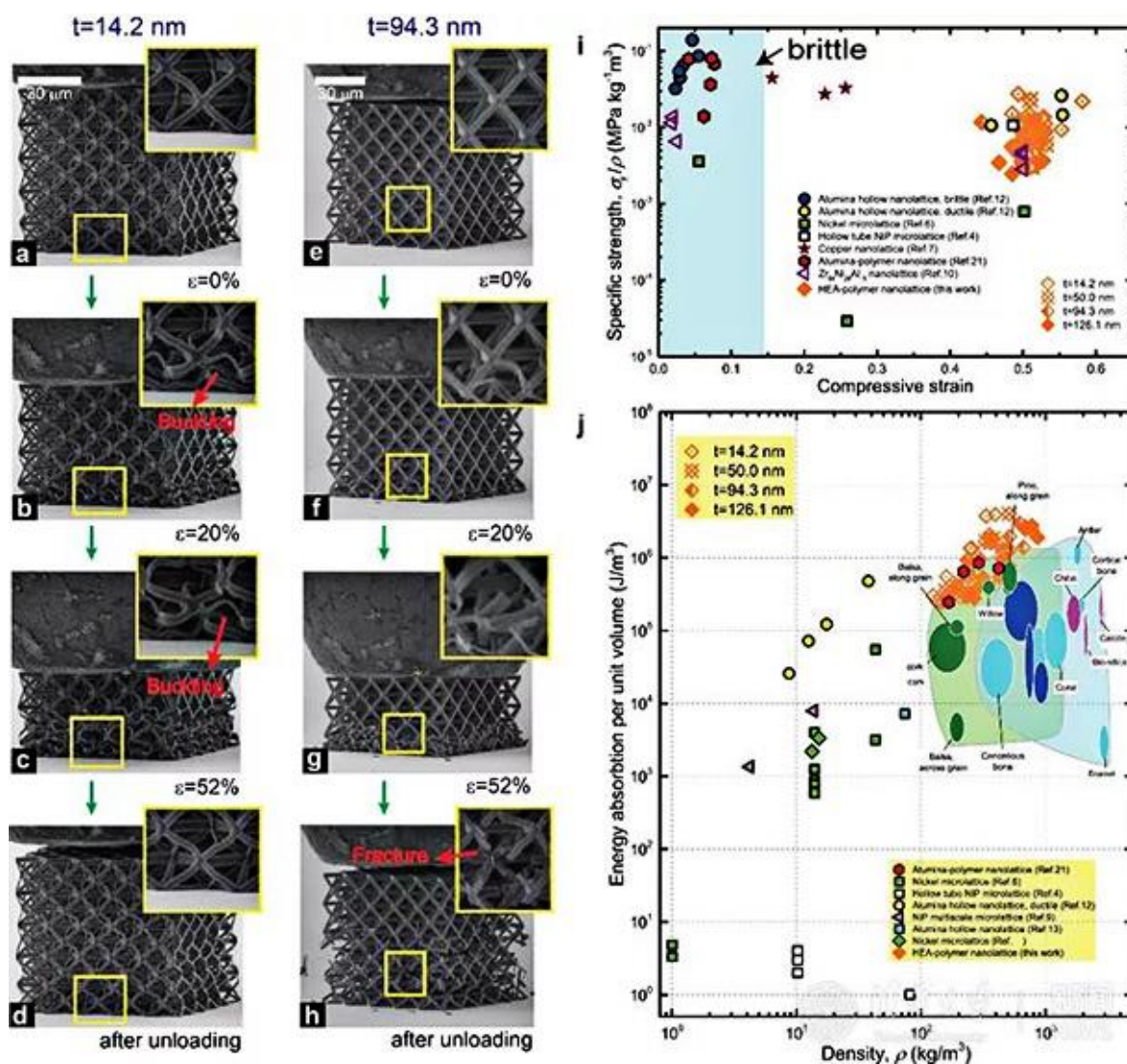


图 1 (a-h) 复合纳米点阵材料的原位电镜压缩实验；(i,j) 复合纳米点阵材料的比强度、单位体积能量吸收与其他微纳米多孔材料的比较

近年来，李晓雁副教授研究团队主要从事新型微纳米结构材料力学行为和力学性能的研究，在相关领域取得了多项重要的成果。相关工作发表在《自然材料》(Nature Materials)、《自然通讯》(Nature Communications)、《科学进展》(Science Advances)、《先进材料》(Advanced Materials) 等期刊上。

清华大学航院李晓雁副教授、中科院金属所姚佳昊副研究员、李毅研究员和美国布朗大学高华健教授为本文的共同通讯作者。清华大学航院 2013 级博士生张璇为本文第一作者。该研究得到了国家自然科学基金项目、中组部青年千人计划项目的资金支持。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-16

综述：调控石墨烯带隙的界面技术

(Interfacial engineering in graphene bandgap)

近期，北京大学刘开辉教授等在英国皇家化学会综述类旗舰刊物 *Chemical Society Reviews* 上发表综述文章，从化学手段和物理手段两个方面，详细地总结了打开石墨烯带隙的界面技术在理论和实验方面的最新进展，并指出这些技术有极大的可能拓展石墨烯材料在半导体和电子工业及其他领域内的应用。

石墨烯自被发现以来，迅速引发了科学家的研究热潮，其制备技术在过去十几年里取得了极大提高，为石墨烯的工业化生产与应用奠定了基础。

石墨烯具有优异的电学性质，是制造电子学元件的理想材料。然而，因为石墨烯是零带隙材料，用其制成的场效应晶体管（FET）的通断不能通过栅极控制，极大地限制了它在电子学器件上的应用。

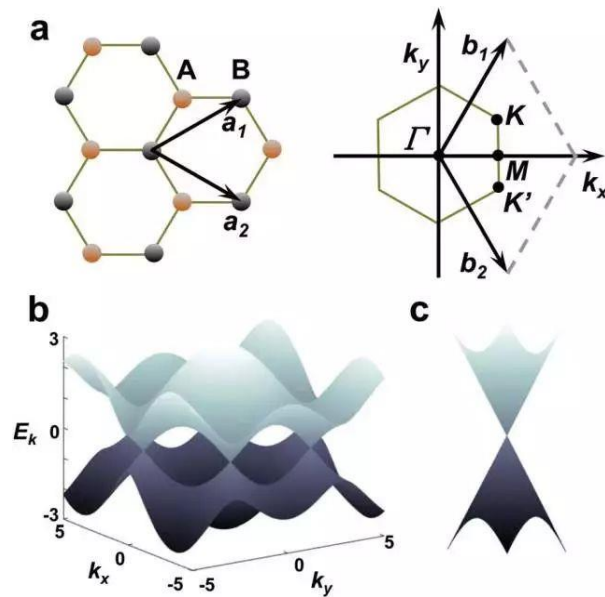


图 1 石墨烯的结构：(a) 石墨烯的蜂窝状晶格及其布里渊区；(b) 石墨烯的能带结构；(c) 一个狄拉克点附近的线性色散。

本篇综述介绍了调控石墨烯带隙的界面技术，指出化学和物理手段相辅相成，并用“太极阴阳图”进行类比。比如：物理手段能够保留石墨烯的 sp^2 杂化和蜂巢晶格结构，保持高载流迁移率并同时诱导产生相当大的带隙。这种方法可以充分保持石墨烯的优异性质。另一方面，虽然化学手段改变了石墨烯的原始晶格，并因此失去了一些优势，但使用化学工艺能够使石墨烯打开带隙的工业化生产成为了可能。

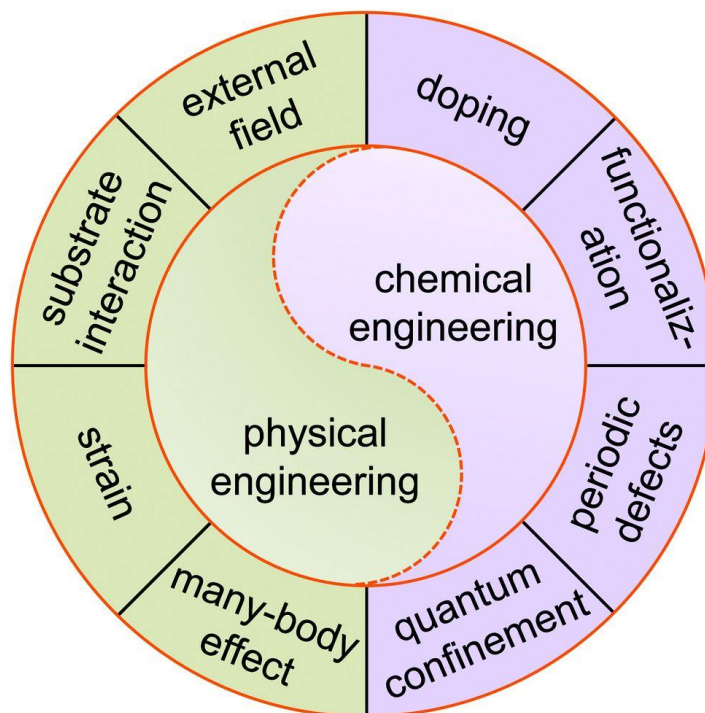


图 2 本篇综述中所涵盖的主题: 界面工程调控石墨烯带隙的方法, 包括化学手段和物理手段两类。

在本篇综述文章中, 作者们总结了打开石墨烯带隙的界面技术在理论和实验方面的最新进展, 将其归类为化学手段和物理手段两大类, 并进行了详尽的总结。化学手段是指改变石墨烯原始晶格的方法, 包括: 化学功能化修饰、引入缺陷、掺杂、与基底形成化学键和引入量子限制。物理手段是指保持石墨烯完整原子结构的方法, 包括: 引入外电场、与基底的相互作用、物理吸附、应变、皱褶和考虑多体效应以及利用自旋轨道耦合。

在本篇综述最后的结论和展望部分, 作者指出这些调控石墨烯带隙的手段为其今后在电子学和光子学等方面的应用开辟了新的方向, 但各自也存在着优劣势。同时, 使用物理和化学相结合的方法, 为今后工业级调控石墨烯带隙提供了新思路。

本文为 *Chem. Soc. Rev.* 特刊 *2D nanomaterials: graphene and transition metal dichalcogenides* 的内封面文章。

—摘编自 RSC 英国皇家化学会 2018-06-29

米级单壁碳纳米管薄膜

(Size-Dependent Grain-Boundary Structure with Improved Conductive and Mechanical Stabilities in Sub-10-nm Gold Crystals)

近日，中国科学院金属研究所先进炭材料研究部孙东明团队与刘畅团队合作，提出了一种连续合成、沉积和转移单壁碳纳米管薄膜的技术，实现了米级尺寸高质量单壁碳纳米管薄膜的连续制备，并基于此构建出高性能的全碳薄膜晶体管（TFT）和集成电路（IC）器件。

单壁碳纳米管具有优异的力学、电学和光学性质，在柔性和透明电子器件领域可作为透明电极材料或半导体沟道材料，因此被认为是最具竞争力的候选材料之一。开发出可高效、宏量制备高质量碳纳米管薄膜的方法已成为该材料走向实际应用的关键难题。首先，迄今制备的单壁碳纳米管薄膜的尺寸通常为厘米量级，批次制备方式不能满足规模化应用要求。其次，由于在碳纳米管薄膜制备工艺过程中通常会引入杂质和结构缺陷，使得薄膜的光电性能劣化，远低于理论预测值。因此，发展一种高效、宏量制备高质量单壁碳纳米管薄膜的制备方法具有重要价值。

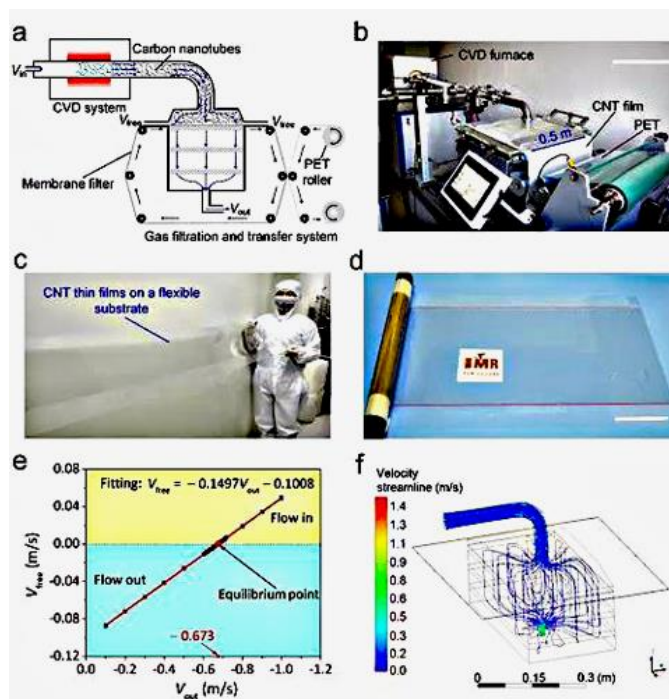


图1 米级单壁碳纳米管薄膜的制备。(a) 碳纳米管连续合成、沉积和转移过程示意图。(b) 实验装置图。(c) 柔性PET衬底上的单壁碳纳米管薄膜。(d) 一卷单壁碳纳米管薄膜。

(e) 气体速度的仿真曲线。(f) 平衡状态的气流分布仿真结果。

研究人员采用浮动催化剂化学气相沉积方法在反应炉的高温区域连续生长单壁碳纳米管，然后通过气相过滤和转移系统在室温下收集所制备的碳纳米管，并通过卷到卷转移方式转移至柔性 PET 基底上，获得了长度超过 2m 的单壁碳纳米管薄膜。对该过滤沉积过程进行流体仿真，其结果表明当调节出气口速度使抽滤过程处于平衡状态时，该过滤系统中的气流呈现出均匀的气流速度分布（图 1）。

通过该方法制备的单壁碳纳米管薄膜表现出优异的光电性能和分布均匀性，在 550 纳米波长下其透光率为 90%，方块电阻为 65 Ω/\square 。研究人员利用所制备的碳纳米管薄膜构筑了高性能全碳柔性透明晶体管（图 2）以及异或门、101 阶环形振荡器等柔性全碳集成电路。

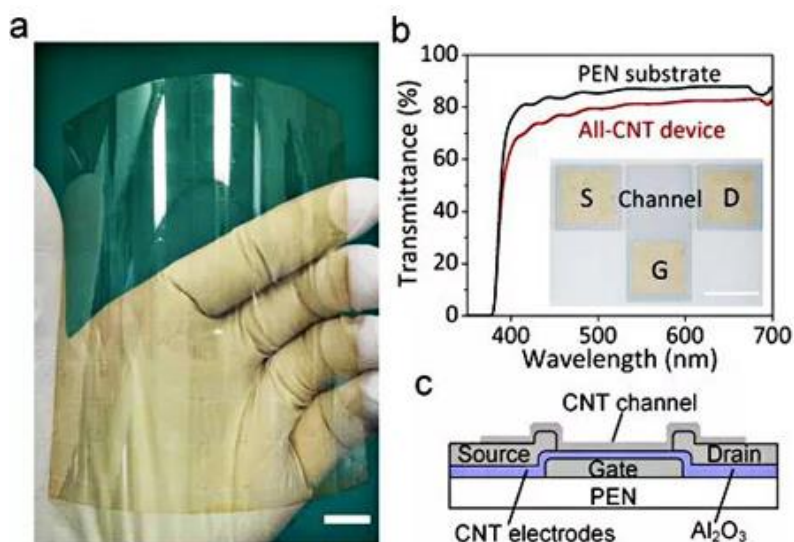


图 3 大面积柔性全碳器件。(a) 柔性透明全碳器件照片。(b) 器件光学透过率曲线。
(c) 全碳 TFT 结构示意图。

这是研究人员首次开发出米级长度的单壁碳纳米管薄膜的连续生长、沉积和转移技术，所制备的单壁碳纳米管薄膜及其晶体管具有优异的光电性能，为未来开发基于单壁碳纳米管薄膜的大面积、柔性和透明电子器件奠定了材料基础。该工作得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划、中国博士后科学基金、中科院装备研制计划、辽宁百千万人才计划、青年千人计划等的支持。单壁碳纳米管薄膜的连续制备技术已获得中国发明专利（ZL201410486883.1），相关论文于近日在《先进材料》（Advanced Materials）在线发表。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-11

纸上画出高效摩擦纳米发电机

近日，浙江大学海洋学院海洋电子与智能系统研究所朱智源博士研究小组，研发了一种新型的 X 型高效摩擦纳米发电机，具有结构简单、体积小、成本低、以及可收集人体运动能等诸多特点。这项研究发表在著名期刊《纳米能源》（Nano Energy）上。

在该研究工作中，研究人员提出了一种新颖的纸基摩擦纳米发电机（XP-TENG），并可通过商业画笔将签字笔油墨勾勒在纸上形成电极。

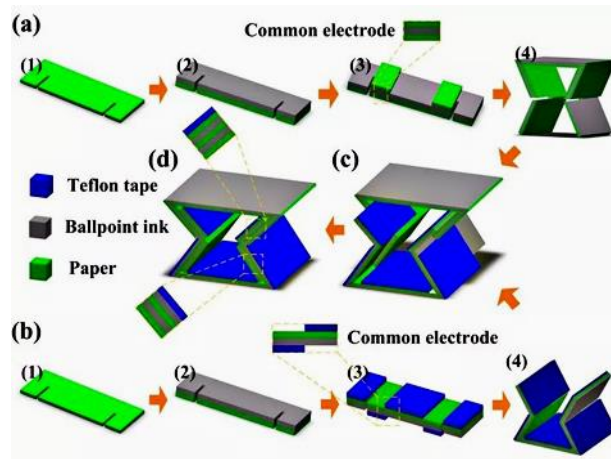


图 1. X 形状纸基发电机的制作过程

在这之前，摩擦纳米发电机（TENG）作为一种智能绿色器件已经被科学家所研发。“摩擦纳米发电机最具吸引力的特征是能把各种机械运动转换为电能，如人行走，人眼运动和车辆运动等。”遗憾的是，摩擦纳米发电机多数加工方法成本过高、工艺复杂，很难实现大规模的生产。

直到 2013 年，王中林院士课题组创新性的提出了一种纸基 TENG，大大降低了制作成本；2017 年，张晓升教授等用铅笔在纸上绘出导电石墨层作为 TENG 的导电电极，进一步简化了制作工艺，推动了纸基柔性能源器件的发展。

朱智源表示，当纸基材被弯曲和导电电极表面被划伤时，签字笔油墨层的表面电阻比铅笔绘制的石墨层的薄层电阻更稳定。这种优异的性能表明，与铅笔石墨层相比，油墨层具有更长的使用寿命，更适合复杂的使用环境。

以前的研究报道了多种结构，包括拱形结构，V 形结构和菱形结构。然而，以往的结构大多只具有单一的工作模式，因此限制了 TENG 的实际应用并且使器件效率下降。因此，在这项工作中，研究人员提出了一种新颖的采用了切纸和折纸的组合式架构的 X 形状纸基摩擦纳米发电机。

这种新的形状本身带有 6 对摩擦电极，进而将 6 个摩擦副集成到一个 X 形状纸基摩擦纳米发电机。这一特殊的结构可提供两种工作模式，拓展了摩擦纳米发电机的应用范围。

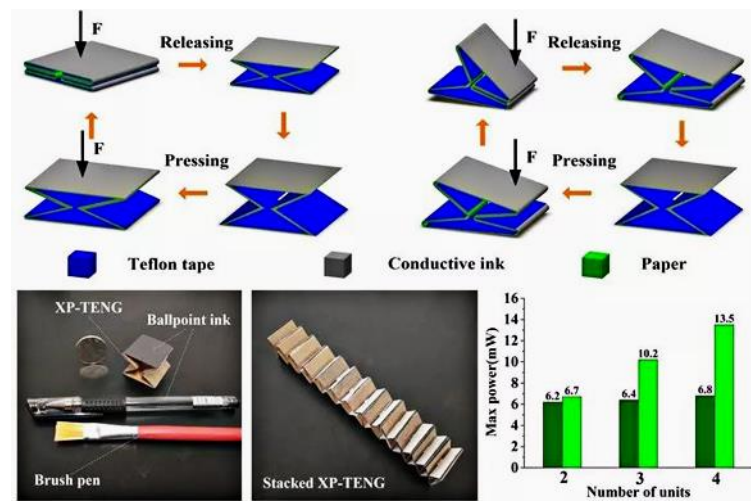


图 2. X 形纸基发电机的工作模式、制备材料、以及性能提升

第一种模式，基于常规的接触-分离模型。采取多个堆叠结构的 X 形状纸基摩擦纳米发电机，可以进一步提升堆叠结构的电流输出性能。科研人员通过实验发现，在手按压下具备四个工作单元的堆叠 X 形状纸基摩擦纳米发电机，产生的输出能够直接点亮工作电压为 3.4V 的 101 个串联高功率蓝光 LED。“当然为了防止电流相互抵消，我们还会在结构中采用多个全波桥独立连接的优化手段，使得电流朝着一个方向运动。”第二种模式，可以有效地从人体运动中收集机械能。比如收集人肘运动机械能，或者将 X 形状纸基摩擦纳米发电机放在书包中，收集人走路时产生的振动机械能等。

科研人员介绍，X 形状纸基摩擦纳米发电机能够适应湿度环境，具有在海洋环境下工作的潜力，在船舶电子系统供能方面有潜在应用。“未来，潜水员的探照灯或许可以通过人体自身的运动机械能发亮，同时这种发电原理或许还可以运用到救生中。”朱智源说。

据介绍，用于海洋的纳米能源器件是浙江大学海洋电子与智能系统研究所的重要研究方向，该研究所由国家千人计划专家徐志伟教授于 2016 年 1 月领衔创立，重点关注以信息科学与海洋物理为学科交叉的基础研究，包括海洋信息电子、智能系统以及用于海洋电子装备的新能源新材料新器件。此次利用简易的商用材料制备了结构简单、体积小、重量轻、低成本、作用速度快的供能器件，在摩擦纳米发电机研究上取得突破，为用于海洋的自主便携电子系统持续供能提供了新的思路。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-13

变“废气”为高附加值高分子材料

(Precise synthesis of sulfur-containing polymers via cooperative dual organocatalysts with high activity)

浙江大学高分子系张兴宏教授课题组，近日将常见的有机小分子硫脲和有机碱在氢键作用下结合起来，首次实现了室温下催化氧硫化碳与环氧化合物的“活性”阴离子交替共聚合，制备了一种无色透明且无金属残留的含硫高分子材料。这项研究成果发表在《自然通讯》(Nature Communication)上。在化学工作者眼中，对氧硫化碳的回收和利用对于煤炭和石油消费大国有着极大的社会和经济意义。

工业革命之后，人类的生产生活进入了极大依赖石化资源的时代。相伴而来的是大量“废气”的排放。氧硫化碳就是在燃煤、炼油和化工过程中产生的一种“废气”，它既会严重腐蚀设备，当散逸到高空既产生二氧化硫导致酸雨，又会被光氧化破坏臭氧层，因而是严禁排放的环境污染物。

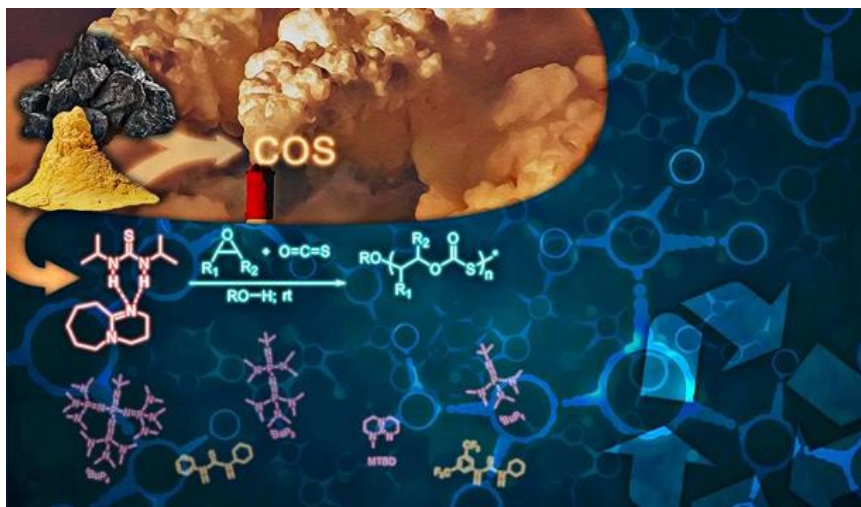


图1 硫脲和有机碱协同催化环氧化合物和氧硫化碳“活性”交替共聚

硫脲和有机碱就如同两个配合默契的人，通过它们之间的氢键作用这种“默契”的关系，让环氧化合物和氧硫化碳乖乖就范，交替排列成了长链。当用不同的环氧化物时，产生的含硫高分子具有不同的特性。它们看上去有时如同亚克力一样透明的光学树脂，有时候又是蜡白色的坚硬塑料，因而有广泛的用途。

张兴宏团队的这项研究，始于十年前，他们的研究目标很清晰，即寻找最为“默契”的催化体系，让气态的氧硫化碳固定下来。当然，寻找的道路一波三折。

张兴宏首先想找到一种自然界中能高效活化氧硫化碳的物质。在自然界中，

确实有这样一种酶——碳酸酐酶。据研究，这种酶在地球早期有生命的时候就广泛存在了。它是生命体中的一种活性酶，能将空气中的极少量的二氧化碳水合，变成碳酸氢根离子，是已知自然界中转化二氧化碳能力最强的物质。它广泛存在于动物的肺泡中，对于调节酸碱性、维系生命具有重要的作用。在自然界中，碳酸酐酶也能抓到氧硫化碳，并把它转化为硫化氢——动植物腐败臭味的主要来源之一。

“我们离自然界的创造还有很远的距离。”张兴宏不禁感叹道。从转化二氧化碳的效率来讲，至今人类制造的催化剂最快大概为每秒转化 43 个分子，而碳酸酐酶每秒钟能够转换 100 万个。

碳酸酐酶的功能结构包含锌离子和氢氧键，可以看作是酸碱协调来活化反应物的体系。张兴宏从中受到启发，找到了功能类似的路易斯酸碱对。碱提供电子对与酸由某种弱的分子作用力结合起来，从而调控两者的结构使它们“默契”地抓取不同的兔子并排队。方向选对了，张兴宏课题组就在如何寻找或设计路易斯酸碱对上下了许多功夫。

早在 2008 年，张兴宏发现并提出了“氧-硫交换反应”的概念，解释了二硫化碳难以与环氧化合物完全交替共聚的原因。“这就好比医生治病，明晰了病因就好对症下药。”7 年之后的 2013 年，它们能够成功将氧硫化碳与环氧化合物共聚起来，使用的催化剂是金属催化剂。科研工作者并不止步，因为作为面向应用的研究，在很多场合，人们最大的诉求就是材料中不能含有重金属。

进而，张兴宏团队继续寻找没有金属的催化剂。“传统都是金属来做催化剂，要改变这一惯性思维，当用非金属催化剂时，就需要重新建构一套新的方法。”2017 年，博士生杨嘉良找到了含硼的路易斯酸碱体系作为催化剂，可以得到无色透明的含硫高分子。虽然具有很高的催化活性，但是在使用过程中，硼化合物易燃，操作难度较大。2018 年硕士生张成建找到了硫脲和有机碱的这个组合，形成了简单、便宜、效果好的催化体系。

把硼换成硫脲的关键一跃，看似简单，但非常有趣，换了另一种“默契”抓兔子的方式。得到的催化体系可以在温和的条件下，使得氧硫化碳和环氧化合物“活性”共聚，同时又有很高的效率。在这之前，含硫高分子的合成常用缩聚或开环聚合的方法，以难以储运的剧毒光气和硫醇等为原料。张兴宏团队的**这一技术是非光气路线合成含硫高分子的新突破**。本课题得到国家自然科学基金委(21774108)和浙江省自然科学基金委杰出青年基金项目(LR16B040001)的资助。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-04

全球首发：首钢超低噪声取向硅钢

近日，首钢研发的超低噪声、低铁损 27SQGD085LN、23SQGD080LN 取向硅钢产品实现全球首发。两款产品的成功推出，可提升中国高等级取向硅钢产品的制造能力，促进变压器能效等级提升，满足国家电力工业保障更安全、更经济、更清洁、更可持续的建设需求，为国民经济转型发展和生态文明建设提供重要的材料支撑。

改革开放 40 年来，经济的腾飞带来了电力大规模的集中消耗，然而**电网自身损耗造成较多电力资源的浪费**，其中仅变压器损耗就占到整个电网损耗的 30%—40%，加速推进高能效变压器的制造和应用迫在眉睫。使命呼唤作为，首钢股份公司瞄准国家重点工程建设新需求、社会发展新要求，以开发更节能、更环保的产品践行国企社会责任，坚持自主创新，启动了低铁损、低噪声取向硅钢产品研发工作。

研发过程中，首钢股份公司与钢铁研究总院、中国电力科学研究院等科研院所，特变电工、保变电气等下游用户合作，将产学研用紧密结合，开发出更加节能、更低损耗、更低噪声的产品。目前，27SQGD085LN 成功应用于大型电力变压器，空载损耗较常规产品降低 5%—10%，噪声降低 3—5 分贝；23SQGD080LN 成功应用于节能配电变压器，空载损耗较常规产品降低 5%—9%，噪声降低 2—5 分贝。在近日召开的首钢“双百万”特高压大容量变压器用高磁感取向硅钢鉴定会上，**经专家鉴定，首钢产品综合技术性能达到同类产品国际先进水平，其中噪声指标及涂层附着性指标达到国际领先水平。**

首钢历时十余年自主研发，突破创新，掌握关键技术，采用高性能均匀化组织性能控制、细密均质高附着大张力底层综合控制、降低取向硅钢噪声水平综合控制三方面技术，研制成功了超低损耗、低噪声、高附着性的高磁感取向硅钢产品，为用户提供更加优质、可靠、环保、持续改善的产品和服务。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-10

马钢现有设备也能生产 QP980 了

6月30日凌晨4时12分，2卷QP980（980MPa级QP第三代汽车用钢）在马钢2130连退机组成功下线，经检测，产品性能达到技术标准要求，强塑积达22 GPa%。这意味着马钢突破了QP钢传统生产工艺路径，在马钢2130连退线上成功试制出第三代汽车用QP钢。

QP（淬火配分）钢作为第三代汽车用钢的典型代表，因其优异的强塑性能和最具商业化生产可能性的特点而备受瞩目。近年来，全球各大钢铁企业纷纷加大对QP钢的研发力度。然而，配置一条具备淬火配分功能的高强钢专用连退产线需要投资几亿元甚至十几亿元。马钢汽车板APQP（产品质量先期策划）团队于2016年成立QP钢产品研发小组，对第三代汽车用钢的强塑理论与技术难点进行了详细解剖，同时将马钢2130连退产线与QP高强汽车板专用产线进行详细对比，探索出了一条适合马钢现有产线的工艺路径。

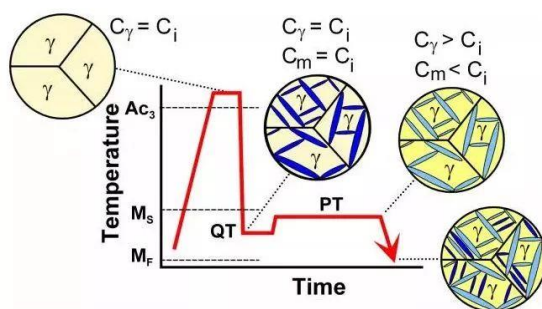


图1 过冷奥氏体连续冷却转变曲线

如何在较低配分温度下实现碳的高效扩散，成为本项目技术实施上的第一个“拦路虎”。研发小组经过多方摸索，认为从成分设计角度出发，加入某合金元素减小碳的扩散距离同样能提高碳的扩散效果。经实验室中试冶炼以及模拟热轧、冷轧、退火等，他们测定了高温热塑性及CCT曲线（过冷奥氏体连续冷却转变曲线），据此明确了成分体系和关键工艺控制点。随后，研发小组又先后攻克了铸坯裂纹、酸轧轧制模型参数等难题，并于2017年末成功研制出符合技术目标要求的合格样件，确定了适合马钢工艺装备的生产工艺。

历时2年，项目组终于完成从成分设计、工艺探索、实验室研究到工业试制的全流程研发工作，在马钢现有连退产线能力基础上，生产出了性能更优，更符合当代汽车节能、环保、安全目标的第三代汽车用钢。

—摘编自材料科学与工程公众号 2018-07-12

本科教育应该怎么搞？来看看川大的答卷

日前，新时代全国高等学校本科教育工作会议在四川成都召开。教育部部长陈宝生提出，高教大计，本科为本。本科教育如何培养高质量人才？以人为本如何落到实处？记者在四川大学实地调研，发生在教室里、作业中细致而生动的改变，打开了我们对于“本科教育应该怎么搞”的思考空间。

改造教学形态，把学生拉回课堂

坊间曾有段子把大学教室分区，前排是学霸区，中间是休息区，后排是聊天区和睡觉区，中后排又根据靠窗与否，分为阳光区和避暑区。在四川大学承担本科生教学任务的江安校区，段子手们可能要失望了。可移动、可拼接的活动桌椅，三面墙上都有课件投影，电子抢答和书写互动系统配以互动交流的授课方式，在讨论中，每个学生的思绪不待游移就立即被拉回课堂。在江安校区，多视窗互动教室、灵活多变组合教室、移动网络互动教室等类型的智慧教室共有 400 多间，占了教室总数的 80%。这投资 2 亿多元的教室革命改造因何而起呢？

“川大实行探究式—小班化教学，按 25 人编班，校办课程 9000 多门次，超过课程总数的 70%。通过小班教学实现教学质量提升，让老师和学生面对面、点对点。”四川大学校长李言荣介绍，川大约有全日制本科生 3.7 万人，是全国本科规模最大的学校之一，为了实现精细培养，让学生“把头抬起来、坐到前排来、提出问题来”，校方采取了一系列课堂革命的措施。

陈宝生指出，我们要改革传统的教与学形态，高校教师要把育人水平高超、现代技术运用娴熟作为自我素质要求的一把标尺，广泛开展探究式、个性化、参与式教学，把沉默单向的课堂变成碰撞思想、混合式启迪智慧的互动场所。

重奖激励教学，捋顺教师评价

要实现“课堂革命”，就必须有全身心投入的高水平教师。在四川大学，每年的本科教学工作表彰会是老师们特别期待的节日。川大“教学三大奖”重奖全身心投入到一线教学的老师、重奖积极开展教学改革的老 师、重奖课堂内外与学生交流互动的老师，包括特等奖 100 万元、一等奖 50 万元等。“学校要设立一种导向，让一线教师有强烈的荣誉感和成就感。”李言荣说。

学校在评价教师时，唯学历、唯职称、唯论文，过度强调教师海外经历、国外期刊论文发表数量等，陈宝生指出，“这样的‘指挥棒’不利于激发教师教书育人的积极性。”川大重视教学会不会给青年教师带来更大压力呢？

李言荣坦言：“在师资总量相对固定的情况下，强化教学要求确实会让老师付出更多。但与此同时，教学和科研有相互促进的作用，学校鼓励教师将科研方向与教

学结合起来，既促进了科研，也提高了人才培养质量。”他介绍，川大对教学的要求并不是一刀切的，刚进校的青年教师前五年的重心要放在科研，四十五岁以上的教授则要求多投入教学。

加强创新创业，带动校企融合

著名教育家杜威提出：“教育是生活的过程，而不是将来生活的预备。”从单调的书本中走出，接触社会、投入生活，是培养人才社会责任感、创新精神和实践能力的必由之路。

川大江安校区有条“i创街”，这里最早是生活服务中心，但“自双创”提出后，校方放弃几千万的租金收入，把这里开辟为创新创业的活动空间，免费提供给学生。“i创街”负责人介绍，为了合理确定入驻团队、让更多学生接触双创，入驻项目两年一轮替，专家团队每年做中期评估，学生组织展示答辩，将育人融入双创教育全过程。

无人超市、舞蹈工作坊、咖啡馆……除了大学生创业常见的项目外，还有一家空天飞行器创意设计与体验中心。出任指导教师的川大空天科学与工程学院季玉龙老师介绍说，这个中心承载了学生社团、社会实践以及“挑战杯”和“互联网+”项目孵化的多项功能。

“i创街”项目实施以来，共组建12个交叉创新的“智造梦工厂”，4个新工科创新实验室，入驻34家学生自主经营管理的创业公司，释放了学生创新创业的活力。而在成都当地的应用型本科高校成都工业学院，校企深度融合为应用人才的培养锚定了方向。

长期以来，无论是高职教育还是应用类本科，校企合作缺乏内生动力，简单实习、调研让合作成了两张皮、走过场。针对这一情况，四川省教育厅与经信委合作，由经信委提要求，让富士康、京东方等企业把智能制造生产线建到校园里。“如果不参加校企合作，富士康就走不出保税区。所以企业就愿意把先进的设备技术转移到学校的园区来。企业为学生提供实训机会，并派出员工提供实践培训。这样就把学校和企业的利益融为一体了。”成工院院长严余松说。

“教学上，企业要多付出一点，包括软硬件设备投入，但学校可以提供科研支持，也可以为企业提供新员工培训等服务。”京东方成都公司副总经理秦向东表示。

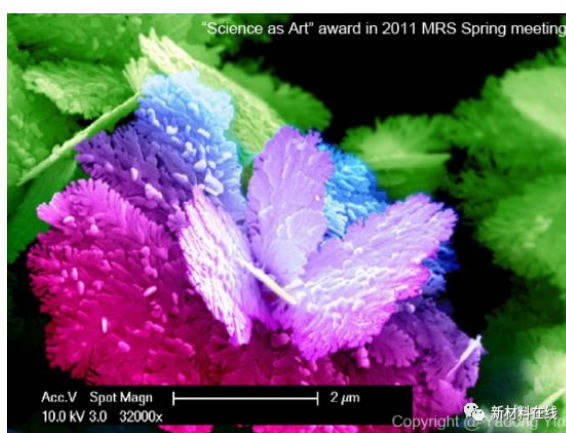
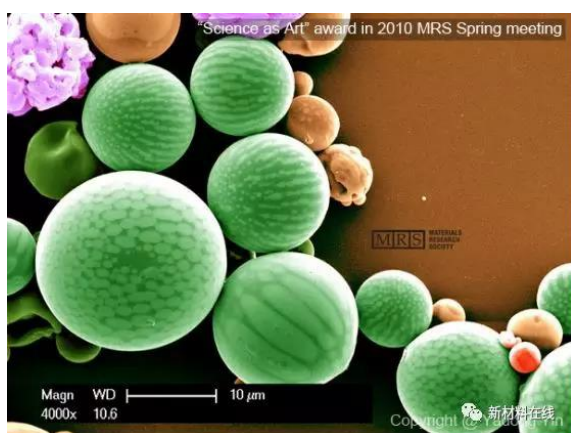
“学生的实践教学一直是我们的突出短板，解决这一问题，关键靠协同。”教育部高教司司长吴岩说。“要坚持国际国内相结合、产学研相结合、校内校外相结合，推进高校与实务部门、科研院所、行业企业合作办学、合作育人、合作就业、合作发展。”他指出，建立全流程协同育人机制是破解实践难题的方式。

—摘编自光明微教育公众号 2018-06-28

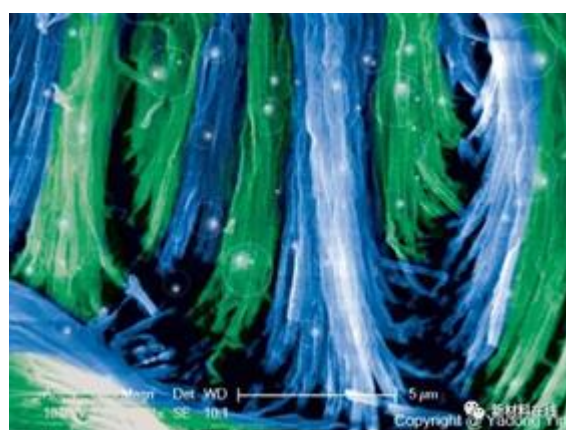
材料界隐藏着一位印象派艺术大师

相比于物理学家课题组网站画廊的写实，材料学家课题组网站的画廊却往往充斥着印象派和表现主义的风格。今天我们就来聊聊一位世界知名材料学家的课题组网站的艺术长廊——殷亚东课题组。

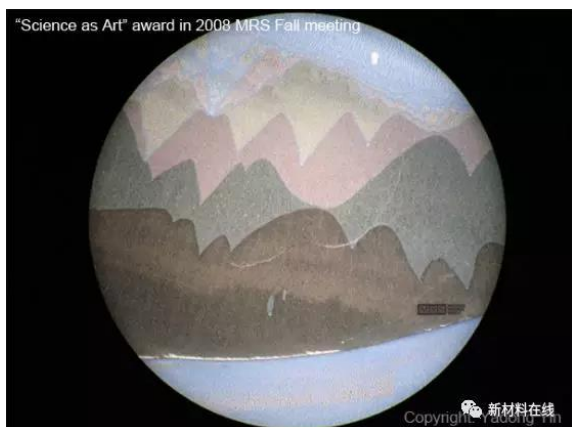
进入他的课题组网站，映入眼帘的就是一幅幅精美绝伦的作品，让人觉得殷亚东教授非但学术水平高超，而且还是一个极其有趣的人。



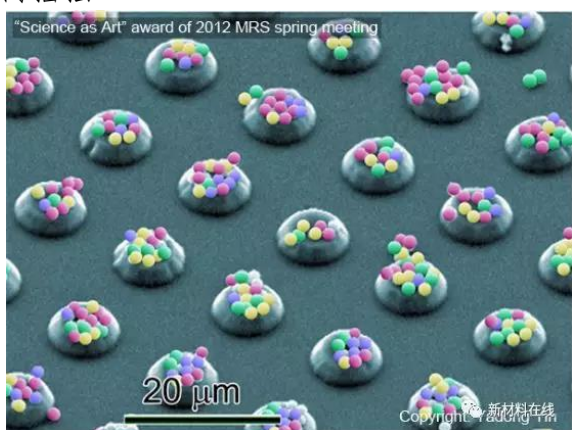
磁性聚合物微球的显微照片，经过填色后和西瓜一模一样。这些纳米西瓜，看上去就皮薄肉多滋味好啊。过度生长的 Ag 纳米片形成的纳米花，经过颜色渲染后几乎可与真花相媲美。



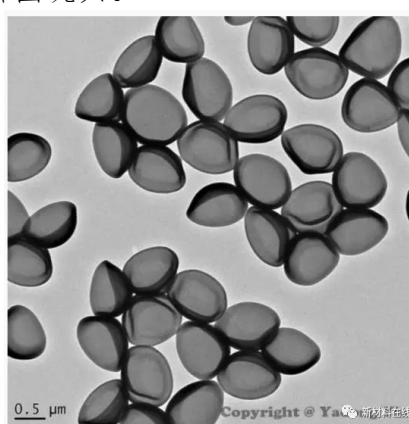
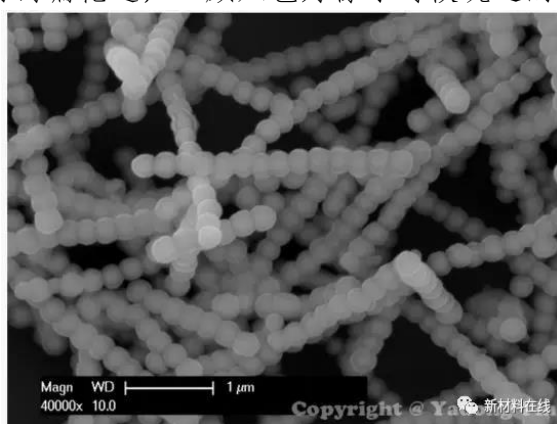
表面工程合成的微米球，殷教授称它为高尔夫球（Golf balls），可以说是相当形象了。这是模板诱导合成的“纳米森林”。如果此时恰好响起班得瑞的音乐《迷雾森林》，两者简直可以说得上是绝配。



纳米粒子自组装形成的山水风景画，图中绵延不绝的群山，充满了中国风的韵味。磁性纳米粒子自组装形成的珊瑚丛，一只只珊瑚的触角仿佛正随着海水的波动而摇摆~



聚合物粒子的自组装。乍一看，好像火山口上堆满了彩虹糖。金属晶种生长所形成的钩编花边，五颜六色好像小时候玩过的拼图玩具。



超顺磁纳米链。看着好像一串串的糖葫芦，抑或是夏天解暑的老冰棍。纳米聚合物，看着有点像泄了气的皮球，又像是开心果的壳儿。

—摘编自新材料在线公众号 2018-03-18