

新型柔性材料有望革新电子材料技术

凌晨

太阳能电池可以是一片透明的薄膜。

这种柔软的太阳能电池，可以装在车窗或者房屋的玻璃上。在炎热的夏天，既能吸收红外光，降低内部空间温度，同时又可以发电。不过这种柔性电子材料，很难用传统的蒸镀制备方法实现。

以硅为例，它的熔点是 1414℃。生产时，就要先升温超过熔点，获得单晶硅，再把单晶硅切成小块，组装成电子元件。这是一种自上而下的生产方式，而且由于需要高温环境，非常耗能。常见的 3D 打印，也离不开高温环境，通常要加热到几百度。

如果换一种生产方式呢？像用墨水打印文字一样，同样用液体作为基底，把电子材料的分子打印成需要的结构。这就是溶液打印法，是“自下而上”的打印思路。要做到这一点，就需要对分子进行精细地控制。

目前美国伊利诺伊大学助理教授刁莹和她领导的小组研究的方向就是：通过调控分子组装过程，利用溶液法来打印电子材料。

流体控制技术：让电子流动更高效

溶液打印不是一个新的技术，“我们到新的地方在于可以控制到纳米甚至分子层面的结构。”对比普通的 3D 打印，只能控制到微米级别。“中国唐代已经有印刷术了。虽然不太像我们现在做的事情，但是基本的道理是一样的。”刁莹说。印刷报纸的时候，需要把墨水打印到想要的地方；打印电子材料，还要考虑到打印材料里面的结构是怎样的。

分子层面的溶液打印，就是以有机溶液为载体，将分子打印成所需要的结构。这种方式，只需要 20 多度的室温条件。因为是以溶液作为打印基底，利用对溶剂的流体控制，也很容易打印柔性材料。

电子材料对于结构的控制要求非常高。进入微观层面，

分子的结构、形态，即使微小的变化，都会对最终的材料性质产生影响，有时甚至是数量级的改变。如何精细地控制分子的结构？这就需要利用分子的自组装特性。分子会依据其特性，自发地从无序变为有序，通过一些方式进行引导，就可以让分子按序排列。刁莹实验室最近的一个发现，是将原来卷曲的高分子结构拉平，从而实现更好的光电性能。共轭聚合物富含电子，单键和双键交替，这是让电能快速传播的关键，因此共轭聚合物具有很大的电气光学应用潜力。但是也存在一些问题，这些聚合物的形态通常是扭曲，严重阻碍电荷传输。

施加巨大的压力，或改变共轭聚合物的分子结构，虽然可让其变得扁平，但这两种方式都需要密集的劳动力，很难进行大规模量产。刁莹团队发现，在分子打印过程中，受到溶液流动体的引导，共轭聚合物的分子可以在一个特殊阶段变成平面形状，并在溶液沉淀后继续保持这一形态。发现了这个机制后，刁莹团队希望能够进一步研究它的普遍性，让流体控制

技术在溶液打印中更广泛使用。

创新打印方式：动态模板

2018 年，刁莹经历了一次艰辛的突破，她尝试了新的研究概念——动态模板。她和团队的伙伴们做了很长时间，最终证明了“动态模板”这一方法在分子溶液打印中的可行性。此前，在分子组装中只有类似于“静态模板”的技术。2014 年的诺贝尔物理学奖颁给了蓝光 LED 材料的三位研究者，其中一项突破就是采用了这种技术。制造蓝光的 LED 材料缺乏单晶基底衬，研究者采用蓝宝石作为衬底，设计出高序列的结构，从而控制蓝光 LED 的材料有序生长。

“动态模板”的概念则受到了自然界生物物质合成的启发。“我们观察自然，被生物系统的方式所启发。”刁莹介绍到。但是不仅仅如此，这其实是一次逆向思维的过程。

刁莹在博士期间的研究方向本是药物结晶，但她却被生物矿物质的形成机制所吸引。自然界的珍珠就是通过动态模板来实现离子组装的。

高分子的动态模板本身非常无序，但是却可以引导矿物质离子形成有序的结构。原因在于模板和聚集的矿物质离子之间会彼此协同。离子会在模板附近形成凝聚层，动态模板也会调整自己，来适应离子所需要的结构。

在溶液打印中，刁莹想寻找更有效方法来组装高分子，沿用已有的衬底设计思路非常困难。“高分子结构本身非常复杂，在生物矿物质合成的过程中，是高分子来组装分子，在我们的系统中，需要组装高分子，我就想，能不能用离子来组装高分子。”

研究最终证明，通过动态模板技术，能够打印出高度取向、高度结晶的聚合物薄膜。这项控制分子组装的技术有广泛使用的潜力。

制造未来的材料

刁莹所带领的研究小组，目标是理解基本分子组装过程，来控制打印材料的特性，最终为医疗设备、能源等领域提供节能高效的材料制造。

2016 年，她在研究柔性太阳能电池方面取得突破。通过控制纳米层面的结构，加快电荷的分离速率，从而提高光电转化效率。2020 年开始，她的团队继续之前的研究，从更微观的分子层面来控制结构，进一步提高光电转化效率。同时，她们也在研究如何控制分子的自组装过程，让打印出来的太阳能电池更加稳定。溶液打印速度快，又适合打印大面积的材料。她想通过自己的努力，让这一打印方式有更广泛的应用。

当初，她做出选择，从药物结晶领域转到有机电子材料，就是希望能离可应用的技术近一些，想看到自己的研究对现实真正产生影响。目前，电子材料的主流制作方法还是蒸镀。“蒸镀的方式其实是很贵的，像我们买的智能手表，显示屏是最贵的原件。如果能用溶液打印的方法，可以大幅度降低成本。”



更稳定的高性能数据存储方式

最新一代的磁盘由因瓦合金材料的磁性薄片制成。它们具有极高的抗性和数据存储密度，利用了激光加热局部纳米区域来存储数据的方式，因而被称为热辅助磁记录（HAMR）。这些因瓦合金的体积几乎不因加热而膨胀。一种同样采用 HAMR 存储方式的类似材料是纳米铂铁薄片。来自亥姆霍兹柏林材料与能源研究中心（HZB）和波茨坦大学 Matias Bargheer 教授的联合研究小组领导的国际科研团队，目前首次通过实验观察到这些铂铁薄片特殊的自旋晶格如何相互作用并抵消晶格的热膨胀。

铂铁（FePt）在热平衡性质上属于因瓦合金材料，它在加热时几乎不膨胀。这种现象最早于 1897 年在镍-铁合金材料“Invar”中被观察到，但研究人员直到近些年才理解其中机理：一般情况下，加热会引起固体中的晶格振动，而振动的原子需要更大空间，最终即表现为宏观上的膨胀。然而出人意料的是，加热铂铁产生了相反的效应：温度越高，材料越倾向磁化方向收缩，进而决定了因瓦合金的最小膨胀属性。

Matias Bargheer 教授领导的团队目前首次通过实验比较不同的铂铁薄片出现的这一有趣现象。Bargheer 带领一支来自 HZB 和波茨坦大学的联合研究小组，并与来自里昂（Lyon）、布鲁诺（Brno）和开姆尼斯（Chemnitz）的同事一起，研究完美结晶的铂铁层和用于 HAMR

存储的铂铁薄片间存在差异的内在机制。这其中包括嵌在碳基体中并由堆叠的铁和铂原子层形成的结晶纳米颗粒。

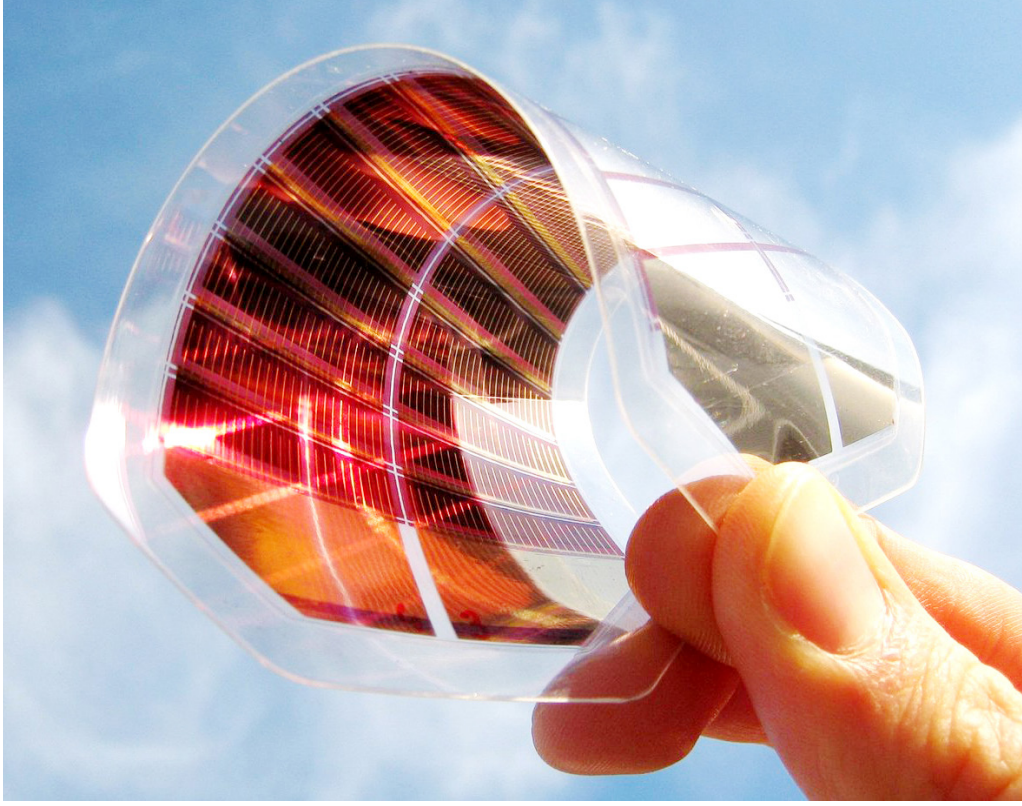
在很短的时间间隔内用两束激光脉冲加热并激活铂铁样本，最后利用 X 射线衍射确定晶格局部膨胀或收缩的强度。

Bargheer 解释称，“令我们感到惊讶的是连续晶格层在被激光短暂加热后会膨胀，同时原本松散排列的纳米颗粒沿着同一晶格取向收缩。反观 HAMR 数据存储材料——嵌在碳基体中并在衬底上生长的纳米颗粒对激光的反应较弱：它们先微微收缩，后稍稍膨胀。”

Bargheer 团队中的博士生 Alexander von Reppert 是这项研究的第一作者，他表示，“通过这些利用了超短 X 射线脉冲的实验，我们已经能够确定薄片形态的重要性。”其关键在于横向收缩，即所谓的泊松效应。

Bargheer 说：“每个用力按压过橡皮的人都知道按压后橡皮的中间层会变厚。”他还补充道：“纳米颗粒同样具有这样的性质，然而对于完美薄片，平面中没有膨胀空间，这些颗粒将不得不沿着垂直于薄片的由自旋驱动的收缩方向运动。”

所以，嵌在碳基中的铂铁是一种非常特殊的材料。它不只磁性稳定同时其热机械学性质能够防止加热时过度变形，进而防止材料被破坏——这一点对 HAMR 至关重要！（宗合）



美陆军资助研发制造量子计算芯片的新方法

一个由美国陆军资助的研究项目开发了一种制造量子计算机芯片的新方法，这标志着量子处理器制造技术向能为战场提供快速处理能力所需的规模迈出了重要的一步。新方法可能会影响美国陆军构建量子网络和分布式传感能力的方式。

量子处理器使用量子位来存储信息。美国陆军研究办公室（美国陆军研究实验室在作战能力发展司令部的一个组成部分）的量子信息科学项目负责人 Sara Gamble 表示，在进行实验之前，研究人员在一个光子芯片中最多只能集成 2 至 3 个量子位。因此，研究人员希望能够增加放置在光子芯片上的量子位数量。

Gamble 在接受采访时说：“目前，我们仅仅能够控制并成功操纵少量的量子位。但对于实际应用来说，其所需要的量子位数量会高达数百万或数十亿个，如何对这一数量庞大的量子位进行控制是一个重大的挑战。”

在该研究中，研究人员通过制作小型量子“芯片”，并将其放置在更大的电路中，成功地将 128 个量子位集成到了一个光子芯片上。这些小芯片能够通过科学家利用钻石缺陷创造的人工原子携带量子信息。

从集成 3 个量子位增加到 128 个是一个巨大的飞跃，但远未达到美国陆军认为的未来应用所需的数千、数百万或数十亿个量子位的目标。例如，量子位可以通过战场上的量子系统网络用于分布式传感，以实现更强的态势感知能力，不过 Gamble 指出，量子信息科学研究仍处于早期阶段。

Gamble 说：“我们知道，很多量子位类型的传感器具有优异的性能。量子传感器能够感知诸如电场或磁场等一类的场……并且其灵敏度比传统传感器更高。因此如果你把这些量子传感器系统组成网络，联系在一起，你将能够获取更多的信号。所以我们不仅需要那些孤立的量子位传感器，我们还需要找到一种能够让这些量子位传感器通过量子网络相互关联的方法。”这将使美军能够以量子级的速度处理数据。因为美军试图利用战场上的近乎实时获取的大量数据集做出决策，并且试图向多域作战发展，因此更快的数据处理速度将使美军大大受益。

该研究由美国麻省理工学院和桑迪亚国家实验室的科学家共同完成。新技术仍需进行测试，以确保可以针对美军的应用需求，对芯片中的量子位进行有效控制。Gamble 表示，研究团队还在考虑如何实现部分生产过程的自动化。

Gamble 说：“思考如何将这个过程自动化，使其更具可重复性，这将是令人兴奋的。如果你真的想集成数百万到数十亿个量子位而不仅仅是 128 个量子位的话，自动化是非常必要的。”（刘或宽）

科学家意外创造全新LED设计 发光功率提升1000倍，还能转换成激光

都保杰

发光二极管（LED）是现代住宅、工业和汽车照明等领域广泛应用的理想照明光源，但是 LED 却有技术限制被称为“光效下降”效应。

这种限制通俗来讲，就是 LED 只在低电流（仅几十毫安）下可以最有效地工作，而随着输入电流的增大，发光效率反而会逐渐降低。这意味着要维持照明效率，LED 必须在较低的电流下工作，且由于 LED “光效下降”效应，我们必须增大 LED 器件的面积，或在一个灯泡中增加更多的 LED，从而在不牺牲效率的同时增加亮度，这不仅限制了所有商用 LED 的性能提升，也将亚微米级 LED 和激光器的输出功率限制为纳瓦。

不过，新的研究发现可能会从根本上改变这种情况。日前，由美国国家标准与技术研究所（NIST）牵头的科研小组开发了一种新型 LED 设计：“鳍式”LED（Fin LED），这种设计可以产生微瓦级的输出功率，比现有的纳米级 LED 和激光器高出约 1000 倍，可能是克服 LED 光源效率限制的关键一步。

该研究小组还包括来自马里兰大学、伦斯勒理工学院和 IBM 托马斯·J·沃森研究中心的多位科学家，论文发表在《科学进展》（Science Advances）杂志上，LED 亮度的大幅提高以及产生激光的能力等特性，都有望使该技术产生更多衍生价值。

NIST 负责构思 LED 新设计的专家巴巴克·尼古巴赫（Babak Nikoobakht）说：“这是制造 LED 的全新架构，我们使用的材料与传统 LED 相同，区别在于它们的形状不同。”

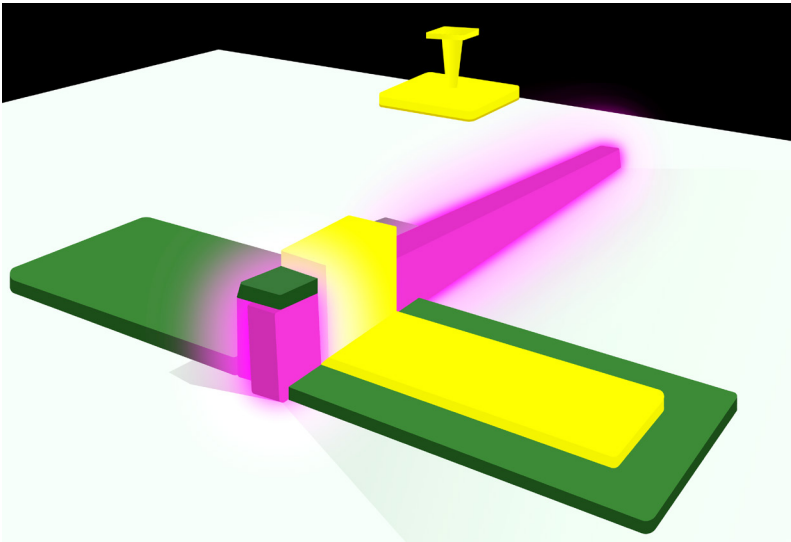
LED 早在 1962 年由美国通用电气公司研究员尼克·何伦亚克（Nick

Holonyak）发明，当初只有红色。2014 年度，诺贝尔物理学奖授予了三名日本科学家（赤崎勇、天野浩和中村修二），以表彰他们发明了蓝光 LED 技术，开创了照明新时代。

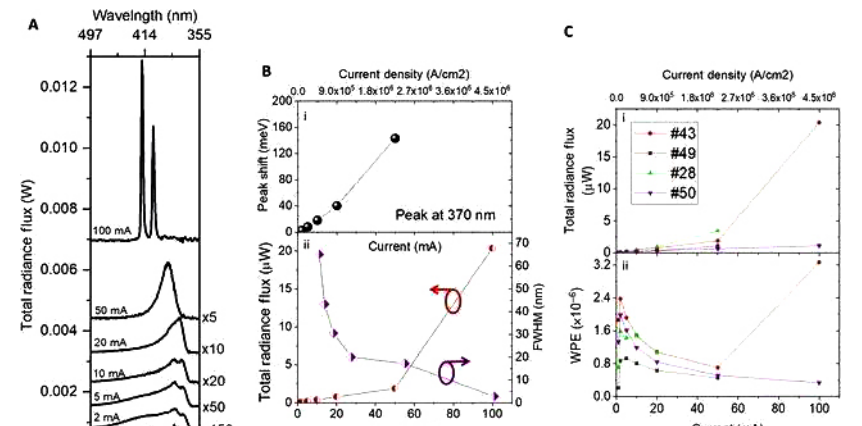
虽然有几十年的技术发展史，但即使是现代的 LED 产品，其局限性也使它们的设计师们感到沮丧。在某种程度上，给一个 LED 输入更多的电能会使它发光更明亮，但是达到一个临界点后，就会只剩工作温度剧增，而亮度却会大幅衰减，这使得 LED 的光效输出一直难有突破，如果可以消除 LED 光效下降问题，我们就可以简单地通过增加驱动电流来使 LED 变得更亮。

有意思的是，研究人员开发的新设计，最初并不是为了着手解决“光效下降”这个问题，他们原打算制造一种微型 LED，用于非常小的应用，例如 NIST 正在研究的芯片实验室技术。

研究小组对 LED 发光部分进行了全新的构建：与常规 LED 所采用的平面设计不同，他们使用长而细的氧化锌线束（称为鳍片）构建了光源，每个鳍片的长度仅约 5



“鳍式”LED 像素设计包括发光的氧化锌“鳍”（紫色）、隔离介电材料（绿色）和金属触点（黄色）



在高电流密度下，鳍式 LED 过渡到鳍式激光器

微米，大约是人类头发平均直径的十分之一，它们组成的鳍阵列看起来像一个微小的梳子，可以延伸到 1 厘米或更大的区域。尼古巴赫说：“我们看到了鳍片的机会，因为我认为鳍片的细长形状和较大的侧面可以接收更多的电流。一开始我们只是想测试一下新设计的‘极限’，我们开始加大电流，想办法把它开到烧坏为止，但它总是越来越亮。”

典型的面积小于平方微米的 LED 发光功率约为 22 纳瓦，但这种新型 LED 最多可产生 20 微瓦功率，将发光功率最高提升近 1000 倍。这表明该设计克服了 LED 的光效下降障碍，从而使光源更明亮。

“这是我见过的最有效的解决方案之一。”南卡罗来纳大学电气工程教授格里戈里·西敏评价说，学界和产业界多年来一直致力于提高 LED 的效率，而其他方法在应用于亚微米级的 LED 时通常会遇到技术问题，这种方法却做得很好。当在实

验中不断加大电流时，研究小组又有了一个惊人发现。虽然 LED 起初在一定波长范围内发光，但其最终会缩小为深紫色的两个波长，他们的微型 LED 竟然变成了一个微小的激光器，实验记录到的电流密度为 1000 kA/cm²，LED 转换为激光，亮度超过 20 微瓦。

“将 LED 转换成激光需要很大的努力。通常，需要将 LED 耦合到谐振腔，谐振腔才能使光线反弹以产生激光。”尼古巴赫说。“但鳍式设计可以独立完成全部工作。”微型激光器的应用也非常多，不仅在化学传感方面，而且在下一代手持式通信产品、高清显示器和消毒方面也是如此。

尼古巴赫认为：“这种全新 LED 设计作为重要的构建基块具有很大的潜力。”“虽然这不是人们制造的最小的激光器，但它是一个非同寻常的激光器，且不存在效率下降的问题，将会大有用处。”

研究结论中指出，这项发现令人鼓舞，代表了 LED 设计体系结构的重要一步，可以克服 LED 中的“电流密度下降”和“温度下降”效应，以最大化其每个像素可实现的输出功率。