

下一代电子产品的变革： 麻省理工学院的二维集成突破

麻省理工学院在将二维材料集成到设备中方面取得突破，为具有独特光学和电子特性的下一代设备铺平了道路。二维材料是目前世界上最先进的材料之一。

厚度仅为几个原子的二维材料可以表现出一些令人难以置信的特性，例如可以极其高效地携带电荷，从而提高下一代电子设备的性能。

但是，将二维材料集成到计算机芯片等设备和系统中是出了名的困难。这些超薄结构可能会受到传统制造技术的破坏，而传统制造技术通常依赖于化学品的使用、高温或蚀刻等破坏性工艺。

一种新的集成技术

为了克服这一难题，麻省理工学院和其他机构的研究人员开发出一种新技术，只需一步就能将二维材料集成到设备中，同时保持材料表面和由此产生的原始界面无缺陷。

他们的方法依赖于纳米级的工程表面力，使二维材料可以物理叠加到其他预制设备层上。由于二维材料不会受损，研究人员可以充分利用其独特的光学和电学特性。

增强器件功能

他们利用这种方法制造出了二维晶体管阵列，与使用传统制造技术生产的器件相比，这种阵列实现了新的功能。他们的方法用途广泛，可用于多种材料，可广泛应用于高性能计算、传感和柔性电子器件等领域。

释放这些新功能的核心是形成清洁界面的能力，这些界面由存在于所有物质之间的特殊力量（称为范德华力）固定在一起。

电子工程与计算机科学（EECS）

助理教授、电子学研究实验室（RLE）成员、这项研究论文的资深作者法尔纳兹·尼鲁伊（Farnaz Niroui）说：“然而，这种范德华力将材料集成到全功能设备中并非易事。”

“范德华力有一个基本限制，”她解释说，“由于这些作用力取决于材料的内在特性，因此无法轻易调整。因此，有些材料无法仅利用其范德华相互作用来直接相互整合。我们提出了一个解决这一限制的平台，以帮助范德华集成变得更加通用，促进具有新功能和改进功能的基于二维材料

纳米级表面力的多样性使研究人员能够将粘合剂基质转移到许多不同的材料上。例如，通过使用粘合剂聚合物，他们能够将图案化的石墨烯（一原子厚的碳薄片）从源基底（上图）转移到接收粘合剂聚合物（下图）上。

优势吸引

尼鲁伊与论文第一作者、电子工程与计算机科学研究生彼得·萨特斯韦特（Peter Satterthwaite），电子工程与计算机科学教授、RLE 成员 Jing Kong，以及其他研究者共同撰写了这篇论文。这项研究最近发表在《自然-电子学》上。

优势吸引

使用传统制造技术制造计算机芯片等复杂系统可能会很麻烦。通常情况下，像硅这样的硬质材料会被制成纳米级，然后与金属电极和绝缘层等

优势吸引

的器件的发展。”

然而，通过整合半导体层和绝缘层制成的异质结构是电子设备的关键组成部分。以前，实现这种集成的方法是将二维材料粘到一个中间层（如金）上，然后用这个中间层将二维材料转移到绝缘体上，最后再用化学品或高温去除中间层。

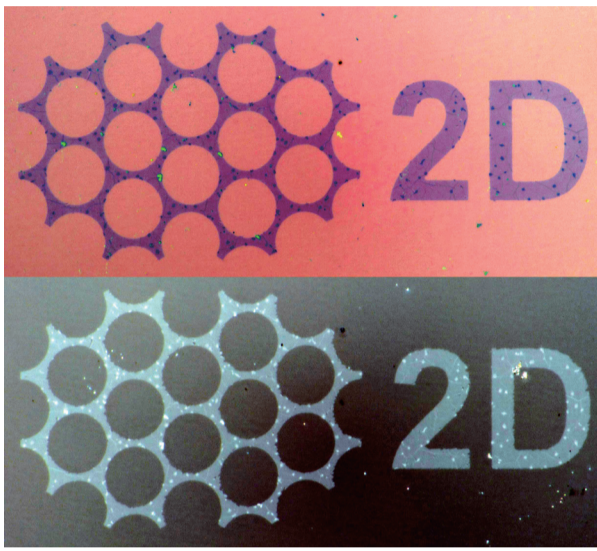
麻省理工学院的研究人员没有使用这种牺牲层，而是将低粘合力绝缘体嵌入高粘合力矩阵中。

优势吸引

这幅示意图展示了麻省理工学院研究人员开发的一种新型集成平台。通过对表面力进行工程设计，他们只需一个接触和释放步骤，就能直接将二维材料集成到设备中。

其他元件连接，形成有源器件。这种加工过程会对材料造成损害。

最近，研究人员专注于使用二维材料和需要连续物理堆叠的工艺，自下而上地构建器件和系统。在这种方法中，研究人员不是使用化学胶水或高温将脆弱的二维材料粘到硅等



统表面上，而是利用范德华力将一层二维材料物理集成到设备上。

范德华力是存在于所有物质之间的自然吸引力。例如，壁虎的脚会因为范德华力而暂时粘在墙上。虽然所有材料都存在范德华力，但根据材料的不同，范德华力并不总是强大到足以将它们粘在一起。例如，一种名为二硫化钼的流行半导体二维材料会粘在金属黄金上，但不会通过与二氧化硅等绝缘体表面的物理接触直接转移到该表面上。

然而，通过整合半导体层和绝缘层制成的异质结构是电子设备的关键组成部分。以前，实现这种集成的方法是将二维材料粘到一个中间层（如金）上，然后用这个中间层将二维材料转移到绝缘体上，最后再用化学品或高温去除中间层。

麻省理工学院的研究人员没有使用这种牺牲层，而是将低粘合力绝缘体嵌入高粘合力矩阵中。

这幅示意图展示了麻省理工学院研究人员开发的一种新型集成平台。通过对表面力进行工程设计，他们只需一个接触和释放步骤，就能直接将二维材料集成到设备中。

这种粘合基质使二维材料粘附在嵌入的低粘合力表面上，提供了在二维材料和绝缘体之间形成范德华界面所需的力。

制作基质

要制造电子设备，需要在载体基底上形成金属和绝缘体的混合表面。然后将该表面剥离并翻转，露出完全光滑的顶部，其中包含所需的器件构件。

这种平滑非常重要，因为表面和二维材料之间的间隙会阻碍范德华相互作用。然后，研究人员在完全洁净的环境中单独制备二维材料，并将其与制备好的器件堆栈直接接触。

“一旦混合表面与二维层接触，无需任何高温、溶剂或牺牲层，它就能拾取二维层并将其与表面整合在一起。”萨特斯韦特解释说，“通过这种方式，我们实现了传统上被禁止的范德华集成，但现在这种集成成为可能，而且只需一步就能形成功能齐全的器件。”

萨特斯韦特解释说：“这种单步工艺能使二维材料界面保持完全清洁，从而使材料达到其性能的基本极限，而不会受到缺陷或污染的影响。”

而且，由于表面也保持了原始状态，研究人员可以对二维材料的表面进行工程设计，以形成特征或与其他组件连接。例如，他们利用这种技术制造出了 p 型晶体管，而使用二维材料制造这种晶体管通常是具有挑战性的。他们的晶体管在以前的研究基础上有所改进，可以为研究和实现实用电子产品所需的性能提供一个平台。

展望未来

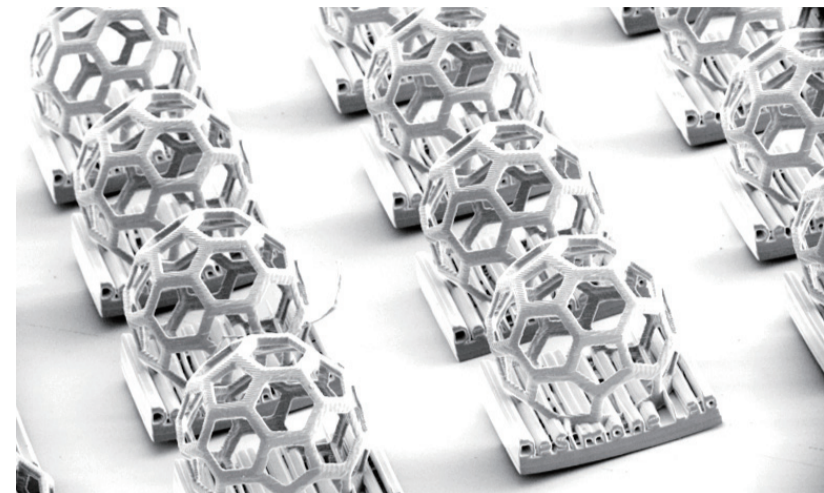
他们的方法可以大规模地制造更大的器件阵列。粘合基质技术还可用于各种材料，甚至与其他力量结合使用，以增强这一平台的多功能性。例如，研究人员将石墨烯集成到器件上，利用聚合物基质形成所需的范德华界面。在这种情况下，粘附依靠的是化学作用，而不仅仅是范德华力。

未来，研究人员希望在这一平台的基础上，整合各种二维材料库，在不受加工损伤影响的情况下研究它们的内在特性，并开发出利用这些卓越功能的新型器件平台。

这项研究的部分经费来自美国国家自然科学基金会、美国能源部、波士顿大学交叉学科奖学金和美国陆军研究办公室。制造和表征程序主要在麻省理工学院纳米共享设施中进行。

（逸文）

斯坦福大学推出新型 高速微米级三维打印技术



微米级三维打印新工艺几乎可以制造出任何形状的微粒，应用于医疗、制造、研究等领域——每天可制造多达 100 万个微粒。

三维打印的微粒非常小，肉眼看上去就像灰尘一样，可应用于药物和疫苗输送、微电子学、微流体技术以及复杂制造中的研磨剂。然而，由于需要精确协调光传输、平台运动和树脂特性，因此这种定制微米级粒子的可扩展制造具有挑战性。现在，斯坦福大学的研究人员推出了一种更高效的加工技术，每天可以打印多达 100 万个高度精细和可定制的微米级颗粒。

斯坦福大学博士生杰森·克罗内菲尔德（Jason Kronenfeld）说：“我们现在可以创造出更复杂的微观形状，而且速度之快是以前颗粒制造技术所没有的，材料范围也很广。”

这项工作以 2015 年推出的一种称为连续液体界面生产（或 CLIP）的打印技术为基础。CLIP 使用紫外光，以切片方式投射，将树脂快速固化成所需形状。该技术依赖于紫外光投射器上方的透氧窗。这样就形成了一个“死区”，防止液态树脂固化并粘在窗口上。因此，可以在不关闭窗口撕开每一层的情况下固化精致的特征，从而加快粒子打印的速度。

斯坦福大学医学院转化医学教授、本文通讯作者约瑟夫·德西蒙（Joseph DeSimone）说：“利用光来制造物体而无需模具，这为粒子世界开辟了全新的视野。我们认为，以可扩展的方式实现这一目标，将为利用这些粒子推动未来工业的发展带来机遇。我们很高兴这能带来新生产力，以及其他能利用这些想法来推进他们自己的愿望。”

这些研究人员发明的批量生产形状独特、比头发丝还小的微粒的工艺让人联想到流水线。首先是对薄膜进行精心张紧，然后将其送到 CLIP 打印机。在打印机上，数以百计的形状被同时打印到薄膜上，然后流水线开始清洗、固化和移除这些形状——所有这些步骤都可以根据所涉及的形状和材料进行定制。最后，空薄膜被卷起，整个过程被

称为卷对卷 CLIP 或 r2rCLIP。在使用 r2rCLIP 之前，一批打印好的颗粒需要人工处理，这是一个缓慢且劳动密集的过程。现在，r2rCLIP 的自动化使制造速度达到了前所未有的水平，每天可制造多达 100 万个颗粒。

如果这听起来像是一种熟悉的制造形式，那就是有意为之。

德西蒙说：“你不会买你无法制造的东西。大多数研究人员使用的工具都是制作原型和试验台的工具，用来证明重要的观点。我的实验室做的是转化制造科学——我们开发能实现规模化的工具。这是一个很好的例子，说明了这种关注对我们的意义。”

三维打印在分辨率与速度之间存在权衡。例如，其他 3D 打印工艺可以打印更小的尺寸（纳米级），但速度较慢。当然，宏观三维打印已经在大规模制造领域站稳了脚跟，如鞋子、家居用品、机器零件、橄榄球头盔、假牙、助听器等等。这项工作的目标是在这些领域之间寻找机会。

克罗内菲尔德说：“我们在速度和分辨率之间取得了精确的平衡。我们的方法与众不同，既能产生高分辨率输出，又能保持必要的制造速度，以满足专家们认为对各种应用至关重要的粒子生产量。具有转化影响潜力的技术必须能够从研究实验室规模适应工业生产规模。”

研究人员希望 r2rCLIP 工艺能被其他研究人员和工业界广泛采用。除此之外，德西蒙还认为，3D 打印作为一个领域正在迅速发展，它已经超越了对工艺的质疑，并对各种可能性充满了雄心壮志。

“r2rCLIP 是一项基础技术，”德西蒙说，“但我相信，我们现在正在进入一个关注三维产品本身而非工艺的世界。这些工艺正变得越来越有价值 and 有用。现在的问题是：高价值的应用是什么？”

研究人员已经尝试用陶瓷和水凝胶制造软硬两种颗粒。前者可应用于微电子制造，后者可应用于体内给药。

（逸文）

DLR开发探测飞行中的 过冷水滴技术



据德国航空航天中心（DLR）报道，研究人员在风洞和实时飞行测试中测试了十项新技术，以检测飞行中飞机上的积冰。

飞机上积聚的过冷大水滴会给飞行操作带来挑战。过冷大水滴（SLD）形成的冰可能会在防冰系统无法触及的位置形成。此外，与其他类型的“结冰”（如小水滴结冰）相比，这种冰的生长速度往往更快。据德国航空航天中心报道，欧盟 SENS4ICE 项目（在结冰环境中提高航空安全的传感器和可认证混合架构）由德国航空航天中心（DLR）牵头，与 16 个项目参与方合作，研究了检测 SLD 冰的新技术。

DLR 在报道中写道，在为期 5 年的项目中，研究人员开发了十项直接探测飞行中结冰的技术。然后，他们在小液滴和 SLD 结冰条件下，在结冰风洞中对这些技术进行了成功测试。其中一项新技术是局部冰层探测器（LILD），由 DLR 轻型系统研究所开发，可集成到机翼或尾翼等飞机结构上。LILD 分析了超声波如何受到飞机结冰的影响，即超声波在飞机上结冰时如何变化。

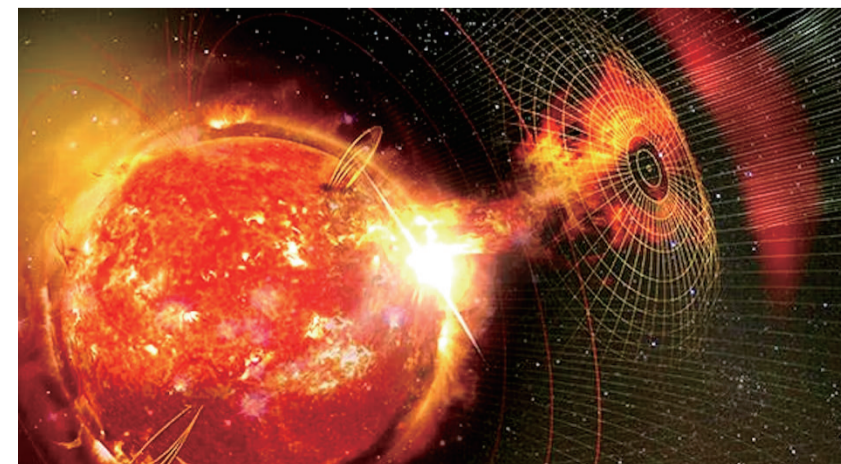
研究人员开发了基于热学、光学和电学原理的飞机传感器技术，还有一些方法研究了利用卫星数据识别 SLD 状况，这也将有助于改善天气预报。

（航柯）

DARPA选择RadiaBeam技术公司 测试抗辐射下一代电子产品

美国军方研究人员从 RadiaBeam 技术公司找到了对高可靠性下一代电子设备的辐射诱导单次事件效应（SEE）测试方法的解决方案。

美国国防部预先研究计划局（DARPA）官员近日宣布与 RadiaBeam 公司签订一份价值 1060 万美元的合同，用于单次事件效应辐射测试高级源（ASSERT）项目。



在为期 4 年半的 ASSERT 项目中，RadiaBeam 公司将开发三维异质集成（3DHI）电子元件和电路的 SEE 测试能力，并寻求改变当今的辐

射加固电子设计流程，以实现太空和核战争应用中下一代电子产品的快速部署。

DARPA 官员表示，他们预计将为 ASSERT 计划授予几份合同，因此未来会有更多的公告。

RadiaBeam 公司的目标是产生穿透厚度 5 毫米硅的高能粒子并具有高辐射相关的线性能量转移且小于 0.2 微米直径的光束。

RadiaBeam 公司的工程师将负责一个 ASSERT 计划技术领域，即 3DHI 辐射加固技术，该技术领域将解决两个技术难题：在 3DHI 组件中

实现深度穿透，并实现空间辐射线性能量转移；以及实现精细空间分辨率的电荷轨迹。研究工作必须同时应对这两项技术挑战。

威胁电子系统的辐射效应主要有三个自然来源：宇宙射线、行星磁场捕获的带电粒子以及太阳粒子事件。

粒子加速器、反应堆和核武器等人工辐射源也对电子系统构成威胁。电子系统易受总电离剂量、位移损伤剂量以及对单个电离粒子（如 SEE）的瞬时反应的影响而发生紊乱、退化和故障，这威胁着美国核武库、航天器、航空电子设备以及地面系统（如计算机服务器群和自动驾驶汽车）的可靠性。

线性能量传递是一个关键的 SEE 测试参数，用于测量高能粒子穿过材料时单位长度上沉积的能量。空间辐射线性能量传递的范围为 0.1 至 100MeVcm²/mg。

目前，美国 SEE 测试的主要方法是利用重离子源产生大直径光束，对电子产品进行部件和电路板级辐射鉴定。这些源产生的束斑面积相对较大，从几平方厘米到 60 平方厘米不等，穿透深度可达数百微米。

与前几代产品相比，新兴的先进电子器件更加复杂，集成度更高，可以利用三维拓扑结构和多种材料类型

将数字、模拟和光学功能结合在一起。三维元件的垂直范围预计将达到几毫米，其复杂性和集成度将使其难以（甚至不可能）拆解和分解成部件，难以使用当前的重离子源进行辐射测试。

对集成组件进行 SEE 测试将需要一种辐照源，它能提供几毫米的穿透深度、与空间辐射相关的线性能量转移以及精细的空间分辨率和控制，从而提供探测敏感区域和隔离故障所需的线性和角度精度。

目前的 SEE 测试无法同时满足所有这些要求，因此需要新的测试源来鉴定下一代微电子产品，以满足在辐射环境中要求高可靠性的核战争应用和太空应用。

使用离子束进行测试的过程既缓慢又费力，而且随着电子产品的复杂性不断增加，问题也越来越严重。因此，ASSERT 源必须结构紧凑、成本效益高，以便将其纳入开发流程。

这样，辐射鉴定将贯穿整个设计和制造流程，而 ASSERT 辐射源则提供了快速识别辐射设计缺陷的手段，有助于迅速纠正和优化设计。该计划的一个关键目标是从设计到辐射合格组件的时间缩短 10 倍。DARPA 研究人员对短脉冲相对论电子束和超短脉冲 X 射线等技术特别感兴趣。

（航柯）