

完全由碳制成的金属线：为碳基计算机奠定基础

如今，智能手机、笔记本电脑等电子产品在我们身边随处可见。然而，我们一直追求着更快的运行速度、更低的耗电量。因此，作为电子器件的基础，晶体管研究领域的技术突破显得非常重要。

根据摩尔定律，随着半导体技术不断进步，晶体管尺寸将不断缩小，单颗芯片上可容纳的晶体管数量不断增加，如今最先进的芯片上容纳的晶体管数量已经超过百亿。

可是，随着晶体管尺寸逼近5纳米，我们就面临新的问题，例如“量子隧道效应”。也就是说，电子不再受制于欧姆定律，穿越了原来无法穿越的势垒，引起了集成电路漏电现象，使晶体管变得不再可靠。此外，随着单颗芯片上集成的晶体管数量不断增加，电荷带来的发热问题会更加严重，从而影响到芯片的处理速度与性能。为了打破传统硅基芯片发展面临的物理制约瓶颈，世界各国的科学家们近年来开始研究替代硅基芯片的新型材料。

碳基晶体管有望提升计算机的速度，并将其功耗降低至千分之一以下（我们可以想象一部手机保持数月的电量）。但是到目前为止，构建有效的碳电路所需的工具集仍不完整。

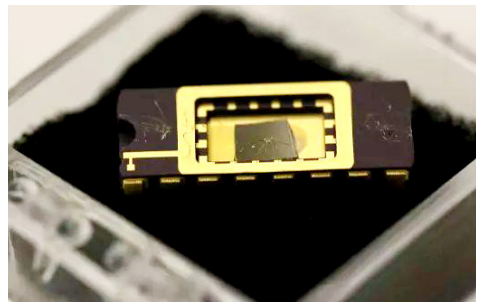
近日，美国加州大学伯克利分校的化学家和物理学家团队终于创建出工具箱中最后一个工具，即完全由碳制成的金属线，为进一步开展研究以打造碳基晶体管并最终成为碳基计算机奠定了基础。

加州大学伯克利分校化学系教授尼克·菲舍尔（Felix Fischer）指出，用相同材料制作所有电路元件的能力可使制造变得更简单。他表示：“碳基材料领域内的相同材料，是现在可以将这项技术整合在一起的原因。这一直是全碳基集成电路架构的全局中缺少的关键事物之一。”加州大学伯克利分校与劳伦斯伯克利国家实验室（Berkeley Lab）的研究人员于2020年9月25日将他们的发现发表在《科学》（Science）杂志上。技术金属线（如用于连接计算机芯片中晶体管的金属通道）将电子从一个设备运送到另一个设备，并互连晶体管（计算机构建模块）中的半导体元件。加州大学伯克利分校的小组一直致力于如何用石墨烯纳米带制造半导体和绝缘体。石墨烯纳米带是一维的、原子厚度的石墨烯窄带。石墨烯是一种完全由碳原子组成的结构，碳原子排列成相互连接的六角形图案，类似于六角形网眼铁丝网。

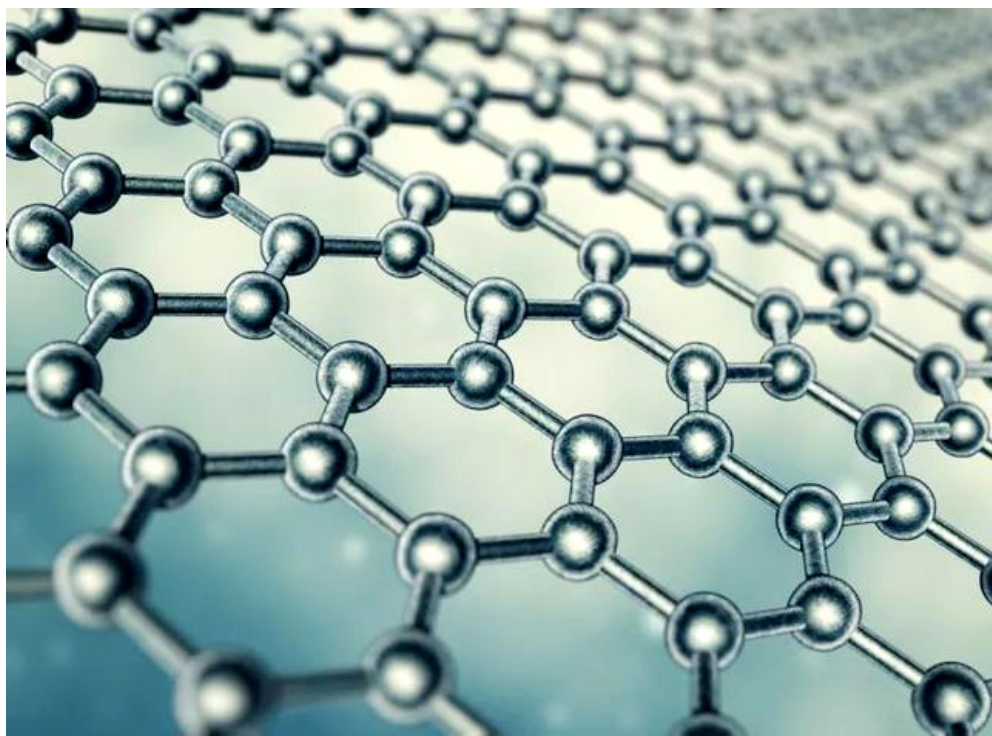
新的碳基金属也是石墨烯纳米带，但设计时要注意全碳晶体管中半导体纳米带之间的导电电子。菲舍尔的同事、加州大学伯克利分校物理系教授迈克尔·克罗米（Michael Crommie）说，金属纳米带是通过由较小的相同构造块组装而成：自下而上的方法。每

个结构单元均贡献一个电子，这个电子可沿着纳米带自由流动。

尽管其他碳基材料（如扩展的二维石



石墨烯光电晶体管



石墨烯结构示意图

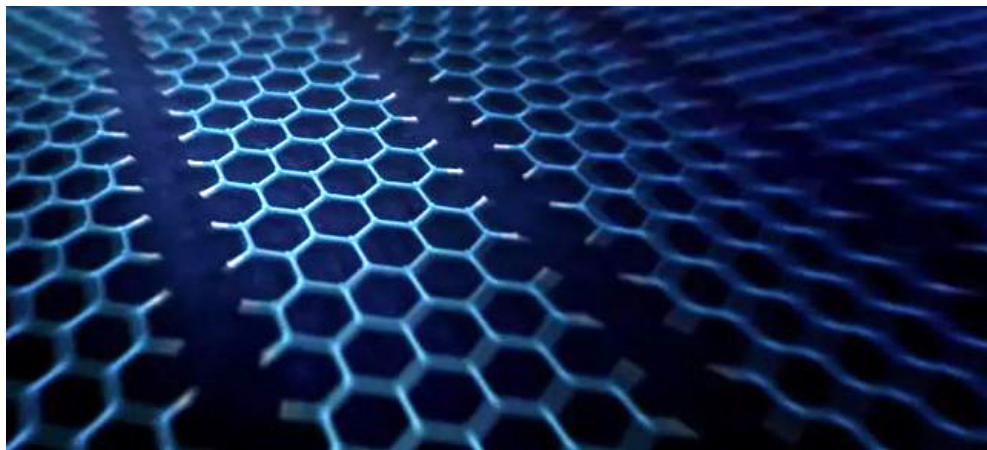
墨烯和碳纳米管薄片）可以是金属的，但也存在问题。例如，将二维石墨烯薄片重塑为纳米级条带，可自动地将其变成半导体，甚至绝缘体。碳纳米管是极好的导体，但却不能以与纳米带相同的精度和可重复性大量制备。克罗米表示：“纳米带使我们能用自下而上的方法以化学方式访问各种结构，而纳米管目前无法做到这一点。这使我们基本上将电子缝合在一起，以创建出金属纳米带，而以前没有做过。这是石墨烯纳米带技术领域的重大挑战之一，也是我们对此感到如此兴奋的原因。”金属石墨烯纳米带（具有宽的、部分填充的金属电子带特征）具有可与二维石墨烯本身相媲美的电导率。菲舍尔补充道：“我们认为，金属线确实是一项突破。这是我们首次有用碳基材料制造一种超窄的金

属导体（一种良好的本征导体），而无需外掺杂。”

根据摩尔定律，数十年来，基于硅的集成电路一直推动着计算机的发展，其速度和性能都在不断提高，但已达到了速度极限，也就是说在0和1之间切换的速度达到了极限。降低功耗也变得越来越困难。计算机已经消耗了世界能源产量的很大一部分。菲舍尔说，碳基计算机的切换速度有望比硅计算机快许多倍，并且仅消耗很小一部分功率。石墨烯是纯碳的，是这些下一代碳基计算机的主要竞争者。窄带的石墨烯主要是半导体，然而，挑战在于使它们同时充当绝缘体和金属（极端相反，分别是完全不导电和完全导

电的），以便完全由碳构成晶体管和处理器。几年前，菲舍尔和克罗米与加州大学伯克利分校的物理学家教授，理论材料科学家史蒂文·路易（Steven Louie）合作，发现了连接小长度纳米带的新方法，从而可靠地创造出全范围的导电性能。两年前，该团队证明，通过正确连接纳米带的短段，每个段中的电子可以排列成一个新的拓扑状态（一种特殊的量子波函数），从而产生可调谐的半导体特性。在这项新工作中，他们使用类似的技术将纳米带的短段缝合在一起，以创造出一条数十纳米长、仅几纳米宽的导电金属线。

纳米带通过化学方式产生，并使用扫描隧道显微镜在非平坦的表面上成像。简单的加热就可以使分子发生化学反应，并以正确的方式结合在一起。菲舍尔将菊花链式积木的装配比喻为乐高玩具，然而却是适合原子尺度的乐高玩具设计。他说：“它们都是经过精确设计的，因此只能以一种方式装配在一起。就像你拿着一袋乐高玩具，摇晃它，然后出来一辆完全组装好的汽车。这就是用化学方法控制自组装的魔力。”组装完成后，新的纳米带的电子状态就是一种金属，正如路易预测的那样，每一段都贡献一个单独的导电电子。最终的突破归因于纳米带结构的微小变化。克罗米表示：“我们使用化学产生出微小的变化，即每100个原子中只有一个化学键发生了变化，但是这将纳米带的金属性能提高了20倍，从实用的角度来看，让它成为一种很好的金属很重要。”两位研究人员正在与加州大学伯克利分校的电气工程师合作，将他们的半导体、绝缘和金属石墨烯纳米带的工具箱组装到工作的晶体管中。菲舍尔说：“我相信这项技术将在未来改变我们构造集成电路的方式。这应该使我们从目前由硅所预期的最佳性能向前迈进一大步。我们现在有了一条以更低功耗获得更快开关速度的途径。未来，这将推动碳基电子半导体产业发展。”（逸文）



石墨烯纳米带示意图

三星制造出交互式超薄全息显示器

三星科学家制造了一种交互式的超薄全息显示器，可将3D视频的视角增加30倍。之所以做成超薄玻璃原型，是希望将来可以更轻松地将其集成到移动设备中。

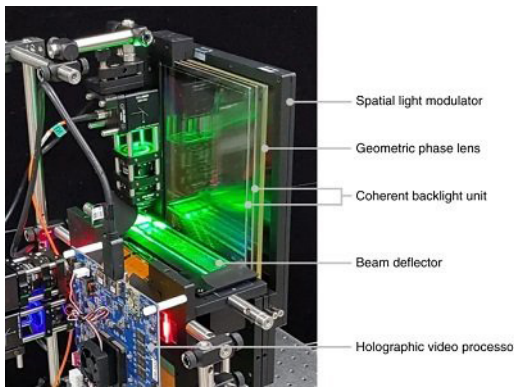
全息技术是一种摄影技术，可以记录从物体散射的光并将其呈现为三维图像，就像《星际大战》中的莱娅公主的全息图一样。但是与普通3D图像不同，全息投影允许观看者四处移动并从不同位置获得不同的视角。

韩国团队使用他们的显示器观看了全屏的4K游泳乌龟互动视频，可以从多个角度进行观看并使用键盘进行交互。由于视角狭窄、光学器件庞大，以及所需的强大计算能力，全息视频显示器还没有实现真正的商业化。三星电子技术研究所和韩国首尔大学的研究人员使用转向背光单元，包括光束偏转器和全息视频处理器来解决这些问题。

由两块玻璃之间的液晶组成的光束偏转器像棱镜一样以光学

方式操纵透射的光线。它采用“衍射波导”设计，该设计可控制光波在特定方向上的方向并节省能量。研究小组发表于《nature communications》上的论文中介绍道：“转向背光单元能够将视角扩大30倍，其衍射波导架构使显示器的外形变得纤薄，厚度不到0.3英寸（1厘米）。”

超薄平板全息显示器可以在办公室和家庭环境中提供逼真的三维视频。（杭柯）



高度为25厘米，厚度为1厘米的原型在最大1米的距离上提供15°的视角。该原型包括光学组件（光束偏转器，相干背光单元和几何相位透镜）、全息视频处理器板、空间光调制器、电源连接器和其他各种组件。

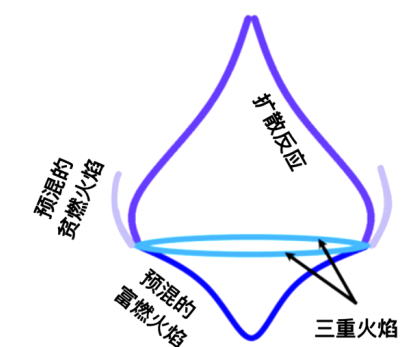
科学家从火焰结构确定新燃烧类型 有望改善环保与燃烧效能问题

2003年，一道闪电击中了美国肯塔基州某个乡村中的威士忌仓库，引发了80多万加仑的藏酒起火。其中一些威士忌流入了附近的湖水中，引发了巨大的火龙卷。后来，一些科学家从视频中看到了这一幕，激起了他们对火龙卷的研究兴趣。

2016年，马里兰大学的一组科学家在实验室研究火龙卷时收获了意外的惊喜，他们首次发现混乱的火旋涡变成了温和、干净的火焰，他们将这种幽灵般的安静火焰称为蓝色旋涡（blue whirl）。

那时，研究人员Huahua Xiao、Michael Gollner和Elaine Oran在实验室中搭建了一个由两个石英半圆柱体和一个装满了水的圆柱体不锈钢容器组成的实验装置。他们将一种名为正庚烷的液态燃料倒在静止的水面上，然后让两个半圆柱体悬挂在不锈钢容器之上。两个半圆柱体之间会形成的垂直狭缝，当燃料被点燃时，冷空气能以切向的方式被吸入火焰区域，这是一种在实验室研究中常用的制造火焰风的方法。

在燃料刚被点燃时，水面上一开始先是出现混乱的大火；接着，从狭



模拟结果所显示的蓝色旋涡结构图。

缝中吸入的冷空气形成了强烈的垂直气流，造就了一个高而强烈的火焰风；再然后，这一切突然意外地坍缩成了平静的、旋转的蓝色火焰。

这种小型的、稳定的旋转火焰，看起来像玩具陀螺一样，形状有点类似《哈利·波特》中的分院帽，它的大部分燃烧是沿着一个非常明亮的蓝色光环旋转，在燃烧时几乎不会产生任何烟尘，是一种燃料效率非常高的燃烧方式。这一点非常具有吸引力，因为这意味着这种火焰或许能被用来让燃料的燃烧变得更加清洁和高效，从而

为清理海上的石油泄漏等问题提供有效的解决方法。

然而，在将这种理想的清洁燃烧形式用于实践之前，详尽地理解这种火焰的结构是十分关键的，但这并不容易做到。直到最近，一篇发表在《科学进展》上的研究表明，马里兰大学的Joseph Chung和Xiao Zhang等人通过使用超级计算机，分析了2016年的蓝色旋涡实验数据，并最终揭示了这种神秘火焰的结构，成功地确认了燃烧的类型。

通常情况下，大多数火焰可分为扩散火焰和预混火焰两大类。在扩散火焰中，燃料和氧气通常最初是分开的，它们相互扩散，火焰会在氧气和燃料相遇的地方形成，这种过程在一定程度上会限制火焰的燃烧速度。在预混火焰中，氧气和燃料会预先混合，根据燃料与氧气的比例，预混火焰可分为三种不同的类型，分别是富燃火焰（燃料过量）、贫燃火焰（燃料不足）和化学计量性火焰（燃料恰到好处）。

新研究中的对蓝色旋涡的模拟和计算是基于纳维叶—斯托克斯方程（NS方程）进行的，进行这种模拟并不容易，其中涉及到在多个时间和空间尺度上、

从多个物理和化学角度进行计算，这些计算都很困难，并且计算代价高昂。尤其是研究人员想要在3D动态的形式下对火焰进行模拟，更是增添了计算成本。

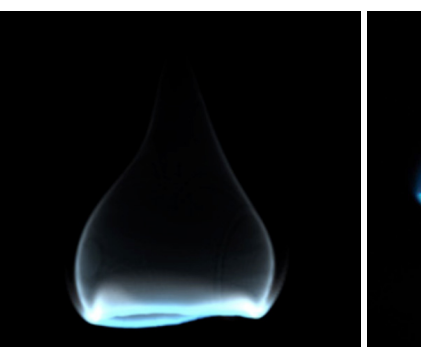
尽管如此，研究人员通过调整模型中的一些参数，比如燃料和空气的速度和流量等，最终成功地形成了一个蓝色旋涡。模拟结果表明，这种火焰中存在三种不同的层流火焰：一种扩散火焰，一种预混的富燃火焰和预混的贫燃火焰，每一种都以不同的速度释放热量。当这三种火焰相遇，会形成一个旋转着的蓝色光环的三重火焰。



稳定的蓝色旋涡。

是发生在旋涡流中的流体不稳定性。如此一来，四种不同类型的火焰组成了我们看到的蓝色旋涡：它的底部是预混的富燃火焰；顶部是紫色的像分焰帽一样的扩散火焰；在实验中不可见的是围绕在紫色环周围的预混贫燃火焰，它就处于扩散火焰外围的上部区域；明亮的蓝色光环则是三种火焰交汇的地方，即三重火焰。

除了研究火焰的结构之外，研究人员还分析了蓝色旋涡的流动结构。模拟结果表明，流动结构的出现是由涡旋破碎（vortex breakdown）所导致的结果，涡旋破碎是一种流体力学现象，



蓝色旋涡是一种小型的旋转火焰，燃烧时几乎不会产生烟尘。



上海交大开发仿生飞行机器人避障系统

在开发机器人系统和计算工具时，计算机科学家经常从动物或其他生物系统中获取灵感。事实上，根据一个系统的独特特征和目的，自然界通常会提供具体的例子，说明它如何能够快速有效地实现目标。

上海交通大学的研究人员最近开发了一种新的基于生物灵感和计算机视觉的障碍物规避系统，可以改善在动态环境中运行的飞行机器人的导航。这套系统的研究论文预发表在arXiv上，其灵感来自于猫头鹰如何探测和避开周围环境中的物体或其他动物。

“虽然猫头鹰无法在任何方向上移动他们的眼睛（类似于立体相机），但他们有一个非常灵活的颈部，可以旋转270度，这使得他们即使背后也可以快速观察，而不需要重新定位他们的身体。”研究人员在论文中写道。

为了复制猫头鹰在不同方向上移动眼睛并探测周围静态和移动物体的方式，研究人员在一个四旋翼飞行器上安装了一个伺服电机和一个立体相机。在他们的设计中，伺服电机作为颈部，立体相机作为头部。由于立体相机的重量很轻，它的移动速度可以比机器人的身体快很多，而且它的移动几乎不会影响机器人的运动质量和飞行方向。

该系统采用传感器规划算法，估算出机器人感知不同方向物体的好处，并据此规划出它的“头”（即立体相机）应该旋转的角度。这样一来，四旋翼机器人就会不断地主动感知周围环境，迅速识别出阻碍其前进的障碍物。

此外，该系统还能跟踪并预测其附近移动障碍物的轨迹，根据周围环境的变化调整其动作。最后，根据立体相机收集的数据，该系统使用基于采样的路径规划器来规划无碰撞路径，勾勒出能让机器人到达特定位置或完成任务的运动，而不会与其他物体发生碰撞和损坏。

“总的来说，这个系统被称为主动感知和避免（ASAA）系统。”研究人员在论文中解释道。“据我们所知，这是第一个应用主动立体视觉来实现飞行机器人避障的系统。”

上海交通大学的研究人员在真实环境中进行的一系列实验中评估了他们的ASAA系统。在这些实验中，一个四旋翼飞行器要必须避开所有障碍物到达所需的位置，要么必须监控和捕捉一只人工老鼠。这些测试的结果是非常振奋人心的，因为机器人在这两项任务中都表现得很好，能迅速适应环境的突然变化，避免与静态和移动的障碍物发生碰撞。

此外，研究人员制作的原型采用了一个单一的立体摄像机；因此，它的价格相对便宜。这可能使其更容易制造和大规模实施。

未来，该系统可用于在更复杂的环境中执行任务，从城市地区到主要由野生动物居住的自然环境。该系统还可以启发人们在类似设计的基础上开发其他具有增强避障能力的飞行机器人。在接下来的研究中，研究人员将尝试创建复制其他动物行为的系统，同时还将利用强化学习技术进一步提高系统的传感性能。（钱文）