

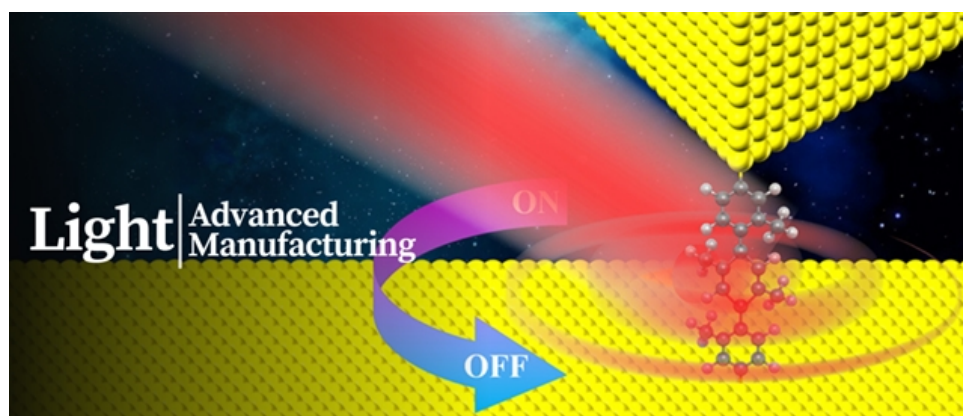
光电驱动“单分子开关”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25229.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

光电驱动“单分子开关”。



后摩尔时代

英特尔创始人之一的戈登·摩尔曾用摩尔定律来描述信息技术飞速发展的趋势。具体来说，半导体芯片中可容纳的晶体管数量每18个月到24个月就会增加一倍，这一趋势深刻影响着人类世界文明的发展进程。

近几十年来，我们日常使用的计算机、手机等电子设备的运算能力得到了极大的提升，同时运算能力的激增也带来了如人工智能等全新的研究范式与手段。然而，在2023年的今天，摩尔定律所预示的半导体芯片小型化趋势因受到物理极限的限制而逐渐放缓了脚步，世界进入后摩尔时代。目前，如台积电等世界顶尖的半导体芯片制造厂商，已将半导体芯片的制程推进到了3~5 nm节点。这意味晶体管的尺寸正在逐渐接近单分子或无机团簇的领域。

早在20世纪50年代，为了设计构建具有极限尺寸的电子器件，研究者们就开始有了利用单分子实现电子器件的想法。最初提出分子电子学（Molecular Electronics）这一概念的是美国空军航空研究与发展指挥部C. H. Lewis上校。1974年，IBM的Ari Aviram与其导师Mark Ratner教授共同提出利用非对称给受体分子构建单分子二极管的设想（Chem. Phys. Lett. 1974, 29, 277），这通常被认为是分子电子学领域的开端。

然而，时光荏苒，分子电子学领域的发展一直举步维艰，直到1997年，才有了第一次受到大众认可的实验结果（Science 1997, 278, 252）。之所以分子电子学这个领域的发展如此艰难，是因为其具有化工、材料、电子、化学、物理等学科高度交叉的特点，如此高的门槛使得只有世界上少数

的顶尖高校及科研机构才能从事该领域的研究。

虽然目前的半导体芯片制程工艺已达到分子电子学的领域，但是分子电子学在基础理论研究方面仍然还存在许多不足之处，不足以支撑其实际应用，有待更多的研究者进一步探索与发展分子电子学领域。

单分子逻辑门

理解和控制单分子开关是分子逻辑运算和纳米级计算进一步发展的基础。

分子结在分子电子学中的作用通常与电子传输相关，然而其精确表征阻碍了分子结技术的广泛发展。最近，大多数研究都集中在分子结的电子表征上。

实际上，除了施加的电压之外，光场也可以影响分子的状态，并互补地表征分子状态。光场与分子结的相互作用是分子开关技术发展的关键补充因素。然而，大多数传统光谱方法都受到衍射极限的限制，难以实现纳米级超高空间分辨率的分子态表征。

基于局域表面等离子体模式的近场增强技术可以突破衍射极限，为超分辨显微光谱技术提供出色的解决方案。这种近场增强技术为纳米空间区域提供了超高精度的调控及表征方法，例如用于纳米电子器件中隧道电流的相干控制、处理和测量技术。

近期，由佛山季华实验室毕海研究员领导的研究团队及其合作者提出了一种单分子拉曼开关，该开关不仅可以由施加的电压控制，也可以通过入射光场的方向来控制。

在该项研究中，研究了近场光学角动量和偏置电压对单分子结（单分子开关）拉曼响应的综合影响。使用自制的分子结光谱（MJS）平台，对 TM-TPD 共价连接的金属-分子-金属结中的光电驱动分子构象转换进行了表征。基于 TM-TPD 的非 π 共轭分子线将隧道显微镜的镀金针尖与金衬底电连接。

此前的研究结果表明，TM-TPD 分子结可以使用偏置电压打开和关闭分子的拉曼活性。在该项研究中，深入讨论了入射光场偏振及电磁近场对称特性的影响，并进一步证明了可以使用入射光场来控制单分子开关。分子结处拉曼响应的这种变化与分子构象的改变有关。通过改变光场入射方向和施加到分子结的电压，可以打开和关闭分子结的拉曼响应，两种状态之间的拉曼强度相差近五个数量级。

该成果以 Effect of near-field optical angular momentum on molecular junctions 为题发表在 Light: Advanced Manufacturing。

图1：光电驱动单分子拉曼开关示意图

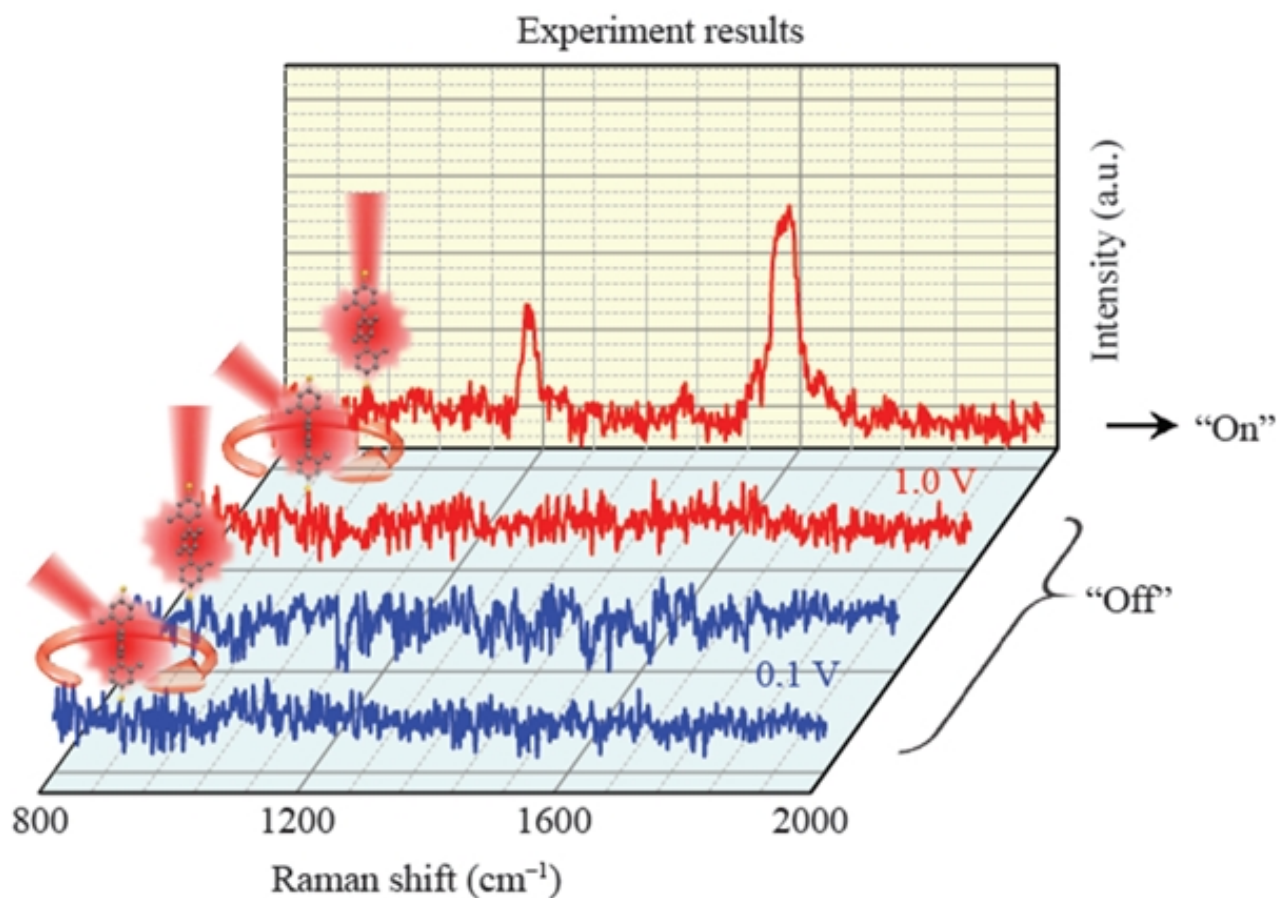


图2：单分子开关在不同入射光场和偏置电压条件下的拉曼响应

研究表明，分子结的构象不仅可以通过施加在单分子结上的电压来控制，还可以通过近场中的光学角动量来控制，而近场中的光学角动量可以通过分子结中的等离子体激元间隙模式来增强。高偏压会导致分子结的电子密度重排，从而激活拉曼模式。这种拉曼模式通过 TM-TPD 分子的平坦化和增加的 π 共轭性得到增强。当电磁场分布不对称时，光场的角动量会产生 z 轴扭矩。这使得 TM-TPD 分子构象的改变成为可能，破坏了传输电子密度重排，最终抑制拉曼模式。通过实验研究确定了光学角动量可以作为分子开关的驱动条件。更准确地说，发现了近场角动量激发与光学系统对称性之间的密切联系。

该项研究为单分子逻辑门和近场光学角动量的研究开辟了新途径。研究中以 MJS 平台为基础实现在单分子分辨率研究物理化学现象的方法，是新一代纳米力学研究的出发点。从技术上讲，这些研究证明了对单分子出色的表征和调控能力，为多逻辑单分子计算开辟了新途径。

前景展望

随着信息技术的高速发展，物联网、大数据和人工智能等相关技术的大范围应用对现有的数据存储及电子运算技术提出了严苛的挑战。传统的计算架构是基于运算和存储单元分离的冯·诺依曼架构，在面对大数据处理的情况下，运算与存储单元的分离会造成内存墙问题。

而基于非冯·诺依曼架构的存算一体技术，通过将运算与存储单元整合为单一器件，为满足人工

智能等依赖大数据处理的应用提供了一条极为重要的技术路径。当然，这要求存算一体器件需具有极致的高集成度和低功耗。

单分子器件由于其纳米量级的空间极限尺寸，毫无疑问会成为存算一体器件有力的候选者之一。而要将单分子器件正式应用于纳米计算技术，还有很长的路要走。这需要大量的研究者共同努力，不断克服分子电子学领域中的种种难题。相信，在未来的某日，人们终将突破现有运算能力的瓶颈，实现人类文明的跨越式发展。

总结

双光子光刻技术能够精确制备三维结构，并将其精准集成在光电芯片上，能够在光纤-芯片以及芯片-芯片之间，构建大带宽、低损耗的光信号链路，实现光信号的高效互连，降低封装过程的对准精度，给光学芯片的封装过程带来了全新的机遇。

随着技术的迭代演进和行业的进一步发展，我们预期基于双光子光刻的光电芯片封装架构，将会得到大规模应用，解决光电芯片的封装难题。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2023.034>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：毕海等 来源：《光：先进制造》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发