
跳出物理层局限：杂化层光学数据存储如何开启下一代高密度光学数据存储

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40193.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！

跳出物理层局限：杂化层光学数据存储如何开启下一代高密度光学数据存储。

中国科学技术大学黄坤教授团队在中国工程院院刊Engineering发表题为Hybrid-Layer Data Storage with High-Orthogonality Random Meta-Channels（基于高正交性随机超表面信道的杂化层光学数据存储）的研究性文章。该研究提出了杂化层光学数据存储全新架构，借助高正交随机元通道与超表面技术，将物理存储与虚拟存储相结合，在不增加实体空间的前提下，显著提升存储密度并降低信号干扰，为下一代大容量光学数据存储提供了系统性解决方案。

光学数据存储的时代瓶颈：只会叠层数，已经走不通了

一直以来，想让光学数据存储装下更多数据，大家最直观的办法就是往上叠层——像摞书本一样，多加几层物理记录介质。但这种笨办法藏着两个绕不开的麻烦：

一是层与层离得太近，信号很容易互相串台干扰，数据读着读着就不准了；

二是光学读写设备的工作距离就那么长，能叠的物理层数天生有上限，想再提密度，空间已经被锁死。

说白了，传统光学数据存储仅靠堆物理层的老路，已经摸到了技术的天花板，很难再往前迈大步。

杂化层光学数据存储：用虚拟层打开存储新维度

为突破传统多层存储的局限，研究团队提出基于高正交随机元通道的杂化层光学数据存储理念。其核心创新，是在单一物理层之上，构建多个不占用实体空间的虚拟存储层，形成物理层+虚拟层的协同存储体系。

为保证稳定可靠，团队在设计上实现三项关键改进：首先，让不同通道的像素在空间上互不重叠，从源头降低串扰；其次，采用随机分布的像素结构，避免周期性结构带来的多余衍射；最后，为每个像素加载双相位调控，分别控制光束传播与图像重构，使各通道独立承载信息。

物理层用于直接记录信息，虚拟层通过全息重构在不同传播距离形成可稳定读取的数据层，实现一份物理载体，多层数据记录。

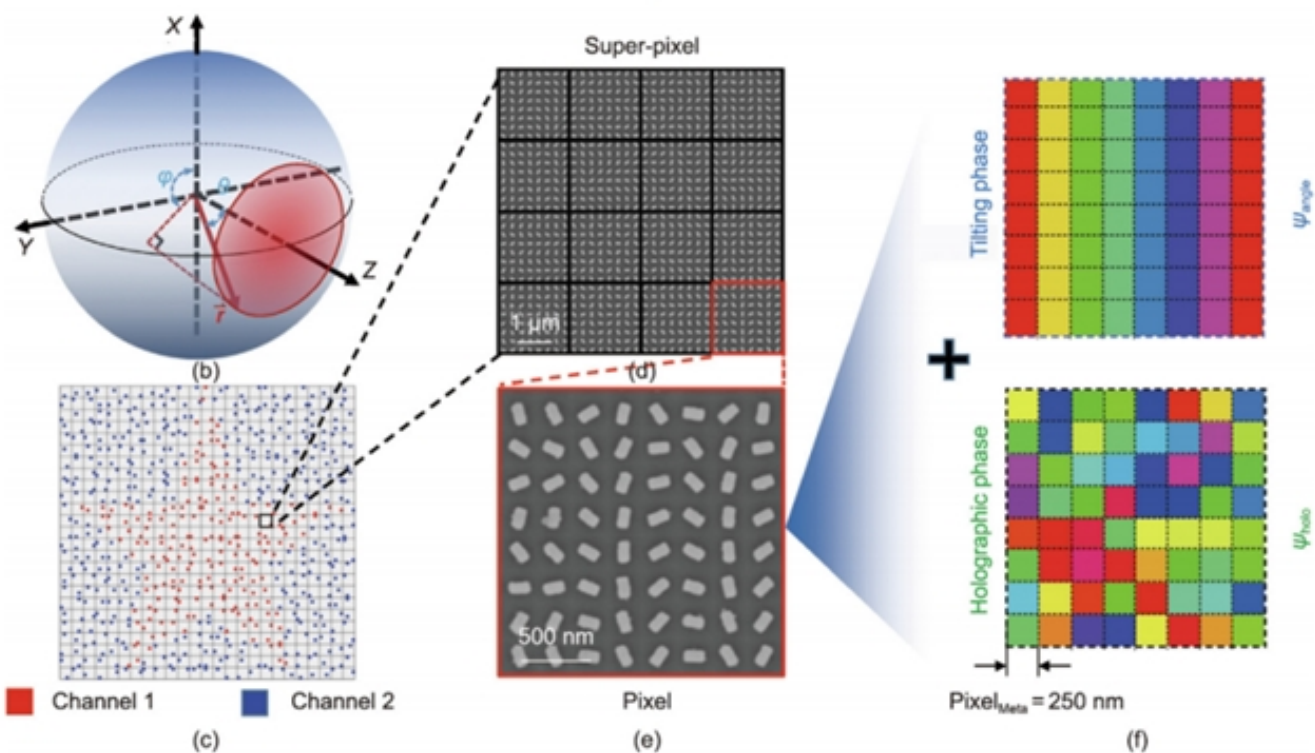
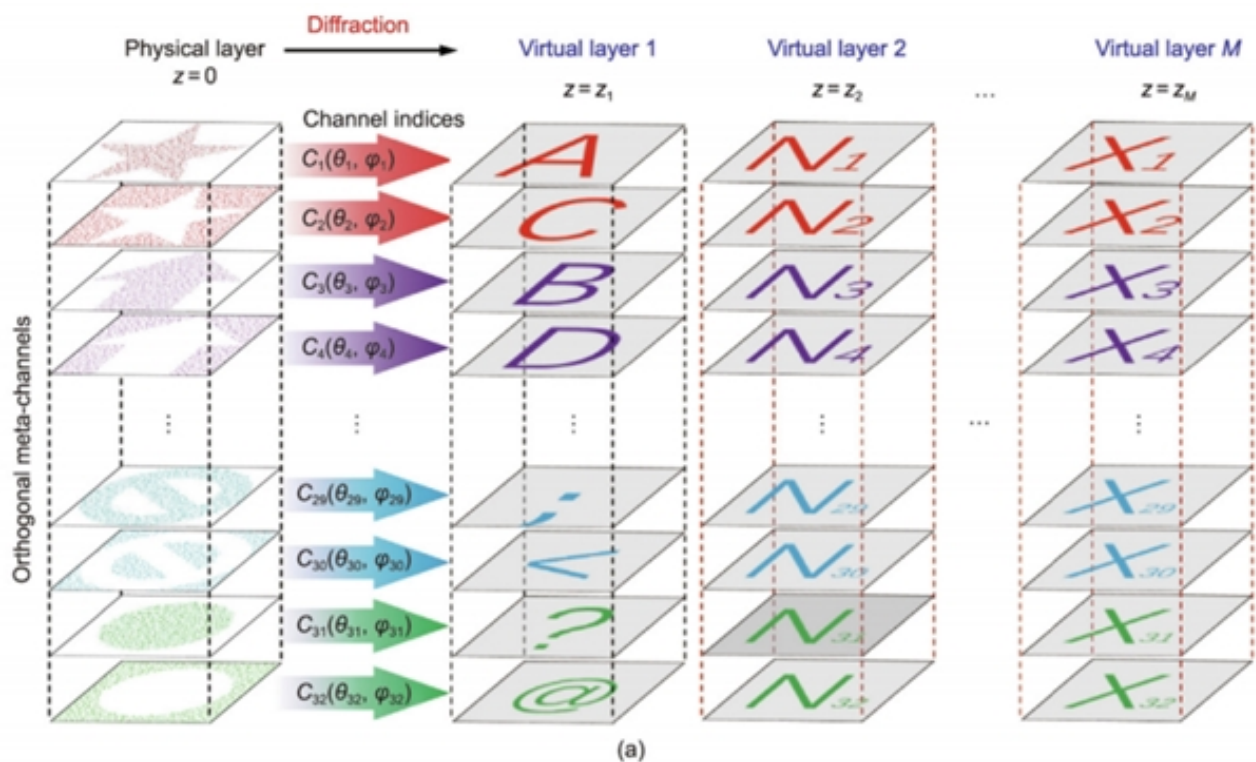


图1. 杂化层光学数据存储概念示意图

实验验证：方案切实可行，存储与读取效果可靠

该研究团队使用晶体硅纳米砖结构制作出亚波长超表面，完成了原理验证实验。测试结果表明，物理层可以稳定存储多组图像信息，虚拟层也能通过光学衍射，还原出清晰可识别的全息图像，通道之间干扰较低，整体信号质量能够满足数据存储的基本要求。

在同样的空间体积内，杂化层方案可以记录更多数据，既不需要增加物理层厚度，也不会明显加重信号串扰问题。实验结果充分说明，杂化层光学数据存储工程上具备实现条件，拥有走向实际应用的潜力。

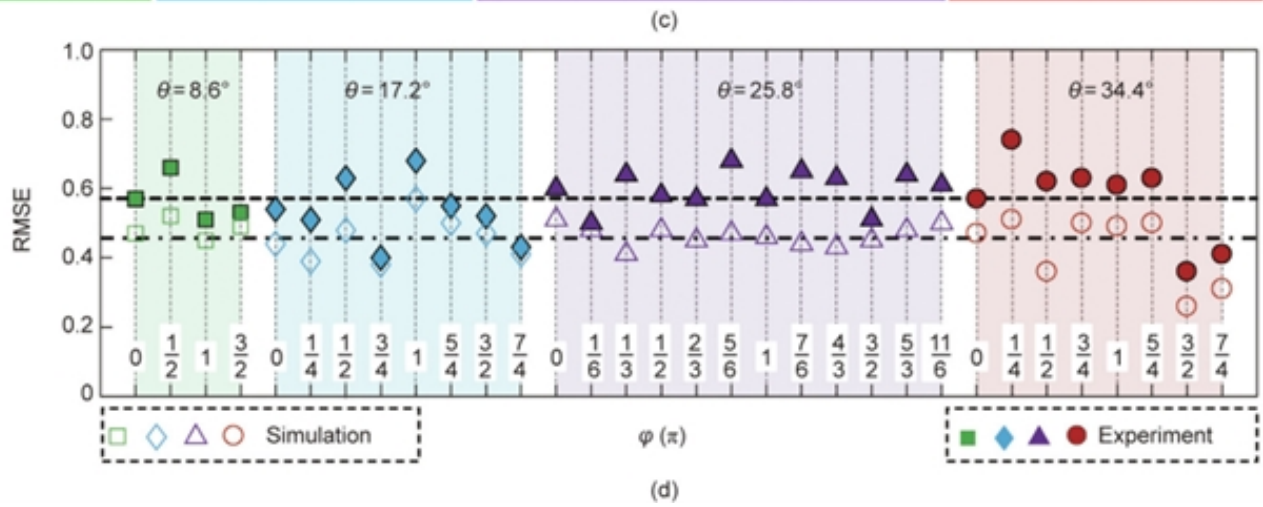
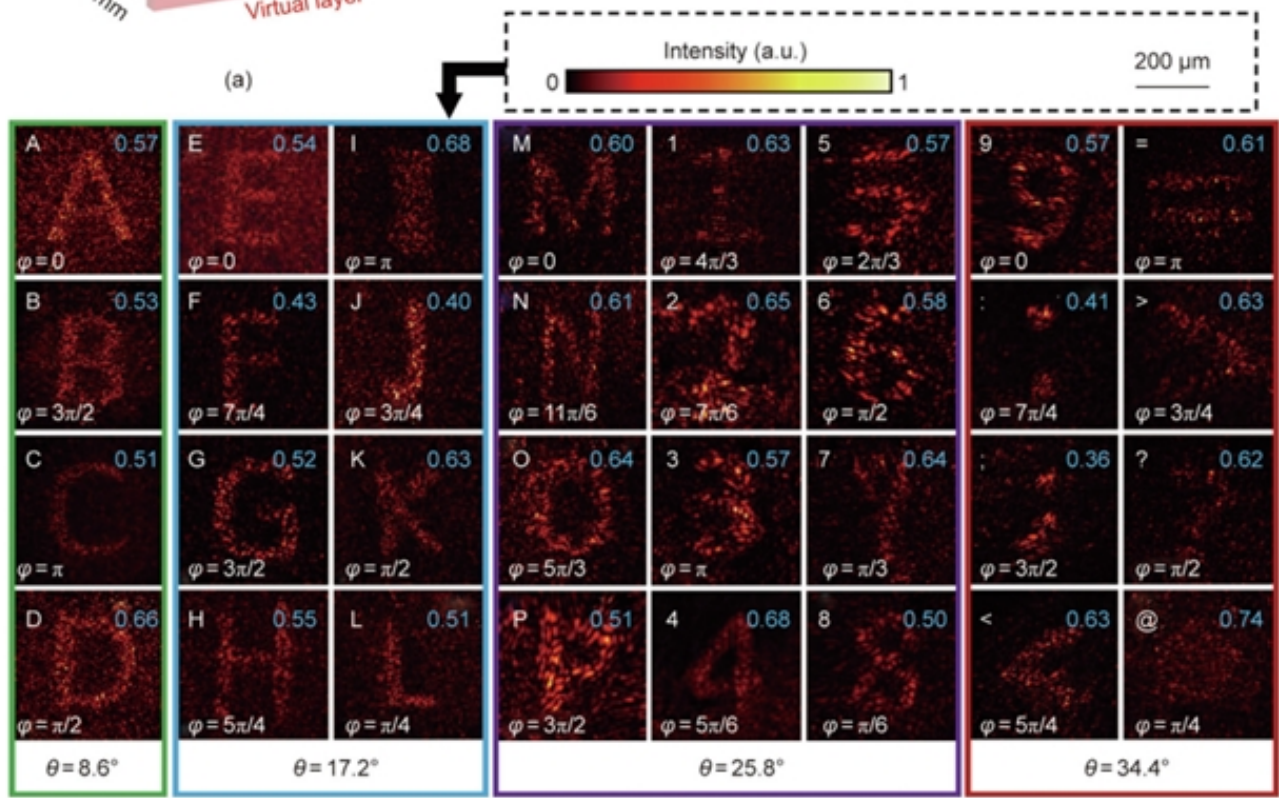
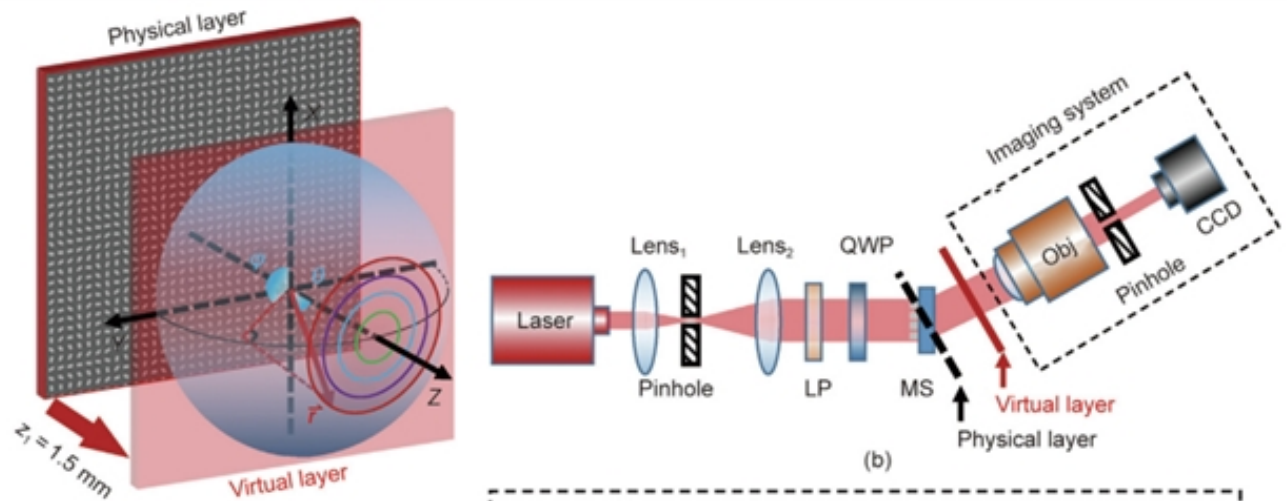


图2. 虚拟层中的全息图像

技术价值：用光学数据存储的新方式，重新利用空间

杂化层光学数据存储最关键的价值，是跳出了一味增加物理层的传统思路，用虚拟层拓展出全新的存储空间。它延续了光学数据存储成本低、使用周期长、能耗小的优势，同时突破了传统多层存储在空间限制与信号串扰两方面的瓶颈。

目前这项研究还处在原理验证阶段，后续可以通过优化通道设计、增加虚拟层数量、提升图像还原质量等方式，进一步提高存储密度。未来如果结合可调控超表面技术，还有望实现可擦写、可重复使用的光学数据存储，让技术真正落地实用。

在长期数据存档、冷数据中心、航天信息存储等场景中，这种轻量化、高密度的存储方案，都拥有广阔的应用空间。

结果与讨论

如果把传统光学数据存储比作一叠叠往高堆的书本，那这项研究直接把存储带进了多维空间，彻底告别死磕物理层的老路子，用虚拟层给光学数据存储打开了一扇全新的大门。

实验已经清晰证明：只靠一块物理超表面，就能同时存下实体信息，还能无中生有拉出多层虚拟存储层。不占体积、不添干扰、容量却实实在在提升，相当于在同样大小的盒子里，装下了比以往更多的数据。

靠着高正交通道与精准相位调控，卫星之间、层与层之间的信号串台被有效压住，读出来的信息清晰稳定，过去最头疼的层间干扰难题，被巧妙绕开了。

更让人期待的是，这种模式几乎没有上限：不用被硬件厚度、镜头工作距离绑住手脚，只要优化设计，就能继续增加虚拟层、把密度做得更高。它既守住了光学数据存储成本低、寿命长、更省电的长处，又把存储能力拉到新台阶。

总而言之，这不仅仅是一次技术验证，更是一次光学数据存储思路的大升级。它为下一代更高效、更稳定、更耐用的光学数据存储，搭好了完整框架，也给海量数据时代的长期存储，找到了一条更可行、更有前景的新赛道。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809924006453>

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：黄坤等 来源：《工程》

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](http://www.iikx.com)转发