
基于电动相控阵的消色差光束偏转器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37338.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！

基于电动相控阵的消色差光束偏转器。 导读

在光学波束控制领域，紧凑化系统实现与宽波段色差抑制的矛盾长期制约技术发展。近日，韩国三星研究院联合浦项科技大学等团队，提出基于动态相位阵列的消色差光束偏转器架构，通过偏振态调控与多波长光学元件级联，突破了传统衍射光学在全彩显示中动态波束控制的瓶颈。

随着自由空间光通信、激光雷达及增强现实显示等应用对精准光场调控的需求日益迫切，非机械波束控制技术因无运动部件、响应速度快等优势成为研究焦点。液晶衍射光学元件虽具备纳米级调控精度，但其衍射角随波长变化的特性导致红绿蓝（RGB）三色光偏转角度分离，难以满足全彩显示中动态光束同步控制的需求。针对这一挑战，研究团队提出融合颜色选择延迟器、半波片与偏振片的多波长光学架构，构建了透射式消色差光束偏转器。

该研究以460 nm（蓝）、520 nm（绿）、638 nm（红）为目标波长，通过一维相位阵列的电压调控实现光束连续偏转。实验结果表明，基于铟锡氧化物电极的液晶光束偏转器可以在可见光谱范围内实现消色差光束控制，单孔径元件对三色光的偏转角度偏差小于 0.1° 。进一步地，通过正交排列的二维消色差光束偏振器系统集成，结合琼斯矩阵建模与偏振态演化优化，研究团队实现了双信道RGB光束的独立动态控制，角分辨率达 0.021° ，验证了该架构在全息显示与光通信中的应用可行性。

该研究成果近日发表于国际顶级学术期刊《Light: Science Applications》上，题为Achromatic beam deflector with electrodynamic phased arrays，Jungkwuen An和Young Kim为论文共同第一作者，Kanghee Won、Junsuk Rho与Hong-Seok Lee为论文共同通讯作者。

研究背景

在光学成像与光场调控领域，高质量、多功能集成需求与传统光学元件性能局限的矛盾日益凸显。随着自由空间光通信、全息显示等技术发展，宽波段高精度光束控制需求迫切。传统衍射光学元件因色散导致RGB三色光偏转角度分离，液晶相位调制技术在可见光谱的衍射像差限制了大孔径应用。

基于晶体硅的超表面光学元件虽具高折射率、低成本优势，但在可见光波段本征吸收系数高，能量损耗显著。元光学系统的宽带色差问题亦未有效解决：传统消色差方法难适配宽光谱，且受限于小数值孔径，无法满足大孔径、高分辨率需求。

偏振调控方面，多波长场景下正交偏振态独立控制能力不足。传统偏振复用技术难动态匹配波长相位延迟需求，全彩成像中偏振相关功能效率低下。此外，分立光学元件级联引入反射损耗和对准误差，限制紧凑化集成。上述挑战集中于晶体硅超表面光学在可见光谱的材料损耗、色差抑制、偏振复用及系统集成，需要从材料设计、结构优化与系统级联等维度突破。

研究亮点

为解决上述问题，研究团队创新性地采用逆向设计策略优化晶体硅超表面光学元件（图 1 展示相关设计原理）。通过构建以宽带调制传递函数体积最大化为目标的优化模型，结合可见光谱内材料光学常数的波长依赖性，成功设计出可在 460-700 nm 波段实现全彩成像的晶体硅超表面。该设计打破了晶体硅不适用于可见光成像的传统认知，有效克服了光学元件中固有的色差难题，实现单孔径超表面对多波长光的同步捕获，显著提升成像质量与效率。

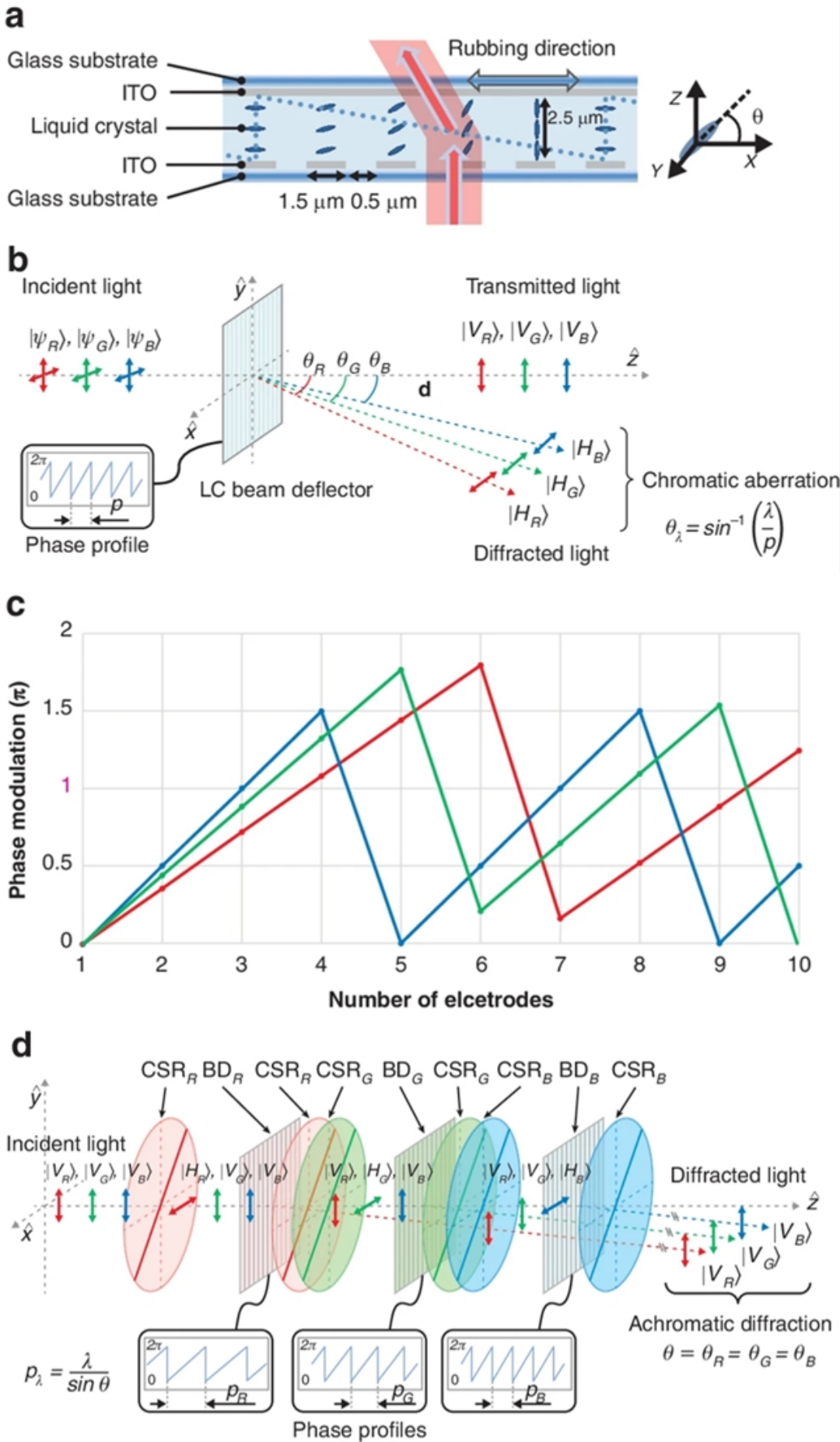


图1. 基于偏振相关相位调制的光束偏转器装置原理与设计

在材料工程与制备工艺方面，研究人员选用商业级蓝宝石衬底晶体硅材料（图1呈现材料特性参数）。通过精准控制 230 nm 的材料厚度，在保障可见光波段相位调控能力的同时，大幅降低短波长区域的吸收损耗。同时，借助标准纳米制造工艺，实现纳米级精度的结构加工与完整性控制，为高质量晶体硅超表面光学元件的规模化生产提供了可靠路径。

研究团队进一步赋予晶体硅超表面光学元件偏振复用功能（图2展示结构设计细节）。通过引入非对称方形散射体结构，以边长 Y 作为变量，实现绿色波长范围内正交方向相位响应的独立调控。以双曲金属透镜焦点偏移编码为例，成功验证单孔径超表面可实现偏振复用聚焦控制，极大拓展了该类元件在偏振成像与光场调控领域的应用潜力。

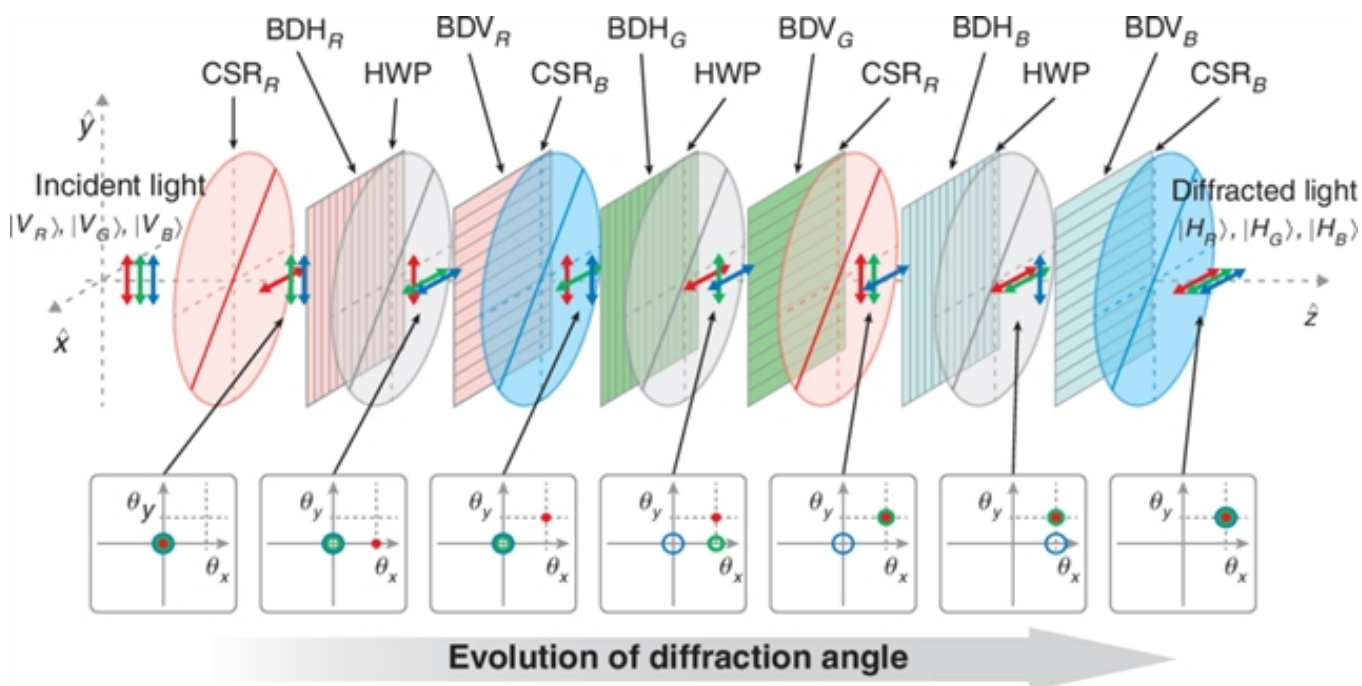


图2. 二维消色差光束偏转器结构

研究团队构建了可见光谱消色差光束偏转器，通过动态相位阵列与偏振调控元件集成，在 460 nm、520 nm、638 nm 波长下实现偏差小于 0.1° 的消色差光束控制，二维架构进一步验证双信道 RGB 光束独立动态偏转，角分辨率达 0.021° 。透射式液晶设计为紧凑型系统提供低功耗方案，但其级联元件反射损耗导致效率约 31%，且 12 通道偏振控制单元存在体积限制。

未来研究可聚焦材料工艺优化与跨领域应用：开发低吸收液晶材料及减反射薄膜以降低损耗，利用算法优化相位调制简化系统架构，并将技术向近红外波段拓展，探索其在生物医学成像、6G 光通信等场景的应用潜力。该成果为全彩显示、多波长激光雷达等领域提供新范式，其偏振-波长解耦机制有望推动平板光学向宽波段、智能化方向突破传统集成瓶颈。（来源：LightScienceApplications 微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01936-5>

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：Kanghee Won 来源：《光：科学与应用》

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