

人眼视觉细胞启发的钙钛矿彩色相机

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22410.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！

人眼视觉细胞启发的钙钛矿彩色相机

人眼具有独特的明/暗视觉特性，在亮光环境下视网膜黄斑区中的视锥细胞能够分辨物体的细节和颜色；在弱光环境下视锥细胞无法工作，由视杆细胞承担感光功能，但只能分辨物体的轮廓和明暗。传统的彩色相机结合了硅基图像传感阵列和拜尔滤光片来感知成像物体细节和颜色。与晶硅材料不同，新型金属卤化物钙钛矿材料兼具优异光电特性、可溶液加工特点，和独特的光电可调特性，在图像传感等领域展现了迷人的前景。目前钙钛矿光电探测器已经表现出与硅器件相媲美的探测性能和独特的窄带响应特性。然而，受到高密度钙钛矿探测器阵列工艺水平的限制，目前钙钛矿图像传感器的阵列密度普遍低于1000像素，导致其成像效果差，且大部分成像系统采用简单的透射模式，这类钙钛矿成像系统从严格意义上来说更像一个扫描仪而不是照相机。因此，构建一个具有漫反射成像功能的钙钛矿彩色相机仍然是个严峻的挑战。

近日，暨南大学麦文杰教授团队在钙钛矿彩色相机方面取得了重要进展。受到人眼视觉细胞特性的启发，他们提出了一种仿生人眼视觉细胞功能的钙钛矿彩色相机原型，实现了明亮环境下的彩色高分辨率成像和弱光环境下的灰度轮廓成像展示，为构建新型钙钛矿成像系统提供了全新思路。

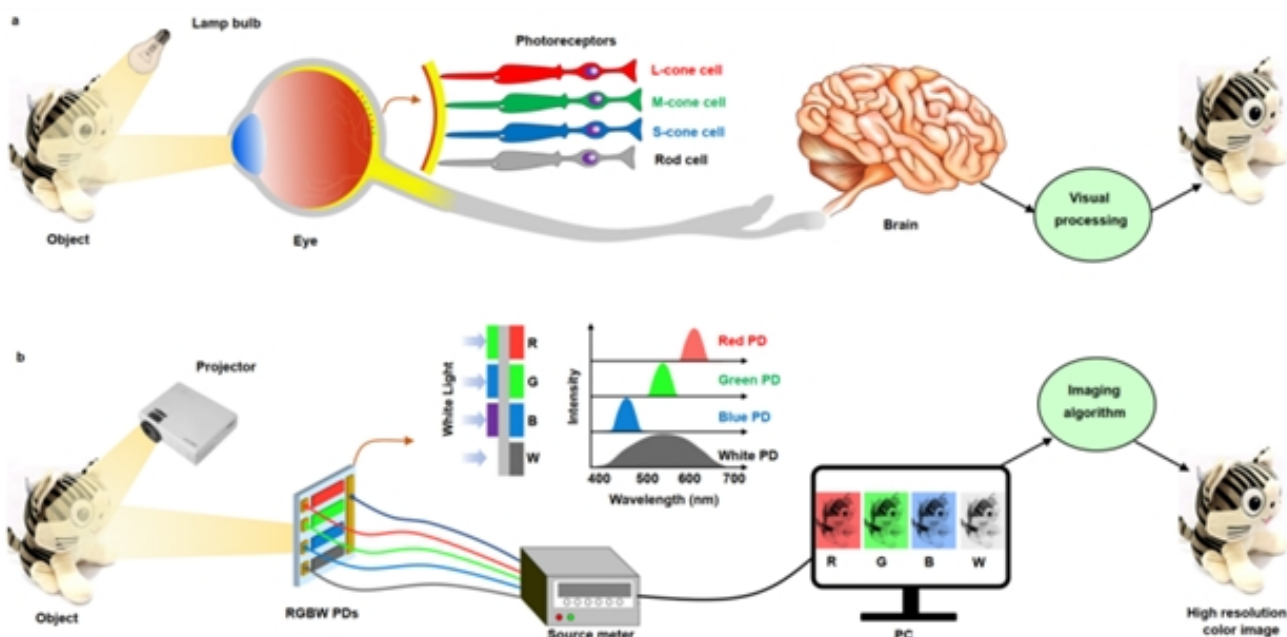


图1. 人眼视觉细胞启发的钙钛矿彩色相机。(a) 由眼球和大脑组成的人眼视觉系统，特写了人眼

视网膜中的负责彩色成像的红绿蓝视锥细胞和负责弱光轮廓感知的视杆细胞。(b) 本论文提出的钙钛矿彩色成像系统，其中红绿蓝白钙钛矿探测器分别用于模仿人眼的红绿蓝视锥细胞和视杆细胞。

图1(a, b)分别展示了人眼视觉系统示意图和仿人眼视觉特性的钙钛矿彩色成像系统。本论文设计了红绿蓝窄带和白色宽带四种钙钛矿光电探测器用于识别颜色信息和采集强度信息，分别模仿了人眼的红绿蓝视锥细胞和视杆细胞的功能。此外，该系统采用独特的单探测器成像技术(也叫单像素成像技术)，该技术采用投影仪作为光源对成像物体进行结构化照明，利用单个探测器对不同结构光照明下物体的漫反射光强进行收集，最后利用计算成像算法重构图像。因此，该系统利用四种新型钙钛矿光电探测器与单探测器成像技术结合实现了红绿蓝彩色图像和宽谱的灰度图像的同时采集。

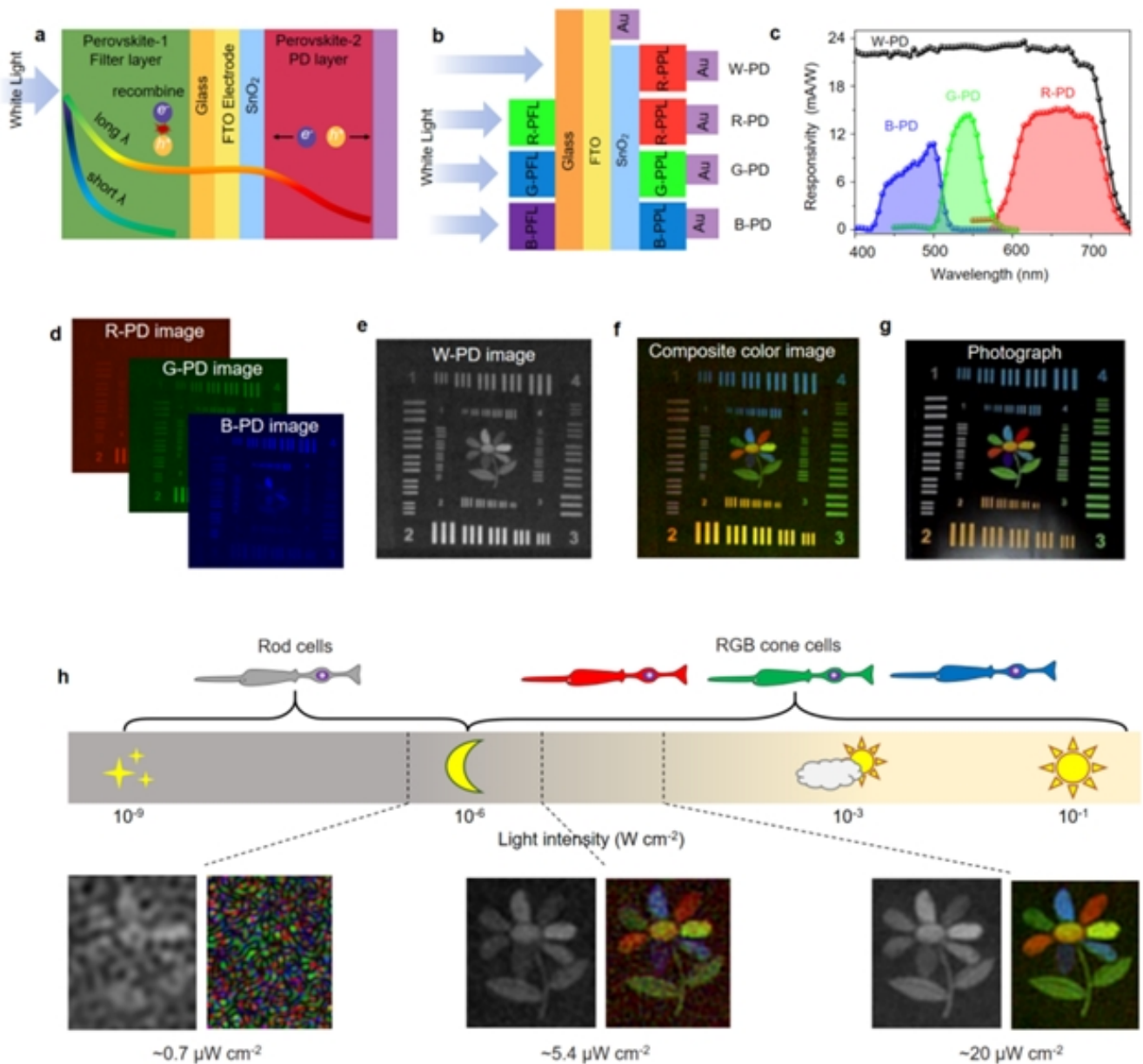


图2. (a) 窄带钙钛矿光电探测器构建原理示意图。(b) 红绿蓝白钙钛矿探测器组件结构示意图。(c)

红绿蓝白钙钛矿光电探测器光谱响应曲线。(d, e) 光强为 $20 \mu W cm^{-2}$ 下, 红绿蓝白钙钛矿探测器的成像结果。(f) 由红绿蓝单色图片合成的彩色图片。(g) 手机拍摄的照片。(h) 人眼视觉细胞的工作光强范围和不同光强下的灰度和彩色成像效果展示。

图2a展示了实现钙钛矿窄带光谱响应的结构原理图, 该结构采用两层不同带隙的钙钛矿薄膜背靠背排列, 其中窄带隙的钙钛矿光电探测器借助宽带隙的钙钛矿薄膜作为滤光层过滤掉短波光, 从而实现窄带光谱响应。通过调控各层钙钛矿薄膜中的卤族元素, 可以构建出红绿蓝三个波段的钙钛矿窄带光电探测器, 加上一个没有滤光层的宽谱白色钙钛矿光电探测器组成了红绿蓝白探测器组件, 其结构如图2b所示。图2c展示了仿视觉细胞的红绿蓝白钙钛矿光电探测器的光谱响应曲线, 其中红绿蓝探测器展示了窄带光谱响应特性表明其具有优异的颜色感知能力; 白色探测器的光谱覆盖了整个可见光区域且灵敏度更高, 意味着其具有更佳的灰度感知和弱光感知能力。图2d-f展示了四种探测器在光强为 $20 \mu W cm^{-2}$ 下的成像结果, 图2f是红绿蓝单色图片合成的彩色图片, 其效果非常接近手机拍摄的图像(图2g)。此外, 研究团队进一步模拟了人眼的明/暗视觉特性, 测试了该系统在不同光强下的彩色成像和灰度成像的展示效果, 如图2h所示。当光强为 $\sim 20 \mu W cm^{-2}$, 彩色成像功能和灰度成像功能都表现出不错的成像效果。当光强降低到 $\sim 5.4 \mu W cm^{-2}$ 时, 彩色图像噪声明显增加, 灰度图像仍然保持着不错的空间分辨。当光强进一步降低至 $\sim 0.7 \mu W cm^{-2}$ 时, 此时光强已经低于红绿蓝彩色钙钛矿光电探测器的最低可探测器光强, 因此导致系统无法实现彩色成像, 但保留了灰度轮廓成像能力。研究团队提出的钙钛矿彩色相机原型具有独特的人眼明/暗视觉特性, 在智能成像领域具有重要研究意义。

该成果以Perovskite-based color camera inspired by human visual cells为题发表在《Light: Science Applications》期刊上。论文通讯作者为暨南大学麦文杰教授和中国科学院北京纳米能源与系统研究所王中林院士。第一作者为暨南大学博士毕业生刘于金和西安电子科技大学计钟博士。本工作特别感谢暨南大学光电工程系的钟金钢教授和张子邦副教授的大力支持。该工作得到了国家自然科学基金委面上项目和青年基金的资助。(来源: LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息: <https://www.nature.com/articles/s41377-023-01072-y>

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: 麦文杰等 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](https://www.iikx.com)转发