

## 面向人工视觉的碳纳米管光电传感器阵列研究获进展

视觉系统对生物体的生存和竞争必不可少。在视觉信息处理过程中，在大脑视觉中枢做出复杂行为判断前，视网膜在对光刺激信号进行检测的同时，并行处理所捕获的图像信息。开发人工视觉系统的挑战是双重的，既要重新创建动物系统的灵活性、复杂性和适应性，又要通过高效率计算和简洁的方式来实现它。目前，人工视觉系统往往采用传统的互补金属氧化物半导体（CMOS）或者电荷耦合器件（CCD）图像传感器与执行机器视觉算法的数字系统相连接来实现，这些传统的数字人工视觉系统具有功耗高、尺寸大、成本高等缺点。相比而言，人类视觉系统拥有很多带有突触的视神经元，能够探测图像信息，并可以存储信息和处理数据，因而能平行地处理大量的信息，而每个突触活动所消耗的能量仅为1-100飞焦耳。因此，将图像感测、存储和处理功能集成到器件的单一空间，并针对连续模拟亮度信号实时处理不同类型的时空计算，对实现神经形态人工视觉系统意义重大。具有神经形态的光电传感器通过模拟电子电路，实现由生物系统启发的特殊视觉处理功能，这些电路适合于尝试模仿生物视觉系统的构建。

近日，中国科学院金属研究所与国内多家单位的科研团队合作，开发出一种柔性碳纳米管-量子点神经形态人工视觉光电传感器。3月19日，相关研究成果以《面向神经形态视觉系统的柔性超灵敏光电传感阵列》（A flexible ultrasensitive optoelectronic sensor array for neuromorphic vision systems）为题，在线发表在《自然-通讯》（Nature Communications）上。

为了构筑高性能的神经形态视觉系统，必须首先获得具有超高响应度、探测性和信噪比的光电传感器。为了在极端昏暗的光线条件下实现增强的成像能力，科研人员设计并制备了一个1024像素的柔性光电传感器阵列，使用半导体性碳纳米管和钙钛矿量子点的组合作为神经形态视觉系统的有源敏感材料，集成了光传感、信息存储和数据预处理等功能，实现了视觉图像强化学习过程。这两类材料均具有优异的柔韧性、稳定性及工艺兼容等特点，通过材料组合为实现兼具生物体灵活性、复杂性和适应性的神经形态人工视觉传感器提供了新策略。这是第一次通过高集成度物理器件阵列方式，实现超弱光脉冲（ $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ）响应，并完成神经形态强化学习的案例。与生物系统行为类似，光电传感器、存储元件和数据分析处理等组件在阵列中共享物理空间，并实时并行处理信息，这些结果对于试图模仿生物视觉处理的人工视觉系统具有重要的启发意义。

该研究由金属所孙东明、成会明课题组与南京理工大学李晓明、曾海波课题组，苏州纳米所邱松、李清文课题组，东北大学田亚男和南京大学王肖沐等合作完成。金属所博士研究生朱钱兵、李波为论文的共同第一作者。研究工作得到国家自然科学基金、国家重点研发计划、中科院战略性先导科技专项和沈阳材料科学国家研究中心等的支持。

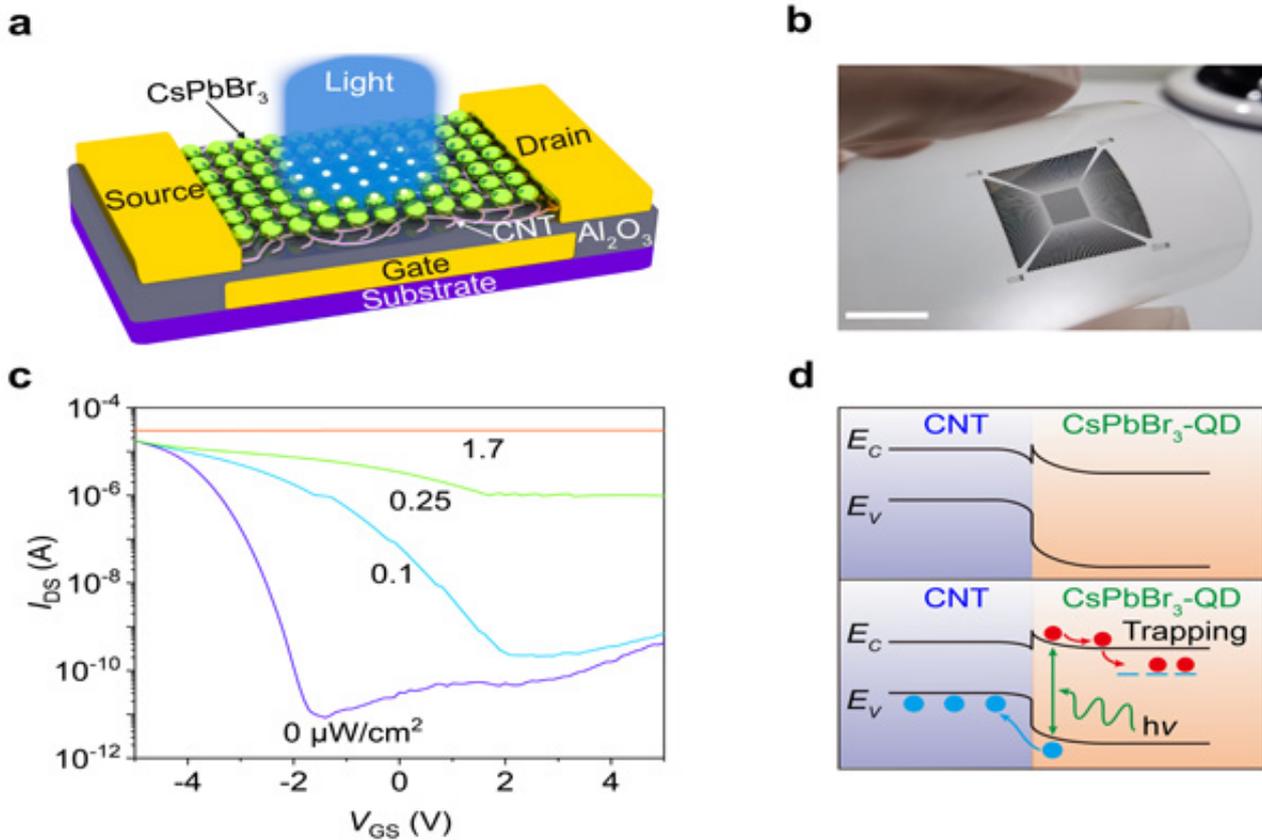


图1.单元器件设计与性能。半导体性碳纳米管和无机钙钛矿量子的复合薄膜构成器件的沟道材料。其中，量子点作为感光层和光生电荷俘获层，高纯度半导体性碳纳米管薄膜作为载流子传输层。a、结构示意图；b、柔性人工视觉芯片外观图（标尺，5 mm）；c、不同光强下的器件转移特性曲线；d、暗态（上图）与光照（下图）条件下的作用机制

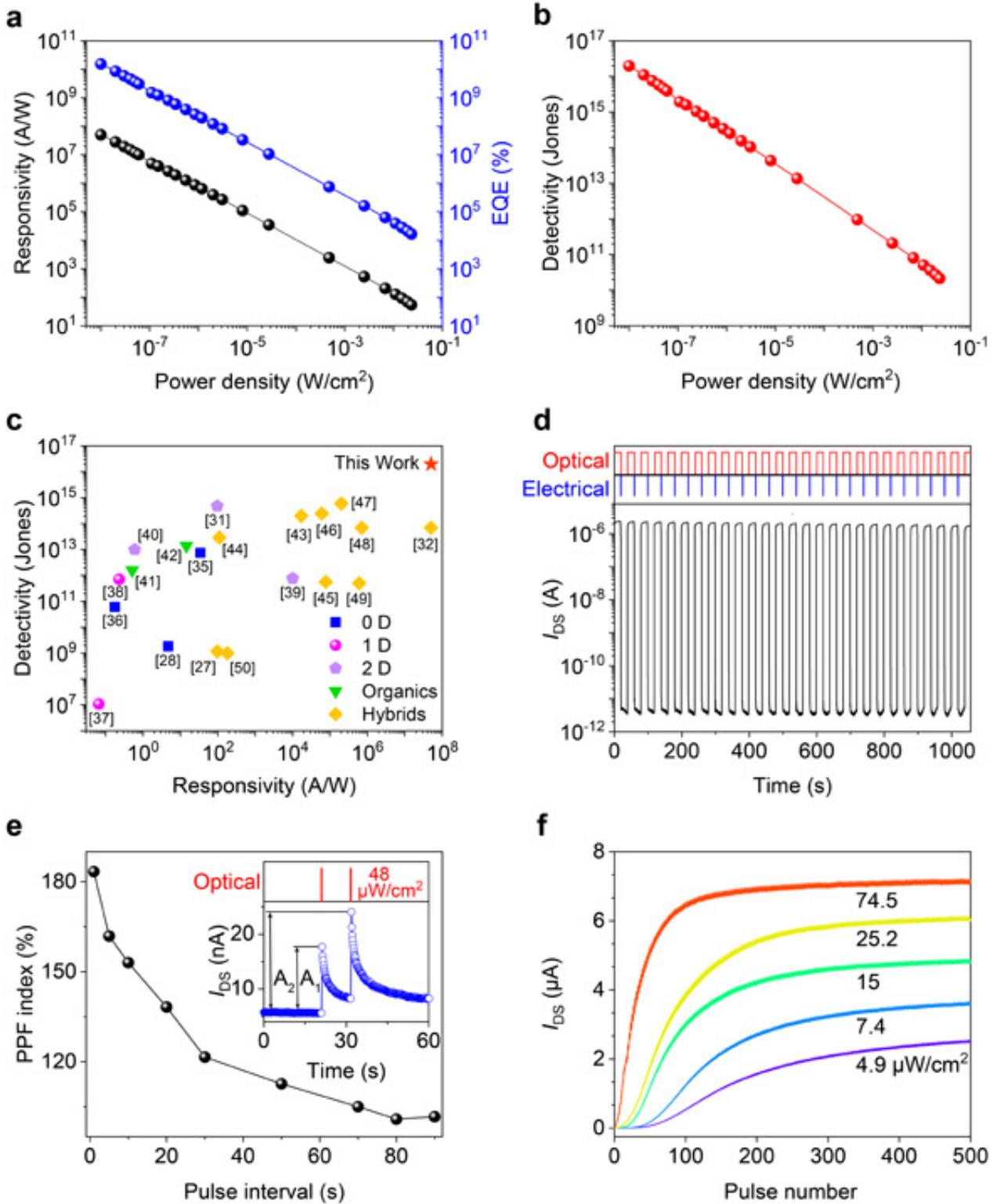


图2. 光电响应与神经突触特性。a、响应度、外量子效率与激光功率密度关系，其中响应度高达 $5.1 \times 10^7$  A/W；b、探测度与激光功率密度关系，其中探测度高达 $2 \times 10^{16}$  Jones；c、基于不同类别材料的器件响应度-探测度综合性能对比；d、光学和电学激励下的器件开关响应特性，其中信噪比大于 $>105$ ；e、人工神经突触的双脉冲易化（PPF）性能；f、人工神经突触的长程增强现象

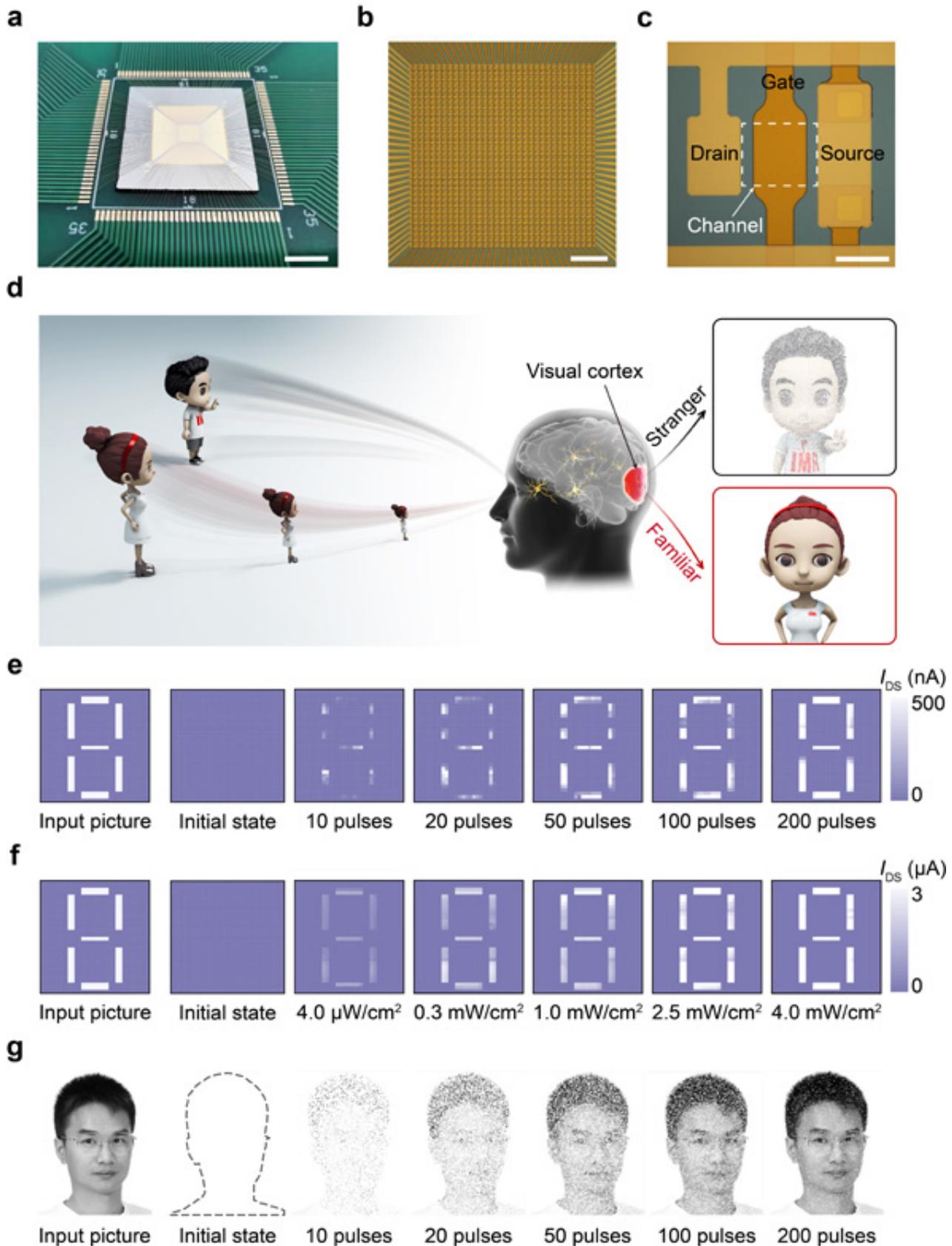


图3.碳纳米管-量子点神经形态人工视觉光电传感器。a、人工视觉芯片外观图（标尺，5 mm）；b、1024像素传感器阵列光学照片（标尺，0.5 mm）；c、单元像素的光学照片（标尺，20 μm）；d、人类视觉皮层针对不同人脸形成的差异性印象的示意图；e、初始状态以及在10、20、50、100和200个光脉冲训练后数字“8”

”突触权重结果。其中，激光波长405nm，激光功率密度1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，光脉冲宽度250 ms，脉冲间隔250 ms；f、初始状态以及在4.0  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、0.3  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 、1.0  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 、2.5  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 和4.0  $\text{mW}/\text{cm}^2$ 功率密度下训练10个光脉冲后数字“8”的突触权重结果。其中，激光波长405 nm，光脉冲宽度250 ms，脉冲间隔250ms；g. 人类面部（论文第一作者）的识别训练过程模拟

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/167542.html>