



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114300554 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202111363650.9

H01L 31/113 (2006.01)

(22) 申请日 2021.11.17

H01L 31/18 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114300554 A

(56) 对比文件

CN 107342345 A, 2017.11.10

CN 103038889 A, 2013.04.10

(43) 申请公布日 2022.04.08

CN 103296087 A, 2013.09.11

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

CN 106981512 A, 2017.07.25

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街

CN 109900750 A, 2019.06.18

道高新技术产业园南区粤兴一道18号

CN 112864164 A, 2021.05.28

香港理工大学产学研大楼205室

US 2015091002 A1, 2015.04.02

(72) 发明人 柴扬 廖付友

审查员 刘杰铭

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事

务所(普通合伙) 44268

专利代理师 刘芙蓉

(51) Int. Cl.

H01L 31/032 (2006.01)

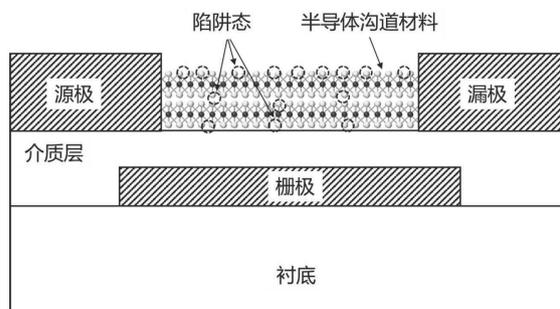
权利要求书1页 说明书6页 附图9页

(54) 发明名称

一种仿生自适应视觉传感器及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种仿生自适应视觉传感器及其制备方法。所述仿生自适应视觉传感器依次包括:衬底、形成于所述衬底上的栅极、形成于所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上的介质层、形成于所述介质层两端的源极和漏极、形成于所述源极和漏极之间的具有缺陷态的半导体沟道层。本发明提供的自适应仿生视觉传感器可以探测光信号,利用栅极电压可调控器件的探测灵敏度,并且器件在不同的栅压下可实现电流逐渐增加或者降低的功能。本发明提供的自适应仿生视觉传感器具有类似人眼视网膜中光感受细胞和水平细胞的功能,可以实现视觉的探测以及光强适应功能。本发明可以广泛应用于人工视觉系统领域。



1. 一种仿生自适应视觉传感器,其特征在于,所述仿生自适应视觉传感器依次包括:衬底、形成于所述衬底上的栅极、形成于所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上的介质层、形成于所述介质层两端的源极和漏极、形成于所述源极和漏极之间的具有缺陷态的半导体沟道层;

所述缺陷态位于所述半导体沟道层的内部和表面;

所述缺陷态密度在半导体沟道层的量级为 10^{12}cm^{-2} 。

2. 根据权利要求1所述的仿生自适应视觉传感器,其特征在于,所述栅极、源极和漏极的材料独立地选自导电金属、导电金属氧化物或者石墨烯。

3. 根据权利要求1所述的仿生自适应视觉传感器,其特征在于,所述介质层的材料为三氧化二铝、二氧化铪或者二氧化硅。

4. 根据权利要求1所述的仿生自适应视觉传感器,其特征在于,所述半导体沟道层的材料为过渡族金属硫族化合物、金属氧化物或者黑磷。

5. 根据权利要求1所述的仿生自适应视觉传感器,其特征在于,所述具有缺陷态的半导体沟道层的长度为 $10\text{nm}-20\mu\text{m}$,宽度为 $200\text{nm}-200\mu\text{m}$,厚度为 $0.6\text{nm}-200\text{nm}$ 。

6. 一种权利要求1-5任一项所述的仿生自适应视觉传感器的制备方法,其特征在于,包括步骤:

提供衬底;

在所述衬底上形成栅极;

在所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上形成介质层;

在所述介质层的两端分别形成源极和漏极;

在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层。

7. 根据权利要求6所述的仿生自适应视觉传感器的制备方法,其特征在于,所述在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层的步骤,具体包括:

在所述源极和漏极之间形成半导体沟道层;

采用紫外臭氧处理或等离子体处理所述半导体沟道层。

8. 根据权利要求7所述的仿生自适应视觉传感器的制备方法,其特征在于,所述紫外臭氧处理或等离子体处理的时间为 $5-20\text{s}$ 。

一种仿生自适应视觉传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光电探测技术领域,尤其涉及一种仿生自适应视觉传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 机器视觉的发展(例如智能交通、移动医疗、实时视频分析和协同自动驾驶)要求视觉传感器具有超高分辨率、高图像捕捉速度、更稳定以及不同光照条件下的大范围检测。宽范围光照的精确表示对于正确感知环境是至关重要的,因为自然光的光强具有280dB的范围。它需要能准确捕捉和感知更多阴影和突出细节的光电器件。采用SiCMOS技术的最先进图像传感器的动态范围通常为70dB,比自然场景窄得多。为了适应大光照强度范围下的视觉,研究人员控制光学孔径,采用液体透镜,调整曝光时间,在后处理中采用去噪算法,通常需要复杂的硬件和软件资源。开发具有视觉适应功能、在终端感知范围宽的光电器件,这对于丰富机器视觉功能,降低硬件复杂度,实现高图像识别效率是十分必要的。

发明内容

[0003] 为了解决现在现有技术中存在的问题,本发明提供了一种具有光强适应功能的仿生视觉传感器及其制备方法,实现了光强视觉适应和宽的感知动态范围。

[0004] 本发明的技术方案如下:

[0005] 一种仿生自适应视觉传感器,其中,所述仿生自适应视觉传感器依次包括:衬底、形成于所述衬底上的栅极、形成于所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上的介质层、形成于所述介质层两端的源极和漏极、形成于所述源极和漏极之间的具有缺陷态的半导体沟道层。

[0006] 可选地,所述栅极、源极和漏极的材料独立地选自导电金属、导电金属氧化物或者石墨烯。

[0007] 可选地,所述介质层的材料为三氧化二铝、二氧化铪或者二氧化硅。

[0008] 可选地,所述半导体沟道层的材料为过渡族金属硫族化合物、金属氧化物或者黑磷。

[0009] 可选地,所述具有缺陷态的半导体沟道层的长度为10nm-20 μ m,宽度为200nm-200 μ m,厚度为0.6nm-200nm。

[0010] 可选地,所述缺陷态位于所述半导体沟道层的内部和表面。

[0011] 可选地,所述缺陷态密度在半导体沟道层的量级为 10^{12}cm^{-2} 。

[0012] 一种本发明所述的仿生自适应视觉传感器的制备方法,其中,包括步骤:

[0013] 提供衬底;

[0014] 在所述衬底上形成栅极;

[0015] 在所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上形成介质层;

[0016] 在所述介质层的两端分别形成源极和漏极;

- [0017] 在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层。
- [0018] 可选地,所述在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层的步骤,具体包括:
- [0019] 在所述源极和漏极之间形成半导体沟道层;
- [0020] 采用紫外臭氧处理或等离子体处理所述半导体沟道层,或者在所述半导体沟道层上旋涂钙钛矿量子点,得到所述具有缺陷态的半导体沟道层。
- [0021] 可选地,所述紫外臭氧处理或等离子体处理的时间为5-20s。
- [0022] 相比较于现有仿生自适应视觉传感器,本发明仿生自适应视觉传感器(简称器件)具有以下有益效果:
- [0023] 本发明每个像素只有一个晶体管,具有十分简单结构,在集成度方面具有巨大的优势。
- [0024] 通过调节栅压可以利用同一种器件同时实现暗适应和亮适应。
- [0025] 通过调节栅压,器件可以工作在不同的光照条件下,其感知动态范围优于现有的传统的二极管型图像传感器。

附图说明

- [0026] 图1为本发明的器件结构示意图。
- [0027] 图2(a)为器件在不同光照强度下的转移特性曲线。
- [0028] 图2(b)为器件在不同栅压下的光灵敏度。
- [0029] 图2(c)为在光灵敏度为1的情况下,栅极电压和光照强度之间的关系。
- [0030] 图2(d)为在光灵敏度为1的情况下,阈值电流和光照强度之间的关系。
- [0031] 图3(a)为在负的栅压下,器件电流随着时间逐渐增加。
- [0032] 图3(b)为在正的栅压下,器件电流随着时间逐渐降低。
- [0033] 图3(c)为在不同的栅压下,器件电流的改变比例(CCR)。
- [0034] 图4为器件在不同栅压下的能带结构示意图。
- [0035] 图5为器件在不同光强下的自适应特性。
- [0036] 图6(a)为器件的暗适应复位操作。
- [0037] 图6(b)为器件的亮适应复位操作。
- [0038] 图7为器件的存储功能和复位操作。
- [0039] 图8(a)为在暗光背景下($600\text{nW}/\text{cm}^2$) 8×8 像素阵列识别低强度光照($6\mu\text{W}/\text{cm}^2$)图像的视觉暗适应示意图。
- [0040] 图8(b)为所有器件栅压为-2V的情况下,20个器件在 $6\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 光照下器件电流随时间的改变。
- [0041] 图8(c)为数字“8”图像在视觉暗适应过程中对比度随时间增强。
- [0042] 图9(a)为在亮光背景下($6\text{mW}/\text{cm}^2$) 8×8 像素阵列识别强光照($60\text{mW}/\text{cm}^2$)图像的视觉亮适应示意图。
- [0043] 图9(b)为所有器件栅压为+4V的情况下,44个器件在 $6\text{mW}/\text{cm}^2$ 光照下器件电流随时间的改变。
- [0044] 图9(c)为数字“8”图像在视觉亮适应过程中对比度随时间增强。

具体实施方式

[0045] 本发明提供一种仿生自适应视觉传感器及其制备方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0046] 本发明实施例提供一种仿生自适应视觉传感器,如图1所示,所述仿生自适应视觉传感器依次包括:衬底、形成于所述衬底上的栅极、形成于所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上的介质层、形成于所述介质层两端的源极和漏极、形成于所述源极和漏极之间的具有缺陷态的半导体沟道层。

[0047] 本实施例提供的具有自适应功能的仿生视觉传感器可以探测光信号,可以利用栅极电压调控器件的探测灵敏度,并且器件在不用的栅压下可实现电流逐渐增加或者降低的功能。本实施例提供的自适应仿生视觉传感器具有类似人眼视网膜中光感受细胞和水平细胞的功能,可以实现视觉的探测以及光强适应功能。本实施例可以广泛应用于人工视觉系统领域。

[0048] 在一种实施方式中,所述仿生自适应视觉传感器还包括:形成于所述具有缺陷态的半导体沟道层上的保护层。

[0049] 在一种实施方式中,所述保护层的材料为三氧化二铝等,但不限于此。

[0050] 在一种实施方式中,所述保护层的厚度为5-100nm,如10nm。

[0051] 在一种实施方式中,所述衬底为硅/二氧化硅衬底、玻璃衬底、蓝宝石衬底或者PET衬底等,但不限于此。

[0052] 在一种实施方式中,所述栅极、源极和漏极的材料独立地选自导电金属(如Au)、导电金属氧化物或者石墨烯等,但不限于此。

[0053] 在一种实施方式中,所述栅极的长度为10nm-20 μ m,厚度为30-100nm。

[0054] 在一种实施方式中,所述源极和漏极的厚度均为30-100nm。

[0055] 在一种实施方式中,所述介质层的材料为三氧化二铝、二氧化铪或者二氧化硅等,但不限于此。

[0056] 在一种实施方式中,所述介质层的厚度为5-100nm。

[0057] 在一种实施方式中,所述半导体沟道层的材料为过渡族金属硫族化合物、金属氧化物或者黑磷等,但不限于此。进一步地,所述半导体沟道层的材料为MoS₂。

[0058] 在一种实施方式中,所述具有缺陷态的半导体沟道层的长度为10nm-20 μ m,所述具有缺陷态的半导体沟道层的宽度为200nm-200 μ m,沟道厚度为0.6nm-100nm。这样的尺寸,可以实现高密度的视觉传感器,有利于产生高分辨率的图像。

[0059] 在一种实施方式中,所述缺陷态位于所述半导体沟道层的内部和表面。

[0060] 在一种实施方式中,所述缺陷态密度在半导体沟道层的量级为10¹²cm⁻²。

[0061] 本发明实施例提供一种如上所述的仿生自适应视觉传感器的制备方法,其中,包括步骤:

[0062] S1、提供衬底;

[0063] S2、在所述衬底上形成栅极;

[0064] S3、在所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上形成介质层;

[0065] S4、在所述介质层的两端分别形成源极和漏极;

[0066] S5、在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层。

[0067] 步骤S2中,在一种实施方式中,可以依次采用紫外光刻技术、电子束蒸发和剥离工艺在衬底上制备栅极。

[0068] 步骤S3中,在一种实施方式中,可以利用原子层沉积技术在所述栅极上和所述栅极未覆盖衬底上制备介质层。

[0069] 步骤S4中,在一种实施方式中,可以依次采用紫外光刻技术、电子束蒸发和剥离工艺在介质层的两端制备源漏电极。

[0070] 步骤S5中,在一种实施方式中,所述在所述源极和漏极之间形成具有缺陷态的半导体沟道层的步骤,具体包括:

[0071] S51、在所述源极和漏极之间形成半导体沟道层;

[0072] S52、采用低功率(10-100W)紫外臭氧处理或等离子体处理所述半导体沟道层,得到所述具有缺陷态的半导体沟道层;采用低功率容易控制产生适合数量的缺陷态。功率太大容易改变沟道材料本身的特性,以及破坏沟道材料。

[0073] 或者,采用在所述半导体沟道层上旋涂钙钛矿量子点,得到所述具有缺陷态的半导体沟道层。由于钙钛矿量子点具有较大的比表面积,表面具有更多的缺陷态,将钙钛矿量子点旋涂到如二硫化钼半导体沟道层表面之后,这些缺陷态将对二硫化钼沟道产生重要影响,最终影响器件的光电特性,例如增强其光响应度,增加电流改变比例(CCR)和对光强的自适应特性。

[0074] 在一种实施方式中,步骤S51具体包括:

[0075] 采用有机金属化学气相沉积方法生长 MoS_2 薄膜;

[0076] 采用湿法转移技术,将上一步生长的 MoS_2 薄膜转移到源极和漏极之间。

[0077] 在一种实施方式中,步骤S52包括:采用反应离子刻蚀机 CHF_3/O_2 等离子体处理所述半导体沟道层,得到所述具有缺陷态的半导体沟道层。

[0078] 在一种实施方式中,所述等离子体处理的时间为5-20s。以 MoS_2 半导体沟道层为例,在该时间段内,半导体表面可以产生硫空位从而引入陷阱态,同时不会导致沟道材料被氧化。时间过长沟道会产生氧化物,导致材料导电性能变差。

[0079] 在一种实施方式中,所述紫外臭氧(UVO)处理的时间为5-20s。以 MoS_2 半导体沟道层为例,在该时间段内,半导体表面可以产生硫空位从而引入陷阱态,同时不会导致沟道材料被氧化。时间过长沟道会产生氧化物,导致材料导电性能变差。

[0080] 在一种实施方式中,采用紫外臭氧(UVO)处理 MoS_2 半导体沟道层10秒,在 MoS_2 半导体沟道层内部或表面产生S空位,从而引入大量的陷阱态。

[0081] 在一种实施方式中,所述仿生自适应视觉传感器的制备方法,还包括步骤:

[0082] S6、在所述具有缺陷态的半导体沟道层上形成保护层。

[0083] 在一种实施方式中,利用原子层沉积技术在所述具有缺陷态的半导体沟道层上制备保护层。

[0084] 为了便于对本发明进行理解,本发明进一步提供了以下具体的实施例。

[0085] 本实施例中的一种仿生自适应视觉传感器,所述仿生自适应视觉传感器依次包括:硅/二氧化硅衬底、形成于所述硅/二氧化硅衬底上的Au栅极、形成于所述Au栅极上和所述Au栅极未覆盖衬底上的 Al_2O_3 介质层、形成于所述 Al_2O_3 介质层两端的Au源极和Au漏极、形

成于所述Au源极和Au漏极之间的具有缺陷态的MoS₂半导体沟道层、形成于所述具有缺陷态的MoS₂半导体沟道层上的Al₂O₃保护层。MoS₂半导体沟道层内部和表面存在大量陷阱态。Au栅极的长度为20μm,厚度为50nm。源漏电极厚度为50nm,具有缺陷态的MoS₂半导体沟道层的长度为10μm,宽度为200μm。

[0086] 其中Au栅极类似于人眼视网膜中的水平细胞,二硫化钼半导体沟道层类似于光接收细胞(视锥细胞和视杆细胞),陷阱态俘获或者释放载流子类似于光色素的消失和产生。

[0087] 如图2(a)所示,随着光照强度增加,器件电流(I_D)也会增加,因为光会产生光电流。图2(a)中V_G指的是栅极电压,V_D指的是源漏电压。定义光敏感度(S_{ph}):

$$[0088] \quad S_{ph} = \frac{I_{illumination} - I_{dark}}{I_{dark}}$$

[0089] 其中,I_{illumination}是光照下的器件电流,I_{dark}是无光照下的器件电流。

[0090] 图2(b)所示,器件的光灵敏度除了受光强(P_{in})的影响外,还受到栅极电压(简称栅压,记为V_G)的调控,例如栅极电压越负,光灵敏度越大,类似于视杆细胞,而栅极电压越正,光灵敏度越低,类似于视锥细胞。在不同的光照强度下,通过调控栅极电压可以控制器件在不同的光照条件下均保持光灵敏度为1,如图2(c)所示。器件的阈值电流(Thereshold I_D)为外围电路最小可识别电流,定义如下:

$$[0091] \quad \text{Thereshold } I_D = 2I_{dark}$$

[0092] 如图2(d)所示,器件的阈值电流随光照强度的增强而线性增加,这个趋势符合感知领域的韦伯定律(Weber's law)。

[0093] 图3(a)所示为器件在负栅压时,器件电流会随着时间增加而逐渐增加。如图3(b)所示为器件在正栅压时,器件电流会随着时间增加而逐渐降低。可以通过栅压来控制器件电流的增强或者降低幅度,类似于视网膜的水平细胞对光接收细胞的负反馈作用。为了定量的描述器件电流在固定栅压下随时间改变的幅度,定义电流改变比例(CCR)

$$[0094] \quad CCR = \frac{I_{D-120s}}{I_{D-0s}}$$

[0095] 其中,I_{D-120s}是I_D在120s的值,I_{D-0s}是I_D在初始时刻(0s)的值。

[0096] 图3(c)是在60μW/cm²光照条件下,CCR和栅压之间的关系,其中栅压为负的时候,CCR大于1,意味着电流增强(灵敏度增强),可用于暗适应,并且栅压越负,CCR值越大;栅压为正的时候,CCR小于1,意味着电流降低(灵敏度降低),可用于亮适应,并且栅压越正,CCR值越小。

[0097] 器件的工作原理可用能带图来解释(图4)。通过工艺处理可以在二硫化钼引入大量的陷阱态,这些陷阱态包括施主型和受主型,分布在带隙中间不同的能级深度。在栅压为0V的时候,费米能级在大概带隙中间的位置,费米能级以上的陷阱态均为空,费米能级以下的陷阱态均被电子占据(见图4中(I));栅压为负的时候,费米能级下降,高于费米能级的施主型陷阱态释放电子到价带,释放完电子的陷阱态带正电荷,诱导出导带中产生更多的电子,浅能级的陷阱态能快速的释放电子,深能级的陷阱需要更长的时间,所以电流会随着时间逐渐增加(见图4中(II))。电子被释放的过程,类似于光接收细胞中光色素的产生,暗光下光色素的产生会导致光接收细胞的灵敏度增加。相反,栅压为正的时候,费米能级上升,

低于费米能级的受主型陷阱态捕获导带中的电子,使导带中的电子浓度降低,浅能级的陷阱态能快速的捕获电子,深能级的陷阱需要更长的时间,所以电流会随着时间逐渐降低(见图4中(III))。电子被捕获的过程,类似于光接收细胞中光色素的消失,强光下光色素消失会导致光接收细胞的灵敏度的降低。

[0098] 基于上述原理,器件在不同栅压可以实现不同程度电流增强或者降低,所以可以不同光强下施加不同的栅压,实现不同程度的亮适应或者暗适应。图5给出了在不同光照强度下,给器件施加不同栅压,从而实现器件的亮适应和暗适应的实例。在较弱的光强下,例如在 $60\text{nW}/\text{cm}^2$, $600\text{nW}/\text{cm}^2$ 和 $6\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时,施加的栅压分别为 -3V , -2V 和 -1V ,对应的CCR分别为214, 6.67和2.22。在较强的光强下,例如 $600\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $6\text{mW}/\text{cm}^2$ 和 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 时,施加的栅压分别为 $+2\text{V}$, $+4\text{V}$ 和 $+6\text{V}$ 时,对应的CCR分别为0.89, 0.78和0.77。说明通过栅压,可以在弱光下实现暗适应和亮光下实现亮适应。

[0099] 该自适应仿生视觉传感器,可以通过栅压对暗适应和亮适应进行复位操作,如图6(a)和6(b)所示。此外,该器件还具有持续光电导效应,即在光照停止以后,器件仍能够保持一段时间光电流,器件的存储功能也可以通过栅压进行复位,如图7所示。

[0100] 利用仿生自适应视觉传感器组成的阵列可以在极端光照强度下识别图像,例如在非常暗的背景光条件下($600\text{nW}/\text{cm}^2$)识别一个较弱的光强($6\mu\text{W}/\text{cm}^2$)的图像(图像“8”),如图8(a)所示。图8(b)是图像“8”对应的20个器件在 $6\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 光照下的归一化电流曲线,定义器件的感知范围是 $1-3\mu\text{A}$,其中44个暗像素器件对应的电流曲线默认低于 $1\mu\text{A}$ 。图8(c)是利用电流曲线提取的图像“8”,图像对比度随时间增强,体现了人眼的暗适应过程。同样,通过调节栅压可以在非常亮的背景光条件下($6\text{mW}/\text{cm}^2$)识别一个很强光强($60\text{mW}/\text{cm}^2$)的图像(图像“8”),如图9(a)所示。图9(b)是图像“8”之外的暗像素对应的44个器件在 $6\text{mW}/\text{cm}^2$ 光照下的归一化电流曲线,定义器件的感知范围是 $80-100\mu\text{A}$,其中图像“8”对应的20个亮像素器件的电流曲线默认高于 $100\mu\text{A}$ 。图9(c)是利用电流曲线提取的图像“8”,刚开始图像非常炫目,无法识别,随着时间延长图像逐渐清晰并且亮度降低。这样强光下调节图像亮度和对比度的过程,类似于人眼的亮适应过程。

[0101] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

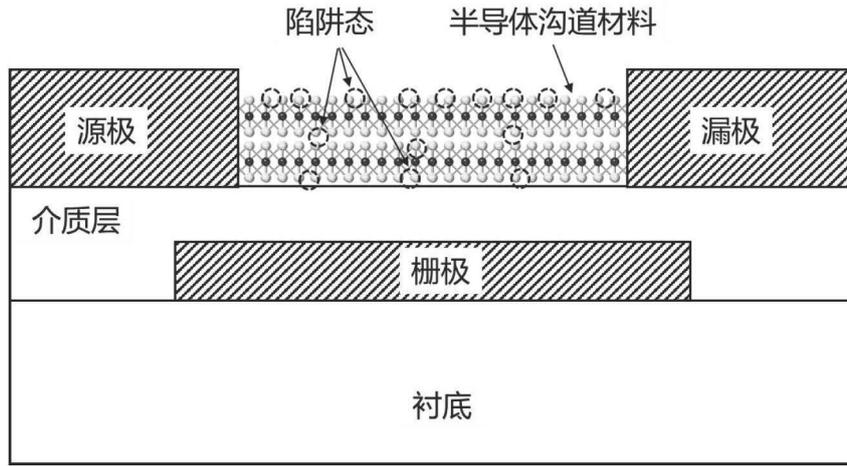


图1

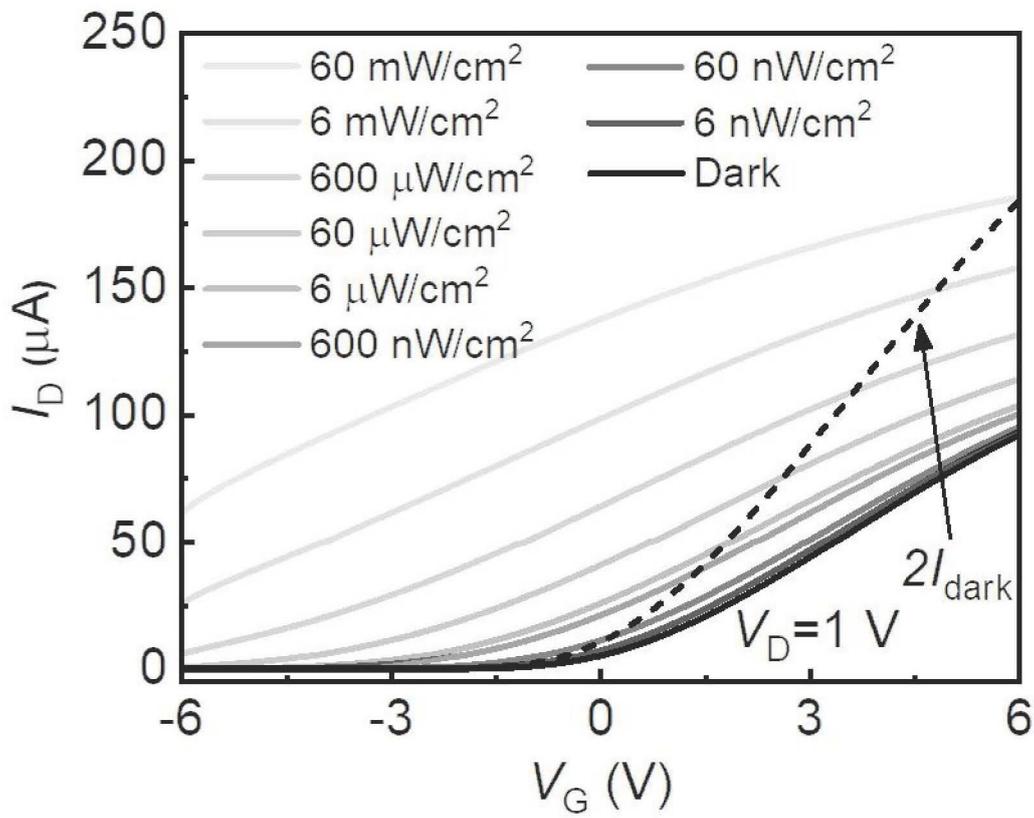


图2(a)

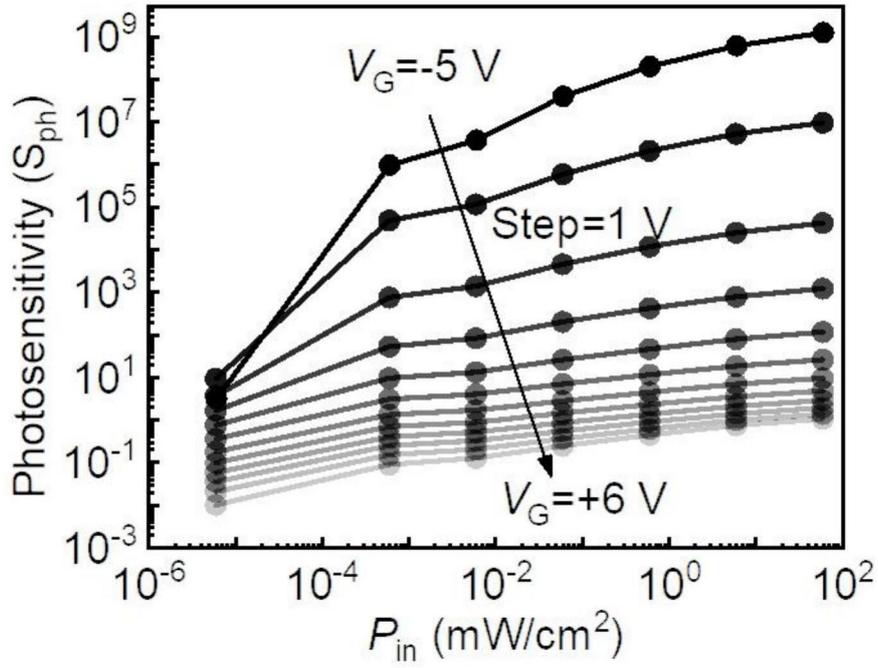


图2(b)

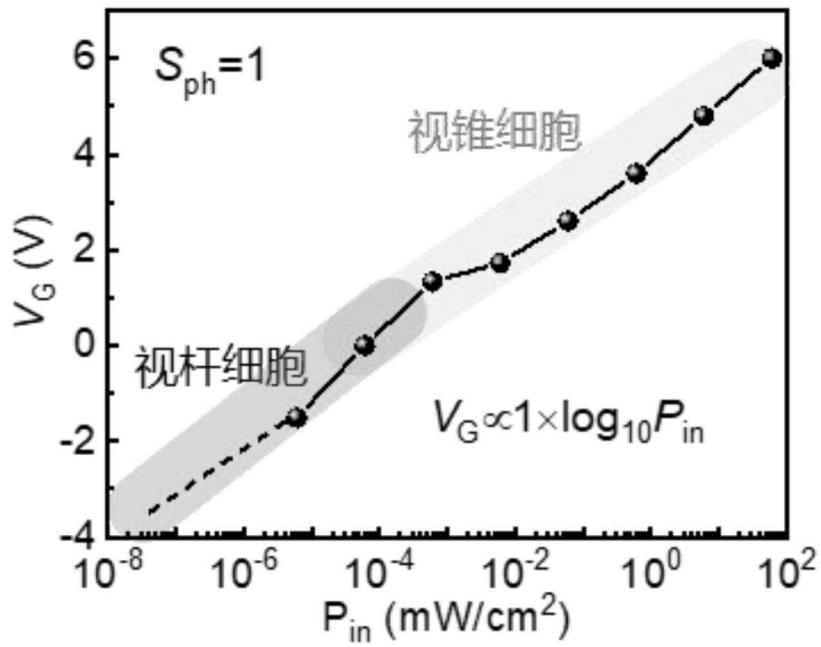


图2(c)

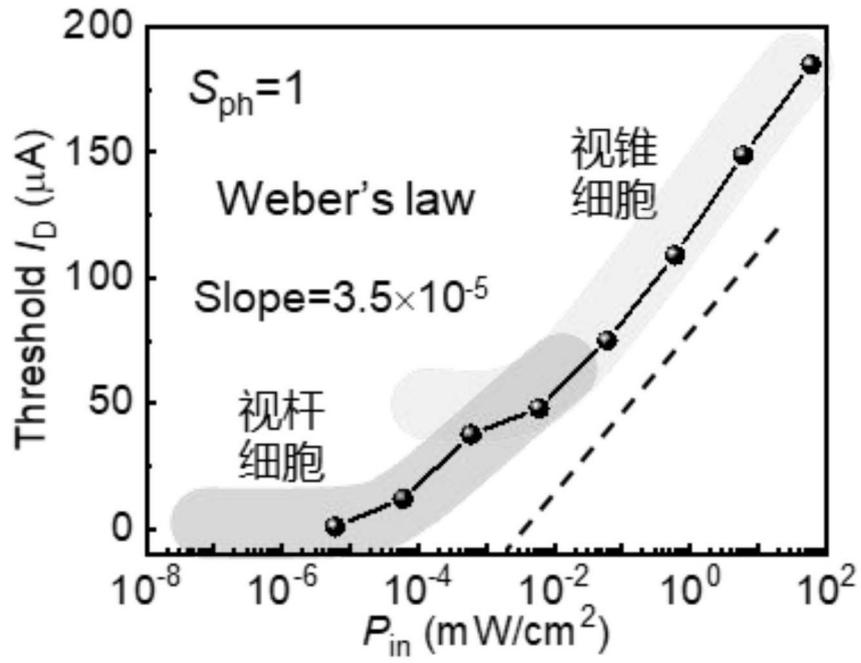


图2(d)

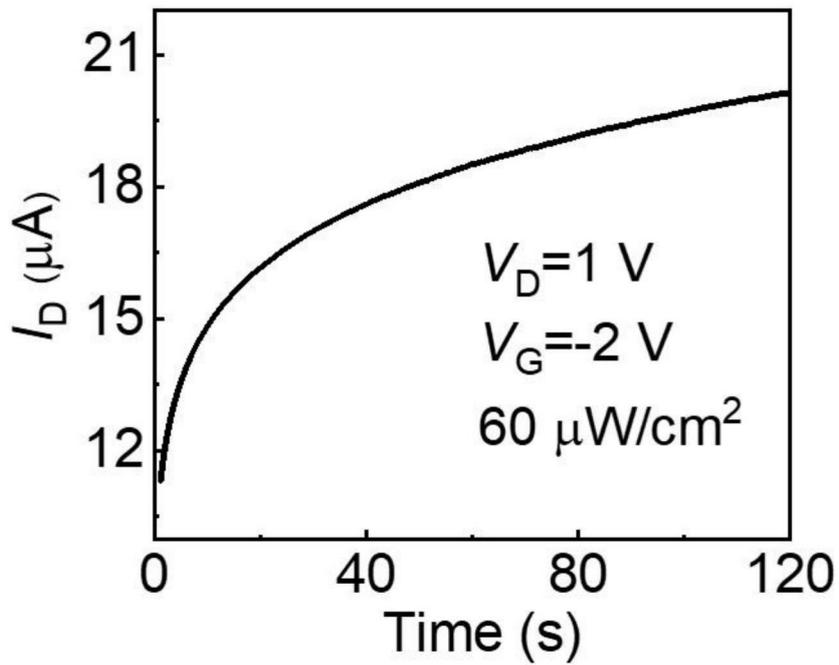


图3(a)

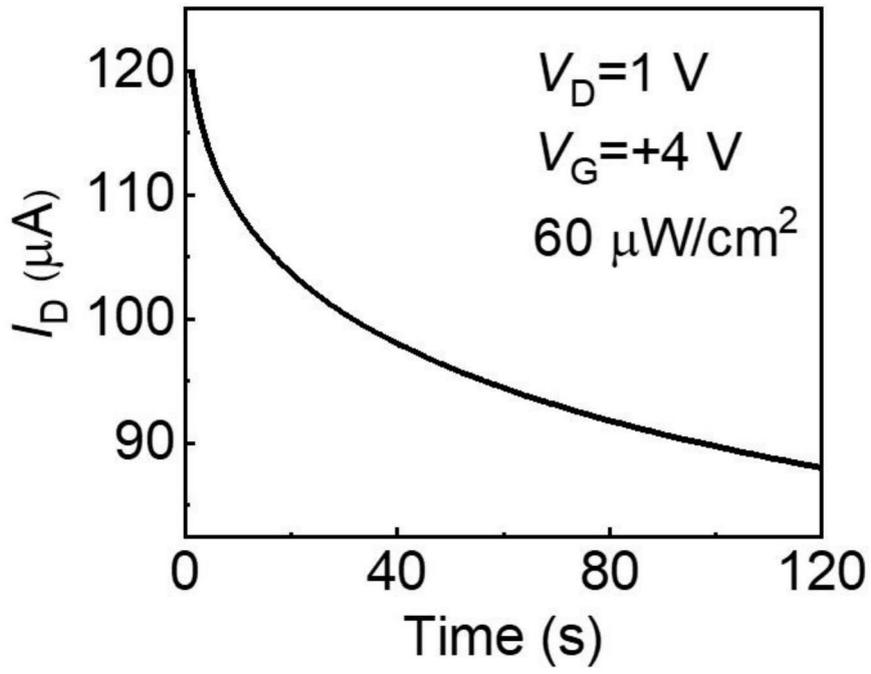


图3(b)

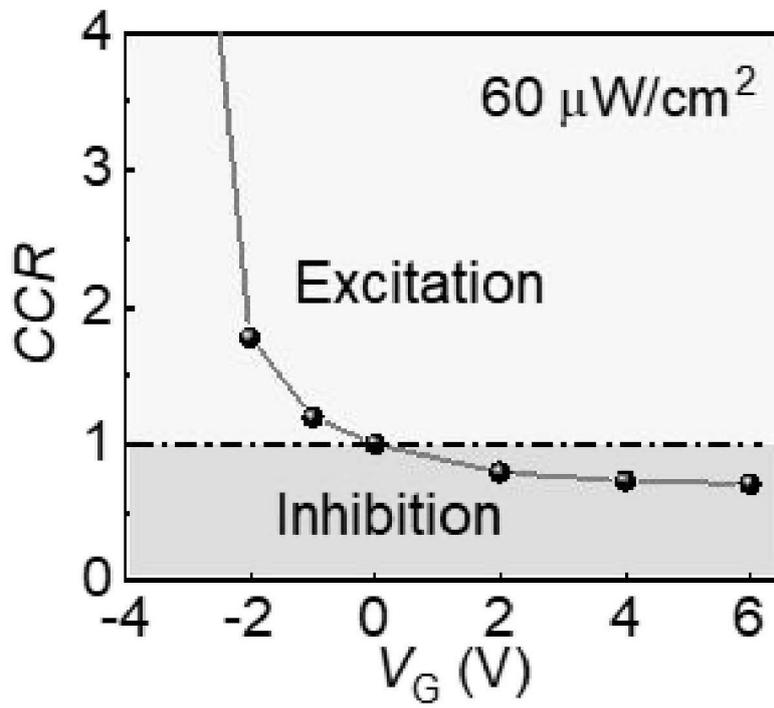


图3(c)

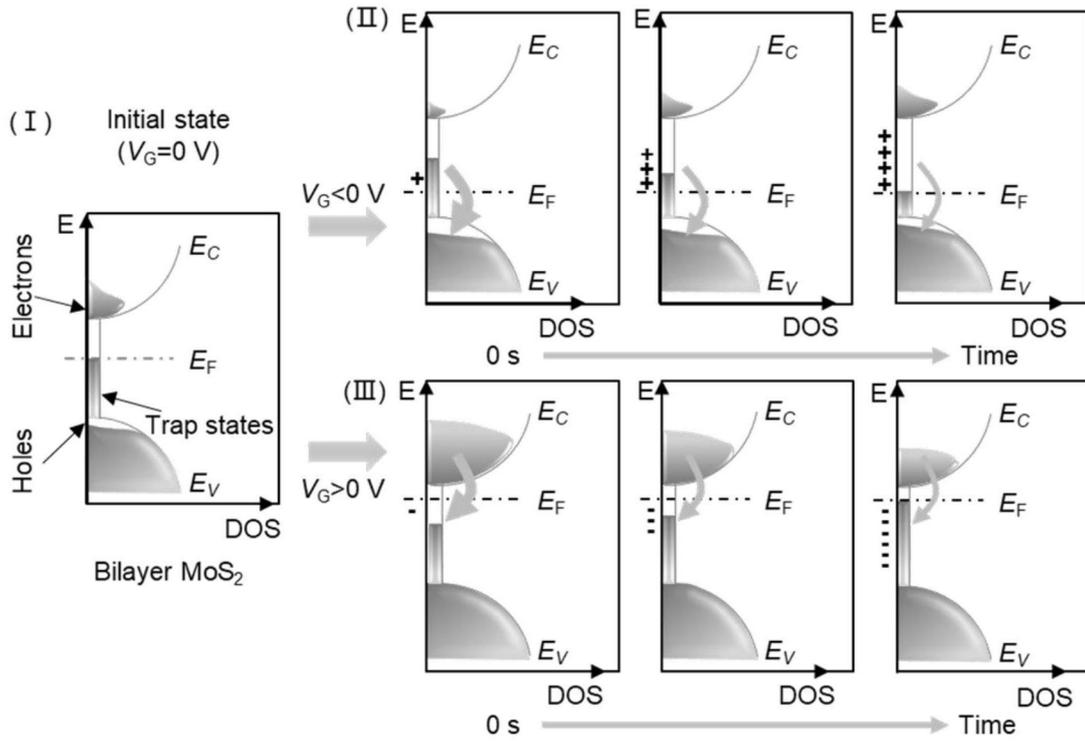


图4

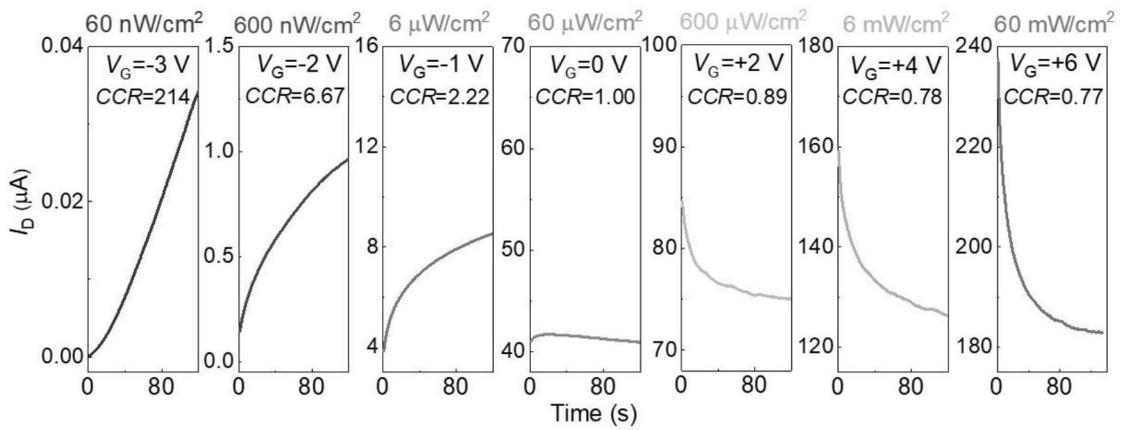


图5

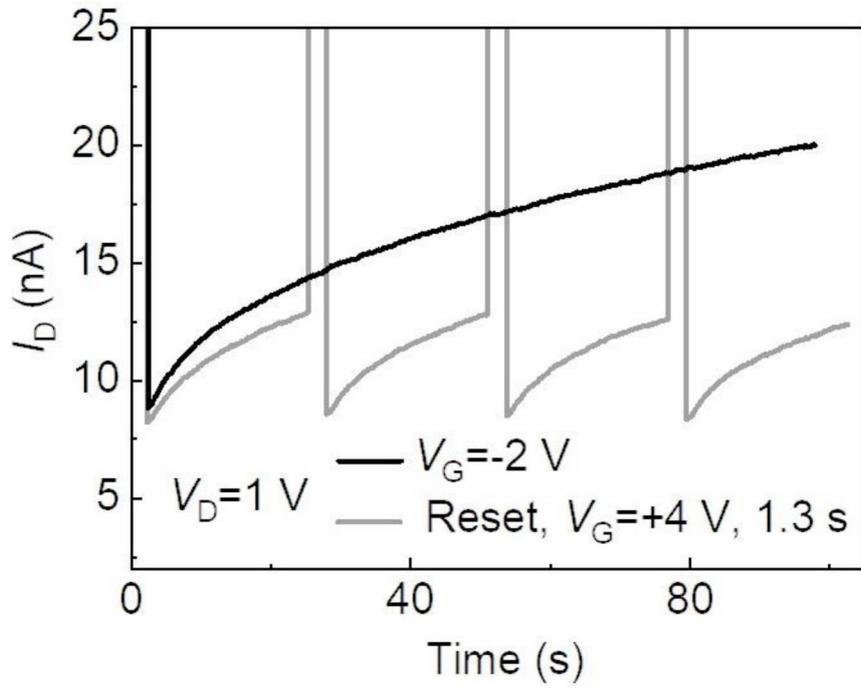


图6(a)

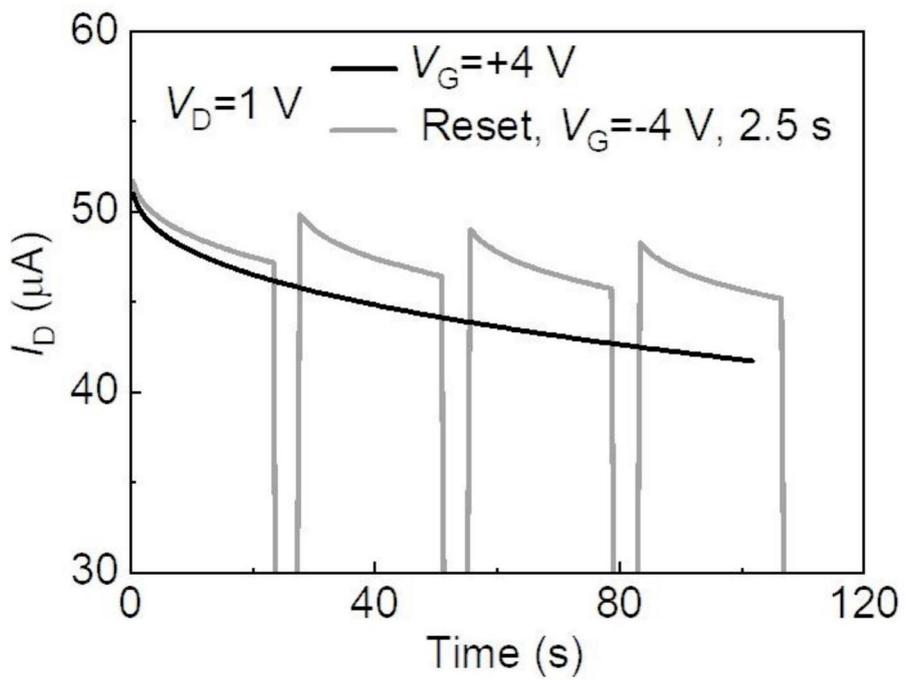


图6(b)

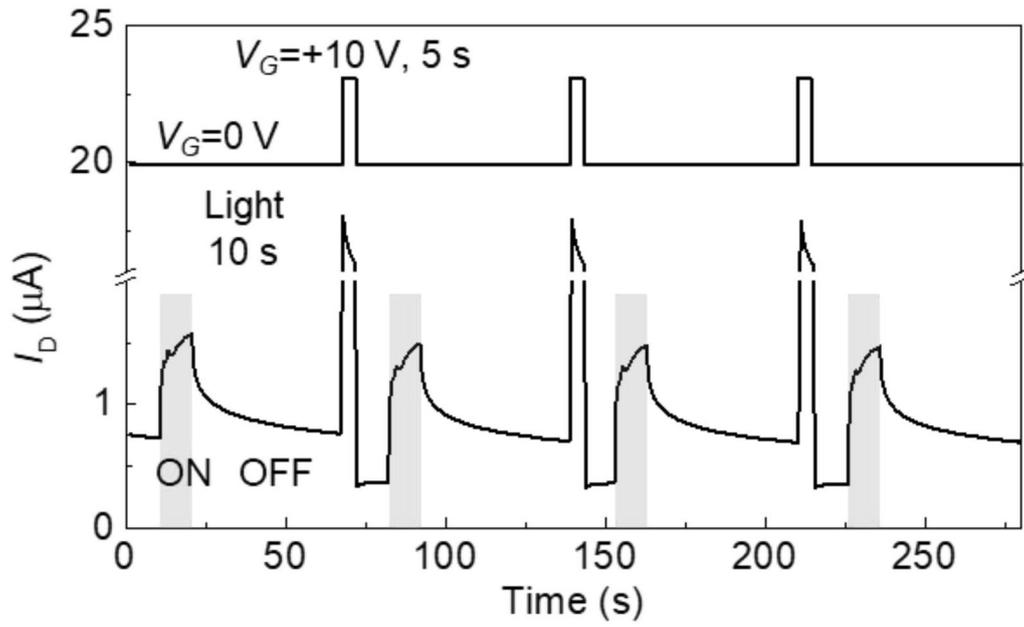


图7

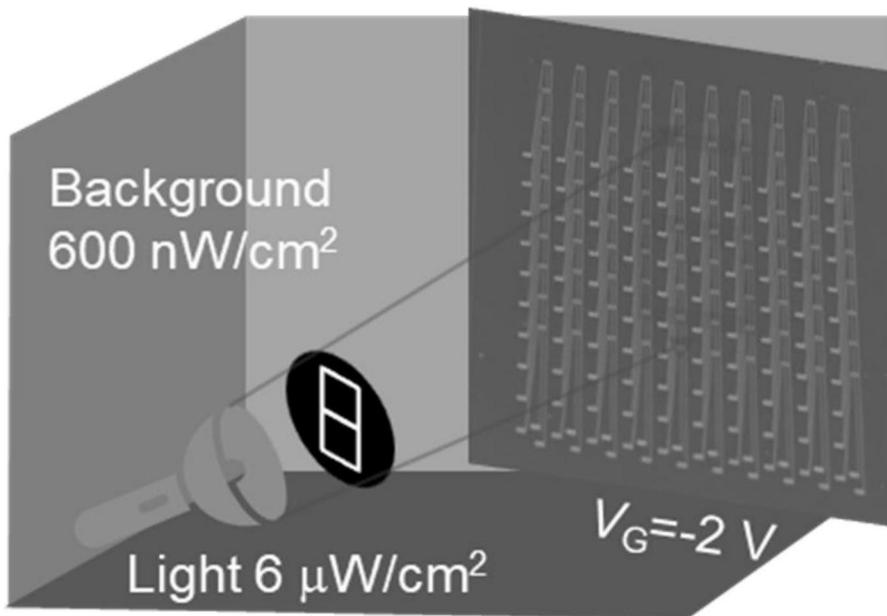


图8(a)

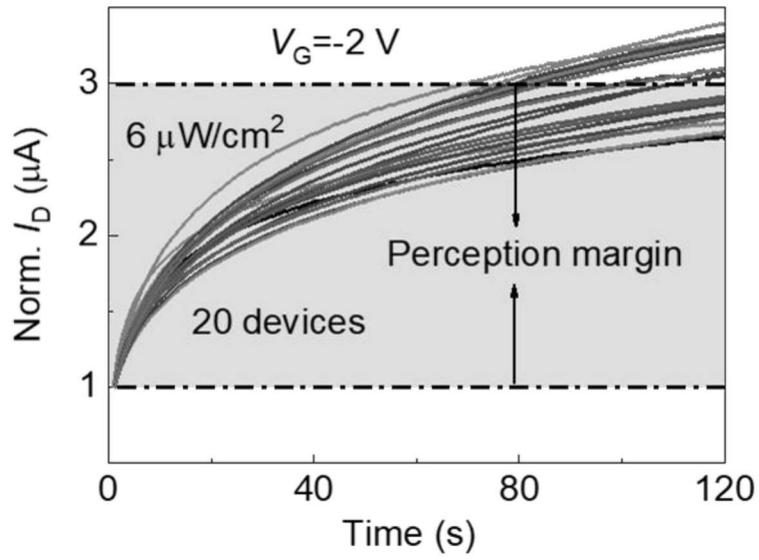


图8(b)

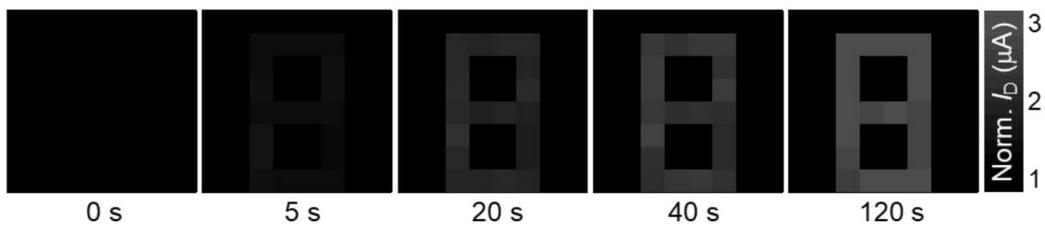


图8(c)

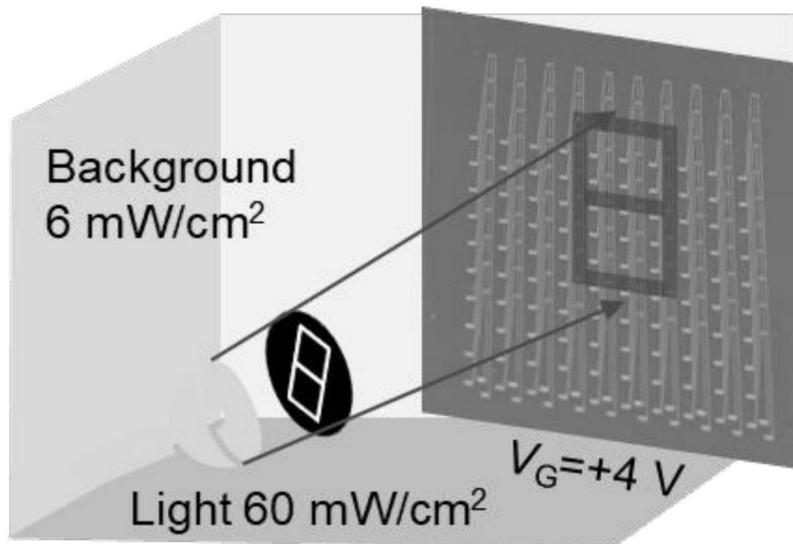


图9(a)

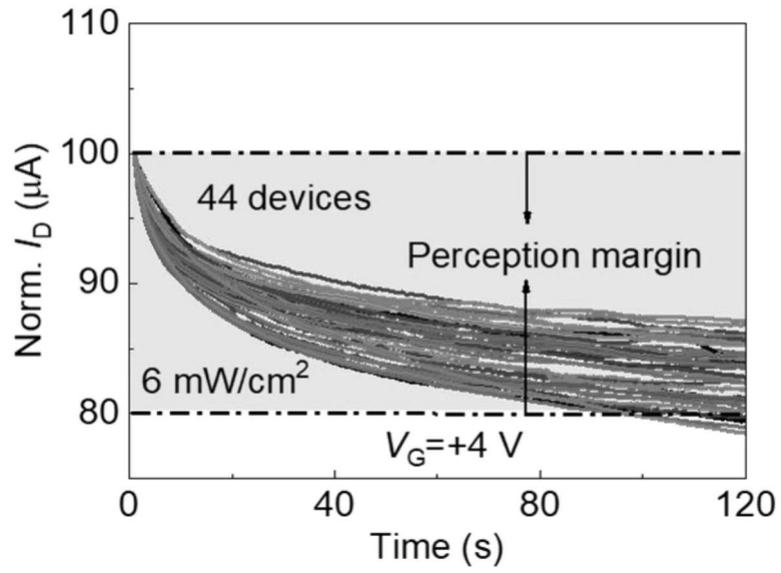


图9(b)

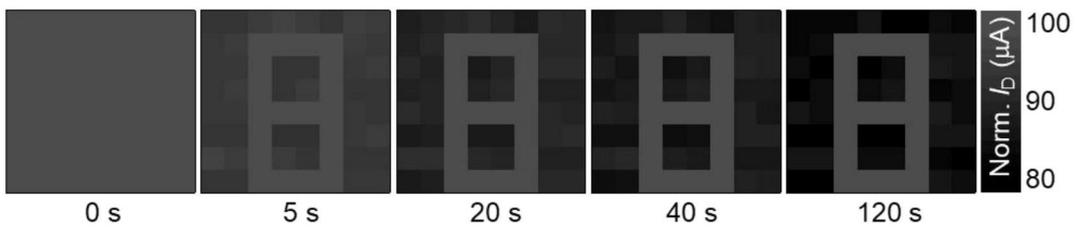


图9(c)