

128×128 β 氧化镓 MOSFET 日盲紫外光电探测器阵列特性*

刘旭阳 陈海峰[†] 张佳 陈春伶 朱亚晗 冯臻夫 贾一凡

(西安邮电大学工程学院, 新型半导体器件与材料重点实验室, 西安

710121)

摘要

大规模氧化镓日盲紫外探测器阵列是实现高分辨成像的重要基础。本文基于原子层沉积技术生长的 β -Ga₂O₃ 制备了 128×128 行列寻址拓扑结构的 MOSFET 型日盲紫外探测器阵列。阵列面积为 25.6×25.6 mm², 单像素尺寸为 170 μ m×200 μ m, 在光暗环境下 MOSFET 输出特性良好。对阵列中均匀分布的 9 个区域进行了 900 个 MOSFET 像素点的暗环境和 254 nm 日盲紫外光环境下漏电流性能采样表征, 光暗电流分布均匀。线性区($V_G=10$ V/ $V_D=2$ V)下, 采样像素点暗电流与光电流均值分别为 41.5 nA 和 13.6 μ A, 光暗电流比约 3.28×10^2 ; 饱和区($V_G=10$ V/ $V_D=10$ V)下, 暗电流和光电流均值分别为 123.7 nA 和 46 μ A, 光暗电流比约 3.7×10^2 。饱和区的器件响应度 R 、比探测率 D^* 与外量子效率 EQE 分别为 849.6 A/W、 1.82×10^{13} Jones 和 $4.15\times 10^5\%$ 。阵列展示出了优异的日盲紫外成像能力。本工作为大规模高像素日盲紫外成像器件的发展提供了有益的参考。

关键词: β -Ga₂O₃; MOSFET; 日盲紫外探测; 探测器阵列

PACS: 85.30.-z, 85.30.De, 95.55.Aq

基金:国家自然科学基金(批准号: 62204203)和陕西省自然科学基金(批准号: 2023-JC-YB-574)资助的课题。

[†] 通信作者.E-mail: chenhaifeng@xupt.edu.cn

第一作者.E-mail: lxy233798@163.com

1 引言

β -氧化镓(β -Ga₂O₃)拥有 4.5-4.8 eV 禁带宽度, 8 MV/cm 的高理论击穿电场且在高温与极低温下表现出优异的稳定性^[1-5], 这使其在极端环境探测日盲紫外光场景中具备独特的应用潜力^[6-8]。随着日盲紫外探测成像需求的增加, 氧化镓探测已经从单一器件向探测阵列发展。2022 年, Liu^[9]等人采用金属有机化学气相沉积(MOCVD)制备氧化镓薄膜并制备了 4×4 的 β -Ga₂O₃ MSM 探测器阵列, 制成的阵列均匀性良好。Chen^[10]等(2024)基于原子层沉积生长的 Ga₂O₃ 薄膜, 制备

了具有双层导线结构的 10×10 日盲紫外成像阵列, 该阵列在不同光照强度和低工作偏压下均表现优异, 为氧化镓日盲紫外探测器的大规模阵列应用提供了新思路。Yang^[11]等 (2025) 在 2 英寸蓝宝石衬底上 ϵ - Ga_2O_3 薄膜上也制备了 10×10 阵列, 器件光电流偏差控制在一个数量级以内, 成功实现了 "NIMTE" 字母的高对比度光学成像。Dong^[12]等 (2025) 提出了一种金属-绝缘体-半导体-金属 (MISM) 新型结构, 在 Ga_2O_3 与电极之间引入超薄 HfO_2 绝缘层作为宽禁带势垒, 所制备的 16×16 阵列具备超低暗电流, 较传统 MSM 结构降低两个数量级。进一步, Kuang 等^[13] (2025) 通过分子束外延生长 Ga_2O_3 薄膜, 制备了 64×64 MSM 探测器阵列, 实现了 273 fA 的超低暗电流、167 A/W 的响应度和 1.6×10^{16} Jones 的高探测率, 响应时间为 15 ms。上述的这些重要工作有力地推动了阵列的大规模化, 同时探测器的性能也在这一过程中获得了提升。这些阵列器件均采用 MSM 结构, 其优点是制备简单, 却也导致其缺乏主动开关调控功能, 易受持续光电导 (PPC) 效应影响而导致响应特性衰减^[14-17]。

相比 MSM 型两端型探测器, MOSFET 型探测器具有主动的调控功能。2025 年, 我们制备 β - Ga_2O_3 MOSFET 型阵列^[18], 阵列规模扩展到了 32×32 , 器件具有良好光暗电流比, 同时通过负栅压信号有效的抑制 PPC 作用。尽管如此, 但该阵列仍然偏小, 只有 1K 个 MOSFET 像素, 这与可实际应用的阵列像素密度存在差距。为了突破阵列规模瓶颈来拓展 β - Ga_2O_3 MOSFET 阵列的高分辨率应用场景, 必须进一步探索和发展更大规模的阵列。

本文基于 ALD 技术生长了 β - Ga_2O_3 薄膜, 并通过光刻、刻蚀、蒸镀、退火等工艺的协同优化, 制备了 128×128 MOSFET 日盲紫外光电探测器阵列, 实现阵列单元的高密度集成。进一步研究了 MOSFET 特性、阵列的一致性及成像等特性, 并给出了相应的物理机制。

2 实验方法

128×128 β -Ga₂O₃ nMOSFET 日盲紫外探测器阵列制备在SiO₂/Si衬底上，制备具体工艺过程如下：首先采用 ALD以三甲基镓（TMGa）为Ga源前驱体，臭氧（O₃）为氧源前驱体，高纯度氮气（N₂）兼具载气与吹扫功能进行 β -Ga₂O₃薄膜制备。生长过程中，沉积温度为250 °C，通过2000次沉积循环生长约90 nm厚的氧化镓薄膜（生长速率 ≈ 0.45 Å/循环）。之后经过10 min的900 °C高温退火，形成 β -Ga₂O₃薄膜。进一步采用光刻工艺定义源漏电极图形，通过电子束蒸发技术沉积Ti/Ni（厚度分别为100 nm/50 nm）金属层，经剥离工艺形成源漏欧姆接触电极。随后在N₂氛围中450 °C退火90 s，降低接触电阻。紧接着，通过ALD系统在生长25 nm厚Al₂O₃栅介质层。最后，采用光刻工艺定义栅电极图形，电子束蒸发沉积厚度为100 nm的Ni金属层，经剥离工艺形成栅电极，制备出完整的阵列。在室温下使用B1505半导体精密测试仪对阵列进行光暗电流测试，其中光电流测试中的日盲紫外灯功率密度为 $P=3000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

3 结果与讨论

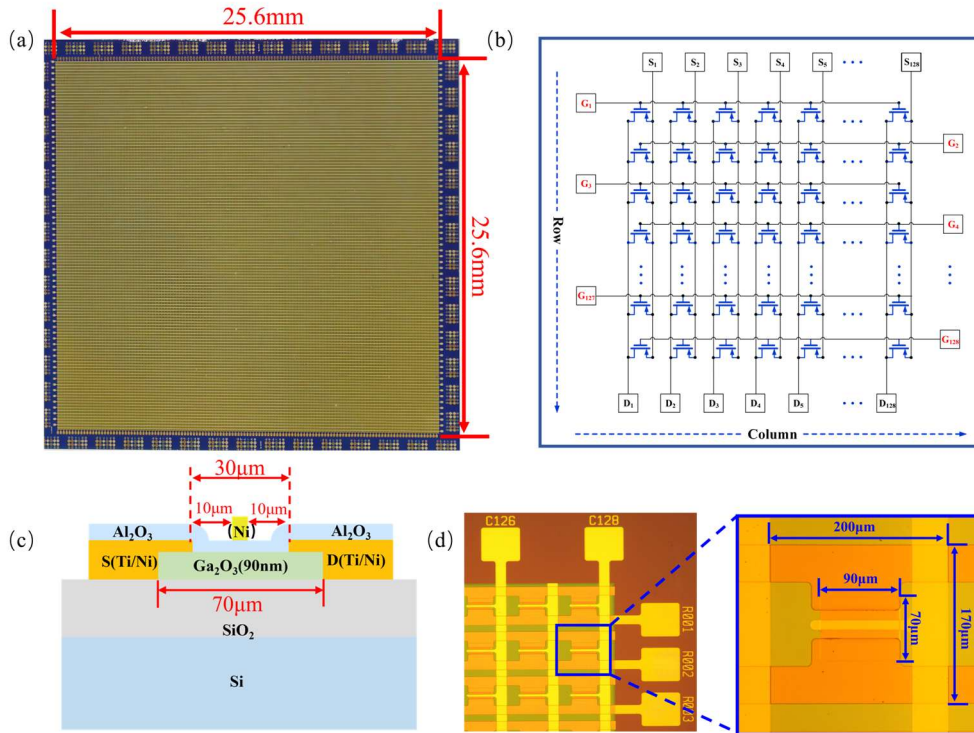


图1. (a) 实际制备的128×128MOSFET阵列; (b) 阵列的拓扑结构图; (c) MOSFET单元结构示意图; (d) 局部放大图及单像素MOSFET放大图

Fig. 1. (a) The image of the as-fabricated 128×128 MOSFET array; (b) Topological structure of

the array; (c) Schematic diagram of the MOSFET unit structure;

(d) Magnified view of a single pixel in the array.

图 1 (a)展示了实际制备的 128×128 MOSFET 探测器阵列，阵列面积为 $25.6 \times 25.6 \text{ mm}^2$ ，包含 16384 个 MOSFET 器件。如图 1 (b)所示，该阵列采用行列选址的电路拓扑结构，主要包括 128 条栅极行驱动线和 128 条漏极列驱动线。工作过程中，栅压 V_G 用于选择目标行像素，而漏压 V_D 用于选择目标列像素，以实现单像素寻址和信号读取。图 1 (c)展示了阵列中 MOSFET 的结构图。图 1 (d)是实际制作阵列的局部放大视图。阵列中每个像素单元的面积为 $170 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ ，有效沟道长度为 $30 \mu\text{m}$ ，沟道宽度为 $90 \mu\text{m}$ ，氧化铝绝缘层厚度 25 nm ， $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 有源区厚度为 90 nm ，源极与栅极之间距为 $10 \mu\text{m}$ 。

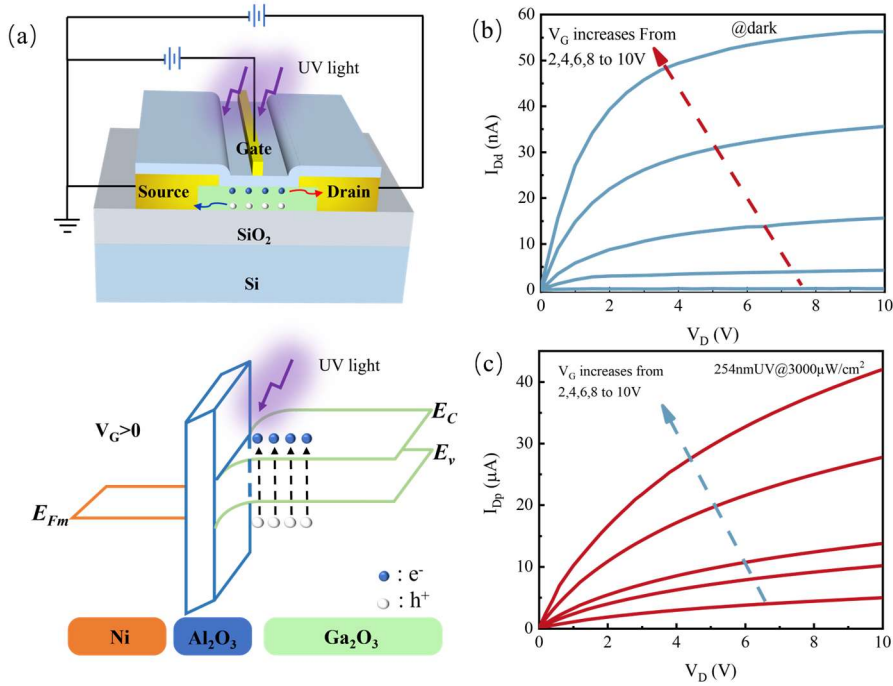


图 2 (a) MOSFET 日盲紫外探测器的探测机理示意图;(b) 暗状态下输出曲线;

(c) 254nm 紫外光照下的输出曲线。

Fig. 2. (a) Schematic diagram of the detection mechanism of MOSFET solar-blind ultraviolet detector; (b) the experimental output curves under dark conditions; (c) the experimental output curves under 254nm UV light conditions.

图 2 (a)展示了正栅压 V_G 下光生载流子的示意图。在 254 nm 波长的日盲紫外光照下， $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 内产生大量光生电子-空穴对^[19-21]，栅极电场使得沟道表面能带弯曲，光生电子汇集于表面形成沟道流向漏极，使得漏极光电流 I_{Dp} 快速增大。

图 2 (b)、(c)分别给出了阵列中 MOSFET 在不同 V_G 下的漏极暗电流 I_{Dd} 与 I_{Dp} 曲线。在暗环境下，器件呈现典型的 nMOSFET 输出特性， I_{Dd} 表现出从线性区到饱和区的过渡，电流大小处于数十 nA 量级。在光照条件下，当 $V_D=10\text{ V}/V_G=10\text{ V}$ 时，器件展示出超 $40\text{ }\mu\text{A}$ 大光电流 I_{Dp} 。

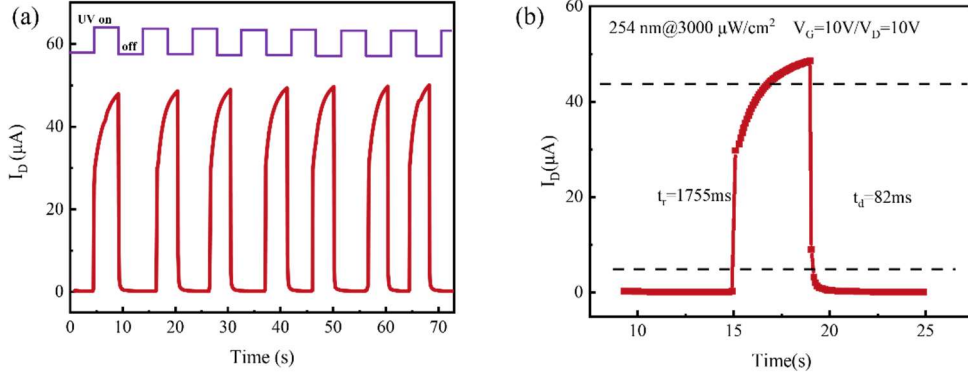


图 3 (a) MOSFET 在 254 nm 脉冲紫外光照射下的时间响应曲线;
(b) 器件的单周期光响应特性。

Fig. 3. (a) Experimental I_D -time curves of MOSFET under pulsed 254nm UV light;
(b) Photo- response characteristics of device.

图 3 (a) 展示了在周期性激发下的重复光响应行为。在每个 10 s 测试周期的 5 s 光照阶段， I_{Dp} 迅速上升并稳定在 $49\text{ }\mu\text{A}$ ；进入 5 s 暗阶段后，光电流迅速回落至 100 nA 。多次循环曲线的高度重合表明器件具有稳定的重复响应特性。图 3 (b) 显示了单个周期的细节。上升时间 τ_r 定义为电流从 10% 上升至 90% 所需的时间，下降时间 τ_d 则为电流从 90% 下降至 10% 所需的时间^[22-25]。由此得到 τ_r 和 τ_d 分别约为 1755 ms 和 82 ms。尽管探测器大的光电流降低后续的电电路级的处理难度，但也影响了上升响应速度。相比于 τ_d ，器件的暗电流达到 $49\text{ }\mu\text{A}$ 光电流峰值的上升时间 τ_r 较大。图中看出，上升阶段前 $30\text{ }\mu\text{A}$ 区间非常快。延时主要发生在 $30\text{ }\mu\text{A}$ 以后的大电流区间，这时光电流进入到慢增速阶段，这归因于材料的吸收饱和特性，其影响了高浓度光生电子在沟道中的积累及输运。

进一步，器件整体饱和区的光电性能可从以下指标进行评^[26]。其响应度 R 为：

$$R = \frac{I_{\text{photo}} - I_{\text{dark}}}{P_{\text{in}}} \quad (1)$$

其中 P_{in} 为入射光功率密度 $P=3000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，受光面积为 $1800 \mu\text{m}^2$ 时的功率。由于 R 主要依赖于光电流 I_{photo} ，因此在 $V_G=10 \text{ V}/V_D=10 \text{ V}$ 下器件的 R 为 849.6 A/W 。

外量子效率 EQE 如公式(2)所示^[27]:

$$EQE = \frac{Rhc}{\lambda \cdot q} \quad (2)$$

其中 R 为响应度, h 为普朗克常数, c 为真空光速, λ 为入射光波长, q 为元电荷。计算可得 EQE 为 $4.15 \times 10^5\%$ ，较大的 EQE 主要归因于器件内部存在显著的光电导增益效应。

器件的比探测率 D^* 可由公式(3)表示^[26]:

$$D^* = \frac{R \cdot \sqrt{A}}{\sqrt{2qI_{\text{dark}}}} \quad (3)$$

其中 R 为响应度, A 为受光面积, q 为元电荷, I_{dark} 为暗电流。计算得比探测率 D^* 为 $1.82 \times 10^{13} \text{ Jones}$ 。

为了更直观地评估阵列中的器件的综合性能水平,表 1 对比了近年来文献中的 Ga_2O_3 基日盲紫外探测器阵列的关键参数性能:

表 1 氧化镓基日盲紫外探测器阵列性能对比

Table 1. Performance comparison of reported Ga_2O_3 -based solar-blind ultraviolet photodetector arrays

Array scale	Structure	Active Selection	PDCCR	$I_{\text{dark}}/$ A	$R/$ (A/W)	$D^*/$ Jones	$EQE/$ %	τ_r/τ_d ms	Ref.
4×4	MSM	No	6×10^7	1.94×10^{-11}	634.15	5.93×10^{11}	3.1×10^5	—	[9]
10×10	MSM	Yes	5.6×10^5	2.4×10^{-11}	5.5	2.3×10^{14}	2.7×10^3	74	[10]
10×10	MSM	No	10^6	1.34×10^{-10}	52.77	—	2.7×10^4	720	[11]
16×16	MISM	No	>300	2×10^{-14}	2188	8.3×10^{12}	—	—	[12]
64×64	MSM	Yes	4.8×10^7	2.73×10^{-13}	167	1.6×10^{16}	—	200	[13]
32×32	MOSFET	Yes	3×10^3	4×10^{-10}	—	—	—	62	[18]
128×128	MOSFET	Yes	3.7×10^2	1.23×10^{-7}	849.6	1.82×10^{13}	4.15×10^5	1755	This work

表中可以看出,相比于其他器件,阵列中的器件 $PDCCR$ 、暗电流以及上升的

响应时间 τ_r 有所不足，但在规模上、响应度以及 EQE 上具有明显的优势。

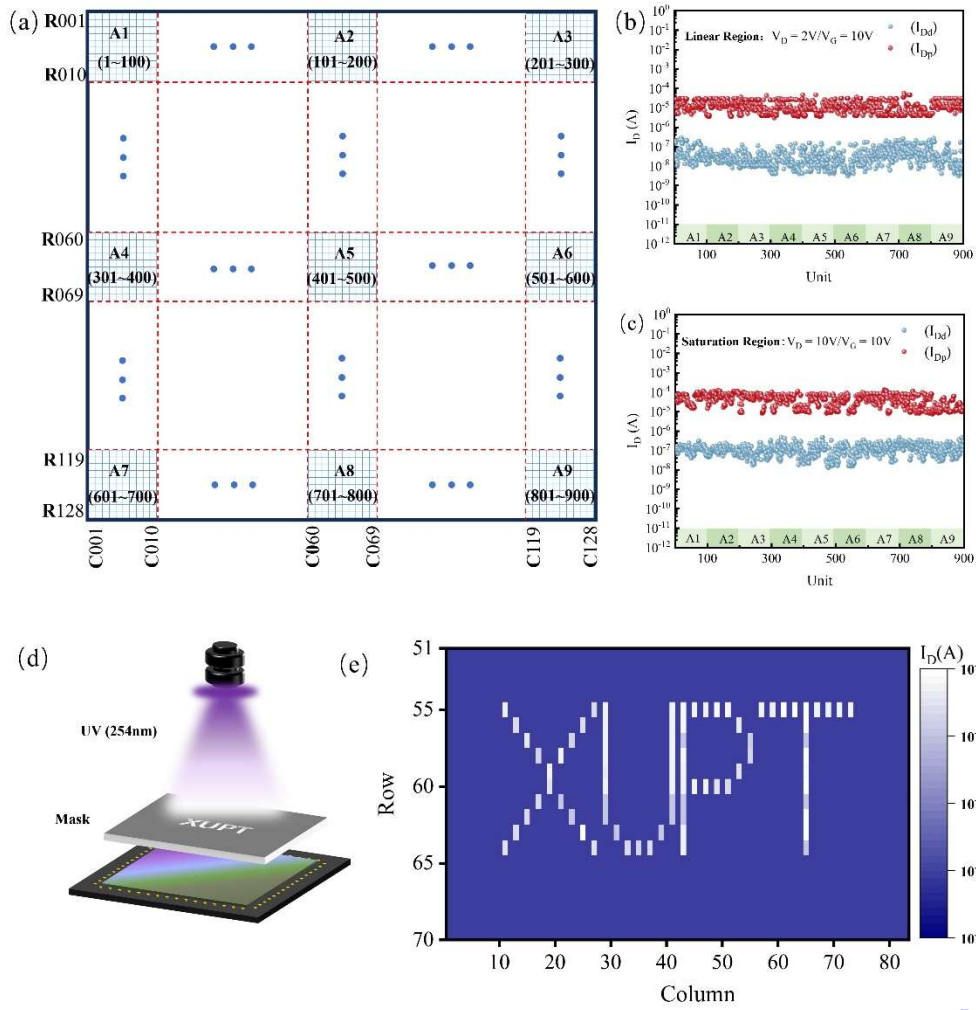


图 4 (a) 900 个采样 MOSFET 在整个阵列中的分布;(b) 900 个采样 MOSFET 在线性区的暗电流与光电流;(c) 900 个采样 MOSFET 在饱和区的暗电流与光电流;
(d) 测试装置原理图;(e) 阵列的电流成像结果。

Fig. 4. (a) The distribution of 900 sampled MOSFETs in the entire array; (b) the dark and photo current of sampled 900 MOSFETs in the linear region. (c) the dark and photo current of 900 sampled MOSFETs in the saturation region. (d) Schematic of the measurement setup; (e) Current imaging result of array.

为了验证 128×128 阵列的像素一致性，本文采用区域采样法对 128×128 阵列的电流一致性性能进行了评估。采样方法如图 4(a)所示：分别从阵列的四个角区、四个边缘区及中心区各选取一个 10×10 子区域，分别定义为区域 A1 至 A9，MOSFET 样本总数共计 900 个。图 4(b)和 4(c)分别给出了 β - Ga_2O_3 MOSFET 在线性区 ($V_G=10 \text{ V}/V_D=2 \text{ V}$) 和饱和区 ($V_G=10 \text{ V}/V_D=10 \text{ V}$) 下 900 个采样像素实际测试的暗电流与光电流散点图。可以看出，电流分布基本一致。在线性区的暗电流统计显示约 90.47% 的像素暗电流低于 100 nA，约 9.53% 的像素点超过 200 nA。

暗电流 I_{Dd} 均值为 41.5 nA，中位数为 25.0 nA，中位数低于均值。光电流统计显示约 79.8% 的像素光电流低于 20 μ A，约 18.2% 处于 20-30 μ A，大于 30 μ A 的点约占 2%。光电流均值 I_{Dp} 为 13.6 μ A，中位数为 11 μ A，低于均值。据统计值计算，得到光暗电流比(PDCR)约为 3.28×10^2 ，表明器件具备良好的光/暗状态区分能力。饱和区的暗电流统计显示，约 76.17% 的像素低于 150 nA，约 13.34% 的像素超过 200 nA，暗电流 I_{Dd} 均值为 123.7 nA，中位数为 110 nA。光电流统计显示，约 86.33% 的像素光电流小于 80 μ A，约 13.67% 的像素处于 100-130 μ A 区间，光电流均值 I_{Dp} 为 46 μ A，中位数为 43 μ A。上述两个工作区域的统计结果表明，像素点离散性的产生可能来源于阵列面积的成倍增加，大面积衬底的不同位置处的薄膜质量以及缺陷差异可能导致像素性能波动。其次，大面积刻蚀与电极欧姆接触工艺的偏差使得 128 $\times$ 128 阵列中不同像素的性能存在一定的随机波动。此外相较于常见的 MSM、MISM 结构，MOSFET 阵列的制作工艺要复杂的多，多层工艺进一步放大了像素间的性能差异。

图 4 (d)和 4 (e)展示了阵列日盲紫外成像验证测试的原理图与实验结果。测试装置如图 4(d) 所示，由功率密度为 $P=3000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 的 254 nm 日盲紫外光源、带有穿孔图案的掩模版及 128 $\times$ 128 阵列芯片组成。掩模版为金属材质，其上刻有“XUPT”字样的穿孔图案，穿孔区域允许紫外光通过。掩模版平行于阵列芯片表面放置，芯片接收穿过掩模版的紫外光，并将其转换为电流信号。最终，通过行/列寻址电路读取各像素的电流信号，映射生成二维电流成像图。图 4(e)为实验结果，清晰呈现了“XUPT”字符图案。为进一步量化成像质量，对成像结果中字符区域与背景区域的电流信号进行了统计分析。字符区域的平均光电流约为 59.55 μ A，背景区域的平均暗电流采用采样点饱和区暗电流均值 123.7 nA，成像对比度约 481，表明亮暗区域具有显著的信号区分度。从噪声角度分析，字符区域光电流较饱和区暗电流均值高出近三个数量级。这一差距足以保证在成像过程

中，像素间暗电流波动不会导致背景像素被误识别为信号像素。此外，尽管共用的行/列寻址线可能使部分载流子进入目标像素导致该像素的读出电流较暗态偏大，但根据实测数据，该影响并未造成字符轮廓模糊或背景误激活，表明串扰水平在可接受范围内。上述测试表明阵列的像素寻址与信号读取功能满足成像需求，该成像结果的高对比度进一步验证了 128×128 β -Ga₂O₃ MOSFET 阵列具备良好的日盲紫外成像能力。

4 结 论

本文制备了 128×128 β -Ga₂O₃ MOSFET 日盲紫外探测器阵列。阵列中的 MOSFET 器件在光照与暗条件下均表现出良好的输出与时间响应特性。采用 900 点采样法对阵列的系统光电性能进行了表征，并通过行列寻址拓扑结构读取像素信号。在 $V_G=10$ V 条件下，器件在线性区的平均暗电流 I_{Dd} 为 41.5 nA，在功率密度 $P=3000$ μ W/cm² 的 254 nm 日盲紫外光照射下的平均光电流 I_{Dp} 为 13.6 μ A，光暗电流比 ($PDCR$) 约为 3.28×10^2 。在饱和区，平均 I_{Dd} 为 123.7 nA，平均 I_{Dp} 为 46 μ A， $PDCR$ 约为 3.73×10^2 。器件在饱和区时，器件的 τ_r 和 τ_d 分别约为 1755 ms 和 82 ms。整个阵列中器件特性均匀。通过使用镂空字母掩模版进行日盲紫外光投影成像测试，阵列能够清晰还原字符图案，展示了优异の日盲紫外成像能力。尽管如此，由于阵列中的器件的响应时间较大，目前阵列适用静态和低频成像，因此还需要通过提升材料和器件制备工艺获得大光电流和响应速度之间最佳的平衡。本工作将有助于推动大规模高像素氧化镓 MOSFET 图像传感器的发展。

参考文献

- [1] Chung S T, Li B H, Langpoklakpam C, Lin Y H, Huang H Y, Liu A C, Lee H Y, Lin C H, Singh A K, Kuo H C 2025 *ACS Appl. Electron. Mater.* 7 2767
- [2] Kumar M, Khandelwal V, Chettri D, Abdallah A A, Li X H 2025 *Appl. Phys. Lett.*

- [3] Cui W Z, Fu S H, Song Y H, Zhang J L, Wu Z, Wang G S, Feng Q, Zhang J C, Hao Y 2025 *ACS Appl. Mater. Interfaces* **17** 12467
- [4] You Q S, Li Z, Shen Y, Lu Z L, Wang Y H, Chen Z, Yang Y, Liu Y Y, Jiang S S, Lin Y, Qian L, Wang X R, Ni Z H, Zhang G Y, Wang X 2025 *Nat. Commun.* **16** 8175
- [5] Zou R H, Zhang C Y, Zhao X L, Li P G, Tang W H 2023 *J. Mater. Chem. C* **11** 8919
- [6] Chen T W, Liu N, Cheng S Z, Zhang X D, Ding P, Zeng C H, Zhang L, Guo G F, Yang A, Hu Y, Li Z C, Zhao D R, Zhang H Y, Dai S G, Ye J W, Gong J W, Ru Z Q, Shi W H, Zeng Z M, Song H L, Zhang B S 2025 *Opt. Lett.* **50** 1633
- [7] Zhang Y, Li S M, Zhang Z Y, Xu J Y, Zhao Y, Tang W H, Guo Y F, Qin Y 2025 *Adv. Funct. Mater.* **35** 2410233
- [8] She X B, Wang Y X, Wang X, Chen X L, Hou Y C, Zhang H Y, Zhang L Y, Li L F, Guo Y F, Liu Y C 2025 *ACS Photonics* **12** 5374
- [9] Liu Z, Zhi Y S, Zhang M L, Yang L L, Li S, Yan Z Y, Zhang S H, Guo D Y, Li P G, Guo Y F, Tang W H 2022 *Chin. Phys. B* **3** 088503
- [10] Chen H F, Liu Z H, Zhang Y X, Jia F L, Wu C L, Lu Q, Liu X T, Wang S Q 2024 *J. Semicond.* **45** 092502
- [11] Yang Y X, Han D Y, Wu S M, Liang Z Z, Sun H L, Cui X D, Yang Y F, Wang T, Wang X H, Zhang X 2025 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **58** 105108
- [12] Dong D M, Cao X M, Wang J C, Zhang Q Y, Peng M, Wang Z C, Li Y, Jiao S L, Ye H, Zhang F, Zhang Y, Wu Z P 2025 *Opt. Lett.* **50** 6794
- [13] Kuang S L, Yang Z N, Xu X Y, He Y X, Bao L J, Liang Z, Li K K, Ling K, Zhang X, Yang Y, Long H, Cheng H H, Wang X F, Chen J N, Sun R, Wang J L, Zhang J C, Ye J D 2024 *Adv. Opt. Mater.* **12** 2403049

- [14] Zhou H T, Cong L J, Ma J G, Li B S, Xu H Y, Liu Y C 2021 *Chin. Phys. B* **30** 126104
- [15] Chang H L, Jia Y Q, Alquwayzani A, Zhang X, Al Ibrahim R H, Ben Hassine M, Anjum D H, Wang Q X, Hedhili M N, Gong J R, Gan Q Q, Ma Z Q, Ng T K, Ooi B S 2025 *APL Mater.* **13** 061109
- [16] Kaur D, Dahiya R, Kumar M 2023 *J. Vac. Sci. Technol. A* **41** 043410
- [17] Wu C, Zhao T L, He H L, Hu H Z, Liu Z, Wang S L, Zhang F B, Wang Q F, Liu A P, Wu F M, Guo D Y 2024 *Adv. Opt. Mater.* **12** 2302294
- [18] Chen H F, Wu C L, Liu X Y, Chen C L, Wang H, Lu Q, Liu X T, Ni J Y, Wang Z, Wang S Q, Liu S Y, Zhang Y X, Song H Y, Ma J J, Shi W H 2026 *Sci. China Inf. Sci.* **69** 119403
- [19] Wang H B, Zhou C, Li P, Yang L, Ma J G, Xu H Y, Liu Y C 2025 *Nat. Commun.* **16** 8175
- [20] Ma X L, Zhang Y, Tan P J, Chen Y J, Sun W H, Yang X D, Liu K W, Long H, Li G Q, Tang W H, Zhang K H L, Jiang H, Li X M, Wu T, Chen J H, Liu Y, Long S B 2025 *InfoMat* **7** e70016
- [21] Cheng Y J, Zhang Y F, Li S, Chen Y, He J F, Zhang C S, Zhang B S, Wang Y, Song H L, Zeng Z M 2025 *ACS Photonics* **12** 2203
- [22] Liu Y M, Peng C, Liu C, Yu C, Guo J R, Chang Y Y, Zhao Y 2024 *Coatings* **14** 1204
- [23] Zhang Q Y, Li N, Zhang T, Dong D M, Yang Y F, Wang Y X, Wang Z C, Ye H, Long H, He J L, Cao X M, Wu Z P, Zhang Y, Tang W H, Guo Y F, Liu Y C 2023 *Nat. Commun.* **14** 418
- [24] Lee S H, Lee K M, Kim Y B, Moon Y J, Kim S B, Bae D, Kim T J, Kim Y D, Kim S K, Lee S W 2019 *J. Alloys Compd.* **780** 400

- [25] Li X X, Wu Z F, Fang Y, Huang S Q, Fang C Z, Wang Y B, Zeng X Y, Yang Y G, Hao Y, Han G Q 2024 *Research* **7** 0546
- [26] Kuang D, Xu S, Shi D W, Guo J, Yu Z N 2023 *Acta Phys. Sin* **72** 038501 (in Chinese)
[况丹, 徐爽, 史大为, 郭建, 喻志农 2023 物理学报 **72** 038501]
- [27] Zhang Y, Liu R W, Zhang J Y, Jiao B B, Wang R Z 2024 *Acta Phys. Sin.* **73** 098501
(in Chinese) [张裕, 刘瑞文, 张京阳, 焦斌斌, 王如志 2024 物理学报 **73** 098501]

28×128 β -Ga₂O₃ MOSFET solar-blind ultraviolet photodetector array*

LIU Xuyang CHEN Haifeng[†] ZHANG Jia CHEN Chunling ZHU Yahan FENG Zhenfu

JIA Yifan

(Key Laboratory of Advanced Semiconductor Devices and Materials, School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract

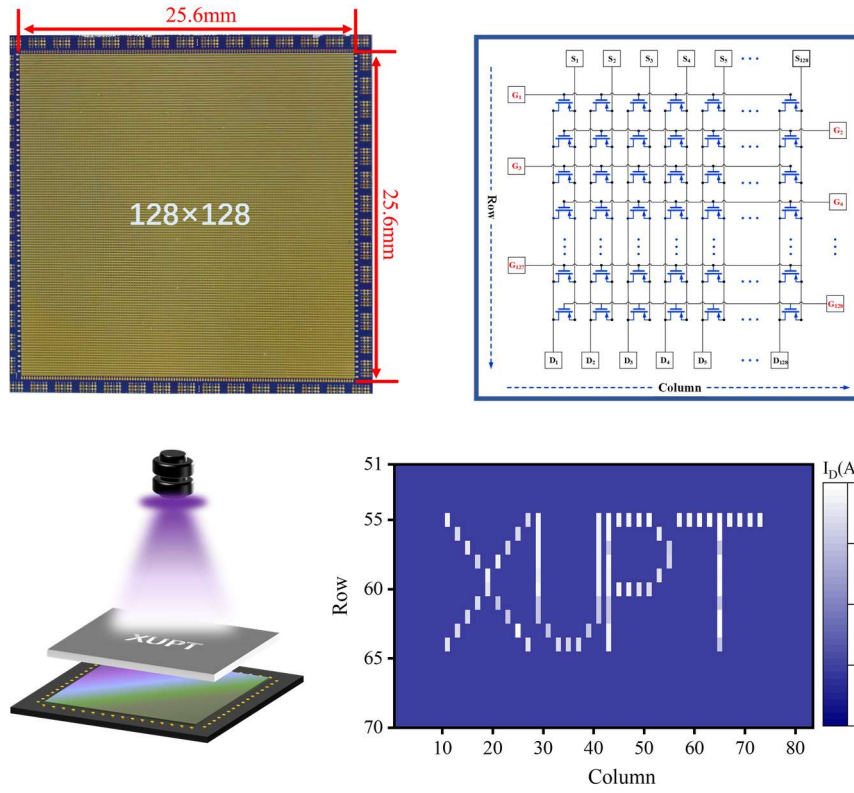
Large-scale Ga₂O₃ solar-blind ultraviolet photodetector arrays are essential for achieving high-resolution imaging. In this paper, a 128×128 nMOSFET array with a row-column addressing topology is fabricated on β -Ga₂O₃ grown by atomic layer deposition technology. The array has an area of 25.6 × 25.6 mm², with a single pixel size of 170 × 200 μ m². The MOSFET within a single pixel features an effective channel length of 30 μ m, a channel width of 90 μ m, a 25-nm-thick Al₂O₃ insulating layer, a 90-nm-thick β -Ga₂O₃ active region, and a source-to-gate spacing of 10 μ m.

Under conditions of dark and 254 nm solar-blind UV illumination with a power density of 3000 μ W/cm², MOSFETs are measured using a B1505A semiconductor parameter analyzer. The device exhibits the typical nMOSFET output characteristics, with dark current I_{Dd} showing a transition from the linear region to the saturation region, and the current value being in the range of several tens of nA. Under the saturation region of $V_D = V_G = 10$ V, the device displays a large photocurrent I_{Dp} of over 40 μ A. The rising

response time τ_r and falling response time τ_f of device are 1755 ms and 82 ms respectively. The long τ_r is attributed to the large photocurrent which depends on the accumulation of photogenerated electrons. The accumulation of high concentration of generated electrons in the channel and their transport process within the channel result in the prolongation of the rising process.

Further, a representative area sampling method is adopted to evaluate the current consistency performance of the 128×128 array. One 10×10 pixel sub-region is selected from each of the four corner areas, the four edge center areas, and the center area of the array, respectively, and defined as regions A1 to A9. I_{Dd} and I_{Dp} of these 900 MOSFET pixels are sampled from these nine uniformly distributed regions across the array. The results demonstrate the uniform photo and dark current distribution. At $V_G = 10$ V, the average I_{Dd} in the linear region of $V_D = 2$ V is 41.5 nA, while the average I_{Dp} is 13.6 μ A, yielding a photo-to-dark current ratio (*PDCR*) of approximately 3.28×10^2 . In the saturation region of $V_D = 10$ V, the average I_{Dd} is 123.7 nA and the average I_{Dp} is 46 μ A, corresponding to a *PDCR* of about 3.73×10^2 . The device characteristics are uniform across the entire array. In the saturation region, the responsivity (*R*), specific detectivity (*D**), and external quantum efficiency (*EQE*) of the device are 849.6 A/W, 1.82×10^{13} Jones, and $4.15 \times 10^5\%$, respectively. Ultraviolet projection imaging tests using a hollow-letter mask show that the array can clearly reproduce the pattern of the 'XUPT' letters, indicating good uniformity and excellent solar-blind UV imaging capability.

This work demonstrates a 128×128 β -Ga₂O₃ MOSFET solar-blind UV detector array fabricated through collaborative process optimization, achieving large-area integration with high responsivity and large photocurrent. However, the device exhibits a relatively long response time under current fabrication conditions, limiting its applicability to static or low-frequency imaging. Ongoing optimization efforts target three key parameters of material crystallinity, process uniformity, and device structure to systematically reduce the response time. This work should be helpful for the development of large-scale, high-pixel-count Ga₂O₃ MOSFET image sensors.



Keywords: β - Ga_2O_3 , MOSFET, Solar-blind ultraviolet detection, Detector array

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 62204203), and the Natural Science Basic Research Program of Shaanxi Province of China (Grant No. 2023-JC-YB-574) .

These authors contributed equally.

† Corresponding author.E-mail: chenhaifeng@xupt.edu.cn
The first author.E-mail: lxy233798@163.com