



基于CuGa₂O₄薄膜全日盲紫外光电探测器性能研究

隋雪¹, 冯秋菊^{1*}, 杨壹涵¹, 石佳辉¹, 姚星宇¹, 刘健东¹, 张朝统¹, 王德煜², 梁红伟²

1. 辽宁师范大学物理与电子技术学院, 大连 116029

2. 大连理工大学集成电路学院, 大连 116024

*联系人, E-mail: qjfeng@lnnu.edu.cn

收稿日期: 2025-04-29; 接受日期: 2025-08-01; 网络出版日期: 2025-12-09

国家自然科学基金(编号: 12075045)和大连市科技创新基金(编号: 2023JJ12GX016)资助项目

摘要 CuGa₂O₄是一种尖晶石结构的p型半导体材料, 具有优异的物理和化学稳定性, 其带隙位于日盲波段低能边缘, 是一种新型的全日盲波段探测材料. 本文采用化学气相沉积(CVD)法通过研究不同反应源(CuO和Ga₂O₃)的质量比, 在蓝宝石衬底上生长出了高质量的CuGa₂O₄薄膜. 研究发现CuGa₂O₄薄膜的光学带隙约为4.4 eV. 基于生长的CuGa₂O₄薄膜制作出光电导型紫外探测器, 研究表明器件对280 nm的紫外光具有良好的光响应特性. 10 V偏压下, 器件的暗电流值为0.2 nA, 其光暗电流比可达 5.78×10^4 . 光强为11 $\mu\text{W cm}^{-2}$ 时, 器件的光响应度、外部量子效率和比探测率分别为4.29 A W⁻¹, 1899.86%和 1.31×10^{14} Jones. 本文的研究成果为全日盲紫外探测器的开发和研制提供了一种新的途径.

关键词 化学气相沉积, CuGa₂O₄薄膜, 全日盲, 光电探测器

PACS: 81.15.Gh, 71.20.Nr, 85.60.Gz, 85.30.-z

1 引言

日盲紫外光一般指波长位于220–280 nm之间的太阳辐射. 太阳光在穿越大气层时, 这一波段的光被臭氧层吸收殆尽, 使距离地面十几公里高度内的空间中, 这一波段的背景接近0. 由于没有来自太阳的背景辐射干扰, 工作在这一波段的紫外探测器具有极低的环境背景噪声, 在高压电晕检测、导弹制导与预警、智能传感、火灾预警、生物医药、舰载通信等领域都有广泛的应用前景^[1–5]. 由于大多数探测目标的日盲紫外光信号更趋向分布在日盲波段的长波侧, 如导弹尾焰、电

晕等在280 nm附近对应一些特征谱线^[6,7]. 因此, 研究全波段日盲紫外响应的探测器是十分必要的. 目前, 制备日盲紫外探测器的一些常见宽禁带半导体材料并不能满足全波段日盲探测的需求, 例如, 金刚石材料的带隙为5.5 eV, 可以覆盖日盲波段短于225 nm的部分^[8]. AlGaN和MgZnO等三元合金材料, 通过组分调制可以实现全日盲波段的覆盖^[9,10], 但合金组分涨落会引起吸收边变缓, 影响探测器截止边的陡峭程度. SiC材料的禁带宽度为3.2 eV左右, 尚无法摆脱滤光片实现日盲探测^[11]. β -Ga₂O₃材料的带隙宽度为4.9 eV, 光响应峰值位于250 nm左右, 响应波长范围可覆盖日盲波段

引用格式: 隋雪, 冯秋菊, 杨壹涵, 等. 基于CuGa₂O₄薄膜全日盲紫外光电探测器性能研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2026, 56: 227311

Sui X, Feng Q J, Yang Y H, et al. Performance study of full-band solar-blind UV photodetector based on CuGa₂O₄ thin films (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2026, 56: 227311, doi: 10.1360/SSPMA-2025-0185

的50%左右. CuGa_2O_4 是一种宽禁带尖晶石结构的半导体材料, 光学带隙为4.4 eV^[12], 吸收边正处于280 nm左右, 符合全波段日盲紫外探测的波段特征. 此外, CuGa_2O_4 还具有优良的物理和化学稳定性及光催化活性. 目前, 关于 CuGa_2O_4 材料的研究并不多, 且主要集中在光催化和气敏传感等领域^[13-15], 而在紫外探测性能方面的研究还基本处于空白. 本文采用化学气相沉积(CVD)技术通过研究不同反应源(CuO 和 Ga_2O_3)的质量比, 在普通蓝宝石衬底上生长出了 CuGa_2O_4 薄膜, 并对薄膜的全日盲紫外探测器性能进行了研究.

2 实验和方法

采用化学气相沉积法, 利用 CuO (99.99%)粉末和 Ga_2O_3 (99.99%)粉末作为反应源, 分别将 CuO 粉末和 Ga_2O_3 粉末按表1所示的质量比混合, 并加入二者总质量1.5倍的碳粉, 进行充分研磨后放在刚玉舟内. 将切割好的蓝宝石衬底置于丙酮、酒精、去离子水中分别超声振荡15 min, 用氮气喷枪将其吹干, 将抛光面对反应源放在刚玉舟上, 并推入高温管式炉中央的高温区. 将流量为175 sccm (1 sccm = 1 mL min⁻¹)的氩气(Ar)通入石英管中, 接通电源使整个装置开始升温. 当温度稳定到生长温度(1100°C)时, 将40 sccm的氧气通入石英管内, 沉积时间设定在30 min. 生长完后将样品取出, 所有样品没有进行后续的退火处理. 所用的实验装置如图1所示.

用Hitachi TM3030扫描电子显微镜对制备完的样品A-D进行了形貌表征. 为分析样品A-D的晶体结构, 利用Rigaku Ultima IV的 $\text{Cu K}\alpha$ 辐射(0.15418 nm) X射线衍射系统对样品进行了X射线衍射谱(XRD)的测试. 利用紫外-可见光吸收光谱(UV-Vis)对样品A-D的光学性质进行了分析, 波长范围为200–800 nm.

为研究样品A-D对日盲紫外光的光电探测性能,

表 1 CuGa_2O_4 薄膜的生长参数

Table 1 Growth parameters of CuGa_2O_4 thin films

样品	$\text{CuO}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ (质量比)	生长温度 (°C)	反应时间 (min)	氩气 (sccm)	氧气 (sccm)
A	0.25:1	1100	30	175	40
B	0.75:1	1100	30	175	40
C	1:1	1100	30	175	40
D	1.5:1	1100	30	175	40

采用电子束蒸发技术, 在薄膜的表面蒸镀金(Au)作叉指电极(电极长度为1 mm, 电极间距和电极宽度均为30 μm), 从而制作出金属-半导体-金属(MSM)结构的紫外探测器件, 其结构示意图如图2所示. 本实验采用波长为280 nm的紫外光作为激发光源, 吉时利Keithley 4200-SCS半导体参数分析仪作为光电测试系统, 对器件在日盲波段的光电响应特性进行研究分析.

3 结果与讨论

3.1 样品的结构和光学特性研究

图3(a)–(d)为样品A–D在扫描电镜下的SEM图. 从图中可见样品A–D均为块状结构组成的薄膜. 另外, 发现随着反应源 CuO 质量的增加, 样品晶块尺寸逐渐增大. 当 CuO 和 Ga_2O_3 的质量比达到1:1时(见表1中样品C), 发现样品C薄膜呈现出最佳的形貌特征: 在整个视野内, CuGa_2O_4 薄膜表面非常光滑、平整和致密, 并且晶块尺寸较大, 晶界之间的间隙较小, 结果如图3(c)所示. 继续增加 CuO 的质量, 发现样品D ($\text{CuO}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 的质量比为1.5:1)薄膜的晶块尺寸变得不均匀, 且表面粗糙度变大. 由此可见, 通过改变反应源 CuO 和 Ga_2O_3 的质量比, 生成的样品表面形貌也发生了明显的变化, 当 $\text{CuO}:\text{Ga}_2\text{O}_3$ 的质量比为1:1时, 制备的样品C具有最佳的表面形貌特征. 此外, 我们还对样品A–D的薄膜厚度进行了测试, 平均大约为500 nm.



图 1 (网络版彩图) CVD装置图

Figure 1 (Color online) Schematic diagram of CVD equipment.

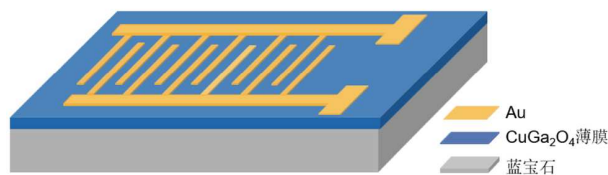


图 2 (网络版彩图) CuGa_2O_4 薄膜全日盲紫外探测器的结构示意图

Figure 2 (Color online) Schematic diagram of the full-band solar-blind UV photodetector based on the CuGa_2O_4 thin film.

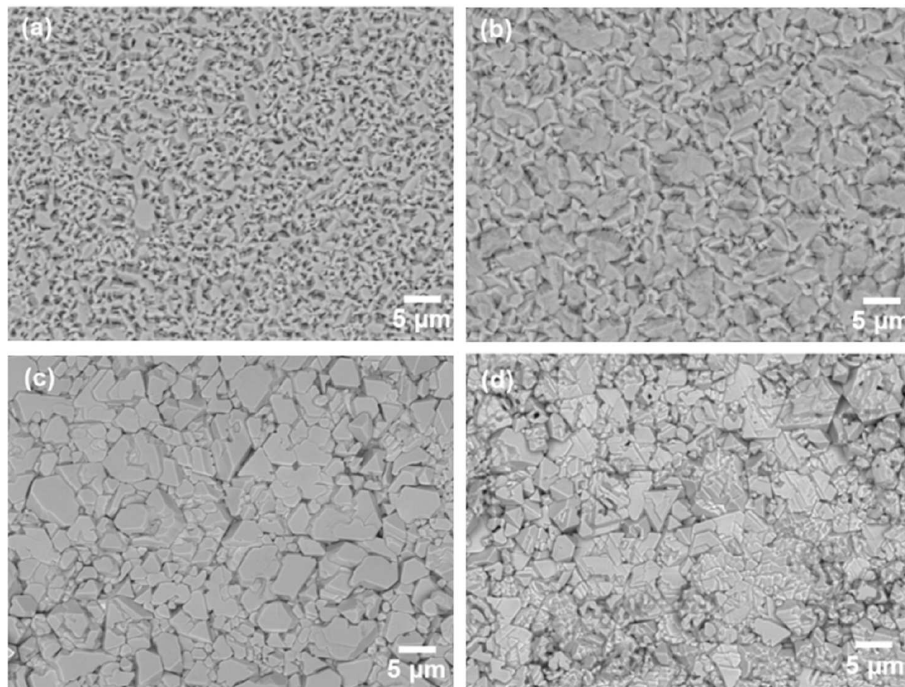


图 3 样品A–D的SEM图. (a) 样品A, (b) 样品B, (c) 样品C, (d) 样品D

Figure 3 SEM images of samples A–D. (a) Sample A, (b) sample B, (c) sample C, (d) sample D.

图4为样品A–D的XRD图谱. 将测试结果与 β - Ga_2O_3 标准卡片(JCPDS card 43-1012)进行对比, 发现样品A除蓝宝石衬底(006)的衍射峰外, 其他的衍射峰均为单斜结构 β - Ga_2O_3 的衍射峰. 随着Cu含量的增加, 在样品B的XRD图中, 可以看到除衬底和 β - Ga_2O_3

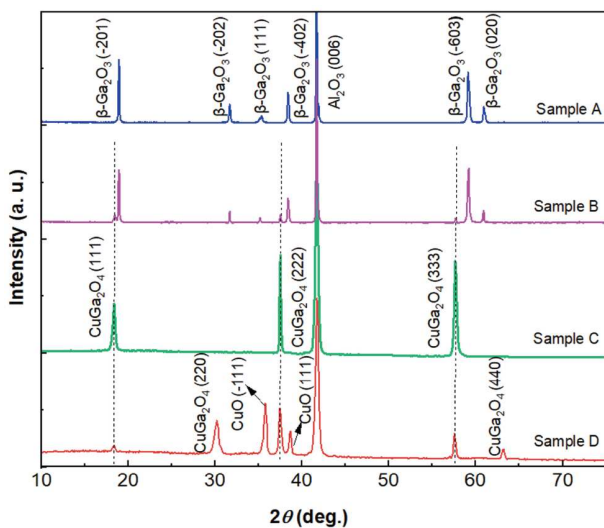


图 4 (网络版彩图)样品A–D的XRD图

Figure 4 (Color online) XRD patterns of samples A–D.

的衍射峰外, 还分别在 18.50° , 37.51° 和 57.7° 出现了3个强度较小的衍射峰, 通过与 CuGa_2O_4 标准卡片对比(JCPDS PDF#44-0183)发现, 这3个衍射峰分别来自立方尖晶石结构 CuGa_2O_4 的(111), (222)和(333)晶面的衍射峰, 这表明此时样品B是 CuGa_2O_4 和 β - Ga_2O_3 组成的杂相混合晶体结构. 当CuO和 Ga_2O_3 的质量比达到1:1时, 发现样品C中 β - Ga_2O_3 的衍射峰完全消失, 除衬底衍射峰外, 均为 CuGa_2O_4 的(111)晶面族的衍射峰, 这表明已经成功制备出了具有(111)择优取向的纯相 CuGa_2O_4 薄膜. 当继续增加CuO的含量, 在样品D中除衬底和 CuGa_2O_4 的衍射峰外, 还发现了CuO的衍射峰, 说明此时源材料CuO粉末已经过量. 由此可知, 当反应源CuO和 Ga_2O_3 的质量比达到1:1时, 采用CVD法成功制备出了高结晶质量的 CuGa_2O_4 薄膜.

对样品A–D进行X射线能量色散谱(EDS)分析, 结果如图5所示. 可见样品A–D均含有Ga, O, Cu和Al 4种元素, 其中Al元素来源于蓝宝石衬底. 此外, 样品A–D中Ga/Cu的原子数之比分别为12.93, 5.35, 2.02和0.22. 由此可以发现, 随着源材料中CuO粉末的增加, 样品中Cu的含量也在增加, 并且只有样品C中Cu和Ga元素的原子数之比接近1:2, 符合 CuGa_2O_4 的化学计量比.

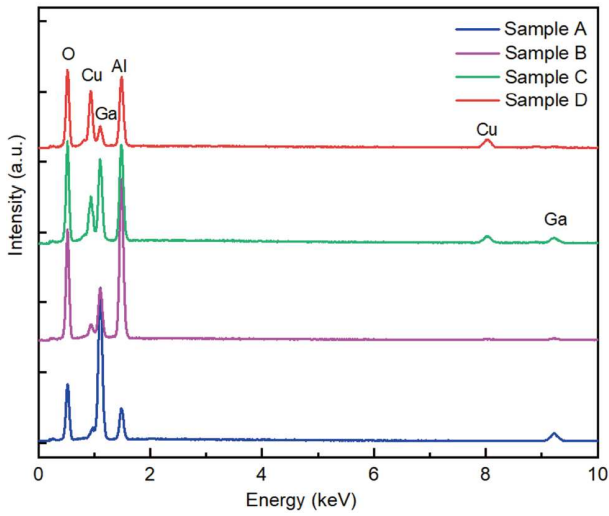


图 5 (网络版彩图)样品A-D的EDS能谱图
Figure 5 (Color online) EDS spectra of samples A-D.

由于 CuGa_2O_4 是一种宽禁带直接带隙半导体材料,其吸收系数 α 和光学带隙 E_g 之间存在如下关系^[16,17]:

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g), \quad (1)$$

其中, $h\nu$ 为入射光子能量, α 为吸收系数, A 为与材料有关的常数. 图6为样品A-D的吸收光谱图. 将图6中吸收边的反向延长线与X轴相交, 得到的横轴截距即样品的光学带隙值. 由图可得样品A-D的光学带隙分别为4.82, 4.56, 4.40和3.50 eV, 这也表明样品C的光学吸收边位于280 nm附近, 这为下一步利用样品C制备全波段日盲紫外探测器奠定了基础.

3.2 探测器性能研究

为研究样品A-D薄膜的紫外探测性能, 将样品A-D薄膜按照图2分别制成MSM结构日盲紫外探测器A-D, 并分别测试了器件在280 nm (光强为 $221 \mu\text{W cm}^{-2}$)紫外光照射下的电流-电压(I - V)特性曲线, 结果如图7(a)所示. 由图可见所有器件均呈现关于原点对称的 I - V 曲线特征, 说明器件属于光电导型探测器. 此外, 从图中可以发现, 器件C在280 nm光照下展现出相对最优异的光电流特性, 在10 V偏压下器件C的光电流值分别是器件A, B和D的 2.42×10^3 , 9.57和4.13倍. 这主要与样品A-D的带隙有关, 通过图6的吸收光谱可以得出,

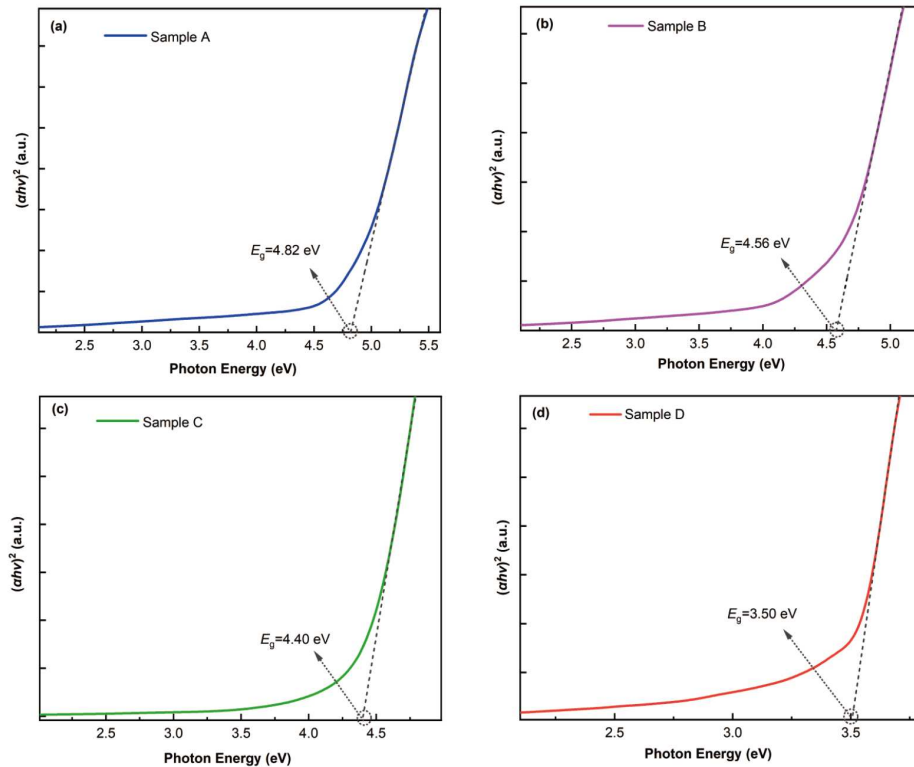


图 6 (网络版彩图)样品A-D的 $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ 函数关系图. (a) 样品A, (b) 样品B, (c) 样品C, (d) 样品D
Figure 6 (Color online) Diagram of $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ functions of samples A-D. (a) Sample A, (b) sample B, (c) sample C, (d) sample D.

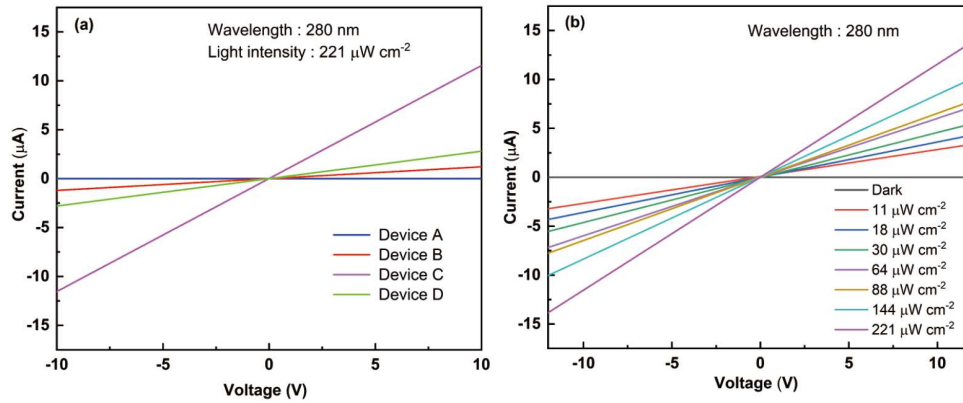


图 7 (网络版彩图) (a) 280 nm 光照下, 器件 A-D 的 I - V 曲线. (b) 器件 C 在黑暗和不同光强 280 nm 紫外光照射下的 I - V 曲线
Figure 7 (Color online) (a) I - V curves of devices A-D under 280 nm illumination. (b) I - V curves of device C under dark and 280 nm at various light intensities.

器件 A 的带隙为 4.82 eV, 吸收截止边位于 257 nm 左右, 小于激发波长, 因此对 280 nm 紫外光基本无响应. 对于含杂相的器件 B (4.56 eV) 和 D (3.50 eV), 由于材料中含有少量的 CuGa_2O_4 相, 因此样品 B 和 D 仍能产生较弱的光电流. 相比之下, 纯相 CuGa_2O_4 构成的器件 C 表现出相对高的紫外光电特性, 这说明基于 CuGa_2O_4 薄膜的探测器对 280 nm 的紫外光具有良好的光响应. 图 7(b) 为器件 C 在不同光强的 280 nm 紫外光照射下的 I - V 关系曲线. 可以看出在不同光强下, 器件的 I - V 曲线都呈现出线性关系, 且随光强的增加, 其光电流值也在逐渐增大. 此外, 在 10 V 偏压下, 光强为 221 $\mu\text{W cm}^{-2}$ 时, 器件 C 的暗电流值仅为 0.2 nA, 其光暗电流比为 5.78×10^4 .

图 8(a)-(c) 为器件 C 分别在 1, 5 和 10 V 偏压及不同光强时对应的响应 I - t 曲线. 在不同偏压下, 通过多次紫外灯开关循环测试发现, 器件 C 在不同光强条件下均表现出优异的稳定性和重复性, 其光电流值未出现明显衰减. 从图 8(a)-(c) 可以看出, 在恒定偏压下, 器件 C 的光电流值随入射光强的增加而增加, 这是因为 280 nm 紫外光激发产生的电子-空穴对数目随光强的增强而显著增多, 从而有效提高了载流子浓度, 增大了器件光电流输出. 图 8(d) 柱状图更形象、直观地给出了在光强相同时, 器件 C 的光电流值随偏压的增加而增大, 这是由于电压增加导致外加电场增强, 从而加速了光生载流子的迁移速度所引起的.

图 9 为器件 C 单个周期的响应-恢复时间曲线 (10 V, 11 $\mu\text{W cm}^{-2}$), 利用双指数弛豫方程^[18,19]对该单个周

期的 I - t 曲线进行拟合, 拟合方程如下:

$$I(t) = I_0 + Ae^{-t/\tau_1} + Be^{-t/\tau_2}, \quad (2)$$

其中, I_0 为稳态光电流, A 和 B 为常数, t 为时间, τ 为弛豫时间常数, 分为快响应时间和慢响应时间. 通常用 τ_r 和 τ_d 分别表示器件的响应时间和恢复时间. 根据式 (2) 的拟合结果得到器件 C 的响应时间 τ_{r1} 和 τ_{r2} 分别为 0.01 和 0.27 s, 恢复时间 τ_{d1} 和 τ_{d2} 分别为 0.19 和 0.22 s.

为了更好地评价紫外探测器的性能, 通常需要计算器件的光响应度 (R)、外部量子效率 (EQE) 和比探测率 (D^*) 这 3 个参数. R 是衡量光电探测器光电转换效率的重要指标, R 的计算公式如下^[20,21]:

$$R = \frac{I_{\text{photo}} - I_{\text{dark}}}{PS}, \quad (3)$$

式中, I_{photo} 为光电流, I_{dark} 为暗电流, P 为入射光强, S 为有效光照射面积. EQE 是衡量光电探测器转换率的重要参数, 其计算公式如下^[22,23]:

$$\text{EQE} = \frac{hcR}{q\lambda}, \quad (4)$$

式中, h 为普朗克常数, c 为光速, q 为电子电量 (1.6×10^{-19} C), λ 为入射波波长. D^* 是衡量光电探测器性能的核心指标之一, 尤其在弱光探测方面具有重要意义. 它综合考虑了探测器的光响应度 (R) 和噪声特性, 能够更全面地反映日盲紫外探测器的探测能力, 其计算公式如下^[24,25]:

$$D^* = \frac{R\sqrt{S}}{\sqrt{2qI_{\text{dark}}}}. \quad (5)$$

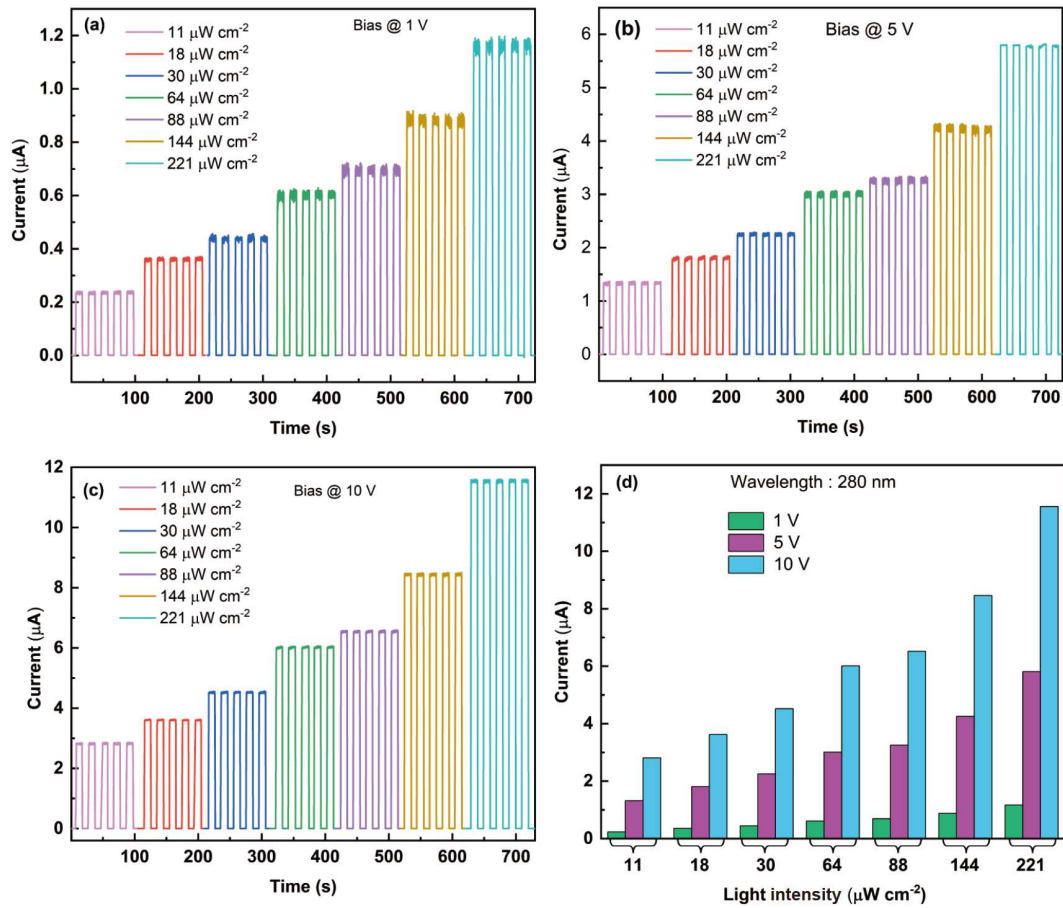


图 8 (网络版彩图)不同光强下, 器件C的响应 $I-t$ 曲线. (a) 1 V偏压, (b) 5 V偏压, (c) 10 V偏压. (d) 器件C在不同光强和不同电压下的光电流对比图

Figure 8 (Color online) $I-t$ response curves of the device C under various light intensities. (a) 1 V bias, (b) 5 V bias, (c) 10 V bias. (d) Comparison of photocurrent of device C under the various light intensities and different voltages.

利用式(3)–(5)分别计算出了器件C的 R , EQE和 D^* . 图10为在不同偏压下, 器件C的 R , EQE和 D^* 分别随光强的变化关系. 由图可知在电压一定的情况下, 器件C的 R , EQE和 D^* 值随280 nm紫外光照强度的增加而下降, 而在光强相同的条件下, 这3个值都随电压的增加而增大. 此外, 从图10(a)和(b)可以看出, 当光强为 $11 \mu\text{W cm}^{-2}$ 和电压为10 V时, 器件C的 R 和EQE均达到最大值, 分别为 4.29 A W^{-1} 和1899.86%. R 和EQE随光强的增加而下降的原因, 主要是由于器件产生了自热效应, 当紫外光照强度较高时会导致器件吸收更多的光能使之温度升高, 噪声水平升高^[26], 器件的 R 和EQE值将降低. 此外, 当光强和电压分别为 $11 \mu\text{W cm}^{-2}$ 和10 V时, 器件的 D^* 最大, 其值为 1.31×10^{14} Jones, 由此可见该紫外探测器在低光强时具有较高的灵敏度, 能够检

测微弱的光信号, 说明该器件在全日盲紫外探测领域具有广泛的应用前景.

基于 CuGa_2O_4 薄膜紫外探测器的工作机理是当 CuGa_2O_4 薄膜在黑暗条件下和280 nm紫外光照射时, 材料与氧气(O_2)发生吸附和解吸附过程, 以及对紫外光的高效吸收和电极对光生载流子的收集. CuGa_2O_4 为p型半导体材料, CuGa_2O_4 薄膜内部的多数载流子为空穴^[27]. 在无紫外光照射的黑暗环境中, CuGa_2O_4 薄膜表面处于空气中, 表面被大量的 O_2 包围, CuGa_2O_4 薄膜内的多数载流子空穴与 O_2 发生吸附作用, 导致空穴浓度降低. 式(6)为这一过程的反应方程式:



所以在黑暗环境下, CuGa_2O_4 薄膜表面这些 O_2^+ 形

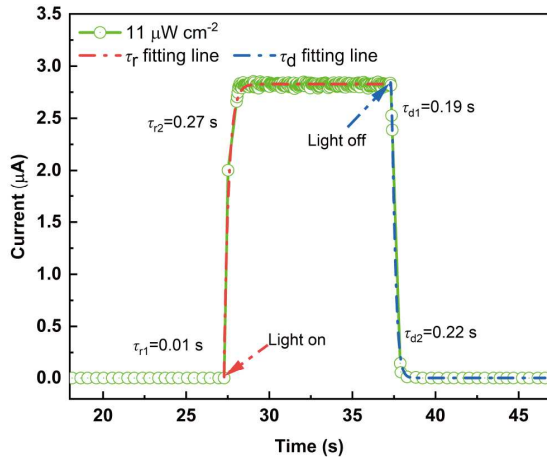


图 9 (网络版彩图) 10 V 偏压下, 器件 C 单个周期的响应-恢复时间曲线

Figure 9 (Color online) The response-recovery times curve of a single cycle of the device C under 10 V bias.

成耗尽层, 降低了 CuGa_2O_4 薄膜的电导率, 从而导致电阻增大, 也就是器件在无紫外光照射时形成较低的暗电流. 当 280 nm 的紫外光照射到 CuGa_2O_4 薄膜表面时, 在紫外光的激发下使其能够产生大量的光生电子-空穴对, 电子迁移到 CuGa_2O_4 薄膜表面与 O_2^+ 发生解吸附过程, 从而使耗尽层变窄, 同时使 CuGa_2O_4 薄膜内部的空穴浓度增加, 电导率升高, 电阻减小, 器件的光电流值迅速增大, 该过程的反应方程如下:



4 结论

利用 CVD 法在蓝宝石衬底上生长 CuGa_2O_4 薄膜,

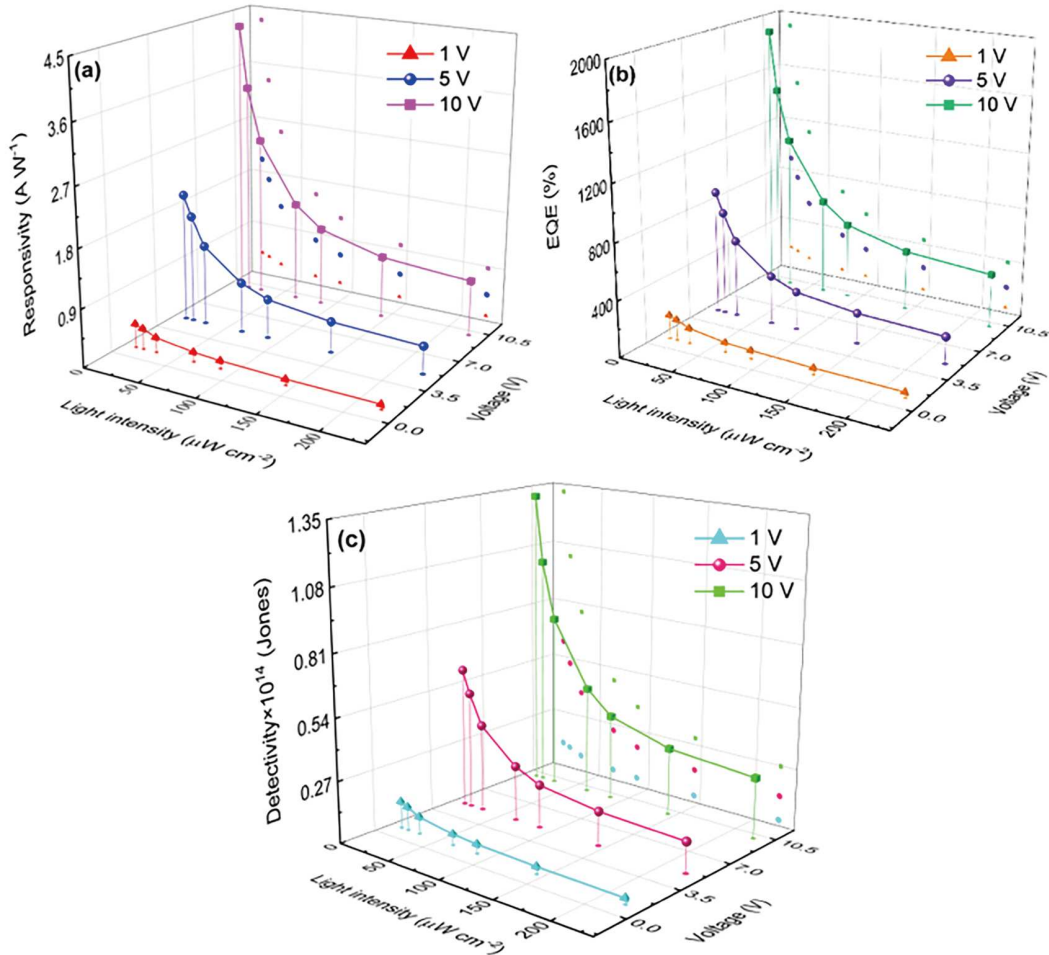


图 10 (网络版彩图) 不同偏压下, 器件 C 的 R (a)、 EQE (b) 和 D^* (c) 随光强的变化关系

Figure 10 (Color online) R (a), EQE (b), and D^* (c) of device C as a function of the light intensity under different bias voltages.

研究发现反应源CuO和Ga₂O₃的质量比为1:1是最佳的生长条件, 在此条件下制备出了具有(111)择优取向, 光学带隙为4.4 eV的高质量CuGa₂O₄薄膜. EDS测试结果表明Cu和Ga元素的原子比接近1:2, 符合CuGa₂O₄的化学计量比. 采用Au作叉指电极制备出基于CuGa₂O₄薄膜的MSM型全日盲紫外探测器. 器件对280 nm的紫外光响应优异, 在10 V偏压下, 器件的光暗电流比为

5.78×10^4 . 此外, 通过研究发现器件随着光强的增加, R , EQE和 D^* 的值均减小, 当光强为11 $\mu\text{W cm}^{-2}$ 时, 3个值均达到最大值, 且分别为4.29 A W^{-1} , 1899.86%和 1.31×10^{14} Jones. 此外, 器件的响应时间 τ_{r1} 和 τ_{r2} 分别为0.01和0.27 s, 恢复时间 τ_{d1} 和 τ_{d2} 分别为0.19和0.22 s. 这一研究对CuGa₂O₄材料在全日盲紫外光电探测器领域的应用具有重要的作用.

参考文献

- 1 Davari N, Akbarizadeh G, Mashhour E. Intelligent diagnosis of incipient fault in power distribution lines based on corona detection in UV-visible videos. *IEEE Trans Power Del*, 2020, 36: 3640–3648
- 2 Vavoulas A, Sandalidis H G, Chatzidiamantis N D, et al. A survey on ultraviolet C-band (UV-C) communications. *IEEE Commun Surv Tutor*, 2019, 21: 2111–2133
- 3 Zhang Y, Liang H, Xing F, et al. Strain-enhanced polarization sensitivity in β -Ga₂O₃ photodetector. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2024, 67: 247312
- 4 Truong C T, Nguyen T H, Vu V Q, et al. Enhancing fire detection technology: A UV-based system utilizing Fourier spectrum analysis for reliable and accurate fire detection. *Appl Sci*, 2023, 13: 7845
- 5 Ranjan A, Mazumder A, Ramakrishnan N. Recent advances in layered and non-layered 2D materials for UV detection. *Sens Actuat A-Phys*, 2024, 378: 115837
- 6 Zhang Z, Zhang W, Zhang D, et al. Comparison of different characteristic parameters acquired by UV imager in detecting corona discharge. *IEEE Trans Dielect Electr Insul*, 2016, 23: 1597–1604
- 7 Kiplin D. Ultraviolet Emission from Rocket Motor Plumes. Technical Report. Melbourne: Aeronautical and Maritime Research Lab, 1994
- 8 Chambers A, McCloskey D J, Dontschuk N, et al. Impact of surface treatments on the electron affinity of nitrogen-doped ultrananocrystalline diamond. *Appl Surf Sci*, 2024, 656: 159710
- 9 Tang Y, Cai Q, Yang L H, et al. An improved design for AlGaIn solar-blind avalanche photodiodes with enhanced avalanche ionization. *Chin Phys B*, 2017, 26: 038503
- 10 Alema F, Hertog B, Ledyayev O, et al. High responsivity solar blind photodetector based on high Mg content MgZnO film grown via pulsed metal organic chemical vapor deposition. *Sens Actuat A-Phys*, 2016, 249: 263–268
- 11 Kalinina E V, Lebedev A A, Bogdanova E, et al. Irradiation of 4H-SiC UV detectors with heavy ions. *Semiconductors*, 2015, 49: 540–546
- 12 Wei H, Chen Z, Wu Z, et al. Epitaxial growth and characterization of CuGa₂O₄ films by laser molecular beam epitaxy. *AIP Adv*, 2017, 7: 115216
- 13 Huseynzade F, Akbaba Y, Shawuti S, et al. Investigating the photocatalytic efficacy of a porous cuprous gallate (CuGa₂O₄) thick film. *Phys Scr*, 2024, 99: 125905
- 14 Gurunathan K, Baeg J O, Lee S M, et al. Visible light active pristine and Fe³⁺ doped CuGa₂O₄ spinel photocatalysts for solar hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy*, 2008, 33: 2646–2652
- 15 Chen G, Shen Q, Zhang X, et al. High purity H₂ resource from methanol steam reforming at low-temperature by spinel CuGa₂O₄ catalyst for fuel cell. *Ceram Int*, 2024, 50: 49759–49769
- 16 Emu I H, Samuels B C, Karmakar S, et al. Epitaxial growth and characterization of copper gallate (CuGa₂O₄) thin films by pulsed laser deposition. *Mater Sci Semicond Process*, 2025, 185: 108934
- 17 Shi J, Liang H, Xia X, et al. Rectification behavior of type-II CuGa₂O₄/ β -Ga₂O₃ heterojunction diode. *Appl Surf Sci*, 2023, 618: 156604
- 18 Choi Y, Lee S S, Lee W J, et al. Zn-doping induced phase control mechanism of Ga₂O₃ thin films by spray pyrolysis deposition for application of solar-blind ultraviolet photodetector. *Mater Today Chem*, 2023, 33: 101738
- 19 Yang Y, Liu W, Huang T, et al. Low deposition temperature amorphous ALD-Ga₂O₃ thin films and decoration with MoS₂ multilayers toward flexible solar-blind photodetectors. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2021, 13: 41802–41809
- 20 Feng Q J, Shi J H, Yang Y H, et al. Growth and UV detection properties of Sb-doped β -Ga₂O₃ microbelts based on seed layer. *Opt Mater*, 2025,

162: 116861

- 21 Wang Y M, Sui X, Wang S, et al. High-performance solar-blind UV photodetector based on single p-type Cu-doped β -Ga₂O₃ microwire. *Mater Sci Semicond Process*, 2025, 190: 109370
- 22 Xin K Y, Yang W, Xia J B, et al. Research progress of ultra-wide bandgap two-dimensional semiconductor materials and devices (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2022, 52: 297302 [辛凯耀, 杨文, 夏建白, 等. 超宽禁带二维半导体材料与器件研究进展. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2022, 52: 297302]
- 23 Liu Y, Wei Y, Sha S, et al. Flexible self-powered solar-blind Schottky photodetectors based on individual Ga₂O₃ microwire/MXene junctions. *CrystEngComm*, 2023, 25: 5324–5333
- 24 Zheng Q Q, Chen L R, Li X D, et al. Boosting the performance of deep-ultraviolet photodetector arrays based on phase-transformed heteroepitaxial β -Ga₂O₃ films for solar-blind imaging. *Sci China Tech Sci*, 2023, 66: 2707–2715
- 25 Qi S, Liu J, Yue J, et al. An enhanced ultrasensitive solar-blind UV photodetector based on an asymmetric Schottky junction designed with graphene/ β -Ga₂O₃/Ag. *J Mater Chem C*, 2023, 11: 8454–8461
- 26 Yan S, Yang G, He H, et al. High-performance self-driven solar-blind ultraviolet photodetectors based on HfZrO₂/ β -Ga₂O₃ heterojunctions. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2023, 15: 22263–22273
- 27 Kendall O, Melendez L V, Ren J, et al. Photoactive p-type spinel CuGa₂O₄ nanocrystals. *Nano Lett*, 2023, 23: 2974–2980

Performance study of full-band solar-blind UV photodetector based on CuGa₂O₄ thin films

SUI Xue¹, FENG QiuJu^{1*}, YANG YiHan¹, SHI JiaHui¹, YAO XingYu¹, LIU JianDong¹, ZHANG ChaoTong¹, WANG DeYu² & LIANG HongWei²

¹ School of Physics and Electronic Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

² School of Integrated Circuits, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

*Corresponding author (email: qjfeng@lnnu.edu.cn)

The CuGa₂O₄ with a spinel structure is a p-type semiconductor material, exhibiting excellent physical and chemical stability. Its bandgap is located at the low-energy edge of the solar-blind band, making it a novel material for solar-blind band detection. For this purpose, high quality CuGa₂O₄ films were grown on a sapphire substrate using chemical vapor deposition (CVD) method by studying the mass ratio of different reaction sources (CuO and Ga₂O₃). It was found that when the mass ratio of CuO powder to Ga₂O₃ powder is 1:1, CuGa₂O₄ thin films with a (111) preferred orientation can be prepared, and the optical band gap is approximately 4.4 eV. A photoconductive solar-blind UV photodetector was fabricated based on the CuGa₂O₄ thin film, and its UV detection performance was investigated. The results show that the UV detector exhibits excellent photoresponse to 280 nm UV light, indicating that the device belongs to the full-band solar blind UV photodetector. The dark current value of the device is 0.2 nA, and its light-dark current ratio can reach 5.78×10^4 under 10 V bias. The responsivity (R), external quantum efficiency (EQE), and specific detectivity (D^*) of the device are 4.29 A W^{-1} , 1899.86%, and 1.31×10^{14} Jones, respectively, at light intensity $11 \text{ } \mu\text{W cm}^{-2}$. The results of this study provide a novel approach for the development and research of the full-band solar-blind UV photodetector.

chemical vapor deposition, CuGa₂O₄ thin film, full-band solar-blind, photodetector

PACS: 81.15.Gh, 71.20.Nr, 85.60.Gz, 85.30.-z

doi: [10.1360/SSPMA-2025-0185](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2025-0185)