亮点

位置敏感日盲深紫外光电探测器

廖梅勇*

日本国立材料研究所功能材料研究中心, 筑波市 305-0044, 日本

*联系人, E-mail: meiyong.liao@nims.go.jp

收稿日期: 2020-05-29; 接受日期: 2020-06-05; 网络出版日期: 2021-01-08

摘要 超宽禁带半导体 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 的带隙约为4.9 eV, 是理想的日盲深紫外光电探测材料. 最近, 研究者利用 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜, 成功研制了四象限结构位置敏感日盲深紫外光电探测器. 该研究为 Ga_2O_3 在深紫外光、X射线定位或成像等领域的实际应用提供了思路.

关键词 光电导, 超宽禁带半导体, 位置敏感探测器

PACS: 72.40.+w, 61.82.Fk, 85.60.Gz

当半导体受电磁波, 如红外光、可见光、紫外光、X射线、 γ 射线等照射时, 会吸收电磁波而引起载流子浓度的变化, 改变材料电导率, 这种现象称为光电导效应, 是半导体材料的基本特征之一. 光电导现象早在1873年就被W. Smith发现. 利用半导体光电导原理制成的器件称为光电探测器. 在日常生活、工业生产、军事以及科学研究等领域, 光电探测器无处不在, 如自动感应门、测温仪、光纤通信、导弹预警等.

一般来讲, 可以用以下5个基本参数(5S)来衡量光电探测器的优劣: 光谱选择性(Selectivity)、响应度(Sensitivity)或量子效率、响应速度(Speed)、信噪比(Signal-to-Noise-Ratio)以及稳定性(Stability). 紫外光电探测器可以广泛地应用于杀菌、消毒、水处理、隐蔽通信、纳米光刻以及生物医疗成像等领域, 最近受到了学术界和工业界的广泛关注. 得益于现代微电子技

术的发展, 半导体硅探测器不仅可用于近红外和可见光的探测, 也被广泛用于紫外光的探测. 然而, 硅的禁带宽度窄(1.12 eV), 且是间接带隙, 对紫外光响应不够敏感; 而且硅探测器用于紫外光探测时, 为了减少虚警, 必须加前置滤光器以实现日盲探测, 有时甚至需要额外加kV级的电压.

氧化镓(Ga_2O_3)属于透明氧化物半导体家族, 具有 α , β , γ , δ 和 ϵ 五种相结构, 其中 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 是热力学稳定相, 具有约4.9 eV的超宽直接带隙, 本征吸收带边约为253 nm, 是天然的日盲深紫外(波长小于280 nm)光电探测器半导体材料^[1].

光电探测器最重要的物理参数之一是外量子效率 η_{ext} , 可以表述为

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{I_p}{P} \frac{hc}{q\lambda} = \frac{I_p}{P} R_0, \quad (1)$$

其中 P 为波长 λ 时入射光的功率, I_p 为光电流, h 为普朗

引用格式: 廖梅勇. 位置敏感日盲深紫外光电探测器. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 027321

Liao M Y. Position-sensitive solar-blind deep-ultraviolet detectors (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 027321, doi: [10.1360/SSPMA-2020-0194](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0194)

克常数, c 为光速, R_0 为外量子效率 100% 时的响应度, 单位为 A/W. 通常, 外量子效率与响应速度是一对矛盾体, 如对于金刚石半导体, 超高的响应度经常伴随着持续光电导, 牺牲了响应速度甚至光谱选择特性^[2]. 研究表明, β -Ga₂O₃ 光电探测器可以同时获得高响应度和快速响应时间以及高的深紫外/可见光抑制比^[3], 满足光电探测的 5S 条件. 作为探测器半导体材料, 氧化镓优于其他宽禁带半导体材料如 AlGaIn、金刚石、氮化硼等的特性有: (1) 较容易获得低缺陷密度的透明大尺寸单晶; (2) 可以实现薄膜的低温沉积^[4]; (3) 即便是非晶态或纳米结构, Ga₂O₃ 探测器均表现出优异的日盲深紫外光电响应性能.

位置敏感光电探测器可以精密测量位置、距离、

位移、角度以及其他相关物理量. 最近, 郑州大学的研究团队利用多晶 β -Ga₂O₃ 薄膜, 在国际上率先研制成功四象限位置敏感日盲深紫外光电探测器. 该器件具有 nA 级低的暗电流、截止波长约为 263 nm、紫外/可见光抑制比为 133, 并且在四象限区域具有很好的光电响应均匀性^[5]. 利用此器件, 他们实现了深紫外光斑的定位和校准.

随着功率器件驱动 Ga₂O₃ 半导体材料的发展, 如低位错密度大尺寸单晶的生长、材料点缺陷密度的有效控制、稳定有效 p 型 Ga₂O₃ 的实现, 该工作将为超宽禁带半导体 Ga₂O₃ 日盲位置敏感探测器在微电子纳米光刻、同步辐射 X-射线监控定位、生物医疗成像等领域的应用提供思路.

参考文献

- 1 Pearton S J, Yang J, Cary Iv P H, et al. A review of Ga₂O₃ materials, processing, and devices. *Appl Phys Rev*, 2018, 5: 011301
- 2 Liao M, Koide Y, Alvarez J, et al. Persistent positive and transient absolute negative photoconductivity observed in diamond photodetectors. *Phys Rev B*, 2010, 78: 045112
- 3 Qin Y, Long S, Dong H, et al. Review of deep ultraviolet photodetector based on gallium oxide. *Chin Phys B*, 2019, 28: 018501
- 4 Chen Y, Lu Y, Liao M, et al. 3D solar-blind Ga₂O₃ photodetector array realized via origami method. *Adv Funct Mater*, 2019, 29: 1906040
- 5 Li K Y, Yang X, Tian Y Z, et al. Ga₂O₃ solar-blind position-sensitive detectors. *Sci China-Phys Mech Astron*, 2020, 63: 117312

Position-sensitive solar-blind deep-ultraviolet detectors

LIAO MeiYong^{*}

Research Center for Functional Materials, National Institute for Materials Science (NIMS), Ibaraki 305-0044, Japan

β -Ga₂O₃ is a direct ultra-wide bandgap semiconductor with an energy gap of 4.9 eV, which can serve as the ideal candidate for solar-blind deep-ultraviolet (DUV) detection. Despite the extensive research in Ga₂O₃ detectors, the positive sensitive ones have not been reported yet. Recently, researchers demonstrated the position sensitive solar-blind DUV photodetector by using the β -Ga₂O₃ thin film as an active layer. The photodetectors have high uniformity, fast response, and high DUV/visible rejection ratio. The DUV detector was successfully utilized to align the light beam. This work favors the applications of β -Ga₂O₃ in DUV or X-ray beam alignment or imaging.

photoconductivity, ultra-wide bandgap semiconductor, position-sensitive detector

PACS: 72.40.+w, 61.82.Fk, 85.60.Gz

doi: 10.1360/SSPMA-2020-0194