

光金属氧化物半导体固体继电器总剂量效应实验

何子杰¹⁾ 朱学伟²⁾ 李宗亚²⁾ 庄程¹⁾ 贺朝会¹⁾ 李培^{1)†} 马宝龙^{1)‡}

1) (西安交通大学核科学与技术学院, 西安 710049)

2) (北京宇航系统工程研究所, 北京 101160)

(2025年12月14日收到; 2026年1月28日收到修改稿)

传统的电磁继电器由于体积较大, 难以适用于高集成度芯片, 而光金属氧化物半导体 (MOS) 固体继电器将光电隔离技术与 MOS 场效应管 (MOSFET) 工艺结合起来, 显著减小了器件的体积, 因此在多个领域里获得广泛应用. 目前, 国内外对该类器件的相关研究较少, 特别是应用于航空、航天、军工装备等复杂辐射环境时, 光 MOS 固体继电器的可靠性面临严峻挑战. 本文通过 γ 总剂量辐照实验, 对某型光 MOS 固体继电器的抗总剂量能力进行研究. 实验结果表明, 在 0—100 krad (Si) 剂量内, 器件发光二极管 (LED) 端的正向特性表现出良好的抗辐照特性, 反向特性对电离辐射较为敏感. 在 0—300 krad (Si) 剂量内, 器件的开启电压未发生变化, 但器件 MOS 端的导通电阻与关态漏电流受辐射影响显著, 随累积剂量增大呈明显上升趋势.

关键词: 光金属氧化物半导体固体继电器, 总剂量效应, 开启电压, 导通电阻, 关态漏电流

DOI: 10.7498/aps.75.20251714

CSTR: 32037.14.aps.75.20251714

1 引言

光金属氧化物半导体 (MOS) 固体继电器结合了光电隔离技术和 MOS 场效应管 (MOSFET) 工艺的优势, 克服了传统电磁继电器响应速度慢、体积大以及集成度低的缺点. 光 MOS 固体继电器具有体积小、灵敏度高、寿命长、过负载能力强等优点^[1], 自其面向市场以来得到了广泛应用, 覆盖民用、工业等多个领域^[2]. 得益于良好的开关特性, 光 MOS 固体继电器在航空、航天、军工装备等领域得到了广泛应用. 对于工作在辐射环境中的光 MOS 固体继电器, 电离辐射会在器件内部产生电子-空穴对, 这些电荷在器件中不断运动、演化以及被捕获, 造成器件性能的退化^[3]. 因此, 总剂量效应是其面临的主要退化机制之一.

目前, 国内外对光 MOS 固体继电器辐射灵敏度的研究尚不充分. 国内学者针对星用光 MOS 固

体继电器开展了抗辐射加固设计, 通过 γ 辐照实验验证, 其抗总剂量能力可达 30 krad^[4]; 国外学者主要通过通过对光 MOS 固体继电器进行质子与总剂量实验来开展研究, 实验结果表明此类器件的发光二极管 (LED) 部分对质子位移损伤敏感, 而 MOS 部分则对总剂量电离损伤敏感^[5]. 本文在此研究基础上对光 MOS 固体继电器进一步开展了总剂量辐照实验, 将累积剂量提高至 300 krad, 从而获取在不同累积剂量下光 MOS 固体继电器的电学特性变化规律, 揭示了总剂量效应机理, 为其抗辐射加固提供理论依据.

2 光 MOS 固体继电器的工作原理

光 MOS 固体继电器 (optical MOS solid-state relay) 由 LED、光电二极管阵列 (PDA) 以及功率 MOS 场效应管组成. LED 的主要制作材料是砷、镓、磷的化合物, 广泛应用于光电探测器^[6]和各种

† 通信作者. E-mail: lipei0916@xjtu.edu.cn

‡ 通信作者. E-mail: baolongma@xjtu.edu.cn

光电器件^[7]中,充当信号光源的角色. PDA 作为光接收器件在电路中起到一个光控电流源的作用,当光照射到这个阵列中的光电二极管上时,其内部会由于光电效应产生光电流^[8].

光 MOS 固体继电器中, LED 和功率 MOS 场效应管分别位于器件内部的两侧,通过光信号实现电气隔离,从而确保信号与负载电路之间的安全.

图 1 为光 MOS 固体继电器的基本电路结构,输入端由封装的 LED 组成,当有电流流过时,光路就会被开启,输出端由一组光电二极管阵列和控制电路组成,用来检测 LED 发出的光线. 当光电二极管阵列接收到光线时,就会产生电压降,从而控制 MOSFET 的开启,输出端实现从导通到断开状态的切换. 由于采用了光电隔离技术,这种结构的光 MOS 固体继电器具有良好的绝缘性能、高可靠性和低功耗.

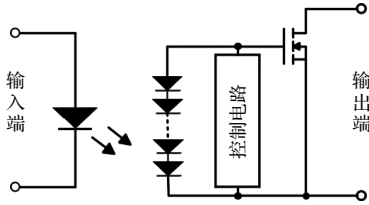


图 1 光 MOS 固体继电器电路结构示意图

Fig. 1. Schematic diagram of the structure of a photo-MOS relay circuit.

图 2 为实验所用的光 MOS 固体继电器实物图. 表 1 所示为该光 MOS 固体继电器的直流条件参数表. 该器件在外形上使用了金属外壳封装材料,采用标准 DIP8 封装,共有 8 支金属管脚将电极引出,体积小、耐振动、抗冲击,能在恶劣环境下可靠工作,可供航空、航天等电子设备控制使用.

导通电阻是光 MOS 固体继电器的一个重要电学参数,对于使用场效应晶体管作为输出的功率器件来说,通常要求其导通电阻尽可能低,以减小功耗^[2]. 本次实验选取了一批初始导通电阻一致性良好的器件,在西北核技术研究所的⁶⁰Co 源辐照中心开展了 γ 辐照实验. 实验采用 50 rad(Si)/s 的剂量率,分别在 30, 50, 100, 200, 300 krad 累积剂量下对器件进行移位测试,同时为了避免由测试仪器、测试环境、仪器使用时间等外部因素引入的误差. 实验选用 Fs-pro 测试仪器,并在实验前后对同一校准件进行测试. Fs-pro 对该器件测试结果的不确定度为 1.05%,处于可接受的误差范围内,保证了测试数据的可靠性.

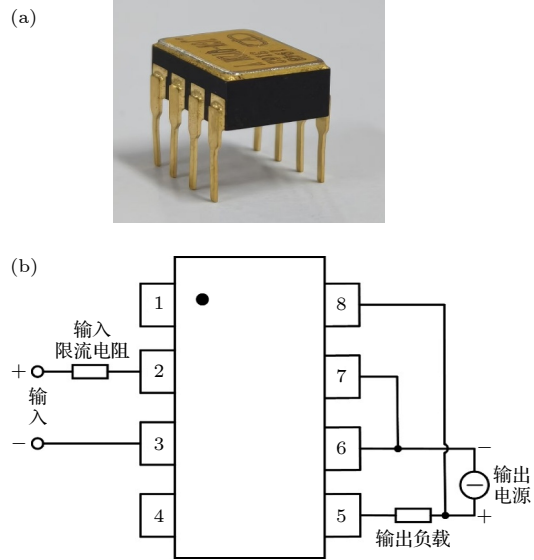


图 2 某型光 MOS 固体继电器 (a) 实物图; (b) 结构图
Fig. 2. A certain type of optical MOS solid-state relay: (a) Physical diagram; (b) structural diagram.

表 1 光 MOS 固体继电器直流条件参数
Table 1. Photo solid-state relay direct current (DC) operating parameters.

| 技术参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 |
|----------|-----|-----|-----|
| 输入电流/mA | 5 | 10 | 20 |
| 输入关断电压/V | 0.8 | — | — |
| 输出电流/A | — | — | 5 |
| 输出电压/V | — | 30 | 40 |

3 实验结果

3.1 发光二极管总剂量辐照实验

为表征 γ 辐照对光 MOS 固体继电器中 LED 端电学特性的影响,在本次实验中分别对该器件的 LED 端进行了正向 $I-V$ 特性、反向 $I-V$ 特性测试.

图 3 为器件 LED 端辐照前的正向 $I-V$ 曲线. 由图可知,在正向电压 $V_F = 2.0$ V 时器件的 LED 完全导通. 为了探究电离辐射对器件 LED 端正向 $I-V$ 特性的影响,在该正向电压下,通过实验测得了 0—100 krad 剂量区间内的正向 $I-V$ 曲线,如图 4(a) 所示.

实验结果表明,LED 的正向 $I-V$ 特性受电离辐射的影响较小,在 0—100 krad 剂量区间内,其正向 $I-V$ 曲线几乎是重合在一起的,这说明 γ 产生的电离辐射并不会影响 LED 的发光效率. 但从图 4(b) 可以看出,反向 $I-V$ 特性受电离辐射的影响较为明显. 随着辐照总剂量的增大,LED 的反向

电流逐渐增大. 这一现象是因为器件 SiO_2 表面钝化层在受到电离辐射损伤后, 会产生空穴-电荷界面态, 引起表面复合缺陷增加, 导致反向漏电流的增大 [4,9].

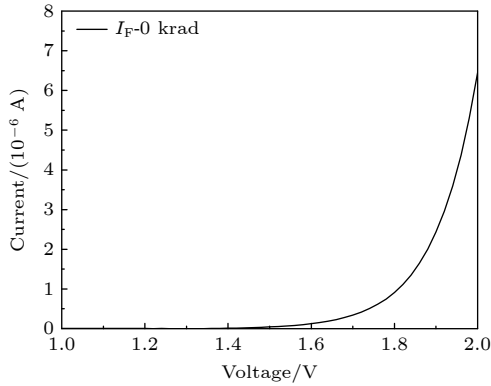


图3 辐照前器件LED端正向 $I-V$ 曲线

Fig. 3. Forward $I-V$ curve of LED device before irradiation.

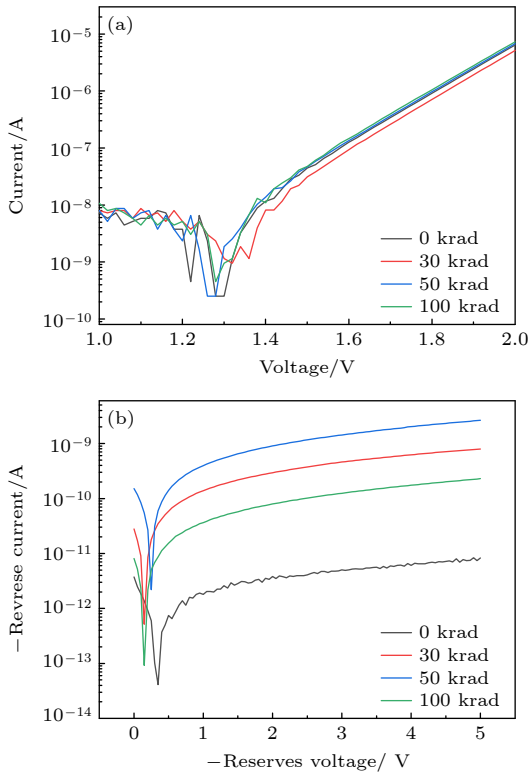


图4 半对数坐标下辐照前后器件发光二极管端 (a) 正向 $I-V$ 曲线; (b) 反向 $I-V$ 曲线

Fig. 4. Semi-logarithmic coordinate of device luminous diode terminals before and after irradiation: (a) Forward $I-V$ curve; (b) reverse $I-V$ curve.

3.2 MOS 场效应晶体管的总剂量辐照实验

关于 MOSFET 总剂量效应敏感性的研究在 20 世纪 60 年代就已被发现 [10]. 总剂量效应对

MOSFET 的电学特性具有显著影响, 主要体现在阈值电压的负向漂移、导通电阻、载流子迁移率、关态漏电流等参数的变化 [11].

3.2.1 开启电压

对于场效应晶体管来说, 阈值电压是其辐射最为敏感的参数, MOSFET 的阈值电压 (V_{th}) 漂移是辐射诱导氧化层陷阱电荷和界面态陷阱电荷共同作用的结果 [12]. 当 MOS 结构暴露在电离辐射环境中时, 栅氧化层中的电荷积累会导致显著的阈值电压漂移并引发电路故障 [13]. 具体损伤机理为: γ 辐照会在栅氧化层中诱生大量的电子-空穴对. 由于电子在氧化层中的迁移率高于空穴, 电子会在较短的时间内离开氧化层, 空穴由于移动速率较慢从而会被氧化层中的缺陷捕获 [14,15]. 由于这些被捕获的电荷粒子导致半导体器件内的平带电压发生了偏移, 从而导致了阈值电压的偏移 [16]. 将氧化层陷阱电荷和界面态陷阱电荷考虑进去后的 V_{th} 公式为 [17,18]

$$V_{th} = \varphi_{fb} + 2\phi_B + \frac{1}{C_{ox}} \sqrt{2\epsilon_s q N_A (2\phi_B)} + \frac{q}{C_{ox}} (N_{it} - N_{ot}), \quad (1)$$

其中, φ_{fb} 是栅极材料与半导体材料之间的功函数差, $2\phi_B$ 为半导体两端电势差, N_{ot} 为氧化层陷阱电荷密度; N_{it} 为界面陷阱电荷密度.

图 5 所示为该型号光 MOS 固体继电器的总剂量实验结果, 与普通 MOSFET 不同的是, 光 MOS 固体继电器的栅极并没有被引脚引出, 无法通过向栅极施加偏置电压, 直接获得器件的转移特性曲线. 在进行总剂量实验时未改变其封装形式, 栅极仍然依靠光电二极管来驱动. 因此, 本实验中测得的是器件的开启电压随辐射剂量的关系. 实验结果显示, 在 0—300 krad 的剂量区间内器件的开启电压并没有发生显著变化. 同时, 从实验数据中进一步发现, 光 MOS 固体继电器的 MOS 端开启十分迅速, 具体表现为在开启电压以上, 漏极电流呈现陡峭的上升斜率.

上述现象主要与光 MOS 固体继电器的工作原理有关. 光 MOS 固体继电器通过其内部发光二极管产生的光电流驱动输出端 MOSFET 的栅极工作. 随着电荷的积累, 栅源之间的电压 V_{Gs} 逐渐增大直到超过 MOSFET 的阈值电压后, MOSFET 完全导通, 充电停止. 光 MOS 固体继电器在被设

计时通常要求其响应时间在几毫秒甚至零点几毫秒之内^[19]. 因此, 只要充电结束后的栅极电压大于器件内 MOSFET 的阈值电压, 光 MOS 固体继电器就会迅速开启. 由于这是一个动态过程, 在保证封装完整的条件下, 只能通过测量从充电开始到 MOS 器件导通的时间来判断其阈值电压的变化, 无法像测量普通 MOSFET 那样直接向栅极提供电压, 利用静态电压扫描法测得其阈值电压. 因此, 对于此类封装形式的光 MOS 固体继电器, 无法在不破坏其封装形式的情况下直接测得阈值电压. 在评估该类器件的辐射损伤程度时, 不能直接从阈值电压中获取信息.

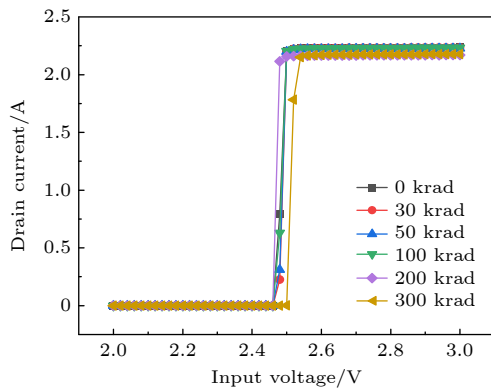


图 5 光 MOS 固体继电器辐照前后 MOS 端的开启电压变化
Fig. 5. Threshold voltage changes at the MOS terminals of light-operated MOS solid-state relays before and after irradiation.

3.2.2 导通电阻

电离辐射产生的界面缺陷捕获电荷会对器件的静态特性和动态特性产生影响, 对静态特性的影响中就包括导通电阻^[20]. 导通电阻 R_{on} 是指当 MOSFET 工作在线性区域时, 其大小可以由源漏电压 V_{DS} 和漏极电流 I_D 来表示. 当 V_{DS} 很小时, 工作在线性区域的 MOS 器件电流 I_D 为

$$I_D = \mu \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_{th}) \cdot V_{DS}. \quad (2)$$

从而可以得到 R_{on} 与 V_{DS} 和 I_D 之间的关系为

$$R_{on} = \frac{L}{\mu \cdot C_{ox} \cdot W \cdot (V_{GS} - V_{th})}. \quad (3)$$

MOSFET 的总导通电阻是由多个部分组成的, 由于源漏之间的电流通路上各部分电阻串联, 因此其总导通电阻等于各部分电阻的总和^[21,22]:

$$R_{on} = R_{ch} + R_d + R_0, \quad (4)$$

其中, 沟道电阻 R_{ch} 、漂移区电阻 R_d 是 MOSFET 总导通电阻中占比最大的两部分, 其他部分电阻的总和用 R_0 来表示.

由图 5 可知, 当 $V_{GS} = 2.6$ V 时, 器件的 MOS 端完全开启. 在该栅极电压下测得辐照前的 $R_{on} = 0.89 \Omega$, 分别在不同剂量下测量得到的导通电阻变化量 ΔR_{on} 如图 6 所示.

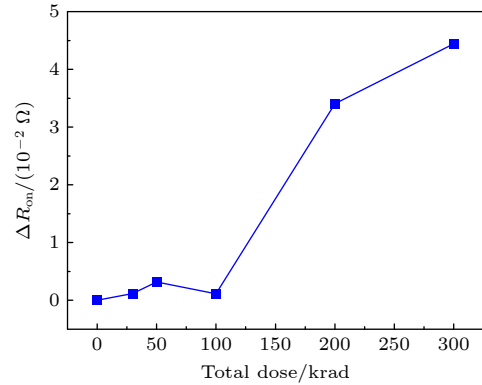


图 6 器件 MOS 端辐照前后导通电阻的变化
Fig. 6. Change in on-resistance of device MOS terminals before and after irradiation.

从图 6 可以发现, 相较于阈值电压的变化, 导通电阻对电离辐射十分敏感. 在 0—100 krad 的低累积剂量区间内, 导通电阻的变化并不明显, 但具有上升趋势, 而在 200—300 krad 的高累积剂量区间内, 导通电阻的变化显著. 在整个辐照剂量区间内, 导通电阻的变化量随着累积剂量的增大呈上升趋势.

根据 (2) 式可以得知, 器件的导通电阻 R_{on} 与载流子迁移率 μ 、氧化层电容 C_{ox} 以及阈值电压 V_{th} 有关. 导通电阻 R_{on} 与载流子迁移率 μ 和氧化层电容 C_{ox} 成反比, 与阈值电压 V_{th} 成正比. 栅氧化层电容 C_{ox} 与栅氧化层介质的厚度和介电常数相关, 电离辐射并不会对其产生影响. 因此, 导通电阻 R_{on} 的显著变化主要是由载流子迁移率 μ 和阈值电压 V_{th} 导致的. 具体而言, 电离辐射会引起器件界面态密度增大, 加剧沟道载流子的散射, 从而导致迁移率 μ 下降和阈值电压 V_{th} 降低^[21-23]. 实验结果表明, 载流子迁移率降低对导通电阻的影响超过了阈值电压漂移带来的影响, 从而造成 R_{on} 的增大.

3.2.3 关态漏电流

MOSFET 器件在栅极电压为 0 V 时对应的漏极电流被定义为关态漏电流, 也称零栅压漏电流.

该电流在电场最强的漏极区域附近的栅极氧化层边缘尤为显著,严重影响器件的寿命和其他关键性能指标^[24].

图7是提取了在不同累积剂量下光MOS固体继电器的关态漏电流,即漏电流-辐照剂量的关系曲线.从图7可以看出,随着辐照剂量的增大,关态电流 I_{DS} 随着辐照剂量的增大逐渐增大.在0—100 krad 较低的剂量区间内,关态漏电流的数值较小,随辐照剂量的变化不明显.而在200—300 krad 较高的剂量区间内,关态漏电流显著增大,随辐照剂量的增大而增大.

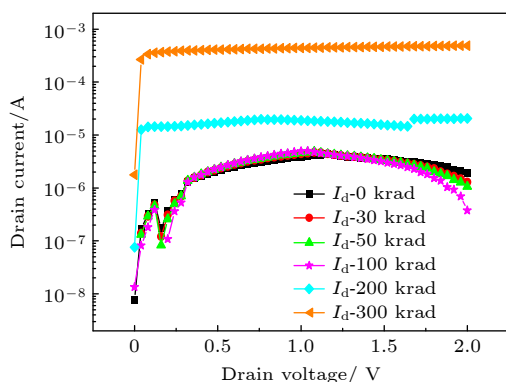


图7 器件MOS端辐照前后输出漏电流的变化

Fig. 7. Changes in output leakage current before and after irradiation of the MOS terminal of the device.

该现象表明,电离辐射在器件材料内部的栅氧化层和界面区诱导生成了大量的陷阱电荷.随着辐照剂量的增大,栅极氧化物捕获电荷和Si-SiO₂界面捕获电荷会随着时间的推移而积累^[25],当带正电的氧化物电荷数量达到一定数量时,器件内部就会产生漏电现象,形成漏电路径^[23].当向栅极施加电压后,电子-空穴对会在外部电场的作用下分别向氧化层和Si-SiO₂界面处迁移,其中更多的空穴被俘获为氧化物正电荷,导致衬底出现耗尽甚至反型,会进一步加剧源、漏之间的漏电现象^[26].

4 结论

随着累积剂量的增大,该型号的光MOS固体继电器在⁶⁰Co的 γ 辐射环境下,其LED端和MOS端均受到了不同程度的辐射损伤.LED端的反向 $I-V$ 特性对辐射较为敏感.随着辐照剂量的增大,反向电流逐渐增大.相比之下,正向 $I-V$ 特性对辐射并不敏感,正向电流基本保持不变.对于器

件输出端的MOSFET实验结果表明,在总剂量300 krad的剂量范围内,通过向输入端LED施加电压来驱动栅极开启时,该型号光MOS固体继电器的开启电压并没有发生显著变化.由于光MOS固体继电器的工作原理与普通MOSFET器件的不同,在实验中无法通过静态电压扫描方式直接测量其MOS端的阈值电压,但栅极关态漏电流的变化可以间接反映出阈值电压的漂移情况.实验进一步显示其导通电阻和关态漏电流对辐射较为敏感,两者均随累积剂量的增加逐渐增大.本研究对光MOS固体继电器在总剂量效应下电学特性的变化开展了累积剂量达300 krad的实验评估.其实验结果不仅可以为航空、航天电子设备的抗辐射加固设计提供依据,也可以为地面辐射环境中应用的器件选型与防护提供参考.

参考文献

- [1] Zhang G M, Liu Y F, Yang J, Xie J J 2024 *Electromech. Components* **44** 23 (in Chinese) [张国明, 刘亚锋, 杨姣, 谢建军 2024 机电元件 **44** 23]
- [2] Wang H Y, Zhu Y, Dai Z X 2011 *Electromech. Components* **31** 24 (in Chinese) [王恒玉, 朱煜, 代治兴 2011 机电元件 **31** 24]
- [3] Zhao Y X 2024 *Ph. D. Dissertation* (Chengdu: Sichuan Normal University) (in Chinese) [赵银翔 2024 博士学位论文 (成都: 四川师范大学)]
- [4] Li Z A, Guo Y C, Chen C X, Long P, Zhang J N, Xu D R, Zhang L, Chen Q 2012 *Semicond. Optoelectron.* **33** 470 (in Chinese) [李祖安, 郭艳春, 陈春霞, 龙平, 张佳宁, 徐道润, 张雷, 陈倩 2012 半导体光电 **33** 470]
- [5] Johnston A H, Miyahira T F 2007 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **54** 1104
- [6] Cai Y, Gao H, Tong B, Li M, Arsal N, Li Y L 2016 *Proceedings of the 2016 IEEE 6th International Conference on Photonics (ICP)* Kuching, Malaysia, March 14–16, 2016 p1
- [7] Seng C Y, Bernhard B, Chi T W 2018 *Proceedings of the 2018 IEEE 38th International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT)* Melaka, Malaysia, September 4–6, 2018 p1
- [8] Liu X S, Zhang M, Gao X D 2018 *Electron. Packag.* **18** 44 (in Chinese) [刘祥晟, 张明, 高向东. 2018 电子与封装 **18** 44]
- [9] Claeys C, Simoen E 2008 *Radiation Effects on Advanced Semiconductor Materials and Devices* (Beijing: National Defense Industry Press) (in Chinese) [Claeys C, Simoen E 2008 先进半导体材料及器件的辐射效应 (北京: 国防工业出版社)]
- [10] Snow E H, Grove A S, Fitzgerald D J 2005 *Proc. IEEE* **55** 1168
- [11] Zhang Y B, Wei Y D, Yang J Q, Jiang J C, Yao G, Li X J 2023 *Heilongjiang Sci.* **14** 1 (in Chinese) [张玉宝, 魏亚东, 杨剑群, 蒋继成, 姚钢, 李兴冀 2023 黑龙江科学 **14** 1]
- [12] Chen W H, Du L, Zhuang Y Q, Bao J L, He L, Zhang T F, Zhang X 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4090 (in Chinese) [陈伟华, 杜磊, 庄奕琪, 包军林, 何亮, 张天福, 张雪 2009 物理学报 **58** 4090]

- [13] Faccio F, Borghello G, Bonaldo S 2025 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **72** 3247
- [14] Katoh Y, Snead L L, Szlufarska I, Weber W J 2012 *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* **16** 143
- [15] Matsuda T, Yokoseki T, Mitomo S, Murata K, Makino T, Abe H, Takeyama A, Onoda A, Tanaka Y, Kandori M, Yoshie T, Hijikata Y, Ohshima T. 2016 *Mater. Sci. Forum* **858** 860
- [16] Kumar M, Ubhi J S, Basra S, Chawla A, Jatana H S. 2021 *Microelectron. J.* **115** 105182
- [17] Hu Z M, Wang Y 2012 *Modern Semiconductor Devices for Integrated Circuits* (Beijing: Publishing House of Electronics Industry) (in Chinese) [胡正明, 王燕 2012 现代集成电路半导体器件 (北京: 电子工业出版社)]
- [18] Tang C Q, Wang D W, Gong M, Ma Y, Yang Z M 2021 *Electron. Packag.* **21** 80 (in Chinese) [唐常钦, 王多为, 龚敏, 马瑶, 杨治美 2021 电子与封装 **21** 80]
- [19] Wang W D 2004 *Proceedings of the Conference on China Optics and Optoelectronics Manufacturers Association* Nanchang, China, September 16–20, 2004 p1
- [20] Zhao H R, Guo Q, Yan X X, Liang Y, Wu Q H, Sheng K. *J. Power Supply* 1 (in Chinese) [赵浩然, 郭清, 颜小雪, 廖宇, 吴前辉, 盛况 电源学报 1]
- [21] Zhou Z Y 2025 *Ph. D. Dissertation* (Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China) (in Chinese) [周子怡 2025 博士学位论文 (成都: 电子科技大学)]
- [22] Sun S C, Plummer J D 2005 *IEEE Trans. Electron Devices* **27** 356
- [23] Wang Y N 2022 *Ph. D. Dissertation* (Harbin: Harbin Institute of Technology) (in Chinese) [王雅宁 2022 博士学位论文 (哈尔滨: 哈尔滨工业大学)]
- [24] Lee K, Kaczer B, Kruv A, Gonzalez M, Eneman G, Okudur O O, Grill A, Wolf D I 2022 *IEEE Trans. Electron Devices* **69** 2214
- [25] Borel T, Michez A, Furic S, Leduc E, Boch J, Touboul A, Azais B, Danzeca S, Dusseau L 2018 *Proceedings of the 18th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)* Goteborg, Sweden, September 16–21, 2018 p1
- [26] Liu Z L, Hu Z Y, Zhang Z X, Shao H, Ning B X, Bi D W, Chen M, Zou S C 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 116103 [刘张李, 胡志远, 张正选, 邵华, 宁冰旭, 毕大炜, 陈明, 邹世昌 2011 物理学报 **60** 116103]

Experimental study on the total dose effect of light-controlled metal oxide semiconductor solid-state relays

HE Zijie¹⁾ ZHU Xuewei²⁾ LI Zongya²⁾ ZHUANG Cheng¹⁾
HE Chaohui¹⁾ LI Pei^{1)†} MA Baolong^{1)‡}

¹⁾ (Department of Nuclear Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

²⁾ (Beijing Institute of Aerospace System Engineering, Beijing 101160, China)

(Received 14 December 2025; revised manuscript received 28 January 2026)

Abstract

Optoelectronic metal oxide semiconductor (MOS) solid-state relays integrate optoelectronic isolation technology with MOS field-effect transistor (MOSFET) processes, achieving reduced device dimensions and expanding application domains. Currently, there is limited research on this type of device both domestically and internationally. Particularly when exposed to complex radiation environments, the reliability of the device requires evaluation. This paper investigates the total dose resistance characteristics of the input-side light emitting diode (LED) and output-side MOS device in a specific opto-MOS solid-state relay model through gamma-ray total dose irradiation experiments. Experimental results indicate: Within the 0–100 krad (Si) dose range, the device's LED terminal exhibits excellent radiation resistance in forward characteristics, while reverse characteristics demonstrate sensitivity to ionizing radiation. Within the 0–300 krad (Si) dose range, the device's turn-on voltage remains stable. However, the turn-on resistance of the MOS terminal and the turn-off leakage current are significantly affected by radiation, showing a marked upward trend with increasing cumulative dose.

Keywords: optical metal oxide semiconductor solid-state relay, total dose effect, turn-on voltage, on-resistance, off-state leakage current

DOI: 10.7498/aps.75.20251714

CSTR: 32037.14.aps.75.20251714

† Corresponding author. E-mail: lipei0916@xjtu.edu.cn

‡ Corresponding author. E-mail: baolongma@xjtu.edu.cn

光金属氧化物半导体固体继电器总剂量效应实验

何子杰 朱学伟 李宗亚 庄程 贺朝会 李培 马宝龙

Experimental study on the total dose effect of light-controlled metal oxide semiconductor solid-state relays

HE Zijie ZHU Xuewei LI Zongya ZHUANG Cheng HE Chaohui LI Pei MA Baolong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 75, 080808 (2026) DOI: 10.7498/aps.75.20251714

CSTR: 32037.14.aps.75.20251714

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.75.20251714>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同栅压下Si-n型金属氧化物半导体场效应管总剂量效应的瞬态特性仿真

Transient characteristics simulation of total ionizing dose effect on Si n-metal-oxide-semiconductor field effect transistor under different gate voltage

物理学报. 2023, 72(13): 138501 <https://doi.org/10.7498/aps.72.20230207>

双沟槽SiC MOSFET总剂量效应

Total ionizing dose effect of double-trench SiC MOSFET

物理学报. 2025, 74(5): 056101 <https://doi.org/10.7498/aps.74.20241641>

三维数值仿真研究锗硅异质结双极晶体管总剂量效应

Three-dimensional simulation of total ionizing dose effect on SiGe heterojunction bipolar transistor

物理学报. 2022, 71(5): 058502 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211795>

超薄屏蔽层300 V SOI LDMOS抗电离辐射总剂量仿真研究

Simulation study on radiation hardness for total ionizing dose effect of ultra-thin shielding layer 300 V SOI LDMOS

物理学报. 2022, 71(10): 107301 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20220041>

石墨烯场效应晶体管的X射线总剂量效应

Total X-ray dose effect on graphene field effect transistor

物理学报. 2024, 73(5): 058501 <https://doi.org/10.7498/aps.73.20231829>

具有超低比导电阻的双漂移区双导通路新型横向双扩散金属氧化物半导体

A novel LDMOS with dual-drift region and dual-conduction path with ultra-low specific on-resistance

物理学报. 2025, 74(8): 087301 <https://doi.org/10.7498/aps.74.20241554>