

文章编号:1001-9014(2004)03-0172-04

# 1MeV 电子辐照对碲镉汞中波光导器件的影响

乔辉, 贾嘉, 陈新禹, 李向阳, 龚海梅

(中国科学院上海技术物理研究所, 传感技术国家重点实验室, 上海 200083)

**摘要:**研究了1MeV电子辐照对中波碲镉汞光导器件的影响. 通过测试辐照前后光导器件的室温和低温体电阻、响应光谱、电流响应率和探测率等性能参数, 结果发现经过电子辐照, 器件的峰值和截止波长在辐照后向短波方向移动. 在辐照剂量大于 $10^{15}/\text{cm}^2$ 时, 器件的室温电阻和响应率明显下降. 探测率由于噪声的影响无明显变化趋势.

**关键词:**碲镉汞; 光导型探测器; 电子辐照; 辐照效应

**中图分类号:** O. 04. 483 **文献标识码:** A

## INFLUENCE OF 1MEV ELECTRON IRRADIATION ON HgCdTe PHOTOCONDUCTIVE DETECTORS

QIAO Hui, JIA Jia, CHEN Xin-Yu, LI Xiang-Yang, GONG Hai-Mei

(State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Radiation effects of 1MeV electron on middle wavelength  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  photoconductive detectors were studied. Room and liquid nitrogen temperatures resistance, response spectrum, current responsivity and detectivity were measured before and after irradiation. It is observed that after irradiation, the detectors' peak and cutoff wavelength move towards short wavelength; the room temperature resistance and current responsivity become decreasing when irradiation dosage is larger than  $10^{15}/\text{cm}^2$ ; the detectivity doesn't show a monotonical change owing to the influence of noise.

**Key words:** HgCdTe; photoconductive detectors; electron irradiation; radiation effects

### 引言

碲镉汞材料由于其介电常数大、载流子寿命长和禁带宽度可调等特性成为红外探测器的首选材料. 虽然光导型比光伏型探测器功耗大、响应慢, 但由于其工艺成熟, 在中长波段探测中仍占有重要地位. 器件在太空中工作时, 不可避免受到大量存在于太空中的高能电子的辐照, 所以研究在电子辐照情况下光导探测器性能的变化十分重要; 国内外在这方面已经做了大量的研究, 得出许多有意义的结果, 但这些结果大多集中于讨论载流子特性在电子辐照后的变化. C. E. Mallon<sup>[1]</sup>等人通过在低温下(10K和80K)5MeV电子辐照n型MCT材料发现载流子的浓度随电子辐照剂量成线性增加, 电子的Hall迁移率也缓慢增加直至饱和, 材料的禁带宽度也因为电

子辐照发生移动, 从而影响了截止波长. 但是经过等时退火至340K, 碲镉汞的性能参数几乎全部恢复到了辐照前的值; A. V. Voitshovski<sup>[2]</sup>等人则在室温(300K)下2MeV辐照碲镉汞材料发现辐照后电导率减小, 并提出在室温下辐照引入的缺陷比低温下有更好的热稳定性, 即点缺陷可以通过热运动形成缺陷团; Barry A. Green<sup>[3]</sup>等人在利用5MeV电子辐照n型碲镉汞材料中发现随着辐照剂量的增大, 部分样品的电子迁移率先增大后减小, 并从电子能级简并性、能带的非抛物性和杂质的补偿等方面给予了解释; C. E. Mallon<sup>[4]</sup>等人还在研究电子辐照效应的基础上提出光导型探测器工作在少子扫出模式下抗辐照性能更好. 我们在这些结果的基础上, 研究了中波光导型碲镉汞探测器经过电子辐照后在体电阻、响应光谱、响应率和探测率等方面的变化.

收稿日期: 2002-12-11, 修回日期: 2003-10-10

Received date: 2002-12-11, revised date: 2003-10-10

基金项目: 上海市科学技术委员会部分资助项目(011661082, 01QA14045)

作者简介: 乔辉(1979-), 男, 山东莱阳人, 硕士, 2002年毕业于山东大学. 现从事碲镉汞器件抗辐照研究.

## 1 实验

实验采用移动加热器法制备的 n 型中波碲镉汞材料,经过减薄抛光、阳极氧化等表面钝化一些常规光导工艺制成光导型探测器. 首先把器件封装于真空杜瓦中,在液氮温度下测试其性能参数;然后拆下装有器件的基板,对器件连同基板进行电子辐照,辐照温度为室温;辐照后把器件及基板重新装入杜瓦中,在相同的条件下再次测量其性能参数;第 2 次测量大约在辐照结束后 20h. 电子辐照在中科院上海原子核研究所的 1MeV 静电加速器上进行. 光谱响应测试在 BIO-RAD 傅立叶光谱仪上进行;黑体性能的测试,采用的是常规的红外探测器黑体测试方法;体电阻则采用普通万用表测.

## 2 实验结果与讨论

我们对器件进行了多次不同剂量的电子辐照,剂量由小到大,且前后 2 次辐照间隔时间 2 周以上.

### 2.1 对体电阻的影响

对光导器件的体电阻我们分别在室温和 80K 温度下测量了其在辐照前后的变化,结果如图 1 所示.

由图 1 可以看出,经过电子辐照后碲镉汞光导器件的室温和低温电阻均发生变化,且变化趋势相同,但相比之下,对室温电阻的影响更大. C. E. Mallon<sup>[1]</sup>等人通过在低温(10K 和 80K)5MeV 电子辐照 n 型 MCT 材料发现其电阻下降,辐照剂量是  $10^{14}/\text{cm}^2$  量级;从我们的结果(b)来看,在这一量级内器件的低温(80K)体电阻确有下降,但是由于我们的辐照温度为室温,所以结果还是有所差别,表现在电阻下降的程度并不是很大.

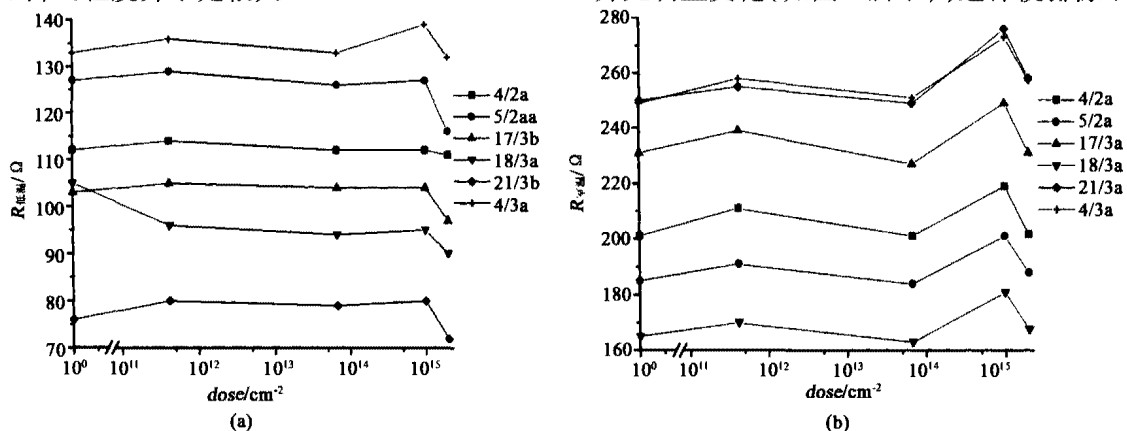


图 1 (a)电子辐照后器件室温电阻的变化(b)电子辐照后器件低温电阻的变化

Fig. 1 (a)Dependence of room temperature resistance on electron dose

(b)Dependence of liquid nitrogen resistance on electron dose

$$R = \frac{K}{\sigma} = \frac{K}{ne\mu} \quad (1)$$

其中  $K$  由器件的几何尺寸决定,其余符号具有通常意义.

由式(1)可知,体电阻与载流子浓度和迁移率有关.参考文献[1]~[4]都指出电子辐照后载流子浓度增加,而迁移率却有不同的变化;由此之所以出现上面的结果,可能是具有相反作用的机制竞争的结果.一般来说,在辐照剂量较小时以少子寿命退化效应为主,而在大剂量下则容易发生多子去除效应.另外尽管我们前后两次辐照间隔时间在 2 周以上,但室温下辐照造成的缺陷比较稳定,仍可能存在累计效应.

### 2.2 对响应光谱的影响

我们在电子辐照前后对器件的响应光谱在相同条件下做了测试,结果发现在实验中的辐照剂量下器件的响应光谱几乎都发生了变化,即峰值和截止波长向短波方向移动,典型变化如图 2 所示.

胡新文<sup>[5]</sup>在  $\gamma$  射线辐照碲镉汞光导器件中也发现其峰值波长向短波方向移动.出现这一现象的原因可能有:(1)由于辐照电子的能量较高,而碲镉汞中的 Te—Hg 键又易断裂,这样 Hg 原子吸收了电子在其中沉积的能量后脱离了 Te—Hg 的束缚而发生逃逸或向内扩散,从而使组分  $x$  增加,造成禁带宽度增大,响应波长变短;(2)由于电子辐照在碲镉汞中引入的损伤为 n 型,对于 n 型碲镉汞器件来说相当于增加了载流子浓度,使得 Feimi 能级向导带移动甚至进入导带,即发生 M—B 效应,从而使峰值和截止波长向短波方向移动.但我们通过对碲镉汞光伏器件进行电子辐照,结果发现其峰值和截止波长并无明显变化(如图 3 所示),这样便排除了第一种

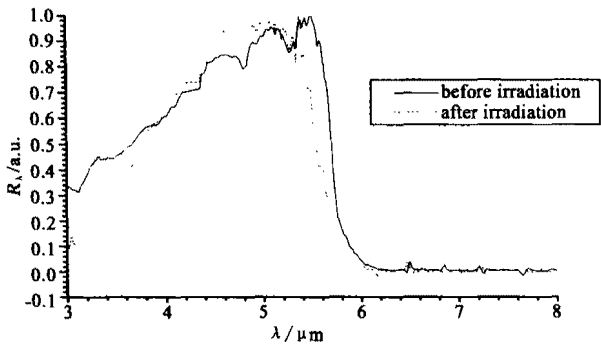


图2 器件 5/2a 电子辐照前后响应光谱的变化(剂量  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ )

Fig.2 Influence of  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  electron irradiation on the spectrum response of the detector 5/2a

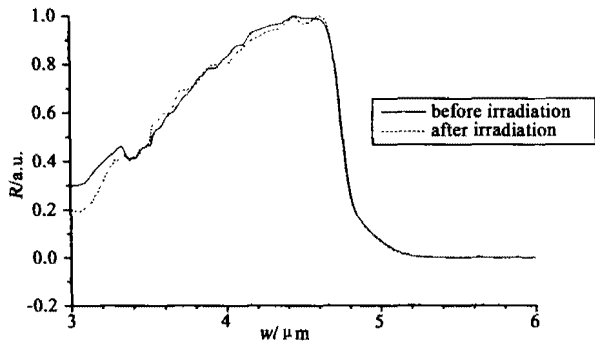


图3 电子辐照对中波碲镉汞光伏器件光谱响应的影响(剂量  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ )

Fig.3 Influence of  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  electron irradiation on the spectrum response of MW-photovoltaic detector

可能.与光导器件不同,光伏器件是通过在 p 型碲镉汞衬底上通过离子注入造成 n 型损伤而形成 p-n 结;参考文献[6]指出,通过 Van der Pauw 法 Hall 测量得出结论,离子注入剂量在  $5 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  范围内时,由于损伤形成的 n 区的电子浓度对离子注入的类型和剂量并无严格的依赖关系.这可能是由于 n 型损伤与 p 型衬底发生一定的补偿作用,这就解释了为何电子辐照对光伏器件的峰值和截止波长无明显的影响.由此我们初步得出电子辐照对碲镉汞光导器件光谱响应的影响机制,即由于电子辐照在碲镉汞中引入的损伤为 n 型损伤而导致的 M-B 效应.另外我们也可以假想两种机制均存在,只是在我们的实验中以 M-B 效应为主,但这需要其它方面的实验来进一步研究.

### 2.3 对器件响应率和探测率的影响

光导器件通常工作在偏流模式下,此时其信号

$$\text{为: } \Delta V = \frac{\Delta \sigma}{\sigma} V = \frac{K \Delta \sigma}{\sigma^2} \quad (2)$$

V 为加信号前器件的偏压,  $\Delta V$  为加信号后器件

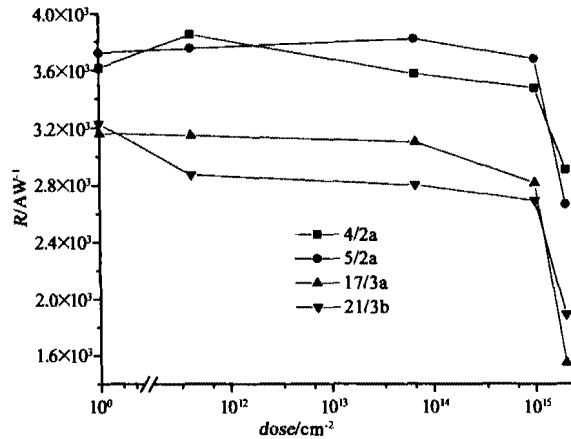


图4 4/2a 在不同剂量辐照后电流响应率的变化

Fig.4 Dependence of current responsivity on electron irradiation dose

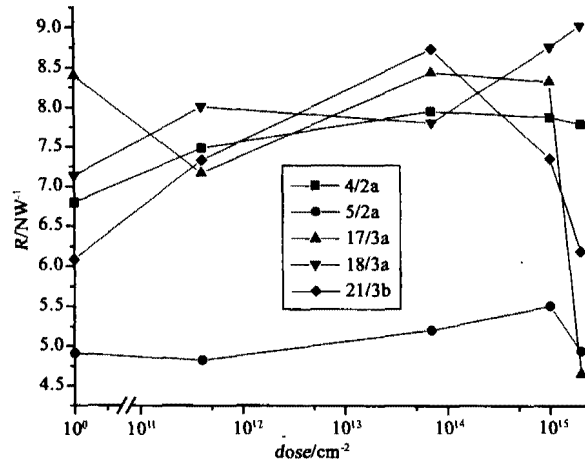


图5 不同剂量辐照后器件探测率的变化

Fig.5 Dependence of detectivity on electron irradiation dose

两端电压的变化, K 与式(1)中的意义相同.可见,信号与体电阻有相似的变化趋势(如图4所示).参考文献[7]指出,γ辐照后器件中的深能级缺陷变得更深,同时其俘获截面增加了近一个数量级,从而使器件性能下降.这一现象是否存在我们的实验中,还有待下一阶段实验验证,但这提示我们器件性能的下降可能是多种因素共同作用的结果.

另外我们还测了器件的探测率,与响应率相比,不同的器件探测率随辐射剂量的变化各不相同,有的增大,有的减小(如图5所示).

在计算探测率时要考虑噪声的影响,由图5可见,小剂量辐照对器件的探测率影响不大,甚至有所改善,但剂量增大后,大部分器件的探测率下降,但有的器件仍然增加,估计与材料的性质不同有关.

### 3 结论

通过对碲镉汞中波光导器件进行不同剂量的电子辐照,我们发现辐照后器件的峰值波长明显向短波方向移动,器件的体电阻当辐照剂量大于  $10^{15}/\text{cm}^2$  时明显减小. 作为反映器件性能的参数响应率和探测率有不同的变化趋势,响应率与体电阻有相似的变化,探测率则由于噪声的影响无明显变化趋势. 关于器件的辐照损伤机制,由于碲镉汞属缺陷半导体,而电子辐照又有多种作用效应,所以单以本实验难以确切表述,仅就最明显的损伤机制作了解释,其它则需进一步实验来研究.

### REFERENCES

- [1] Mallon C E, Naber J A, Colwell J F, *et al.* Effects of electron radiation on the electrical and optical properties of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1973, **HS-20**:

214—219.

- [2] Voitshovski A V, Broudnyi V N, Lilenko Yu V, *et al.* High temperature defects in electron irradiated semiconductors  $\text{HgCdTe}$ ,  $\text{PbSnTe}$  [J]. *Solid State Communications*, 1979, **31**: 105—108.
- [3] Green Barry A, Leadon Roland E, Mallon Charles E. Mobility changes produced by electron irradiation of n-type  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  [J]. *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**(7): 3127—3134.
- [4] Mallon C E, Green B A, Leadon R E, *et al.* Radiation effects in  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  [J]. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1975, **NS-22**: 2283—2288.
- [5] HU Xin-Wen. The study of irradiation effects on infrared detectors [D]. Doctor dissertation of Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science (胡新文. 红外探测器辐射效应研究. 中科院上海技术物理所博士学位论文), 1999. 7.
- [6] Willardson R K, Albert C Beer. *Semiconductors and Semimetals* [M]. New York: Academic Press, 1981, **18**: 251.
- [7] Hu Xin-Wen, Fang Jia-Xiong, Wang Qin, *et al.* A deep level induced by gamma-irradiation in  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(1): 91—92.

(上接第 171 页)

(4) 器件制造工艺的原因,即使在相同的偏压下,各 APD 单元增益均匀性也不一致,因此在系统运行前必须进行定标,并以这些定标数据为依据在生成灰度像时进行校正.

由于接收电路主要是对于微弱信号的探测,而系统将工作在比较恶劣的电磁环境中,因此对噪声控制需额外注意,首先要对电源模块进行滤波,尽量减少由于电源带来的噪声. 其次保证各个模块地线的良好连接,尤其是回波探测模块的部分,以防止噪声经过地线反弹到信号电路中. 在主波和回波的数字整形端,加以电位器以保证在不同的电磁环境下,不会由于噪声导致误触发. 各个模块之间应该考虑采用光耦进行隔离,以避免不必要的干扰. 在主波和回波探测器前安装带通滤光片,以确保其它频率的光信号不会产生误触发,同时降低噪声. 对各个模块之间的电磁隔离对于降低系统的噪声也是有益的.

为了保证系统的正常工作,提高系统的可靠性,保证数据的准确性,有必要对系统的工作状态进行有效的监控和记录,监控记录的参数有:激光的出射功率、雪崩管的偏压值,时序信号等.

### 5 结论

激光回波阵列探测技术在推帚式激光成像测距系统中起着关键的作用,是下一代激光对地观测系

统的关键技术. 在保证较低的最小探测功率的前提下,设计时应注意对系统的各个参数进行监视和控制,以保证各种反演结果的准确性.

### REFERENCES

- [1] Christoph Hug. Introducing the next generation imaging laser altimeters: Concept of A Modular Airborne Pushbroom Laser Altimeter (MAPLA) [C]. The Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition 21st Canadian symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada, 1999, 21—24.
- [2] Buck Burns H N, Maj Todd Steinner, Dave Hayden. Compact, 625-channel scannerless imaging laser radar receiver [J]. *SPIE*, 1999, **2748**: 39—46.
- [3] Ackermann, Friedrich. Airborne laser scanning—present status and future expectations [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 64—67.
- [4] Wehr Aloysius, Lohr Uwe. Airborne laser scanning—an introduction and overview [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 68—82.
- [5] Baltsavias E P. Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, **54**: 164—198.
- [6] Gustavson L Robert, Davis E Thomas. Diode-laser radar for low-cost weapon guidance [J]. *SPIE Laser Radar*, 1992, **VII**: 21—32.
- [7] Richard Richmond, Roger Stettner, Howard Bailey. Laser radar focal plane array for three-dimensional imaging [J]. *SPIE*, 1999, **2748**: 61—67.