

文章编号: 1001-4322(2007)02-0301-04

低温退火对 HgCdTe 中波光导器件 γ 辐照效应的影响*

白 云^{1,2}, 乔 辉¹, 李向阳¹, 龚海梅¹

(1. 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; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 研究了低温退火对 HgCdTe 中波光导探测器 γ 射线辐照效应的影响。经过剂量为 1 Mrad 的辐照后, 器件的性能下降。对经过辐照的器件进行低温退火, 退火温度范围为 313 ~ 333 K, 退火时间在 5 ~ 16 h 之间不等。在相同条件下测量了器件辐照前后及不同退火温度、不同退火时间下的体电阻、响应率、探测率和响应光谱。通过对比辐照前后及不同退火温度下性能参数的变化, 分析了退火对器件的 γ 辐照效应的影响。实验表明, 低温退火对辐照引起的性能下降有一定的恢复作用。

关键词: γ 辐照; HgCdTe; 退火; 辐照效应

中图分类号: TN364 **文献标识码:** A

碲镉汞三元合金化合物半导体材料(HgCdTe)具有优良的电学性能及随组分 x 可连续变化的禁带宽度, 是制作红外探测器的重要材料。目前碲镉汞探测器在航天、航空等方面有着广泛的应用。当器件在复杂的太空环境中工作时, 要处于 γ 射线、电子、质子和中子等强辐照环境之中, 这会对器件的性能产生影响。因此, 研究器件的辐照效应及抗辐照加固技术对器件的实际应用具有重要的意义。国内外许多研究小组对碲镉汞材料和器件的辐照效应做了大量的研究^[1-4]。Domkowski 等人^[3]报道了在低温下能量为 6 MeV 的电子辐照对 HgCdTe 光伏器件的影响; 实验表明, 辐照使得器件的反向漏电流增大。Sarusi 研究小组^[4]报道了 γ 辐照对 HgCdTe 光伏器件性能的影响, 结果表明, γ 辐照增大了器件的暗电流, 并指出器件的失效与表面的钝化层有关。中国科学院上海技术物理研究所也对 HgCdTe 器件的 γ 辐照和电子辐照效应进行了研究^[5-8]。但目前关于不同温度下的退火对器件的辐照效应的影响的研究还比较少。本文研究了低温退火对 HgCdTe 中波光导探测器的 γ 射线的辐照效应的作用。通过测量器件辐照前后及不同退火温度下的体电阻、响应率、探测率和响应光谱的变化, 对比辐照前后及不同退火温度下性能参数的变化, 分析了退火对器件 γ 辐照效应的影响。

1 实验部分

实验中所用的碲镉汞红外探测器, 是由中国科学院上海技术物理研究所光传感器研究室研制的 n 型中波光导 20 元线列器件。器件封装于真空杜瓦瓶中, 在液氮温度下测量其体电阻、响应率、探测率和响应光谱; 所用黑体温度为 500 K, 黑体孔径 0.8 cm, 测试距离 30 cm, 中心频率 1000 Hz, 带宽 100 Hz, 光敏元边长 135 μm 。 γ 辐照实验在中国科学院上海辐照中心完成, 辐照温度为室温。 γ 射线辐照的剂量为 1 Mrad, 剂量率为 14 rad/s, 辐照时间为 20 h。器件经过 γ 辐照后, 在室温下放置 9 d 后再次测量器件的性能。将器件连同杜瓦瓶放入恒温烘箱中, 从 313 K 开始每间隔 10 K 烘烤一次, 直至 333 K。每次烘烤时间在 5 ~ 16 h 之间, 每次烘烤后在相同条件下再次测量器件的体电阻、响应率、探测率和响应光谱。

2 实验结果及讨论

2.1 退火对 γ 辐照后器件体电阻的影响

在实验各个过程中分别测量了器件在室温和低温下的体电阻。图 1 和图 2 分别为 HgCdTe 器件在辐照前后及不同温度下、不同时间退火后室温和低温下体电阻的变化曲线。从图可以看出, 器件经过 1 Mrad 的 γ 辐照后, 其室温体电阻变化不明显, 低温体电阻经过辐照后略有增大, 并随着不同的烘烤时间和温度, 有继续增大的趋势。

* 收稿日期 2006-06-07; 修订日期 2006-12-08
基金项目: 上海市科学技术委员会部分资助课题(011661082, 01QA14045)
作者简介(1978—), 女, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向为红外、紫外光电探测器及其可靠性, baiyun@mail.sitp.ac.cn.

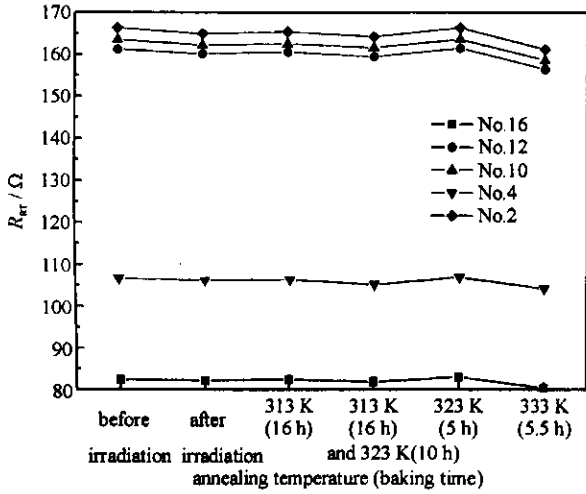


Fig. 1 Change of body resistance of the photoconductive detector measured at room temperature

图 1 探测器室温体电阻的变化

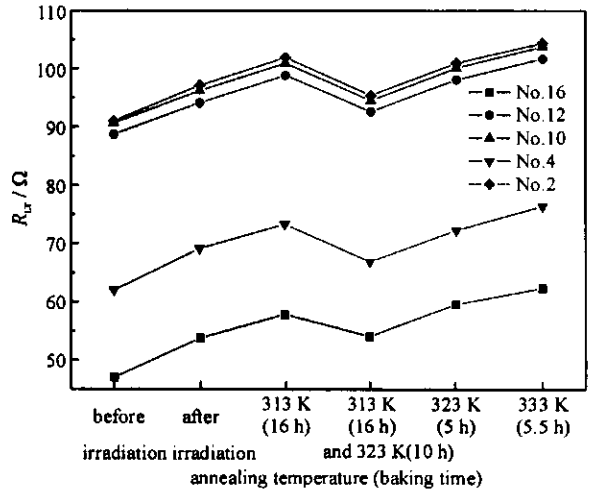


Fig. 2 Change of body resistance of the photoconductive detector measured at low temperature

图 2 探测器低温体电阻的变化

γ 射线辐照在半导体材料上会发生两种效应:位移效应和电离效应^[9]。由于 HgCdTe 材料中的 Te-Hg 键容易断裂,这样 Hg 原子可以吸收 γ 射线的能量从而脱离 Te-Hg 键的束缚,进入体内,在半导体中形成位移缺陷,降低材料的电导率,从而增大了器件体电阻。Hu. X. W 对 HgCdTe 光伏器件进行 γ 辐照效应的研究表明,辐照在 HgCdTe 体内形成了一个新的能级,并认定是由 Hg 空位引起的^[5]。另外, γ 射线的电离效应在材料和钝化层的界面上感应出的界面态,可以起到复合中心和俘获中心的作用,使表面电导率减小,也可以导致成体电阻的增大。而经过不同阶段的退火后,器件低温下的体电阻没有恢复,仍有继续增加的趋势,可能的原因是退火同时对器件在工艺中形成的刻蚀损伤也起到恢复作用,导致体电阻在经过热处理之后增加。

2.2 退火对 γ 辐照后器件性能的影响

图 3 为探测器在辐照前后及不同温度的退火处理下响应率的变化。由图可知,1 Mrad 的 γ 辐照使器件的响应率降低,且辐照前响应率较高的器件比响应率低些的器件减小的要明显。辐照后的器件首先在 313 K 温度下烘烤 16 h 后在相同条件下测量其性能。实验结果表明,313 K 温度下烘烤 16 h 有助于器件响应率的恢复。在 313 K 下继续烘烤 16 h 后,升高烘烤温度至 323 K 再烘烤 10 h 后再次测量器件的性能。结果表明,经过此步骤热处理后,器件的响应率在上一个热处理的基础上略有增强。为考察烘烤时间对器件性能的影响,仍在 323 K 温度下继续烘烤 5 h 后,323 K 温度下延长时间烘烤使器件的响应率仍得到进一步的恢复。随后,将器件在 333 K 温度下烘烤 5.5 h 后再次测量器件的性能,器件的响应率没有上升,反而下降。根据 Shockley-Reed-Hall 复合模型,由于 γ 辐照引起的缺陷能级能够充当复合中心的作用,从而使载流子的复合速度增大,

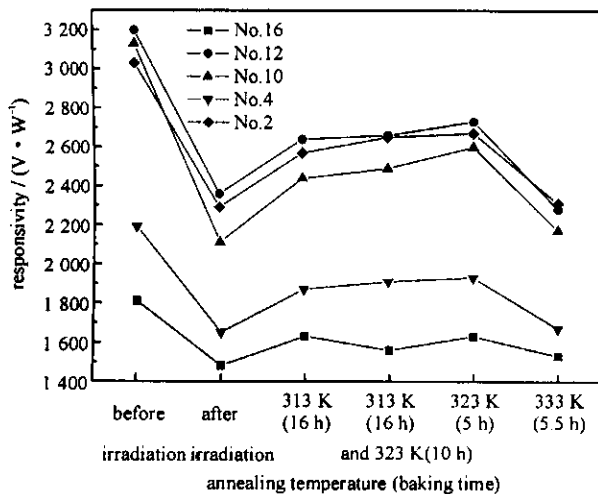


Fig. 3 Change of the responsivity of the photoconductive detector
图 3 探测器响应率的变化

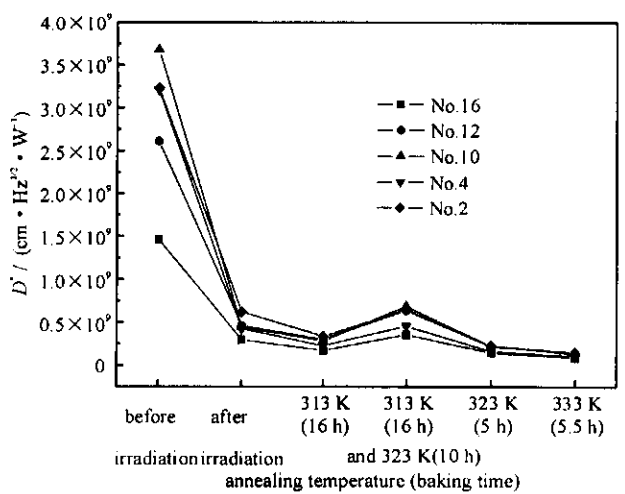


Fig. 4 Change of the detectivity of the photoconductive detector
图 4 探测器探测率的变化

导致少数载流子的寿命的降低,使得器件的响应率下降。当包含有位移损伤缺陷的器件被加热到缺陷的迁移解体温度时,将发生缺陷结构的重新排列,这种重新排列可以使缺陷解体和恢复(如空位和间隙的复合)或部分消失,或者增长,或者出现新的缺陷^[10]。因而在适当的温度下对辐照后的器件退火可能是器件的响应率得到部分恢复的原因。实验结果表明,在 γ 辐照后的 HgCdTe 材料中,333 K 温度下的退火能较好的对器件的响应率起到恢复作用。

图 4 为器件在实验过程中探测率的变化,从图中可以看到,经过 1 Mrad 辐照后,器件的探测率明显降低。经过各个温度的热处理之后,器件的探测率没有得到恢复,且呈下降趋势。由于器件的探测率与噪声有关,所以通过探测率的变化可以看出辐照和退火对器件噪声的影响,经过辐照后,器件的噪声增大,经过不同温度的退火后,器件的噪声仍呈逐渐增大的趋势。由此可见,响应率的恢复并没有对器件的探测率起到积极的作用。

2.3 辐照及退火对器件响应光谱的影响

通过对比器件的响应光谱,发现 γ 辐照对器件的截止波长没有造成明显变化。说明剂量为 1 Mrad 的 γ 辐照没有对 HgCdTe 中波光导器件的能带结构产生明显的影响,同时 313 ~ 333 K 温度范围的退火也没有使材料的能带结构发生变化。HgCdTe 中波光导器件 γ 辐照前后及不同温度和时间下的截止波长见表 1。

表 1 HgCdTe 中波光导器件 γ 辐照前后及不同温度和时间下的截止波长

Table 1 Cutoff wavelength of the HgCdTe photoconductive detector

No. of detectors	cutoff wavelength/ μm					
	before irradiation	after irradiation	313 K (16 h)	313 K(16 h) and 323 K(5 h)	323 K (5 h)	333 K (5.5 h)
2	5.76	5.77	5.76	5.77	5.76	5.76
6	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
7	5.77	5.76	5.76	5.77	5.77	5.77
8	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
9	5.76	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
10	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
11	5.76	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
14	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
16	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
18	5.77	5.78	5.77	5.79	5.77	5.77
20	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77

3 结 论

首先对 HgCdTe 中波光导探测器进行了剂量为 1 Mrad 的 γ 射线辐照,然后在 313 ~ 333 K 温度范围内对器件进行了不同时间的退火。并在相同条件下测量了器件辐照前后及不同退火温度、不同退火时间下的体电阻、响应率、探测率和响应光谱。实验结果表明,适当温度下的热处理能够使辐照引起的器件性能的下降得到部分恢复。

参考文献:

- [1] Melngailis J, Ryan J L, Harman T C. Electron radiation damage and annealing of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ at low temperatures[J]. *J Appl Phys*, 1973, **6**:2647-2651.
- [2] Mallon C E, Naber J A, Colwell J F, et al. Effects of electron radiation on the electrical and optical properties of HgCdTe[J]. *IEEE Trans Nucl Sci*, 1973, **20**:214-219.
- [3] Domkowski D W, Feller D G, Johnson L R, et al. Effects of 6 MeV electron irradiation on the electrical characteristics of LPE HgCdTe/CdTe mesa photodiodes[J]. *IEEE Trans Nucl Sci*, 1986, **33**:1471-1477.
- [4] Sarusi G, Eger D, Zemel A, et al. Degradation mechanisms of gamma irradiated LWIR HgCdTe photovoltaic detectors[J]. *IEEE Trans Nucl Sci*, 1990, **37**:2042-2049.
- [5] Hu X W, Fang J X, Wang Q, 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.
- [6] Hu X W, Li X Y, Lu H Q, et al. Study of gamma irradiation room temperature SWIR HgCdTe photodiodes[C]// Proc of SPIE, 1998, **3553**:85-89.
- [7] 乔辉, 贾嘉, 陈新禹, 等. 1 MeV 电子辐照对碲镉汞光导器件的影响[J]. 红外与毫米波学报, 2004, **23**(3):172-175. (Qiao H, Jia J, Chen X Y, et al. Influence of 1 MeV electron irradiation on HgCdTe photoconductive detectors. *J Infrared Millim Waves*, 2004, **23**(3):172-175)

- [8] 黄杨程, 乔辉, 贾嘉, 等. 1 MeV 电子辐照对短波 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光伏探测器的影响 [J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(1) : 25-28. (Huang Y C, Qiao H, Jia J, et al. Influence of 1 MeV electron irradiation on HgCdTe photovoltaic detectors. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(1) : 25-28)
- [9] 邓永孝. 半导体器件失效分析 [M]. 北京 : 宇航出版社, 1991. (Deng Y X. Failure analysis of semiconductor device. Beijing : China Astronautic Publishing House, 1991)
- [10] 曹建中. 半导体材料的辐射效应 [M]. 北京 : 科学出版社, 1993. (Cao J Z. The effect of irradiation on semiconductor material. Beijing : Science Press, 1993)

Effects of annealing on HgCdTe detectors after γ irradiation

BAI Yun^{1, 2}, QIAO Hui¹, LI Xiang-yang¹, GONG Hai-mei¹

(1. State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China ;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract : MWIR HgCdTe photoconductive detectors were irradiated with 1Mrad gamma dose, the devices were annealed at different temperature from 313 K to 333 K for different baking time. The body resistance, responsivity, response spectrum and detectivity of the devices were measured before and after irradiation and in different ways of annealing. The responsivity and detectivity of devices declined under the same conditions. The effects of annealing on the performance of the devices during the whole experiment were observed. The experiments indicate that proper annealing steps can recovery the responsivity of the devices partly. The 323 K may be the best temperature for annealing.

Key words : γ irradiation ; HgCdTe ; Annealing ; Irradiation effect