

(HgCd)Te 探测器 Franz-Keldysh 效应有效强度的一种表征方法*

李正东 叶玉堂 吴云峰 舒海洪 何琳玲 李德智 吴泽明

(电子科技大学光电子技术系, 四川·成都, 610054)

摘要 提出一种表征(HgCd)Te 探测器 Franz-Keldysh 效应有效强度的简易方法,即用(HgCd)Te 探测器在反偏压及零偏压时的输出电压比来表征其 Franz-Keldysh 效应有效强度的强弱,实验结果证实了这种方法有效、可行.

关键词 (HgCd)Te 探测器, Franz-Keldysh 效应, CO₂ 激光器.

A METHOD FOR CHARACTERIZING EFFECTIVE INTENSITY OF FRANZ-KELDYSH EFFECT IN (HgCd)Te DETECTORS*

LI Zheng-Dong YE Yu-Tang WU Yun-Feng SHU Hai-Hong
HE Ling-Ling LI De-Zhi WU Ze-Ming

(Department of Opto-electronic Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract A simple method for characterizing effective intensity of Franz-Keldysh effect of (HgCd)Te detectors was presented. It is using the output ratio of different bias voltage instead of wavelength shift to characterize effective intensity of Franz-Keldysh effect. The experimental result shows this method is effective and practical.

Key words (HgCd)Te detectors, Franz-Keldysh effect, CO₂ laser.

引言

(HgCd)Te 探测器是一种较为重要的光子探测器,它不但具有探测率高、响应速度快等优点,而且还具有较为明显的 Franz-Keldysh(以下简称为 F-K)效应,其中后者使得(HgCd)Te 探测器可应用于光调制、光开关、探测器防护等领域.有关(HgCd)Te 探测器 F-K 效应的测量方法,已有一些报道,但 these 方法常要用到比较贵重的实验设备和仪器,并且测量结果也常用实际应用中显得较为抽象的波长偏移量来表示.本文提出一种用(HgCd)Te 探测器反偏压和零偏压时的输出信号比来表征其 F-K 效应有效强度强弱的简易方法.

1 基本原理

F-K 效应是由 Franz 和 Keldysh 两位学者在

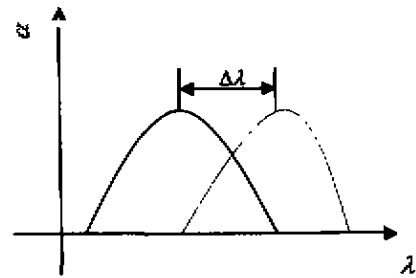


图 1 Franz-Keldysh 效应示意图
Fig. 1 Schema of Franz-Keldysh effect

1958 年提出的^[1],简单地说,它是指当半导体材料中存在强电场时,材料的吸收截止波长将向长波方向移动.针对(HgCd)Te 探测器,F-K 效应可用图 1 来说明.

图 1 中的 λ 为光源波长, α 为(HgCd)Te 材料的光吸收系数,实线代表(HgCd)Te 探测器在零偏

* 总装备部“九·五”预研(编号 2.3.4.3)资助项目
稿件收到日期 2000-09-08,修改稿收到日期 2000-12-28

* The project supported by the Preliminary Research Foundation of National Defense of China (No. 2.3.4.3)
Received 2000-09-08, revised 2000-12-28

压时的光谱响应曲线,虚线代表(HgCd)Te探测器在反偏压时的光谱响应曲线, $\Delta\lambda$ 则代表由F-K效应导致的(HgCd)Te探测器响应波长的偏移量。(HgCd)Te探测器F-K效应相应的数学表达式推导如下:由 $E_g = h\nu = hc/\lambda$,可得

$$\Delta\lambda = -\frac{hc}{E_g^2}\Delta E_g \quad (1)$$

而根据量子理论可知,外加电场 E 引起材料禁带宽度 E_g 的改变量为^[7]

$$\Delta E_g = -\frac{3}{2}(m^*)^{-\frac{1}{2}}(q\hbar E)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

因此有^[2]

$$\Delta\lambda = -\frac{3}{2}\frac{hc}{E_g^2}(m^*)^{-\frac{1}{2}}(q\hbar E)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中 m^* 为电子的有效质量, q 为电子电荷量, \hbar 为普朗克常数除以 2π , E 为材料内部的电场强度, ΔE_g 为材料禁带宽度的改变量, $\Delta\lambda$ 则为(HgCd)Te探测器响应波长的偏移量。

当对(HgCd)Te探测器施加反偏压时,探测器材料内部的场强增大,由式(3)可知,探测器内部场强的增大将导致探测器材料吸收波长向长波方向移动,再由图(1)可知,吸收波长的移动又导致探测器光吸收系数的改变,根据探测器输出电压与光吸收系数在一定范围内成正比这一原理可知,在保持光源波长和强度不变的情况下,探测器反偏压的改变将通过探测器F-K效应的响应波长偏移量导致探测器输出电压的改变。这样,当用光强恒定、波长为 λ 的激光辐照零偏压时,峰值响应波长小于 λ 的(HgCd)Te探测器时,随着探测器上反偏压逐渐增大,探测器吸收波长向长波方向移动的偏移量(F-K效应)也逐渐增加,从而导致探测器反偏时输出电压 V_{ob} 与零偏时输出电压 V_{oc} 之比 V_{ob}/V_{oc} 也逐渐增大,并且反偏压越大,探测器F-K效应越强, V_{ob}/V_{oc} 也

越大,而当探测器替换为零偏压时,峰值响应波长大于 λ 的探测器,随着探测器上反偏压的增大,探测器的F-K效应越强,探测器峰值响应波长更加远离激光波长,则 V_{ob}/V_{oc} 越小,由此可知,在确定光源波长和强度的情况下, V_{ob}/V_{oc} 值可以用来表征探测器F-K效应有效强度的强弱,这也是建立以下测量系统的原理。我们用波长为 $10.6\mu\text{m}$ 的 CO_2 激光器作为光源,对零偏时峰值响应波长在 $10.6\mu\text{m}$ 附近的97F-3⁺(HgCd)Te探测器和97S-72⁺(HgCd)Te探测器进行F-K效应有效强度的测量,其中,前者零偏峰值响应波长为 $9\mu\text{m}$,后者零偏峰值响应波长为 $12\mu\text{m}$ 。

2 测量装置

(HgCd)Te探测器F-K效应有效强度的测量系统如图2。图中光源是型号HD-42的 CO_2 激光器,其波长为 $10.6\mu\text{m}$ 。斩波器用来实现对连续光的调制,同时降低探测器的输入噪声。锗透镜透射率较高的谱段为 $5.5\sim 10.6\mu\text{m}$,使用它既可通过 $10.6\mu\text{m}$ 的激光,又要滤去其它波长杂散光对系统的干扰,并且当锗透镜在光学平台上移动时,可以通过光敏面相对于透镜焦点的移动模拟强度连续变化的光源。锁相放大器是专门用探测微弱信号的仪器,它最终输出一个与被测信号成正比的直流电压。图2中偏压控制电路用来控制和调节加在(HgCd)Te探测器上的反偏压,液氮用来降低(HgCd)Te探测器热噪声,水泵用来提供二氧化碳激光器的冷却水,它与激光电源能确保二氧化碳激光器正常工作。

当系统工作时,激光器发出的激光束首先经斩波器调制,然后经锗透镜发散,再由定向反射镜反射到(HgCd)Te探测器的光敏面上,(HgCd)Te探测器产生的光电信号进入锁相放大器,通过锁相放大器即可读出(HgCd)Te探测器输出的信号值。

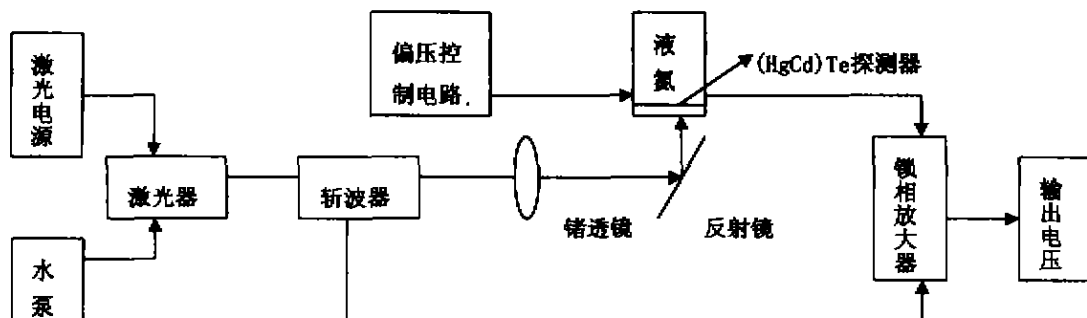


图2 测量装置图

Fig. 2 Experimental setup

3 测量结果

利用前文的实验系统,我们作了以下实验:(1)保持 97F-3[#] (HgCd) Te 探测器光敏面入射光强不变,逐渐增大探测器上反偏压 V_b ,比较 (HgCd) Te 探测器在反偏时输出信号 V_{ob} 和零偏时输出信号 V_{oz} 之比 $K=V_{ob}/V_{oz}$; (2)保持 97F-3[#] (HgCd) Te 探测器的反偏压 V_b 不变,改变探测器光敏面上的入射光强 I_s ,比较 (HgCd) Te 探测器在反偏时输出信号 V_{ob} 和零偏时输出信号 V_{oz} 之比 $K=V_{ob}/V_{oz}$; (3)保持 97S-72[#] (HgCd) Te 探测器光敏面入射光强不变,逐渐增大探测器上反偏压 V_b ,比较 (HgCd) Te 探测器在反偏时输出信号 V_{ob} 和零偏时输出信号 V_{oz} 之比 $K=V_{ob}/V_{oz}$.

具体实验结果如图 3 所示.

由图 3 和图 5 可知,对于零偏压时峰值响应波长小于 $10.6\mu\text{m}$ 的 (HgCd) Te 探测器,其反偏输出信号与零偏输出信号之比随着反偏压的增大而增大;而对于零偏压时峰值响应波长大于 $10.6\mu\text{m}$ 的 (HgCd) Te 探测器,其反偏时输出信号与零偏时输出信号之比随着反偏压的增大而减小,这与前面的理论预计相符.图 4 说明了当对探测器施加固定的反偏压时,改变探测器光敏面上的光强, V_{ob}/V_{oz} 基本保持一恒定值,这反映了在固定反偏压下,由 F-K 效应引起的 (HgCd) Te 探测器响应波长的偏移量 $\Delta\lambda$ 基本为一定值,这与式(3)的理论推导也吻合.

实验中应注意以下几点:(1)光源波长应靠近探测器零偏时的峰值响应波长,这样才能满足 F-K 效应理论上要求的材料截止波长;(2)对探测器施加的反偏压应小于探测器的反向击穿电压;(3)对于不同的探测器,其光谱响应曲线不同,相同的 V_{ob}/V_{oz} 所对应的波长偏移量也可能不同.

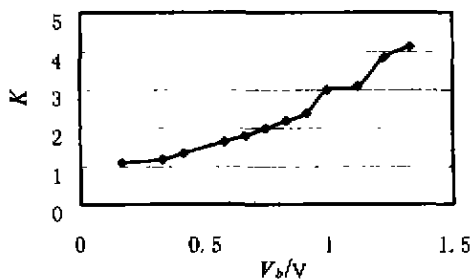


图 3 反偏压变化时 V_{ob}/V_{oz} 的输出 (97F-3[#])
Fig. 3 Output of V_{ob}/V_{oz} at different bias voltages (97F-3[#])

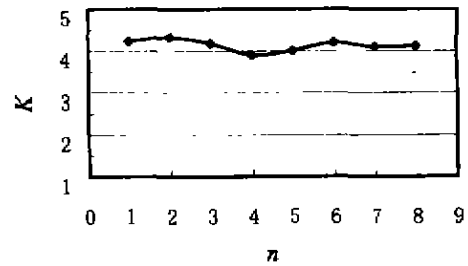


图 4 光强变化时 V_{ob}/V_{oz} 的输出 (97F-3[#])
Fig. 4 Output of V_{ob}/V_{oz} at different laser intensity (97F-3[#])

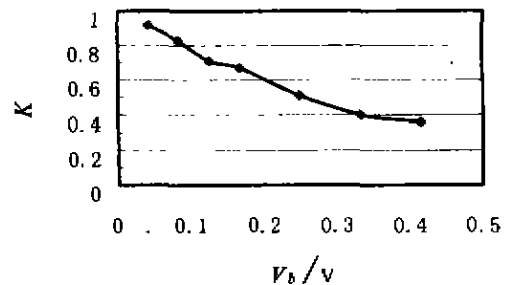


图 5 反偏压变化时 V_{ob}/V_{oz} 的输出 (97S-72[#])
Fig. 5 Output of V_{ob}/V_{oz} at different bias voltages (97S-72[#])

4 结论

考虑到 (HgCd) Te 晶体内部不均匀的载流子分布、p-n 结内部不均匀的电场以及材料工艺和 (HgCd) Te 探测器响应曲线等因素的影响, (HgCd) Te 探测器反偏时输出信号与零偏时输出信号之比与波长的偏移量并没有绝对的线性关系. 但由实验可知,外加电场使 (HgCd) Te 探测器的输出发生了变化,并且这个变化趋势与前面讨论的结论一致.由此可见,使用 (HgCd) Te 探测器反偏时输出信号和零偏时输出信号之比在一定的条件下可以表征 (HgCd) Te 探测器 F-K 效应的有效强度,这在实际工作应用中具有更为直接现实的意义.

REFERENCES

- [1] Hunsperger. *Integrated Optics: Theory and Technology*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1984, Ch. 15; 261—262
- [2] YE Yu-Tang, LI Jia-Xu, HONG Yong-He, et al. Photon absorption coefficient and the Franz-Keldysh shift of cutoff wavelength for (HgCd) Te detectors. *J. Applied Science* (叶玉堂, 李家旭, 洪永和, 等. (HgCd) Te 探测器的光吸收系数对其有效的 Franz-Keldysh 偏移的影响. *应用科学学报*), 1997, 9: 279—283