

文章编号 : 0253-2239(2002)03-0347-04

(HgCd)Te 探测器 - 光吸收系数控制器组件的实验研究*

李正东** 叶玉堂 李家旭 舒海洪 何琳玲 李德智

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

摘要: (HgCd)Te 探测器具有较为明显的弗兰兹-凯尔迪什效应, 且其弗兰兹-凯尔迪什效应有效强度的强弱与 (HgCd)Te 探测器的外加偏压有关。据此制作了 (HgCd)Te 探测器的光吸收系数控制器, 并用 (HgCd)Te 探测器和光吸收系数控制器组成一个组件, 实验证明了该组件既能提高输出信号, 又能实现强光保护, 这在实际应用中具有一定的价值。

关键词: (HgCd)Te 探测器; 弗兰兹-凯尔迪什效应; 光吸收系数控制器

中图分类号: TN214 文献标识码: A

(HgCd)Te 探测器是一种较为重要的光子探测器, 它不但探测率高、响应速度快, 而且还具有较为明显的弗兰兹-凯尔迪什 (Franz-Keldysh, 简称 F-K) 效应。本文对 (HgCd)Te 探测器弗兰兹-凯尔迪什效应有效强度的表征方法进行了研究, 研制了 (HgCd)Te 探测器的光吸收系数控制器, 并对由 (HgCd)Te 探测器和光吸收系数控制器组成的组件进行了实验研究, 取得了较为满意的结果。

1 (HgCd)Te 探测器及其弗兰兹-凯尔迪什效应

弗兰兹-凯尔迪什效应是由 Franz 和 Keldysh 两位学者在 1958 年提出的^[1], 它是指当一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。其物理原因是: 当对半导体材料施加反偏压时, 由于耗尽区的载流子浓度较低, 反偏压就施加在耗尽区两侧, 从而在极窄的耗尽区内产生了强电场, 使耗尽区内的能带发生强烈的弯曲。这种情况下, 耗尽区内的价带电子能够吸收能量小于禁带宽度的光子进入一亚稳态, 然后再通过量子隧道效应进入导带^[2]。显然, 这样发生的跃迁过程所需要的光子能量可以小于禁带宽度, 这等效于材料的吸收光谱向长波方向偏移。且在一定的范围内, 外加

电场越强, 耗尽区能带的弯曲程度越剧烈, 价电子通过隧道效应进入导带的几率就越大, 弗兰兹-凯尔迪什效应的强度越强。为方便起见, 可用图 1 示意说明 (HgCd)Te 探测器的弗兰兹-凯尔迪什效应^[3]。

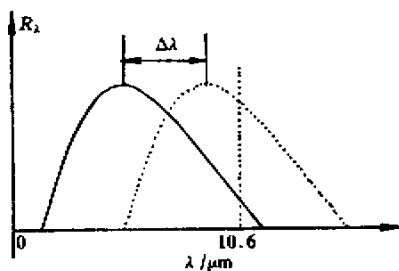


Fig. 1 Schematic of F-K effect

图 1 中 λ 为光源波长, R_λ 为探测器的响应率, 实线和虚线分别代表材料在零偏压和反偏压时的光谱响应曲线, $\Delta\lambda$ 则代表由弗兰兹-凯尔迪什效应导致的 (HgCd)Te 探测器响应波长的偏移量。弗兰兹-凯尔迪什效应相应的理论表达式推导如下:

$$\text{由 } E_g = h\nu = hc/\lambda, \quad (1)$$

$$\text{可得 } \Delta\lambda = -(hc/E_g^2)\Delta E_g. \quad (2)$$

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^[4]

$$\Delta E_g = -\frac{3}{2}(m^*)^{-1/3}(qhE)^{2/3}, \quad (3)$$

因此有^[5]

$$\Delta\lambda = -\frac{3}{2}\frac{hc}{E_g^2}(m^*)^{-1/3}(qhE)^{2/3}, \quad (4)$$

式中 m^* 为电子有效质量, q 为电子电荷量, $\hbar =$

* 国防科工委“九·五”预研基金资助课题。

** 现联系地址 四川绵阳科学城 3-34-1-202 信箱 621900。

收稿日期 2000-12-25; 收到修改稿日期 2001-05-14

$h/2\pi \hbar$ 为普朗克常数, E 为材料内部电场强度, $\Delta\lambda$ 为 (HgCd)Te 探测器的响应波长偏移量。由 (4) 式可知, 材料弗兰兹-凯尔迪什效应的强度与材料中电子的有效质量、禁带宽度和材料内部的场强有关。对常用的组份系数为 0.2、工作温度为 77 K 的 (HgCd)Te 探测器而言, 材料禁带宽度较小, 约为 0.124 eV, 材料电子有效质量也仅为 $0.01m_0^{[4]}$, 其中 m_0 为电子静止质量, 这样不难预计 (HgCd)Te 探测器具有较为明显的弗兰兹-凯尔迪什效应。

根据弗兰兹-凯尔迪什效应理论, 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 (4) 式可知, 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, 而吸收波长的移动又导致探测器光谱响应率的改变。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弗兰兹-凯尔迪什效应的响应波长偏移量导致探测

器输出电压的改变, 如图 1 所示。这样在固定光源波长和强度的情况下, 对零偏压峰值响应波长小于辐照光波波长的 (HgCd)Te 探测器而言, 可用探测器反偏输出信号与零偏输出信号的比值 V_b/V_z 来表征探测器弗兰兹-凯尔迪什效应有效强度的强弱。

图 2 是编号为 97F-2[#] (HgCd)Te 探测器弗兰兹-凯尔迪什效应的实验装置, 图中 (HgCd)Te 探测器零偏峰值响应波长为 $9 \mu\text{m}$, 光源是型号为 HD-42 的 CO₂ 激光器, 波长为 $10.6 \mu\text{m}$, 斩波器用来实现对连续光的调制, 同时又降低 (HgCd)Te 探测器的输入噪声。锗透镜既可通过 $10.6 \mu\text{m}$ 的激光, 又可滤去其它波长杂散光对系统的干扰, 通过改变透镜和反射镜之间的距离可调节探测器光敏面上的光强。锁相放大器用来放大微弱信号, 它输出一个与被测信号成正比的直流电压, 手动偏压控制电路则用来控制 and 调节加在 (HgCd)Te 探测器上的反偏压。

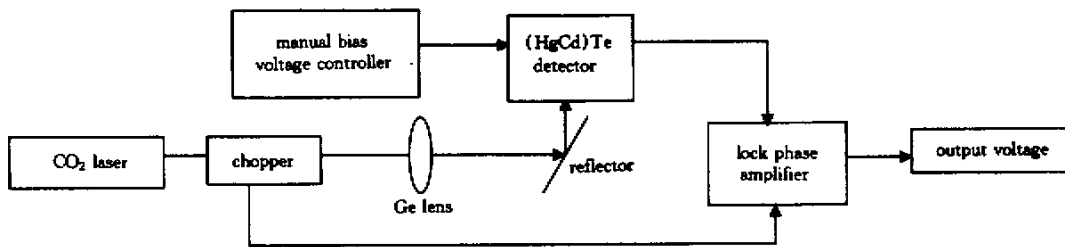


Fig.2 F-K effect experimental setup

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。具体实验结果如图 3 所示。

探测器光敏面上的入射光强 I_n 时 (HgCd)Te 探测器的 V_b/V_z 基本保持不变。由此可知, 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, 其反偏时输出信号与零偏时输出信号之比随着反偏压的增大而增大; 当对 (HgCd)Te 探测器施加固定的反偏压时, V_b/V_z 基本保持一恒定值, 这与前面理论推导也相吻合。

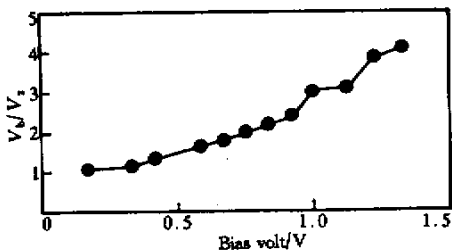


Fig.3. V_b/V_z at different bias volt(97F-3[#])

图 3 说明若保持 97F-3[#] (HgCd)Te 探测器光敏面入射光强不变, 逐渐增大探测器上的反偏压 V_{bias} 时 (HgCd)Te 探测器的 V_b/V_z 也逐渐增大。若用 n 表示探测器光敏面光强改变的次数, 用 I_n 表示第 n 次实验探测器光敏面上的光强, 图 4 说明若保持 97F-3[#] (HgCd)Te 探测器的反偏压 V_{bias} 不变, 改变

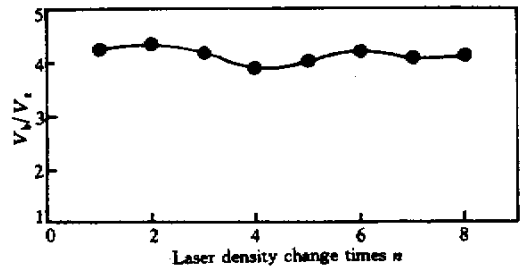


Fig.4. V_b/V_z at different laser intensity(97F-3[#])

2 (HgCd)Te 探测器光吸收系数控制器

由前面的讨论可知, 一个成型的 (HgCd)Te 探

测器,其弗兰兹-凯尔迪什效应强度除了与材料中的 m^* 和内部因素 E_g 有关外,还与可控的外部因素,即外加偏压有关。一定程度上,外加偏压越大,探测器响应波长的偏移量越大,探测器光吸收系数的改变量越大;反之,探测器响应波长的偏移量越小,探

测器光吸收系数的改变量则越小。所以通过调节 (HgCd)Te 探测器反偏压的大小,也可改变该探测器光吸收系数。探测器光吸收系数控制器正是基于这一原理设计的,其组成如图 5 所示。

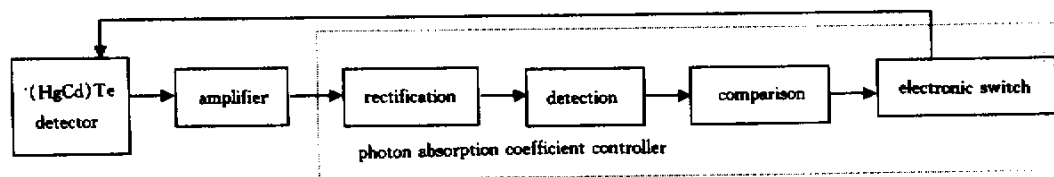


Fig. 5 Schematic of photo absorption coefficient controller

图中放大部分对 (HgCd)Te 探测器输出的微弱光电信号进行放大,整流部分将负半轴的信号进行倒相,以此降低包络检波电路对阻容元件的要求,包络检波部分取出信号的包络以供比较,滞回比较部分^[6]参照两个预先设定的保护阈值和恢复阈值,针对不同时刻、不同幅度的信号输出电子开关的控制信号,电子开关输出或撤掉一个可以调节的施加在 (HgCd)Te 探测器上的反偏压。

对于零偏峰值响应波长小于激光光源波长的 (HgCd)Te 探测器,光吸收系数控制器的工作原理为:当光源强度较弱时,放大器输出的光电信号也较小,滞回比较电路输出的控制信号接通电子开关对探测器施加反偏压,这样通过 (HgCd)Te 探测器吸收波长向长波方向的移动,提高探测器的光吸收系数。当光源强度增加到超过阈值时,放大器输出的光电信号超过滞回电路设定的保护阈值时,它输出的控制信号将断开电子开关,撤掉加在探测器上的

反偏压,使 (HgCd)Te 探测器的吸收波长返回原来的状态,这时探测器对强激光光源的吸收系数大幅度降低,这样便实现了保护探测器的目的。当光源强度再次减少,放大器输出的光电信号低于滞回电路设定的恢复阈值时,它输出的控制信号再次接通电子开关。如此反复,既有利于提高探测器的输出,又不至于损伤探测器。

需要指出的是,在设计电路时要参考外加偏压,注意恢复阈值和保护阈值的设置以避免探测器在保护和恢复两种状态之间进行振荡。

3 (HgCd)Te 探测器-光吸收系数控制器组件的实验研究

我们用 97F-3[#] (HgCd)Te 探测器和图 5 所示的光吸收系数控制器组成了组件,并用如图 6 所示的系统对该组件进行了强光防护的研究。

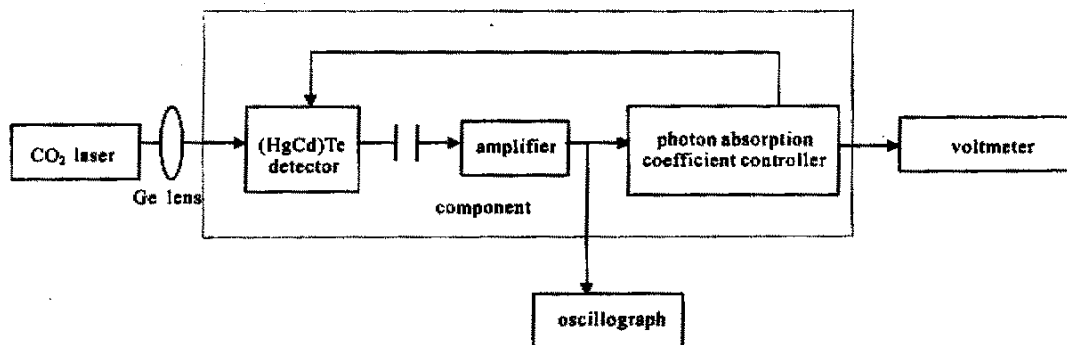


Fig. 6 Experimental diagram of the component

图中电压表用来显示探测器上施加的反偏压,示波器用来显示探测器的输出信号。具体实验结果如下:

1) 弱光时的情况

在光学平台上移动透镜,示波器所示的信号幅度随之改变,只要信号幅度不超过 8 V,那么,并联

在 (HgCd)Te 探测器两端的电压表上的指数显示为恒定的 0.8 V。这对应在光源为弱激光时,通过探测器的弗兰兹-凯尔迪什效应提高探测器光电信号输出的情况。

2) 强光时的情况

调节透镜的位置,增强 (HgCd)Te 探测器光敏

面上的光强,当示波器显示的信号幅度一超过保护阈值 8 V 时,并联在(HgCd)Te 探测器两端的电压表的指数马上减为零伏。这对应着当光强超过阈值时,撤掉探测器上的反偏压,结合探测器在零偏时的光谱曲线,可知此时探测器对于光源波长的吸收系数较小,大部分光能被探测器的基底材料吸收,达到保护探测器的目的。此后,移动透镜改变激光强度,只要保证示波器显示屏上的电压信号幅度不小于恢复阈值 2 V,指示探测器两端电压值的电压表就保持为零伏不变。

3) 弱光恢复时的情况

移动透镜使示波器显示的电压信号幅度小于 2 V 时,指示(HgCd)Te 探测器两端的电压值的电压表指数又变为 0.8 V。这对应着光源强度降低到恢复阈值时,自动对探测器施加反偏压,通过弗兰兹-凯尔迪什效应提高探测器输出的光电信号。此后改变透镜位置,只要示波器显示屏上的信号幅度不超过 8 V,指示探测器两端电压值的电压表指数就保持 0.8 V 不变。这种情况就是 1)所述的情况。

由此可见,该组件已经具有自动调节探测器光吸收系数的能力。

结论 通过实验研究,证明了(HgCd)Te 探测器-光吸收系数控制器组件初步具有强光辐照时自动改变光吸收系数的功能,但是光吸收系数控制器还存在

着一些缺陷。如光吸收系数控制器中的包络检波不适于高速要求,光吸收系数控制器保护阈值和恢复阈值没有完全分离,二者相互牵制,控制器的数字成分较少,抗干扰能力差等。若采用更完善的电路设计,使电路的响应时间大大小于探测器损伤时间,可以提高该组件的性能。从而既有利于增大探测器信号的输出,又有利于探测器的激光防护。

参 考 文 献

- [1] Hunsperger G R. *Integrated Optics: Theory and Technology*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1984. Chap. 15 261~262
- [2] Liu Enke, Zhu Bingsheng, Luo Jinsheng. *Semiconductor Physics(半导体物理学)*. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Publishing House, 1992. 261(in Chinese)
- [3] Wang Qingzheng, Hu Yu, Ling Chongjie. *Photo-Electricity Detect Technology(光电探测技术)*. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 1989. 18~21(in Chinese)
- [4] Ye Yutang, Li Jiayu, Hong Yonghe. Photon absorption coefficient and the Franz-Keldysh shift of cutoff wavelength for (HgCd)Te detectors. *J. Appl. Science(应用科学学报)*, 1997, 15(3) 279~283(in Chinese)
- [5] Ye Yutang, Luo Jiyuan, Li Jiayu. Photon absorption coefficient and the Franz-Keldysh shift of cutoff wavelength for mercury cadmium telluride detectors. *Appl. Opt.*, 1997, 36(12) 2448~2451
- [6] Tong Shibai. *Technology Foundation of Analog Electronic(模拟电子技术基础)*, Beijing: Tsinghua University Press, 1992. 356~478(in Chinese)

Experimental Study of (HgCd)Te Detectors with Photon Absorption Coefficient Controller

Li Zhengdong Ye Yutang Li Jiayu Shu Haihong He Linling Li Dezhi

(Department of Optoelectronic Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

(Received 25 December 2000; revised 14 May 2001)

Abstract: (HgCd)Te detectors have strong Franz-Keldysh (F-K) effect and the effective intensity of F-K effect of the (HgCd)Te detector has close relation to bias voltage. According to this principle, electronic circuit of controlling (HgCd)Te detector's photon absorption coefficient has been designed and fabricated. Experimental results show that the module composed of a photon absorption coefficient controller and (HgCd)Te detectors can meet the needs of practical application in some extent.

Key words: (HgCd)Te detector; Franz-Keldysh effect; photo absorption coefficient controller