

(HgCd)Te 探测器峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移*

叶玉堂 李家旭** 洪永和 李忠东

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

程 进 赵举廉

(昆明物理研究所, 昆明 650223)

摘 要 对(HgCd)Te 探测器峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移进行了实验研究。实验结果表明, 在强电场中, (HgCd)Te 具有很强的 Franz-Keldysh 效应, 因而可能导致光吸收峰值波长向长波长方向的明显偏移。

关键词 Franz-Keldysh 效应, (HgCd)Te 探测器, 10.6 μm CO₂ 激光器。

1 引 言

由于 Franz-Keldysh 效应, 绝缘体和半导体的光吸收边会在电场作用下移向较低的光子能量, 或者说峰值波长 λ_p 会移向较长的波长。绝缘体、半导体材料的 Franz-Keldysh 效应可用于特殊光电器件、电光调制、集成光学等高新技术领域^[1~4], 因此, 人们已对 Si、Ge、CdS、GaAs 等多种材料的 Franz-Keldysh 效应进行了广泛的研究^[5~7]。为了提高探测器抗 10.6 μm CO₂ 致盲激光的能力, 必须了解(HgCd)Te 探测器在强电场作用下可能产生的峰值波长偏移量 $\Delta\lambda_p$, 进而研制零偏压时峰值波长准确地等于 $(10.6 - \Delta\lambda_p)$ 的探测器。为此, 作者对(HgCd)Te 探测器所能承受的最高反向电压及其在强电场中峰值响应波长的偏移量进行了实验研究。本文首先测定了(HgCd)Te 探测器所能承受的最高反向偏压, 然后测定了(HgCd)Te 探测器在不同偏压的光谱响应曲线, 进而确定其峰值波长的 Franz-Keldysh 偏移。

2 (HgCd)Te 探测器所能承受的最高反向偏压

据量子力学理论, 可以导出在电场作用下半导体材料禁带宽度 E_g 的变化量^[8]

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

式中 m^* 为电子有效质量; q 为电子电荷量; \hbar 为普朗克常数除以 2π ; E 为外加电场强度。上式

* 本课题由国防科工委资助。

** 现在通讯地址: 中山大学, 广州 510275。

收稿日期: 1995年1月16日; 收到修改稿日期: 1995年6月5日

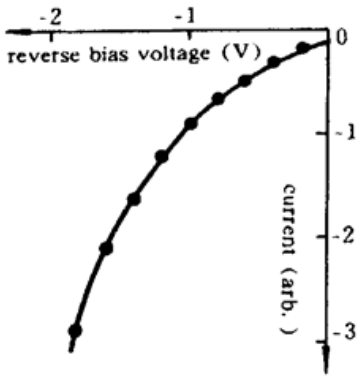


Fig. 1 V - I curve of the (HgCd)Te detector

表明，电场越强， ΔE_p 就越大，这意味着探测器峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移量也就越大。但过强的电场会引起雪崩击穿，使探测器受到灾难性损伤。显然，为充分应用 (HgCd)Te 的 Franz-Keldysh 效应使其产生尽可能大的峰值波长偏移，必须了解其所能承受的最高电场强度。就光伏 (HgCd)Te 探测器而言，PN 结耗尽层内、外区域所能承受的电场强度差异很大，加之耗尽层宽度等参数的离散，直接测定探测器各区域所能承受的最高电场强度是比较困难的，而且实际上通常总是用改变偏压的方法控制施加在探测器上的电场强度，因此，本文实验中也改而测定探测器所能承受的最高反向偏压，

而不测定其所能承受的最高电场强度。

实验用测定探测器 V - I 曲线的方法测定探测器所能承受的最高反偏压，其结果示于图 1。如图 1 所示，当偏置电压到 -2 V 时，已明显进入击穿区，为安全计，实际使用的反向偏压应控制在 -2 V 之内。

3 峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移

实验用图 2 所示的装置测定 (HgCd)Te 探测器在强电场作用下峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移 $\Delta\lambda_p$ 。

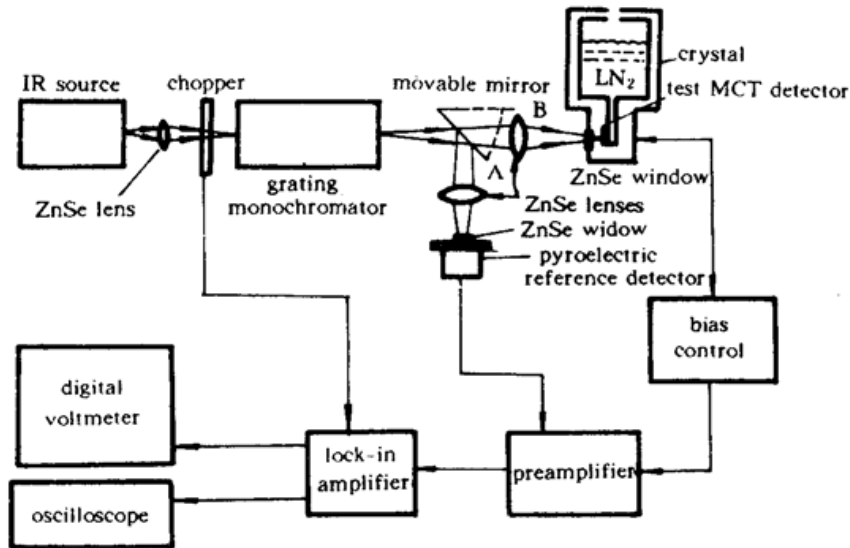


Fig. 2 Spectral response measurement apparatus

该装置与一般 (HgCd)Te 探测器光谱响应率测试装置基本相同，也具有宽谱红外源、聚焦透镜、光调制盘、单色仪、反射镜、参考探测器、待测 (HgCd)Te 探测器和前置放大器。不同的是本实验加有偏压控制，其目的是通过探测器偏置电压的控制改变加在探测器 (HgCd)Te 晶体上的电场强度。红外源提供本实验所需的波长范围的红外辐射，该辐射经调制盘调制后送入单色仪。反射镜 M 的作用是控制单色仪出射光的方向，在实线所示位置 A 时单色仪出射光经 M 反射到参考探测器，M 移到虚线位置 B 时，光线直接进入待测 (HgCd)Te 探测器。每一个探测器都有其自己的透镜以会聚单色仪的出射光。与常规光谱响应率的测试方法一样，在一定波长范围内选定若干个测试点(波长)在相同入射功率的条件下，分别测量参考探

测器和测试样品的输出信号经前置放大、锁相放大之后的输出电压 $V_r(\lambda)$ 和 $V_i(\lambda)$ ，记相应的光谱响应率为 $R_r(\lambda)$ 和 $R_i(\lambda)$ ，不难得出

$$R_i(\lambda) = \frac{V_i(\lambda)}{V_r(\lambda)} R_r(\lambda) \quad (2)$$

参考探测器光谱响应率通常是已知的，因此，由(2)式和测出的 $V_r(\lambda)$ 、 $V_i(\lambda)$ 很容易求出样品的光谱响应曲线 $R_i(\lambda)$ 。本实验与常规光谱响应曲线的测试方法不同的是，常规方法只测探测器在某一特定偏压时的光谱响应曲线，本文的目的是要测定(HgCd)Te 探测器峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移，因此，需用偏压控制电路控制探测器的外加电场强度，并分别测试探测器在不同偏压时的光谱响应曲线，进而确定其 $\Delta\lambda_p$ 。

ZnSe 对波长为 5.5~20 μm 的红外光透过率较高，对 $\lambda < 5 \mu\text{m}$ 的光透过率相当低，故 L_1 的作用除对 10.6 μm 附近的远红外光起会聚作用、提高输出信号的信噪比之外，还阻止可见光的通过，避免高级次衍射的可见光对测试结果的影响。

光调制盘必须置于单色仪之前，这是因为室温物体辐射的峰值波长也在 10 μm 附近，而红外辐射源发出的红外光经单色仪之后很弱(因为单色仪允许通过的波长范围很窄)，因而由单色仪的输出孔等背景发出的宽带远红外辐射可能比红外辐射源发出的通过单色仪的远红外光还强。将调制盘置于单色仪之前，可以保证只有通过单色仪的光才被调制，单色仪的输出孔等背景产生的辐射都未被调制，其相应的电信号为直流信号，很容易用隔直电容滤掉。

本实验实际测定了一只(HgCd)Te 探测器峰值响应波长的 Franz-Keldysh 偏移。保持环境温度、致冷条件、红外源温度等测试条件完全相同，只改变探测器偏压，对同一只探测器，分别测定其不同偏压时的光谱响应。测试结果如图 3 所示。图中曲线 I、II、III 分别相应于探测器反偏电压 V_0 为 0 V、-0.7 V、-1.9 V 时的光谱响应曲线。不难看出，当 $V_0 = -1.9 \text{ V}$ 时，峰值波长的 Franz-Keldysh 偏移 $\Delta\lambda_p$ 约 0.2 μm 。这一测试结果表明，(HgCd)Te 探测器的峰值响应波长存在明显的 Franz-Keldysh 偏移。作者对 $\Delta\lambda_p$ 进行过粗略的理论估算，其值可能达到约 1 μm 。实测的偏移量较理论估算值要小，这可能有多方面的原因，作者认为其中一个重要原因是探测器中有一些产生光电流的区域未加上强电场。在探测器 P-N 结耗尽区之外与耗尽层边界距离小于相应少数载流子扩散长度的区域内，光生电子-空穴对都可能对光电流作贡献，但即使在高反压情形，这些区域的电场也还是相当弱，因而，这些区域的光吸收边受所加偏置电压的影响比较小，在加偏置电压前后，这些区域的峰值吸收波长变化不大，只有耗尽层才有较强的电场，相应地峰值波长也才会产生较明显的 Franz-Keldysh 偏移，而本实验中测定的是整个(HgCd)Te 探测器在加高反偏压前后峰值响应波长的总体变化，显然，非耗尽区部分的影响将使(HgCd)Te 探测器加高反偏压后峰值波长的 Franz-Keldysh 偏移相对理论估算值偏小。

结 论 本实验实际测定了(HgCd)Te 探测器在强电场作用下由于 Franz-Keldysh 效应引起的峰值响应波长偏移 $\Delta\lambda_p$ ，结果表明，(HgCd)Te 探测器可以在强电场作用下产生相当强的

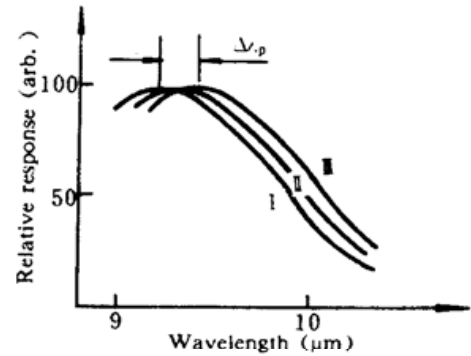


Fig. 3 Franz-Keldysh shift of the wavelength of peak response

Franz-Keldysh 效应。在强电场作用下,探测器的峰值波长会产生相当大的偏移,达 $0.2 \mu\text{m}$ 。最后对实测 $\Delta\lambda_p$ 偏小的原因进行了简单的分析。

电子科技大学朱大勇教授、余学才讲师、昆明物理所的冯文清教授、魏建华高级工程师、肖绍泽高级工程师、王玉琴高级工程师、庄继胜工程师、陈淑英技师等曾给本课题的研究以测试设备、实验技术各方面的支持与帮助,电子部天津 46 所的姜永国同志曾参与本课题的研究,谨此一并表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] R. G. Hunsperger, Monolithic dual mode emitter-detector terminal for optical waveguide transmission lines, U. S. Patent, 1976, No. 3952265
- [2] Andrea Frova, Paul Handler, Franz-Keldysh effect in the space-charge region of a germanium P-N junction. *Phys. Rev. (A)*, 1965, **137**(6): 1857~1861
- [3] S. Wadekar, E. Armour, M. Donhowe *et al.*, Design and fabrication of a dual mode laser/detector diode. *Proc. SPIE*, 1989, **994**: 133~140
- [4] H. Lemme, Integrated optics-signal of the future. *Elektronik*, 1989, **38**(10): 106~120
- [5] T. S. Moss, Optical absorption edge in GaAs and its dependence on electric field. *J. Appl. Phys.*, 1961, **32**(10): 2136~2139
- [6] E. G. S. Paige, H. D. Rees, Absorption edge of GaAs and its dependence on electric field. *Phys. Rev. Lett.*, 1966, **16**(11): 444~446
- [7] David Redfield, Effect of charged surface on the optical absorption edge. *Phys. Rev. (A)*, 1965, **140**(6): 2056~2058
- [8] R. G. Hunsperger, *Integrated Optics: Theory and Technology*, Second edition, New York, Springer-Verlag, 1984: 128~261

Franz-Keldysh Shift of the Wavelength of Peak Response of (HgCd)Te Photodetectors

Ye Yutang Li Jiayu Hong Yonghe Li Zhongdong

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

Chen Jing Zhao Julian

(*Kunming Institute of Physics, Kunming 650223*)

(Received 16 January 1995; revised 5 June 1995)

Abstract The Franz-Keldysh shift of the wavelength of peak response of (HgCd)Te detectors has been investigated experimentally. Our experimental measurements show that the Franz-Keldysh effect does have significant strength in (HgCd)Te and may lead to a considerable shift of the optical absorption edge toward the longer wavelength in a strong electric field.

Key words Franz-Keldysh effect, (HgCd)Te detector, $10.6 \mu\text{m}$ CO₂ laser.