

同时测量光电导响应和少子寿命分布的两个 半导体激光器的组合使用

茅文英 褚君浩

(中国科学院上海技术物理所 红外物理国家重点实验室, 上海 200083)

李言谨 王子孟 方家熊

(中国科学院上海技术物理所, 上海 200083)

提要 介绍使用两个红外半导体激光器,一束为可调谐 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 激光,另一束为 $\text{GaAs}/\text{GaAlAs}$ 激光,经光学系统均会聚成 $\phi 250\ \mu\text{m}$ 的小光点,且将二光斑成象在同一位置上,实验测量了光斑的尺寸,最后用此光学系统研究了窄禁带半导体 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的稳态光电导响应和少子寿命分布。

关键词 半导体激光, HgCdTe , 光电导响应, 少子寿命

1 引言

碲镉汞(MCT)是一种广泛使用的红外探测器材料,单元器件的探测率已达到背景极限,线列器件及焦平面器件的研制也获得了很快的发展。研制这些器件需要晶体结构、组分、电学、光学等参数均匀的大面积晶片,然而 MCT 组分均匀的控制是相当困难的,因此建立和发展 MCT 晶片均匀性的测试和分析技术越来越重要了。例如用光电导衰退法测 MCT 的体寿命和表面复合速度分布^[1],用氦离子激光束感应电流探测 MCT 材料的电活性缺陷分布^[2]等。

本文介绍一种新的方法,同时测量稳态光电导响应分布和与之对应的少子寿命分布。稳态光电导响应是反映探测器性能优劣的重要参数,它与材料的光吸收系数、量子效率、迁移率以及少子寿命等参数有关,光吸收系数和量子效率是表征光和物质的相互作用,决定着光生载流子的激发过程,而迁移率和少子寿命则表征载流子与物质之间的相互作用,决定着载流子运动和非平衡载流子的复合过程。少子寿命一贯被认为是表征材料的品质因子之一,它不仅与平衡载流子有关,更与复合机构有关。为此选择这两个参数对 MCT 均匀性进行研究,这对生长优质 MCT 材料,研制多元线列器件及大面积焦平面器件的研制是有实用意义的。

为了测量这两个参数在 MCT 晶片上的一一对应分布,必须对晶片的位置进行绝对定标,然而 MCT 通常工作在低温杜瓦瓶中,光源又是不可见的红外光,因此绝对定标是相当困难的,为此使用了双光路法,只需将作为激励光的两束光调到同一点上,即可保证在同一点上测到二个参数,进而可获得二参数的一一对应分布。

2 实 验

实验装置如图 1,光源(1)为可调谐 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 激光,改变组分 x 可获得不同波长输出的激光器,波长复盖范围为 $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$,本工作使用波长为 $10 \sim 12 \mu\text{m}$,恰好在 MCT 通常的工作波段。激光器置于制冷机的冷头中,冷头的窗口为 KRS_5 ,激光在连续状态下工作,斩波器频率为 200 Hz ,用此光激发稳态光电导。

在小电场时,MCT 光电导的瞬态衰退过程是以体寿命为 τ 的指数过程,因此可用传统的光电导衰退法测少子寿命。图 1 中光源(2)为 GaAs/GaAlAs 脉冲激光,波长约为 $0.9 \mu\text{m}$,脉冲宽度 $\leq 100 \text{ ns}$,脉冲的上升及下降斜率大大小于 100 ns 。重复频率为 5 kHz ,用此光激发附加光生载流子,用光电导衰退法测少子寿命。 BS 为分束片,当入射角为 45° 时, BS 对中红外几乎全反射,对近红外约 70% 透过。光源(1)和光源(2)的两束光经光学系统聚焦成直径约 $250 \mu\text{m}$ 的小光点,且两光斑在同一点上,使用 x - y 精细调节架改变光点落在液氮杜瓦瓶中的样品上的位置。 200 Hz 的稳态光电导信号和 5 kHz 的瞬态信号均经 75 MHz 前置放大(EG&G MODEL 115),稳态光电导信号经锁相放大(EG&G 5101),最后用数字电压表读数,而瞬态响应的高频信号输入至 100 MHz 的示波器(TEKTRON * 7633),显示出光电导衰退曲线,取衰退到峰值 $1/e$ 点的时间作为少子寿命 τ 。

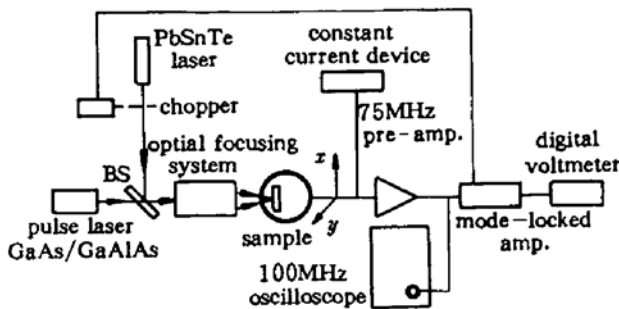


Fig. 1 Block diagram of the experimental setup

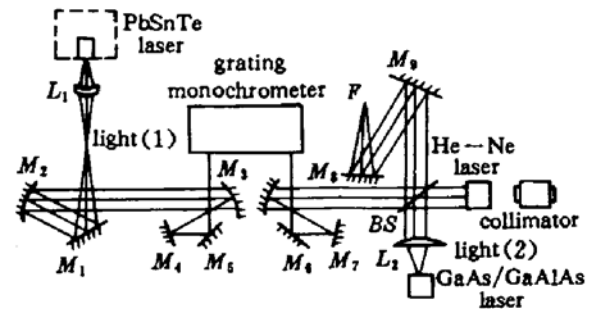


Fig. 2 Optical configuration

半导体激光的发散度较大,实验中使用的 GaAs/GaAlAs 激光水平方向的分散度为 $10^\circ \sim 20^\circ$,垂直方向分散度为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。半导体激光输出功率较小,鉴于上述两个特点,为了有效地利用光能,减少传输中的损失,必须尽快使其发散光变成平行光。示于图 2 中的透镜 L_1 (KRS_5) 和离轴抛物镜 M_2 将 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 输出的发散光变成平行光, $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 激光的可调谐性也带来了它的多模性,单色仪一方面起到选模作用,另一方面对输出激光波长定标。示于图 2 中的 L_2 (K9 玻璃),将 GaAs/GaAlAs 发散激光变成平行光。光源(1)和光源(2)的光经分束片 BS 后会合,两束光使用同一会聚系统,为了消除色散,使用涂金全反射系统,会聚反射镜用离轴抛物镜 M_{10} ,经光学系统后,两束光均会聚为约 $\phi 250 \mu\text{m}$ 的小光点。

整个光学系统的调整是比较复杂的,在调整中使用扩束为直径 $\phi 14 \text{ mm}$ 的 He-Ne 激光。首先将 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 激光与单色仪组成的光源(1)调好,将此平行光作为标准光束,标准的平行光经 M_{10} 聚焦到一点 F 上。第二步将扩束的 He-Ne 激光置于图 2 所示的位置上,此光经分束片 BS 反射及透镜 L_2 会聚到一点上,将 GaAs/GaAlAs 激光的芯片放在这一点上,此扩束的 He-Ne 的反射光经 BS 后再经 M_{10} 后会聚焦点 F' 点,调 GaAs/GaAlAs 激光的方位,直至将 F' 点和 F 点调到同一点上,经上述三步后可保证两光斑完全重合。

焦点 F 的确定借助于扩束的 He-Ne 激光作光源, He-Ne 激光置于标准平行光的位置上,将

刀口或狭缝置于 F 上,多次移动即可精确确定出焦点的位置。

使用图 3 所示的实验装置可测量光斑的大小。将光学狭缝置于焦点 F 上,碲镉汞探测器可同时探测到两束光的信号,用数字电压表读光束(1)的信号,用示波器的峰值代表光束(2)的信号大小,改变狭缝宽度测量输出信号,结果如下:

狭缝读数(mm)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.30	0.35
数字电压表读数(任意单位)	0.04	0.15	0.25	0.32	0.33	0.33
示波器峰值读数(任意单位)	1.35	2.1	2.6	3.2	3.5	3.6

从以上数据可以看出,在 $\phi 250 \mu\text{m}$ 内,两束激光均集中了约 80% 的能量。

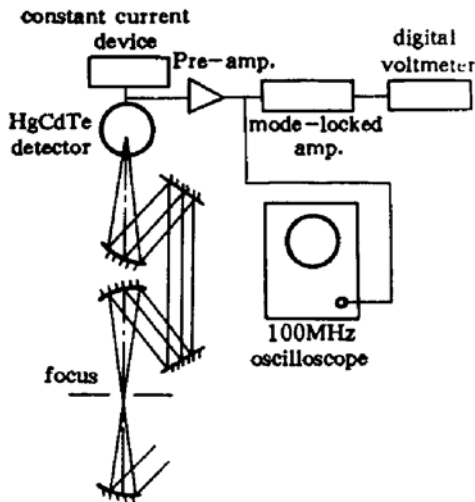


Fig. 3 Experimental arrangement for measuring infrared optical spots

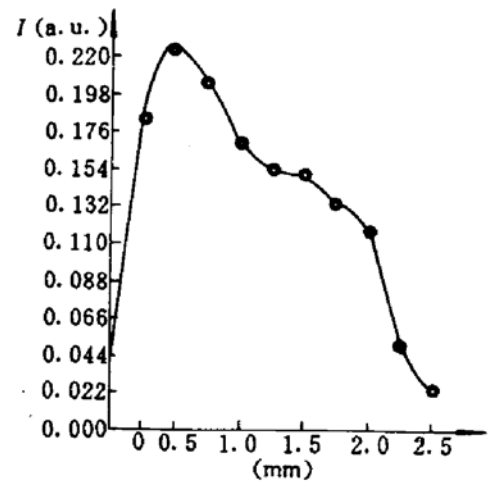


Fig. 4 Distribution of the stable-state photoconductive response along the x direction for sample $2.2 \times 2.2 \text{ mm}^2$ (HgCdTe)

从稳态光电导响应分布也可得出光斑尺寸约为 $\phi 250 \mu\text{m}$,使用图 1 所示的装置,测量 MCT 标准光导型样品的稳态光电导,样品尺寸为 $2.2 \text{ mm} \times 2.2 \text{ mm}$,置于液氮杜瓦瓶中,杜瓦瓶置于精密 $x-y$ 调整架上,固定 y 在某一位置,沿 x 方向扫描,可得光敏元在 x 方向的光电导响应分布,如图 4 所示。由图可看出,取达到光电导响应极大值的 20% 的点作为下线标准,从图可看出,光敏元的横向线度不大于 0.250 mm ,同样实验中测量得到,光敏元在 y 方向的光电导响应分布,也得出光斑的纵向尺寸不大于 0.250 mm 。

此外还使用了 $\phi 0.3 \text{ mm}$ 的小孔光阑又一次证实了光斑的尺寸,将 $\phi 0.3 \text{ mm}$ 小孔光阑置于精细的 $x-y$ 调整架上,调整架置于焦平面上,扫描光斑,监视两束光的电信号,当扫描到某一位置时,可得到两束光的电信号与没有放小孔光阑时完全一样,这说明光斑不大于 0.3 mm 。

3 结果与讨论

使用这一新方法,研究了 MCT 样品的单色光电导响应和少子寿命的一一对应分布^[3],实验表明,稳态光电导响应的均匀性大大低于少子寿命的均匀性,而且寿命均匀性好的样品,它的光电导响应并不见得好,这再一次说明,光电导响应尚与其它因素有关。

本文介绍了研究和测试 MCT 均匀性的新方法,它具有简单、直观的优点,可望对 MCT 的

均匀性作进一步的研究,此外在这一工作的基础上,作某些改进,可能开展更多的研究工作,例如红外烧孔光谱^[4]、非接触法测半导体少子寿命分布^[5]等等。

参 考 文 献

- 1 龚海梅. 碲镉汞表面与界面的研究. 中国科学院上海技术物理所博士论文, 1993
- 2 J. Bajai, L. O. Bubulac, P. R. Newman *et al.*. Spatical mapping of electrically active defects in HgCdTe using laser beam induced current. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1987, A5(5):3186
- 3 茅文英, 褚君浩, 李言谨 等. HgCdTe 的稳态光电导响应和瞬态响应分布研究. 红外与毫米波学报, 1994, 13:352
- 4 S. P. Love, K. Muro, R. E. Peale *et al.*. Infrared Spectral Hole burning of Sulfur-hydrogen deep donors in a Si:Ge crystal. *Phys. Rev. B*, 1987, 36:2950
- 5 Z. G. Ling, P. K. Ajmera. Measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity by infrared absorption due to pulse optical excitation. *J. Appl. Phys.* 1991, 69:519

Simultaneous Measurement of Profiles of the Stable-state Photoconductive Response and Minority Carrier Lifetime Using Two Semiconductor Lasers

Mao Wenying Chu Junhao

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,
Academia Sinica, Shanghai 200083)

Li Yanjin Wang Zimeng Fang Jiexiong

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai 200083)

Abstract This paper presents an infrared optical system. Two infrared optical beams, one of which is from a tunable $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ diode laser, and the other from a pulsed GaAs/GaAlAs diode laser, were focused at the same spot of a sample. The dimension of the infrared spot was measured to be about 250 μm in diameter. The profiles of the stable-state photoconductive response and the minority carrier lifetime of a narrow band $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ were studied.

Key words semiconductor laser, mercury cadmium telluride, photoconductive response, minority carrier lifetime