

文章编号: 0253-2239(2003)05-0622-05

1.319 μm 连续波激光辐照 PV 型 HgCdTe 探测器的 实验研究*

程湘爱 陆启生 马丽芹 王睿 李修乾 何锋 李文煜 江厚满

(国防科技大学理学院, 长沙 410073)

郭东升

(Department of Physics, Southern University and A & M College, Baton Rouge, LA 70813 USA)

摘要: 用连续波 1.319 μm 激光辐照 PV 型 HgCdTe 红外探测器,得到了不同辐照功率密度下,探测器的响应输出随激光功率密度变化的一系列实验结果,观察到了器件对光的线性、饱和响应以外的一些新现象,如混沌、零压输出,并对实验结果作了初步的解释。

关键词: 连续波 1.319 μm 激光辐照; PV 型 HgCdTe 探测器; 探测器零压输出

中图分类号: 文献标识码: A

1 引 言

随着光电探测器在诸多领域的广泛应用,关于光电探测器激光辐照效应和破坏机理的研究十分广泛和深入。早在七十年代 Krueer 等人^[1]对于激光破坏光电探测器的永久性效应做了大量研究,并用热传导模型做了热效应分析。Lax^[2,3]在考虑热传导系数随温度变化的条件下,用解析方法研究了半导体硅的稳态退火热输运过程。Meyer^[4,5]研究了短脉冲激光辐照下,半导体材料的表面效应。Yoffa^[6,7]较为系统地研究了半导体硅加热过程,指出载流子扩散在能量输运中具有重要的作用。Kim^[8,9]研究了强激光辐照半导体硅加热过程中,非线性热输运中载流子的扩散效应。李彦文等^[10]在 Meyer 模型的基础上,忽略载流子效应,用数值计算方法给出 InSb 材料的熔化阈值与激光波长的定标关系。蒋志平等^[11]研究了激光辐照 InSb 探测器的温升过程。强希文等^[12]考虑了材料的光学、热学性质的温度关系及热输运的非线性关系,对半导体材料激光损伤效应进行了解析研究。

本工作中,用波长为 1.319 μm 的连续波激光辐照 PV 型 HgCdTe 红外探测器,得到了不同辐照功率密度下,探测器响应输出的一系列实验结果,观

察到了器件对光的线性、饱和响应以外的一些新现象。并对实验结果作了初步的解释。

2 实验内容

实验中的 1 号与 2 号探测器禁带宽度 $E_g = 0.26 \text{ eV}$,响应的峰值波长 λ_p 分别为 4.6 μm 和 4.53 μm ,它们对 1.319 μm 激光亦有一定的响应率。光伏型光电探测器在热平衡时的能带结构原理如图 1 所示,该图考虑了在半导体表面形成的极薄的氧化绝缘层(又称界面层)的影响。从 x_p 到 x_n 为 p-n 结的耗尽层, V_{dif} 是扩散势垒, E_F 是费米能级。

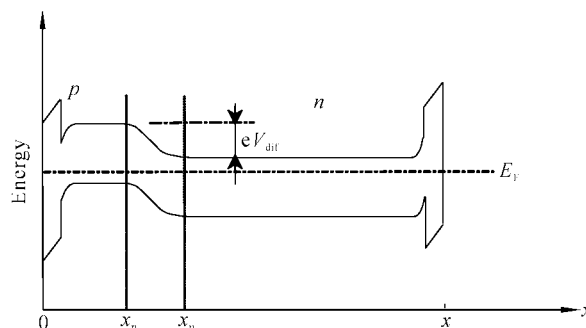


Fig. 1 The energy band schematic diagram of a photovoltaic detector at thermal equilibrium

2.1 实验装置

实验采用如图 2 结构的装置。

实验中光源为连续波固体激光器,激光波长为 1.319 μm ,输出功率在 5~70 W 之间连续可调,光

* 国家科委高科技(863-802-4)资助课题。

E-mail: xiang.ai.cheng@yahoo.com.cn

收稿日期:2002-05-13

斑直径为 6 mm, 发散角小于 9 mrad, 出光时间可预先设定。利用 He-Ne 激光作为导引光。功率能量计用于监测激光功率, 采用数字存储示波器(直流耦合)检测 PV 型 HgCdTe 探测器受激光辐照后的响

应输出。1 号和 2 号 PV 型 HgCdTe 红外探测器的工作温度为 77 K。对两个探测器进行重复实验, 得到重复性很好的结果。

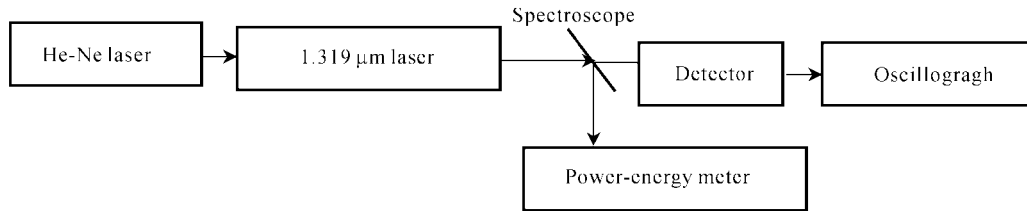


Fig. 2 Experimental set-up

2.2 实验结果

激光垂直于探测器的光敏面入射。以下为不同功率密度辐照下探测器的典型输出结果。无激光照射时的输出电压是背景光照引起的光生电压。

利用弱激光辐照 1 号、2 号光电探测器, 探测器处于线性响应状态, 如图 3 所示。图 3 为激光辐照功率密度分别为 $5.5 \times 10^{-2} \text{ W/cm}^2$ 和 $7.4 \times 10^{-2} \text{ W/cm}^2$ 时, 1 号、2 号探测器的相应输出。

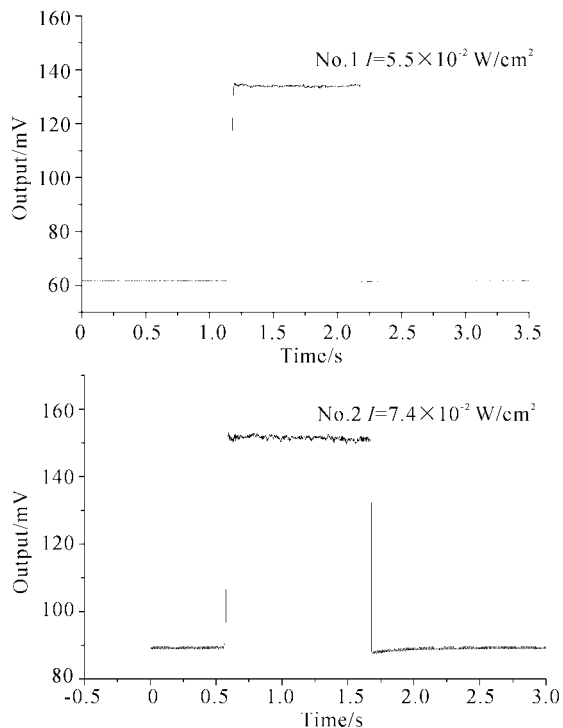


Fig. 3 The output of detector No. 1, No. 2 working in linear section

当激光功率密度分别增加到 $3.5 \times 10^{-1} \text{ W/cm}^2$ 和 $1.1 \times 10^{-1} \text{ W/cm}^2$ 时, 1 号、2 号探测器处于饱和响应状态, 如图 4 所示。

当激光功率密度分别为 1.4 W/cm^2 和 2.3 W/cm^2 时, 1 号、2 号探测器的响应曲线不再平

滑, 开始有振荡现象(见图 5), 加大激光功率密度到 2.8 W/cm^2 和 5.7 W/cm^2 , 这种振荡现象加剧(见图 6)。

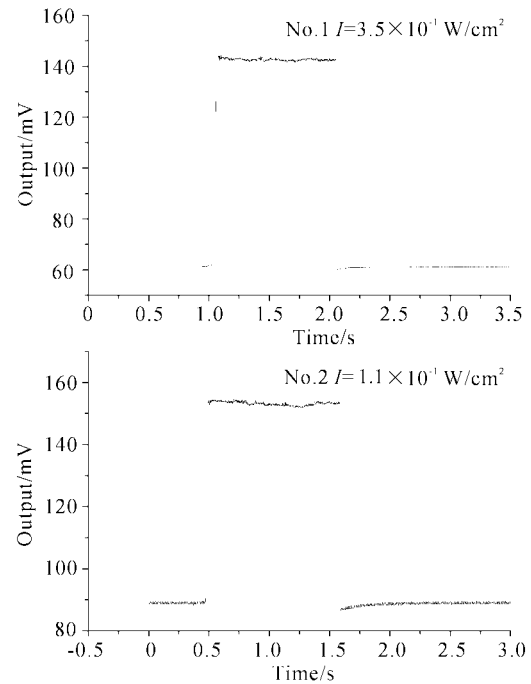


Fig. 4 The saturation output of detector No. 1, No. 2

当 1 号探测器的激光辐照功率密度大于或等于 12.7 W/cm^2 , 2 号探测器的激光辐照功率密度大于或等于 14.3 W/cm^2 时, 1 号、2 号探测器出现输出电压接近于零的现象, 如图 7 所示。从图 7 还可以看出, 当激光辐照功率密度较强时, 还存在一定程度的热效应。

图 8 为 1 号、2 号探测器响应输出随激光功率的变化曲线。由图 8 可以看出, 1 号、2 号探测器对 $1.319 \mu\text{m}$ 激光响应可分为 4 个区域: 线性区、饱和区、混沌区、零输出区。对应的激光功率密度如表 1 所示。

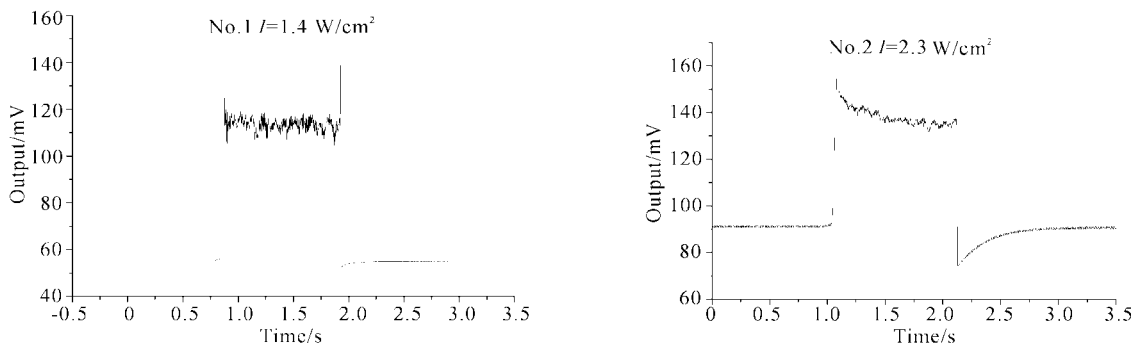


Fig. 5 Chaos develop in the detector No. 1, No. 2

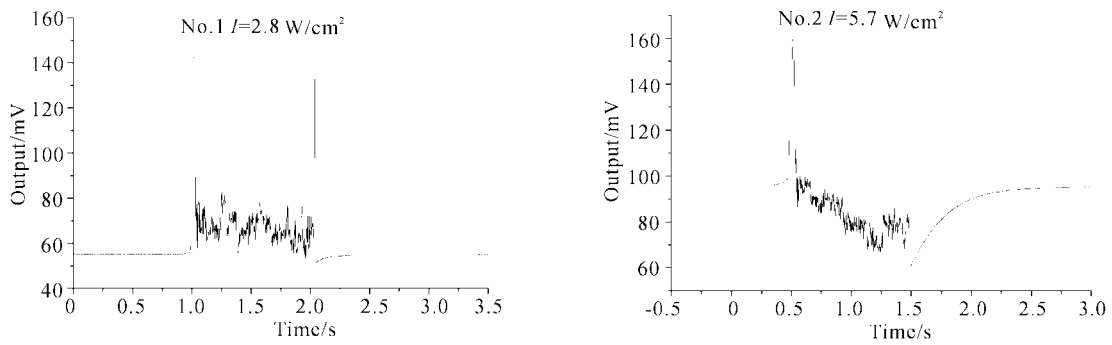


Fig. 6 Obvious Chaos in the detector No. 1, No. 2

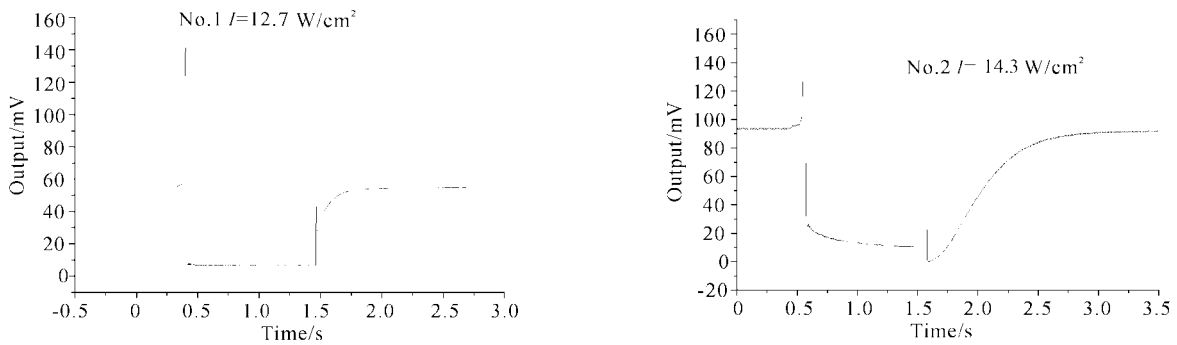


Fig. 7 Zero-output appears in detector No. 1, No. 2

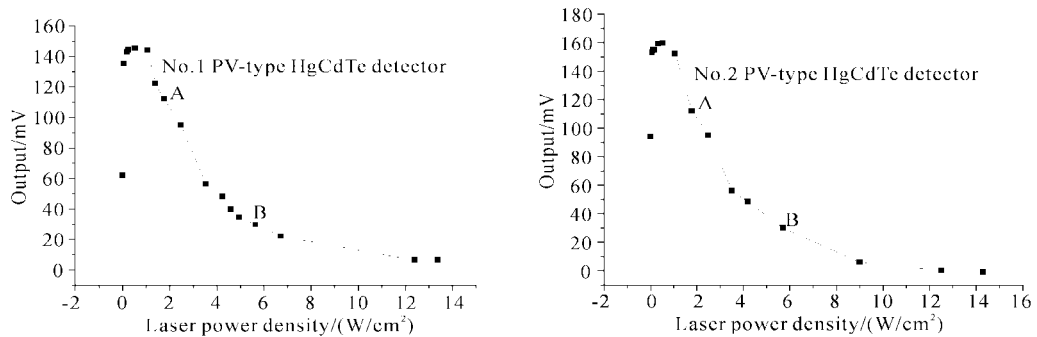


Fig. 8 Experimental output of detector No. 1, No. 2 under various laser power

Table 1. Response of detector No. 1, No. 2 under various laser power

Detector	Linearity $/(W/cm^2)$	Saturation $/(W/cm^2)$	Chaos $/(W/cm^2)$	Zero-output $/(W/cm^2)$
No. 1	<0.23	$0.23\sim0.53$	$3.5\sim5.0$	12.7
No. 2	<0.18	$0.19\sim0.53$	$3.5\sim6.0$	14.3

3 结果分析讨论

1) PV 型探测器在弱激光的作用下,会产生线性响应输出。随着激光功率的加大,载流子的产生与复合达到平衡,即产生饱和输出响应。对此已有较成熟的理论可以解释^[13,14]。

2) 当激光辐照功率密度继续上升,对 1 号探测器的辐照功率介于 3.5~5.0 W/cm² 之间,2 号探测器的辐照功率密度介于 3.5~6.0 W/cm² 之间的某一值时,探测器中产生混沌。马丽芹等人^[15]通过功率谱的分析和 Lyapunov 指数的计算,可以初步判断探测器输出信号是混沌的。

3) 随着激光功率密度继续增大,1 号、2 号探测器出现输出电压接近于零的现象。作者认为,当激光辐照功率密度较大时,PV 型探测器的 n 区自由载流子(电子)数目急剧增加,n 区发生半导体-金属的电相变。同时,p 区自由载流子(空穴)也等量地增加,同样,p 区也发生半导体-金属的电相变。这样,PV 型探测器中的 p-n 结在强光照射下,退变成两块接触的金属,从而,输出电压近似为零。当加载的激光撤掉后,n 区、p 区的载流子数目急剧下降,n 区、p 区发生金属-半导体的电相变,探测器恢复正常的工作状态。

4) 从图 3 至图 7 可以看出,激光辐照前,背景光辐照引起一定的光生电压,激光辐照后,经过一定的时间 t ,探测器对背景光的响应恢复正常,即与激光辐照前的响应输出相同。而 t 的大小与激光辐照功率密度、激光辐照时间以及探测器的衬底散热快慢有关。当激光辐照时间相同,探测器的衬底材料、结构等也相同的条件下,激光辐照功率密度越大,恢复时间 t 越长。针对 1 号探测器而言,图 3、图 4(上图)显示,激光辐照撤掉后,探测器迅速恢复到对背景光的响应状态。随着激光功率的加大,图 5、图 6(左图)表明,激光辐照撤掉后,有较短的热弛豫时间,而图 7(左图)中热弛豫时间则较长。从以上分析可知,由于撤掉激光辐照后,经过一定的时间,探测器仍能恢复正常的响应状态,且对背景光的响应幅度不变,因此探测器不可能存在剂量积累效应。

5) 设背景光为信号光,则强光辐照时,会强烈地干扰探测器对信号光的响应,而且激光功率密度越大,探测器恢复正常状态所需的时间越长。

参 考 文 献

- 1 Krucz M R, Estcrowitz L, Allen R E *et al.*. Thermal models for laser damage in InSb photovoltaic and photoconductive detectors. *Infrared Physics*, 1976, **16** (3):375~384
- 2 Lax M. Temperature rise induced by a laser beam. *J. Appl. Phys.*, 1977, **48**(9):3919~3924
- 3 Lax M. Temperature rise induced by a laser beam II. The nonlinear case. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**(8):786~788
- 4 Mcyer J R, Bartoli F J, Krucz M R. Optical heating in semiconductors. *Phys. Rev. (B)*, 1980, **21**(4):1559~1568
- 5 Mcyer J R, Krucz M R. Optical heating in semiconductors; Laser damage in Ge, Si, InSb, and GaAs. *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**(10):5513~5522
- 6 Yoffa E J. Dynamics of defense laser-induced plasmas. *Phys. Rev. (B)*, 1980, **21**(6):2415~2425
- 7 Yoffa E J. Role of carrier diffusion in lattice heating during pulsed laser annealing. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(1):37~38
- 8 Kim D M, Kwong D L. Laser heating of semiconductors-effect of diffusion in nonlinear dynamic heat transport progress. *Appl. Phys.*, 1981, **52**(8):4995~5006
- 9 Kim D M, Kwong D L. Pulsed laser annealing of single-crystal and ion-implanted semiconductors. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**(2):224
- 10 Li Yanwen, Liu Chenghai. Research on laser absorption mechanism and laser-induced damage threshold for InSb material. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 1990, **2**(3):334~338 (in Chinese)
- 11 Jiang Zhiping, Lu Qisheng, Liu Zejin. Calculation of temperature raise InSb(PV) detector illuminated by laser beam. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 1990, **2**(2):247~251 (in Chinese)
- 12 Qiang Xiwen, Liu Feng, Zhang Jianquan. An analytical investigation on semiconductor material damage induced by pulsed high-power laser beams. *Optoelectronic Technology* (光电子技术), 2000, **20**(1):52~58 (in Chinese)
- 13 Li Xiaojun, Yin Changsong. Semiconductor photodetector and development. *Semiconductor J.* (半导体杂志), 1997, **22**(2):34~40 (in Chinese)
- 14 Lu Qisheng, Jiang Zhiping, Liu Zejing. The power saturation of the photovoltage (PV) in infrared detectors when laser irradiated. *Semicond. Sci. Technol.*, 1991, **6** (11):1039~1041
- 15 Ma Liqin, Cheng Xiang'ai, Xu Xiaojun *et al.*. Chaos and diagnosis in PV-type HgCdTe detector. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 2003, **15** (1):37~39 (in Chinese)

Experimental Study of HgCdTe(PV) Detector Irradiated by CW 1.319 μm Laser

Cheng Xiang'ai Lu Qisheng Ma Liqin Wang Rui Li Xiuqian
He Feng Li Wenyu Jiang Houman

(College of Science, National University of Defense Technology, 410073 Changsha)

Guo Dongsheng

(Department of Physics, Southern University and A & M College, Baton Rouge, LA70813 USA)

(Received 13 May 2002)

Abstract: PV HgCdTe infrared detectors were irradiated by continuous-wave 1.319 μm laser light of various intensities. A series of output of detector No. 1, No. 2 under various laser intensities were shown. Some new phenomena, chaos and zero-output, were observed. The results are quite different from theoretical expectations. It is of great interest for future research on PV HgCdTe. A qualitative explanation is given.

Key words: CW 1.319 μm laser irradiation; PV-HgCdTe detector; zero-output from detector

LASERS-16 Shanghai '2003 第十六届全国激光学术会议 征 文 通 知

中国光学学会与中国电子学会联合主办的系列会议——第十六届全国激光学术会议,定于2003年10月在上海举行。本次会议将为我国激光与光电子新老学者提供探讨新思想、交流新技术的讲台,促进学术领域的科技创新和科技成果转化。多名两院院士和著名专家到会作特邀报告,同时各分会将安排高水平的邀请报告。欢迎积极投稿,踊跃参加。

上海是全国著名的经济文化中心,拥有众多激光研究、应用、开发的研究所、高校和企业。近年来涌现许多著名的现代景观,如东方明珠电视塔、金茂大厦、亚太地区经济合作会议(APEC)会址、世界首列运营性磁悬浮列车等。热情欢迎激光领域研究与开发的专家学者光临会议。

会议主办单位:中国电子学会 中国光学学会

会议承办单位:中国科学院上海光学精密机械研究所

会议时间:2003年10月中下旬

会议地点:上海

名誉主席:王大珩

主 席:范滇元 周寿桓

副 主 席:朱健强 梅遂生 姚建铨 许祖彦 王益德

秘 书 长:田守云

征稿范围:

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1) 激光物理 | 6) 医用激光及激光与生物组织的相互作用 |
| 2) 超短脉冲激光与非线性光学 | 7) 光束传输、控制及光束质量 |
| 3) 全固态激光器与非线性光学 | 8) 激光光学材料、薄膜及元器件 |
| 4) 光通信有源及无源器件 | 9) 其它相关领域 |
| 5) 工业激光及其应用 | |

征文要求:

需提交500字摘要和300字提要各一份,分别用于审稿和出版会议指南。摘要应能准确反映研究成果的创新点,包括目的、方法、结果、结论等内容。请用第三人称叙述,不引用参考文献、数学公式和化学式。不接受已在国内外正式出版物上发表过的论文。论文截稿期为2003年6月30日。

来稿需注明论文题目、作者姓名、单位、通讯地址(包括邮编、电话、E-mail等)、关键词3~6个。用宋体小四号字按word格式编排,以E-mail附件方式发送,发送至laser2003@siom.ac.cn,务必在左上角标明所属征稿范围的第几类。一般不接受书面邮寄件,如发送E-mail确有困难者,可书面邮寄至上海800-211信箱《中国激光》编辑部收,邮编201800,请在信封上标明“会议投稿”及所属征文范围第几类,联系电话:021-69918016。网址:www.siom.ac.cn。经审稿录用的论文,将由《中国激光》正式出版。