

文章编号: 1001-2486(2011)02-0009-04

实验研究光谱非相关激光辐照下光伏型 HgCdTe 探测器芯片前后表面的温升

江天^{1,2}, 程湘爱¹, 李莉¹, 郑鑫¹, 江厚满¹, 陆启生¹, 田宏³, 卞静³

(1. 国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073;

2. 95844 部队, 甘肃酒泉 735018; 3. 光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河)

摘要: 为了研究光谱非相关激光辐照下探测器芯片前后表面温度变化规律, 通过铂电阻测温的方法, 测量了芯片后表面的温度变化规律。通过标定芯片前表面结电场分离电子-空穴对能力随温度变化的关系, 利用组合激光的实验方法测量了光谱非相关激光辐照过程中芯片前表面的温度变化规律。研究表明, 光谱非相关激光辐照过程中芯片前后表面都有温升, 但后表面温度一直高于前表面温度。

关键词: 光谱非相关激光; 光伏型 HgCdTe 探测器; 温度场

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

The Experimental Research of Temperature Rise of the Fore and After Surface of the Chip of Photovoltaic HgCdTe Detector Irradiated by Spectral Unrelated Laser

JIANG Tian^{1,2}, CHENG Xiang-ai¹, LI Li¹, ZHENG Xin¹, JIANG Hou-man¹, LU Qi-sheng¹, TIAN Hong³, BIAN Jing³

(1. College of Opto-electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. 95844 army, Jiuquan 735018, China;

3. Science and Technology on Electro-optical Informational Security Control Laboratory, Sanhe 065200, China)

Abstract: To study temperature variation of the detector chip irradiated by spectral unrelated laser, the platinum resistance thermometer is used to monitor temperature of the chip's back surface. The electron-hole pairs separative duty of the field in the junction depletion region is calibrated. The temperature of front chip surface is obtained by the experimental method of laser combination. It is found that both front and back chip surface have temperature rise, but the temperature of back chip surface is always higher than that of the front one in the irradiated process.

Key words: spectral unrelated laser; photovoltaic HgCdTe detector; temperature field

所谓光谱非相关激光就是波长位于光电探测器工作波段以外的激光。2010年, 国防科技大学李莉^[1-2]等人, 利用 $10.6\mu\text{m}$ 激光辐照短波光伏型 HgCdTe 探测器, 发现探测器对 $10.6\mu\text{m}$ 激光有电压响应, 且电压响应方向与探测器对光谱相关激光的电压响应方向相同, 为了解释这一现象, 作者提出了热生电动势的概念, 并对热生电动势的产生机理进行了初步分析。随着辐照激光功率的增大, 探测器的输出电压曲线会出现一系列的变化, 这些变化与探测器芯片前后表面的温度场分布和探测器芯片内温度梯度有密切的关系, 作者通过把传统漂移扩散模型与热传导方程相结合的方法, 计算了光谱非相关激光辐照下, 探测器前后表

面的温度场分布和芯片前后表面温差的分布^[2], 并对部分实验现象进行了解释。同年, 我们在以往的研究基础上, 又进行了大量的实验并对光谱非相关激光辐照下中波和短波光伏探测器响应差异进行了解释, 同时发现李莉等人通过计算获得的探测器芯片表面温度变化规律并不能合理解释所有实验现象, 例如, 该模型就不能解释图 7(e) 左图的负电压响应现象, 这表明作者所建立的物理模型还存在一定的局限性。

为了更好地完善该物理模型, 合理解释实验现象, 本文通过设计实验, 直接观测到了探测器前后表面温度变化趋势, 克服了单纯依靠数值计算的缺点, 为建立合理的理论模型奠定了实验基础。

* 收稿日期: 2010-11-05

基金项目: 国家部委基金资助项目(1030110)

作者简介: 江天(1986-), 男, 博士生。

1 实验内容

实验中使用的探测器为上海技术物理研究所提供的单元光伏型 HgCdTe 探测器,探测器的光谱响应曲线如图 1 所示,探测器封装在液氮制冷的杜瓦瓶内,如图 2 所示。图 3 是探测器的分层结构示意图, HgCdTe 芯片用环氧胶粘于 Al₂O₃ 衬底上, Al₂O₃ 用低温胶粘于杜瓦瓶冷头上,探测器芯片前表面是厚度为 1μm 的 N 型 HgCdTe,厚度为 120μm 的 P 型层的后表面与 Al₂O₃ 层相连。当初始自由载流子浓度不高时,可认为光谱非相关激光透明穿透探测器直接辐照在 Al₂O₃ 衬底上,由于 Al₂O₃ 对红外激光的吸收系数很高,因此,光谱非相关激光主要在 Al₂O₃ 衬底层被吸收,从而在探测器的后表面产生一个热源。为了确定探测器后表面的温度,我们将 Pt100 电阻测温计连接于冷头上,通过实时检测 Pt100 的阻值变化,来测定冷头的温度变化趋势从而获得芯片后表面的温度变化。

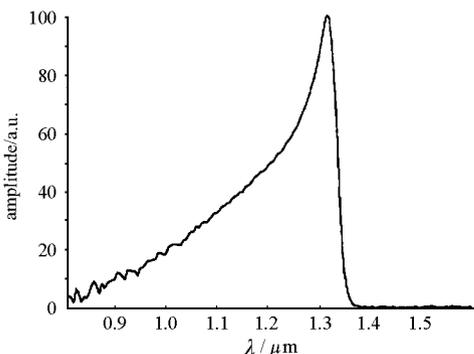


图 1 探测器的光谱响应曲线
Fig.1 Spectrum response of detector

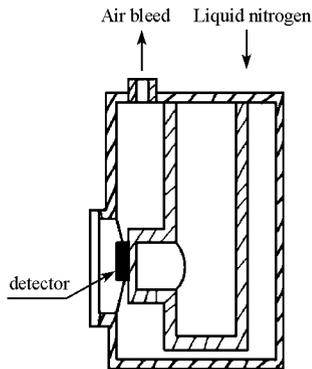


图 2 杜瓦瓶结构示意图
Fig.2 Diagram for the DEWAR

探测器共三条输出引线,分别是信号输出线、测温 Pt100 电阻输出线和公共地线,由于激光的辐照时间很短,通过万用表无法实时观测到辐照过程中的 Pt100 电阻变化值,为了便于信号的实时采集,我们利用图 4 所示的电路代替万用表,把电阻信号转化为电压信号,并通过多通道测量仪

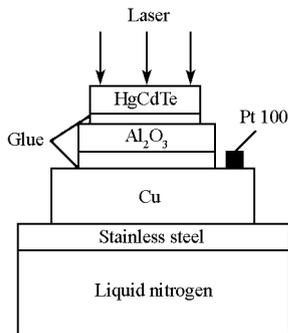


图 3 探测器分层结构示意图
Fig.3 Diagram for the detector structure

实时记录 Pt100 电阻两端的电压变化,以获得升温随时间的变化曲线。图 4 电路必须满足两个条件,一是 Pt100 电阻工作电流不得大于 1mA,二是 Pt100 电阻工作电流为恒流。图 5 为实验中使用的 Pt100 电阻随温度的变化图,由图 4 可知, Pt100 电阻的串联分压为

$$V_{out} = R_{Pt100} \times V_{cc} / (R_{Pt100} + R_0) \tag{1}$$

由于 $R_0 \gg R_{Pt100}$,所以式(1)简化为

$$V_{out} = R_{Pt100} \times V_{cc} / R_0 \tag{2}$$

其中, $V_{cc} = 5V$, $R_0 = 5k\Omega$,所以 $R_{Pt100} = V_{out} \times 10^3 \Omega$ 。

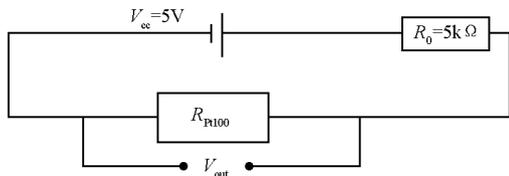


图 4 Pt100 外接电路
Fig.4 The external circuit of Pt100

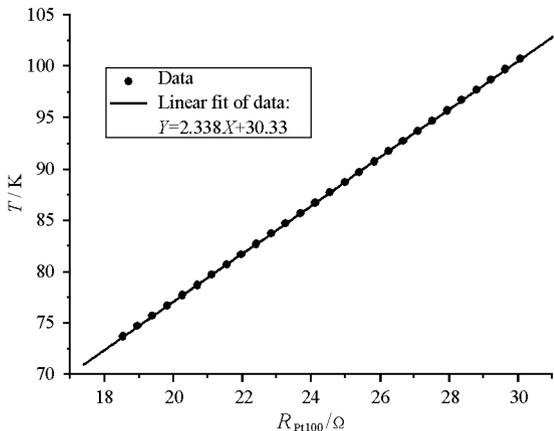


图 5 Pt100 电阻值 - 温度对应图
Fig.5 The relation between resistance and temperature of Pt100

由图 5 可得 Pt100 电阻的所测温度 T 与输出电压 V_{out} 的关系为:

$$T = 2338 \times V_{out} + 30.33 \tag{3}$$

V_{out} 是多通道测量仪实时记录的数据,通过式 (3)变化后即可得到冷头表面温度随时间变化的实测曲线。

为了确定光谱非相关激光辐照过程中,探测器的芯片前表面温度变化关系,我们以 $10.6\mu\text{m}$ 激光为背景光,以 808nm 激光为信号光,进行双光束辐照实验。由图 1 可知,对于实验中使用的探测器而言, $10.6\mu\text{m}$ 激光为光谱非相关激光, 808nm 激光为光谱相关激光。实验光路如图 6 所示,固定 808nm 激光功率为 $2\text{mW}/\text{cm}^2$ 不变,通过改变 $10.6\mu\text{m}$ 激光光强,得到了探测器在不同强度光谱非相关激光辐照下,对信号光探测的影响,典型的实验现象如图 7 所示。图 7 中左图都为探测器对

激光的电压响应输出,右图为与之对应的激光辐照过程中 Pt100 电阻所测温度变化曲线。

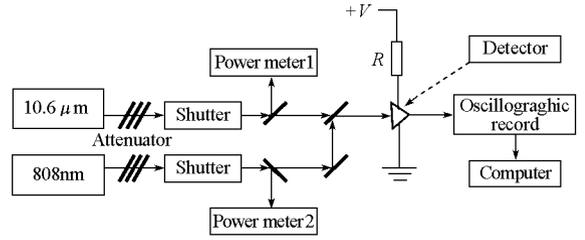


图 6 实验装置图

Fig.6 Schematic of experiment setup

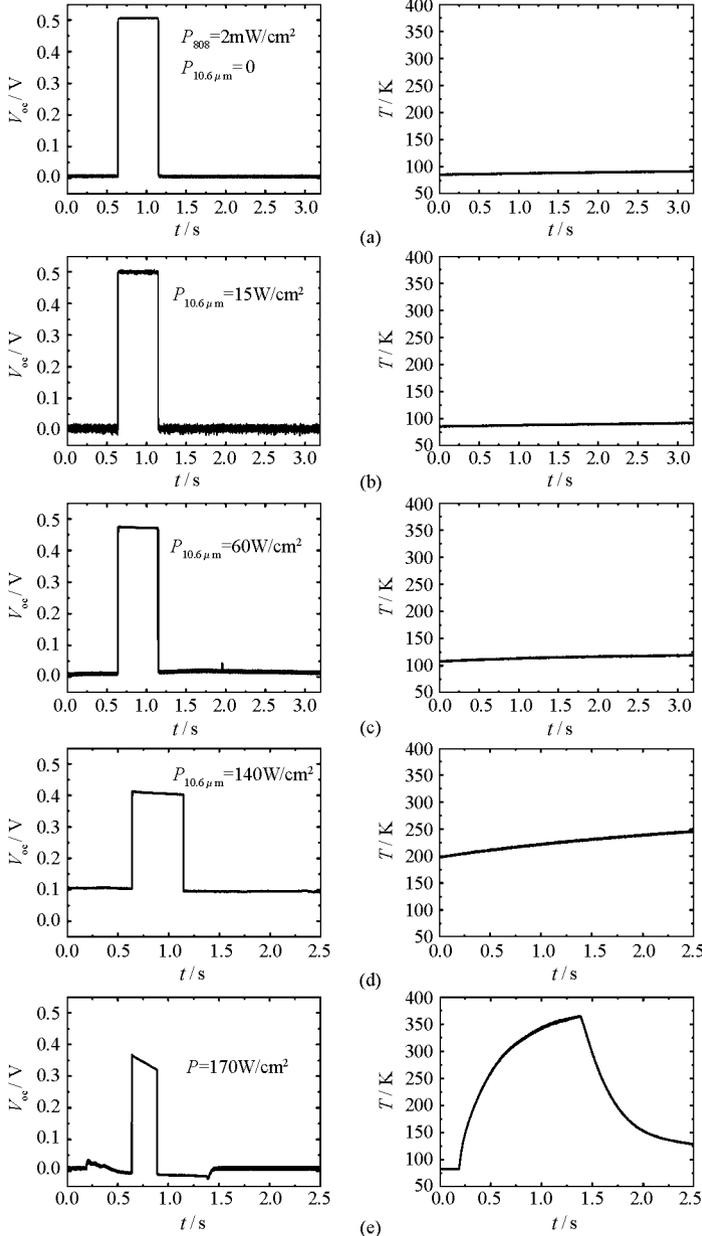


图 7 不同激光功率密度辐照下探测器的开路电压的响应曲线

Fig.7 Response of the PV-type detector at the different laser power density

图 7 中的 5 组图分别代表探测器在光谱非相关激光辐照下的 5 种典型状态,其中图 7(a)为只有信号光的状态,探测器对信号光的响应为 0.5V ,Pt100 测温结果基本为一直线,温度约为

79K ;当 $10.6\mu\text{m}$ 激光功率密度小于 $60\text{W}/\text{cm}^2$ 时,探测器对 $10.6\mu\text{m}$ 激光不响应,如图 7(b)所示;当 $10.6\mu\text{m}$ 激光功率密度高于 $60\text{W}/\text{cm}^2$ 时,背景响应不再为 0,探测器对 $10.6\mu\text{m}$ 激光开始响应,这时

测量温度已超过 100K, 信号光的响应已明显小于 0.5V, 约为 0.47V, 如图 7(c) 所示; 当测量温度达到 200K 以上时, 探测器对 10.6 μm 激光的响应已高达 0.1V, 这时探测器对信号光的响应降低到 0.4V, 且信号光的响应从平直线变为斜线, 如图 7(d) 所示; 进一步增加 10.6 μm 激光的功率, 探测器对 10.6 μm 激光的响应不但不增加反而开始减弱, 甚至小于 0, 实测量温度已经高达 350K, 探测器对信号光仍然有 0.3V 的响应, 只是响应斜线的斜率增大。

2 实验现象分析

实验中使用的探测器的线性工作区为 0 ~ 0.5V, PN 结位于芯片的前表面, 光谱相关激光主要是在探测器前表面被吸收, 产生电子-空穴对, 结区内和距结区小于扩散长度的电子空穴对被结电场分离, 形成电势差^[4-7], 因为探测器对光谱相关激光是前表面吸收, 而后表面与冷头相连, 所以当光谱相关激光辐照时, 探测器的前表面温度要高于后表面温度, 当探测器工作在线性区时, 一般不考虑前表面温升对探测器输出电压的影响, 只有当光谱相关激光功率超过饱和阈值时, 才考虑前表面温升的影响, 这时探测器响应电压幅值随激光功率增强反而减弱。PN 结对温度极其敏感, 结区温度上升, 探测器对信号光的响应将急剧减小, 图 8 为实测的响应率随温度变化曲线。由图 8 可知, 芯片前表面温度变化 100K, 输出电压将减小约 0.15V。

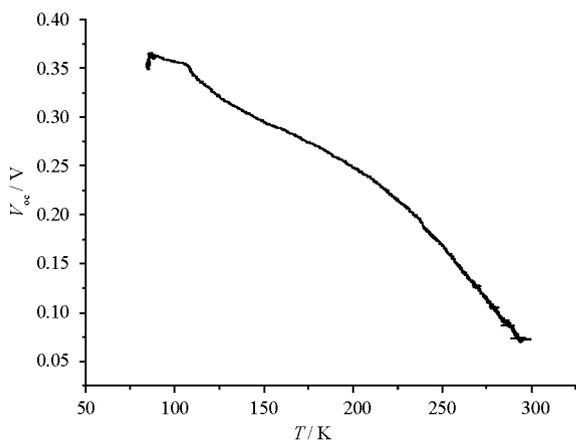


图 8 不同温度下探测器响应曲线

Fig. 8 Response of the PV-type detector at the different temperature

由探测器的结构可知, 光谱非相关激光主要是被 Al_2O_3 衬底吸收, Al_2O_3 衬底前端与芯片的后表面相连接, 后端与冷头相连接, 探测器芯片的热量主要来源于与 Al_2O_3 衬底的热传导和探测器芯片中自由载流子对光谱非相关激光的吸收。由图 7(b) 可知, 当 10.6 μm 激光功率密度为 15W/cm² 时, 冷头温度在 80 ~ 100K, 探测器对信号光的响应幅值不变, 为 0.5V, 说明此时探测器的前表面

温度基本保持不变, 而冷头有 10K 左右的温升, 这时可认为芯片后表面略有温升。增加 10.6 μm 激光功率密度至 170W/cm², 如图 7(e) 所示, 在非相关激光辐照过程中, 前表面确有温升, 探测器对信号光的响应减小了 0.15V 左右, 由图 8 可推知, 芯片前表面约有 100K 左右的温度变化, 由图 7(e) 左图可得实测冷头温度变化约为 250K 左右, 说明探测器后表面的温升高于前表面温升。

由以上分析可知, 光谱非相关激光辐照下, 探测器芯片后表面温度始终高于前表面温度。以往研究表明, 在光谱非相关激光辐照下, 光伏型探测器的输出电压主要由热生电动势、温差电动势决定。热生电动势的响应方向与芯片前后表面温度场分布无关, 始终为正响应; 此时, 温差电动势为负响应。这说明图 7 中的负电压是温差电动势导致的。如果像文献[2]报道的, 是芯片前表面温度高于后表面, 那么热生电动势和温差电动势都为正响应, 就不可能出现图 7 中的负电压响应。

3 结论

本文通过设计实验, 利用在探测器冷头上安装 Pt100 测温电阻来实时检测探测器芯片后表面的温度变化情况, 通过在光谱非相关激光辐照过程中探测光谱相关激光的信号来判断探测器前表面的温升情况。实验结果表明, 在光谱非相关激光辐照探测器的过程中, 探测器芯片后表面温度一直高于前表面温度, 而不是像以往报道的先是后表面温度高于前表面温度, 然后突变为前表面温度高于后表面温度^[1]。这一重要结论, 为进一步研究光谱非相关激光辐照下探测器输出电压的变化规律, 建立合理的理论模型奠定了坚实的实验基础。

致谢: 特别感谢上海技术物理研究所对本课题的支持。

参考文献:

- [1] 李莉, 双波段组合激光辐照光电探测器的研究[D]. 长沙, 国防科学技术大学, 2010.
- [2] 李莉, 陆启生. 波段外激光辐照 PV 型 HgCdTe 光电探测器的实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(11): 2535 - 2539.
- [3] 王飞, 程湘爱. HgCdTe 探测器 Pt 测温电阻测温分析[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 461 - 463.
- [4] Bertussi B, Comont P, Palmier S, et al. Initiation of Laser-induced Damage Sites in Fused Silica Optical Components[J]. Opt. Express, 2009, 17(14): 11469 - 11479.
- [5] Gallais L, Comont P, Rullie J L. Investigation of Stress Induced by CO₂ Laser Processing of Fused Silica Optics for Laser Damage Growth Mitigation[J]. Opt. Express 2009, 17(26): 23488 - 23501.
- [6] Yang S T, Matthews M J, Elhadj S, et al. Comparing the Use of Mid-infrared Versus Far-infrared Lasers for Mitigating Damage Growth on Fused Silica[J]. Appl. Opt. 2010, 49(14): 2606.
- [7] Mendez E, Nowak K M, Baker H J, et al. Localized CO₂ Laser Damage Repair of Fused Silica Optics[J]. Appl. Opt, 2006, 45(21): 5358 - 5367.