

文章编号:1001-5078(2009)11-1166-04

· 光电对抗 ·

红外激光辐照下光电探测器光谱响应度的研究

徐立君, 张喜和, 蔡红星, 李昌立, 谭勇, 吕彦飞
(长春理工大学理学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 响应度 R 是反映探测器性能的一项重要指标。当光电探测器被激光损伤后, 其响应度 R 将会下降。文中探讨了强激光对光电探测器的损伤机理, 对不同功率密度强激光作用下探测器的光谱进行了测量, 研究了探测器在强激光辐照下探测器响应度变化规律。对光电对抗以及光电探测器的抗激光损伤研究具有一定的参考价值。

关键词: 激光; 光电探测器; 光谱响应度; 损伤

中图分类号: TN241 **文献标识码:** A

Research on spectral responsivity of detector under irradiation by infrared laser

XU Li-jun, ZHANG Xi-he, CAI Hong-xing, LI Chang-li, TAN Yong, LÜ Yan-fei
(Changchun University of Science and Technology, School of Science, Changchun 130022, China)

Abstract: Responsivity is an important factor reflecting the performance of photoelectric detector, responsivity was reduced when the detector was damaged by laser. In this paper, the damage mechanism of detector under laser irradiation was analyzed. The spectral responsivity of the detector irradiated by Nd:YAG laser with different power density was measured. And the principle of responsivity of detector irradiated was investigated. The paper has some reference values for the research on electro-optical countermeasure and detector anti-damage for laser.

Key words: laser; photoelectric detector; spectral responsivity; damage

1 引言

随着光电对抗技术的发展, 光电探测器越来越容易受到强激光的损伤。当光电探测器被激光损伤后, 其响应度 R 将会下降, 甚至对光信号不能响应。自 20 世纪 60 年代激光器发明以来, 国内外学者就对激光与光电探测器的相互作用进行了广泛的研究。主要包括强激光对各种光电材料的破坏机理^[1-5], 各种光电探测器的激光破坏阈值^[6-8], 以及各种光电探测器的光谱响应度的测量^[9-10], 但对强激光作用下光电探测器响应度的变化研究的极少。本文主要讨论强激光辐照下 PIN 光电探测器响应度的变化规律。

2 理论及分析

2.1 探测器的光谱响应度

光谱响应度是光电探测器的重要技术参数。光谱响应度也称光谱响应率, 其表征的是光敏元件的灵敏度, 即在某一波长 λ 光的光功率辐射下, 所输出的电流 $I(\lambda)$ 不一样, 所以探测器的响应度 $R_I(\lambda)$ 是入射光波长 λ 的函数, 记为:

$$R_I(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{P(\lambda)}$$

作者简介: 徐立君 (1973 -), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事激光与物质相互作用的研究。E-mail: xucust@sina.com

收稿日期: 2009-07-25; **修订日期:** 2009-08-28

式中, $P(\lambda)$ 为波长 λ 时入射光功率; $I(\lambda)$ 为光电探测器在入射光功率作用 $P(\lambda)$ 下的电流信号, 也可以用电压信号表示探测器的灵敏度。

2.2 强激光对光电探测器的损伤

不同功率密度的激光作用于光电探测器材料的表面会发生加热、熔融、气化以及高温等离子体等现象。当功率密度较低的激光作用于材料表面时, 被材料所吸收的光能会转变成热能, 从而使光电探测器本身的工作状态发生改变。当入射激光脉冲时间 $\tau \geq 10^{-9}$ s 时, 主要是通过电子和声子的相互作用, 将能量驰豫到晶格。此时, 探测器材料温度升高, 即使没有造成可视破坏, 也会影响探测器的特性, 比如会产生瞬态饱和效应。如果增大入射激光功率密度, 半导体材料吸收入射激光的能量, 温度超过探测器熔点, 会产生熔化现象, 由于热扩散和热辐射又会重新凝固, 当材料发生熔融和再凝固的现象时, 可能改变材料表面的结构, 例如激光辐照单晶时, 在重凝固过程中会引入多晶硅, 所以, 熔融和再凝固将对探测器的性能产生明显的影响。

如果探测器被高功率密度的脉冲激光辐照, 能量的非均衡沉积可能导致熔化及蒸发同时发生。当高能激光脉冲作用探测器表面产生熔化和汽化蒸发时, 会造成三种力学破坏: ①探测器表面汽化时反冲动量如同冲击波, 会在探测器材料表面产生热应力和弹性应力, 进而导致器件被破坏; ②表面迅速升温, 形成较大的热应力梯度, 导致器件碎裂; ③当高功率密度激光作用材料表面时, 除了蒸发, 在表面还会有等离子体层产生。等离子体层在扩散时, 会产生较强的力学冲击, 通过冲刷和喷溅等作用带走表面物质。

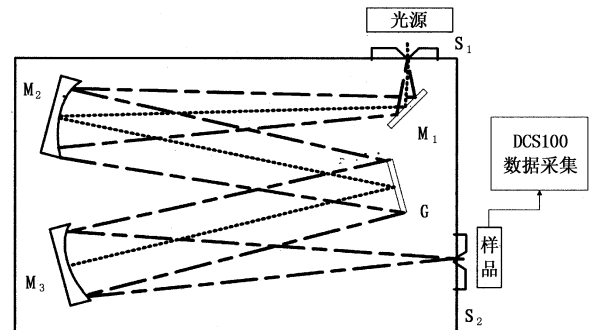
强激光辐照光电探测器会造成探测器的暂时性和永久性损伤。光电探测器受激光损伤后, 其性能恶化, 相应的响应度 R 将会下降。激光对光电探测器的永久性损伤就是对载流子分离过程的破坏, 使之减弱或丧失分离载流子对的能力; 是对其 PN 结的破坏, 使光电探测器收集载流子的电场减弱, 甚至不能建立起收集电场。

3 实验装置与描述

3.1 探测器的光谱响应度的测量

图 1 是测量探测器光谱响应度的实验装置。由光源发出的连续光经三光栅光谱仪 SBP500 产生单色光, 由出射狭缝 S_2 辐照在探测器样品的表面。探

测器样品连接光电转换装置, 并用 DCS100 数据采集系统对探测器产生的电信号进行采集。在入射狭缝和光源之间加了滤光片, 滤除了其他波长光的衍射作用。



S_1 入射狭缝, S_2 出射狭缝, M_1 反射镜, M_2 准直镜, M_3 物镜, G 平面衍射光栅

图 1 光电探测器光谱响应度测试系统

Fig. 1 the spectral responsivity measurement system of photoelectric detector

在相同的测试条件下, 分别测量已定标的探测器和探测器样品的光谱曲线, 经标准探测器校正, 探测器样品的光谱曲线如图 2 所示。光电探测器的光谱响应度主要取决于探测器半导体材料的能级结构以及入射光子的能量。

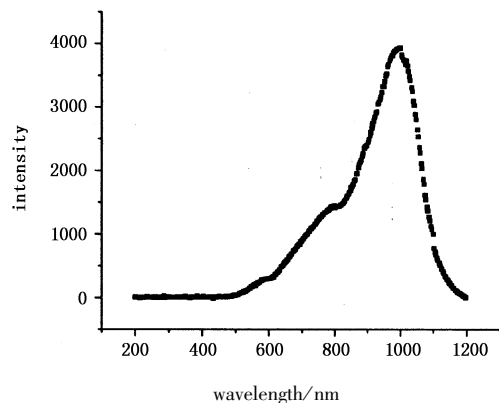


图 2 光电探测器的光谱响应曲线

Fig. 2 the spectral responsivity curve of photoelectric detector

3.2 强激光辐照下光电探测器光谱响应度的研究

探测器被强激光辐照损伤后, 光谱响应度将发生变化, 图 3 是强激光辐照下测量光电探测器光谱响应度的实验装置。

在强激光辐照前, 调节 He - Ne 激光的功率使探测器工作在线性区, 在实验过程中, He - Ne 激光始终照射在探测器表面, 并且与强激光照射区相重合。通过衰减片改变使入射激光的能量, 使辐照到样品表面的激光能量逐渐增加。每次辐照结束后,

测量探测器在 He - Ne 激光辐照下的响应度。如果探测器对 He - Ne 激光响应度发生变化,通过电动

平移台将样品移动到光谱测试系统上,测量其光谱响应度。

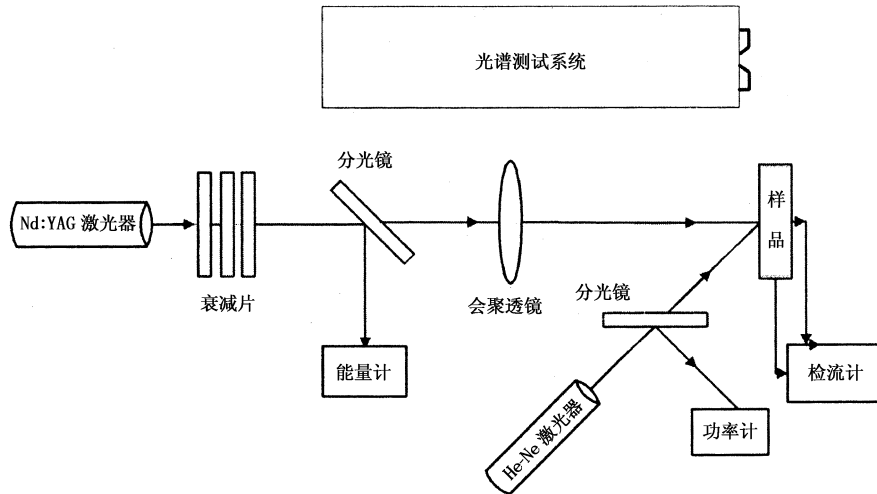


图3 强激光辐照下光电探测器的光谱响应度测试系统

Fig.3 the spectral responsivity measurement system of photoelectric detector under irradiation by laser

4 实验结果与讨论

实验中所用 Nd:YAG 激光脉冲宽度 10 ns, 激光能量按高斯分布, 模式 TEM₀₀。实验中 PIN 探测器的型号为 GT102, 光敏面 φ 为 2 mm。

实验结果如图所示:图 4、图 5 分别是功率密度为 3.56 × 10⁶ W/cm² 和 8.32 × 10⁶ W/cm² 的强激光辐照后探测器样品的光谱图。

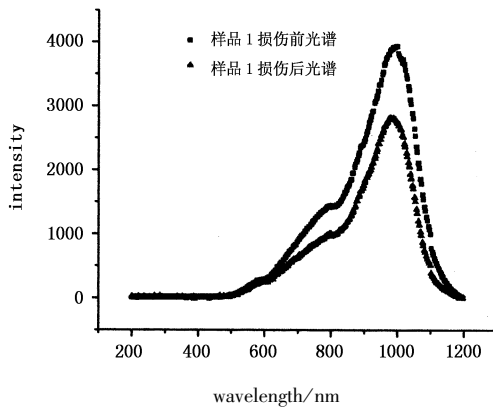


图4 样品 1 在功率密度为 3.56 × 10⁶ W/cm² 激光辐照下的光谱响应曲线

Fig.4 the spectral responsivity curve of sample 1 irradiated by laser with power density 3.56 × 10⁶ W/cm²

从实验数据可以看出:当激光功率密度低于探测器功率密度阈值时,强激光辐照后,探测器并没被破坏,所以光谱响应度没有变化;当激光功率密度探测器功率密度阈值时,强激光辐照后,探测器的光谱响应度开始下降,并且入射激光功率密度越大,光谱响应强度下降的越快。在某一功率密度的强激光作

用下,探测器对不同波长的光谱响应度下降的程度并不相同。从上面的图中还可以看出,在 400 ~ 1100 nm 区间内,随着波长的增加,光谱响应度下降幅度逐渐加大。

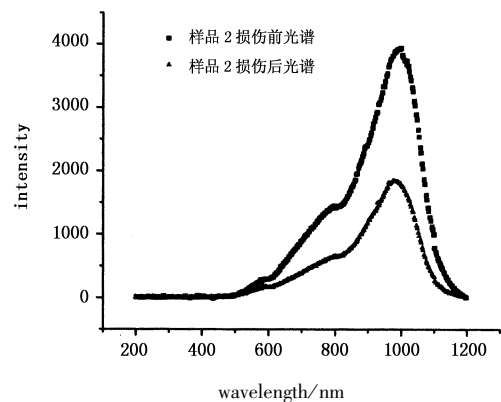


图5 样品 2 在功率密度为 8.32 × 10⁶ W/cm² 激光辐照下的光谱响应曲线

Fig.5 the spectral responsivity curve of sample 1 irradiated by laser with power density 8.32 × 10⁶ W/cm²

探测器结构的破坏是探测器响应度下降的根本原因。在激光功率密度较小时,探测器的损伤主要是热损伤。探测器吸收激光能量温度升高,在一定功率密度的强激光作用下,探测器表面的温度超过了探测器的熔点,探测器发生熔化。由于实验中使用的是脉冲激光,所以探测器熔化后,由于热扩散和热辐射作用,表面温度又低于了熔点,所以又发生凝固。当杂质半导体发生熔化和再凝固的现象时,在快速运动的固 - 液界面上形成杂质原子高浓度聚集

区,这些高浓度区形成漏电通道,导致了PN结被局部破坏,使光电探测器收集载流子的电场减弱,所以探测器的响应度下降。如果入射激光功率较大,探测器会发生气化现象,如果再进一步增加入射激光的功率密度探测器将产生等离子,等离子体迅速膨胀,对探测器形成冲击波,此时探测器将发生严重的损伤,导致了探测器响应度的严重下降^[11]。

5 结 论

强激光辐照下,光电探测器响应度的下降主要是由于探测器发生了硬损伤,本文设计了一套强激光辐照下光电探测器光谱响应度的测试装置,测量了不同功率密度的强激光作用下探测器光谱响应强度的变化,通过实验可以看出,在400~1100 nm范围内,随着波长的增加光谱响应度下降幅度增大,结构的破坏是探测器响应度下降的根本原因。

参考文献:

- [1] Lax M. Temperature rise induced by laser beam [J]. Appl phys, 1977, 48(9): 3919 - 3924.
- [2] M Lax. Temperature rise induced by laser beam II. The nonlinear case [J]. Appl Phys Lett, 1978, 33 (8): 786 - 788.
- [3] Meyer J R, Bartoli F J, Krueer M R. Optical heating in semiconductors [J]. Phys Rev, 1980, B21 (4): 1559 - 1568.
- [4] 贺元兴,江厚满. 激光辐照下PV型HgCdTe探测器反常响应机理[J]. 强激光与粒子束, 2008, 20(8): 1233 - 1237.
- [5] 刘天华,钟海荣,陆启生,等. 光电探测器的激光破坏机理研究[J]. 激光杂志, 2001, 22(6): 5 - 8.
- [6] 陆启生,蒋志平,刘泽金,等. 光电探测器中的非线性光学效应[J]. 红外与激光工程, 1997, 26(1): 12 - 21.
- [7] 张红,薛建国,成斌,等. 10.6 μm CO₂ 激光对HgCdTe探测器破坏阈值的实验研究[J]. 光电工程, 2006, 33(5): 41 - 43.
- [8] 马丽芹,程湘爱,许晓军,等. PV型HgCdTe光电探测器中的混沌及其诊断[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(1): 37 - 42.
- [9] 熊利民,王杰,樊其明. 关于新的光电探测器光谱响应度工作标准的研究[J]. 计量技术, 2002, (9): 19 - 22.
- [10] 熊利民,林延东,霍超,等. 200~400 nm波段光电探测器光谱响应度测量装置研究[J]. 计量技术, 2008, (2): 13 - 17.
- [11] 徐立君,张喜和,吕彦飞,等. 激光与PIN光电探测器相互作用的响应度研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(7): 731 - 734.