

激光辐照 CCD 图象传感器 局部的破坏效应研究^{*}

刘泽金 陆启生 蒋志平 赵伊君

(国防科技大学应用物理系,长沙,410073)

摘要: 研究了激光辐照 CCD 图象传感器局部时, CCD 工作性能的变化, 测量了连续波激光辐照下 CCD 的饱和阈值(分别对 1060nm 和 632.8nm)及脉冲激光辐照下的破坏阈值, 分析了造成饱和及破坏的机理, 用一维绝热边界条件热模型计算热饱和阈值。

关键词: CCD 图象传感器 饱和阈值 破坏阈值 激光

Study of damage effect in CCD detectors irradiated locally by laser

Liu Zejin, Lu Qisheng, Jiang Zhiping, Zhao Yijun

(Dept. of Appl. Phys., National University of Defense Technology)

Abstract: When a CCD detector is locally irradiated with a laser, the working features of the CCD detector will vary in laser energy density. Extremely, the CCD detector will be damaged. The saturation thresholds of CCD detector, irradiated with a CW 1060 nm or 632.8 nm laser, have been measured respectively. The mechanism of saturation and damage of CCD detector have been discussed in this paper. By employing one dimension non-conducting boundary condition, the thermal saturation threshold has been calculated.

Key words: CCD detectors saturated threshold damage threshold laser

一、引 言

CCD 图象传感器(简称 CCD 探测器)已广泛应用于摄像、监控、图象传输等多个领域。尤其敏感红外光的红外 CCD 器件,被看作红外探测技术的发展重点^[1]。CCD 探测器与其它光电探测器一样,存在强光饱和现象, Sah Chih tang 等人曾对单个 MOS 电容在局域光辐照下的负载能力作过研究^[2],某些厂商有时也给出了最大负载值,但激光辐照下 CCD 图象传感器的工

* 本工作得到国家“863”计划的资助。

作性能变化尚未见公开报导。我们曾测量过日本东芝公司生产的 TCD102C-1 型线阵可见光 CCD 探测器的激光饱和功率密度阈值,其值很低。

$$P_{632.8\text{nm}}^{\text{th}} = 0.06\text{mW}/\text{cm}^2$$

$$P_{1060\text{nm}}^{\text{th}} = 0.5\text{mW}/\text{cm}^2$$

实际应用中,CCD 探测器大多被置于成像光学系统的象平面上(或焦平面上),远处的强光源(或一束强激光)经成像光学系统后,辐照在 CCD 探测器上的光斑仅占光敏面的一部分,有时甚至是很小的一部分,因此,研究强光辐照 CCD 探测器局部时其工作性能的变化很有实际意义。

我们用波长 632.8nm 和 1060nm 的激光,辐照 CCD 探测器的局部,对其产生的“光饱和串音”、热饱和及永久性损伤作了实验研究(所谓“光饱和串音”指这样一种现象:当用强光辐照 CCD 探测器光敏面的局部时,从输出的信号观察到,被光照射的区域达到了饱和,未被光照射的区域也有信号输出,当光足够强时,整个探测器处于饱和状态)。本文给出了实验测量得“光饱和串音”阈值、热饱和阈值及用热传导模型计算的模拟值,脉冲激光作用下的永久损伤阈值的实验结果。

二、实 验

实验用探测器是东芝 TCD102C-1 型 2048 单元线阵 CCD 图象传感器,光源为 He-Ne 激光和连续 YAG 与脉冲 YAG 激光。图 1 为光路及装置示意图。

由于激光器稳定工作时输出功率大于实验所需功率,光路中加入了衰减器,但连续 YAG 激光辐照下作 CCD 热效应实验时,不用衰减器。示波器和微机同时观察、记录 CCD 的输出信号,快门控制激光辐照时间。当光源为脉冲激光时,功率计

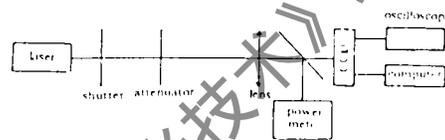


Fig. 1 Experimental setup

改为能量计。实验在暗室中进行,无其它光源。辐照在 CCD 图象传感器上的光斑直径约 1mm,光照面积为整个 CCD 的 1/30 左右,光点在 CCD 的中央。

TCD102C-1 型 CCD 的基底材料是硅,它被粘在一种绝缘陶瓷材料底座上(实验测得底座的热传导性能很差)。用强光辐照 CCD 后会产生热效应,即激光停照后,CCD 不能立刻恢复正常工作状态。CCD 温度升高后产生的热噪声将持续一段时间,但从信号输出上无法分辨热噪声和光讯号。为研究局部受辐照时 CCD 的热效应,采样时刻定在激光停照后立即进行,并持续至热饱和现象消失。在文献[3]中,我们已经测得该型号器件的热饱和温度为 86℃。

三、实验结果及讨论

在引言中介绍了“光饱和串音”现象,下面我们给局部受光辐照时 CCD 的饱和功率密度阈值下一定义:当强光辐照 CCD 图象传感器光敏面的局部,整个输出达到饱和时所需的激光功率密度称为局部受光辐照时的饱和功率密度阈值。显然,它是辐照面积、CCD 光讯号积分时间,光波波长及光敏元总数的函数。局部热饱和功率密度的定义与之类似:当强光辐照 CCD 局部,使整个 CCD 温度升高到不低于 86℃ 时所需的激光功率密度称为局部热饱和功率密度。它是辐照面积、辐照时间,CCD 积分时间,光波波长及器件长度的函数。我们的实验测得,

TCD102C-1 型 CCD 的局域光饱和功率密度阈值(光讯号积分时间 12ms,光照面积为整个光敏面的 1/30):

$$P_{632.8nm}^{th} = (15.0 \pm 1.5)mW/cm^2$$

$$P_{1060nm}^{th} = (100 \pm 10)mW/cm^2$$

我们用绝热边界条件模型(由于基座的热导率远小于 CCD 的热导率,在辐照时间较短时这种简化基本合理)计算了 CCD 探测器局部受光辐照时的热饱和功率密度阈值与辐照时间的关系,如图 2 所示。辐照面积按总面积的 1/30 计,激光波长 1060nm,吸收率 5%,初始条件为室温。

强光辐照下 CCD 图象传感器的“光饱和和串音”现象是由其结构和工作方式决定的。它的光敏元和转移传输元都是串状的,各元之间用沟阻隔开,但基底是在一起的,即它们有个共同的电极。当强光辐照其光敏区时,在短时间内产生大量光生载流子,而势阱的收集能力不足以将全部载流子(少子)收集,在电场的作用下少子向邻近势阱溢流,造成“串音”。一般说来,CCD 的光信号积分时间(信号收集时间)为几个微秒至几百个毫秒,而光生载流子产生的时间为 $10^{-12}s$ 的量级,因此少子有足够的时间溢流。在有大量少子存在情况下,少子的收集、转移传输过程都有“串音”的可能,实验观察到的“串音”是综合结果,它的生成阈值与器件的结构尺寸,势阱深度(或栅极电压)等有关。

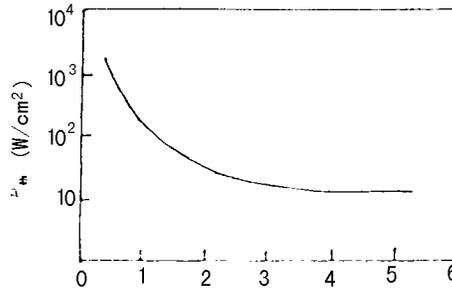


Fig. 2 The variation of thermal saturation threshold P_{th} of CCD detector in irradiated time t , while irradiated with a 1060 nm CW laser and irradiated area is 1/30 of total area

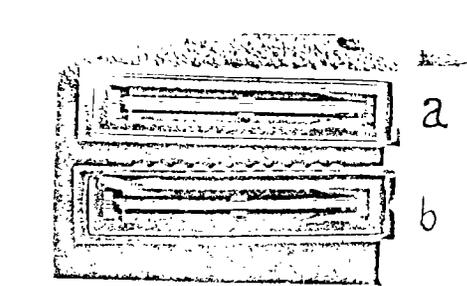


Fig. 3 Photographs of CCD detector a—before irradiated b—after irradiated

实验和计算表明,用 1060nm 的连续波激光辐照 CCD 探测器,使其达到热熔化要求的激光功率密度很大。我们用高功率密度的脉冲 YAG 激光辐照 CCD 探测器局部,测量了其破坏阈值,结果为

$$P_{1060nm}^{th} = (90 \pm 9)mJ/cm^2$$

照射在 CCD 上的光斑直径约 1mm,占整个 CCD 长度的 1/30,激光脉宽 9ns。若光斑更小,则破坏阈值会更小。图 3 所示的两幅照片是 CCD 探测器破坏前后的对比,若不仔细观察很难区别。图 4 是被破坏处的放大照片。尽管被破坏的区域很小,但整个探测器不能工作,无光信号输出,示波器上只能观察到驱动电路信号,且驱动信号时序已乱。

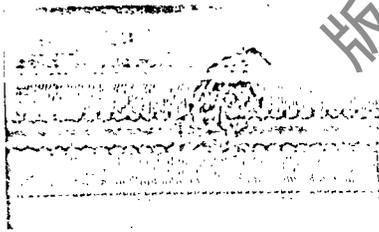


Fig. 4 Photograph of irradiated area, enlargement factor 25

实验表明,CCD 探测器局部受强激光辐照产生汽化和溶化后,整个器件损坏,不能工作。

我们可以从图 5 所示的 CCD 探测器结构示意图上,直观地分析其破坏机制。激光辐照 CCD 表面,造成其栅极、传输电极的铝覆盖层熔化和汽化,导致栅极与传输极、传输极与传输极之间的短

路(从示波器上观察到驱动信号有短路),而所有同相的电极是连通的,某处短路就造成整个加在 CCD 上的驱动信号混乱,器件无法工作。此外,这种器件控制转移栅极电极与信号输出电极分别在器件的两端,当中间某处由汽化造成断路时也会出现无信号输出的现象。根据实验现象和照片分析,这两种破坏机制同时存在。汽化的区域边缘必然有熔化域,但仅有局部熔化不一定能造成短路,必需在绝缘层汽化后露出电极时,熔化才能造成短路。

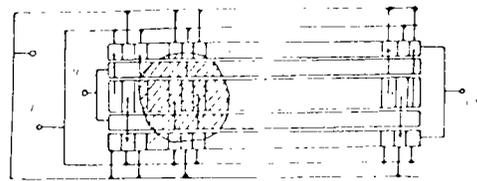


Fig. 5 Schematic diagram of CCD detector structure, the shadow is the irradiated area

必需在绝缘层汽化后露出电极时,熔化才能造成短路。

四、结 论

实验说明,在强激光辐照 CCD 图象传感器局部时,其工作性能发生很大变化。以硅(Si)为基底的器件造成永久损伤的激光功率密度阈值较高,但由于 CCD 探测器存在“光饱和串音”现象,干扰其正常工作的激光功率密度阈值较小。CCD 图象传感器的工作原理和结构决定了它在抗激光对抗方面是一个脆弱器件。

参 考 文 献

- 1 汤定元,糜正瑜. 光电器件概论. 上海:上海科学技术文献出版社,1989:420
- 2 Sah Chih tang, Fu Horngsen. IEEE, 1974;ED-21(3):202
- 3 刘泽金,蒋志平,陆启生. CCD 饱和效应的实验研究,第三届激光的热和力学效应学术会议论文集,上海:1991

作者简介:刘泽金,男,1963 年 10 月出生。讲师,在职博士生。现从事强激光技术方面工作。

陆启生,男,1942 年 5 月出生。副教授,副博士生导师。

蒋志平,男,1964 年 5 月出生。讲师,在职博士生。现从事光束控制方面工作。

赵伊君,男,1930 年 10 月出生。教授,博士生导师。现从事强激光技术等方面工作。

收稿日期:1993-12-20 收到修改稿日期:1994-04-12

• 产品简讯 •

可调的紫外光源

目前国际光电子工业公司能够提供千赫重复频率的波长在 360~490nm 范围的可调的紫外光源。当用该公司的 GM-30 倍频 Nd:YAG 或 Nd:YLF 激光器泵浦时,重复频率在 1kHz 范围的 TU-UV 掺钛蓝宝石激光器将提供 2mJ/P 的能量。外倍频或三倍频元件可以增加选取的波长范围分别为 210~240nm 或 240~310nm。重复频率从单次发射到千赫频率都是可能的。

译自 L & O, 1994;13(5):43 於祖兰 译 巩马理 校