

文章编号:1001-5078(2004)03-0203-03

非制冷焦平面热像仪获取脉冲 CO_2 激光光斑研究

宋海平^{1,2}, 叶征宇¹, 柯常军³, 吕跃广¹, 李 港²

(1. 中国北方电子设备研究所, 北京 100083; 2. 北京市激光高技术实验室, 北京工业大学, 北京 100022; 3. 中科院电子所, 北京 100080)

摘 要:采用漫射红外成像法对脉冲 CO_2 激光光斑进行了测量, 分析了电扫描体制非制冷红外焦平面热像仪获取窄脉冲 CO_2 激光光斑的机理, 解释了出现半光斑现象的原因; 并采用同步发射激光技术, 保证了单次激光脉冲的完整、稳定捕获, 得到了脉冲 CO_2 激光相对光强分布及相关光束质量参数。

关键词:非制冷红外焦平面热像仪; 脉冲 CO_2 激光; 积分时序; 相对光强分布

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Study on Capturing High-power Pulse CO_2 Laser Light Spot with Uncooled IRFPA Camera

SONG Hai-ping^{1,2}, YE Zheng-yu¹, KE Chang-jun³, LI Yue-guang¹, LI Gang²

(1. No. 947 Mail box of Beijing, Beijing 100083; 2. Lab of Laser High Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022; 3. Institute of Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The pulse CO_2 laser light spot is measured by the measurement of diffused reflection and infrared imaging. The mechanism of using Uncooled IRFPA Camera with elect-scanning system to capture narrow-pulse CO_2 laser is analyzed, and the cause of half-spot-light phenomena is explained; Furthermore, single pulse laser beam is captured fully and stably by synchronously triggering laser. Thus the relative intensity distribution and beam quality parameters of pulse CO_2 laser are obtained.

Key words: Uncooled IRFPA Camera; pulse CO_2 laser; integration sequence; relative intensity distribution

1 引言

高功率脉冲激光空间光强(或能量)分布是脉冲激光的一项重要特性。对近红外脉冲 YAG 激光的测量有技术较为成熟的 CCD 测量法, 而中远红外波段的脉冲 CO_2 激光空间能量分布的测量用烧烛法^[1]、转镜扫描法^[2]等, 大都存在着测试精度低、且实用性较差的缺点。为了提高测试精度, 以及测量的实用性, 本研究采用“准凝视型”红外热像仪对发射到漫反射靶面的脉冲 CO_2 激光成像的方法, 测量出单脉冲 CO_2 激光的相对光强分布, 我们称之为“红外漫射成像法”。

2 非制冷红外焦平面热像仪与脉冲 CO_2 激光

我们所选用的红外热像仪探测器是由法国 Sofradir 公司提供的非晶硅非制冷焦平面探测器(UFP-A), 其等效噪声温差(NE Δ T) $\leq 120\text{mK}$, 像元数为

320 $\times$ 240, 响应波段为 8 ~ 14 μm , 场频为 50Hz。其积分时序图如图 1。

由图 1 可知, 其行积分周期(INT)大于 340 个主时钟周期(TMC), 约为 64 μs , 场周期为 20ms。在一个场周期内, 每一行像元顺次积分, 在第二行像元积分的同时, 读出第一行像元积分的数据, 每一行像元的积分时间约为 64 μs 。等到 240 行像元全部积分完毕后, 探测器清零, 准备下一场积分。该类型成像探测器既不同于机械扫描式成像器件, 也不同于完全凝视型成像器件, 因其在某个时刻(或瞬态)只有一行(320 个像元)像元在积分, 我们称这种以电扫描型红外探测器为成像器件的热像仪为“准凝视

作者简介: 宋海平(1979 -), 男, 北京工业大学在读硕士研究生, 研究方向为激光技术的研究与应用以及激光参数测量技术。

收稿日期: 2004-02-23

型“红外热像仪。由上面的分析可以看出,用“准凝视型”红外焦平面热像仪是不能够对高速和瞬态(持续时间 < 20ms)现象完整成像的。

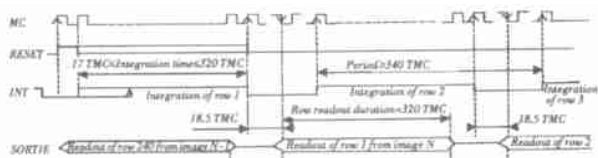


图1 非制冷焦平面探测器积分时序图

被测 CO₂ 脉冲激光脉宽(光脉冲持续时间)约从 100ns 到几个微秒,这一量级远比探测顺一行像元积分时间还要小许多倍。依据上述分析,用非制冷型焦平面热像仪获取这种瞬态的 10.6μm 激光光斑图像时,最多只会有一行像元成像。而在实际的实验当中,我们却得到了如下三种实验现象:

1. 捕捉到了单次脉冲的整光斑图像,见图 2;
2. 捕捉到了单次脉冲的半光斑图像,见图 2;
3. 捕捉不到单脉冲光斑图像。

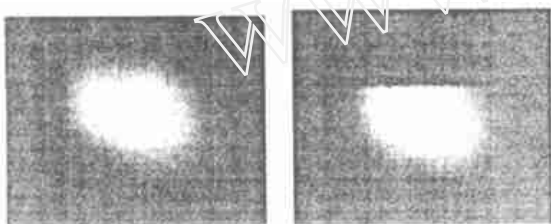


图2 整光斑、半光斑图像

3 机理分析

3.1 微测辐射热计机理

非晶硅非制冷焦平面探测器,属于微测辐射热计探测器,该类探测器的特点是入射光(或入射辐射)与材料的晶格相互作用,晶格因吸收光能而增加振动能量,引起材料的温度上升,从而使材料本身的阻值发生变化、引起负载两端电压变化从而给出电信号。其光敏元件是一层由非晶硅半导体制成的薄片,实际上是热敏电阻。

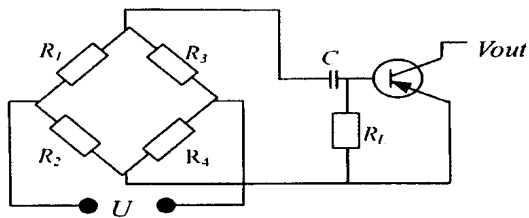


图3 热敏电阻测辐射热计工作原理图

如图 3 所示, R_1, R_2 是两个热敏电阻, R_3 和 R_4 是两个负载电阻。在无辐射入射时,电桥平衡,输出信号电压为零,即 $V = 0$,这时有

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (1)$$

当辐射入射到热敏电阻 R_1 上时,其吸收辐射而使温度升高 T ,阻值变化 R ,这时电桥失去平衡,电桥输出的信号电压为

$$V = \frac{U(R_3 - R)}{(R_1 + R_3 + R)(R_2 + R_4)} \quad (2)$$

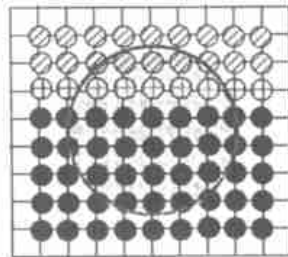
式中 U 为电源电压。

在小信号情况下, $R \leq R_1 + R_3$,略去分母中 R ,并选择 $R_1 = R_2, R_3 = R_4$,再将式(1)代入上式可得:

$$V = \frac{UR_3 \alpha_T R_1 T}{(R_1 + R_3)^2} \quad (3)$$

3.2 半光斑现象解释

因非晶硅焦平面阵列属于微测辐射热计探测器,实际上是一种热敏电阻,因此只要有响应波段的激光辐照,它就会将辐射能量储存起来,因此,虽然在激光通过靶面反射进入探测器表面的某个瞬态,探测器只有一行像元在积分(见图 4 示意图中正在积分的一行像元),由于该种热敏电阻工作在 8 ~ 14μm 波段,能对 10.6μm 激光充分响应,所以探测器完全吸收了辐射来的激光能量(见图 4 中接收辐射的像元),等到行积分时,像元所接收的辐射能量转换成视频信号送出来。



- ⊕ 积分完毕的像元
- ⊕ 正在积分的像元
- 接收辐射的像元
- 未接收辐射的像元

图4 探测器接收激光辐射瞬时示意图

若在焦平面探测器首行像元刚刚开始积分或有适当的延迟时,激光脉冲照射到探测器焦平面阵列表面,则各像元均接收激光辐射,并将辐射能量储存起来,在后续的行积分依次将辐射能量转换成视频信号传递出来,那么,通过显示器我们就可以看到捕获到的完整的激光光斑。若在焦平面探测器第 n 行像元处于积分状态或行间隙状态时,激光脉冲到来,则处在第 n 行到第 240 行的像元接收到的激光辐射能量被转换成视频信号送显监视器,我们就看到了如图 2 右图所示的半光斑图像;首行到第 $n - 1$ 行的探测像元也接收到了激光辐射能量,但在该场中,其所在行的行积分已经完毕,故未能将其能量送显出来,等到场积分完毕,探测器清零时,将像元清零。若恰在场间隙(场积分完毕,图像清零时)时,激光脉冲到来,则热像仪就不会捕获到激光光斑。

4 同步发射激光

由上述机理分析可知,由于激光到达热像仪的时刻不确定性,即激光脉冲与热像仪场视频采集的同步存在随机性,因此我们不能稳定的获取到激光

光斑图像,要解决这一问题,必须采取同步措施。

实现同步的方法主要有两种:一是测量者被动地接收激光泵浦源或激励源,提取信号,回馈给成像器件,强行使其复位,处于积分状态,等待被测光脉冲的到来^[7];二是测量者主动去触发激光泵浦源或激励源,产生激光脉冲,见图5示意图。第一种方法对成像器件的控制要求比较高,这对于技术刚刚成熟的非制冷红外焦平面器件要求较高,且测量者难以主动控制单脉冲的发射。因此,我们采用主动测量的方法,用视频场同步信号去同步激光脉冲。

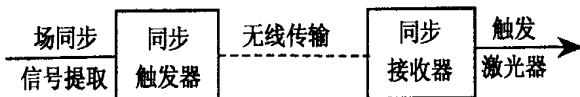


图5 同步发射激光示意图

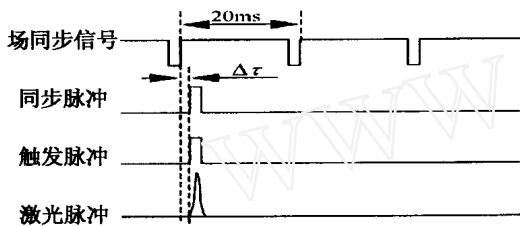


图6 同步发射激光时序图

如图6所示,首先从热像仪视频信号中分离出单个场同步信号,依据单个场同步信号的上升沿产生一个同步脉冲,并加以适当的延时(τ),然后通过无线发射,将同步脉冲传递到远场激光器附近,再由接收模块接收,产生触发脉冲,去触发激光器发射光脉冲。

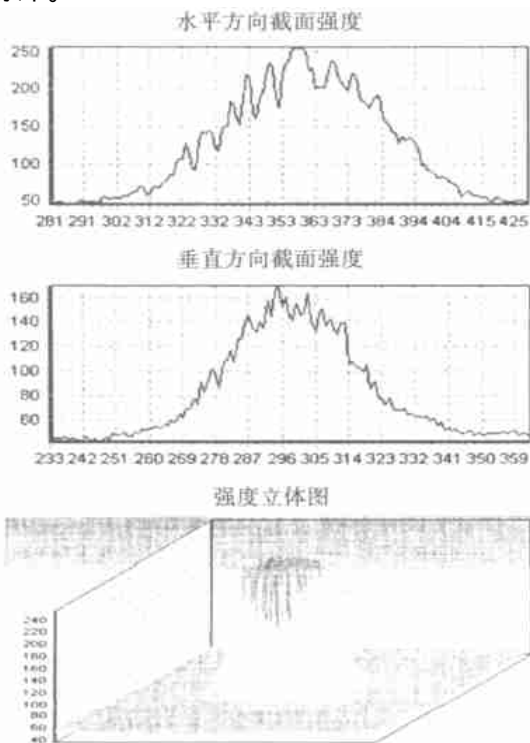


图7 光斑截面图及三维立体图

通过采用同步发射激光技术,并加以适当的延

时 τ ,保证了脉冲激光的完整、稳定捕获,捕获几率达到100%。

5 实验结果及结论

在实际的实验研究中,我们采用电扫描体制的非制冷红外焦平面热像仪获取到了脉宽为微秒甚至纳秒量级的瞬态激光光斑,通过同步发射激光,保证了单次激光脉冲的完整、稳定获取,捕获几率达到100%。

通过设立均匀性一致的漫反射靶板,用非制冷红外热像仪接收漫射光斑图像,并利用自主开发了实用光斑采集软件,对采集到的光斑图像进行线性平滑、阈值分割等处理,得到了 CO_2 激光光斑的二维任意截面的光强分布和空间三维立体相对光强分布,如图7所示。并对激光光斑的中心位置、光斑半径以及光束发散角等参数进行了计算。

通过实际实验研究,采用漫射红外成像法能够对脉冲 CO_2 激光光斑进行测量,并取得很好的测量结果。但是,对于能量型应用的高能激光器,我们所关心的是其到达远场时的能量集中度和能量密度分布,为了测得实际激光脉冲的能量值,则必须对所获得的光斑图像进行能量定标,也是本研究下一步将要进行的工作。本研究得到了中远红外激光单脉冲光斑图像,为后面的能量标定工作奠定了基础,有关能量标定等方面的工作将在以后进行报道。

参考文献:

- [1] Li Junchang, Ma Kun, Fan Zebin. Power Density Distribution Simulation and Relevant Heat Effect Calculation of a High Power CO_2 laser with Low Order modes[J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, 11(5): 334 - 340.
- [2] 吴谨, 彭先兆, 谭荣清, 等. 用转镜扫描系统测量脉冲激光的二维光强分布[J]. 应用激光, 1998, 18(3): 123 - 125.
- [3] Jear-Luc Tissot, Jear-Luc Martin, et al. 320 $\times$ 240 microbolometer uncooled IRFPA development[A]. In: Bjorn F. Andresen eds. proceedings of SPIE Vol. 4130, 2000: 473 - 479.
- [4] E MOTTIN, A BAIN, et al. Uncooled amorphous silicon technology: high performance achievement and future trends[A]. In: Eustace L. Dereniak, Robert E. Sampson [C]. Proceedings of SPIE Vol. 4721, 2002: 56 - 63.
- [5] Eric MOTTIN, Jear-Luc MARTIN, et al. Enhanced amorphous silicon technology for 320 $\times$ 240 microbolometer arrays with a pitch of 35 μm [A]. In: Bjorn F. Andresen eds [C]. Proceedings of SPIE Vol. 4369, 2001: 250 - 256.
- [6] Tsung-Hsin Yu, Chung-Yu Wu, et al. A New CMOS Readout Circuit for Uncooled Bolometric infrared focal plane arrays [A]. In: ISCAS 2000 - IEEE International Symposium on Circuits and Systems [C]. May 28 - 31, 2000, Geneva, Switzerland: 493 - 496.
- [7] 陈军. 脉冲激光光强空间分布的 CCD 同步接收技术[J]. 中国激光, 1996, 23(6): 490 - 494.