

文章编号:1001-5078(2007)09-0821-03

激光驱动飞片的动量计算

赵翔, 苏伟, 李东杰, 高扬

(中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 成都 621900)

摘要:文章以激光支持的爆轰波(LSDW)理论为基础,建立了约束和无约束条件下激光驱动飞片的动量模型,通过计算分析了激光的能量、脉宽、靶面大小对飞片动量的影响,获得了有价值的结果,为下一步实验提供了理论基础。

关键词:激光;LSDW;飞片;动量

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A

Momentum Calculation of Laser Driven Flyer Plates

ZHAO Xiang, SU Wei, LI Dong-jie, GAO Yang

(Institute of Electronic Engineering, CAEP, Chengdu 621900, China)

Abstract: According to LSDW theory supported by laser, this article builds a model on momentum calculation of laser driven flyer plates under constrain and unconstrain conditions. Having calculated and analyzed the influence on momentum of flyer plates caused by laser energy, pulse width, flyer area, many valuable results have been gotten. So theory basis is set up in order to carry out later experiments.

Key words: laser; LSDW; flyer plates; momentum

1 引言

当激光束辐照在玻璃窗口后表面上的金属膜时,沉积的激光能量将烧蚀金属膜,产生强应力波并能够驱动金属或塑料飞片高速飞行。由于该项技术在开展超高应变率(10^6 以上)材料动态力学性能、动高压加载方面都具有重要的应用价值,因此成为世界各国的研究热点^[1]。

激光驱动飞片技术自出现以来,激光与飞片之间的耦合关系一直是科研人员研究的重点。激光与飞片的耦合关系可以分为两个大类:动能耦合关系和动量耦合关系。其中激光耦合动能方面的研究工作开展得很多,但由于激光与物质作用的复杂性和实验条件所限,模型与实验数据之间误差较大,不能满足实际需要,目前正处在继续研究和探索之中。而对于激光耦合动量关系的研究却未见报道。本文在此方面作了一些有益的探索,试图利用冲量定理建立激光与飞片之间的动量耦合关系,从另一角度

阐释激光与物质作用的力学效应。

2 理论模型

激光动量耦合模型分为两种,即约束模型和无约束模型。所谓约束模型,是指在这种结构中,靶体表面紧贴适当厚度的称为约束层的透明物质,等离子物质的喷射将受到约束层的限制。所谓无约束模型,是指置于空气或真空环境中的固体靶体直接受到激光束的辐照,从而激发冲击波的结构。实际工程中更有价值的是约束模型,因此是研究的重点。为了研究约束模型,必须先进行无约束模型的研究,然后在此基础上进行修正以期达到理想的结果。目前对无约束模型的研究较为透彻,以下面介绍的模型

基金项目:“十一五”预研重点项目资助课题(No. 51305070402)。

作者简介:赵翔(1974-),男,工程师,在读博士,主要从事激光点火,激光引信,MOEMS技术的研究工作。E-mail: zhaoxiang7410@sina.com

收稿日期:2007-02-06; **修订日期:**2007-03-29

较为常见。

2.1 无约束模型

在激光脉冲作用期间,激光维持爆轰波主要在逆激光方向上扩张,可近似视为一维处理。激光脉冲后,LSDW 运动应视为二维流场。图1为LSDW 一维结构。

假设激光脉宽为 t_p ,定义 LSDW 两维运动的特征时间 t_{2D} ,它等于 LSDW 波前扩张到光斑直径距离时所需要的时间,即:

$$t_{2D} = \int_0^{v_L} \frac{dx}{v_L} = \frac{D_s}{v_L}$$

式中, D_s 是激光束的光斑直径; v_L 表示 LSDW 的传播速度。

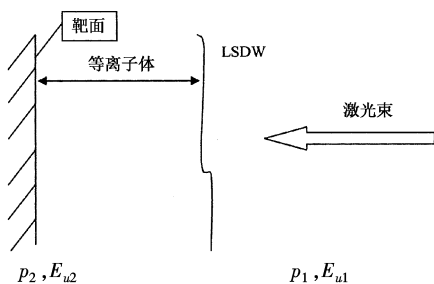


图1 LSDW 一维结构

定义:在激光脉冲期间,LSDW 在靶面上的压力为 p_1 ;当 $t = t_{2D}$ 时,靶面的压力为 p_2 。

在靶面积有限时,激光作用于靶表面进行冲量传递的有限面积最大只能是靶面面积,其冲量传递将会受到靶面有限大小的限制,下面分两种情况讨论。

2.1.1 当 $t_p < t_{2D}$ 时

当 $0 < t < t_p$ 时,LSDW 压力不变;当 $t_p < t < t_{2D}$ 时,LSDW 呈平面衰减; $t > t_{2D}$ 时,LSDW 呈圆柱面衰减。首先假设靶面面积为 S ,半径为 R ,冲量总传递时间为 t_0 ,这时靶面获得的冲量由下式给出^[2]:

$$I_{AT} = \int_0^{t_0} \int_S p_s(t) dS dt = \left[3p_1 t_p \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/2} - 2p_1 t_p \right] \pi \omega_s^2 + \frac{5}{4} p_2 t_{2D} \cdot$$

$$\left[\left(\frac{t_d}{t_{2D}} \right)^{4/5} - 1 \right] \pi \omega_s^2 + 5p_2 t_{2D} \left[\left(\frac{t_{2D}}{t_d} \right)^{1/5} - \left(\frac{t_{2D}}{t_0} \right)^{1/5} \right] \pi R^2$$

2.1.2 当 $t_p \geq t_{2D}$ 时

当 $0 < t < t_{2D}$ 时,LSDW 压力不变; $t > t_{2D}$ 时,LSDW 呈强球面衰减。与上面的推导过程相同,所以整个作用时间内,传递给靶的总冲量为^[2]:

$$I_{AT} = p_1 t_{2D} \pi \omega_s^2 + \frac{5}{7} p_1 \pi \omega_s^2 t_{2D} \left[\left(\frac{R}{\omega_s} \right)^{7/3} - 1 \right] +$$

$$5p_1 \pi R^2 t_{2D} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{1/4} - \left(\frac{R}{\omega_s} \right)^{1/3} \right]$$

根据冲量定理 $I = \Delta P$,飞片在烧蚀前的初速度为0,因此可得飞片的动量为: $I = P = mv_{末}$ 。

2.2 约束模型

在约束模型中,由于约束层的影响,侧面稀疏波的影响比“无约束”情况大得多,情况也变得很复杂。目前通过理论和实验研究大致表明,约束层引起的冲击波的压强可提高一个量级^[3],计算一般采用以下公式:

$$p_1 / \text{GPa} = 2.07 [I_0 / (\text{GW} \cdot \text{cm}^{-2})]^{1/2} \text{ (K9 玻璃作为约束层)}^{[4]}$$

其余计算与无约束情况相同。

因此,只要给出作用激光参数(能量、脉宽、光斑大小等)、靶面气体参数(密度、压强等)以及靶面大小等,就可以通过以上模型,求出激光作用过程中传递给靶材的冲量。同样,根据冲量定理 $I = \Delta P$,飞片在烧蚀前的初速度为0,因此可得飞片的动量为:

$$I = P = mv_{末}$$

3 计算结果及讨论

理论计算与实验数据如表1所示。

3 计算结果及讨论

理论计算与实验数据如表1所示。

表1 理论计算与实验数据^[5]

Tab.1 theoretical compute and experiment data

No.	laser energy /mJ	FWHM /ns	flyer thickness / μm	experiment velocity /($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)	theoretical momentum ($\times 10^{-5} \text{kgm} \cdot \text{s}^{-1}$)	practical momentum ($\times 10^{-5} \text{kgm} \cdot \text{s}^{-1}$)	error /%
1	149.5	11.5	5.5	2.0	0.914	0.839	8.9
2	177.2	9.5	5.5	3.4	1.606	1.427	12.5
3	222.2	9.0	5.5	4.4	1.830	1.847	0.9
4	291.0	9.0	5.5	6.6	2.095	2.770	24.4
5	400	10.0	5.5	3.6	4.744	4.197	13.0
6	298.3	10.0	10	1.7	4.095	3.603	13.7
7	345.4	10.0	10	1.9	4.406	4.027	9.4
8	353.3	10.0	10	1.9	4.456	4.027	10.7
9	369.0	10.0	10	2.0	4.554	4.239	7.4
10	381.5	10.0	10	2.0	4.631	4.239	9.2
11	397.2	10.0	10	2.1	4.725	4.451	6.2
12	612.3	10.0	10	2.8	5.866	5.935	1.2
13	730	10.0	10	3.1	6.406	6.571	2.5

从表1可以看出,理论计算与实验结果的误差最大不超过25%,理论计算和实验结果符合较好,说明该模型建立是成功的。从表中可以看出,无论飞片的厚度怎样,飞片的动量始终随激光能量的增

大而增大。在相同激光能量输入的情况下,厚飞片的速度比薄飞片小。对于实验数据和理论数据的差异,是因为受到各方面因素影响造成的,比如:飞片烧蚀层厚度的精确测定,光斑尺寸的精确测定以及测速的精度等因素。另外,理论模型未考虑光源的形式,而把其认为是“平顶”分布,这与实际光强在飞片表面的分布情况是不相同的。这也是造成实验数据与理论数据的误差在某一局部较大的原因。

4 总结

本文利用冲量定理建立了约束模式下激光驱动飞片动量的计算模型,理论与实际符合较好,并且对误差的原因进行了分析,认为实验数据的测量精度和理论模型是否完善是导致误差的两个最大直接原因。同时,受实验条件的限制,实验的数据量还很有限,对该模型的普适性还有待于今后进一步验证。由于该模型未考虑光束的形状、光强的分布情况以

(上接第 817 页)

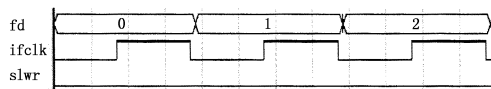


图4 完成对输入端点 2FIFO 的写操作

通过 FPGA 使传感器数据线 D[9:0] 与 CY68013 内部 FIFO 数据线 FD[9:0] 直通。采用连续写的方式,即传送每幅图像的过程中,写信号 slwr 保持低电平有效,如图 4 所示。将时钟信号(24M)输入 CY7C68013 的 ifclk 引脚,在每个 ifclk 的上升沿,一个像素的亮度值被送入 FIFO, CY68013A 的硬件自动将数据转入端点 Buffer 中。ifclk 与传感器的 Mclk 采用同样的时钟源(24M),在 Mclk 的每个下降沿,传感器数据线更新下一像素的亮度数据,在 Mclk 上升沿,即 ifclk 上升沿,数据线上的数据已经建立,被写入 FIFO。

8 系统软件

系统软件开发主要包括固件程序开发和高级应用程序开发。

Cypress 公司为 CY68013 提供了一个开发框架,可以在 KEIL C51 环境下开发,缩短了程序开发周期。固件程序主要完成 USB 数据传输事务。对传感器上传至 PC 的图像数据透明传输,进入中断处理 PC 输出的传感器控制数据包,解析控制数据生成相应寄存器值通过 I²C 接口写入传感器。

PC 上的高级应用程序实现图像显示与数据分

析,评估光校进程与结果,接收用户设定的传感器参数。对 USB 设备的操作可直接调用 Cypress 公司提供的 API 函数。

参考文献:

- [1] Paisley D L. Laser-driven miniature flyer plates for shock initiation of secondary explosives[R]. DE89-016587.
- [2] 陆建,倪晓武,贺安之. 激光与材料相互作用物理学[M]. 北京:机械工业出版社,1996:144-147.
- [3] 周建忠,杨继昌,周明,等. 约束层刚性对激光诱导冲击波影响的研究[J]. 中国激光,2002,29(11):1041-1044.
- [4] 王声波,范勇,吴鸿兴,等. 约束结构下激光冲击波特性实验研究[J]. 强激光与粒子束,2004,16(8):981-984.
- [5] 谷卓伟,孙承伟,刘仓理,等. 小型激光器驱动飞片技术的平均速度测量研究[J]. 强激光与粒子束,2001,13(3):309-312.

析,评估光校进程与结果,接收用户设定的传感器参数。对 USB 设备的操作可直接调用 Cypress 公司提供的 API 函数。

9 结论

本文针对脉冲式激光主动遥感器的特点,研制了光校实时检测系统。图像采集同步信号的产生与运用,使系统图像数据采集的有效率提高,有利于提高系统后端数据处理的速度。可适应不同频率的激光器,并对遥感器没有依赖。系统可根据激光器实际的出光频率采集图像,并实时完成图像数据分析,检测光校效果,其量化的结果可以用于定量分析系统的性能和可靠性。本系统除了适合脉冲激光遥感器光校检测使用以外,稍加改进就可以用于激光器光束质量评估。

参考文献:

- [1] 苏美开. 光轴偏差对激光测距机测距能力的影响[J]. 激光杂志,2001,22(3):39-40.
- [2] 凌军. 几种光轴平行性测试方法的比较与探讨[J]. 应用光学,2003,24(1):43-45.
- [3] 陈育伟. 主动光学系统的计算机辅助光校方法研究[J]. 激光与红外,2006,36(1):54-57.
- [4] 李春明. CMOS 图像传感器芯片 OV9620/OV9120 及其应用[J]. 电视技术,2003,(12):66-67.
- [5] 宋勇. 基于 CMOS 图像传感器的成像系统设计[J]. 光学技术,2002,28(3):253-254.
- [6] 李虹. CCD 信号采集系统的 USB 接口设计[J]. 现代电子技术,2004,(18):17-19.