文章编号：1000-5773(2003)04-0290-05

样品-窗口界面运动速度的 VISAR 测试技术*

马 云，胡绍楼，汪小松，陈 宏，李加波

（中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室，四川绵阳 621900）

摘要：介绍了与 VISAR 配合的加窗干涉仪测试技术。实验中分别采用样品表面和窗体表面作为信号光反射面，并用透明粘接剂粘接窗口和样品，得到厚度约为 6 μm、对 532 nm 激光透过率不小于 85% 的粘接层。对窗体本身提出采用楔形的技术，有助于消除表面反射光和窗体寄生干涉对 VISAR 信号的干扰，从而提高信号的信噪比和测试可靠度。利用这一技术分别得到了 6.5 GPa 和 3.61 GPa 冲击压力下铜-LiF 晶体窗口、LiF-LiF 晶体窗口之间的界面速度变化过程。

关键词：干涉仪；VISAR；窗口；冲击波

中图分类号：O384 **文献标识码**：A

1 引 言

在材料的冲击特性研究中，采用加窗 VISAR（Velocity Interferometer System for Any Reflector[1]）技术，既可解决样品表面在冲击波作用下，信号光强急剧下降从而使干涉信号质量退化的影响[2]，又可通过测量样品-窗口界面运动速度，直接获得样品内部的粒子运动速度，模拟样品内部波系情况[3]。因此加窗 VISAR 技术在冲击波物理和爆轰物理研究中一直有着相当广泛的应用。

国内张江跃等人在前几年曾用我们早期研制的 VISAR 仪器，用蓝宝石作窗口测试 93W 合金的屈服强度[4]和拉格朗日声速[5]，但因使用的是两面平行的窗体结构，加上当时 VISAR 仪器和测试技术方面的问题，信号质量不尽如人意。近期我们对 VISAR 仪器和相关测试技术都作了较大改进，使得加窗测试技术研究有了良好的基础。在本文中叙述了基于自行研制的高灵敏度 VISAR 的加窗测试技术，使用这一技术测试了 6.5 GPa 冲击压力下金属铜-LiF 晶体窗口和 3.61 GPa 冲击压力下 LiF-LiF 晶体窗口之间的界面运动速度，得到较好的实验结果。

2 实验方法

加窗 VISAR 的原理图如图 1，一块透明的窗口材料紧贴在所研究的靶样品表面上，作为多普勒反射面的不再是所测靶样品的自由表面（直接与空气接触的表面），而是靶样品与窗口之间的界面。通过测量靶样品-窗口的界面运动速度，可以更直接和准确地了解冲击载荷下靶样品内部的真实状况。

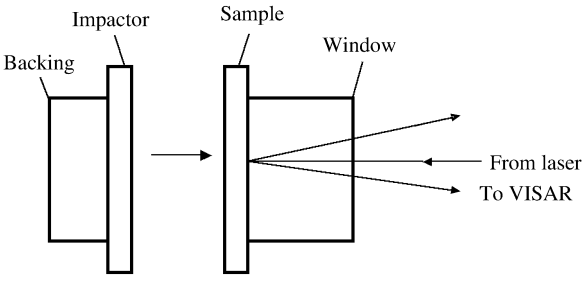


图 1 加窗 VISAR 原理图

Fig. 1 Experimental configuration for windows VISAR

Barker 和 Schuler[6] 最先给出了加窗情况下，VISAR 条纹常数 $F(t)$ 和反射界面速度 u 的普遍表

* **收稿日期**：2002-09-27；**修回日期**：2003-01-27

作者简介：马 云（1975—），男，硕士研究生.

达式

$$u\left(t-\frac{\tau}{2}\right)=\frac{\lambda_0 F(t)}{2\tau(1+\delta)(1+\Delta\nu/\nu_0)} \tag{1}$$

式中:t 是样品运动时间,τ 是干涉仪内两光路间的延迟时间,λ_0 是激光波长,δ 是标准具色散引入的修正项,$\Delta\nu/\nu_0$ 是因冲击压缩作用窗口折射率变化引入的附加多普勒频移。对 LiF 晶体窗口,Wise 测得 $\Delta\nu/\nu_0$ 值为 0.281[7],我们在计算样品-LiF 晶体窗口之间的界面运动速度中采用了此数据。

3　实验装置

为了方便研究加窗测试技术,采用黄铜(H62)和 LiF 晶体的对称碰撞。实验工作在一级轻气炮上完成。用于实验加载手段的一级轻气炮,弹丸与靶碰撞的平面度小于 0.1 °。安装在炮口的刷子探针用于测量弹丸的飞行速度,测速不确定度为 1%。

靶由样品和窗口组成,中间用透明胶粘接(图 2)。所用飞片和样品都是同种材料(H62、LiF 晶体),以产生所谓对称碰撞,窗口都为 LiF 晶体。实验有关参数见表 1。

LiF 晶体窗口要求胚材料从单晶上整体切割,通光方向垂直{100}面,两通光面有 1.5 °的楔角(图 3),这可以消除窗体表面反射光进入仪器以及窗体两表面形成寄生干涉,从而减少杂光和伪信号光的影响。

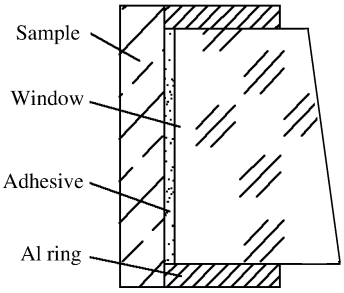


图 2　靶结构

Fig. 2　The configuration of target

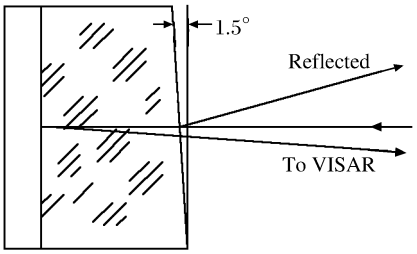


图 3　带有楔角的窗口

Fig. 3　The configuration of window

表 1　实验参数

Table 1　Experimental parameter

No.	v /(m/s)	Window stress p/(GPa)	Impact angle /(°)	Flyer /(mm×mm)	Sample /(mm×mm)	LiF Window /(mm×mm)
W1127	607.2	6.54	0.06	H62 ∅34.2×1.87	H62 ∅34.2×2.02	∅25.2×5.2
W1203	612.9	6.60	—	H62 ∅34.2×2.06	H62 ∅34.2×2.02	∅25.2×5.3
W0610	530.3	3.85	—	LiF ∅30.10×2.00	LiF ∅30.10×2.00	∅30.0×10.00

为使信号光反射面在测试时间内能保持足够的反射率,实验中用两种方法对界面进行了处理。一种是用铜样品表面作为信号光反射面,并用一套特有的机加工方法把铜样品表面加工成均匀的漫反射面。用此方法获得的漫反射面,粗糙度 Ra 为 1.0 μm,平面度小于 0.03 mm,表面均匀,反射率大于 10%(对 λ=514.5 nm 激光)。另一种方法是直接在 LiF 晶体窗体的后表面蒸镀约 0.3 μm 厚的铝膜,用作信号光反射面,此种方法获取的信号光反射面反射率高,尤其适用激光功率不足的情况。

样品和窗口粘接剂采用透明粘接剂,为使粘接剂不能明显成为附加介质层而影响冲击波的波剖面结构,而且在用样品表面作信号光反射面时,粘接剂不影响所用激光的透过率,粘接剂的选择、配比以及封装工艺也是保证实验成功的关键技术。本研究所得结果为 6 μm 厚的粘接层,对波长为 514.5 nm 和

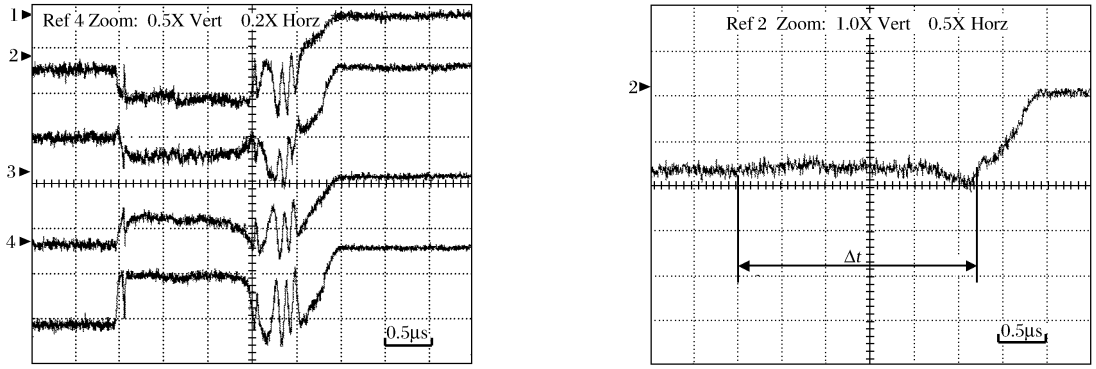
532 nm 的激光透过率不小于为 85%。

实验使用自主开发研制的高灵敏度 VISAR 仪器：激光波长为 532 nm 时，条纹常数 16.5 m/(s·Fr)、33.8 m/(s·Fr)、99.7 m/(s·Fr)，仪器三档可调。双透镜单光纤探头收集信号光[8]，两台 TDS684B 数字示波器作信号记录和监测示波器。

4 实验结果和分析

4.1 实验结果

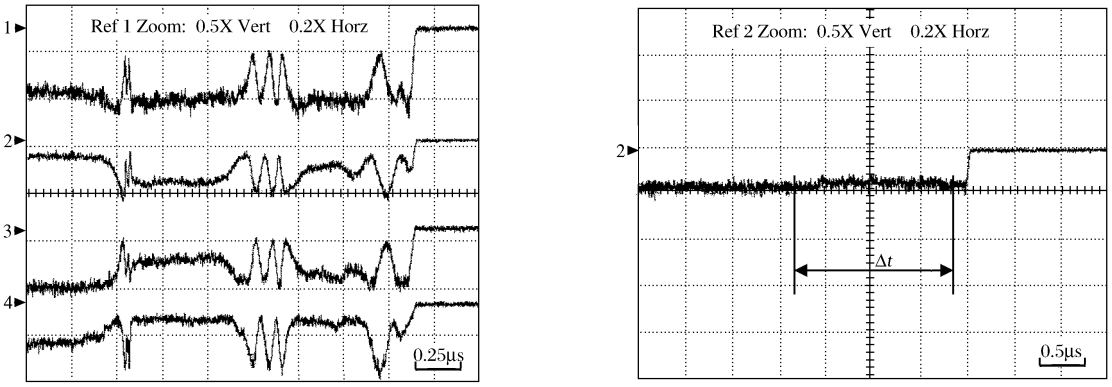
两发铜样品实验的实验条件尽量控制得一致。其中一发 Cu-LiF 晶体窗口实验和 LiF-LiF 晶体窗口实验的 VISAR 原始干涉信号和光强监测信号分别见图 4、图 5，界面运动速度分别见图 6、图 7。在 3 发实验中，都有条纹丢失现象，计算速度时按物理边界条件补加了整数条纹。



(a) VISAR signal (b) Light intensity of VISAR

图 4 测量 Cu-LiF 界面运动速度的实验信号(在速度测试时间 Δt 内，光强变化约 10%)

Fig. 4 Experimental VISAR signal from Cu-LiF interface



(a) VISAR signal (b) Light intensity of VISAR

图 5 测量 Cu-LiF 界面运动速度的实验信号(在速度测试时间 Δt 内，光强几乎不变)

Fig. 5 Experimental VISAR signal from Cu-LiF interface

4.2 实验结果分析

(1) 从 VISAR 的干涉信号(图 4(a)和图 5(a))可以看出，实验仪器记录的干涉仪信号干净无干扰，信噪比较高。这说明前述的窗体设计、样品-窗口粘接工艺以及测试系统的抗干扰处理，到达了预先期望的要求。

从界面反射光强(图 4(b)、图 5(b))变化过程看,在速度测试的有效时间 Δt 内,光强变化较小(最大 10%),这说明前述的界面处理技术有效地防止了冲击过程中界面反射率的急剧变化,尤其是窗体后表面蒸镀镜面时(图 5(b)),光强几乎不变,这非常有助于加窗测试技术的推广。

(2) 在本研究 3 次实验中,由加窗 VISAR 技术测试的 LiF 窗口内的最大粒子速度分别为432 m/s、432 m/s 和 259 m/s,理论计算值分别为 433 m/s、437 m/s 和 265 m/s,实验测试结果与理论计算基本符合。在 Cu-LiF 界面运动速度测试实验中,由于两次实验飞片厚度有 0.19 mm 的差异,导致了两次实验卸载曲线时间上的分离。

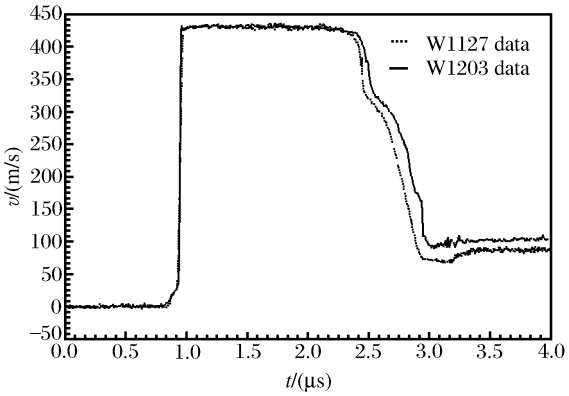


图 6　Cu-LiF 两次实验的界面运动速度

Fig. 6　Cu-LiF interface velocity

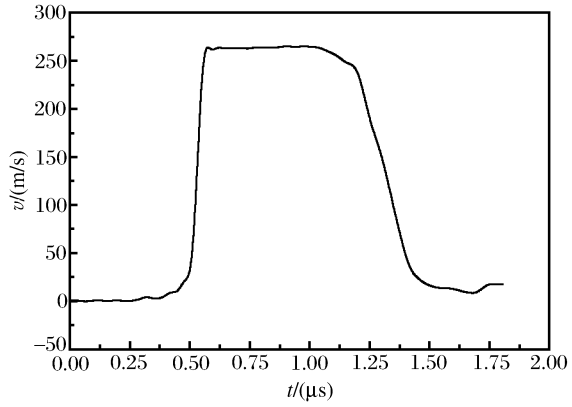


图 7　LiF-LiF 界面运动速度

Fig. 7　LiF-LiF interface velocity

5　结　论

(1) 把窗体设计成两通光面带有一定楔角的结构,有效地解决了窗体表面寄生反射干扰问题;

(2) 探索到两种有助于 VISAR 测试的界面处理方法;

(3) 用 LiF 晶体作窗口,在 6.5 GPa 压力和 3.61 GPa 压力的冲击压缩下,使用自主开发的高灵敏度 VISAR 仪器分别对金属铜样品-LiF 窗口、LiF 晶体-LiF 晶体窗口之间的界面运动速度进行了成功测量,并通过引入修正系数的方法给出了界面运动速度的最终结果。实验结果与理论计算一致。

References:

[1] Barker L M, Hollenbach R E. Laser Interferometer for Measuring High Velocities of Any Reflecting Surface [J]. J Appl Phys, 1972, 43: 4669－4675.

[2] Hu S L. Laser Interferometry for Measuring Velocities [M]. Beijing: Press of the National Defence Industry, 2001. (in Chinese)
胡绍楼. 激光干涉测试技术 [M]. 北京:国防工业出版社, 2001.

[3] Chhabildas L C, Graham R A. Developments Measurement Techniques for Shock-Loaded Solids [R]. SAND-87-0505C, 1987.

[4] Zhang J Y, Tan H, Yu J L. Determination of the Yield Strength of 93W Alloys by Using AC Techniques [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1997, 11(4): 254－259. (in Chinese)
张江跃, 谭　华, 虞吉林. 双屈服法测定 93W 合金的屈服强度 [J]. 高压物理学报, 1997, 11(4): 254－259.

[5] Zhang J Y, Tan H, Yu J L. The Determination of Lagrangian Sound Velocities for 93W Alloy under Shock Loading and Its Application [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1999, 13(1): 42－49. (in Chinese)

张江跃，谭 华，虞吉林. 动高压拉格朗日声速的测定及其应用 [J]. 高压物理学报，1999，13(1)：42－49.

[6] Barker L M，Hollenbach R E. Shock-Wave Studies of PMMA，Fused Silica，and Sappire [J]. J Appl Phys，1970，41(10)：4208－4226.

[7] Wise J L，Chhabildas L C. Laser Interferometer Measurements of Refractive Index in Shock-Compressed Materials [R]. SAND-85-0310C，1985.

[8] Hu S L，Wang X S，Jia L F，et al. A New Fiber Optic Probe for Laser Interferometer [J]. Acta Photonica Sinica，1999，28：177－180. (in Chinese)
胡绍楼，汪小松，贾路峰，等. 用于激光干涉仪的新型光纤探头 [J]. 光子学报，1999，28：177－180.

VISAR Measurement on Interface Velocity between Shocked Specimen and Window

MA Yun，HU Shao-Lou，WANG Xiao-Song，CHEN Hong，LI Jia-Bo

(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research，Institute of Fluid Physics，CAEP，Mianyang* 621900，*China*)

Abstract：Methods and experiments of applying VISAR to measure particle velocity history at the interface between shocked Cu specimen and LiF window and LiF specimen and LiF window are described，respectively. The peak stress levels were 6.5 GPa and 3.61 GPa. Wedged LiF window was applied to smooth out the effect of the reflected light and parasitical interference from the window rear surface，and as a result the signal-to-noise ratio and the reliability of window VISAR were improved significantly.

Key words：interferometer；VISAR；window；shock wave

《高压物理学报》征订启事

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物，在国内外公开发行。《高压物理学报》力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果，读者对象为国内外科技工作者。《高压物理学报》刊载内容为动态及静态高压技术，人工合成新材料，高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究，动态及静态高压研究中的测试技术，高温高压下的相变，高温高压物态方程等。

自 1987 年创刊以来，《高压物理学报》取得了较大的成就。2001 年，《高压物理学报》被科技部和国家新闻出版总署评为“中国期刊方阵”双效期刊。国际主要检索系统“EI Compendex”和“CA”一直收录《高压物理学报》文章。由北京高校图书馆期刊工作研究会和北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》连续三版把《高压物理学报》列为物理学类核心期刊(北京大学出版社，1992 年、1996 年、2000 年)。据中国科学引文数据库公布的“2000 年影响因子最高的中国科技期刊 300 名排行榜”显示，《高压物理学报》影响因子为 0.3627，全国排名第 94 名，列物理类期刊第 3 名。

《高压物理学报》为季刊，国际 16 开本(A4)，每年 3、6、9、12 月 5 日出版。国内读者可直接在当地邮局订阅，邮发代号：62－132；或随时向编辑部订阅。

地 址：四川省绵阳市 919 信箱 110 分箱《高压物理学报》编辑部，邮政编码：621900

电子邮件：gywl@chinajournal.net.cn；gaoya@caep.ac.cn (征订、投稿、咨询)

电 话：(0816)2490042；传真：(0816)2282695

邮发代号：62－132；价格：10 元/本；40 元/年。

《高压物理学报》编辑部启