

- (9) McQueen, R. G. et al, *High Velocity Impact phenomena*, (1970), 530.  
 (10) Канель, Г. И. и др, Ф. Г. В., 2 (1978), 130.  
 (11) Lee, L. M., *J. Appl. Phys.*, 44 (1973), 4017.  
 (12) Rosenberg, Z. et al, *J. Appl. Phys.*, 52 (1981), 755.  
 (13) Champion, A. R. et al, *J. Appl. Phys.*, 43 (1972), 2216.

## RESPONSE OF F4/203A TYPE MANGANIN PRESSURE GAUGE TO IMPACT LOADING

Chi Jiachun Wu Guodong

A calibration curve of F4/203A type manganin pressure gauge has been established through a set of impact loading experiments in 2 - 19 Gpa stress range.

Using the calibration Curve, a set of Hugoniot states of PTFE in 2 - 10 Gpa stress range has been determined by the first response of the manganin pressure gauge. They are excellent consistent with the standard Hugoniot of PTFE. Moreover, the comparison between our calibration curve and the latest calibration curves from abroad also shows this calibration curve to be justifiable.

## 激 光 在 金 属

### 薄膜中产生的应力波的测量

方青 宋海法 叶子观 曾凡群

(1983年1月22日收到)

将铝、铋、铟、铬、铜、金、银七种金属在K<sub>2</sub>O玻璃基片上真空蒸镀成十二种厚度的薄膜,接受Q开关钕玻璃激光束的照射。激光脉冲宽度为70ns,在直径为10mm的面积上最大照射光能为2.2J。用10mm直径的X轴切割石英晶体压电传感器测量激光激励的应力波。本文叙述了峰值应力与薄膜材料、厚度以及光通量的关系,并对实验结果作了简单的分析。

### 引 言

近年来,我们采用了多种方法以降低高能炸药激光引爆的临界能量。方法之一是在激光

入射窗口上镀以铝膜。与无膜透明窗口相比,当铝膜厚度为 $1000\text{Å}$ 时,低密度PETN的临界引爆能量可以降低50%<sup>(1)</sup>。一般认为,此时冲击起爆机制是主要的<sup>(2)</sup>,因此,应测定汽化的金属膜与炸药界面上的压力随时间的变化,研究入射光能密度、膜料、膜厚等对压力波的影响。

我们利用石英压力计测量了Q开关钕玻璃激光束在金属薄膜中产生的应力波随时间变化的规律。发现,通过对膜料和膜厚的适当选取,即使在较低激光能量密度下,也有可能产生万巴级压力脉冲,给激光作为炸药冲击引爆研究的窄脉冲源和激光引爆炸药机制本身的研究带来了方便,并证明了引爆炸药的临界激光能量是可以进一步降低的,有利于实用激光雷管的研制。

### 实验装置与测试线路

强激光束照射金属薄膜,使之汽化并形成稠密的热等离子体云,可在周围介质内产生很高的压力。压力强度应与入射光能密度和金属薄膜的性质有关。压力脉冲在石英晶体片中轴向传播时,造成晶体极化。若晶体片两极面通过外电路构成回路,在极化过程中将形成压电电流。电流波形反映了晶体中的应力随时间变化的规律。

今假设:压电电场是一维的,线弹性的石英晶体片受应力作用时处于一维应变状态,应变极小;应力作用过程中,石英介电常数不变;晶体导电率等于零;极化强度与施加于石英上的应力成正比。

在上述假设基础上,应用静电学原理可推导出压电电流与应力之间的关系式为<sup>(4)</sup>:

$$i(t) = \begin{cases} \frac{fAu_s}{l} \sigma(0,t) & 0 < t < \frac{l}{u_s} \\ \frac{fAu_s}{l} [\sigma(0,t) - \sigma(l,t)] & t > \frac{l}{u_s} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $i$ 是压电电流,压电系数 $f = [2.011 \times 10^{-8} + 1.07 \times 10^{-10} \sigma] \text{c/cm}^2 \cdot \text{kbar}$ , $A$ 、 $l$ 、 $u_s$ 分别为晶体片面积,厚度和声速, $u_s = 5.72 \text{mm}/\mu\text{s}$ , $\sigma(0,t)$ 、 $\sigma(l,t)$ 分别是输入和输出电极面上的应力。

根据上述原理,设计了石英压电传感器和实验装置。图1是一种易于装配和改变样品厚度的实验装置设计。 $\phi 12 \times 3 \text{mm}$ 的 $K_s$ 玻璃基片上真空蒸镀成不同厚度的金属薄膜。使用改进的6UA型干涉显微镜测量膜厚。实验中使用 $\phi 10 \times 1.5 \text{mm}$ 人造X轴切割石英晶体。由于直径厚度比相当大( $D/L \approx 6.7$ ),因此不用保护环,在晶体的两个平行端面镀敷以铬基的银电极,其厚度约 $1 \mu$ 。直径为 $12 \text{mm}$ ,

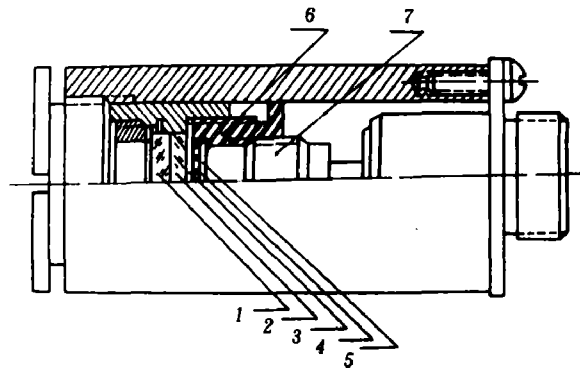


图1 石英压电传感器和实验装置

1. 镀膜盖片, 2. 兰玻璃片, 3. 铜箔,  
4. 石英晶片, 5. 铜箔, 6. 绝缘螺套, 7. 固定螺钉

厚度由 $0.5\text{mm}$ 至 $4\text{mm}$ 的 $LB_2$ 玻璃园片放置在薄膜与压力计之间,隔离汽化薄膜与石英计之间的热效应和防止透射激光与石英计电极间相互作用,实验证明,使用上述厚度范围的兰玻璃对应力幅值无显著影响。 $\phi 10 \times 0.1\text{mm}$ 的钢园片是为了保证石英晶体受压均匀使薄膜——兰玻璃——铜箔——石英晶体的各界面良好接触。用绝缘螺套使 $\phi 16 \times 0.015\text{mm}$ 的铜箔片与钢体保持电接触,成为传感器的接地引线。

实验的光路与测试布置如图2所示。激光源为自制的 $\phi 12 \times 230\text{mm}$ 钹激光器。氦氖激光器用于光路准直。把碳斗的入口对准光栏时,可测得通过光栏的激光能量(即传感器输入能量)。考虑到激光器输出不稳定,每次实验时,分出一部分激光能量,用自制高灵敏度碳斗监测。

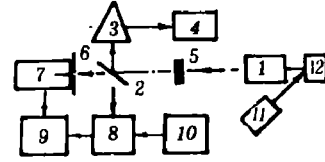
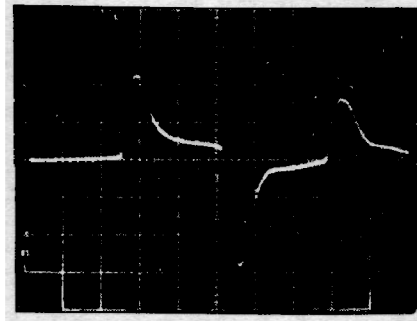


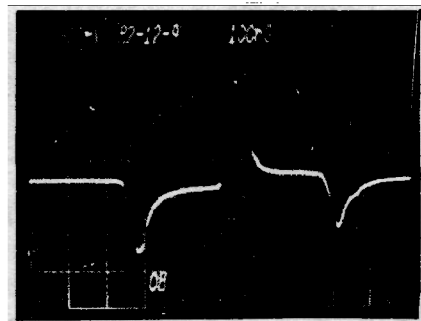
图2 实验的光路和测试布置  
1. 钹玻璃激光器; 2. 分光板; 3. 碳斗;  
4. 检流计; 5. 衰减片; 6. 光栏; 7. 实验装置;  
8. 示波器; 9. 光电倍增管; 10. 高压电源  
11. He-Ne激光器; 12. 透镜。

### 实验结果与分析

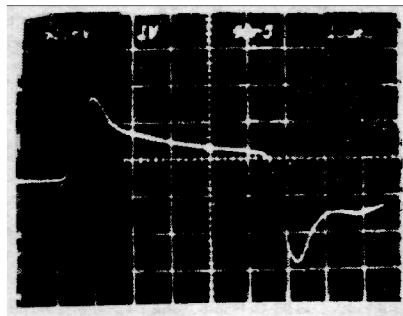
实验获得的典型波形示于图3 (a~f)。表示了应力脉冲和激光脉冲的某些典型特征。在图3 (a~e) 中,第一个波传输时间 ( $l/u_s = 260\text{ns}$ ) 内的信号记录了真实的应力过程。负脉冲冲从出现时间来看是由于反射波所引起的,极性变化是由于方程(1)中因子  $(\sigma - \sigma_0)$  符号



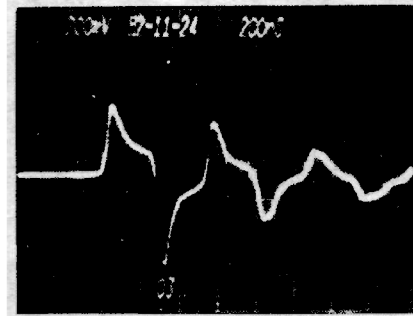
(a) 示波器显示的典型应力信号  
( $200\text{mv}/\text{div}$ ,  $100\text{ns}/\text{div}$ )



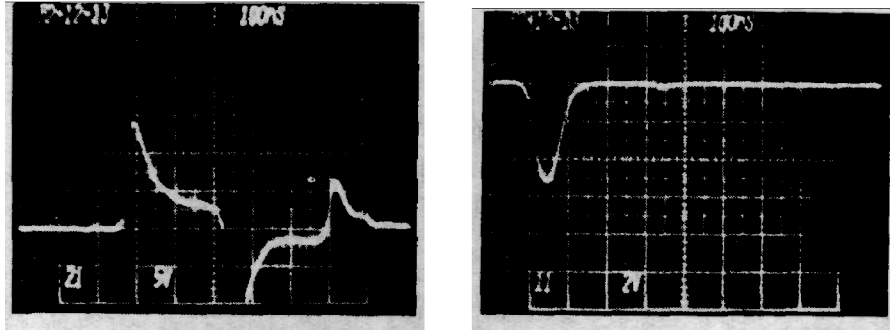
(b) 石英极性转换后的应力波形  
( $500\text{mv}/\text{div}$ ,  $100\text{ns}/\text{div}$ )



(c) 具有更高时间分辨率的应力波形  
( $500\text{mv}/\text{div}$ ,  $50\text{ns}/\text{div}$ )



(d) 具有较低时间分辨率的应力波  
( $200\text{mv}/\text{div}$ ,  $200\text{ns}/\text{div}$ )



(e) 峰值应力较高的应力波形  
(5v/div, 100ns/div)

(f) 激光脉冲波形  
(2v/div, 100ns/div)

图3 典型的应力和激光脉冲波形

的改变所致。比较图3(a)和(f)可见,应力脉冲前沿小于激光的,说明激光刚开始与膜作用的十几毫微秒内,薄膜并未汽化,而膜一旦开始汽化,应力随激光强度的增长而迅速上升到最大值;应力脉冲后沿远远大于激光的,表明激光与物质作用,使薄膜汽化形成应力波后,其卸载过程比激光持续时间长得多,当激光过后130ns时,应力波的幅值仅下降四分之三。至于何时降到零,因受石英压力计厚度的限制,尚无实验数据。比较图3(a)和(b),石英晶体安装极性的变换不会引起脉冲波形的反常,但负极性使用时可能存在一些噪音。

图4给出了主要实验结果。每张图的纵坐标是根据方程(1)由实测峰值电压换算的最大

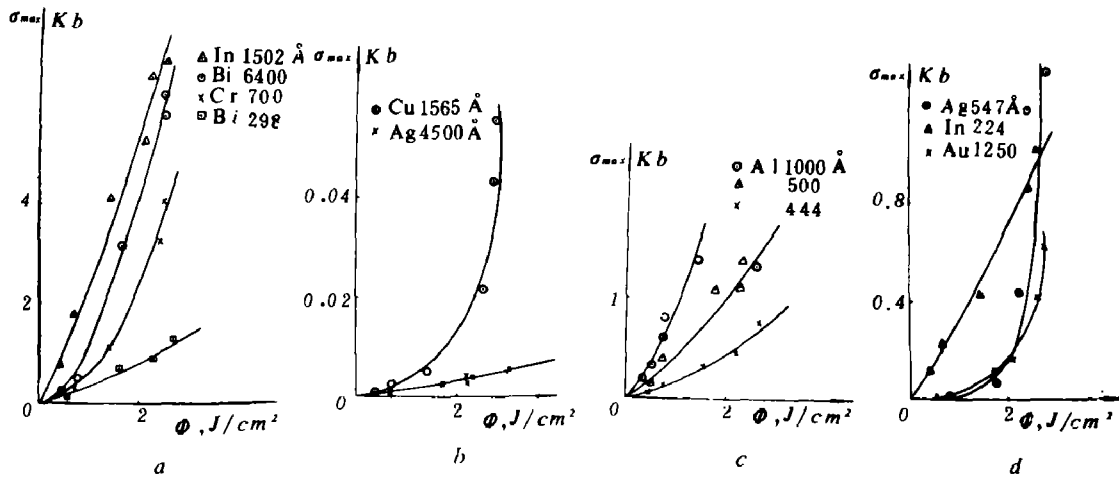


图4 峰值应力 $\sigma_{max}$ 与薄膜材料·厚度和激光能密的关系

应力 $\sigma_{max}$ ,横坐标为激光光能密度 $\phi$ 。 $\sigma_{max}$ 最大值约为7kbar,在石英晶体响应的线性范围内<sup>(5)</sup>。从图4可见:

(1)在薄膜完全汽化的情况下, $\sigma_{max}$ 随 $\phi$ 呈线性变化。实验中观察到高熔点金属在较低 $\phi$ 时,只能局部汽化。

(2)我们在激光引爆炸药的实验研究中,选用了 $1000\text{\AA}$ 的铝膜,入射光能密度相近时,其应力波幅值比 $6400\text{\AA}$ 铋膜或 $1502\text{\AA}$ 钢膜的都要低得多。

(3)从图4(c)三种厚度的铝膜,图4(a)和(d)两种厚度的铋膜和钢膜的实验结果看到,同种膜料, $\sigma_{max}$ 随膜厚增加而变化。

(4)不同的膜料,熔点和汽化热较低的金属,其 $\sigma_{max}$ 较大。

造成后两种结果的原因在于,实验中,照射到金属膜上的激光能量密度低于 $2.7\text{J}/\text{cm}^2$ ,一般仅能使低熔点和低汽化热的薄膜完全汽化。由于激光束的不均匀性,在强光区域才使高熔点金属膜铜、铬、银和金局部汽化。这与L.C.Yang<sup>(3)</sup>用较高能量密度的红宝石激光束照射得到的 $\sigma_{max}$ 与材料性质和膜厚关系不大的结论有所不同,这是可以理解的。而对于机制研究和实际应用来说,我们在低光能密度下得出的结果更有利于激光引爆系统的小型化和所用玻璃器件的激光损伤防护。

姚炳玲、赵玉华、李玉莲、郭美丽、程明宝、廉义德、丁伯南等同志参加了实验工作。在装置设计和结果分析时,曾得到张寿齐、卫玉章同志的帮助、指导、谨表谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] 孙承纬等,爆炸与冲击,第一期(1981),84.
- [2] Yang, L. C., AD-A059120 (1976).
- [3] Yang, L. C., J. Appl. Phys., 45(6), (1974).
- [4] Graham, R. A., J. Appl. Phys., 36(4-6):(1965).
- [5] Ingrum, G. E., Graham, R. A., 5th Symp. on Detonation (1970), 369.

## MEASUREMENT OF STRESS WAVES GENERATED IN THIN METALLIC FILMS VAPORIZED BY LASER

Fang Qing Song Haifa Ye Yuguan Zeng Fanqun

#### Abstract

With twelve different thicknesses, the thin films of Al, Bi, In, Cr, Cu, Au and Ag were vacuum-deposited on the surfaces of K<sub>2</sub> glass base, and were irradiated by a Q-switched Nd-glass laser. The laser beam with a 70 ns pulse duration had a maximum energy of 2.2J in a 10mm diameter area. The stress waves induced by laser have been studied by means of the piezoelectric transducer of X-cut quartz crystal, which is 10mm in diameter. The paper describes the results of experimental studies of the peak stress as a function of film thickness, film material, and laser flux, and also gives a simple analysis.