

红宝石脉冲激光作用下压电陶瓷片的电学性质

曾传相 周业为 杨守智 谢 健
(四川大学物理系)

提 要

研究在普通红宝石脉冲激光作用下, 锆钛酸系(PZT)压电陶瓷片的电学性质时, 观察到一种异常现象: 聚焦的脉冲激光束辐照样品时, 无论沿极化方向(正向)还是逆极化方向(负向)照射, 在样品两面的电极间都能观察到幅度相同而极性不变的电信号波形; 但是, 当激光击穿样品时, 在上述两种照射情况中, 所观察到的电信号波形有一个突变, 其中之一的极性可能变号。本文报导了所得的实验结果, 并对其作了初步探讨。

高强度激光对物质的作用, 一般基于它的高场强、大光压、强热作用、极短的作用时间和频率的选择性等特性。根据所研究物质的不同, 往往涉及上述强激光特性中的一种或几种。我们研究在普通红宝石脉冲激光作用下, PZT压电陶瓷片的电学性质时, 实验中观察到不能用已有的单纯压电知识来解释的现象。

一、实验装置及结果

实验装置如图1所示。非Q开关的红宝石脉冲激光器产生脉宽为700~1100 μs 、能量

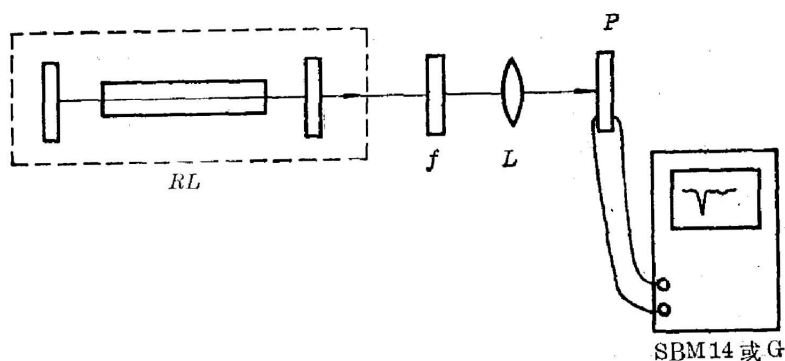


图1 实验装置示意图

RL—普通红宝石脉冲激光器; f —红色滤光片; L —透镜; P —压电陶瓷片;
SBM14—示波器; G —检流计

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

RL—normal pulsed ruby laser; f —red filter; L —focusing lens; P —piezoelectric ceramic thin plate;
SBM14—oscilloscope; G —galvanometer

在 $0.5\sim 2\text{J}$ 范围内变化的激光束,通过红色滤光片之后,用焦距为 70mm 的透镜,可将激光束在样品表面上聚成约 10^{-3}cm^2 的小光斑。受光照的样品是厚度为 0.4mm 、直径为 36mm 的 PZT 压电陶瓷圆片,其成分为 $\text{Pb}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3 + (0.5\sim 1)\text{wt}\% \text{Nb}_2\text{O}_5$ 。样品两面是由银膏烧结成的电极,在 120°C 下所加的极化电压为 1600V 。将样品的极化正、负极分别与 SBM14 示波器正、负极相接,就可观察到所产生的电压信号;也可用检流计测量电流信号。

实验中观察到如下现象:

(1) 当激光束沿正向或负向作用而未击穿样品时,在示波器输入端的负载上产生负信号。它相应于样品膨胀(即沿极化方向伸长)时,通过负载电阻补充表面电荷所产生的信号。因此,它不是压缩力而是膨胀作用所致。

(2) 在激光未击穿样品时,所观察到的电压波形如图 2 所示。图 2(a) 为激光脉冲的尖峰振荡波形;从图 2(b) 可看出,当激光作用于样品边缘两面的无电极处时,在两电极间仍有电信号产生,它的上升时间与激光脉宽相同,并有类似于激光振荡的尖峰结构。波形的尾部呈现为周期性的缓慢衰减振荡,其周期也与激光脉宽一样。这种现象说明激光的作用传到了有电极区域,并激起一种周期性作用;图 2(c) 表明,激光作用于样品两面的有电极处时,波形的上升时间约为 2ms ,而幅度比图 2(b) 情况大大增加;图 2(d) 则显示整个电压波形,它的上升时间很短($\sim 2\text{ms}$),而下降时间却长达几十毫秒。激光无论作用于样品的哪一个面,在电极接线保持不变时,所产生的电信号无明显差别。

(3) 激光未击穿样品时,所产生电信号的峰值与入射光能成正比,如图 3 所示。激光聚

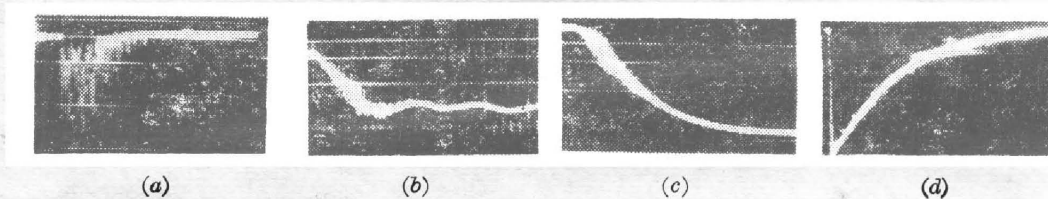


图 2 激光的尖峰振荡波形和激光未击穿样品时的电压信号波形

- (a) 激光脉冲的尖峰振荡波形(时标: $0.5\text{ms}/\text{div}$, 能量: 0.9J);
 (b) 将该激光束聚焦($f=7\text{cm}$)作用于样品边缘的无电极处时,所产生电压信号的波形(时标: $0.5\text{ms}/\text{div}$, 幅度: $0.2\text{V}/\text{div}$);
 (c) 将同样的聚焦激光束作用于样品的两面有电极位置时,所产生的电压信号波形(时标: $0.5\text{ms}/\text{div}$, 幅度: $1\text{V}/\text{div}$);
 (d) 在情况(c)中所得到的整个电压信号波形(时标: $10\text{ms}/\text{div}$, 幅度: $1\text{V}/\text{div}$)

Fig. 2 Relaxation oscillation wave shape for a normal pulse ruby laser and voltage signal wave shape when the laser radiation doesn't breakdown a sample

- (a) relaxation oscillation wave shape for a normal pulsed ruby laser (time scale: $0.5\text{ms}/\text{div}$, energy: 0.9J);
 (b) voltage signal wave shape produced by focusing laser radiation on the edge of a sample where there is no electrode (time scale: $0.5\text{ms}/\text{div}$, amplitude: $0.2\text{V}/\text{div}$);
 (c) voltage signal wave shape produced by focusing same laser radiation on both sides of the sample where there is electrode (time scale: $0.5\text{ms}/\text{div}$, amplitude: $1\text{V}/\text{div}$);
 (d) all voltage signal wave shape in case (c) (time scale: $10\text{ms}/\text{div}$, amplitude: $1\text{V}/\text{div}$)

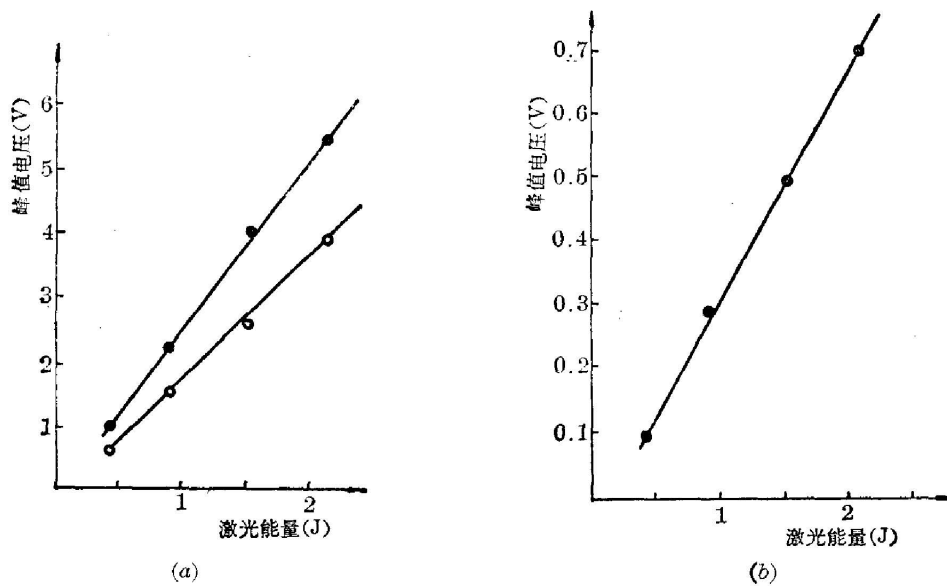


图3 激光未击穿样品时,所产生的电压信号峰值与激光能量的关系
(a) 激光作用在两面有电极处; (b) 激光作用在两面无电极处(图中“●”点代表用
 $f=7\text{ cm}$ 的透镜聚焦光束,“○”代表光束未聚焦。)

Fig. 3 Dependence of the peak value of voltage signal with laser energy when the laser radiation doesn't breakdown a sample

(a) laser acts on both sides where there is electrode; (b) laser acts on both sides where there is no electrode (In the figure “●” represents focusing laser beam with a lens $f=7\text{ cm}$, “○” represents unfocusing laser beam.)

焦作用于有电极处时,所产生的电信号最强。而激光作用于边缘的无电极处时,所产生的信号幅度低一个数量级。

(4) 将同样的聚焦激光束重复作用于同一位置时,出现如下情况:

(i) 激光多次重复作用于边缘的无电极处时,所产生的电信号波形基本不变。当样品被击穿后,电信号幅度逐渐降低,不会出现跃变及变极性情况。

(ii) 激光无论在正向还是负向作用于两面的有电极处时,所产生的电信号都随作用次数的增加而增大。然而,当激光击穿样品时,就会出现电信号的突变,但正向与负向二者的变化方式不同:激光沿正向作用时,电压信号向增强方向跃变,极性不变;激光沿负向作用时,电压信号向相反方向跃变,极性变号。

将 0.9 J 的激光聚焦作用于样品时,未击穿样品前,所产生的电压值约为 1.5 V , 上升时间约为 1.5 ms 。然而,当光沿正向照射击穿样品时,电压峰值跃变到 9 V 左右,上升时间则缩至 0.1 ms ,此后,随着激光作用次数的增多,被击穿的孔径逐渐增大,所产生的电压值逐渐降低,上升时间又逐渐增长,如图 4(a) 所示;同样,当激光沿负向照射击穿样品时,电压值反向跃变,最大幅度达到 6 V 左右。此后,随着作用次数的增加,电压的幅度也逐渐降低,如图 4(b) 所示。不同样品在不同光强作用下,波形突变情况有所不同。用检流计检测激光作用下样品两电极间电压所产生的电流时,也出现与上述电压相似的情况。

上述情况表明,在激光辐照下,未击穿样品时,所产生的电压极性与激光传播方向无关。一旦样品被击穿,就有一附加电压出现,其极性与激光传播方向有关。

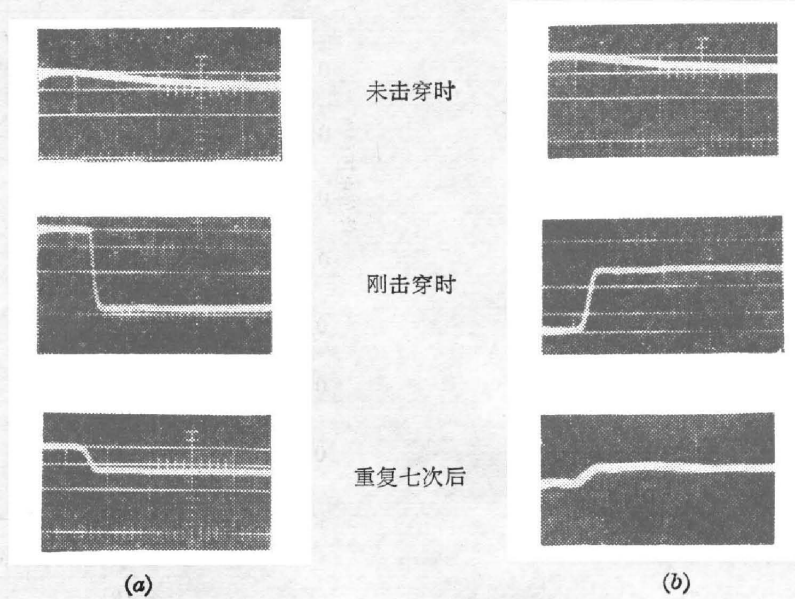


图4 用 $f=7$ 厘米的透镜,将 0.9 焦耳的激光束聚焦于样品的电极面上时,电压信号波形的变化

(a) 激光正向作用; (b) 激光负向作用(时标: 0.5 ms/div , 幅度: 5 V/div)

Fig. 4 Change of voltage signal wave shape produced by focusing laser radiation for 0.9 J on the electrode surface of the sample with a lens $f=7 \text{ cm}$

(a) laser radiation acts on the forward surface of the sample (positive action);
(b) laser radiation acts on opposite surface of the sample. (negative action)

(time scale: 0.5 ms/div , amplitude: 5 V/div)

二、讨 论

对上述现象的物理机理,可作如下初步探讨:

首先,由于所用的是普通脉冲激光器,故功率小而光压低,根据所用的激光强度和样品参量可计算出由光压所产生的电信号仅有微优量级,故排除了光压所致可能性。

压电陶瓷片对光是不透明的,当其受聚焦脉冲激光照射时,会产生局部的非均匀快速加热,并会引起热膨胀应力,使样品产生由充电作用所引起的电信号,当然,也可能由热释电效应引起电信号,然而,此样品的热释电效应不强*。

在图2中,激光的小尖峰脉冲所造成的应力相应地产生电压波形上升部分的小尖峰振荡,而整个激光脉冲所激起的热应力波造成电压波形尾部的波动。由于样品的导热性较差,故局部受热所造成的应力会持续较长时间,从而使波形尾部较长。

聚焦激光作用点处的功率密度很高,可使样品局部熔化、蒸发和溅射。熔化区的温度大大高于居里温度($\sim 500^\circ\text{C}$),故该区域的压电效应消失。而从该区域向逆光方向所产生的电子、离子发射及物质溅射,可能在样品的受光照区域或其附近产生一定的电位差。由于电子逸出功小、质量轻,它们比正离子运动快而与离子在空间上分离,造成一个与作用光方向相反的电位差。在样品被击穿之前,这种电位差不会加在两电极间,故只能观察到热应力作用

* 根据四川大学无线电系从事压电陶瓷研究的教师所提供的资料。

所产生的、其大小与极性对正向或负向都相同的电信号；一旦样品被击穿时，热发射和溅射所产生的电位差以及热应力所产生的电位差，都作用于两面电极上，样品电极间的总电信号由两种电位差的大小及极性共同决定。激光在正向照射样品时，二者的极性相同，故造成电极间电压跃变增强而极性不变；激光在负向照射样品时，由于光反向而引起的热发射、溅射电位差极性也反向，它与热应力电位差极性正相反，故样品极间电压向相反方向跃变。当热发射、溅射电位差的幅度大于热应力电位差时，就会出现极性反向。由于激光击穿样品的时间很短，故电位波形跃变部分很陡。

为了验证上述机理，曾用同样的未极化的样品作实验。在激光未击穿样品前，观察不到电信号。一旦激光击穿样品，电极间将出现一个极性与作用光传播方向相反的电压信号。当作用光反向时，所产生的电压信号极性也反向。用金属样品作实验时，也发现溅射物中由于电荷分布不均匀所产生的电压信号。

参 考 文 献

- [1] 山东大学压电铁电物理教研室编；《压电陶瓷及其应用》（山东人民出版社，1973）。
[2] 曾传相等；《四川大学学报》待发表。

Electric properties of piezoelectric ceramic thin plate under action of ruby pulse laser radiation

ZHENG CHUANXIANG ZHOU YEWEL YANG SHOUZHI AND XIE JIAN

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

(Received 22 June 1981, revised 8 February 1982)

Abstract

Under action of normal pulse ruby laser radiation, electric properties of a piezoelectric ceramic thin plate of PZT system have been studied in our experiments. We have observed an unusual phenomenon before a small hole having been drilled by focusing laser radiation on the sample. When the laser radiation directs on it in either polarizing field (positive) or opposite direction (negative), we observe electric signals between two surface electrodes having same shapes and amplitudes, and their polarity is constant. As soon as a small hole has been drilled on the samples, in both sides above illumination cases, we observe electric signals having jump changes in different ways, and one of them may be changed in polarity. This paper reports obtained experimental results in our work, and makes a primary discussion to them.