

用脉冲激光激发弹性波

章肖融 干昌明 郑乐奇

(南京大学声学研究所) (河海大学)

提要: 介绍用红宝石激光器激发弹性波的实验系统, 并讨论了观察到的实验结果。实验表明, 这种方法对无接触地激发弹性波具有很大的应用潜力。

Elastic wave generated with pulsed laser light

Zhang Xiaorong, Gan Changming

(Acoustics Institute, Nanjing University, Nanjing)

Zheng Leqi

(East China Technical University of Water Resources, Nanjing)

Abstract: The application of laser pulse in generating elastic wave is reported. The experimental system is described which uses a ruby pulsed laser as light source and interdigital transducer as receiver. The observed results are discussed. It is shown that this method has great potential in non-contactive generation of elastic wave.

一、引言

调制的强激光束照射样品(气、液、固态材料), 会产生高阻尼的热波及频率与调制频率相同的声波。此效应早已用来做成光声谱仪和光声显微镜等^[1]。同样, 狭脉冲激光照射物体, 亦能产生相应的热脉冲和热弹波。本文旨在给出单脉冲激光在这个范畴内的应用。

R. M. White^[2]、Hasayuki Takeda^[3]、W. Arnold^[4]等曾报道过用红宝石激光器激发弹性波的实验。White 是用梳状换能器

和叉指换能器在固体样品表面接收弹性表面波, Takeda 是用话筒接收大气中的弹性波, Arnold 是用楔形换能器在固体表面接收弹性表面波。本文报道的是用红宝石激光器辐照固体表面, 用叉指换能器接收弹性波(以下称为声波), 观察到了表面波、体波等不同模式的波。

二、实验系统

实验中所用的样品是 $3 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ 的长

收稿日期: 1986年9月10日。

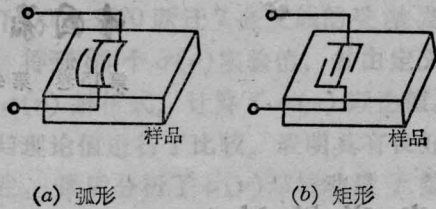


图1 叉指换能器示意图

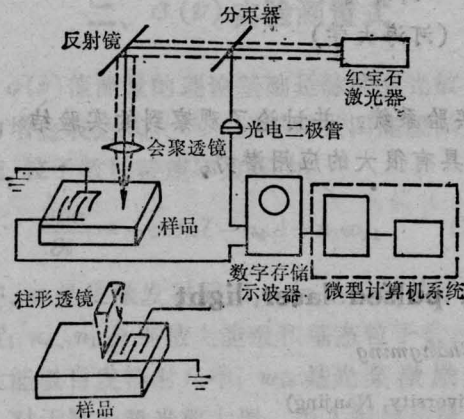


图2 脉冲激光激发弹性波实验系统

方形压电陶瓷。在陶瓷的表面用半导体平面工艺蒸刻上叉指换能器^[5]，如图1所示，其中(a)是弧形叉指换能器，(b)是矩形叉指换能器。整个实验系统如图2所示。一束红宝石激光经分束器分成二束光，其中一束经衰减器被光电二极管接收后送入数字存储示波器作为触发信号，另一束经反射镜反射至聚焦透镜，被聚焦的光束照射样品表面，样品表面吸收了激光能量后，因热弹效应而产生弹性波，当波传到叉指换能器时，即被叉指换能器接收变成电信号，这信号可以在数字存储示波器的显示器上显示出来，也可以用微型计算机将存贮的信号传送到内存存下或存入磁盘，并通过打印机把波形打印出来。

实验中所用的红宝石激光器脉冲持续时间(以半功率点宽度计) $\Delta\tau = 50 \text{ ns}$ ，能量 $\sim 100 \text{ mJ}$ 。所用的数字存储示波器为 PM3315 型，取样频率为 125 MHz。微型计算机是 Apple II。

三、实验结果和讨论

我们对光源的两种聚焦情况做了实验，一是球面聚焦(点源激发)，另一是柱面聚焦(线源激发)。以球面聚焦时用弧形叉指换能器接收，激光的辐照点调节在弧形的圆心处。以柱形聚焦时用矩形叉指换能器接收。实验工作经历三个不同阶段。这三个阶段所使用的记录设备不同，其它装置完全相同。第一阶段使用的记录设备是 100 MHz 带宽普通示波器及照相设备；第二阶段使用的记录设备是模拟存储示波器，最后阶段使用了数字存储示波器及微型计算机。第一阶段实验所获得的波形如图3、图4所示。第二阶段

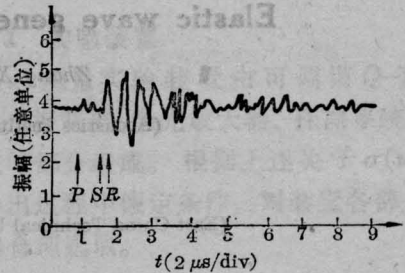


图3 弧形叉指换能器($f_0 = 1 \text{ MHz}$)接收波形(点源激发)

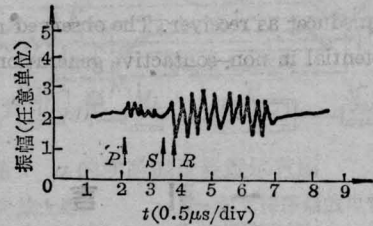


图4 矩形叉指换能器($f_0 = 5 \text{ MHz}$)接收波形(线源激发)

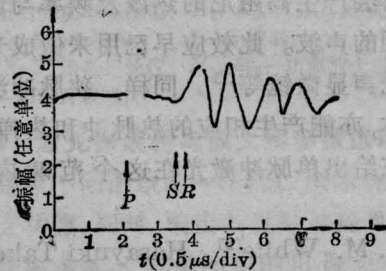


图5 弧形叉指换能器($f_0 = 1 \text{ MHz}$)接收波形(点源激发)

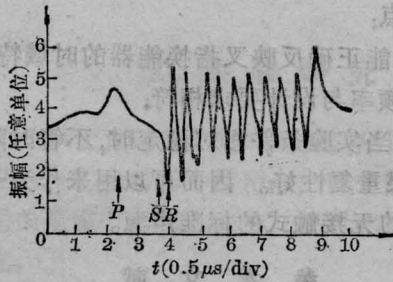


图6 矩形叉指换能器($f_0=5\text{ MHz}$)接收波形
(线源激发)

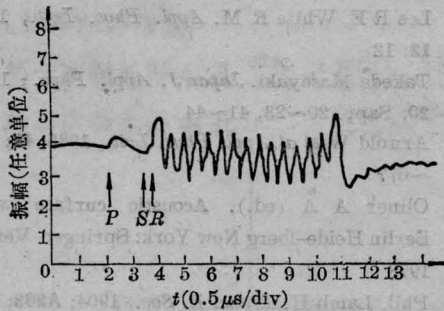


图7 用10 MHz中心频率的矩形叉指换能器接收波形
(线源激发)

实验所获得的波形如图5、图6所示。第三阶段实验是采用了数字存储示波器及微型计算机,其典型结果如图7所示。

从图3~7可以看出几个共同点:

(1) 每个图形中均显示出三个波,第一个波到达的时间相应于纵波沿PZT表面传播的时间,如箭头P所示;第二个波到达的时间相应于横波传至换能器的时间,如箭头S所示;第三个波到达的时间是相应于声表面波到达的时间,如箭头R所示。体纵波到达时间是体横波到达时间的一半,表面波则稍后于体横波到达时间。R波的幅度最大。

(2) 不管体波或表面波,其振荡波形的周期数与叉指电极的对数相对应,叉指换能器设计的中心频率与接收到的波频率一致。

(3) 随着叉指换能器中心频率提高,接收到的信号幅度下降。

(4) 激光脉冲功率一定时,球面聚焦时接收的信号幅度比柱面聚焦时接收到的大。

值得指出的是,这些波形的重复性很好。

第一阶段实验与第二阶段实验相隔了8个月,仍能获得极为相似的波形。其中图3与图5,图4与图6是一一对应的。最后实验是在1986年进行的,除了具有(1)、(2)特点外,显示出工作频率可以更高。

四、讨论

按照弹性波在固体中传播的理论,当有一瞬态力源 $F_0\delta(t)$ (点力源或是线力源)作用在半无限大各向同性的弹性固体表面时,在远场情形,沿固体表面将传播着三种模式的波:纵波(P)、切变波(S)和表面波(又称瑞利波,R),当一束强激光照射样品表面时(实际上将影响及表面下约一个热扩散波长范围),样品表面的电子因吸收光子能量将从低能态跃迁到高能态。处于高能态的电子又通过无辐射跃迁的形式将能量传给晶格并返回低态。晶格则因而增剧振动,使样品产生局部热膨胀,此局部受热的膨胀引起了应力并向外传播成为弹性脉冲。对光不透明的固体,吸收光的区域沿深度方向为微米数量级,沿宽度方向与激光的光斑大小相近,本实验中聚焦的斑点约为0.5~1mm,与样品尺寸相比是很微小的。再则,实验所用的激光脉冲的持续时间为50ns,与弹性表面波通过1mm距离的时间(0.435μs)相比是微量。因而可以认为是一个瞬态力的作用,在3mm以外接收就可以近似看作远场接收,等效于半空间的瞬态力源激发弹性波的问题。一次脉冲激光的辐照相应于一个瞬态力源的作用,激发出一组P、S、R波。它们各自具有确定的传播速度,在时域上可以互相区别开来。对于陶瓷样品,泊松比 $\sim 1/3$ 。所观察到的结果与瞬态力产生弹性波在半无限大固体表面上传播特性相符。

其次,按照傅氏变换理论,时域中脉冲持续时间愈窄,所含的频谱分量愈丰富,即高频端的截止频率愈高。所以脉冲激光激发弹性波是宽频谱激发。如用足够带宽的检测系统

来检测,将能检测到与激光脉冲形状相近;以偶极形式出现的弹性脉冲。当用窄带接收系统接收时,则可以分别检测出不同的频谱分量。在时域中的波形将按设计换能器的特性展宽。当激光脉冲输出功率保持稳定值,聚焦系统和检测系统也都固定时,分频接收到的对应频率信号幅度的分配对应于激光脉冲中所包含的光功率的分配。我们实验中采用的是窄带接收,由S波引起的展宽波形会与R波的展宽波形合成。在存贮示波器上记录下来的是S波与R波的合成波列,致使S波不明显,这一点在图5中可明显地看出来。高频信号比低频信号低是因激光脉冲有一定宽度,其功率谱分量随频率增高而降低所致。若使激光脉冲变窄,可获得更频率的弹性波。

由反复实验表明,脉冲激光激发弹性脉冲,当用叉指换能器作窄带分频接收时,具有

下列特点:

1. 能正确反映叉指换能器的时域特性,其中心频率与设计相符;
2. 当实验条件相对稳定时,不管时隔多久,结果重复性好。因而可以用来作为一种宽频带的无接触式标准声源。

参 考 文 献

- 1 张淑仪,高敦堂 *et al.* 中国激光, 1983; 10: 666. 应用激光, 1984; 4: 11
- 2 Lee R E, White R M. *Appl. Phys. Lett.*, 1968; 12: 12
- 3 Takeda Masayuki. *Japan J. Appl. Phys.*, 1981; 20: Sapp. 20~23, 41~44
- 4 Arnold W *et al.* *Appl. Phys. Lett.*, 1985; 47: 672~677
- 5 Oliner A A (ed.). *Acoustic surface waves* Berlin Heide-berg New York: Springer-Verlag, 1978
- 6 Phil. Lamb H. *Trans. R. Soc.*, 1904; A203: 1
- 7 Miklowitz J (ed.). *Theory of Elastic Waves* Wavaguides, Amsterdam: North-Holland, 1978

(上接第 215 页)



图3 白光重现照片

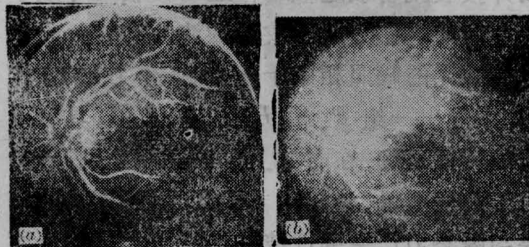


图4 空间滤波后的白光重现照片

图,透明物是一张眼底视网膜的黑白胶片。

图4(a)为高通时记录处理后,用15W普通灯泡再现所翻拍的黑白照片,显然突出了图像的高频部分。照片中的白色,就是重

现时在原始狭缝的正确位置观察到的红色(视网膜的血管部分)。图4(b)为低通时记录的虹全息再现所翻拍的黑白照片,突出了图像的低频部分。

显然这种空间滤波假彩色编码技术,对一般照片直至航空照片,α胶片都可以应用并且十分简单,但由于像面彩虹全息图的再现像也形成在干板面上,所以全息干板的表面疵病以及各种相干噪声图案会同时观察到,在处理过程中应特别小心。

由于此方法只采用单束光,所以若对系统进行适当的改进,那么一种简单的一步彩虹全息照相机的诞生将成为可能。

感谢林坚老师和关世荣所长的帮助。

参 考 文 献

- 1 Yu F T S, Tal A M *et al.* *Opt. Eng.*, 1980; 19 (5): 674
- 2 于美文 *et al.* 工程光学, 1984; (2): 46; Yu Meiwen *et al.* *Opt. Eng.*, 1984; (2): 46
- 3 Bahuyana R D, Mendoza-Santoyo F. *Opt. Lett.*, 1984; 9(9): 381