

光声信号与光束在样品上照射位置关系的研究

王桂芬 张春平 马根源 张光寅

(南开大学物理系)

提要: 我们采用压电陶瓷作为光声探测器,研究了单晶硅在 $10.6\mu\text{m}$ 的光吸收产生的光声信号与光束在样品上照射位置的关系。实验表明,当光束沿着圆形样品的直径扫描,光束照射在两侧时,光声信号随照射位置离开中心距离的加大而减小,与我们进行的理论计算符合得较好。

Investigation of dependence of photoacoustic signal on optical beam position at samples

Wang Guifen, Zhang Chunping, Ma Genyuan, Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

Abstract: We used a piezoelectric ceramics as photoacoustic detector and investigated the dependence of photoacoustic signal on optical beam position at samples which was yielded by the optical absorption of the crystal Si at $10.6\mu\text{m}$. The experimental results demonstrate that the photoacoustic signal was maximum when the optical beam was located at the centre of sample. When the optical beam scans along the diameter of the circular sample the photoacoustic signals decrease gradually as the distance between the position and the centre of sample increase. The measured results are in good agreement with those of the theoretical calculations.

一、引言

随着激光技术的迅速发展,如何选择吸收小的材料作为激光器窗材料是一个重要问题。用光声法测量透明材料的吸收系数是一个很好的方法,但是在用光声法测量材料的低吸收系数时,要注意光束在样品上的照射位置。对于圆形样品,由于光束在样品上的照射位置不同,使得测到的光声信号相差很大。在比较几块不同样品的吸收系数时,尤

为重要。

本文研究了用压电陶瓷作为光声检测器时,单晶硅在 $10.6\mu\text{m}$ 波长上光吸收产生的光声信号与光束在样品上照射位置的关系。

二、实验方法

我们使用的实验装置与以前介绍的基本相同,这里不再重复^[1]。其中, CO_2 激光波长为 $10.6\mu\text{m}$, 功率为 2W , 斩波器的频率为

收稿日期: 1986年3月13日。

110 Hz。所不同的是在样品前加了一块 GaAs 透镜, 使照射在样品上的 CO_2 激光束直径聚焦到小于 2 mm。另外, 样品架被安装在一个能够用测微计精确移动的传送台上, 当传送台移动时, 激光光束能够水平扫过样品。

为了研究光吸收产生的光声信号与光束在样品上照射位置的关系, 我们选择了一块经光学抛光的、直径为 20 mm、厚度为 1 mm 的圆片形单晶硅作为样品, 把圆形样品沿弦线切去一块磨平, 以便与其压电陶瓷接触。由于我们经常测量一些圆片形样品的光吸收系数或比较它们吸收系数的大小, 因此研究圆片形样品具有一定的实际意义。

实验时, 首先将样品竖直粘结在压电陶瓷上, 并使压电陶瓷的平面与激光束的方向平行。

当激光束沿样品直径 $B'B$ (见图 2) 方向扫描时, 测出对应不同照射位置的光声信号, 结果如图 1(a) 所示。从图中可以看出, 当光束照射在样品中心时, 光声信号出现一最大值, 随着照射位置离开样品中心距离逐渐增加, 光声信号逐渐减小。

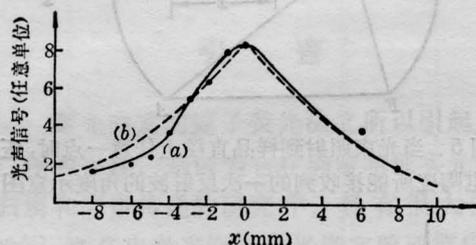


图 1 光声信号与光束在样品上照射位置的关系
(a) 实验曲线; (b) 理论曲线

三、实验结果的讨论

我们近似把光产生的弹性振动作为一个柱波的波源, 压电陶瓷接收到的光声信号与压电陶瓷接收立体角成正比。当光束位于不同位置时, 其接收立体角的变化是由光束的

位置对接收器两端张角的变化引起的。这个角的大小反应了接收到的光声信号的大小。因此考察此角随光束位置的变化, 即可得知光声信号大小与照射位置的关系。

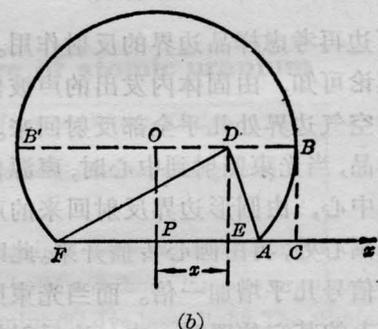
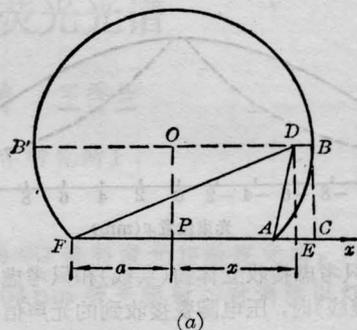


图 2 (a)和(b)分别为 $|x| > a$ 和 $|x| < a$ 时, 样品和压电陶瓷接收器的几何关系
其中 FA 为压电陶瓷长度, OB 为样品半径

根据我们的实验条件和图 2, 设 $AP = FP = a = 7.5 \text{ mm}$, $OB = R = 10 \text{ mm}$, $BC = DE = h$, $PE = x$ (x 对应光束位置 D 在 x 方向的坐标)。因为 $DE \perp FC$, 可得 $BC = h = 6.6 \text{ mm}$ 。当 $|x| > a$ 时, 有

$$\begin{aligned} \angle FDA &= \angle FDE - \angle ADE \\ &= \arctg \frac{|x| + a}{h} \\ &\quad - \arctg \frac{|x| - a}{h} \end{aligned}$$

当 $|x| < a$ 时, 有

$$\begin{aligned} \angle FDA &= \angle FDE + \angle ADE \\ &= \arctg \frac{|x| + a}{h} \\ &\quad + \arctg \frac{|x| - a}{h} \end{aligned}$$

由此即可算出 $\angle FDA$ 随 x 的变化, 从而得出光声信号随光束照射位置的变化 (如图 3 实线所示)。其中设在 $x=0$ 处的光声信号的相对值为 1。

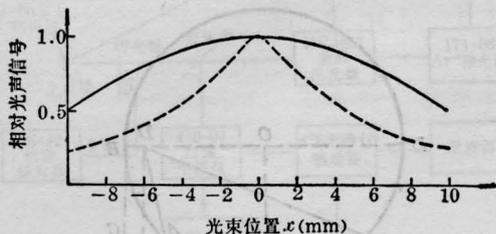


图 3 只考虑接收立体角(实线)和只考虑一次反射(虚线)时, 压电陶瓷接收到的光声信号与光束照射位置的关系

下边再考虑样品边界的反射作用。由声反射理论可知, 由固体内发出的声波传播到固体与空气边界处几乎全部反射回来。对于圆形样品, 当光束照射到中心时, 声源位于圆形样品中心, 由圆形边界反射回来的声振动仍回到圆心处, 再由圆心传播开来。此时产生的光声信号几乎增加一倍。而当光束照射在沿直径上的其它位置时, 由一次反射使声波落到压电陶瓷上的角度大小与光束照射位置有关(即声源位置有关)。当光束位于样品边缘时, 由图 4 可知, 经由 D 发出的经 G 反射到 F 和经 H 点反射到达 A (FA 为压电陶瓷长度), 则在 $\angle GDH$ 内的声波经圆边界的一次反射都能到达接收器 FA 。由图 4 可得到

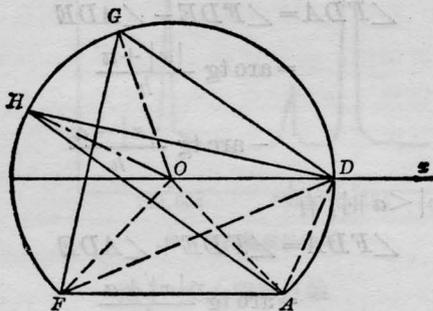


图 4 当光束照射到样品边缘时, 压电陶瓷所能接收到的一次反射波的角度示意图

$$\angle GDH = \frac{1}{4} \angle FOA$$

即一次反射的声波强度, 光束位于边缘时的值仅为中心时的四分之一。

当声源位于直径上任意一点时, 则经过圆边界的一次反射能到达压电陶瓷 FA 上的声波反射途径如图 5 所示。在角度 $\angle GDH$ 内的声波可到达压电陶瓷接收器 FA 上。根据图 5, 利用几何或解析几何的知识列出有关方程, 我们可以得到 $\angle GDH$ 与圆半径 R 、压电陶瓷长度 FA 和光束照射点到样品中心的距离 x 的关系式(由于表达式比较复杂, 这里不再给出), 从而可求出 $\angle GDH$ 随 x 的变化。在仅考虑一次反射的情况下, 压电陶瓷所能接收到的光声信号随 x 的变化如图 3 虚线所示。因此, 压电陶瓷所能接收到的总的声波应为直接入射波与一次反射波的迭加。因而得到入射到压电陶瓷上的相对声强或相对光声信号如图 6 所示。为了与

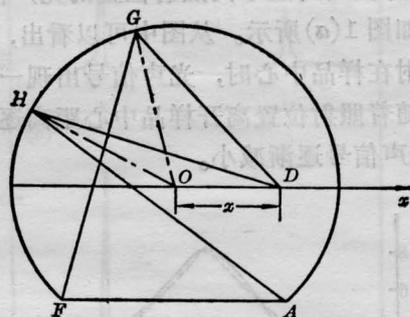


图 5 当光束照射到样品直径上任意一点时, 压电陶瓷所能接收到的一次反射波的角度示意图

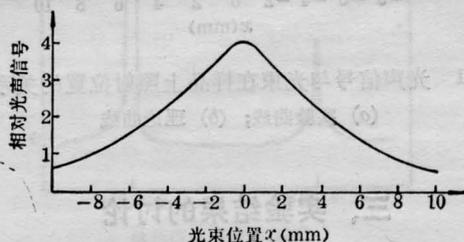


图 6 考虑压电陶瓷接收立体角和样品边缘反射声波迭加时, 从理论上计算的相对光声信号与光束在样品上照射位置的关系

(下转第 301 页)

表 1 膜系修正前后的 R 值的比较

波 长	膜 系		
	$n_0(LmHmL_s)^{10}n_s$	$n_0L_1H_1m_1(L_2m_2H_2m_2L_2)^{10}n_s$	$n_0L_12H_1(L_2m_2H_2m_2L_2)^{10}n_s$
λ	99.021×10^{-2}	99.123×10^{-2}	99.224×10^{-2}
$\lambda/2$	4.26334×10^{-2}	1.42629×10^{-5}	1.12774×10^{-5}
$\lambda/3$	4.25262×10^{-2}	5.93013×10^{-4}	3.86668×10^{-6}

注：表中的三个膜系的光谱曲线分别对应于图 7、8、9。

表 2 几组膜系组合的 T(%) 值实验结果

膜 料 组 合	波 长		
	λ	$\lambda/2$	$\lambda/3$
(a) $MgF_2-Y_2O_3-Ta_2O_5$	~2	~91	~87
(a') $MgF_2-Y_2O_3-Ta_2O_5$	~2	~93	~83
(b) $SiO_2-Y_2O_3-Ta_2O_5$	~2	~80	~93
(c) $SiO_2-La_2O_3-Ta_2O_5$	~2	~82	~92

较多，控制过程中多次换控制片，致使厚度误差得不到补偿，给通带区的影响是较明显的，造成通带区不稳定，常会出现一些明显的次峰。

另外，在膜的机械性能方面，对 $MgF_2-Y_2O_3-Ta_2O_5$ 的组合，由于层数多， MgF_2 的

应力大，因此膜上往往呈现细毛状的裂纹，而采用 $SiO_2-Y_2O_3-Ta_2O_5$ 组合，此弊病得到了克服。

3. 讨论

(1) 设计是可以实现的。从实验结果看，较好地抑制了二、三级次的反射峰。

(2) 增加周期数可以提高主波长的反射率，但层数太多会带来制备上的困难。

(3) 由于厚度控制误差、折射率误差和色散等因素的影响，短波部分出现不规则的反射次峰，影响了实验结果的稳定性。

参 考 文 献

[1] Alfred Thelen; *JOSA*, 1963, **53**, No 10, 1266.

(上接第 294 页)

图 1(a) 的实验结果进行比较，将图 6 中 $x=0$ 处的相对光声信号变换为 8.4，则曲线变换为图 1 的曲线(b)，由图 1 可以看出，理论曲线与实验曲线相一致。

在分析中只考虑了一次反射是基于以下原因：声波不是理想的柱面波，由于样品很薄，更接近球面波。因此经多次反射，波的扩散很厉害，即波的振幅衰减很大。另外，实际样品表面也不是完整的圆柱表面，因此也造成柱面波向圆片样品的两个侧面传播而落不到压电陶瓷上。再加上其它的声波衰减因素，因此考虑一次反射是适宜的。

还需要指出的是，由于我们实验中所用的样品边缘并不是规则的圆柱形，另外，我们

使用 CO_2 激光作为光源，虽然经过聚焦，但光斑直径也在 1mm 左右，再加上样品表面清洁度的影响，使得实验曲线与理论曲线稍有偏差。

这一研究表明在用光声法测量材料的低光吸收系数时，必须考虑光束照射位置；当比较不同材料的光吸收系数或与已知样品的光吸收系数相比较时，都必须保证光束照射位置相同。一般情况下，应选择光束的照射位置位于样品中心，这样可以得到较大的光声信号，以提高测量精度。

参 考 文 献

[1] 王桂芬等；《激光》，1981, **8**, No. 1, 33.