

实例 2. Sonoline SL (Siemens 公司产品) 线阵探头的固定波束下测得的典型声压波形如图 5 所示。以平均每周期采样 15 点的采样率采样, 进行数值积分运算, 计算出脉冲声压平方积分的标称值。再利用表 1 中的正余弦波和三角形波的积分公式计算图 5 所示波形的脉冲声压平方积分(其中前 3 个“半周期”使用三角形波公式其余的“半周期”使用正余弦波形公式), 获得近似值。近似值对标称值的相对偏差为  $-3.53\%$ 。

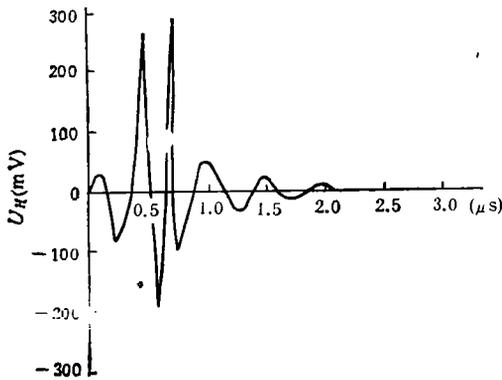


图 5 Sonoline SL 的固定波束的最大声压波形

实例 3. IEC 1102(1991)中所示出的典型脉冲波形如图 1 所示。现以平均每个周期采样 17.4 点的采样率采样, 进行数值积分运算, 计算脉冲声压平方积分的标称值, 再利用表 1 的公式计算图 1 所示波形的脉冲声压平方积分(其中第一个负“半周期”与第二、三个正“半周期”使用三角形波公式, 其余的“半周期”使用正余弦波形公式), 获得近似值。其值对标称值的相对偏差为  $-6.79\%$ 。

由上述计算实例可知, 表 1 所列公式中经

常使用且比较有效的公式是三角形波与正余弦波公式, 它们具有采集数据少(约为数值积分数据量的  $1/10$ ), 计算量小的特点, 得到的计算结果精度也很高。(与标称值的相对偏差小于  $\pm 7.0\%$ )。

## 五、结 语

使用高速采样电路和数据处理装置进行超声诊断仪的声压波形的分析计算, 设备费用较高。使用本文提出的简化积分公式计算脉冲声强积分, 可使数据采集和积分运算过程大为简化而且误差较小。因此, 在实际测量中只要具备已校准的微型水听器、宽频带示波器和装有定位扫描机构的测量水槽, 就可进行快速的测量、记录和计算了。把水听器显示的超声脉冲声压波形显示在示波器屏幕上, 用照相记录或直接读取少量数据后, 代入简单的计算公式, 便可快速地获得较精确的  $p_+$ 、 $p_-$ 、 $I_{sptp}$ 、 $I_m$ 、 $I_{sppa}$ 、 $I_{spta}$  和  $I_{pta}$  值了。这种简化方法在超声诊断仪的医学安全性测试和超声生物效应研究等方面是很有用的, 值得推广应用。

## 参 考 文 献

- [1] IEC 1102: 1991 Measurement and characterisation of ultrasonic fields using hydrophones in frequency range of 0.5MHz to 15MHz
- [2] IEEE Std 790—1989, IEEE Guide for Medical Ultrasound Field Parameter Measurements (ANSI)
- [3] 沙爱国等, 中国超声医学杂志, 9-2(1993), 108—109
- [4] 冯若, 中国超声医学杂志, 6-3(1990), 210—211
- [5] 巩岩等, 中国超声医学杂志, 5-2(1989), 100—102

# 用于声光相关/卷积器的双向声光偏转器

许炳活 储海群 金建辉 彭国生

(上海硅酸盐研究所 上海 200050)

1993年6月10日收到

本文提出了用于声光相关/卷积器的双向声光偏转器的设计、制备和测试结果。两个通道的中心频

率均为 175MHz，带宽 70MHz，衍射效率 30%，渡越时间 7μs。已在空间相干器时间相干器系统中得到应用。

## ABSTRACT

In the paper, we report the designing, design parameters and the results of measurement of a two-way direction acousto-optic deflector. A two-way acousto-optic deflector is one in which two deflectors have been manufactured in one piece of TeO<sub>2</sub> crystal, the acoustic waves of the two deflectors travelling along opposite directions and the two deflectors being separated. Both deflectors have 175 MHz center frequency, 70MHz bandwidth, 30% efficiency and 140kHz frequency resolution. The distance of separation between the deflectors is 8mm. The device has been applied in an acousto-optic correlator/ convolver system.

## 一、引言

声光信号处理应用于很多系统中，如雷达信号处理，声呐阵、宽频通讯网络以及在电子战系统中模拟和数字信号处理等。雷达信号处理需要动态范围宽的匹配滤波器来接收宽带 FM (Chirp) 信号或者连续码脉冲信号；在电子战系统中，为处理所检测的信号，需要快速频谱分析仪；宽带连续频率或者跳频通讯网络需要相关器来接收和解调信号。所有这些系统都需要动态范围宽的宽带实时处理系统。最近十几年发展起来的声光信号处理系统是宽带、快速、实时处理的一种理想的系统。

声光信号处理是基于声光互作用原理，即声波在介质中传播时，把介质的折射率进行周期性的调制。当一束光通过被声波调制的介质时，一部分光被衍射出去，被衍射的光包含输入信号的频率、强度等特征。通过这种方法，把时间变化信号转化成空间分布的光的模拟信号。衍射光通过光学系统和光电接收器，重新转变成电信号。在一定条件下，含有时间变化信号的数学运算可以由空间运算来实现。

## 二、声光偏转器的技术要求

当超声波通过介质时，介质的折射率  $n$  将发生周期性变化，并形成折射率光栅，光栅常数

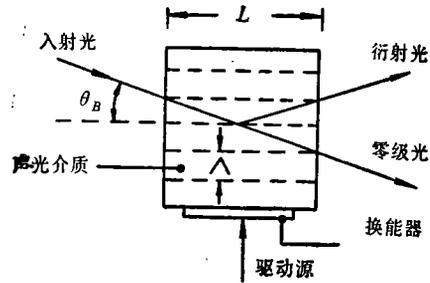


图 1 声光互作用示意图

等于超声波波长  $\Lambda$ 。光通过被调制的介质时将发生衍射。图 1 表示声光互作用示意图。在 Bragg 衍射情况下，入射光与声波波阵面之间夹角  $\theta_B$  为

$$\theta_B = \sin^{-1} \frac{\lambda}{2\Lambda} \quad (1)$$

其中  $\lambda$  为光波长， $\Lambda$  为声波波长，由式(1)可见，衍射角(在正常 Bragg 衍射时，入射角等于衍射角)与超声频率成正比。反过来我们测定了衍射角，就可以确定超声频率。即衍射光表征超声信号的频率、强度等特征。可以在信号处理中，用衍射光的空间分布来表征信号的时间分布。

用于声光信号处理的声光偏转器的主要参数是效率、带宽、可分辨点数以及动态范围。声光器件的可分辨点数与频率分辨率及 Fourier 变换平面内分辨点数有密切关系。器件的可分辨点数  $N$  由下式所确定

$$N = \frac{\delta\theta}{\delta\theta_0} \quad (2)$$

其中  $\delta\theta$  为最大偏转角,  $\delta\theta_0$  为光束的发散角, 我们把(2)式改写成

$$N = \tau \cdot \Delta f \quad (3)$$

其中  $\tau$  为声波通过光束的渡越时间。然而最大可分辨点数由下面三个因素限制<sup>[1]</sup>

1. 器件几何孔径  $D_{\max}$  的限制

$$N \leq \frac{D_{\max}}{2} \frac{1}{\Lambda_0} \quad (4)$$

其中  $\Lambda_0$  为声波波长。

2. 声光互作用参数  $Q$  的限制

$$N \leq \left( \frac{nQ}{4\pi} \right)^2 \Lambda_0^2 \quad (5)$$

3. 介质声衰减系数  $r$  的限制

$$N \leq \frac{1.5}{r \Lambda_{1\text{GHz}}^2} \cdot \Lambda_0 \quad (6)$$

在设计声光偏转器时, 需要平衡效率和带宽之间关系, 根据应用的要求确定时间带宽乘积以及频率范围和其它参数。在声光信号处理中, 要求偏转器必须保证信号振幅的线性, 在这种情况下, 器件必须在低声功率条件下工作。由此可以同时输入多种频率的信号。设每个频率的效率为  $\eta_i$ , 则其总的效率为  $\eta_T$ <sup>[3]</sup>

$$\eta_T \cong \eta_1 \left( 1 - \frac{1}{3} \eta_1 + \sum_{i=2} \frac{2}{3} \eta_i \right) \quad (7)$$

$$\text{其中交叉调制} \approx \frac{2}{3} \eta_1^2 \quad (8)$$

$$\text{三级互调制} \approx \frac{1}{36} \eta_1^3 \eta_2 \quad (9)$$

为了计算动态范围 (DR), 通常利用下式<sup>[2]</sup>

$$DR = \left[ \frac{1 + 2N_1}{1 - \frac{1}{3} \left( \eta_1 + 2 \sum_i \eta_i \right)} \right]^2 \quad (10)$$

其中  $N_1$  是进入接收面的多种频率信号数。

对宽带信号处理来讲, 也应考虑调制光波波前的空间分辨率  $Ed$ <sup>[2]</sup>。

$$Ed \propto \int_{-\tan\theta(L/2)}^{\tan\theta(L/2)} E(y - y' - vt) \cdot \exp[2jK_0(\sin\theta)y'] dy' \quad (11)$$

如果只有一个频率时,

$$Ed \propto \sin c \left( \frac{Q}{4} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \right) \quad (12)$$

对宽带器件,  $Q$  一般取 12—16 之间。

在声光相关和卷积器中, 二个偏转器同时放入光路上, 以便在一个 Bragg 池上的信号相对于另一个参考 Bragg 池进行相关或卷积。在这种情况下, 二个 Bragg 池的空间分辨率必须同时考虑, 这时  $Ed$  为

$$Ed \propto \sin \left( \frac{L \cdot \Delta K}{2} \right) \cos \left[ \frac{\Delta K}{2} (L + S) \right] \quad (13)$$

其中  $S$  是二个器件之间距离。在这种情况下, 系统带宽变窄。所以适当选择  $L$  和  $S$ , 使带宽满足系统的要求。

图 2 是效率与归一化驱动功率之间关系图<sup>[4]</sup>。由图可见在需要中等效率的系统中, 当归一化驱动功率  $\eta = \frac{\pi}{4}$  时, 效率为 50% 处带宽比较平坦。所以在设计宽带声光偏转器时, 效率选择 50% 以下是必要的。而且归一化超声功率超过  $\frac{5}{16} \pi$  是没有必要的。

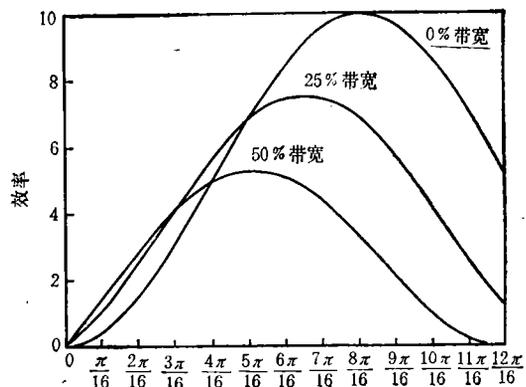


图 2 宽带声光偏转器效率

### 三、器件制备和测试结果

图 3 是双向  $\text{TeO}_2$  声光偏转器的示意图。双向声光偏转器指一块声光互作用介质上制备声波相对传播, 又互相分开的 2 只独立的高分

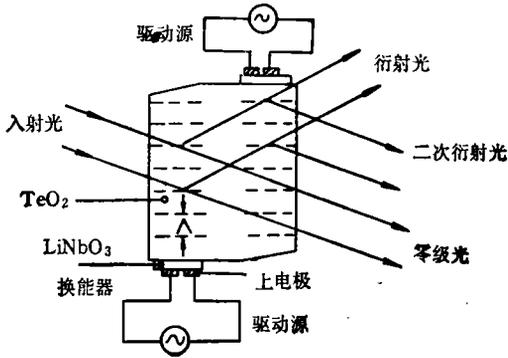


图3 双向 TeO<sub>2</sub> 声光偏转器示意图

辨声光偏转器。在国外声光相关器技术中一般采用晶体二面的声波正相对传播，使待测信号和参考信号的声波直接相关。这种方法的缺点是：两个信号之间互调和干扰比较严重，使信号处理带来困难。另一种方法是两只性能类似的偏转器，在系统中相对放置。这种方法的缺点是：系统的调试比较困难，因而其稳定性差。我们研制的双向声光偏转器，利用激光束的二次衍射来达到2个信号相关或卷积的目的。即克服了2个信号的互调和干扰，又由于在一块晶体上制备二个器件，因此在系统中，只要调一路的 Bragg 角，另一路自然满足 Bragg 条件。

我们采用 TeO<sub>2</sub> 晶体作为声光相互作用介质，声波沿[001]轴方向传播，光波沿[100]轴方向入射，超声换能器是 36°y 切 LiNbO<sub>3</sub>，TeO<sub>2</sub> 晶体尺寸为 35<sub>[001]</sub>mm × 30<sub>[100]</sub>mm × 10<sub>[010]</sub>mm，上电极由宽 1.2mm，长 4mm 的二个电极串联驱动，每个通道末磨了消声角，使器件在行波状态下工作。设计要求的中心频率 175 MHz，带宽 60MHz。器件制备过程中，在晶体的 [001] 轴二端，真空钢压焊换能器，由于换能器减薄时厚度的控制难度很大，所以很难保证中心频率。

图4表示通道1和通道2的频率响应，每个通道的 3dB 带宽大于 70 MHz，其衍射效率大于 30%。由图可见，通道1的性能比通道2好一些。效率 30% 是因为上电极面积过大，阻抗低，难匹配，使电-声转换效率低而造成的。

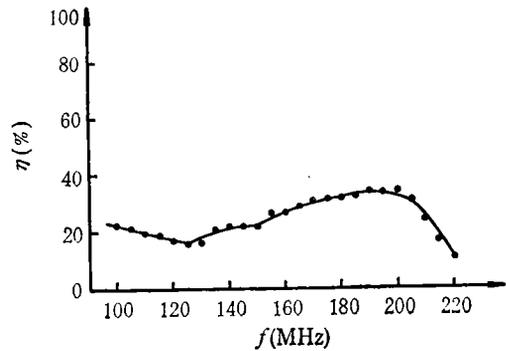
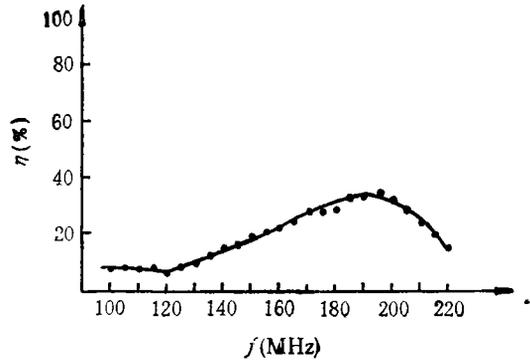


图4 通道1和2的频率响应

(a) 通道1的频率响应 (b) 通道2的频率响应

在设计过程中，我们考虑了以下两个因素后不得不把上电极做大。首先考虑声场发散问题。因为器件的通光孔尺寸为 35mm × 1.2mm，如果上电极做得太小、太细，声波在传播过程中必然产生发散，在 35mm 长的晶体中声衰减增大，造成离声源不同距离处效率差变大，会影响器件整体性能；其次是考虑到声光相关器的光路系统。在光路系统中，把激光束扩束到 φ 35 mm 以上，然后用柱面镜把光束转变成扁光束，这时，柱面镜的焦点不能放在任何一路的中心，只能放在 30mm 宽的晶体中间，这样在两个通道处的光束高度必然变高。所以上电极宽度不能做得太窄。我们曾做过上电极尺寸为 4mm × 0.5 (或 0.3)mm 的小孔径的 200MHz 器件，其效率可大于 80%。图5、图6是通道1和通道2在中心频率 175MHz 时，驱动功率与效率之间关系。为了测量声衰减，我们用 φ 1 mm 的 He-Ne 光测量离换能器不同距离的衍射效率。

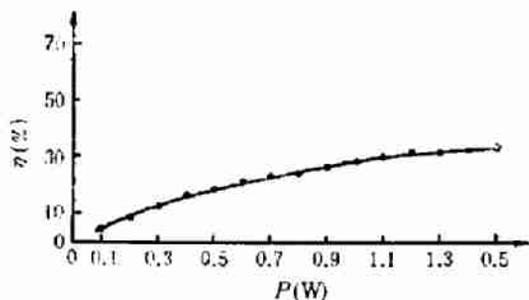


图5  $f = 175\text{MHz}$ 时通道1的驱动功率和效率之间关系

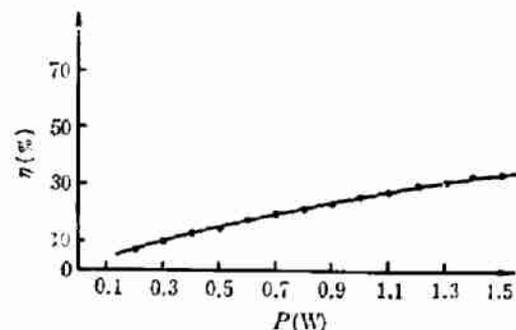


图6  $f = 175\text{MHz}$ 时通道2的驱动功率和效率之间关系

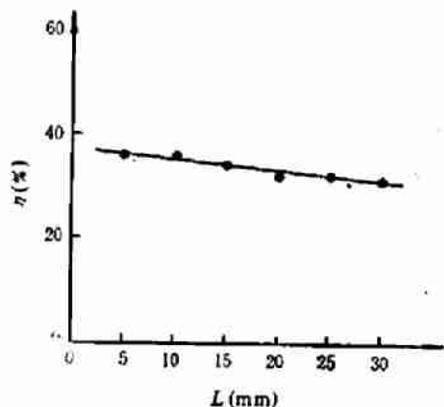


图7 离换能器不同距离的衍射效率

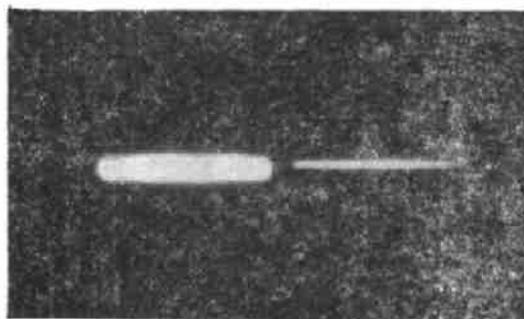


图8 用阴影法测量的声场分布

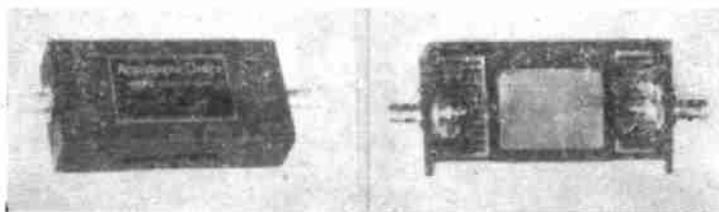


图9 器件的外形

图7是测试结果。由图可见，声波传播30 mm长距离时衰减不大，同时，我们采用阴影法测量声场分布，图8中，左边表示入射光，右边表示声场分布，由照片可见，其声场发散小，强度均匀。图9是器件外形尺寸。

### 参 考 文 献

[1] Norman J. Berg, *Acousto-optic Signal Proces-*

*sing*, Marcel Dekker, INC., New York and Basel, 1983, 165—170.

[2] Norman J. Berg, *Acousto-optic Signal Processing*, Marcel Dekker, INC., New York and Basel, 1983, 64—74.

[3] Hecht D. I., *Proc. Ultrasonics Symp. IEEE Cat 377CH 1264-ISU (1977)*, 721.

[4] Young E. H., Jr. Yao S. K., *Proc. IEEE*, **64** (1981) 54—64.