

# 快响应平面型热电探测器

冯锡淇 潘金才

(中国科学院上海硅酸盐所)

## 提 要

利用  $\text{LiTaO}_3$  和  $\text{LiNbO}_3$  晶体对某些波长激光强烈吸收的特性,研制了一种快响应平面型热电探测器。本文叙述该器件的原理、材料选择、制作工艺和性能,并对它在单片热电阵列方面的发展前景作简单讨论。

## 一、引 言

随着高功率  $\text{CO}_2$  脉冲激光器的应用日益广泛,需要一种能方便地测量波形和能量的探测器,这种器件应具有快响应、大的动力学范围、耐激光损伤等品质。热电探测器的最高工作频率仅受晶格热弛豫时间的限制( $10^{-12}$  s)。很多热释电材料有极宽的动力学范围和高的激光损伤阈值。不久以前,Los Alamos 实验室发展了一种上升和下降时间为 15 和 31 微微秒的热电探测器<sup>[1]</sup>,这是迄今报导最快的热电探测器。

热电探测器的快速响应是以牺牲电压响应率为代价的,但边电极结构的热电探测器,在某些情形下,即使不使用放大器,仍可获得驱动宽带示波器所需信号电平。不过,传统结构的边电极器件对于  $10.6 \mu\text{m}$  激光脉冲的探测来说尚有不足之处。为此我们采用一种“平面型”的边电极探测器,它除具有边电极器件固有的优点外,还具有工艺简单、成本低和一致性好等优点,在单片的一维阵列或交叉阵列方面具有良好的发展前景。

## 二、器 件 设 计

众所周知,在  $\tau_i^{-1} < \omega < \tau_e^{-1}$  范围内,热电探测器的电压响应率为:

$$R_V = \frac{\eta \cdot P \cdot R_L}{C_V \cdot d}, \quad (1)$$

式中  $\eta$  为上电极吸收率,  $P$  为热释电系数,  $R_L$  为负载电阻,  $C_V$  为比热,  $d$  为电极间距,  $\omega$  为调制频率,  $\tau_i$  为热时间常数,电时间常数  $\tau_e = R_L \cdot C_T$ , 其中  $C_T$  为探测器电容  $C_0$  和示波器或放大器输入电容  $C_i$  之和(包括电缆)。只要热电探测器有足够宽的高频响应,即可正确地再现激光脉冲波形。当  $R_L = 50 \Omega$  时,探测器电容  $C_0$  应满足的条件为<sup>[2]</sup>:

$$C_0 \leq \frac{\tau}{110} - C_i, \quad (2)$$

式中  $\tau$  为待测激光的脉宽;而当  $\tau_e > \tau$ , 则可用作激光脉冲能量的测定。

这里采用“平面型”结构——一种具有表面电极的边电极结构热电探测器(见图 1)。它

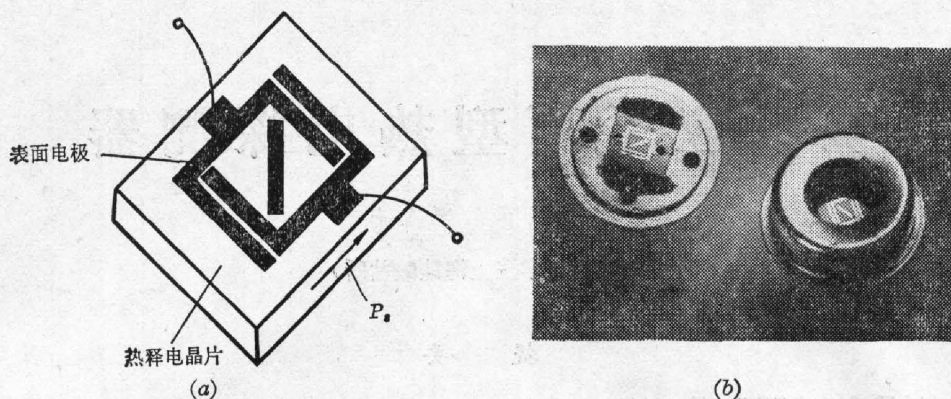


图 1 (a) 器件示意图; (b) 器件实物照

Fig. 1 (a) Diagram of the device; (b) Photograph of the device

利用热释电材料对某些波长激光的强烈吸收特性。例如,当一束均匀的  $10.6\ \mu\text{m}$  脉冲激光垂直照射于  $\text{LiTaO}_3$  晶片上,由于晶片在该波长有极高的吸收系数 ( $\alpha_i = 10^3\ \text{cm}^{-1}$ )<sup>[3]</sup>,因此沿晶片深度方向的温升为<sup>[4]</sup>:

$$T_i = \frac{E}{C_v \cdot z} \cdot \exp(-z/\bar{z}), \quad (3)$$

式中  $E$  为单次脉冲激光能量,  $\bar{z} = \alpha_i^{-1} \approx 10\ \mu\text{m}$  为  $\frac{1}{e}$  光学吸收深度。当脉冲很短时,晶体内部的热传导可以忽略,晶片的热释电效应仅发生在表面以下深度不大于  $\bar{z}$  的薄层内。因而可以将器件的电极以叉指电极的形式置于晶片表面,叉指与极化轴垂直,每一对叉指电极构成一只热电探测器。

对于平面型边电极器件,电容按叉指电极对计算<sup>[5]</sup>:

$$\begin{cases} C_0 = K \cdot (\epsilon_r + 1) \cdot l \cdot 10^{-3} (\text{pf}), \\ K = 6.5(D/L)^2 + 1.08D/L + 2.37, \end{cases} \quad (4)$$

式中  $D$ 、 $L$  见图 2,  $\epsilon_r$  为材料的相对介电常数  $\epsilon_r = \sqrt{\epsilon_{33} \cdot \epsilon_{11}}$ ,  $l$  为电极长度。

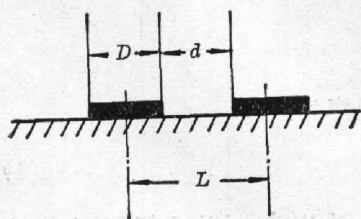


图 2 叉指电极的截面图  
Fig. 2 Cross-section of the interdigital electrode

显然,平面型探测器具有很小的电容,而尺寸相当的面电极探测器为达到同样低的电容需要更厚的晶片,导致响应率降低。探测器的最大输出信号取决于它容许接收的最大功率密度  $P_{\text{max}}$ ,面电极器件因受上电极(薄金属层)熔点的限制,  $P_{\text{max}}$  相当低;如同边电极探测器一样,平面型探测器的温升上限是材料的居里点,最高允许温升对  $\text{LiTaO}_3$  和  $\text{LiNbO}_3$  分别为  $500^\circ\text{C}$  和  $1000^\circ\text{C}$ ,由(3)式推得最大容许脉冲能量  $E_{\text{max}}$ ,脉宽愈短,  $P_{\text{max}}$  愈高,输出电压线性增加。因此它特别适用于激光短脉冲的探测。本文所述器件的缺点在于它只能在热释电材料有强烈吸收的波段工作,对大多数热释电材料一般在  $7\sim 8\ \mu\text{m}$  以上。

### 三、材料的选择

由(1)式可见,无论是面电极或边电极器件,在  $J_i^{-1} < \omega < \tau_i^{-1}$  频率范围内,都出现一个仅

与材料有关的因子： $P/C_V$ ，它可以认为是快速测量时的响应率优值。

SBN 单晶和 PLZT 陶瓷有极高的  $P/C_V$  值，但平面型探测器的晶片表面在高温升条件下工作，这些低居里点材料的退极化问题将是不利的。再则，它们的介电常数温度系数很大，当器件以大的动态范围工作时，可能使器件的输出呈现非线性。

平面型探测器的光谱响应范围由热释电材料的光谱吸收曲线决定。用 Perkin-Elmer 577 型红外分光光度计测量了  $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiNbO}_3(0.2\% \text{Fe})$ 、 $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$  单晶和 PLZT(8/65/35) 陶瓷在  $2.5 \sim 40 \mu\text{m}$  内的透射曲线(见图 3)。除  $\text{Fe}:\text{LiNbO}_3$  厚度为  $0.5 \text{ mm}$  外，其余均为  $0.22 \text{ mm}$ 。图 3 表明，作为相对比较，LT、LN 和 SBN 晶体对平面型探测器可以正常使用的起始波长约为  $9 \mu\text{m}$ 。 $\text{Fe}:\text{LN}$  和纯 LN 相比，在  $7 \mu\text{m}$  附近的吸收明显增加，从  $7.5 \mu\text{m}$  开始即有强烈吸收。PLZT 在  $10.6 \mu\text{m}$  处尚有少量透过。总之上述多种材料都适于在  $10 \mu\text{m}$  以上使用(PLZT 稍差)。可以预料，随着激光化学、远红外技术的迅速发展，对这一波段快速器件的需要将日益增长。

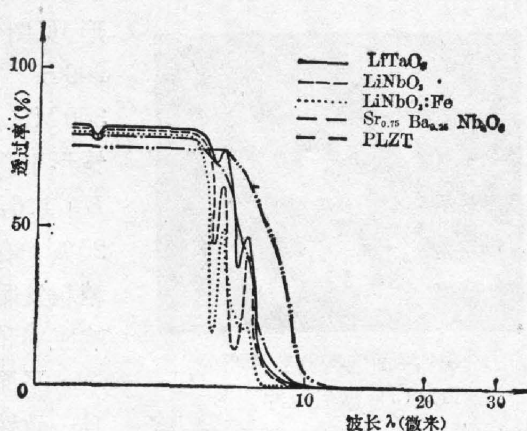


图 3 一些材料在红外波段的透过特性  
Fig. 3 Transmission characteristics of some materials in IR region

#### 四、器件工艺

采用 LT 和 LN 单畴晶体，平行于极化  $c$  轴切片，选取具有较低有效机电耦合系数的切

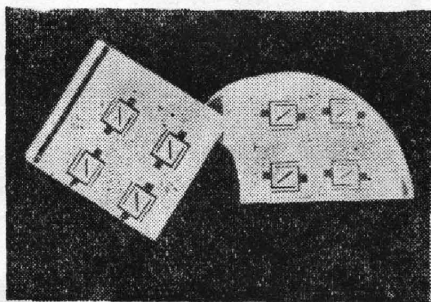


图 4 已刻蚀电极图形的晶片  
Fig. 4 A electrode pattern etched wafer

向，以降低压电谐振。晶片上表面的最后抛光用 M1 钻石膏完成，表面平整，无划痕。晶片背面粗磨，以便使可能产生的体波因底部散射而抑制。片厚约  $0.3 \text{ mm}$ 。晶片抛光后蒸镀在红外区反射率高的金属膜如铝(或金、银等)，膜厚  $2000 \text{ \AA}$ ，然后光刻成所需图形，叉指电极与极化轴严格垂直，如图 4 所示。划片机分割管芯后，置于 T0-5 管座上，用导电胶或超声焊接出引线。整个工艺流程与表面波滤波器相似。

#### 五、器件性能与应用

实验性器件的叉指宽度和电极间距  $D=d=0.27 \text{ mm}$ ，为增加有源区长度，采用图 1 所示复式电极， $l=3.3 \times 2=6.6 \text{ mm}$ 。对  $\text{LiTaO}_3$ ， $C_0=2.5 \text{ pF}$ 。

在安徽光学精密机械研究所和复旦大学物理系进行了验证性试验，他们用本文所述器

件接收 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的 10.6 μm 激光脉冲。结果表明,该器件能显示清晰稳定的脉冲波形(见图 5)。波形与光子牵引探测器测得的一致,半宽度 200 ns。探测器经阻抗转换器(电压增益为 2)接入 350 MHz 宽带示波器。另外,还在探测器直接驱动示波器情形下测量了器件的电压响应率,当  $R_L=500\ \Omega$ , 激光  $E=1.6\ \text{J}/\text{cm}^2$ , 测得响应率约为 29 V/MW, 为理论值的 25%。在激光多次照射下,器件表面无明显变化,仅电极稍稍发暗,但输出稳定,可重复。LiNbO<sub>3</sub> 器件性能相似,响应率稍低。

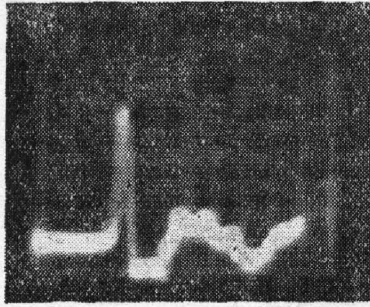


图 5 平面型探测器测得的 TEA CO<sub>2</sub> 激光脉冲波形

横向 500 ns/div; 纵向 100 mV/div 器件

Fig. 5 Pulse shape of TEA CO<sub>2</sub> laser measured by planar detector

$x$  direction: 500 ns/div;

$y$  direction: 100 mV/div

平面型探测器制作工艺简单、成本低、适于生产,而且一致性好。热电阵列存在的重要问题之一是探测器的不均匀性。而这一点对本文所述器件是有利的。它可以方便地制成单片的一维或交叉阵列。器件与器件之间既可串联,也可并联,在高功率激光情形下,有可能不用放大器,经多路传输电路直接对各阵列元顺次取样后直接送入示波器或 D/A 转换电路。这种器件适用于 10.6 μm 或其它长波高功率激光的空间或瞬态分析。为此,我们还研制了两种实验性的单片一维阵列器件。一种是并联型六元阵列,另一种是串联型十二元阵列  $D=d=0.2\ \text{mm}$ , 单元电极长度 1.2 mm, 见图 6 和图 7。材料为 LiTaO<sub>3</sub> 和 LiNbO<sub>3</sub>, 它们的性能有待测试。

平面型探测器制作工艺简单、成本低、适于生产,而且一致性好。热电阵列存在的重要问题之一是探测器的不均匀性。而这一点对本文所述器件是有利的。它可以方便地制成单片的一维或交叉阵列。器件与器件之间既可串联,也可并联,在高功率激光情形下,有可能不用放大器,经多路传输电路直接对各阵列元顺次取样后直接送入示波器或 D/A 转换电路。这种器件适用于 10.6 μm 或其它长波高功率激光的空间或瞬态分析。为此,我们还研制了两种实验性的单片一维阵列器件。一种是并联型六元阵列,另一种是串联型十二元阵列  $D=d=0.2\ \text{mm}$ , 单元电极长度 1.2 mm, 见图 6 和图 7。材料为 LiTaO<sub>3</sub> 和 LiNbO<sub>3</sub>, 它们的性能有待测试。

平面型探测器制作工艺简单、成本低、适于生产,而且一致性好。热电阵列存在的重要问题之一是探测器的不均匀性。而这一点对本文所述器件是有利的。它可以方便地制成单片的一维或交叉阵列。器件与器件之间既可串联,也可并联,在高功率激光情形下,有可能不用放大器,经多路传输电路直接对各阵列元顺次取样后直接送入示波器或 D/A 转换电路。这种器件适用于 10.6 μm 或其它长波高功率激光的空间或瞬态分析。为此,我们还研制了两种实验性的单片一维阵列器件。一种是并联型六元阵列,另一种是串联型十二元阵列  $D=d=0.2\ \text{mm}$ , 单元电极长度 1.2 mm, 见图 6 和图 7。材料为 LiTaO<sub>3</sub> 和 LiNbO<sub>3</sub>, 它们的性能有待测试。

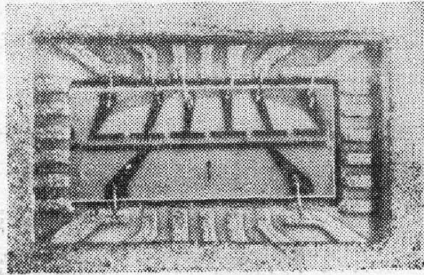


图 6 并联型六元热电阵列

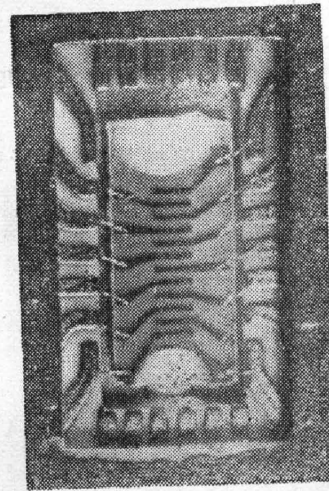


图 7 串联型十二元热电阵列

Fig. 6 Pyroelectric six-elements array in parallel Fig. 7 Pyroelectric twelveelements array in series

### 参 考 文 献

- [1] S. C. Stotlar et al.; *Ferroelectrics*, 1980, **28**, 325.
- [2] 冯锡淇等; 《激光》, 1980, **7**, No. 7 (Jul), 28.
- [3] C. B. Roundy, R. L. Byer; *A. P. L.*, 1972, **21**, No. 10 (15 Nov), 512.
- [4] C. B. Roundy et al.; *Opt. Commun.*, 1974, **10**, No. 4 (Apr), 374.
- [5] G. W. Farnall et al.; *IEEE Trans. Sonic & Ultrasonic*, 1970, **SU-17**, No. 4 (Oct), 188.

## Fast-response surface electrode pyroelectric detector

FENG XIQI AND PAN JINCAI

*(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)*

(Received 29 December 1980)

### Abstract

A new type fast-response detector is recommended. This pyroelectric detector is made of  $\text{LiTaO}_3$  and  $\text{LiNbO}_3$  crystals, having very strong absorptive characteristics for laser at certain wavelength. In this paper, the consideration in device design, the selection of materials, the fabrication and performance of such device are described and finally, its prospect for the monolithic pyroelectric array is briefly discussed.