

斜切对 ATGSP 热释电晶体优值的影响*

王 民 李世纯 房昌水

(山东大学)

摘要——分析并测量了斜切对 ATGSP 热释电晶体响应率优值和探测率优值的影响,指出斜切可以增加热释电电压响应率,但不能改善其探测率。

一、引 言

根据热释电探测器的集总模型理论^[1, 2],影响热释电探测器及摄像管性能的热释电晶体材料的优值有响应率优值 $M_R = \frac{p}{s}$ 和探测率优值 $M_D = \frac{p}{(\epsilon \tan \delta)^{1/2}}$ (这里 p 、 ϵ 、 $\tan \delta$ 分别为热释电材料的热释电系数、介电常数和介电损耗)。根据一维热扩散理论,采用上述优值也是合适的^[3, 4]。因此,如何提高材料优值便成为改善热释电探测器性能的重要途径。

TGS 类晶体在 b 轴方向的热释电系数最大,因此通常采用垂直于该方向的材料切片来制作探测器。但如果考虑 TGS 类晶体的介电常数具有明显的各向异性,且在 b 轴方向介电常数最大,那么采用偏离垂直 b 轴方向的斜切方式就有改善材料优值的可能。Shanlov 等报道了斜切对 TGS 和 DTGFB 晶体的电压响应率优值的影响^[5, 6],我们也曾报道过斜切对 ADTGSP 晶体的电压响应率优值的影响^[9]。本文全面讨论了斜切对 ATGSP 晶体的电压响应率优值 M_R 与探测率响应优值 M_D 的影响。ATGSP 晶体的优值比 TGS 和 DTGFB 晶体大,而且解理性差,加工斜切时沿解理面开裂的问题不严重。

二、理 论

TGS 类晶体的铁电相对称性为 C_2-2 ,热释电轴平行于唯一的二次对称轴 (b 轴)。假定采用晶体物理主轴坐标系,并令 x_2 轴平行于二次对称轴,则在空间任意方向的热释电系数

$$p = p_2 \cos \theta, \quad (1)$$

介电常数

$$\epsilon = \epsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta, \quad (2)$$

相应的响应率优值

$$M_R = \frac{p}{s} = \frac{p_2 \cos \theta}{\epsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta}, \quad (3)$$

本文 1987 年 5 月 11 日收到。修改稿 1987 年 8 月 10 日收到。

* 国家自然科学基金资助的课题

探测率优值

$$M_D = \frac{p}{(\epsilon \tan \delta)^{1/2}} = \frac{p_2 \cos \theta}{[(\epsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta) \tan \delta]^{1/2}} \quad (4)$$

考虑到我们在实际测量中没有发现介电损耗 $\tan \delta$ 随斜切方向有任何改变, 式(4)可改写为

$$M_D = \frac{p}{(\epsilon)^{1/2}} = \frac{p_2 \cos \theta}{(\epsilon_1 \cos^2 \varphi \sin^2 \theta + \epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \varphi \sin^2 \theta)^{1/2}} \quad (5)$$

式(1)~(5)中 p_2 为 b 轴 (x_2 轴) 方向的热释电系数; θ 为任意方向与 x_2 轴的夹角; φ 为该方向与 x_1 轴的方位角; $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 分别为 3 个主介电常数, 其中 ϵ_2 最大, ϵ_3 最小。当角度 θ 一定时, 根据二阶对称张量示性面的性质和式(3)~(5), 使优值 M_R 和 M_D 为最大的方向永远位于热释电系数最大和介电常数最小的方向所决定的平面内, 即 (x_2, x_3) 平面内。因此, 优值的表达式可简化为

$$M_R = \frac{p_2 \cos \theta}{\epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \theta} = M_{R0} \frac{n \cos \theta}{(n-1) \cos^2 \theta + 1} \quad (6)$$

$$M_D = \frac{p_2 \cos \theta}{(\epsilon_2 \cos^2 \theta + \epsilon_3 \sin^2 \theta)^{1/2}} = M_{D0} \frac{(n)^{1/2} \cos \theta}{[(n-1) \cos^2 \theta + 1]^{1/2}} \quad (7)$$

式(6)和(7)中, $n = \epsilon_2 / \epsilon_3$ 为热释电晶体材料的介电常数各向异性比; $M_{R0} = p_2 / \epsilon_2$ 和 $M_{D0} = p_2 / (\epsilon_2)^{1/2}$ 分别表示热释电轴方向的响应率优值与探测率优值。定义响应率优值增益为 $G_R = M_R / M_{R0}$, 探测率优值增益为 $G_D = M_D / M_{D0}$, 则有

$$G_R = \frac{n \cos \theta}{(n-1) \cos^2 \theta + 1} \quad (8)$$

$$G_D = \frac{(n)^{1/2} \cos \theta}{[(n-1) \cos^2 \theta + 1]^{1/2}} \quad (9)$$

根据式(6)、(7), 求解方程

$$\frac{\partial M_R}{\partial \theta} = 0 \quad (10)$$

和

$$\frac{\partial M_D}{\partial \theta} = 0 \quad (11)$$

可得最佳斜切角的值。方程(10)的解为

$$(\theta_R)_{OP} = \tan^{-1}(n-2)^{1/2} \quad (12)$$

$(\theta_R)_{OP}$ 为最佳响应率优值斜切角。将 $(\theta_R)_{OP}$ 代入式(6)可得最佳响应率优值

$$M_{R(OP)} = M_{R0} \frac{n}{2(n-1)^{1/2}} \quad (13)$$

如果 $\epsilon_2 \gg \epsilon_3$, 式(13)可简化为

$$(M_R)_{OP} \doteq M_{R0} \frac{(n)^{1/2}}{2} \quad (14)$$

将式(13)代入式(8), 得到最佳响应率优值增益

$$(G_R)_{OP} = \frac{n}{2(n-1)^{1/2}} \quad (15)$$

当 $\epsilon_2 \gg \epsilon_3$ 时, 式(15)简化为

$$(G_R)_{OP} \doteq \frac{(n)^{1/2}}{2} \quad (16)$$

式(11)无解, 所以不存在最佳探测率优值斜切角和最佳斜切探测率优值。

图 1、2 分别给出用式(8)、(9)计算的 G_R 与 G_D 与斜切角 θ 的关系。

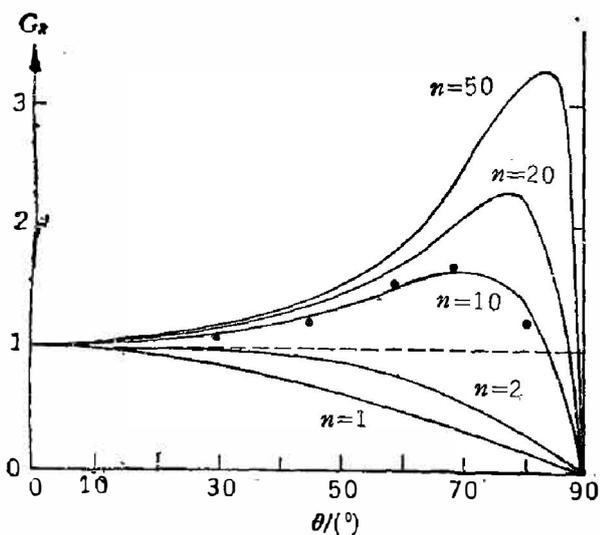


图1 增益 G_R 与角度 θ 的关系(虚线为实验值)
Fig. 1 Relation between gain G_R and angle θ

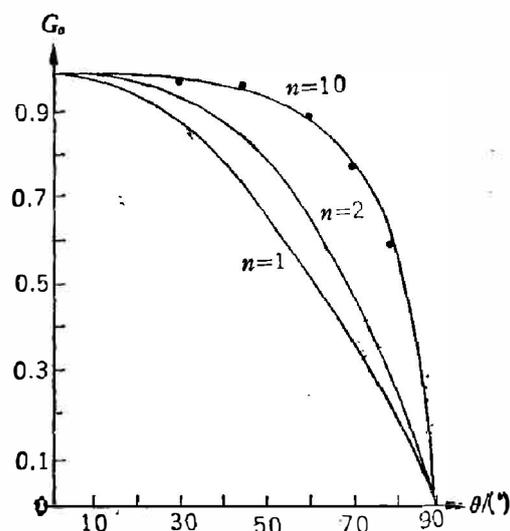


图2 增益 G_D 与角度 θ 的关系(虚线为实验值)
Fig. 2 Relation between gain G_D and angle θ

三、实 验

取 ATGSP 晶体, 在 x_2x_3 平面内, 选 $\theta=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ 和 90° 斜切, 得到 $30\text{ mm}^2 \times 0.5\text{ mm}$ 方形薄片, 抛光后在两个大面上蒸镀金电极作为测试样品。用国产 CO-11 型精密电容电桥测量介电常数和介电损耗, 用电荷积分法测量热释电系数^[7]。

我们测量了不同斜切角度的样品在不同温度下的介电常数、热释电系数和介电损耗。部分测试结果如图 3、4 所示(由于介电损耗不随斜切角度改变, 图中未绘出)。在测试温度为 25°C 时, 测得 $\epsilon_2=43.7$ 、 $\epsilon_3=4.5$ 、 $n=\frac{\epsilon_2}{\epsilon_3} \approx 10$ 。将在这一温度下以不同角度斜切得到的样品的实测热释电系数值一并代入式(6)、(7)中, 得到 M_R 和 M_D 值, 再根据定义式得出 G_R 与 G_D 的值, 参看图 1、2。

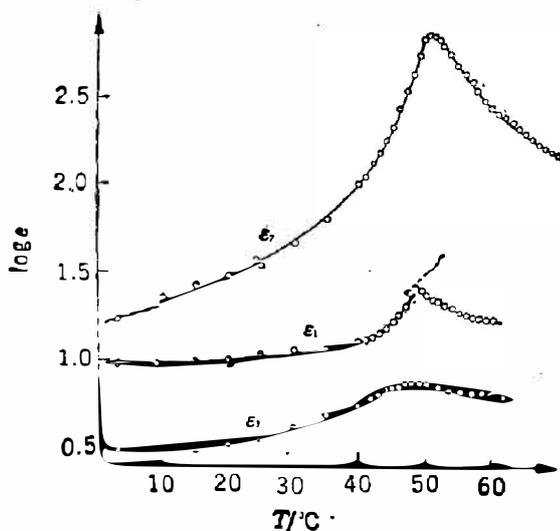


图3 介电常数对数值 $\log \epsilon$ 与温度 T 关系
Fig. 3 Relation between the logarithmic value of dielectric constant $\log \epsilon$ and temperature T .

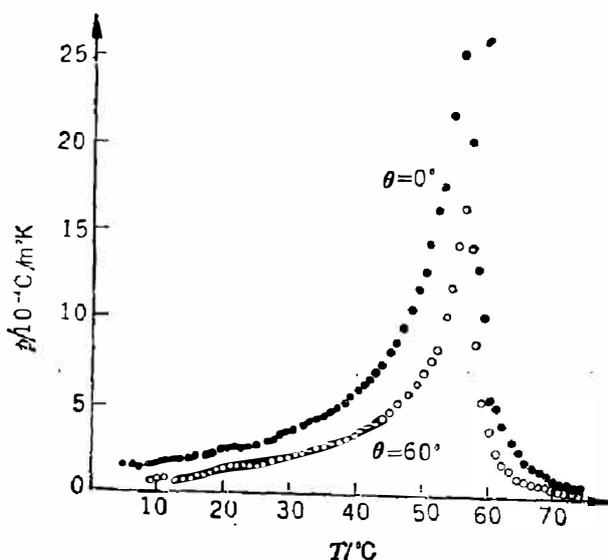


图4 热释电系数 p 与温度 T 的关系
Fig. 4 Relation between pyroelectric coefficient p and temperature T .

四、结 论

1. 当热释电晶体的 $n > 2$ 时, 采用斜切方法对改善材料的响应率优值有利。当热释电探测器在高频范围以场效应晶体管短路噪声为主的条件下工作, 或当热释电摄像管以阴极电位稳定(CPS)方式工作时, 材料的响应率优值 M_R 影响着探测器和摄像管的性能^[2, 8], 这时, 采用最佳斜切角斜切材料可明显地改善探测器和摄像管的性能。

2. 斜切不能改善热释电晶体材料的探测率优值。当热释电探测器在中等频率范围以材料介电损耗导致的热噪声为主的条件下工作, 或当热释电摄像管以阳极电位稳定(APS)方式工作时, 材料的探测率优值决定了探测器和摄像管的性能^[2, 8], 这时, 采用任何角度的斜切均无助于改善探测器和摄像管的性能。

参 考 文 献

- [1] Putley J. H., *Semiconductor and Semimetals*, **5**(1970), 259~285.
- [2] 陈继述等, 红外探测器, 国防工业出版社, 1986, p.103~143.
- [3] 陈继述, 物理学报, **23**(1974), 429.
- [4] Li Shichun, *Ferroelectrics*, **46**(1983), 209
- [5] Shaulov A. et al., *Ferroelectrics*, **38**(1981), 967.
- [6] Shaulov A., *Appl. Phys. Lett.*, **39**(1981), 180.
- [7] 王民等, 山东大学学报, **21**(1986), 94.
- [8] Watton R., *Ferroelectrics*, **10**(1976), 91.
- [9] 王民等, 物理学报, **36**(1987), 125.

INFLUENCE OF OBLIQUE CUTTING OF ATGSP CRYSTAL ON THE PYROELECTRIC FIGURE OF MERIT

WANG MIN LI SHICHUN, FANG CHANGSHUI
(Shandong University)

ABSTRACT

The influence of oblique cutting of ATGSP crystal on the pyroelectric figures of merit of the responsivity and detectivity has been analysed and measured. It is indicated that the oblique cutting can increase the pyroelectric voltage responsivity but can not improve the pyroelectric detectivity.