

探讨边电极红外脉冲激光 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 热释电晶体能量计输出电压特性

史子康

(中国科学院福建物质结构研究所)

将 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体沿 c 轴方向制成薄细长条状, 光脉冲 $H(x, t)$ 垂直入射晶片中央。晶体宽、厚两方向温度梯度可忽略, 于是可用一维热传导方程求解。

当 $t - \tau_0 \geq \frac{3}{8} \left(\frac{l}{\pi}\right)^2 \frac{c_v}{K}$, $0 \leq \tau_0 \leq A$, 在 $T(x, t)$ 级数表示中取 $n=0$ 的项, 得

$$T = T_0 + \frac{8\alpha H A}{9\pi^2 c_v d} \sin \frac{\pi}{l} x \exp - \frac{K}{c_v} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 (t - \tau_0), \quad (1)$$

其中 d 是晶片厚度; S 是晶片截面积; l 是晶片长度; H 是光入射功率; α 是吸收系数; K 是热导率; c_v 是比热容; A 是光脉冲宽度; τ_0 为滞后时间。电荷产生率 θ_t 可表示为

$$\theta_t = - \frac{8\pi H A K \alpha}{9l^3 c_v^2 d} \cos \frac{\pi}{l} x \exp - \frac{K}{c_v} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 (t - \tau_0), \quad (2)$$

空间各点电荷产生率服从余弦分布。 $x=0$, θ_t 有负最大值; $x=l$, θ_t 有正最大值。这证明了 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体在光脉冲作用下, 产生了非静电力, 把电荷从一头搬向另一头。

$\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体空间群是 O_3^2-R3 , 压电模量 $\{d_{3i}\} \ni d_{31} = d_{32}$, d_{33} , $d_{34} = d_{35} = d_{36} = 0$ 。

于是热释电电流

$$i = \frac{s}{l} \int_0^l \left[\gamma E + (d_{31} + d_{32}) \frac{d(\sigma_1 + \sigma_2)}{dt} + d_{33} \frac{d\sigma_3}{dt} \right] dx + \frac{\lambda s}{l} \int_0^l T_t dx. \quad (3)$$

由静态压电模量测量得出 $d_{33} \neq 0$, 由假设可知, 1、2 方向无温度梯度, 所以无热应力 ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$), 在短路态工作条件下, $i = \frac{\lambda s}{l} \int_0^l T_t dx$ 。 λ 是一次热释电系数, 于是输出电压是

$$V(t) = \frac{16}{9\pi} \frac{\lambda R H A}{\left(\pi^2 \frac{K C R}{c_v} - l^2\right)} \frac{K \alpha S}{c_v^2 d} \left\{ \exp - \frac{K}{c_v} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 (t - \tau_0) - \exp - \frac{1}{C R} \left[t - \frac{K}{c_v} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 C R \tau_0 \right] \right\}. \quad (4)$$

$V(t)$ 正比于 HA (红外激光脉冲能量), 如果确定一个测量时间 t , 就可通过输出电压测量, 测出激光脉冲能量。式中 $R = \frac{R' R''}{R' + R''}$; $C = C' + C''$ 。 R' 是晶体内阻; R'' 是前置放大器输入电阻; C' 是晶体电容; C'' 是前置放大器输入电容。

实验中发现: $50 \mu\text{m} \geq \text{波长} \geq 3.3 \mu\text{m}$ 时, $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体具有全吸收性能 ($\alpha=1$), 再加上 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体破坏阈值很高, 是 LT 晶体的八倍以上, 优值 $\frac{\lambda}{c_v s}$ 与 LN 晶体接近, 由此可知, $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ 晶体作为边电极脉冲红外激光能量计的晶体材料具有现实意义。