

文章编号: 0253-2239(2003)03-0370-07

多维正常声电光效应最佳工作模式的确定*

俞宽新 赵宝森 何世雅 丁 鹏

(北京工业大学应用数理学院, 北京 100022)

摘要: 通过对四方、立方晶系的纵向电光效应和多维正常声光效应的研究, 选定了四方晶系的 KDP 晶体和立方晶系的 GaP 晶体作为多维正常声电光器件的最佳晶体, 并通过计算两种晶体的声光相互作用性能参量, 确定了它们的二维、三维、四维正常声电光效应的最佳工作模式。研究结果为多维正常声电光器件的设计与制作打下了良好基础。多维声电光器件在多路光通信和多通道光信息处理中有应用前景。

关键词: 光学元器件; 多维声电光效应; 正常声光效应; 纵向电光效应

中图分类号: TN65 文献标识码: A

1 引 言

声电光效应同时使用声光效应和电光效应, 电光效用来调制激光强度, 声光效用来偏转激光传播方向, 这样就可以将分立的偏转器和调制器合成一个器件。

一维声电光效应只需一个超声通道, 因此光传播方向、声传播方向、直流电场方向可以两两垂直, 电光效应可使用横向电光效应, 声光效应可使用布拉格衍射。铌酸锂(LN)晶体沿 y 轴加电场, 沿 z 轴通光时, 可实现横向电光效应, 沿 x 轴加超声波时可实现布拉格声光衍射, 因此它成为制作一维声电光器件的最佳晶体, 一维声电光器件可以同时实现激光的强度调制与一维偏转^[1~4]。

n 维声电光效应则在同一平面内有 n 个相互成 $180^\circ/n$ 的超声能量传播通道, 光传播方向及直流电场只能与此平面垂直, 故电光效应必须是纵向电光效应, 声光效应则必须是拉曼-奈斯衍射, 这是由于多个超声波与入射光之间无法同时满足布拉格衍射所需的几何条件, n 维声电光器件可以同时实现激光的强度调制与 n 维偏转。

到目前为止, 有关声电光效应研究的报道, 只到二维声电光效应^[5~7]。本文通过对四方和立方晶系进行纵向电光效应和多维正常声光效应的研究, 选定了四方晶系的 KDP 晶体和立方晶系的 GaP 晶体

为制作多维正常声电光器件的最佳晶体, 并确定了它们的二维、三维、四维正常声电光效应的最佳工作模式, 为多维正常声电光器件的设计、制作打下了基础。声电光器件在光通信、光信息处理领域内有应用前景, 尤其是多维声电光器件在多路光通信和多通道光信息处理中有应用前景。

2 多维正常声电光效应的工作原理

n 维声电光晶体被磨成 $2n$ 棱柱的形状, 电场与光传播方向沿棱柱的轴线方向, 在 $2n$ 个侧面中, 相邻的 n 个侧面上粘贴电声换能器, 它可以激发 n 个互成 $180^\circ/n$ 的超声波, 这些超声能量通道组成的平面与棱柱轴线垂直。例如四维声电光器件的结构如图 1 所示, 声电光晶体被磨成正八棱柱的形状, 光传播和电场方向沿棱柱的轴线即 z 轴。在与 z 垂直的两个晶面上镀产生电场的电极, 中心处留出小圆孔, 以便激光束通过。在电极上加直流高压和待调制信号的混合信号, 其中的直流高压等于声电光晶

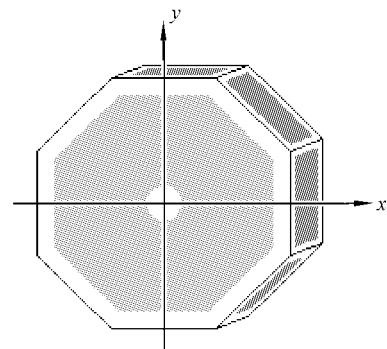


Fig. 1 The construction of four-dimensional acousto-electro-optic device

* 国家自然科学基金(60077017)和北京市教委项目(P06040101)资助课题。

E-mail: kuanxiny@bjpu.edu.cn

收稿日期: 2002-02-28; 收到修改稿日期: 2002-04-22

体的纵向电光效应半波电压之半,这是为了保证电光调制时工作点处在线性区域,以减小调制过程中所产生的失真。4个相邻的侧面上粘贴换能器,激发4个互成 45° 的超声波。它们组成的平面与入射光传播方向互相垂直,以满足拉曼-奈斯衍射所需要的几何条件。一般说来,超声纵波可以实现正常声光效应,换能器使用能激发超声纵波的压电晶片,如 $Y36^\circ$ 切铌酸锂(LN)晶片。

多维正常声光电效应的工作过程是这样的,当直流高压加到电极上以后,声光电晶体的光学折射率椭球将发生变化,在与电场方向垂直的平面内,折射率椭球的截圆变成椭圆,两个主轴方向是两个本征模的偏振方向。若在声光电器件前面放置一个起偏镜,令其偏振化方向沿这两个本征模偏振方向所夹角的角平分线,则入射线偏振光将被分解成振幅相等的两个线偏振光,它们在超声纵波的作用下产生衍射光,并在通过晶体后,由于折射率的不同而产生相位延迟差,当它们出晶体后再合成为一个线偏振光时,其偏振方向比起进入晶体时发生了偏转,偏转角度随调制信号而变,最后当它通过置于声光电器件后面并与起偏镜方向垂直的检偏镜时,衍射光的强度便随调制信号而变化。

3 多维正常声光电最佳晶体及工作模式的选定

多维正常声光电效应最佳晶体及其工作模式的选择原则有3个:

1) 纵向电光效应所使用的电光系数尽量大,这样可以降低半波电压。纵向电光效应的半波电压计算公式为^[8]

$$U_\pi = \lambda / (2n_o^3 \gamma_{\text{eff}}), \quad (1)$$

式中 λ 为光波长, n_o 为晶体o光主折射率, γ_{eff} 为有效电光系数,由所加电场的方向决定。如电场方向分别沿 x 、 y 、 z 三个主轴方向时,则 γ_{eff} 分别为 γ_{41} 、 γ_{52} 、 γ_{63} 。

2) 入射线偏振光所分解的两个本征模与超声波之间所产生声光相互作用的衍射效率要尽量相等,否则会使光调制产生失真。

3) n 个超声通道的声光衍射效率要尽量相等,以保持 n 维偏转之间的平衡。声光衍射效率在弱声光相互作用条件下的计算公式如下^[9]

$$\eta = (\xi/2)^2, \quad (2)$$

式中 ξ 称声致相移,反映声光相互作用的强弱,与声光

优质 M_2 及引起声光衍射的有效超声功率 P_{eff} 有关,而 η 则与 M_2 及 P_{eff} 成正比。声光优质 M_2 用于评价声光相互作用模式的优劣,定义为^[9]

$$M_2 = n_i^3 n_d^3 \chi_{\text{eff}}^2 / (\rho v^3), \quad (3)$$

n_i 、 n_d 分别为入射光和衍射光的折射率; ρ 为晶体密度; v 为超声波的相速度; χ_{eff} 为有效声光系数,大小为^[9]

$$\chi_{\text{eff}} = a_i a_j a_k a_l \chi_{ijkl}, \quad (4)$$

a_i 、 a_j 、 a_k 、 a_l 分别为入射光偏振方向、衍射光偏振方向、声相位传播方向、声偏振方向的方向余弦。 χ_{ijkl} 为声光系数张量,简化下标后可用 6×6 阶矩阵表示。对于正常声光衍射,入射光与衍射光的偏振方向是一致的,即 $a_i = a_j$ 。有效超声功率 P_{eff} 的计算方法如下:

$$P_{\text{eff}} = P \cos^2 \alpha \cos^2 \beta, \quad (5)$$

P 为换能器所激发的超声功率, α 为超声波相位传播方向,即波矢量 \mathbf{K} 方向与本征模偏振方向之间的夹角; β 为超声波能量传播方向即坡印亭矢量 \mathbf{S} 方向与本征模偏振方向之间的夹角。若本征模为准纵波,则超声波的波矢量方向、坡印亭矢量方向和偏振方向三者是一致的。此时 $\alpha = \beta = 0$,有效超声功率就是换能器激发的声功率。若本征模为准纵波,则上述三个方向彼此都不一致,有效超声功率就将按(5)式计算。这是由于当换能器激发的准纵波进入声光电晶体时,超声波振幅要沿本征模偏振方向分解,实际耦合进入晶体的超声功率要有损耗,产生 $\cos^2 \alpha$ 因子。而当超声波与光发生声光相互作用时,超声波振幅要再一次沿超声能量传播方向分解,再产生 $\cos^2 \beta$ 因子。

在多维声光相互作用中,由于各超声波之间的相互耦合,不可避免地要产生交叉调制现象,即任何某一维超声波所产生的衍射光会被自己和其它维的超声波再衍射而造成衍射效率的下降。考虑交叉调制现象后,(2)式的衍射效率计算公式应修正为^[9]

$$\eta = \left(\frac{\xi_1}{2}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{\xi_1}{2}\right)^2 - 2 \sum_{i=2}^n \left(\frac{\xi_i}{2}\right)^2\right], \quad (6)$$

ξ_1 为该维的声致相移, ξ_i 为其它维的声致相移。由该式可以看出,各维声光衍射效率的下降是一样的,也就是说,交叉调制现象的存在并没有起到破坏各维声光衍射间的平衡的作用。

晶体的选择范围考虑使用较多的光学单轴晶体和光学各向同性晶体。由电光效应的定义可知,单轴晶体要实现纵向电光效应,电场的方向必须沿光轴 z 方向,这时有有效电光系数为 $\gamma_{\text{eff}} = \gamma_{63}$ 。由于三方和

六方晶系所有晶类的 γ_{63} 都是零^[10], 我们只得放弃这两个晶系。

四方晶系中有的晶类如 $\bar{4}$ 和 $\bar{4}2m$ 的电光系数 γ_{63} 不等于零, 可以实现沿 z 轴的纵向电光效应。光学各向同性的立方晶系要实现纵向电光效应, 电场的方向可以沿 3 个主轴方向 x, y, z 中的任一个, 此时有效电光系数分别为 $\gamma_{41}, \gamma_{52}, \gamma_{63}$ 。

立方晶系中所有晶类的这 3 个电光系数都相等且不等于零, 可以实现沿 x, y, z 轴的纵向电光效应。因此, 多维声光效应只能使用四方晶系的 $\bar{4}$ 和 $\bar{4}2m$ 晶类和立方晶系的晶体。

下面我们就从多维正常声光衍射的要求出发, 分别讨论这两个晶系的最佳晶体及其最佳工作模式。

3.1 四方晶系

通过考察, 四方晶系中 $\bar{4}2m$ 晶类的 KDP 晶体具有较高的电光系数和声光系数, 故选择它作为最佳声光晶体。

由(1)式可计算出 KDP 沿 z 轴纵向电光效应的

半波电压为 $U_{\pi} = 8.67 \times 10^3$ V, 计算中所用数据: $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}, \gamma_{63} = 10.6 \times 10^{-12} \text{ m/V}^{[11]}, n_o = 1.51^{[11]}$ 。当沿 z 轴加直流高压后, 其折射率椭球在 xy 平面内的截圆变成主轴方向沿 x' 即 $[110]$ 方向和沿 y' 即 $[\bar{1}10]$ 方向的椭圆。此时若有一束沿 x 或 y 偏振的线偏振光入射, 就可以分解为沿 x' 和 y' 偏振的两束本征模线偏振光。KDP 晶体的 z 轴是 4 度轴, 劲度系数矩阵 c 和声光系数矩阵 χ 的形式一样, 以劲度系数为例, 其形式为^[10]

$$c = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

不难写出 KDP 在 xy 平面内晶体声学基本方程即克里斯托费尔(Christoffel) 方程的形式为

$$\begin{bmatrix} c_{11} \cos^2 \theta + c_{66} \sin^2 \theta & \frac{c_{12} + c_{66}}{2} \sin 2\theta & 0 \\ \frac{c_{12} + c_{66}}{2} \sin 2\theta & c_{11} \sin^2 \theta + c_{66} \cos^2 \theta & 0 \\ 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = 0, \quad (8)$$

式中 θ 为超声波矢量方向与 x 轴的夹角, u_1, u_2, u_3 为晶体质点的位移分量。

这是一个本征方程, 对于任意给定的一个 θ 值, 可以确定 3 个本征模的声偏振方向及本征值声相速度, 通常将本征值声相速度画成倒速度曲线。KDP 晶体在 xy 平面内的倒速度曲线如图 2 所示, 其中圆形曲线 1 为纯切变模, 偏振方向垂直于 xy 平面; 四角花瓣形曲线 2 是准切变模, 只有在 θ 等于 45° 整倍数的 8 个方向上才是纯切变波点, 偏振方向平行

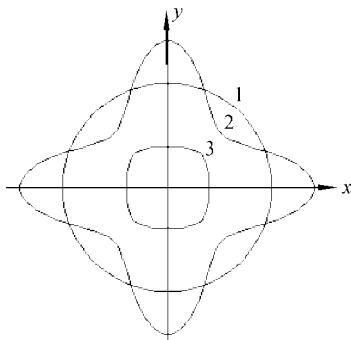


Fig. 2 The reciprocal velocity curves of KDP in xy plane

于 xy 平面; 四角形曲线 3 是准纵模, 也是只在 θ 等于 45° 整倍数的 8 个方向上才是纯纵波点, 偏振方向也平行于 xy 平面。需要指出的是, KDP 晶体具有压电性, 考虑压电效应以后, 其倒速度曲线将产生形变。KDP 晶体的压电系数矩阵的形式为^[10]

$$e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & e_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e_{36} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

可以写出 KDP 晶体在 xy 平面内的压电增劲克里斯托费尔方程, 它的形式与(8)式相比, 仅将系数矩阵中第 3 行第 3 列的元素 c_{44} 变为

$$\bar{c}_{44} = c_{44} + e_{14}^2 \sin^2 2\theta / \epsilon_{11}$$

ϵ_{11} 为介电常量, 它只会使图 2 中的纯切变波曲线 1 产生形变, 而不会影响纵波曲线 3, 故不影响本文所讨论的正常声光效应。

我们先来确定二维和四维正常声光效应的最佳工作模式, 由于在 xy 平面内能够找到两个互成 90° 的纯纵波以及 4 个互成 45° 的纯纵波, 故二维与四维正常声光效应的最佳工作模式很容易确定。令

θ 等于 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, 由 (3) 式 ~ (5) 式以及 (8) 式求出反映 KDP 正常声光效应性能参量的计算结果列在表 1 中。表中每一个 θ 数值包括两行数据, 分别对应入射线偏振光所分解成的沿 x' 和 y' 偏振的两个本征模。对沿 x' 偏振的本征模来说, $a_i = a_j = (\sqrt{2}/2, \sqrt{2}/2, 0)$; 对沿 y' 偏振的本征模来说, $a_i = a_j = (-\sqrt{2}/2, \sqrt{2}/2, 0)$; 两者的 a_k 都是 $(\cos \theta, \sin \theta, 0)$; a_l 都是 $(\cos \delta, \sin \delta, 0)$, δ 为声偏振方向与 x 轴的夹角。可以证明, 这两个本征模 χ_{eff} 的计算公式可统一写成

$$\chi_{\text{eff}} = \frac{1}{2}(\chi_{11} + \chi_{12})\cos(\delta - \theta) \pm \chi_{66} \sin(\delta + \theta), \quad (10)$$

其中 + 号和 - 号分别对应 x' 模和 y' 模。计算 M_2 时可令 $n_i = n_d = n_o$, 这是因为光是沿光轴 z 方向传播的。由于表 1 中 4 个波矢量方向都是纯纵波点, 因此在相同声功率的条件下, 参量 M_2 实际上就可以反映衍射效率的大小, 表中最后一列为每个超声波对两个本征模的平均衍射效率。计算中所用到的数据为

$$\begin{aligned} n_o &= 1.51, \\ \rho &= 2.34 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 [11], \\ c_{11} &= 7.85 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \\ c_{12} &= 3.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \\ c_{44} &= 1.23 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \\ c_{66} &= 0.61 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \\ p_{11} &= 0.251, \\ p_{12} &= 0.249, \\ p_{66} &= 0.058 [13]. \end{aligned}$$

Table 1. Function characters of KDP in two-dimensional and four-dimensional isotropic acousto-electro-optic effect

$\theta / (^\circ)$		χ_{eff}	$V / (10^3 \text{ m/s})$	$M_2 / (10^{-15} \text{ s}^3/\text{kg})$	
0	x'	0.25	5.79	1.63	1.63
	y'	0.25	5.79	1.63	
45	x'	0.31	5.12	3.58	2.49
	y'	0.19	5.12	1.39	
90	x'	0.25	5.79	1.63	1.63
	y'	0.25	5.79	1.63	
135	x'	0.19	5.12	1.39	2.49
	y'	0.31	5.12	3.58	

从表 1 可以得出 KDP 晶体二维和四维正常声光电效应的最佳工作模式如下: 电场方向沿 z 轴; 入射光传播方向沿 z 轴、偏振方向沿 x 轴或 y 轴; 声波

的相位传播方向、能量传播方向、偏振方向一致, 都在 xy 平面内, 与 x 轴的夹角 θ 随维数而不同: 二维 θ 分别取 $0^\circ, 90^\circ$, 四维 θ 分别取 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 。其中二维声光电相互作用中两个超声波的平均衍射效率相等, 并且每个超声波对两个本征模偏振光的衍射效率也相等, 这完全符合上述模式选择的第 2、3 两条原则, 是最理想的情况。四维声光相互作用则很难同时满足这两条原则, 只能通过不同的换能器加不同电功率的驱动电信号来弥补。

再来确定三维正常声光电效应最佳工作模式, 由于不可能找到 3 个互成 60° 的纯纵波, 故必须使用准纵波。准纵波的波矢量、坡印亭矢量、偏振方向三者都不一致, 图 3 给出确定能量传播方向的方法, 在任一给定的波矢量 \mathbf{K} 与倒速度曲线交点 A 处, 作曲线的切线 aa' 和法线 bb' , 则坡印亭矢量 \mathbf{S} 的方向平行于 bb' 。 θ 为波矢量 \mathbf{K} 与 x 轴夹角, φ 为坡印亭矢量 \mathbf{S} 与 x 轴夹角, δ 为偏振方向 p 与 x 轴的夹角, $\alpha = \delta - \theta, \beta = \varphi - \delta$ 。由图 2 纵波倒速度曲线 3 所对应的声相速度解析表达式

$$V = [(c_{66} + c_{11} + c)/2\rho]^{1/2}, \quad (11)$$

可以导出能量传播方向与相位传播方向之间的夹角 μ 的计算公式为

$$\tan \mu = \frac{(c_{11} + c_{12})(c_{12} + 2c_{66} - c_{11})\sin 4\theta}{2c(c_{11} + c_{66} + c)}. \quad (12)$$

式中的参量 c 定义为

$$c = [(c_{66} - c_{11})^2 \cos^2 2\theta + (c_{12} + c_{66})^2 \sin^2 2\theta]^{1/2},$$

这样 φ 则等于 $\theta + \mu$ 。

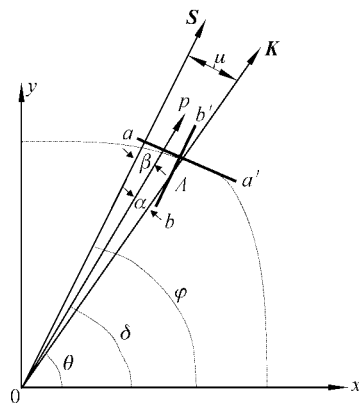


Fig. 3 The energy propagation direction of KDP

通过求解 (12) 式知, 当 $\theta = 51.12^\circ$ 时, $\varphi = 60^\circ$ 。因此为了使 3 个超声能量通道互成 60° , 晶体的横截面不能是正六边形, 而是如图 4 所示的六边形。其中 A、D 两个顶角为 2ψ , 其余 4 个顶角为 $\pi - \psi$, ψ 等于

51.12°。换能器 1 粘贴在晶面中央,换能器 2 和 3 需要向靠近 x 轴方向稍偏移一些,其中点将晶面分成的两部分长度之比约为 1.29 左右。此时 3 个粘贴换能器的晶面法线方向即波矢量方向与 x 轴的夹角 θ

分别为 51.12°、0°、128.88°,现将 θ 取此三个数值时的性能参量计算结果列在表 2 中。三维声光电效应工作模式的缺点类似四维,不再赘叙。

Table 2. Function characters of KDP in three-dimensional isotropic acousto-electro-optic effect

$\theta / (^\circ)$		χ_{eff}	$V / (10^3 \text{ m/s})$	$M_2 / (10^{-15} \text{ s}^3/\text{kg})$	$\alpha / (^\circ)$	$\beta / (^\circ)$	$M_2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta / (10^{-15} \text{ s}^3/\text{kg})$	
0	x'	0.25	5.79	1.63	0	0	1.63	1.63
	y'	0.25	5.79	1.63	0	0	1.63	
51.12	x'	0.30	5.17	3.40	5.08	3.79	3.38	2.37
	y'	0.19	5.17	1.38	5.08	3.79	1.36	
128.88	x'	0.19	5.17	1.38	5.08	3.79	1.36	2.37
	y'	0.30	5.17	3.40	5.08	3.79	3.38	

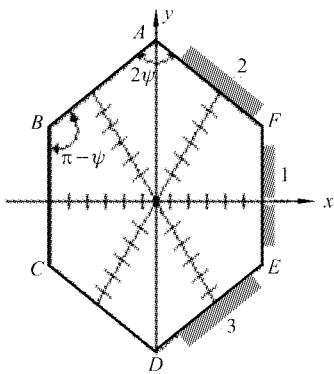


Fig. 4 The construction of three-dimensional KDP isotropic acousto-electro-optic device

3.2 立方晶系

通过考察,立方晶系中 $\bar{4}3m$ 晶类的 GaP 晶体具有较高的电光系数和声光系数,故选择它作为最佳声光电晶体。由(1)式计算出 GaP 沿 3 个主轴方向的纵向电光效应半波电压都为 $U_\pi = 8.15 \times 10^3 \text{ V}$,计算中所用数据: $\lambda = 0.6328 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $\gamma_{41} = 1.07 \times 10^{-12} \text{ m/V}^{[13]}$ 、 $n = 3.31^{[11]}$ 。

当分别沿 3 个主轴方向加直流高压后,其折射率椭球在 3 个主轴平面内的截圆都变成主轴方向转过 45°的椭圆。GaP 晶体的 3 个主轴都是 4 度轴,其劲度系数 c 和声光系数 χ 矩阵的形式也一样,以劲度系数为例,其形式为^[12]

$$c = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

3 个主轴平面内的克里斯托费尔方程形式及倒速度曲线的形状完全一样,声光互作用的工作模式也完

全一样,以下的讨论都以电场和光传播方向沿 z 轴、声传播方向平行于 xy 平面为例。 xy 平面内的克里斯托费尔方程的形式除了用 c_{44} 代替 c_{66} 以外,完全与(8)式相同。倒速度曲线如图 5 所示,其中每条曲线的意义与图 2 所示的曲线意义也相同。GaP 的压电系数矩阵的形式除 $e_{36} = e_{14}$ 外,与 KDP 完全一样,考虑压电效应后也是只对纯切变波曲线 1 产生影响。

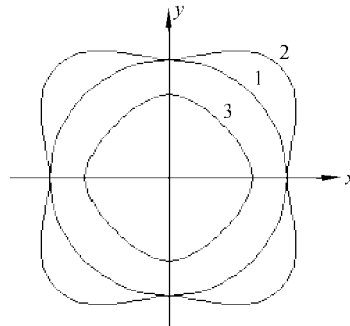


Fig. 5 The reciprocal velocity curves of GaP in xy plane

通过求解(12)式知,当 $\theta = 71.35^\circ$ 时, $\phi = 60^\circ$ 。三维器件的结构类似图 4,但 ψ 取 71.35° ,换能器 2 和 3 要向远离 x 轴方向稍偏移一些,其中点将晶面分成的两部分长度之比约为 1.44 左右。GaP 多维正常声光电效应最佳工作模式选择如下:电场可沿 3 个主轴方向中的任一个;入射光传播方向同电场方向、偏振方向沿垂直于光传播方向的任一个主轴;超声波矢量与主轴的夹角 θ 随维数而不同,二维与四维的 θ 取值与 KDP 一样,三维的取值为: $\theta = 0^\circ$ 、 71.35° 、 108.65° 。现将反映 GaP 各维声光效应性能参量的计算结果一并列在表 3 中,计算中所用到的数据为

$$\begin{aligned} n &= 3.31, \\ \rho &= 4.13 \times 10^3 \text{ kg/m}^3^{[11]}, \\ c_{11} &= 14.12 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \\ c_{12} &= 6.253 \times 10^{10} \text{ N/m}^2, \end{aligned}$$

$$c_{44} = 7.047 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 [12], \quad p_{12} = 0.082,$$

$$p_{11} = 0.151, \quad p_{44} = 0.074 [13].$$

Table 3. Function characters of GaP in multi-dimensional isotropic acousto-electro-optic effect

$\theta / (^\circ)$		χ_{eff}	$V / (10^3 \text{ m/s})$	$M_2 / (10^{15} \text{ s}^3/\text{kg})$	$\alpha / (^\circ)$	$\beta / (^\circ)$	$M_2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta / (10^{15} \text{ s}^3/\text{kg})$	
0	x'	0.12	5.85	21.59	0	0	21.59	21.59
	y'	0.12	5.85	21.59	0	0	21.59	
45	x'	0.19	6.46	42.87	0	0	42.87	22.50
	y'	0.04	6.46	2.13	0	0	2.13	
90	x'	0.12	5.85	21.59	0	0	21.59	21.59
	y'	0.12	5.85	21.59	0	0	21.59	
135	x'	0.04	6.46	2.13	0	0	2.13	22.50
	y'	0.19	6.46	42.87	0	0	42.87	
71.35	x'	0.17	6.13	39.09	8.89	2.46	38.08	21.64
	y'	0.06	6.13	5.33	8.89	2.46	5.19	
108.65	x'	0.06	6.13	5.33	8.89	2.46	5.19	21.64
	y'	0.17	6.13	39.09	8.89	2.46	38.08	

结论 多维正常声电光效应可以同时实现激光束的调制和多维偏转,使用纵向电光效应进行光调制、使用多维正常拉曼-奈斯声光衍射进行多维光偏转。四方晶系的 KDP 晶体和立方晶系的 GaP 晶体可以实现沿 z 轴的纵向电光效应和多维正常声光效应,是制作多维正常声电光器件的最佳选择。二维和四维正常声光效应可以都使用纯纵波,三维则必须兼用准纵波。二维正常声电光效应最佳工作模式比较理想,可以保证两个声光互作用之间的平衡,三维、四维正常声电光效应的最佳工作模式很难保证各个声光互作用之间的平衡,只能靠控制加载在换能器上的驱动电信号功率来进行弥补。

参 考 文 献

- 1 Psaltis D, Lee H, Sirat G. Acoustoelectrooptic modulation. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**(3):215~217
- 2 Lee H. Scanning acoustoelectrooptic deflector with even intensity respond. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(1):24~25
- 3 Yu Kuanxin, Zhao Qida, He Shiya *et al.*. Acousto-electro-optic effect and acousto-electro-optic devices. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(2):253~256 (in Chinese)
- 4 Yu Kuanxin, Zhao Qida, He Shiya. Theory about coupled

- 5 Yu Kuanxin, He Shiya, Zhao Qida. Theory of coupled wave equation of two-dimensional acousto-electro-optical effect. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(2):257~261 (in Chinese)
- 6 Yu Kuanxin, He Shiya, Zhao Qida. Two-dimensional acousto-electro-optic effect and device. *J. Appl. Phys.*, 2000, **87**(11):8204~8205
- 7 Yu Kanxin, He Shiya, Zhao Qida. Determination of optimum operating mode for two-dimensional acousto-electro-optic interaction in KDP. *Applied Acoustics* (应用声学), 1999, **18**(1):6~9 (in Chinese)
- 8 Dong Xiaoyi. *Optical Electronics* (光波电子学). Tianjin: Nankai University Press, 1987. 326 (in Chinese)
- 9 Xu Jieping. *Principle, Design and Application of Acousto-Optic Devices* (声光器件的原理、设计和应用). Beijing: Science Press, 1982. 65 (in Chinese)
- 10 Jiang Minhua. *Crystal Physics* (晶体物理). Ji'nan: Shandong Science and Technology Press, 1992. 528~530 (in Chinese)
- 11 Lan Xinju. *Laser Technology* (激光技术). Beijing: Science Press, 2000. 45 (in Chinese)
- 12 Ault. *Acoustic Fields and Wave in Solid* (固体中的声场和波). Beijing: Science Press. Transl. Sun Chengping, 1982. 65~69
- 13 Yu Wenhai. *Crystal Physics* (晶体物理学). Hefei: China Science and Technology University Press, 2000. 245~260 (in Chinese)

Determination of Optimum Operating Modes for Multi-Dimensional Isotropic Acousto-Electro-Optic Effect

Yu Kuanxin Zhao Baosen He Shiya Ding Peng

(*Applied Science College, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022*)

(Received 28 February 2002; revised 22 April 2002)

Abstract: The longitudinal electro-optic effect and the multi-dimensional isotropic acousto-optic effect in square system and cubic system are researched. KDP of the square system and GaP of the cubic system are determined as optimum crystals for multi-dimensional isotropic acousto-electro-optic devices. Through calculating the function characters of acousto-optic interaction in the two crystals, some optimum operating modes for its two-dimensional, three-dimensional and four-dimensional isotropic acousto-electro-optic effect are determined. The results will lay a foundation for design and manufacture this kind of devices. Multi-dimensional acousto-electro-optic devices have applications in multi-channel optic communication and optic signal processing.

Key words: optical device; multi-dimensional acousto-electro-optic effect; isotropic acousto-optic effect; longitudinal electro-optic effect