

二维多通道声光相互作用的理论与实验研究*

赵启大** 何士雅 俞宽新

(北京工业大学应用物理系, 北京 100022)

摘 要 研究二维多通道并行超声波与光波相互作用的机理, 推导并求解了二维多通道声光相互作用的耦合波方程。分析了二维多通道声光相互作用中各通道的主衍射和二维多通道声光互调制的线性和非线性效应。研制了二维多通道声光器件, 测试了器件的各种特性, 实验结果与理论分析相符。并且用二维多通道布拉格声光调制器实现了光学矩阵-矢量运算。

关键词 二维, 多通道, 声光相互作用, 耦合波方程。

1 引 言

在声光理论与声光器件发展进程中, 首先研究了一维单一声频单一通道的声光相互作用理论及器件^[1-4], 随后进行了一维多频和多通道^[5-8]、以及二维和多维单通道声光理论及器件研究^[9-12]。一维多通道声光相互作用是在同一声光介质中, 从多个并列换能器引入互相独立的超声波信号, 二维和多维单通道声光相互作用是在同一声光介质中, 引入沿两个或多个方向传播的互相独立的超声波信号, 这些超声波同时与一束光波发生作用, 分别产生一维阵列衍射光或空间分布的多束衍射光。在此基础上, 我们进一步开拓研究了二维多通道声光相互作用, 即在声光介质中, 从二维方向, 每维多个通道引入互相独立的超声波信号, 同时与一束入射光波相互作用, 每一维多个通道的多束衍射光同时被另一维多个通道的并行超声波再次衍射, 形成空间分布的衍射光阵列。二维多通道声光衍射产生多种线性和非线性效应, 主要包括各个通道的主衍射、每一维多通道之间交叉调制和二维各通道之间的互调制等。已经讨论过一维多通道交叉调制效应^[8], 本文研究二维多通道声光作用耦合波理论, 分析声光主衍射和二维多通互调制效应。用所研制的二维多通道声光调制器, 进行了实验测试。并用二维声光调制器件实现了二进制编码光学矩阵、矢量和数字相乘运算。

2 二维多通道声光耦合波理论

图 1 为二维多通道声光相互作用示意图, 在声光晶体的两个侧面沿 x 和 y 方向分别键合换能器阵列, 构成二维多通道声光调制器件。在二维每一通道分别引入独立的超声波信号,

* 国家自然科学基金、北京市教委科技发展计划和教育部光学信息技术科学开放研究实验室资助项目。

** 现通讯地址: 南开大学现代光学研究所, 天津 300071。

收稿日期: 1998-08-10; 收到修改稿日期: 1999-06-14

扩束准直激光入射到声光器件上, 各超声波同时与光波发生相互作用。

设 x 方向和 y 方向上的二维通道序号分别为 m 和 n , $m = 1, 2, 3, \dots, M, n = 1, 2, 3, \dots, N, M$ 和 N 分别是每一维通道总数。 p_m 和 q_n 分别为 x 方向第 m 通道和 y 方向第 n 通道超声波与入射光波相互作用的衍射级, $p_m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; q_n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。每一方向各通道超声波产生的衍射光都会被另一方向各通道超声波再次衍射, 形成空间分布的各级互调制光束, 将互调制级记为 (p_m, q_n) 。对于布拉格声光器件, 二维声光衍射为每一维的 0 级和 1 级(或 -1 级)衍射光及其互调制光。它们分别携带二维不同通道的信息, 在声光信号处理中具有重要意义。二维三通道声光衍射分布如图 2 所示。

图 3 是作者研制的二维三通道布拉格声光调制器件的衍射光分布实验照片。由于器件的声光晶体尺寸所限, 声光互作用长度仅达布拉格区, 在驱动信号比较强时, 会出现 -1 级和 2 级衍射。

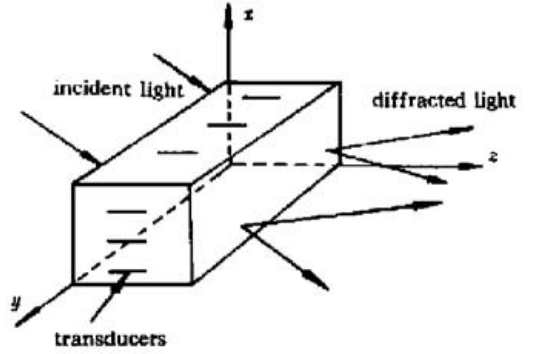


Fig. 1 Schematic diagram of 2-D multichannel AO diffraction

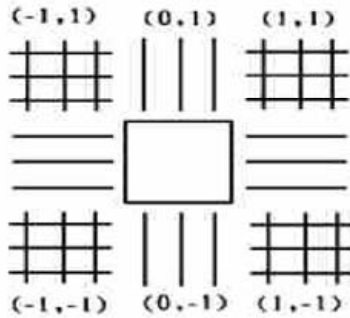


Fig. 2 Distribution of diffracted beams formed by 2-D 3-channel AO interaction

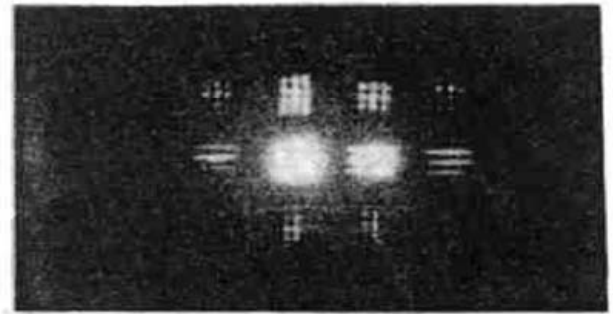


Fig. 3 Photograph of 2-D 3-channel AO diffraction

设入射光为平面单色光, 在真空中的圆频率和波矢为 ω 和 k , k 为波矢 k 的大小, 在介质中折射率为 n_0 , 入射光沿 z 轴附近传播, 与 z 轴夹角为 θ , 入射光在 yz 平面和 xz 平面上的投影与 z 轴的夹角分别为 θ_1 和 θ_2 。设二维各通道的超声波均为平面波, 沿 x 方向第 m 通道超声波的圆频率和波矢为 ω_m 和 K_m , 沿 y 方向第 n 通道超声波的圆频率和波矢为 ω_n 和 K_n , K_m 和 K_n 分别在 yz 平面和 xz 平面上, 与 z 轴的夹角为 θ_{am} 和 θ_{an} , 它们均接近 90° 。

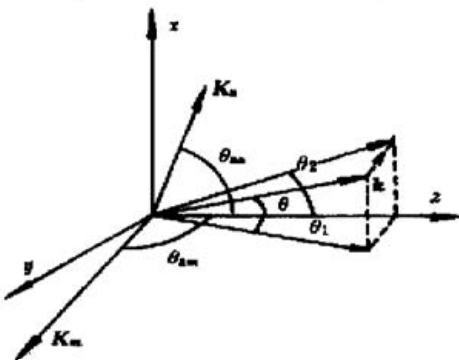


Fig. 4 Geometrical relation of 2-D multichannel AO interaction

图 4 是 x 方向第 m 通道、 y 方向第 n 通道的超声波与光波相互作用的几何关系图。

在声光介质中, 入射光波与二维多通道超声波耦合, 产生一系列具有复合频率的极化波, 极化波又激发具有这些频率的光辐射, 即各通道本身及二维各通道互调制产生的衍射光。极化波的圆频率和波矢分别为

$$\omega_{p_m, q_n} = \omega + \sum_{m=1}^M p_m \omega_m + \sum_{n=1}^N q_n \omega_n. \tag{1}$$

$$K_{p_m, q_n} = n_0 k + \sum_{m=1}^M p_m K_m + \sum_{n=1}^N q_n K_n. \tag{2}$$

入射光和各级衍射光波的总电场强度为

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \sum_{p_m=-\infty}^{\infty} \sum_{q_n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \mathbf{e}_{p_m, q_n} E_{p_m, q_n}(z) \exp [i(\omega_{p_m, q_n} t - \mathbf{K}_{p_m, q_n} \cdot \mathbf{r})], \quad (3)$$

式中 \mathbf{e}_{p_m, q_n} 是 (p_m, q_n) 级衍射光电场的单位矢量。二维多通道超声波的应变张量为

$$\mathbf{S}(\mathbf{r}, t) = \sum_{m=1}^M s_m S_m \sin(\omega_m t - \mathbf{K}_m \cdot \mathbf{r}) + \sum_{n=1}^N s_n S_n \sin(\omega_n t - \mathbf{K}_n \cdot \mathbf{r}), \quad (4)$$

式中 s_m 、 s_n 分别为二维第 m 通道和第 n 通道超声波单位应变张量。声光作用引起的非线性极化矢量为

$$\begin{aligned} \mathbf{P}(\mathbf{r}, t) = \epsilon_0: \mathbf{X}: \mathbf{S}(\mathbf{r}, t) \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \\ (\epsilon_0/2i) \sum_{p_m=-\infty}^{\infty} \sum_{q_n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \{ [\mathbf{X}: s_m \cdot \mathbf{e}_{p_m-1, q_n} S_m E_{p_m-1, q_n}(z) - \\ \mathbf{X}: s_m \cdot \mathbf{e}_{p_m+1, q_n} S_m E_{p_m+1, q_n}(z)] + [\mathbf{X}: s_n \cdot \mathbf{e}_{p_m, q_n-1} S_n E_{p_m, q_n-1}(z) - \\ \mathbf{X}: s_n \cdot \mathbf{e}_{p_m, q_n+1} S_n E_{p_m, q_n+1}(z)] \} \exp [i(\omega_{p_m, q_n} t - \mathbf{K}_{p_m, q_n} \cdot \mathbf{r})], \end{aligned} \quad (5)$$

式中 \mathbf{X} 为介质的非线性极化率张量。将(3)~(5)式代入光波动方程

$$\nabla^2 \mathbf{E} - (1/c^2) \epsilon \cdot \mathbf{E} = (1/c^2 \epsilon_0) \mathbf{P}, \quad (6)$$

在一级近似下可得

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} E_{p_m, q_n}(z) - i \Delta k_{p_m, q_n} E_{p_m, q_n}(z) = \\ - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{(k_{p_m, q_n})^2}{(4K_{p_m, q_n})^2} P^{(m)} S_m [(n_{p_m+1, q_n})^2 E_{p_m+1, q_n}(z) - (n_{p_m-1, q_n})^2 E_{p_m-1, q_n}(z)] - \right. \\ \left. \frac{(k_{p_m, q_n})^2}{(4K_{p_m, q_n})^2} P^{(n)} S_n [(n_{p_m, q_n+1})^2 E_{p_m, q_n+1}(z) - (n_{p_m, q_n-1})^2 E_{p_m, q_n-1}(z)] \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $\Delta k_{p_m, q_n}$ 是介质中的极化波矢 \mathbf{k}_{p_m, q_n} 和衍射光波矢 \mathbf{K}_{p_m, q_n} 之间的动量失配量, 它被限制在通光的 z 方向, 其值为

$$\begin{aligned} \Delta k_{p_m, q_n} = K_{p_m, q_n} - k_{p_m, q_n} \approx \frac{(K_{p_m, q_n})_z^2 - (k_{p_m, q_n})_z^2}{2(K_{p_m, q_n})_z} \approx \frac{K_{p_m, q_n}^2 - k_{p_m, q_n}^2}{2(K_{p_m, q_n})_z} = \\ \frac{n_0 k}{2c_m} \left[1 - \left(\frac{n_{p_m, q_n}}{n_0} \right)^2 + \frac{2 \sum_{m=1}^M p_m K_m}{n_0 k} \cos(\theta_{am} + \theta_1) + \frac{2 \sum_{n=1}^N q_n K_n}{n_0 k} \cos(\theta_{an} + \theta_2) + \right. \\ \left. \frac{(\sum_{m=1}^M p_m K_m)^2}{(n_0 k)^2} + \frac{(\sum_{n=1}^N q_n K_n)^2}{(n_0 k)^2} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

其中

$$c_m = \cos \theta + \frac{\sum_{m=1}^M p_m K_m}{n_0 k} \cos \theta_{am} + \frac{\sum_{n=1}^N q_n K_n}{n_0 k} \cos \theta_{an}. \quad (9)$$

对正常声光相互作用, $n_{p_m+1, q_n} = n_{p_m-1, q_n} = n_{p_m, q_n+1} = n_{p_m, q_n-1} = n_{p_m, q_n} = n_0$, (7)式和(8)式化为

$$\frac{d}{dz} E_{p_m, q_n}(z) - i \Delta k_{p_m, q_n} E_{p_m, q_n}(z) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{k \Delta \mu_m}{2 \cos \theta_1} [E_{p_m+1, q_n}(z) - E_{p_m-1, q_n}(z)] + \right.$$

$$\frac{k\Delta\mu_n}{2\cos\theta_2}[E_{p_m, q_n+1}(z) - E_{p_m, q_n-1}(z)]], \quad (10)$$

和

$$\begin{aligned} \Delta k_{p_m, q_n} &= K_{p_m, q_n} - k_{p_m, q_n} = \\ &= \sum_{m=1}^M (p_m K_m)^2 / 2nok \cos\theta_1 + \sum_{n=1}^N (q_n K_n)^2 / 2nok \cos\theta_2 + \\ &= \sum_{m=1}^M (p_m K_m) \tan\theta_1 + \sum_{n=1}^N (q_n K_n) \tan\theta_2, \end{aligned} \quad (11)$$

式中 n_{p_m, q_n} 表示 (p_m, q_n) 级衍射光在声光介质中的折射率, 其他各级衍射光折射率符号类推。 $p^{(m)}$ 和 $p^{(n)}$ 表示二维方向的有效声光系数, $\Delta\mu_m = - (n_{p_m, q_n})^3 p^{(m)} S_m$, $\Delta\mu_n = - (n_{p_m, q_n})^3 p^{(n)} S_n$ 分别为二维第 m 通道和第 n 通道声信号产生的折射率调制幅度^[5]。引入参量

$$\left. \begin{aligned} V_m &= k\Delta\mu_m L_m / \cos\theta_1, & V_n &= k\Delta\mu_n L_n / \cos\theta_2, \\ Q_m &= K_m^2 L_m / nok \cos\theta_1, & Q_n &= K_n^2 L_n / nok \cos\theta_2, \\ \alpha_m &= nok \sin\theta_1 / K_m, & \alpha_n &= nok \sin\theta_2 / K_n. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

式中 V_m 和 V_n 为对应于 $\Delta\mu_m$ 和 $\Delta\mu_n$ 的归一化折射率调制幅度^[5], Q_m 和 Q_n 为反映声光相互作用失配程度的 Klein-Cook^[1] 参量, α_m 和 α_n 描述光的入射角度, L_m 和 L_n 为第 m 通道和第 n 通道声光互作用长度。(10) 式、(11) 式变为

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} E_{p_m, q_n}(z) - i\Delta k_{p_m, q_n} E_{p_m, q_n}(z) &= \sum_{m=1}^M \frac{V_m}{2L_m} [E_{p_m+1, q_n}(z) - E_{p_m-1, q_n}(z)] + \\ &= \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{2L_n} [E_{p_m, q_n+1}(z) - E_{p_m, q_n-1}(z)], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\Delta k_{p_m, q_n} = \sum_{m=1}^M \frac{p_m Q_m}{2L_m} (p_m - 2\alpha_m) + \sum_{n=1}^N \frac{q_n Q_n}{2L_n} (q_n - 2\alpha_n). \quad (14)$$

令

$$E_{p_m, q_n}(z) = E_{p_m}(z) E_{q_n}(z), \quad (15)$$

由于 p_m 、 q_n 所选取的值具有相互独立性和任意性, 为保证方程(13)恒成立^[11], 有

$$\frac{d}{dz} E_{p_m}(z) - i \sum_{m=1}^M \frac{1}{2L_m} p_m Q_m (p_m - 2\alpha_m) E_{p_m}(z) = \sum_{m=1}^M \frac{V_m}{2L_m} [E_{p_m+1}(z) - E_{p_m-1}(z)], \quad (16)$$

$$\frac{d}{dz} E_{q_n}(z) - i \sum_{n=1}^N \frac{1}{2L_n} q_n Q_n (q_n - 2\alpha_n) E_{q_n}(z) = \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{2L_n} [E_{q_n+1}(z) - E_{q_n-1}(z)]. \quad (17)$$

对于布拉格衍射, $\alpha_m \approx 1/2$, $\alpha_n \approx 1/2$, 只有 0 级和 1 级衍射光, (16)、(17) 式简化为

$$\frac{d}{dz} E_0^m(z) = \sum_{m=1}^M \frac{V_m}{2L_m} E_1^m(z), \quad (18)$$

$$\frac{d}{dz} E_1^m(z) - i \sum_{m=1}^M \frac{Q_m}{2L_m} (1 - 2\alpha_m) E_1^m(z) = - \sum_{m=1}^M \frac{V_m}{2L_m} E_0^m(z), \quad (19)$$

$$\frac{d}{dz} E_0^n(z) = \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{2L_n} E_1^n(z), \quad (20)$$

$$\frac{d}{dz} E_1^n(z) - i \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{2L_n} (1 - 2\alpha_n) E_1^n(z) = - \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{2L_n} E_0^n(z). \quad (21)$$

式中 E_0^m 、 E_1^m 和 E_0^n 、 E_1^n 分别表示 m 通道和 n 通道 0 级和 1 级衍射光电场的振幅。(18)~(21)

式的边界条件为 $z = 0$ 时, $E_0^m(0) = E_0^n(0) = 1$, 和 $E_1^m(0) = E_1^n(0) = 0$ 。用 I_0^m 、 I_1^m 和 I_0^n 、 I_1^n 分别表示在 $z = L_m$, $z = L_n$ ($L_m = L_n$) 时一维衍射光光强与入射光光强之比, 即归一化衍射光强, 类似于—维解法, (18)~(21)式的解为:

$$I_1^m = |E_1^m(L_m)|^2 / |E_0^m(0)|^2 = (V_m/2\sigma_m)^2 \sin^2 \sigma_m, \quad (22)$$

$$I_1^n = |E_1^n(L_n)|^2 / |E_0^n(0)|^2 = (V_n/2\sigma_n)^2 \sin^2 \sigma_n, \quad (23)$$

$$I_0^m = |E_0^m(L_m)|^2 / |E_0^m(0)|^2 = 1 - I_1^m, \quad (24)$$

$$I_0^n = |E_0^n(L_n)|^2 / |E_0^n(0)|^2 = 1 - I_1^n. \quad (25)$$

式中

$$\sigma_m = [\zeta_m^2 + (V_m/2)^2]^{1/2} = (1/4) \{ [Q_m(1 - 2\alpha_m)]^2 + 4V_m^2 \}^{1/2}, \quad (26)$$

$$\sigma_n = [\zeta_n^2 + (V_n/2)^2]^{1/2} = (1/4) \{ [Q_n(1 - 2\alpha_n)]^2 + 4V_n^2 \}^{1/2}, \quad (27)$$

$$\zeta_m = Q_m(2\alpha_m - 1)/4, \quad (28)$$

$$\zeta_n = Q_n(2\alpha_n - 1)/4. \quad (29)$$

对于严格的布拉格角入射, 有 $\alpha_m = 1/2$, $\alpha_n = 1/2$, 则(28)、(29)式变为 $\zeta_m = 0$, $\zeta_n = 0$, (22)~(25)式简化为

$$I_0^m = \cos^2(V_m/2), \quad (30)$$

$$I_1^m = \sin^2(V_m/2), \quad (31)$$

$$I_0^n = \cos^2(V_n/2), \quad (32)$$

$$I_1^n = \sin^2(V_n/2). \quad (33)$$

对于二维声光衍射, 从(15)式和(30)~(33)式, 可得

$$I_{0,0}^{m,n} = |E_{0,0}^{m,n}(L)|^2 / |E_{0,0}^{m,n}(0)|^2 = \cos^2(V_m/2) \cos^2(V_n/2), \quad (34)$$

$$I_{1,0}^{m,n} = |E_{1,0}^{m,n}(L)|^2 / |E_{0,0}^{m,n}(0)|^2 = \sin^2(V_m/2) \cos^2(V_n/2), \quad (35)$$

$$I_{0,1}^{m,n} = |E_{0,1}^{m,n}(L)|^2 / |E_{0,0}^{m,n}(0)|^2 = \cos^2(V_m/2) \sin^2(V_n/2), \quad (36)$$

$$I_{1,1}^{m,n} = |E_{1,1}^{m,n}(L)|^2 / |E_{0,0}^{m,n}(0)|^2 = \sin^2(V_m/2) \sin^2(V_n/2), \quad (37)$$

式中 $E_{0,0}^{m,n}$ 、 $E_{1,0}^{m,n}$ 、 $E_{0,1}^{m,n}$ 、 $E_{1,1}^{m,n}$ 表示二维第 m 通道和第 n 通道衍射级分别为 0 级和 1 级时的互调制衍射光电场的振幅。 $I_{0,0}^{m,n}$ 、 $I_{0,1}^{m,n}$ 、 $I_{1,0}^{m,n}$ 、 $I_{1,1}^{m,n}$ 表示在 $z = L_m = L_n = L$ 时二维相应互调制衍射光光强与入射光光强之比, 即二维归一化衍射光强。

在以上各式中, V_m 和 V_n 可表示为^[3, 4]

$$V_m = (2\pi/\lambda_0 \cos \theta_1) (M_2 L_m P_{am}/2H_m)^{1/2}, \quad (38)$$

$$V_n = (2\pi/\lambda_0 \cos \theta_2) (M_2 L_n P_{an}/2H_n)^{1/2}, \quad (39)$$

式中 P_{am} 和 P_{an} 分别为二维第 m 通道和第 n 通道的超声波功率, λ_0 为真空中的光波波长, M_2 为介质的声光优质, H_m 和 H_n 分别是二维第 m 通道和第 n 通道换能器的高度。因此二维各通道衍射光强度可以用超声波强度表示。

3 实验和结果

用我们研制的二维三通道布拉格声光器件进行了实验测量, 实验装置如图 5 所示。He-

Ne 激光扩束入射到二维三通道声光器件, 分别从每一通道输入超高频驱动电信号, 在二维各个通道的换能器产生超声波信号, 经声光相互作用, 器件的出射光为一维各通道主衍射和二维不同通道组合形成的互调制衍射光。用通过式功率计和频率计测量超高频驱动电信号的功率和频率, 用光电探测器测量各级衍射光的光强。

测量器件各通道一级主衍射光和二维不同通道的互调制光随相应通道超高频信号频率的变化, 可得到其频率特性和带宽; 测量它们随相应通道超高频信号功率的变化, 可得到其光透过率强度特性, 进而可知其声光一维和二维调制特性。实验测得每通道中心频率分别为 105~ 114 MHz, 3 dB 带宽为 24~ 30 MHz。测出一维 0 级和 1 级衍射光强和二维不同通道的互调制衍射光强以及入射光强可得到相应的归一化衍射光强, 分别用 I_0^m 、 I_1^m 、 $I_0^{m,n}$ 和 $I_1^{m,n}$ 表示。改变各个通道的驱动信号功率, 可以得到一系列实验结果, 其中部分结果如表 1 所示。

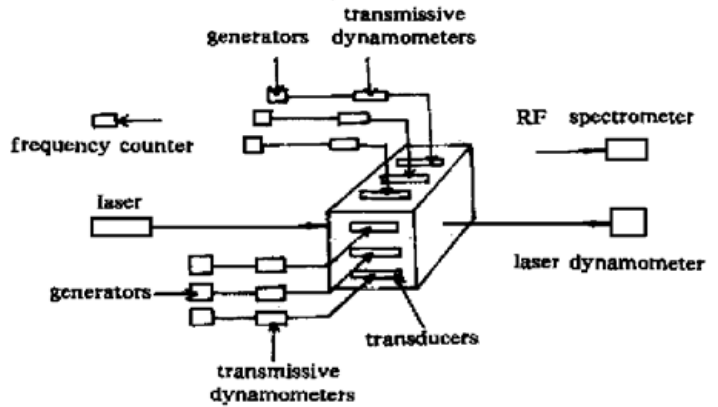


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental setup

Table 1. Experimental results

	$I_0^m/\%$	$I_1^m/\%$	$I_0^{m,n}/\%$	$I_1^{m,n}/\%$	$I_0^{m,0}/\%$	$I_0^{m,1}/\%$	$I_1^{m,0}/\%$	$I_1^{m,1}/\%$
$m = 1$	73.0	26.2			65.6	7.9	23.0	2.6
$n = 1$			88.5	10.5				
$m = 2$	94.6	5.4			71.4	22.3	4.5	1.6
$n = 2$			76.0	23.4				
$m = 3$	87.0	12.0			74.1	13.5	10.2	2.0
$n = 3$			84.6	15.0				

从(30)~(37)式, 可得 $I_0^{m,n} = I_0^m I_1^n$, $I_1^{m,n} = I_1^m I_0^n$, $I_1^{m,0} = I_1^m I_0^0$, $I_1^{m,1} = I_1^m I_1^1$ 。从(34)~(37)式可得 $I_1^{m,1} = (I_1^{m,0} I_0^{m,1}) / I_0^{m,0}$ 。实验结果与理论分析及计算结果符合得很好。

结 论 二维多通道声光相互作用中, 每一维每一通道均产生衍射光, 它们在声光介质中与另一维每一通道的超声波信号再次作用, 产生二级互调制衍射光。这些衍射光分别携带二维不同通道的输入信号, 二维不同通道的互调制信号为两个一维相应通道调制信号相乘, 在光信号处理和光计算中具有重要意义。运用二维多通道布拉格声光调制器在各通道分别输入矩阵的行和列元素的二进制编码信号, 用光学卷积完成了二维光学数字、矢量和矩阵相乘运算。

目前国际上数字光学矩阵运算主要用两个一维多通道声光调制器, 将第一个一维多通道声光调制器件的衍射光经透镜聚焦到第二个多通道声光调制器上完成^[13]。或用激光二极管阵列和一维多通道声光调制器实现^[14~16]。采用二维多通道声光调制器具有减小光路结构、减少光损耗、提高计算精度、降低成本等一系列优点, 并且可以用两个二维多通道声光调制器件一次性完成两个以上光学矩阵运算。

二维多通道声光相互作用理论和器件在光计算、光通信、光信号处理等高新技术领域具有重要的学术意义和应用前景。

参 考 文 献

- [1] Klein W R, Cook B D. Unified approach to ultrasonic light diffraction. *IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics*, 1967, **SU-14**(3) : 123~ 134
- [2] Uchida N, Niizeki N. Acoustooptic deflection materials and techniques. *Proc. IEEE*, 1973, **61**(8) : 1073~ 1092
- [3] Chang I C. Acoustooptic device and applications. *IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics*, 1976, **SU-23**(1) : 2~ 22
- [4] 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982. 43~ 67
- [5] Hecht D L. Multifrequency acoustooptic diffraction. *IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics*, 1977, **SU-24**(1) : 7~ 18
- [6] 赵启大. 多频声光互作用的研究. *光学学报*, 1989, **9**(2) : 128~ 134
- [7] Berg N J, Lee J N. Acousto-optic signal processing. New York: Marcel Dekker, INC. 1983. 59~ 64
- [8] 赵启大. 多通道声光调制器的工作原理. *声学学报*, 1995, **20**(5) : 340~ 347
- [9] Zhao Qida, Dong Xiaoyi. Multiple directional acoustooptic diffraction. *Chinese J. Acoustics*, 1991, **10**(3) : 228~ 236
- [10] 赵启大, 胡泰益, 蔡峰怡等. 多维声光衍射和多维声光器件. *声学学报*, 1991, **16**(6) : 450~ 458
- [11] 任占祥, 董孝义, 张建忠等. 二维声光互作用理论及实验分析. *光学学报*, 1990, **10**(11) : 1047~ 1051
- [12] Zhao Qida, He Shiya, Li B J *et al.*. Two-dimensional Raman-Nath acousto-optic bistability by use of frequency feedback. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(11) : 2408~ 2413
- [13] Guilfoyle P S. Systolic acousto-optic binary convolver. *Opt. Engng.*, 1984, **23**(1) : 20~ 25
- [14] Casasent D. Acoustooptic transducers in iterative optical vector-matrix processors. *Appl. Opt.*, 1982, **21**(10) : 1859~ 1865
- [15] Pochapsky E, Casasent D P. Acoustooptic linear heterodyned complex-valued matrix-vector processor. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(17) : 2532~ 2543
- [16] Caroline J, Perlee, Casasent D P. Effects of error sources on the parallelism of optical matrix-vector processor. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(17) : 2544~ 2555

The Theoretical and Experimental Study of Two-Dimensional Multichannel Acousto-Optic Interaction

Zhao Qida He Shiya Yu Kuanxin

(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

(Received 10 August 1998; revised 14 June 1999)

Abstract The interactions of two-dimensional multichannel parallel acoustic waves with an optical light beam are studied. A set of coupled wave equations for two-dimensional multichannel acousto-optic is put forward, and its solutions are derived. The linear and nonlinear effects of the principle diffraction from each channel and intermodulation of the two-dimensional multichannel acousto-optic interaction are analyzed theoretically. A new type of two-dimensional multichannel acousto-optic modulators is made, and its characteristics are measured. The theoretical analysis is supported by the experimental results. The matrix-vector multiplication operation has performed by use of the two-dimensional multichannel Bragg acousto-optic modulator.

Key words two-dimension, multichannel, acousto-optic interaction, coupled wave equations.