

文章编号: 0253-2239(2003)09-1053-5

多通道全光纤声光调制器的理论研究*

廖帮全¹ 赵启大¹ 董孝义¹ 何士雅²

(¹ 南开大学现代光学研究所, 天津 300071)
(² 北京工业大学数理学院, 北京 100022)

摘要: 对于全光纤调制, 以前的研究者多着眼于单通道调制的研究。为了利用光纤的巨大承载能力, 对多通道调制进行研究也是非常必要的。从理论上研究了多通道全光纤声光调制器。利用微扰形式的光纤耦合模方程, 讨论了一根光纤多个部分受到周期性微扰的情况, 并进一步讨论了多通道全光纤调制的情况, 最后讨论了相位匹配条件下的输出结果。这对于实验、器件研究具有指导意义。

关键词: 导波与光纤光学; 全光纤; 微扰耦合模方程; 多通道; 声光调制器

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引 言

光纤是现代通信中的重要传输媒介。1973 年亚里夫引入了平板中的耦合模理论, 这是光学中的微扰耦合模理论的基础^[1]。1998 年赵启大等^[2]对晶体的多通道声光相互作用的理论与实验进行了研究。1981 年, Lam 和 Garside^[3]引入了光纤中的耦合模理论, 但是他们忽视了光纤中的正交关系与平板波导中的正交关系的差异, 直接使用了平板波导中的正交关系。1996 年 Engan^[4]在处理声光相互作用时使用了一种假设的正交关系, 本质上和 Lam 和 Garside 的理论中的正交关系类似。2002 年, 廖帮全等^[6]提出了一种新的光纤耦合模方程。

全光纤器件不必将光纤切断后再熔接上, 从而可以有效避免耦合损耗、噪声引入。因此, 全光纤器件在现代光通信中占有重要地位。全光纤声光调制是将声波信号传到光纤中引起光纤介质——石英的折射率周期性变化, 从而实现调制。单通道全光纤声光调制是使一束声波信号与光纤介质发生一次相互作用, 从而实现一次调制的过程。多通道全光纤声光调制是使多束声波信号与光纤介质发生一次或多次相互作用, 或者一束声波信号与光纤介质发生

多次相互作用, 从而实现多次调制的过程。

廖帮全等^[6]对全光纤声光调制器进行了理论研究。但那实际上还只是单通道调制的情况, 我们现在将其拓展为多通道调制的情况。

在第 2 部分中引入了右端逆向传输的光存在时光纤耦合模方程的解及其矩阵形式, 在第 3 部分中讨论了一根光纤多个部分受到周期性微扰的情形, 在第 4 部分中讨论了多通道调制情形, 在第 5 部分中讨论了相位匹配时的特殊情形。

2 右端逆向传输的光存在时光纤耦合模方程的解及其矩阵形式

当一个幅度为 $B(0)$ 的波从光纤受到周期性微扰部分的左边入射, 右端逆向传输的光不存在时, 我们已得到光纤耦合模方程的解^[5]。当一根光纤有多个部分受到周期性微扰时, 对前面几部分而言, 右端逆向传输的光的振幅为 0 的边界条件不能满足。因此, 有必要讨论一下有右端逆向传输的光的一般情况下的解。光纤耦合模方程为^[5]

$$dA/dz = \kappa_{ab} B \exp(-i2\Delta\beta z), \quad (1)$$

$$dB/dz = \kappa_{ab}^* A \exp(i2\Delta\beta z), \quad (2)$$

其中 A 为反向传输波的振幅, B 为正向传输波的振幅, κ_{ab} 为耦合系数, $\Delta\beta$ 为位相匹配因子。方程(1)、(2)满足边界条件

$$A(z) \Big|_{z=l'_1} = A(l'_1), \quad (3)$$

$$B(z) \Big|_{z=0} = B(0), \quad (4)$$

的解[(5)式中将已知的边界条件项写在左边是为了

* 国家自然科学基金(69977006)、天津市自然科学基金重点项目(013800511)、北京市教委基金(00K040)、教育部光学信息技术科学开放研究实验室项目、天津市建工集团总公司合作项目资助课题。

E-mail: liaobangquan@sohu.com

收稿日期: 2002-06-18; 收到修改稿日期: 2002-08-08

便于后面写成矩阵形式,实质不变]为

$$A(l'_1) = A(0) \left[\text{ch}(S\delta l_1) + \frac{i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1)}{S} \right] \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) + B(0) \frac{\kappa_{ab}}{S} \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) \text{sh}(S\delta l_1), \quad (5)$$

$$B(l'_1) = A(0) \frac{S^2 + (\Delta\beta)^2}{S\kappa_{ab}} \text{sh}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1) + B(0) \frac{1}{S} [\text{Sch}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1) - i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1)], \quad (6)$$

其中

$$\Delta\beta < \kappa, \quad S = \sqrt{\kappa^2 - (\Delta\beta)^2}, \quad \kappa = |\kappa_{ab}|, \quad (7)$$

为了便于表述多通道调制,我们将(5)式、(6)式用矩阵形式表示为

$$\begin{bmatrix} B(l'_1) \\ A(l'_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B(0) \\ A(0) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

其中

$$T_{11} = \left[\text{ch}(S\delta l_1) - \frac{i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1)}{S} \right] \exp(i\Delta\beta\delta l_1), \quad (9)$$

$$T_{12} = \frac{S^2 + (\Delta\beta)^2}{S\kappa_{ab}} \text{sh}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1) = \frac{\kappa_{ab}^*}{S} \text{sh}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1), \quad (10)$$

$$T_{21} = \frac{\kappa_{ab}}{S} \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) \text{sh}(S\delta l_1), \quad (11)$$

$$T_{22} = \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) \left[\frac{i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1)}{S} + \text{ch}(S\delta l_1) \right], \quad (12)$$

我们注意到 T_{11} 与 T_{22} 、 T_{12} 与 T_{21} 互为共轭。将 \mathbf{T} 矩阵元(9)式~(12)式归到一起,可记为

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\text{ch}(S\delta l_1) - \frac{i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1)}{S} \right] \exp(i\Delta\beta\delta l_1) & \frac{\kappa_{ab}^*}{S} \text{sh}(S\delta l_1) \exp(i\Delta\beta\delta l_1) \\ \frac{\kappa_{ab}}{S} \text{sh}(S\delta l_1) \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) & \left[\text{ch}(S\delta l_1) + \frac{i\Delta\beta \text{sh}(S\delta l_1)}{S} \right] \exp(-i\Delta\beta\delta l_1) \end{bmatrix}. \quad (13)$$

对无耦合情形,因为传输波的振幅不发生变化,所以直接引入单位矩阵 \mathbf{E} 即可。

立起最右端的 $B(l)$ 、 $A(l)$ 与最左端的 $B(0)$ 、 $A(0)$ 之间的关系

3 一根光纤多个部分受到周期性微扰的情形

对多个微扰同时存在的情形,可以将最左端的 $B(0)$ 、 $A(0)$ 作微扰处理后作为下一个微扰部分的输入,然后依次往右计算(见图 1)。可以很容易地建

$$\begin{bmatrix} B(l) \\ A(l) \end{bmatrix} = \mathbf{T}^N \mathbf{E} \dots \mathbf{T}^2 \mathbf{E} \mathbf{T}^1 \begin{bmatrix} B(0) \\ A(0) \end{bmatrix} = \mathbf{T}^N \dots \mathbf{T}^2 \mathbf{T}^1 \begin{bmatrix} B(0) \\ A(0) \end{bmatrix}, \quad (14)$$

其中

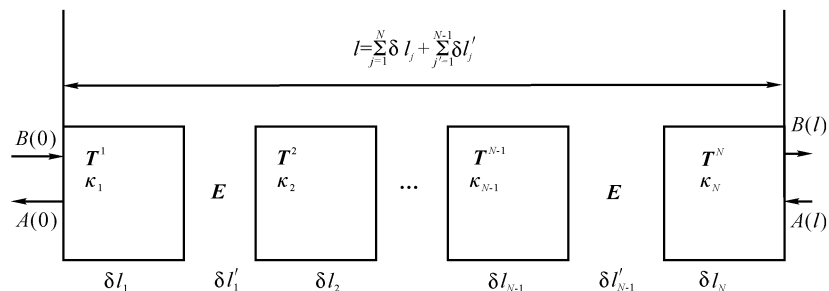


Fig. 1 The diagram of an optical fiber when there are multiple parts being periodically perturbed

$$\mathbf{T}^j = \begin{bmatrix} T_{11}^j & T_{12}^j \\ T_{21}^j & T_{22}^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\operatorname{ch}(S_j \delta l_j) - \frac{i\Delta\beta_j \operatorname{sh}(S_j \delta l_j)}{S_j} \right] \exp(i\Delta\beta_j \delta l_j) & \frac{(\kappa_{ab})_j^*}{S_j} \operatorname{sh}(S_j \delta l_j) \exp(i\Delta\beta_j \delta l_j) \\ \frac{(\kappa_{ab})_j}{S_j} \operatorname{sh}(S_j \delta l_j) \exp(-i\Delta\beta_j \delta l_j) & \left[\operatorname{ch}(S_j \delta l_j) + \frac{i\Delta\beta_j \operatorname{sh}(S_j \delta l_j)}{S_j} \right] \exp(-i\Delta\beta_j \delta l_j) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

(15) 式中下标 j 表示属于第 j 个微扰部分。

4 多通道调制情形

对于多个微扰都随时间而变化的情形,比如,多通道全光纤声光调制,则与单通道调制的情形一样^[6]:每一个 \mathbf{T} 矩阵均随时间而变化,变成调制矩阵

\mathbf{M}, \mathbf{T} 矩阵中每一个与 Δn_j 有关的 Δn_j 部分中的都变成 $\Delta n_j \cos(\omega_j t)$, 其中 ω_j 为第 j 个信号的圆频率,即,当 $\Delta n_j \rightarrow \Delta n_j \cos(\omega_j t)$ 时

$$(\kappa_{ab})_j \rightarrow (\kappa_{ab})'_j \equiv (\kappa_{ab})_j \cos(\omega_j t), \quad (16)$$

$$\kappa_j \equiv |(\kappa_{ab})_j| \rightarrow \kappa'_j \equiv |(\kappa_{ab})_j \cos(\omega_j t)|, \quad (17)$$

$$S_j = \sqrt{\kappa_j^2 - (\Delta\beta_j)^2} \rightarrow S'_j = \sqrt{\kappa_j'^2 - (\Delta\beta_j)^2}, \quad (18)$$

则

$$\begin{bmatrix} B(l, t) \\ A(l, t) \end{bmatrix} = \mathbf{M}^N \mathbf{E} \cdots \mathbf{M}^2 \mathbf{E} \mathbf{M}^1 \begin{bmatrix} B(0, t) \\ A(0, t) \end{bmatrix} = \mathbf{M}^N \cdots \mathbf{M}^2 \mathbf{M}^1 \begin{bmatrix} B(0, t) \\ A(0, t) \end{bmatrix}, \quad (19)$$

其中 \mathbf{M}^j 矩阵元为

$$\mathbf{M}^j = \begin{bmatrix} M_{11}^j & M_{12}^j \\ M_{21}^j & M_{22}^j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\operatorname{ch}(S'_j \delta l_j) - \frac{i\Delta\beta_j \operatorname{sh}(S'_j \delta l_j)}{S'_j} \right] \exp(i\Delta\beta_j \delta l_j) & \frac{(\kappa_{ab})'_j^*}{S'_j} \operatorname{sh}(S'_j \delta l_j) \exp(i\Delta\beta_j \delta l_j) \\ \frac{(\kappa_{ab})'_j}{S'_j} \operatorname{sh}(S'_j \delta l_j) \exp(-i\Delta\beta_j \delta l_j) & \left[\operatorname{ch}(S'_j \delta l_j) + \frac{i\Delta\beta_j \operatorname{sh}(S'_j \delta l_j)}{S'_j} \right] \exp(-i\Delta\beta_j \delta l_j) \end{bmatrix}. \quad (20)$$

我们注意到,调制矩阵 $\begin{bmatrix} M_{11}^j & M_{12}^j \\ M_{21}^j & M_{22}^j \end{bmatrix}$ 的对角元 M_{11}^j 、 M_{22}^j , 非对角元 M_{12}^j 、 M_{21}^j 互相共轭,即

$$M_{11}^j = M_{22}^{j*}, \quad (21)$$

$$M_{12}^j = M_{21}^{j*}, \quad (22)$$

因为 $A(l, t), B(0, t)$ 已知,故 $B(l, t), A(0, t)$ 可求得。 $B(l, t)$ 即为多通道调制后的输出结果。

为具体起见,讨论两个调制器的情况。调制矩阵

\mathbf{M}^1 为

$$\mathbf{M}^1 = \begin{bmatrix} M_{11}^1 & M_{12}^1 \\ M_{21}^1 & M_{22}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\operatorname{ch}(S'_1 \delta l_1) - \frac{i\Delta\beta_1 \operatorname{sh}(S'_1 \delta l_1)}{S'_1} \right] \exp(i\Delta\beta_1 \delta l_1) & \frac{(\kappa_{ab})'_1^*}{S'_1} \operatorname{sh}(S'_1 \delta l_1) \exp(i\Delta\beta_1 \delta l_1) \\ \frac{(\kappa_{ab})'_1}{S'_1} \operatorname{sh}(S'_1 \delta l_1) \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1) & \left[\operatorname{ch}(S'_1 \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \operatorname{sh}(S'_1 \delta l_1)}{S'_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1) \end{bmatrix}. \quad (23)$$

调制矩阵 \mathbf{M}^2

$$\mathbf{M}^2 = \begin{bmatrix} M_{11}^2 & M_{12}^2 \\ M_{21}^2 & M_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\operatorname{ch}(S'_2 \delta l_2) - \frac{i\Delta\beta_2 \operatorname{sh}(S'_2 \delta l_2)}{S'_2} \right] \exp(i\Delta\beta_2 \delta l_2) & \frac{(\kappa_{ab})'_2^*}{S'_2} \operatorname{sh}(S'_2 \delta l_2) \exp(i\Delta\beta_2 \delta l_2) \\ \frac{(\kappa_{ab})'_2}{S'_2} \operatorname{sh}(S'_2 \delta l_2) \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2) & \left[\operatorname{ch}(S'_2 \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \operatorname{sh}(S'_2 \delta l_2)}{S'_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2) \end{bmatrix}. \quad (24)$$

对于两个调制器情形,由(19)式可得

$$\begin{bmatrix} B(l,t) \\ A(l,t) \end{bmatrix} = \mathbf{M}^2 \mathbf{M}^1 \begin{bmatrix} B(0,t) \\ A(0,t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11}^2 M_{12}^2 \\ M_{21}^2 M_{22}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11}^1 M_{12}^1 \\ M_{21}^1 M_{22}^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B(0,t) \\ A(0,t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (M_{11}^2 M_{11}^1 + M_{12}^2 M_{21}^1) B(0,t) + (M_{11}^2 M_{12}^1 + M_{12}^2 M_{22}^1) A(0,t) \\ (M_{21}^2 M_{11}^1 + M_{22}^2 M_{21}^1) B(0,t) + (M_{21}^2 M_{12}^1 + M_{22}^2 M_{22}^1) A(0,t) \end{bmatrix}, \quad (25)$$

$$\text{因此} \quad B(l,t) = (M_{11}^2 M_{11}^1 + M_{12}^2 M_{21}^1) B(0,t) + (M_{11}^2 M_{12}^1 + M_{12}^2 M_{22}^1) A(0,t), \quad (26)$$

$$A(l,t) = (M_{21}^2 M_{11}^1 + M_{22}^2 M_{21}^1) B(0,t) + (M_{21}^2 M_{12}^1 + M_{22}^2 M_{22}^1) A(0,t). \quad (27)$$

$$\text{令} \quad A(l,t) = 0, \quad (28)$$

$$\text{于是由式(27)可得} \quad A(0,t) = -\frac{(M_{21}^2 M_{11}^1 + M_{22}^2 M_{21}^1)}{(M_{21}^2 M_{12}^1 + M_{22}^2 M_{22}^1)} B(0,t). \quad (29)$$

将(29)式代入(26)式得

$$B(l,t) = B(0,t) \left[M_{11}^2 M_{11}^1 + M_{12}^2 M_{21}^1 - \frac{(M_{21}^2 M_{11}^1 + M_{22}^2 M_{21}^1)(M_{11}^2 M_{12}^1 + M_{12}^2 M_{22}^1)}{M_{21}^2 M_{12}^1 + M_{22}^2 M_{22}^1} \right]. \quad (30)$$

利用调制矩阵对角元、非对角元之间的关系式(21)式、(22)式,经过计算,可得

$$\begin{aligned} B(l,t) &= B(0,t) \frac{1}{M_{12}^{2*} M_{12}^1 + M_{11}^{2*} M_{11}^1} = \\ &B(0,t) \left\{ \frac{(\kappa_{ab}')^2}{S_2} \text{sh}(S_2' \delta l_2) \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2) - \frac{(\kappa_{ab}')^2}{S_1} \text{sh}(S_1' \delta l_1) \exp(i\Delta\beta_1 \delta l_1) + \right. \\ &\left. \left[\text{ch}(S_2' \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \text{sh}(S_2' \delta l_2)}{S_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2) \left[\text{ch}(S_1' \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \text{sh}(S_1' \delta l_1)}{S_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1) \right\}^{-1}, \quad (31) \end{aligned}$$

因为对于调制而言, S_1' 、 S_2' 很小,则 $\text{sh}(S_2' \delta l_2) \rightarrow 0$, $\text{sh}(S_1' \delta l_1) \rightarrow 0$,从而(31)式大括号中第一项和第二项相比可以忽略。因此可得

$$\begin{aligned} B(l,t) &\approx \\ &B(0,t) \left\{ \left[\text{ch}(S_2' \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \text{sh}(S_2' \delta l_2)}{S_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2) \left[\text{ch}(S_1' \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \text{sh}(S_1' \delta l_1)}{S_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1) \right\}^{-1} = \\ &B(0,t) \frac{1}{\left[\text{ch}(S_2' \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \text{sh}(S_2' \delta l_2)}{S_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2)} \times \frac{1}{\left[\text{ch}(S_1' \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \text{sh}(S_1' \delta l_1)}{S_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1)}, \quad (32) \end{aligned}$$

和单通道调制比较可知,上式相当于两个单通道调制的乘积,即第一个单通道调制的输出结果简单地做为第二个单通道调制的输入^[6]。需要注意的是,这种处理相当于忽略了第二个调制器的反向传输射入第一个调制器的非零量。对于实际的调制器而言,这种反向传输的量很小,因此,这种处理是可行的。

(32)式可以表示为

$$\begin{aligned} B(l,t) &\approx B(0,t) \times \\ &\frac{1}{\left[\text{ch}(S_2' \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \text{sh}(S_2' \delta l_2)}{S_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2)} \times \\ &\frac{1}{\left[\text{ch}(S_1' \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \text{sh}(S_1' \delta l_1)}{S_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1)} = \\ &B(0,t) \frac{1}{M_{11}^{2*}} \frac{1}{M_{11}^{1*}}, \quad (33) \end{aligned}$$

完全类似地,对于 N 通道调制情形,输出为

$$\begin{aligned} B(l,t) &\approx B(0,t) \frac{1}{M_{11}^{1*}} \frac{1}{M_{11}^{2*}} \cdots \frac{1}{M_{11}^{N*}} = B(0,t) \times \\ &\frac{1}{\left[\text{ch}(S_1' \delta l_1) + \frac{i\Delta\beta_1 \text{sh}(S_1' \delta l_1)}{S_1} \right] \exp(-i\Delta\beta_1 \delta l_1)} \times \\ &\frac{1}{\left[\text{ch}(S_2' \delta l_2) + \frac{i\Delta\beta_2 \text{sh}(S_2' \delta l_2)}{S_2} \right] \exp(-i\Delta\beta_2 \delta l_2)} \cdots \times \\ &\frac{1}{\left[\text{ch}(S_N' \delta l_N) + \frac{i\Delta\beta_N \text{sh}(S_N' \delta l_N)}{S_N} \right] \exp(-i\Delta\beta_N \delta l_N)}. \quad (34) \end{aligned}$$

5 相位匹配时的特殊情形

5.1 各通道调制不相同时的情形

先考察一下相位匹配,即 $\Delta\beta = 0$ 时两通道调制的情形。

$$B(l, t) = B(0, t) \frac{1}{\text{ch}(\kappa_2^2 \delta l_2)} \frac{1}{\text{ch}(\kappa_1^2 \delta l_1)} \approx B(0, t) \{1 - [\kappa_1^2 \delta l_1^2 \cos^2(\omega_1 t)]/2\} \times \{1 - [\kappa_2^2 \delta l_2^2 \cos^2(\omega_2 t)]/2\}, \quad (35)$$

因为 κ_1^2, κ_2^2 都很小, 故(35) 式中可略去含因子 $\kappa_1^2 \kappa_2^2$ 的项。因此, (35) 式可进一步近似为

$$B(l, t) \approx B(0, t) \{1 - [\kappa_1^2 \delta l_1^2 \cos^2(\omega_1 t)]/2 - [\kappa_2^2 \delta l_2^2 \cos^2(\omega_2 t)]/2\}, \quad (36)$$

这表明输出近似为两次调制独立存在时的叠加。

类似地, 当 $\Delta\beta = 0$ 时对 N' 通道调制的情形:

$$B(l, t) \approx B(0, t) \{1 - [\kappa_1^2 \delta l_1^2 \cos^2(\omega_1 t)]/2 - [\kappa_2^2 \delta l_2^2 \cos^2(\omega_2 t)]/2 - \dots - [\kappa_{N'}^2 \delta l_{N'}^2 \cos^2(\omega_{N'} t)]/2\}. \quad (37)$$

5.2 相同通道的多通道调制的特殊情形

对于相同通道的两通道调制, 即 $M^2 = M^1$ (两个调制器相同, 或者一根光纤以相同方式两次经过调制器), 则由(36) 式可得

$$B(l, t) = B(0, t) \{1 - 2[\kappa_1^2 \delta l_1^2 \cos^2(\omega_1 t)]/2\}, \quad (38)$$

类似地, 对于相同通道的 N' 通道调制 (N' 个调制器相同, 或者一根光纤以相同方式 N' 次经过调制器), 则为

$$B(l, t) = B(0, t) \{1 - N[\kappa_1^2 \delta l_1^2 \cos^2(\omega_1 t)]/2\}, \quad (39)$$

这表明光纤以相同方式多次经过调制器后调制效果明显增强。这使得对于弱调制信号的探测变得容易一些。

结语 本文从理论上研究了多通道全光纤声光调制器。利用微扰形式的光纤耦合模方程, 讨论了一根光纤多个部分受到周期性微扰的情况, 并进一步讨论了多通道全光纤调制的情况, 最后讨论了相位匹配时的输出的理论结果, 发现光纤以相同方式多次经过调制器后调制效果明显增强。这对于实验、器件研究具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 Amnon Y. *Introduction to Optical Electronics*. New York: John Wiley & Sons, 1989
- 2 Zhao Qida, He Shiya, Yu Kuanxin. The theoretical and experimental study of two-dimensional multi channel acousto-optic interaction. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(10):1396~1402 (in Chinese)
- 3 Lam D K W, Garside B K. Characterization of single-mode optical fiber filters. *Appl. Opt.*, 1981, **20**(3):440~445
- 4 Engan H E. Analysis of polarization-mode coupling by acoustic torsional wave in optical fibers. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1996, **13**(1):112~118
- 5 Liao Bangquan, Zhao Qida, Feng Dejun *et al.*. Coupled-mode theory for optical fiber and its application to fiber Bragg gratings. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(11):1340~1344 (in Chinese)
- 6 Liao Bangquan, Zhao Qida, Feng Dejun *et al.*. Theoretical research of mode coupling of all-fiber acousto-optic modulator. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2002, **31**(10):1213~1215 (in Chinese)

Theoretical Research of Multiple-Channel All-Fiber Acousto-Optical Modulator

Liao Bangquan¹ Zhao Qida¹ Dong Xiaoyi¹ He Shiya²

(¹ Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071
² Physics and Maths College, Beijing University of Technology, Beijing 100022)

(Received 18 June 2002; revised 8 August 2002)

Abstract: The researchers generally studied one-channel all-fiber modulator. In order to develop the great capability of optical fiber, the multiple-channel all-fiber acousto-optical modulator should be concerned. The multiple-channel all-fiber acousto-optical modulator is studied theoretically. The perturbed coupled-mode theory is used to discuss the solutions of coupled-mode equations for optical fiber when there are multiple parts being perturbed, and the multiple-channel modulation is analyzed. The results can be used as a basis of experimental research.

Key words: guided wave and fiber optics; all-fiber; perturbed mode coupling equations; multiple-channel; acousto-optical modulator