

弱高斯光阑近似和相位共轭腔

孙年春 程洁 杨智敏

(西南技术物理研究所, 成都, 610041)

摘要: 本文证明了在弱高斯光阑近似下, 相位共轭腔中不存在确定模, 只有当非弱高斯光阑处于腔中或相位共轭镜之前, 相位共轭腔才具有确定的模。

关键词: 弱高斯光阑 相位共轭镜

Approximation of weak Gaussian aperture and phase conjugate resonators

Sun Nianchun, Cheng Jie, Yang Zhiming

(Southwest Institute of Technical physics)

Abstract: This paper addresses that no determinate mode exists in phase conjugate resonator under the approximation condition of weak Gaussian aperture. Only if the un-weak Gaussian aperture is in front of a phase conjugate mirror or in the resonator, the phase conjugate resonators have determinate operation mode.

Key words: weak Gaussian aperture phase conjugate mirror

相位共轭腔(PCR)因具有能补偿腔内波前畸变, 对失调不灵敏等优点而受到重视^[1~4]。已证明当 PCR 中仅存在实元件时, 在简并情况下其横模结构不确定以及球面波和高斯光束均为 PCR 的本征模^[5]。为确定 PCR 的模, 应当引入具有振幅横分布的虚元件。在以往的文献中认为, 在弱高斯光阑近似下, PCR 中可存在确定的高斯基模^[6,7,11]。本文对此进行了分析, 并指出, 在弱高斯光阑近似下, PCR 中的本征模仍是不确定的。只有在腔中或 PCM 前存在非弱高斯光阑时, 可确定 PCR 中的模。

一、高斯光阑置于相位共轭镜(PCM)处

无论由简并四波混频或受激布里渊背散射等非线性光学方法形成的 PCM, 都可以认为本身具有一种横向振幅为高斯分布的限模结构。因此认为高斯光阑(GA)处于 PCM 处是合乎实际的。图 1 所示相位共轭腔, 由曲率半径为 ρ 的真镜(RM)和带 GA 的 PCM 相距 l 构成。腔内

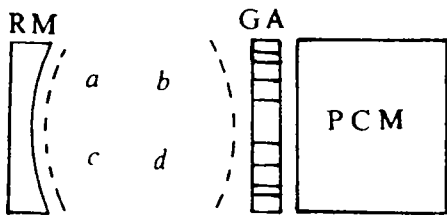


Fig. 1 Multielement PCR of putting GA in front of PCM

可置多种光学元件,用传播矩阵 $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ 表示。

GA 的传播矩阵为^[1]

$$M_{GA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -i\lambda/(\pi\sigma^2) & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, λ 为激光波长, σ 为高斯光阑的宽度。

PCM 采用传播矩阵第 I 形式^[4]

$$M_{PCM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

以 RM 为参考,腔内往返一周的传播矩阵为

$$\begin{aligned} M = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/\rho & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d & b \\ c & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -i\lambda/\pi\sigma^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ i\lambda/\pi\sigma^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/\rho & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - 2abhi & -2b^2hi \\ -2abhi & -1 - 2abhi \end{bmatrix} \quad \left(h = \frac{\lambda}{\pi\sigma^2} \right) \\ &= \begin{bmatrix} 1 - 2abhi & -2b^2hi \\ 2(2abhi - 1)/\rho - 2abhi & 4b^2hi/\rho - 1 - 2abhi \end{bmatrix} \quad (3) \end{aligned}$$

设 RM 处的基模高斯光束复参数 q_{RM} 为

$$1/q_{RM} = 1/R_{RM} - i\lambda/(\pi W_{RM}^2) = 1/R_{RM} - ih_{RM} \quad (4)$$

式中, W_{RM} 为 RM 处高斯光束光斑半径; R_{RM} 为 RM 处高斯光束等相面曲率半径。由往返一周自洽条件有:

$$q_{RM} = (Aq_{RM} + B)/(Cq_{RM} + D) \quad (5)$$

将(3)式和(4)式代入(5)式,整理后分离实部,虚部得,

$$1/R_{RM} + 1/\rho = 2bh_{RM}(a - b/\rho) \quad (6)$$

$$h[b^2(1/R_{RM} + 1/\rho)^2 - (a - b/\rho)^2 + b^2h_{RM}^2] = 0 \quad (7)$$

显然,只要(6)式、(7)式成立,则(5)式成立(即自洽)在弱高斯光阑近似($\sigma^2 \rightarrow \infty$)有 $h \rightarrow 0$,故有

$$1/R_{RM} + 1/\rho = 0 \quad (8)$$

$$0 \cdot [b^2(1/R_{RM} + 1/\rho)^2 - (a - b/\rho)^2 + b^2h_{RM}^2] = 0 \quad (9)$$

从(8)式、(9)式可知

$$b^2h_{RM}^2 - (a - b/\rho)^2 = \text{任何有限值(含零)} \quad (10)$$

均满足自洽条件,故弱 GA 近似下,当 GA 处于 PCM 处时,腔内无确定模。

以上结论和文献[1],[6],[7]等中的结论相矛盾,详细分析以往文献可知,其结论源于

$$b^2h_{RM}^2 - (a - b/\rho)^2 = 0 \quad (11)$$

引入常规 G 参数, $G_1 = a - b/\rho$, 将 $h_{RM} = \lambda/(\pi W_{RM}^2)$ 代入(11)式有

$$W_{RM} = \lambda|b|/(\pi|G_1|) \quad (12)$$

即弱高斯光阑可以确定 PCR 中的模。其不妥之处在于当(7)式成立时,在弱高斯光阑条件 $h \rightarrow 0$ 下,(11)式只是(7)式无限多个解中的一个特解。其特解所得结论(12)式当然成了确定模。故以往结论是错误的。

现在我们考虑非弱 GA 的情形,当 $h=0$ 时,从(6)式、(7)式可得:

$$1/R_{RM} = -1/\rho + 2bh_{RM}(a - b/\rho) \tag{13}$$

$$h_{RM}^2 = \frac{(a - b/\rho)^2}{b^2[1 + 4b^2h^2(a - b/\rho)^2]} \tag{14}$$

从(13)式和(14)式可知,GA 可以确定 PCR 中的模。

二、高斯光阑置于 PCR 中

如图 2 所示。文献[1]讨论了这一情况,只是文献[1]的结论是错误的,从图 2 可知,GA 之右的传播矩阵为 $\begin{bmatrix} a_p & b_p \\ c_p & d_p \end{bmatrix}$,注意到 PCM 的特性

$$\begin{bmatrix} d & b \\ c & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{15}$$

(15)式在 a, b, c, d 为实数时,总是成立的。于是 GA 置于 PCR 中的情况又回到了我们在上节所讨论的情形,结论完全相同。此处不重复推导。

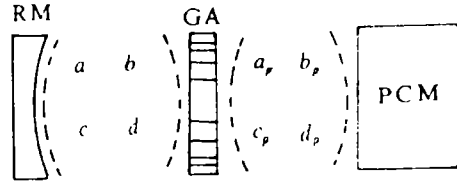


Fig. 2 Multielement PCR of putting GA in the middle of PCR

三、高斯光阑置于 RM 处

如图 3 所示。在弱高斯光阑近似下,文献[7]给出了正确分析,其结论为

$$R_{RM} = -\rho \tag{16}$$

$$W_{RM} = \text{任意值} \tag{17}$$

即此时 PCR 内无确定模。

对非弱 GA,文献[5]已证明了在 PCR 中,无论球面波还是高斯光束均不自洽。因此,对 GA 置于 RM 处的情形有待于进一步的理论研究和实验验证。

感谢西南技术物理研究所屈乾华研究员,成都电子科技大学卢亚雄教授的有益讨论。

参 考 文 献

- 1 Belanger P A. Opt Engineering, 1982;21(2):266
- 2 Feinberg J, Hellwarth R W. Opt Lett, 1980;41(12):519
- 3 Wang Shaomin, Weber H. Opt Commun, 1982;5(5):360
- 4 Auyeung J, Fekete D, Pepper D M, IEEE J Q E, 1979;QE-15(10):1180
- 5 孙年春,程 洁,吕百达.激光技术,1994;18(1):28
- 6 王绍民,洪熙春,于 军.光学学报,1983;3(1):41
- 7 吕百达,蔡邦维,王绍民.中国激光,1988;15(9):544

* * *

作者简介:孙年春,男,1962年2月出生。工程师。现从事重频风冷激光器以及光学元件方面的工作。

收稿日期:1993-08-21