

含虚元件谐振腔的约束稳定性

刘向东 程 洁 封 巍 邓崇俊 孙年春

(西南技术物理研究所, 成都, 610041)

摘要: 本文讨论了腔内含虚元件的激光谐振腔, 根据非稳腔的放大率和点源位置必须是实数这一结论, 求出了腔内含虚元件的谐振腔的非稳条件。

Confined stability of resonators containing virtual element

Liu Xiangdong, Cheng Jie, Feng Wei, Deng Chongjun

Sun Nianchun

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: In this paper we discuss a resonator containing virtual element. In accordance with the conclusion that amplification and position of point source must be real numbers. Getting the unstable condition of resonators containing virtual element.

一、引 言

随着科学技术的发展, 人们已研制出光学虚元件^[1~3]。目前已研制成功的光学虚元件有高斯反射率镜、超高斯反射率镜、钟形反射率镜等。如何用现有理论来分析在技术上的新成果, 还是一个有待于讨论的问题。在文献[2]中, 我们给出了由钟形反射率镜构成谐振腔的一般规律和实验结果。在文献[4]中, 我们求出了由高斯反射率镜构成非稳腔的条件。本文着重讨论在腔内含有虚元件的一般情况。

二、含光学虚元件腔的非稳条件

$$R_1 \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} R_2$$

设谐振腔由球面镜 M_1 (R_1) 和 M_2 (R_2) 构成, 腔内含虚元件, 如图1所示。其单程变换矩阵为:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 + ia_2 & b_1 + ib_2 \\ c_1 + ic_2 & d_1 + id_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fig. 1 Resonators containing virtual elements

式中, $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$ 均为实数。根据谐振腔理论有:

$$\begin{aligned} G_1 &= a - b/R_1 = a_1 - b_1/R_1 + (a_2 - b_2/R_1)i \\ G_2 &= d - b/R_2 = d_1 - b_1/R_2 + (d_2 - b_2/R_2)i \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{设} \quad \begin{aligned} G_{11} &= a_1 - b_1/R_1 & G_{12} &= a_2 - b_2/R_1 \\ G_{21} &= d_1 - b_1/R_2 & G_{22} &= d_2 - b_2/R_2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{则有} \quad G_1 = G_{11} + iG_{12} \quad G_2 = G_{21} + iG_{22} \quad (4)$$

以 $M_1(R_1)$ 为参考, 则往返一周的矩阵为

$$\begin{aligned} T &= \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d & b \\ c & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/R_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 2aG_2 - 1 & 2bG_2 \\ 2(2aG_1G_2 - G_1 - a^2G_2)/b & 4G_1G_2 - 2aG_2 - 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

从 (1) 式、(4) 式可求得。

$$\begin{aligned} A &= 2a_1G_{21} - 2a_2G_{22} - 1 + 2(a_1G_{22} + a_2G_{21})i \\ B &= 2(b_1G_{21} - b_2G_{22}) + 2(b_1G_{22} + b_2G_{21})i \\ C &= [2(2a_1G_{11}G_{21} - 2a_1G_{12}G_{22} - G_{11} - a_1a_2G_{21} + \\ &\quad + 2a_1a_2G_{22} + a_2^2G_{21}) + 2(2a_2G_{11}G_{21} - \\ &\quad - 2a_2G_{12}G_{22} - G_{12} - 2a_1a_2G_{21} - a_1a_2G_{22} - \\ &\quad - a_1^2G_{22})i] / (b_1 + ib_2) \\ D &= 4G_{11}G_{21} - 4G_{12}G_{22} - 2a_1G_{21} + 2a_2G_{22} - \\ &\quad - 1 + i(G_{11}G_{22} + G_{12}G_{21}) - 2(a_1G_{22} + a_2G_{21})i \end{aligned} \quad (6)$$

由谐振腔的本征方程有:

$$\lambda^2 - (A + D)\lambda + 1 = 0 \quad (7)$$

对非稳腔而言, 放大率 λ 为实数。将 (6) 式代入 (7) 式分离实部与虚部有

$$\lambda^2 - 2(2G_{11}G_{21} - 2G_{12}G_{22} - 1)\lambda + 1 = 0 \quad (8)$$

$$(G_{11}G_{22} + G_{12}G_{21})\lambda = 0 \quad (9)$$

考虑到 (8) 式, 故从 (9) 式求得

$$G_{11}G_{22} + G_{12}G_{21} = 0 \quad (10)$$

解 (8) 式有

$$\lambda = -(2G_{12}G_{22} - 2G_{11}G_{21} + 1) \pm \sqrt{(2G_{11}G_{21} - 2G_{12}G_{22} - 1)^2 - 1} \quad (11)$$

要 λ 为实数, 则有

$$|2G_{11}G_{21} - 2G_{12}G_{22} - 1| \geq 1 \quad (12)$$

(10) 式、(12) 式是根据非稳腔的放大率 λ 为实数求出的非稳腔条件。正如我们在文献[6]中的分析, λ 为实数并不能保证构成非稳腔。必须同时考虑点源位置亦为实数。

对非稳腔而言, 点源位置 r 满足 ABCD 定律故有。

$$B/r^2 + (A - D)/r - C = 0 \quad (13)$$

解 (13) 式可得

$$1/r = (D - A)/2B \pm \sqrt{(A + D)^2/4 - 1/B} \quad (14)$$

从(2)式和(5)式有

$$(D - A)/2B = -1/R_1 \quad (15)$$

将(6)式代入(15)式从(10)式, (12)式可知

$$[(A + D)/2]^2 - 1 \geq 0 \quad (16)$$

故 r 为实数, 则必须有 B 为实数, 从而可得

$$b_1 G_{22} + b_2 G_{21} = 0 \quad (17)$$

因此, 含虚元件谐振腔的非稳条件为

$$G_{11}G_{22} + G_{12}G_{21} = 0 \quad (10)$$

$$b_1 G_{22} + b_2 G_{21} = 0 \quad (17)$$

$$|2G_{11}G_{21} - 2G_{12}G_{22} - 1| \geq 1 \quad (12)$$

三、含高斯光栏的谐振腔

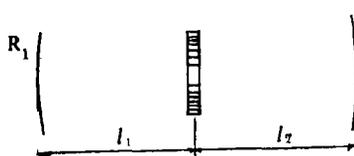


Fig. 2 Resonators containing Gaussian aperture

如图2所示, 设腔内光学虚元件为高斯光栏。其透射矩阵为

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\lambda i / (\pi \sigma^2) & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

单程传输矩阵为

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - l_2 h i & l_1 + l_2 - l_1 l_2 h i \\ -h i & 1 - l_2 h i \end{bmatrix} \quad (19)$$

式中, $h = \lambda / (\pi \sigma^2)$ 。根据非稳条件(10)式、(12)式、(17)式以及(1)式、(2)式、(3)式可解出, 腔内含高斯光栏的谐振腔的非稳条件为

$$l_1 = 0 \quad l_2 = l \quad (20)$$

或 $l_2 = 0 \quad l_1 = l \quad (21)$

(20)式、(21)式说明, 含高斯光栏谐振腔要构成非稳腔必有高斯光栏与腔镜 M_1 (R_1)或 M_2 (R_2)重合。

设 $l_1 = 0, l_2 = l$, 根据(19)式和(3)式有

$$\begin{aligned} G_{11} &= 1 - l/R_1 & G_{12} &= -lh \\ G_{21} &= 1 - l/R_2 & G_{22} &= 0 \end{aligned} \quad (22)$$

将(22)式代入(10)式可得

$$G_{21} = 0 \quad \text{即} \quad R_2 = l \quad (23)$$

把 $G_{21} = 0, G_{22} = 0$ 代入(11)式可知放大率

$$\lambda = 1$$

(24)

此时, 谐振腔为介稳腔, 同理可分析 $l_1 = l, l_2 = 0$ 的情形, 也具有相同的结论。据此, 腔内含高斯光栏的谐振腔不可能实现非稳腔。

参 考 文 献

- [1] Silvestri S De, Laporta P, Magni V. J O S A (A), 1987; 4(8)
- [2] 孙年春, 吕百达, 邓崇俊 *et al.* Theoretical and experimental studies of resonators with variable reflectivity F-P interferometer couplers. '92国际激光与光电子研讨会论文 (SPIE) 待发表
- [3] 孙年春, 吕百达, 邓崇俊 *et al.* 干涉型变反射率激光输出耦合器的误差分析. '92全国激光新技术研讨会论文 (成都)
- [4] 孙年春, 吕百达, 屈坤红 *et al.* 高斯反射率镜谐振腔的非稳条件. 激光技术, 1993; 17(2): 75

* * *

作者简介: 刘向东, 男, 1963年9月出生。工程师。从事激光技术工作。

收稿日期: 1992年12月29日。

· 简 讯 ·

高能量光参量振荡器(OPO)产生窄线宽的100mJ可调谐输出

光谱物理激光器公司 (Spectra-Physics Lasers) 介绍一种光参量振荡器, 它能在400~2000ns调谐范围内输出线宽小于 0.1cm^{-1} 的激光, 光能量大于100mJ。基于主振荡/功率放大器的设计, OPO产品的Quanta-Ray MOPO-700系列, 在每个振荡器中只用一个大的BBO晶体作为参量转换器, 在所有谱线上, 其转换效率超过20%。输入泵浦能量为400mJ, 波长为355nm, 是由一台Nd:YAG激光器的三次谐波产生的。

根据谱线要求, 可以提供MOPO-700系列的两种型号。两者对主振荡器都采用短掠入射角腔设计, 并有一伺服系统控制和耦合BBO振荡晶体随衍射光栅角而转动。Quanta-Ray业务部总经理Mark Sobey解释说, “通过直接联接主振荡器和功放振荡器, 并用一模拟伺服系统来控制晶体在 0.001° 之内转动, 我们已消除了与计算机存贮检查表和多次驱动机构相关的校准问题, MOPO系统是为我们使用者放手运转的”。Sobey相信, 这种方便, 再加上高能量和可调谐性, 将使OPO成为Nd:YAG和准分子激光器泵浦的染料激光器的一个有吸引力的替代者。

译自L F World, 1993, 29(3): 13 邹福清 译 刘建卿 校

勘 误 表 (第17卷 第2期)

Errata (Vol.17, No.2)

页 Page	段 Paragraph	误 error	正 valid
78	1	10 Å	18 Å
80	Fig.2	ZeS...and icestone	ZnS and cryolite film...
81	4	G: $n_g = 1.49$	G: $n_g = 1.46$