

频率移动对受激散射相位共轭腔的 稳定性与模式特性的影响

刘 劲 松

(西北电讯工程学院技术物理系)

提 要

通过引入广义自洽条件和受激散射相位共轭镜显含频率的光束变换矩阵, 研究了频移对受激散射相位共轭光腔的稳定性与模式特性的影响。

关键词: 受激散射, 相位共轭光腔, 频率移动。

文献[1]中通过引入受激散射相位共轭镜 SSPOM (Stimulated Scattering Phase-Conjugate Mirror) 的光束变换矩阵, 研究了受激散射相位共轭光腔 SSPOR (Stimulated Scattering Phase-Conjugate Resonator) 的稳定性与模式特性, 但它没考虑受激散射相位共轭镜的频移效应所造成的影响。本文通过引入广义自洽条件以及受激散射相位共轭镜的显含频率的变换矩阵, 研究了这一影响。

一、变换矩阵

当高斯光束入射到相位共轭镜时, 入射和反射光束的复曲率存在着下列基本关系^[2]:

$$q_r = -q_i^* \frac{\omega_r}{\omega_i}, \quad (1)$$

式中 q_r , ω_r 及 q_i , ω_i 分别代表反射及入射光束的复曲率和频率, 并且

$$\frac{1}{q_r} = \frac{1}{\rho_r} - \frac{i\lambda_r}{\pi w_r^2}, \quad \frac{1}{q_i} = \frac{1}{\rho_i} - \frac{i\lambda_i}{\pi w_i^2}, \quad (2)$$

式中 ρ_r , w_r , λ_r 及 ρ_i , w_i , λ_i 分别代表反射光和入射光束的曲率半径, 腰斑尺寸及波长。

为描述受激散射相位共轭镜的光束变换特性, 文献[1]中定义其变换矩阵

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{\rho_i} - \frac{i\lambda}{\pi} \frac{1-\beta^2}{\beta^2 w_i^2} & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

式中 β 是一个与入射光强和构成受激散射相位共轭镜的材料有关的常数, 且 $0 < \beta < 1$ 。由于(3)式没有考虑(1)式的频率关系, 因此它不能描述由于该镜的频移效应所引起的物理现象。但对受激散射相位共轭腔来说, 频移效应对其稳定性与模式特性有影响^[1], 是一个值得探讨的问题。为此, 基于(1)式, 将(3)式推广为显含频率的光束变换矩阵

$$M_0 = \begin{pmatrix} r & 0 \\ -\frac{2}{\rho_i} - \frac{i\lambda_i}{\pi} \frac{1-\beta^2}{\beta^2 w_i^2} & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

式中 $r = (\omega_r/\omega_i)$, 称之为频移参量, 用它来描述频移的大小。对受激散射相位共轭镜来说, $0 < r < 1$ 。下面即可利用(4)式来探讨频移效应对受激散射相位共轭腔的稳定性与模式特性的影响。

二、广义自洽条件

按照光学开腔中自再现模的一般概念, 对稳定腔, 应成立 $q_i = q_j$ 自洽条件, 这里 q_i 与 q_j 分别为高斯光束从腔内某一参考面上出发和在腔内往返一周后终止在该参考面上的复曲率。自洽条件具体地可写为

$$\frac{1}{\rho_i} - \frac{i\lambda_i}{\pi w_i^2} = \frac{1}{\rho_j} - \frac{i\lambda_j}{\pi w_j^2}. \quad (5)$$

对一般稳定腔, $\lambda_i = \lambda_j$, (5)式准确地反映了高斯模在腔内往返一周后 $\rho_i = \rho_j$, $w_i = w_j$ 这一自再现特性。但对受激散射相位共轭腔, 由于频移效应, 使得 $\lambda_i \neq \lambda_j$ 。因此(5)式便不能反映高斯模的自再现特性, 必须加以修正。对仅含一个受激散射相位共轭镜的受激散射相位共轭腔来说, 高斯模的自洽条件应该为

$$R_o \frac{1}{q_i} = R_o \cdot \frac{1}{q_i}, \quad I_m \frac{1}{q_i} = I_m \frac{1}{q_i}. \quad (6)$$

称(6)式为广义自洽条件, 它对任何具有频移特性的光腔都是适用的。

三、受激散射相位共轭镜反射面上的光束参数

图1为受激散射相位共轭腔的示意图。左面的真镜 RM 及所有腔内光学元件用 $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ 矩阵描述, 且

$$\left. \begin{aligned} \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -(2/R) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d & b \\ c & a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2dG-1 & 2bG \\ 2d(dG-1)/b & 2dG \end{pmatrix}, \\ G &= a - (b/R), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

R 是真镜的曲率半径, a, b, c, d 是从真镜到相位共轭镜之间但不包括它们自身的所有光学元件的变换矩阵元。利用(4)、(6)及(7)式和 $ABOD$ 定律不难推得受激散射相位共轭镜反射面上(图1中的 S 面)入射光的光束参数为

$$\rho_i = \frac{B(r-\beta^2)}{A\tau(1-\beta^2)}, \quad (8)$$

$$\left(\frac{\lambda_i}{\pi w_i^2} \right)^2 = r^2 \beta^2 \frac{(r-\beta^2)^2 - A^2 \beta^2 (1-r)^2}{B^2 (r-\beta^2)^2}. \quad (9)$$

由此不难推得腔内任一参考面上的光束参数。显然, q_i 不仅和光腔其它元件的参数有关, 同时和 r 有关。由于 r 随着光束在腔中振荡一周而改变一次, 因此受激

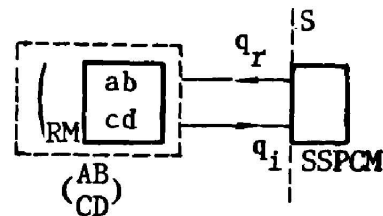


Fig. 1 Schematic drawing of SSPCR illustrating the notation used

散射相位共轭腔中任一参考面上的模式参量将随着光束在腔中振荡一周而改变一次。

四、稳定性条件

由于光腔的稳定性条件就是腔内存在着真实的高斯模的条件,因此(9)式应给出一个正的 w_i 。由此可得受激散射相位共轭腔的稳定性条件为

$$\left. \begin{aligned} A > 0 & \quad r_2 < r < r_1, \\ A < 0 & \quad r_1 < r < r_2, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$r_1 = \beta(\beta - A)/(1 - \beta A), \quad r_2 = \beta(\beta + A)/(1 + \beta A),$$

这表明频移效应对受激散射相位共轭腔的稳定性有影响,它不是无条件稳定的,仅当 r 在(10)式限定的范围内变化时,才是稳定的。

由(7)式可知,若 $G = (1/2d)$, 则 $A = 0$ 。此时任何 r 值都能使(10)式满足。故当 $G = (1/2d)$ 时,受激散射相位共轭腔的稳定性不受频移效应的影响。

五、频移效应对模式特性的影响

在空腔的情况下

$$G = g - 1 - (L/R), \quad A = 2g - 1, \quad B = 2gL, \quad (11)$$

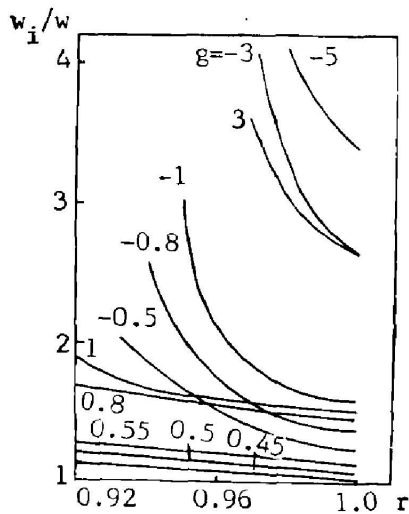


Fig. 2 w_i versus the r for a given g parameter values. $\beta = 0.9$

式中 L 是光腔长度,由于反映模式特性的有关参量,如基模体积,有效菲涅尔数等,都和 w_i 有关,故可通过分析 w_i 与 r 的关系来讨论频移效应对模式特性的影响。图 2 给出了由(9)式确定的 (w_i/w) 随 r 的变化曲线。在忽略 $w = \sqrt{(\lambda_i L/\pi)}$ 中 λ_i 由于 r 的变化而发生微小变化的前提下,由图 2 可知:(1) 当 $g = 0.5$ 时, w_i 几乎不随 r 而改变。又由于此时受激散射相位共轭腔的稳定性也不受 r 的影响。因此,当 $g = 0.5$ 时,受激散射共轭腔的频移效应是不敏感的;(2) 频移效应的影响之强弱同腔体结构有关。 g 参数偏离 0.5 越远, w_i 随 r 变化越剧烈,频移效应的影响越强。

六、结 论

本文讨论的受激散射相位共轭腔从提出以来,由于它比其他相位共轭腔具有无需外加泵浦光的优点,故一直受到人们的重视与研究^[1,3]。但由于它存在着不能自启动与具有频移效应两大弱点^[3],一直未能象其它相位共轭腔那样得到深入的实验研究。本文分析了频移效应对受激散射相位共轭腔的影响,得到了如下结论:(1) 腔中任一参考面上高斯模的 g 参数随着光束在腔中往返一周而改变一次以及受激散射相位共轭腔的稳定性条件与频移量的大小有关。(2) 这种影响的大小同腔体结构参数有关。

存在着这样的参数,在此参数下影响小到可以忽略的程度。因此,实验应尽量在这种参数下进行。

作者曾同王绍民副教授、安毓英副教授就有关问题做过有益的讨论,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Wang Shaomin *et al.*; *Opt. Acta*, 1984, **31**, No. 9 (Sep), 971~976.
- [2] J. Auyeung *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1979, **15**, No. 10 (Oct), 1180~1188.
- [3] C. R. Giuliano *et al.*; *Laser Focus*, 1983, No. 2 (Feb), 55~61.

The effect of frequency shift on the stability and mode properties of stimulated scattering phase-conjugate resonators

LIU JINSONG

(Northwest Telecommunication Engineering Institute Technical Physical Department, Xian)

(Received 15 January 1987, revised 3 August 1987)

Abstract

The effect of frequency shift on the stability and mode properties of Stimulated Scattering Phase-Conjugate Resonators (SSPCR) has been studied by introducing the generalized self-consistency condition and the Stimulated Scattering Phase-Conjugate Mirror (SSPCM)'s transfer matrix that has explicit variable frequency.

Key words: stimulated scattering; phase-conjugate resonator; frequency shift.