

## 腔镜应力对激光偏振特性的影响

张春平 张光寅

(南开大学物理系)

**提要:** 观察到对反射镜加机械压力使激光的偏振方向自然取向改变的现象。施加较大的压力可使偏振方向互相垂直的几个纵模变成同方向的线偏振光, 由此得到输出为偏振光的新型内腔 He-Ne 激光器。

## Effects of stress mirror cavity on polarization characteristics of lasers

Zhang Chunping, Zhang Guangying

(Department of Physics, Nankai University)

**Abstract:** We observed that natural orientation of polarization can be changed by exerting an external mechanical pressure on the mirror, and a large mechanical pressure can change the orthogonal polarization directions of several longitudinal modes into the same polarization direction, thus we can obtain a new type of intra-cavity He-Ne laser with polarized output.

一般的内腔 He-Ne 激光器各个纵模都是线偏振光, 而且相邻纵模的偏振方向都是互相垂直的<sup>[1,2]</sup>。因此, 内腔激光器输出的不是线偏振光。

激光器共振腔反射镜上的多层介质膜膜层在制备过程中会残存一些应力, 它会引起膜层产生双折射, 若内应力为  $p_{ij}$ ,  $n_e$  和  $n_o$  分别为膜层对  $o$  光和  $e$  光的折射率, 则有

$$n_e - n_o = K p_{ij} \quad (1)$$

式中  $K$  为与膜层材料有关的常数。当偏振光通过厚度为  $l$  的介质层后,  $o$  光和  $e$  光产生的位相差为

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} l |n_e - n_o| = \frac{2\pi}{\lambda} l K p_{ij} \quad (2)$$

当偏振方向互相垂直的激光模通过这种具有双折射的反射镜时, 就产生了位相损耗。在

一般情况下, 由此造成互相垂直的偏振成分的振幅反射率的差别是很小的, 可以近似地认为由反射引起的振幅损耗和腔的其他损耗对于偏振方向来说是各向同性的。设两个反射镜的双折射主轴分别为  $x$ 、 $y$  和  $x'$ 、 $y'$  方向, 激光传播方向为  $z$  方向, 如图 1 所示。又设腔中的激光场为两偏振方向互相垂直的线偏振光, 其中一个模在  $x$  和  $y$  方向上的光电

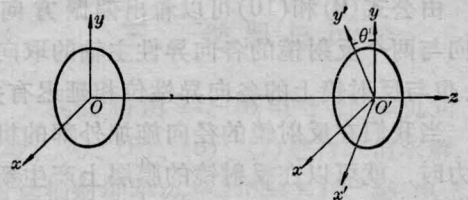


图1 各向异性反射镜组成的腔

收稿日期: 1983年4月27日; 修改稿收到日期: 1984年5月12日。

场分量为  $E_x$  和  $E_y$ 。当激光振荡处于稳态时, 振荡波经过一次往返后仍具有相同的偏振必须满足以下条件<sup>[3]</sup>

$$M \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\arg \lambda = 2m\pi \quad (m \text{ 为整数}) \quad (4)$$

式中  $M$  是模偏振的特征矩阵

$$M = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_x & 0 \\ 0 & R_y \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_x & 0 \\ 0 & R_y \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_x'$  和  $R_y'$  分别为主轴方向上的振幅反射系数,  $\theta$  为两个反射镜的双折射主轴间的夹角。另外再设

$$R_x/R_y = \exp(i\varphi_1) \quad (6)$$

$$R_x'/R_y' = \exp(i\varphi_2) \quad (7)$$

$$K = \varphi_1/\varphi_2 \quad (8)$$

一般情况下  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  是复数, 若  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  是实数, 则表示位相各向异性,  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  是纯虚数则表示振幅损耗各向异性。前面已提到, 一般情况下振幅损耗可认为是各向同性的。将(5)~(8)代入(3)可得到<sup>[4]</sup>

$$\begin{pmatrix} E_y \\ E_x \end{pmatrix}_{\pm} = \frac{-K - \cos 2\theta \pm \sqrt{K^2 + 2K \cos 2\theta + 1}}{\sin 2\theta} \quad (9)$$

因此, 线偏振光的方位角为

$$\phi_{\pm} = \tan^{-1} \left( \frac{E_y}{E_x} \right)_{\pm} \quad (10)$$

文献[4]中给出了按公式(10)计算的偏振方向与实验测量相一致的结果。

由公式(9)和(10)可以看出偏振方向的取向与两个反射镜的各向异性主轴的取向有关, 也与反射镜上的各向异性位相延迟有关。

当我们在反射镜的径向施加外部的机械压力时, 就可以在反射镜的膜层上产生新的应力, 它的大小和方向与施加的机械压力的大小和方向有关。我们利用扫描干涉仪对反射镜上加压力的内腔 He-Ne 激光器的偏振

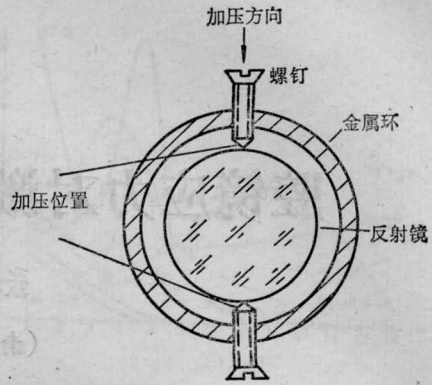


图2 激光器反射镜上的加压装置示意图

方向进行了研究。反射镜上加压的实验装置如图2所示。将带有两个相对安置的螺钉的金属环套在镜片上, 缓慢旋紧螺钉, 金属环上的两个相对的螺钉即可在反射镜的径向施加压力。

研究表明, 当反射镜上的压力加到适当大小时, 得到了奇特的结果: 激光模的偏振方向由各个纵模相互垂直变为相互平行。

实验中所使用的激光器的膜片基片是  $K_9$  玻璃, 大多数是软膜, 也有少部分硬膜, 其效果是类似的。实验均在实验室常温条件下进行, 得到线偏振输出所需要的压力大小因激光器的功率而异, 也随加压力的方向而异(是否与反射镜固有各向异性轴重合)。一般所需压力为 15~20 kg, 激光功率小的激光器所需压力要小。有些输出功率较大的内腔激光器, 在加压过程中始终得不到线偏振输出。图3表示模的偏振方向由互相垂直(图3(a))变为偏振方向相同(图3(b))。反射镜上加压后各个模的偏振方向的变化有以下几种情况: (1) 所有模的偏振方向变为

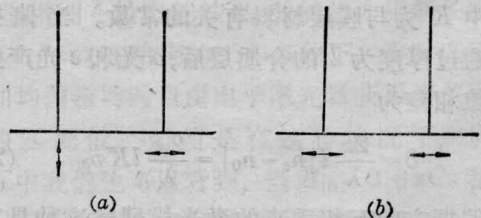


图3 加压力前后纵模偏振方向的变化

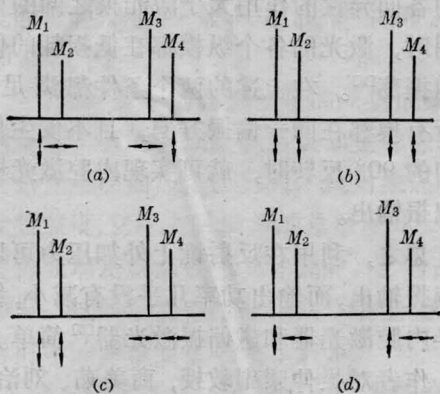


图4 加压力前后基模和横模偏振方向的变化

同方向(图4(b)); (2) 各个基模与各个横模的偏振方向各自相同, 基模与横模之间相垂直(图4(c)); (3) 离得近的一组基模和横模偏振方向相同且与另一组的偏振方向相垂直(图4(d))。

下面我们分析内腔型 He-Ne 激光器输出偏振光的机理。除了加横向磁场由磁起偏得到偏振输出以外, 还有两种情况可能使内腔 He-Ne 激光输出为同方向的偏振光。一种是由于反射镜上存在很大的振幅各向异性, 其中一个偏振成分的反射率太低以致达不到阈值, 因而只剩下一个偏振成分能够振荡; 另一种情况是由激光模的偏振理论所预计的<sup>[2]</sup>。

我们首先分析第一种情况, 即考查反射镜的反射率在受到应力作用时能否使其中一个偏振成分的反射率不能满足阈值条件。为此, 我们测量和分析了反射镜的反射率随压力的变化。我们利用图5中所示的装置测量了在应力作用下反射镜对于两个互相垂直的偏振成分的反射率的变化(实际测量的是对应的透射率的变化)。由于介质膜不同位置处的反射率数值不一样, 所以在测量两个垂直偏振方向上的反射率时必须保证激光束落在介质镜的同一位置处, 且在加压力时, 反射镜的相对位置保持固定。由于利用旋转测量激光器或旋转待测反射镜都难以保持测量点的位置不变, 所以, 我们利用旋转偏振片的

方法来获得等强度的偏振方向互相垂直的两个探测激光束, 从而比较容易地保证在反射镜上的光束位置不改变。测量结果如图6所示。

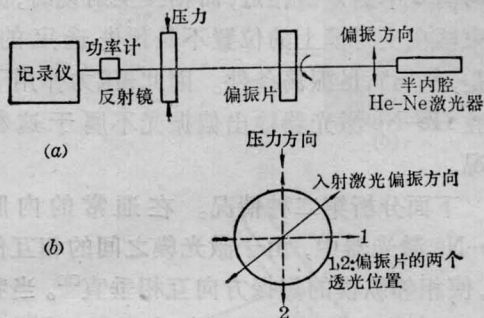


图5 测量反射镜反射率随压力变化的装置

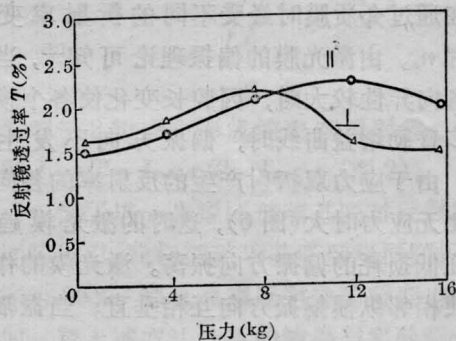


图6 反射镜上的压力引起两个互相垂直的偏振成分的透射率  $T_{\parallel}$  和  $T_{\perp}$  的变化

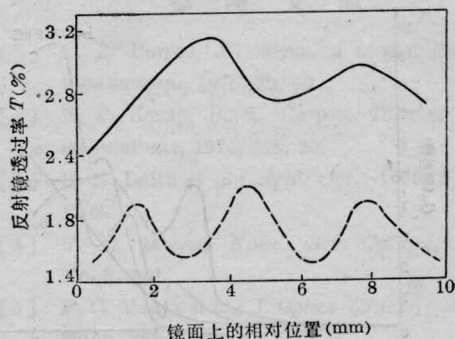


图7 透过率随测量点位置的变化  
虚线——反射镜1#; 实线——反射镜2#

在较大的压力作用下, 虽然反射镜的透射率(反射率)产生了明显的各向异性差值, 但对于不少激光器来说这个差值并不会使其中一个偏振成分达不到阈值, 因为反射率的

变化仍能处于满足振荡条件的范围内。我们测量了无压力作用时反射镜的某一偏振成分透过率随测量点位置的变化曲线,如图7所示。反射镜上因位置变化引起的透射率的差值与图6中的差值相近,而粘接反射镜时,激光束落在反射镜上的位置不是预先选定的,但是,都能满足振荡条件。因此,压力作用下内腔 He-Ne 激光器输出偏振光不属于这种情况。

下面分析第二种情况。在通常的内腔 He-Ne 激光器中,由于激光模之间的相互作用,使相邻纵模的偏振方向互相垂直<sup>[2]</sup>。当我们在反射镜上施加大的压力时,由于膜层上的应力产生的应力双折射,将使两个偏振成分在通过介质膜时经受不同的折射率变化  $n_o$  和  $n_e$ 。由激光膜的偏振理论可知<sup>[2]</sup>,当位相各向异性较大时,因腔长变化使各个模通过多普勒增益曲线时,偏振方向不发生反转。由于应力双折射产生的反射率各向异性比无应力时大(图6),这时的激光模趋向于在低损耗的偏振方向振荡。激光模的作用是使相邻纵模偏振方向互相垂直。当振幅损

耗的各向异性的作用大于激光模之间的相互作用时,激光的各个纵模都在低损耗的偏振方向振荡<sup>[2]</sup>。在上述的两个条件都满足时,即所有模都在同一偏振方向,且不发生偏振方向的  $90^\circ$  反转时,就可实现内腔激光器的线偏振输出。

总之,利用在反射镜上外加压力可以获得偏振输出,而输出功率几乎没有减小,结构比半内腔激光器和磁偏振激光器<sup>[5]</sup>简单。

作者对吴仲康副教授,商美茹、刘治国、吕可诚、杨性愉等同志以及巴恩旭副教授对本工作的支持和有益的讨论表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] D. Lenstral; *Physica*, 1978, **95C**, 405.
- [2] D. Lenstral; *Physica Reports*, 1980, **59**, No. 3, 1965, 301.
- [3] H. De Long; *Philips Research Reports Supplements*, 1967, No. 8, 1; W. M. Doyle *et al.*; *JOSA*, **55**, No. 10 1221,
- [4] Toshiniko Yoshino; *Japan. J. Appl. Phys.*, 1979, **18**, No. 8, 1503.
- [5] M. D. Crisp; *Opt. Commun.*, 1976, **19**, No. 3, 316.

(上接第 106 页)

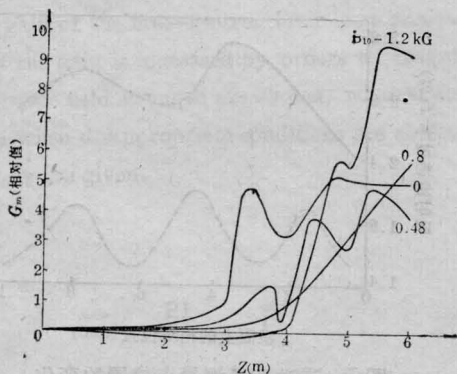


图5  $\lambda_0 = 4.5 \text{ cm}$  时在不同均匀磁场作用下  $G_m(z)$  特性曲线

加均匀磁场仍有高于不加均匀磁场的激光器的增益。但在小于  $3.5 \text{ m}$  的相互作用长度上,加均匀磁场就反而降低了激光器的增益,

对于  $B_{10} = 1.2 \text{ kGs}$  时它还使自由电子激光器出现吸收现象,即辐射场的能量转变为加速相对论电子运动的能量。

### 参 考 文 献

- [1] D. A. G. Peacon *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1977, **38**, 892.
- [2] M. B. Colson; *Appl. Phys.*, 1980, **22**, 219.
- [3] D. M. McDermott; *Phys. Rev. Lett.*, 1978, **41**, 1368.
- [4] L. Friedland, J. L. Hirshfield; *Phys. Rev. Lett.*, 1980, **44**, 1456.
- [5] W. B. Colson; *Appl. Phys.*, 1979, **20**, 41.
- [6] R. K. Purker *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1982, **48**, 235.
- [7] V. L. Granatstein; *Phys. Rev.*, 1978, **A17**, 1792.
- [8] I. B. Bernstein; L. Friedland; *Phys. Rev.*, 1981, **A23**, 816.