

沿流动方向折叠腔的优越性

吴 中 祥

(中国科学院力学研究所)

提 要

本文通过模拟计算和对比分析了一个气动激光器的多种腔体内三维辐射场的分布、饱和增益分布、输出功率和效率,具体地显示出沿流动方向折叠腔的优越性。其基本规律也可供其他高速流动气动激光器作参考。

关键词: 气动激光器, 折叠腔, 辐射场分布, 饱和增益分布。

一、引 言

文献[1]具体地计算了一台著名的气动激光器^[2],其单程腔与沿高度方向折叠腔中的三维辐射场分布和输出功率等结果,与实验^[2]以及其他作者的计算^[3]都很好相符。与单程腔相比,显示出折叠腔的优越性。文献[4]具体地计算和分析了该器件沿高度方向折叠的腔体中的介质激活能量的分布变化规律,结果表明:该腔体还有相当多残留的振动能随激活介质白白地流掉了。为了进一步提高输出功率和效率,发挥器件的潜力。本文在文献[1]的基础上,附加一种将沿流动方向折叠腔前片出口截面上各点各振型的往返总辐射能量记数,用作后片入口截面上各对应初值的方法,因而能用以计算沿流动方向折叠的腔体。对几种不同腔体计算结果和对比分析,清楚地显示出沿流动方向的折叠腔的优越性。

二、同一腔体折叠方向改变的效果

采用文献[1]计算所用的同一折叠腔体(镜面覆盖面积 $2 \times 8.9 \times 8.9 \text{ cm}^2$,几何耦合度60%的三折正支共焦不稳定腔),仅将折叠方向沿高度方向(如图1所示)改为沿流动方向(如图2所示),计算结果如表1所列。

Table 1 The comparison of the average power density on the output surface in the cavities folded along two directions

folded direction	output power (kW)	the average power density on the output surface (kW/cm ²)
along height	30.6	1.15
along flow	28.5	1.10

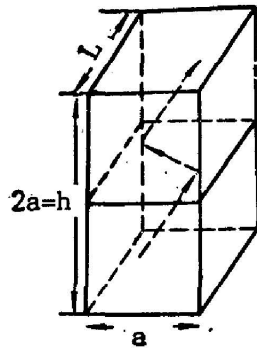


Fig. 1 "Z"-folded cavity

L, h —The length and height of cavity; a —The mirror size

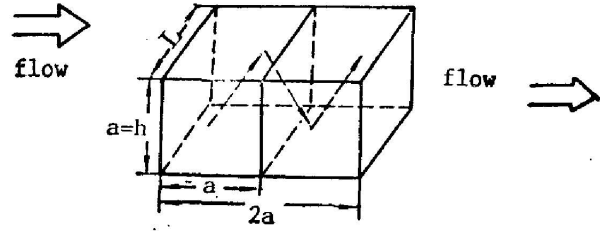
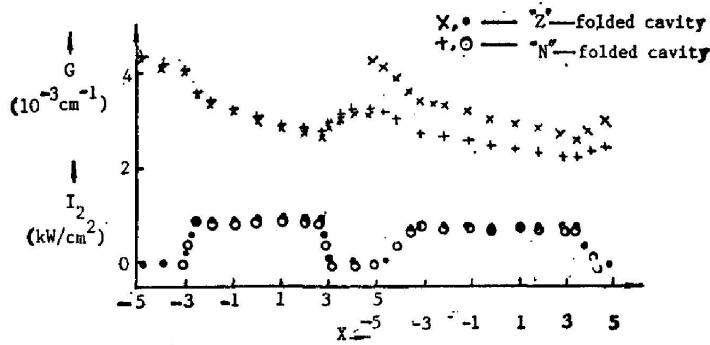


Fig. 2 "N"-folded cavity



$G, I_2 \sim X$ ($a=8.9\text{cm}$)

Fig. 3

图 3 对比描出沿高度或流动两种方向折叠腔输出面上、下或前、后两片半高度线上的饱和增益系数 $G(10^{-3}\text{cm}^{-1})$ 和功率密度 $I_2(\text{kW}/\text{cm}^2)$ 随流动方向 X 的变化情况。由图 3 和表 1 可知, 沿不同方向折叠的同一腔体, 输出光束的模式和功率都大体相近, 沿流动方向折叠腔的输出功率略小(差别 $\approx 7\%$)。但是, 从图 2 与图 1 对比可知, 这种腔体实际所需器件的高度、激活介质的流量都可减半。因此, 仅仅由于将折叠方向从沿高度改变为沿流动方向, 就可使器件的效率提高近 85%。

由图 3 和表 2 可知, 腔内饱和增益系数的分布, 对比沿流动方向折叠腔前片与沿高度方向折叠腔下片的各对应值, 前者虽略高, 但大体相近; 而对比沿流动方向折叠后片与沿高度方向折叠腔上片的各对应值, 则前者都显著地较低, 表明介质的激活能量在腔内转变为光辐射能量的份额。形成沿高度方向折叠腔上、下片中饱和增益沿流动方向的分布情况大体相近; 而沿流动方向折叠腔的前、后片中饱和增益沿流动方向的分布都是大体上连续地下降的现象。这种现象可解释为: 在沿高度方向折叠腔的上、下片中, 是以相近的辐射场分布作用于更新后的、同样的激活介质诱发出光; 而在沿流动方向折叠腔的前、后片中, 却是连续地对由前片流入的并未更新的激活介质再次作用, 进一步诱发出光。这些说明沿流动方向折叠的腔体中激活介质振动能的利用率和器件的效率都比较高。

由图 3 还可以看到, 即使沿流动方向折叠的腔体, 在后片饱和增益系数的最低值也还有 $2.24 \times 10^{-3}\text{cm}^{-1}$ 之多, 并且在流出光腔后还有可观的回升(已看到升至 $\sim 2.5 \times 10^{-3}\text{cm}^{-1}$), 表明器件仍有激活能潜力。

Table 2 The comparison of the saturation gain coefficients $G(10^{-3}\text{cm}^{-1})$ at some important positions X in the cavities folded along two directions

folded direction	forther (or lower) piece		latter (or upper) piece	
	initial entrance value (maximum)	the minimum value (near the exit)	initial entrance value (maximum)	the minimum value (near the exit)
along hight	4.30	2.63	4.30	2.67
along flow	4.30	2.84	3.25	2.24

三、使用原器件的全部高度,沿流动方向折叠的腔体

为了挖掘原器件激活能潜力,使用该器件的全部高度,设计了一个镜面为原有腔体4倍的,沿流动方向折叠的腔体(即将图2的尺寸在高度和流动方向各放大一倍,镜面覆盖面积为 $2 \times 17.8 \times 17.8 \text{cm}^2$,仍取几何耦合度为60%的沿流动方向折叠的三折正支共焦不稳定腔)。

计算结果表明:输出光束的模式仍基本上不变如图4所示,但输出功率竟达135kW,与后来了解到的该器件的最大输出功率相符,输出功率和效率都提高到了原有沿高度方向折叠的较小腔体(仅为1/4)的~4.5倍之多。这是由于充分利用了整个器件高度范围内的激活介质(是原Z型折叠腔的4倍),而且,此时饱和增益的最低值也已降至 $\approx 1.15 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$,说明有更多的激活能量转变为光辐射能,而使介质的激活能得到更为充分的利用,随激活介质流走的残留激活能量减少较多,由图4还可看到腔内前、后片输出面半高线上辐射能量密度 I_2 达到 $\approx 1.1 \times 10^3 \text{W/cm}^2$,比图1中的最高值还略高,表明由于腔体增大而使器件边缘泄漏的能量也有所减少。这些正是输出功率比图1腔体的4倍还多的原因,进一步显著地反映出沿流动方向折叠腔的优越性。

即使如此,由图4还可看到:当介质流出光腔,辐射能量密度骤降后,饱和增益仍然稍有回升,表明流走的介质中仍有激活潜力。

这些都具体表明:沿流动方向折叠的腔体有明显的优越性,而且设计流动气体激光器的高效腔体,还需计及在一定流速下,器件的高度和沿流动方向的长度的适当比例。

本文仅具体给出了一台气动激光器的情况,对于其他的高速流动气体激光器,还需考虑激活介质的不同特性,腔内可能的其他泵浦因素和介质的不同流速等的影响,但本文所给沿流动气体激光器参考。本文计算还假定了在整个腔体范围内激活介质流场的均匀性,若因流场不均匀而造成饱和增益沿流动方向过快衰减,将显示出可能缩短沿流动方向折叠区的长度。

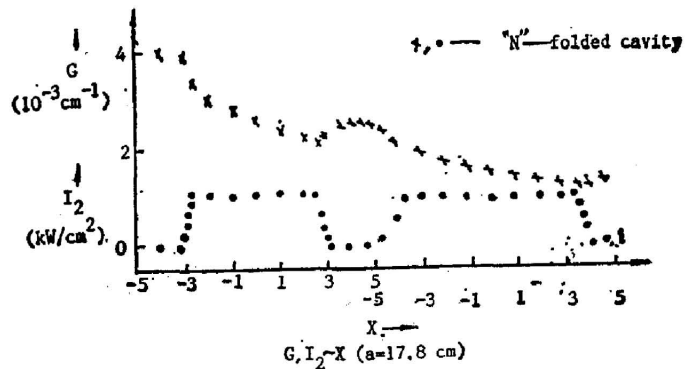


Fig. 4

参 考 文 献

- [1] 吴中祥;《物理学报》, 1979, **28**, No. 3 (Mar), 426~429。
吴中祥;《物理学报》, 1980, **29**, No. 3 (Mar), 380~382, 392~394。
- [2] E. V. Locke *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1971, **QE-7**, No. 12 (Dec), 581~583。
E. V. Locke *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1972, **QE-8**, No. 3 (Mar), 389。
- [3] D. B. Rensch; *Appl. Opt.*, 1974, **3**, No. 11 (Nov), 2546~2561。
- [4] 吴中祥, 严海星;《中国激光》, 1980, **7**, No. 3 (Mar), 5~8。

The superiority of laser cavity folded along flow direction

WU ZHONGXIANG

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

(Received 14 November 1988; revised 1 June 1989)

Abstract

The 3-dimensional radiation field distributions, saturated gain distributions, output powers and efficiencies in various cavities of gas dynamic laser are analysed by simulating calculation and comparison. The results predict the superiority of laser cavities folded along flow direction. The essential laws are applicable to other kinds of high speed flow gas lasers.

Key words: gas dynamic laser; folded cavity; radiation field distribution; saturated gain distribution.