

放大自发辐射及辐射特性的甄别

陈 建 文

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文讨论了甄别辐射特性的三种方法:相干性、辐射谱分布和侧向荧光凹陷法,并对三种方法作了评述。

Amplified spontaneous emission and discrimination of radiative spectral characteristics

Chen Jianwen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: Three methods for discriminating the radiative spectral characteristics are discussed which use the coherence, distribution of radiative spectrum as well as a dip in the side light spontaneous emission.

一、概 述

六十年代初期,人们已经形成了一种概念,激光器是由工作介质、泵浦源及含有两块反射镜的共振腔构成的。1963年, Bloom^[1]在脉冲 He-Ne 激光器中首先获得了无腔镜的 3.39 微米激光输出。这个发现,无疑对后来无腔镜短波长激光器的发展奠定了基础。但在激光领域里也引起了一些语义上的混乱,即将这种无腔高增益系统的定向强辐射与 Dicke^[2] 所定义的术语“超辐射”相混。

Dicke 所定义的超辐射是一种相干自发辐射,用相干光激励造成粒子数反转,由于自发跃迁几率很大,激发态粒子几乎同时发生自发跃迁,形成相干辐射,但并不是受激辐

射。

无腔镜的定向辐射,是由于工作介质增益很高,不需要采用反馈措施来增长光子在介质内的寿命便可产生激射,这是一种自发辐射行波放大过程中的受激辐射,与有腔镜的辐射并无本质区别。1970年, Allen 和 Peters 发表了一系列文章,对无腔镜的阈值条件、饱和功率密度、相干性、发散角及光谱特性作了详细的阐述,并将这种辐射定义为放大自发辐射,亦称“超荧光”。

由于自发辐射系数 A 与受激辐射系数 B 的比值为波长的函数,即:

$$A_{21}/B_{21} = 8\pi h \nu^3 / c^3$$

显然,波长越短,或频率越高,比值越大。因此,人们预料,像紫外、真空紫外及 X 光等短

收稿日期:1982年3月9日。

波长激光器,将以放大自发辐射方式工作。已经发现在一些放大自发辐射体系中,由于极强的泵浦,辐射出很强的荧光谱线,一些激射体系,可能是激光与荧光混杂在一起。这样,对于甄别是自发辐射还是受激辐射,就显得非常必要。

二、辐射特性的甄别方法

对于带腔镜激光器,辐射特性的甄别技术已基本成熟。通常是这样判别:首先在工作介质两端加上腔镜,使在高 Q 值下产生振荡辐射,然后将腔镜调斜,先后拍摄两种情况下的光谱。显然,第一次摄得的是很强的谱线,第二次是减弱或消失了的谱线。再将这些线用单色计、光电管和示波器拍摄时谱,若观察到强而窄的脉冲,则可肯定为激光线。

无腔镜放大自发辐射体系在一定波长范围内(例如波长大于 1000 \AA),在一定条件下可以转变为带腔镜激射体系。

无腔镜激光器的阈值条件为^[3]:

$$n_c = \frac{8\pi \Delta\nu_D t_{\text{自发}}}{L\lambda^2\phi}$$

式中 $\Delta\nu_D$ 为多普勒线宽; $t_{\text{自发}}$ 为激发态寿命; λ 为辐射波长; ϕ 为分支比; L 为工作介质长度。从上式可以看出,对于给定的临界反转粒子数密度 n_c ,可以确定一临界长度 L_c :

$$L_c = \frac{8\pi \Delta\nu_D t_{\text{自发}}}{n_c \lambda^2 \phi}$$

这样,无腔镜系统的阈值条件,也可用临界长度来表征。因此,只要将工作介质长度缩短到临界阈值长度 L_c 以下,然后加腔镜,就可按上述方法进行甄别。

根据辐射的以下特性,亦可进行甄别,并且这种做法还具有普遍性(即不管是带腔镜或无腔镜)。

1. 相干性

激光与荧光的重要区别在于前者具有较好的相干性,超荧光居于两者之间。这是因为放大自发辐射,高能态的寿命不仅取决于

自发辐射的影响,而且还和自发跃迁几率有关,因此,要部分地保留荧光特性。

在激光器出现初期,曾普遍地采用杨氏双缝实验和迈克尔逊干涉仪测试空间相干性和时间相干性,以判别受激辐射还是自发辐射。虽然,用相干性来甄别辐射特性并不十分充分,迄今也没有严格的界限和严密的定义用相干度来区分激光、超荧光和荧光。但我们认为,可以通过一些实验条件的变更,从检测到的相干性作为初步判断的依据。

在具有谐振腔的激光器中,辐射的相干性是由振荡模式决定的,通过限模可以提高辐射的相干性。放大自发辐射无模式结构,但通过增长工作介质可以提高辐射的相干性。若是自发辐射,显然变更实验条件,相干性并无变化,据此可以甄别辐射特性。

2. 光谱分布

激光与荧光的另一个区别是,激光的谱线宽度更窄。当然,这是有条件的。

对于均匀加宽的谱线,所有粒子都具有同样的增益线型,但增益线型是非线性的。激射总是从增益最高处开始,并得到愈来愈大的放大,其它频率则被抑制,因此辐射谱线变窄。

对于非均匀加宽,例如多普勒加宽,当中心部分激射以后,这部分的粒子数将减少,而其余部分变化不大,因此,只有在阈值附近,才使谱线明显变窄。超阈值运转以后,会引起谱线加宽。当增益饱和以后,线宽会大于自发辐射线宽。

上述现象在带腔镜和无腔镜系统中皆已观察到。当然和相干性一样,迄今没有一个标准供甄别用,只是以阈值附近辐射谱宽相互比较予以甄别。

3. 利用侧面荧光凹陷现象作判据^[4]

自发辐射产生的荧光,在空间 4π 立体角范围内均匀分布。受激辐射则与上述情况截然不同,在放大自发辐射系统内,自发辐射行波放大过程中的受激辐射占绝对优势,光

氦-氖激光器阴极的扫描电镜分析

Abstract: Experimental analysis on the Al cathode of a He-Ne laser using a scanning electron microscope is described and the main results have been obtained. The relationship between the properties of the He-Ne laser and the cold cathode-materials, defects, pits, etching and other surface finishing is analysed. Over 20 pictures are presented.

氦-氖激光器阴极表面状态对于激光器的使用寿命、输出功率稳定性、激光噪声等参量影响很大。使用金相显微镜观察阴极表面,因放大倍数较低,不能连续调节,往往难于作出判断。扫描电子显微镜的鉴别能力高,景深度大,可以连续观察各种放大倍数的表面形态。我们从1979年2月至1981年9月,选择各种典型的激光管的铝阴极,制成百余样品,使用我校分析中心的扫描电子显微镜,进行了仔细的观察,积累电镜照片上千张。现将已获得的某些规律性结果报导如下。

一、判断阴极表面质量

目测阴极如见任何细微斑痕,用扫描电镜都可

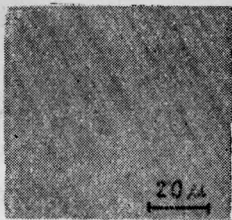


图1 良好的辗压高纯铝表面结构图



图2 良好的挤压纯铝表面结构图

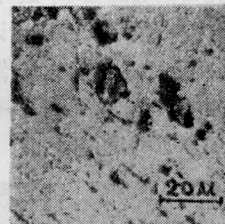


图3 不干净的挤压纯铝表面(原材料)

以看出极复杂的结构。在金相显微镜中看不出明显差异的样品,用电镜则可看出十分清楚的差别。

大量电镜照片表明,制造长寿命氦-氖激光器的

子已不再各向同性分配,表现为在轴向具有很强的受激辐射,而侧向同一谱线的自发辐射非常弱,这个现象称之为侧面荧光凹陷。显然,我们只要拍摄侧向和轴向辐射谱,根据谱线的相对强度的比较,就可作出甄别。

以上仅对一些主要甄别技术作了介绍,对于象测试光束发散角等其他方法就不一一

列举了。

参 考 文 献

- [1] A. L. Bloom *et al.*; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, 14.
- [2] R. H. Dicke; *Phys. Rev.*, 1954, **93**, 99.
- [3] L. Allen, G. J. Peters; *Phys. Lett.*, 1970, **31A**, 95; *J. Phys. A: Gen. Phys.*, 1971, **4**, 238; 377; 564; 546.
- [4] P. W. Hoff *et al.*; *Opt. Commun.*, 1973, **8**, 128.