

He-Ne 激光器失效机理的探讨

罗宗南 郁继荣 杨正名 钟 媛

(南京工学院)

提要: 工作气体在寿命期间的变化不是 He-Ne 激光器失效的主要原因, 决定的因素是镜膜的损伤与沾污。

Study of failure mechanism of He-Ne lasers

Luo Zhongnan, Yu Jirong, Yang Zhengming, Zhong Yuan

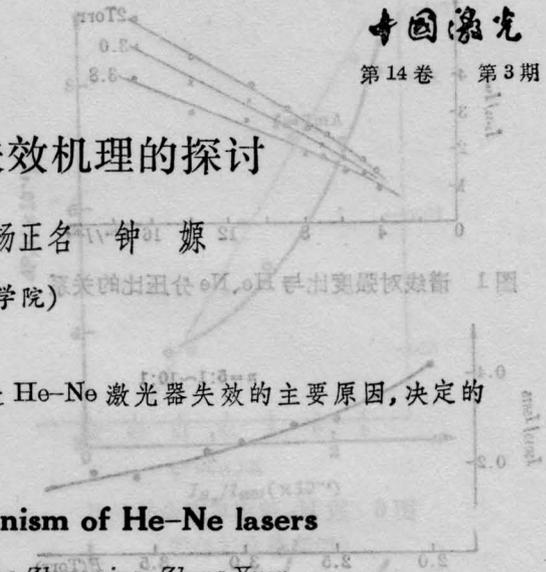
(Nanjing Institute of Technology, Nanjing)

Abstract: The failure of He-Ne laser is not due to the change of operating gas during the span of He-Ne laser. The decisive factor is the damage and contamination of mirrors.

一、引言

八十年代以前, 国内外关于 He-Ne 激光器失效机理的看法可以概括为: 工作气体的放电清除和 He 的渗漏; 窗口粘结剂的放气和慢性漏气; 玻璃和电极材料放出的杂质气体; 谐振腔形变等四个方面, 并倾向于杂质气体的影响是主要的, 而杂质气体中影响最为严重的是氢, 当其含量为 10^{-2} Torr 时, 可导致激光功率猝灭^[1,2]。[3] 则认为器件寿命主要是受管内工作气体的掺杂所限制^[3]。而 Oakes 等则认为失效主要是 He 的渗漏^[4]。本文以充分的实验证明: 工作气体清除和 He 的渗漏不是影响寿命的主要原因。环氧放气, 特别是放出的氢气, 对激光输出有明显的影

响。但是, 由于杂质气体分压强的增高而使激光猝灭应属于早期失效和存放失效。对于工艺正常的 He-Ne 管, 管内氢的分压强极



低, 对激光输出的影响可以忽略。主要原因是反射镜膜的损坏和沾污, 而管内微量的氢, 在放电过程中对镜片的损伤和沾污有直接的影响。

二、工作气体在工作期间的变化

要了解工作气体组分和总压强在寿命期间的变化及其对输出功率的影响, 主要的困难在于寻找一个可靠的诊断方法。通过大量的筛选, 我们发现 He、Ne 光谱的某些谱线对的强度比对 He、Ne 组分比十分敏感, 而随总压强的变化不大, 见图 1。实验表明, 当分压比从 3:1 变到 17:1 时, 线对强度比 I_{5015}/I_{5875} 随总气压变化的曲线不发生明显的离散, 见图 2。利用这两组曲线可以相当准确地测定腔长 250 mm He-Ne 管中的分压比及总气压。

收稿日期: 1986 年 1 月 13 日。

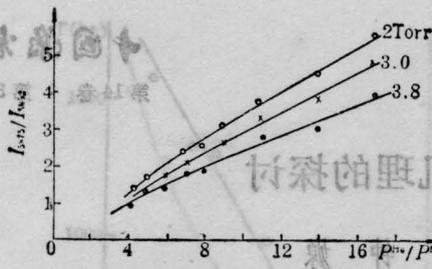


图1 谱线对强度比与 He、Ne 分压比的关系

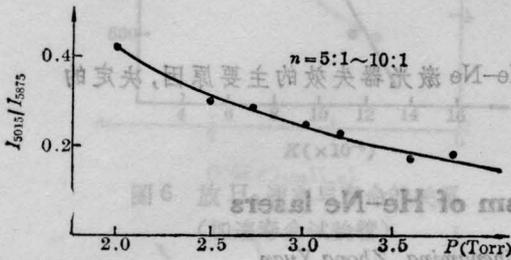


图2 线对强度比与总气压的关系

实验结果表明,在 6 mA 工作电流下点燃了 11560 小时和 14118 小时,激光管内分压比和总气压变化甚微;在 10 mA 的放电电流下点燃了 6000 小时后,功率虽已下降到初始值的一半,而气压和分压比也没有明显的变化;激光器在 20 mA 的大电流下经过 2000 小时的点燃,激光功率下降到半功率点以下,而工作气体亦无大的变化。由此可见,在不同的工作电流下,经过长时间的点燃,管内气体的变化是很微小的。与此同时,激光功率的下降则随着工作电流的加大而明显加快。这表明激光功率的下降主要并不是由工作气体的变化引起的。

为了进一步证明这个结论,我们仔细研究了激光功率与总气压及气体成分比的关系,结果表明,总气压和组分比在最佳值附近很宽范围内变化时激光功率变化并不大。显然,总气压和成分比在使用期间的微小变化是不会导致激光器失效的。为了进一步肯定气体的变化不是器件失效的原因,我们将一批长期点燃后失效的管子小心地排换气体,发现并不能使激光功率得到恢复。

三、关于 Oakes 的实验

Oakes 渗 He 修复 He-Ne 激光器的报道^[4],只简单提到一只放电正常而无激光输出的管子,在一个大气压的 He 容器内放置一天就开始出光。放置几天以后就可以正常工作。功率恢复的具体数据并没有说明。为了验证 He 的渗漏是否会造成激光器失效,我们把四只失效的激光器放到四个大气压的氦容器中,测定管内气体分压比随时间的变化,结果如图 3 所示。由图可见,在四个大气压的压差下,经过 360 小时,He 的渗透量并不明显。为了进一步确定该条件下的渗 He 速率,我们在激光管的玻壳上接一只皮氏计,测量渗 He 情况。结果表明,每 48 小时管内气压的变化约为 0.4×10^{-2} Torr。考虑到一般激光管中 He 的压差(对大气)比四个大气压要小得多,故 He 从管内向外渗漏的速率比这要慢得多。按照这样慢的速率粗略估算一下,大约要经过十几万小时才会明显影响到激光输出。这就很难设想在一个大气压下,经过一天就会使激光功率得到恢复。最后,我们用两支输出功率明显下降的激光管进行渗 He 试验。结果如图 4 所示。由图可见,在四个大气压的 He 中,经过几百小时,并没有使激光功率得到提高。

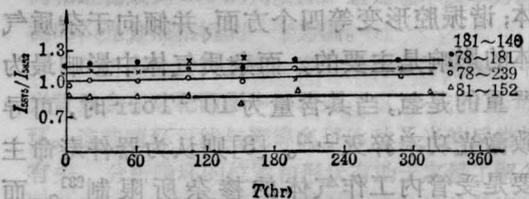


图3 谱线强度比随时间的变化

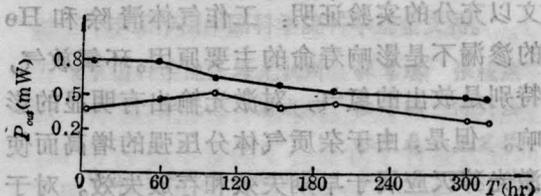


图4 渗 He 试验中功率的变化

在渗 He 实验中,我们发现利用渗 He 能很快发现慢性漏气的管子。慢性漏气管经过一个多月,放电仍然正常,但通过渗 He 试验,两天就发现了明显的漏气。可见用渗 He 来检查慢性漏气的管子在工艺上是可能的。

四、微量 H₂ 对 He-Ne 激光器

寿命的影响

工作正常的 He-Ne 激光器,管内微量 H₂ 的分压强用一般的手段是很难测到的。微量的 H₂ 对激光功率的影响可以忽略,但会影响激光器的寿命吗?为了弄清这个问题,我们用美国 PAR 公司的 Model 1109 光子计数器(光电倍增管冷却到 -20°C,信噪比不低于 5)研究了微量 H₂ 对激光器寿命的影响。

首先我们测定了管内含 H₂ 量对功率下降速率(平均值)的影响。我们在 7mA、10mA、15mA 三种应力条件下进行测试,结果如图 5 所示。图中用 I_{Ha}/I_{6532} 表示 H₂ 的相对含量,当这一比值为 10⁻⁴ 量级时,用外推法可以估算出 H₂ 的分压强为 10⁻⁶ Torr 量级。功率下降速率是指单位时间内功率下降量的平均值,单位为 mW/小时。由曲线可以看出一个明显的趋势,即在三种应力条件下,功率下降速率都随着 H₂ 的含量增加而显著增加,也随着电流的加大而加快。尽管 H₂ 的含量在 10⁻⁶~10⁻⁷ Torr 量级的范围内,对实时激光功率的影响可以忽略,但对寿命都有明显的影响。

其次,我们测定了失效 He-Ne 管的放氢速率,然后和它们的寿命进行对照,其结果如图 6 所示。图中放氢速率 K 是在 1200 小时内 I_{Ha}/I_{6510} 的上升速率。由曲线可见,放氢速率越大,管子寿命越短。这充分证明了管内放氢速率对激光器寿命有直接的影响。对不同应力条件下寿命终了的管子进行测试,趋势是一致的。这样,我们从两方面证明了管内的微量氢对激光器寿命有直接的影响。

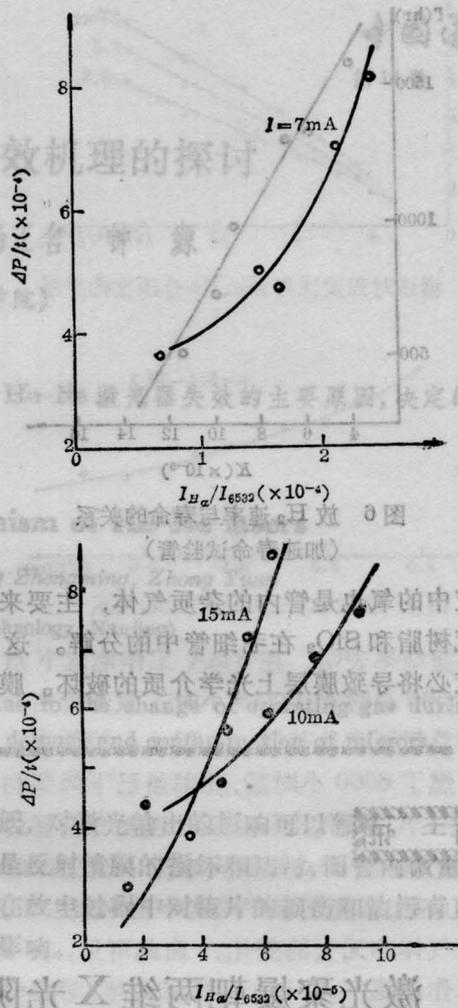
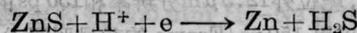


图 5 管内含 H₂ 量与功率下降速率的关系

H₂ 对寿命的影响主要在于:

1. H₂ 在放电中产生的氢离子使阴极表面的氧化铝形成了结构疏松的氢氧化铝,在放电中它容易通过微溅射飞落到镜片上,损坏镜片的光学特性,这已在镜片的扫描电镜分析中得到证实。
2. 通过对膜片的表面分析知道,阴极端的反射膜片上硫的比例在寿命过程中有明显的减少。这是由于 H⁺ 飞向阴极时可能打上膜片,并引起下列过程:



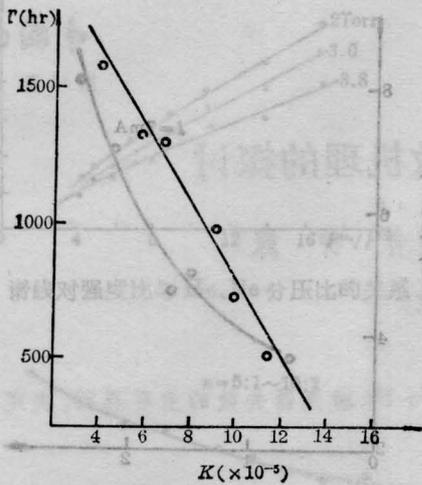


图6 放H₂速率与寿命的关系
(加速寿命试验管)

反应中的氧也是管内的杂质气体,主要来自环氧树脂和SiO₂在毛细管中的分解。这些反应必将导致膜层上光学介质的破坏。膜片

的表面分析表明,硫的价态在寿命过程中逐步从ZnS中价态转化为硫的其他价态,并证明有相当多的ZnO出现。

我们认为,如果能简便而可靠地测定管内的含氢量(直接或间接的),则不用进行费时费电的寿命试验,就能判别管子质量并预估寿命的可能性是存在的。这将是另一种很有意义的预估寿命的途径。

本项研究工作得到了魏先任教授的热情指导。文中第二、三部分的实验分别由李振华和吕萍同志在毕业设计中完成,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 南开大学物理系;《激光》,1978,5, No. 5~6.
- [2] 黄德坚;《激光》,1978,5, No. 5~6.
- [3] 俞瑶金等;《激光》,1978,5, No. 5~6.
- [4] M. E. Oakes; *Am. J. Phys.*, 1977, 45, No. 1.

简 讯

激光聚爆靶两维X光阴影成像物理研究取得新进展

球靶聚爆动力学过程是惯性约束聚变领域最重要的研究课题之一。我们在中国科学院上海光机所高功率激光物理实验室六路装置上发展了一种新型多分幅X光阴影成像技术,研究球靶聚爆物理,初步获得两维空间向心爆聚时间发展过程的信息。

由于技术难度高,目前ps级分幅速率的X光分幅相机研制进展缓慢。1985年最新研制的行波偏转式X光分幅相机达到4分幅,500 ps/Frame的分幅速率,其靶位空间和时间分辨率仅分别达到25 μm和350 ps,尚难于适应两维空间分辨聚爆物理研究之需要。我们采用较为简便的方法实现了X光背景一发打靶4分幅,靶位外12.5 μm分辨率和150 ps的时间分辨率,并采用150 ps/Frame的背景照明分幅速率,基本满足了研究“冷核”两维空间运动发展规律的需求。不过这台装置在各不同时刻观测球靶的方

向相继构成约27°的角度差,这是它不及单方向探测的X光分幅相机的一个方面。

分析实验资料发现,在某些特定打靶条件下X光背景会在球靶阴影中部弱透区形成特殊的晴环。这些晴环可能与靶等离子体对X光的反常折射有关。分析晴环的位置和形状有助于定量了解各探测时刻靶核压缩或畸变的状态。我们的数值模拟已清楚地显示了这种晴环的存在。

本工作由中国科学院科学基金支持。

(中国科学院上海光机所 林尊琪 张桂燕
毕无忌 潘成明 陆海鹤 何兴法
林康春 王笑琴
中国科学院物理研究所 李家明 董琪

1986年11月28日收稿)