

产生激光脉冲序列的放电现象

邱明新 曾永健 周政卓 邵美珍

(上海市激光技术研究所)

提 要

本文研究了氩镉激光中观察到的激光自脉冲调制现象,并测量了它的有关参量。实验发现,激光自脉冲调制与行走辉纹产生的激光噪音有本质区别。文中对激光自脉冲的抑制方法作了初步探讨。

一、引 言

激光脉冲序列有很多实用意义,可应用于光通讯、信息储存和光学测量等方面。转镜、声光或电光调 Q 方法常用于产生激光脉冲序列,但对上能级寿命不长的激活介质,调 Q 方法会引起激光平均功率大大下降。重复放电方法产生的脉冲序列其输出平均功率也很小。最近, Banifacio 等^[1]在理论上分析得出,双稳态在一定条件下会转变成自脉冲态,产生脉冲序列,但其平均功率也显著地降低。

氩镉激光是一种波长较短的连续运转的激光,用金属蒸汽作为工作物质,输出波长 4416 \AA ,有较高的应用价值。吕建华等报道^[2]氩镉激光在金属边界条件下出现深度调制现象,调制度可达100%。调制频率与行走辉纹频率接近,认为这种调制是由于行走辉纹在金属波导中传播引起的。

本文研究了氩镉激光中观察到的激光自脉冲调制现象。测量了其阈值条件、频率特性、电磁波辐射分布、调制度及频率与气压的关系。实验发现:激光自脉冲调制具有振荡的特征频率,对激光的调制是有规则的。而行走辉纹是一种随机波,对激光的调制产生无规噪音,两者有本质上的区别。

二、实验装置

实验采用的氩镉激光器为外腔式。毛细管内径 3 mm ,有效放电长度 150 cm ,谐振腔长度 180 cm ,高反端膜片反射率为99.7%、曲率半径 5 m ;输出端系反射率为93%的平面镜。激光器具有可拆卸的金属铝板外壳,板厚 1 mm ,外壳长 153 cm 、宽 6 cm 、高 5 cm 。激光器放电电流及镉炉加热电流由稳流装置控制,电流稳定度分别为3%及5%。

实验装置如图1所示。激光输出由PIN光电二极管接收。激光调制波形由SR-13型300 MHz双踪

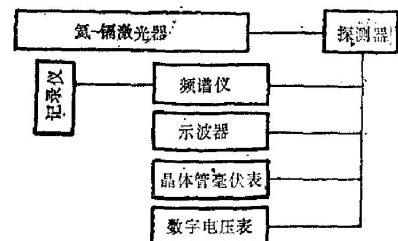


图1 实验装置
Fig. 1 Experimental layout

收稿日期: 1984年6月12日; 收到修改稿日期: 1984年8月6日

示波器显示,并读出其频率。JB-1B型晶体管毫伏表及PZ12a型数字电压表分别检测氦镉激光的广义噪音均方根值及激光平均功率,以求得噪音信号比值。其中广义噪音均方根值为激光调制波的均方根值与其它无规噪音的均方根值之和。噪音频谱用B&K 2010型频谱仪及2305型记录仪扫描记录。工作时有效平均时间为1sec,带通放大器带宽3.16 Hz,扫描频率用线性坐标,噪音幅值用对数坐标。

三、实验结果

1. 激光自调制的波形、频谱和噪音比

图2给出了在氦气压为3.7 Torr时,对应于不同放电电流,激光输出被调制的波形及激光噪音频谱。当放电电流 I 为90 mA时,开始出现正弦波波形的调制,如图2(a)所示。其频谱在62 kHz处有一个明显的调制波频率主峰,且在其二次谐波125 kHz处,也有一个很小的次峰。这时广义噪音均方根值与激光平均功率比值为5%。当放电电流 I 增大到100 mA,波形的调制度加大,如图2(b)所示。频谱主峰及二次谐波次峰已分别移到65 kHz

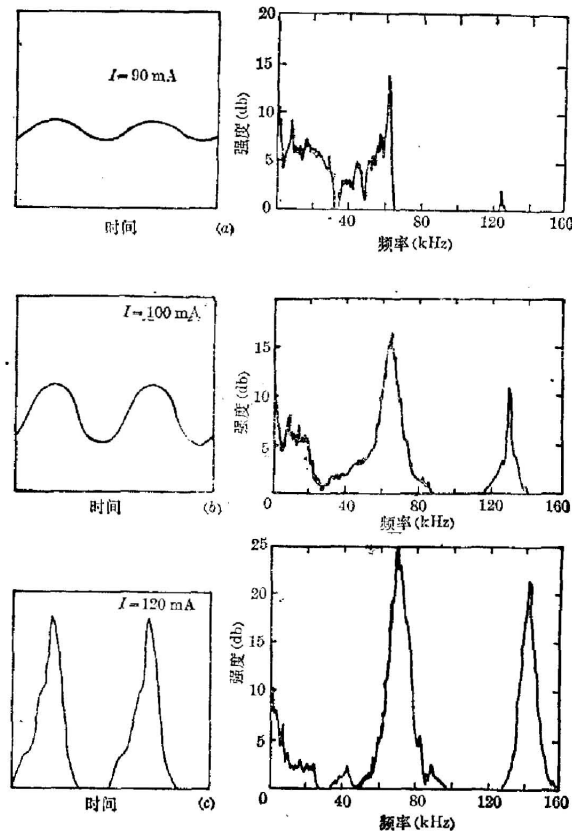


图2 激光自调制波形(左)和频谱(右)
(氦气压 $P_{\text{He}}=3.7$ Torr, 镉炉加热电流 $I_{\text{Cd}}=0.97$ A)

Fig. 2 Waveform(left) and spectra (right) of LSPM
(Helium pressure $P_{\text{He}}=3.7$ Torr, heating current of cadmium oven $I_{\text{Cd}}=0.97$ A)

及 130 kHz; 二次谐波幅值比图 2(a) 中明显增大; 调制波形略有畸变; 广义噪音比值增大至 15%。当放电电流增大至 120 mA 时, 激光调制波形畸变更明显, 波形下半部分被削波, 如图 2(c) 所示。频谱中二次谐波峰的相对幅值进一步增大。主峰及二次谐波峰频率移至 70 kHz 及 140 kHz。广义噪音比值达 90%。此时, 连续激光已转变成重复的激光脉冲序列。

2. 激光自调制频率与氦气压的关系

实验观察到, 激光自调制频率随氦气压的变化而改变, 两者关系如图 3 所示。测定时, 氦镉激光器的镉炉加热电流为 0.97 A, 放电电流为 90 mA。随着氦气压由 2.5 Torr 增大到 6.5 Torr, 激光自调制频率从 72 kHz 下降至 51 kHz。

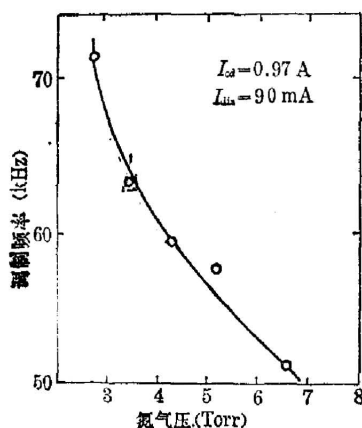


图 3 调制频率与氦气压的关系

Fig. 3 Dependence of modulation frequency on helium pressure

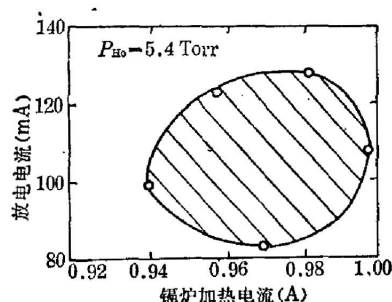


图 4 在放电电流及镉炉加热电流坐标中的自调制区(阴影部分)

Fig. 4 LSPM region (shaded part) in the coordinate of discharge current and heating current of cadmium oven

3. 自调制出现的阈值

实验观察到激光自调制存在阈值。阈值与激光器的放电参数特别是镉浓度有关, 氦气压以及放电电流也对阈值有影响。图 4 是氦气压为 5.4 Torr 时, 以镉炉加热电流及放电电流为坐标给出的氦镉激光自调制区。当镉炉加热电流小于 0.94 A 时, 不出现自调制现象。

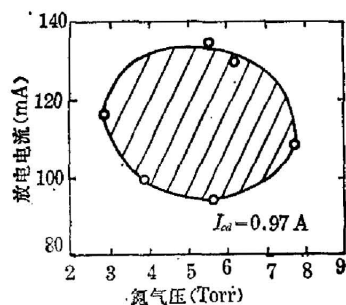


图 5 在氦气压及放电电流坐标中的自调制区(阴影部份)

Fig. 5 LSPM zone (shaded part) depending on helium pressure and discharge current

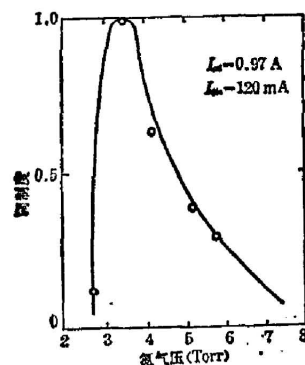


图 6 调制深度与氦气压的关系

Fig. 6 Modulation depth vs helium pressure

随着镉炉加热电流升高,能观察到自调制现象的放电电流范围增大,但镉炉加热电流过大时,由于镉浓度过高,使激光作用停止。

固定镉炉加热电流为 0.97 A 时,在氦气压和放电电流坐标中也存在自调制区,如图 5 所示。

4. 自调制对氦气压及放电电流的依赖

图 6 是在镉炉加热电流为 0.97 A,放电电流为 120 mA 时激光功率调制度与氦气压的关系。当氦气压低于 2.7 Torr 或大于 7.5 Torr 时,由于激光作用停止,不出现调制现象。

在激光器放电电路的阳极接地端串联一个小电阻,用双踪示波器对电流波形与激光波形作了比较。在激光波形被浅调制或中度调制时,电流波形仅存在 1.2 MHz 规则的调制信号及 200 kHz 的包络,如图 7(a) 所示,没有观察到 62 kHz 的调制波。当放电电流及镉浓度增加至出现图 2(c) 的自脉冲调制时,可观察到放电电流被以 62 kHz 频率调制的波形,频率与激光调制频率相同,如图 7(b) 所示。放电电流波形比激光调制波形超前 $4 \mu\text{s}$ 。

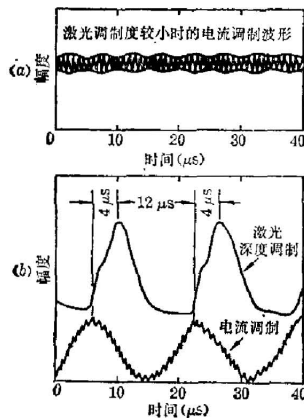


图 7 激光功率和放电电流的调制波形
Fig. 7 Modulation waveforms of laser power and discharge current

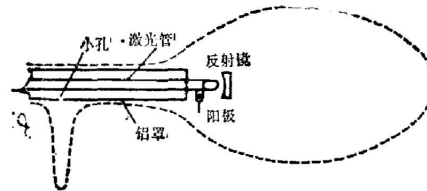


图 8 激光自调制时铝罩附近电磁场强度分布(图中虚线离放电管的距离表示电磁辐射强度的相对值)
Fig. 8 Intensity distribution of electromagnetic field near the aluminum shield (the distance from the dashed line to the shield indicates relative intensity)

5. 电磁波辐射特性

用输入阻抗为 $60 \text{ k}\Omega$ 的探头探测了激光管附近的电磁波辐射强度分布。信号通过传输线输入毫伏表与示波器,测量辐射强度和频率。

测量时放电管四周装有铝板屏蔽罩,激光管同轴地位于铝罩的中部,罩壳两端开口,激光自调制出现时,在铝罩两端探测到较强的电磁波辐射,信号达 1 V 以上,其频率与激光调制频率相同。铝罩的侧面辐射信号较弱,一般小于 100 mV。在铝罩边上开一小孔时,小孔附近的辐射信号可达 400 mV,辐射强度分布如图 8 所示。铝罩两端的电磁辐射强度分布基本对称。

将铝罩的一面用石棉水泥板代替后,激光功率仍被调制,调制度可达 100%,这一结果与文献[2]的结果不同。由于辐射和衍射,在整个罩子外均探测到 300~400 mV 的电磁信号,表明三壁为铝板的罩内电磁场强度有所减弱。

在无任何罩壳时,激光自调制现象消失,但亦能探测到放电管周围有弱的电磁辐射存在,辐射强度为存在铝罩时 $10^3 \sim 10^4$ 分之一。

四、讨 论

激光自调现象是激光受规则相位的波动调制或脉冲调制而非噪音调制。这一现象存在阈值,且需要金属屏蔽罩才能产生。

出现激光自调制时,激光管辐射的电磁波波长约 5 km 。激光管远小于这一长度,因此可以认为整个放电区中的电磁场处于同一相位,在电磁场的作用下,整个放电等离子体的电子温度以及电离率受到调制,使激光增益产生周期性的变化,如图 9 所示。图中 g 为激光增益, α 为腔损耗, T 为输出耦合率。当 $g > \alpha + T$ 时,出现激光输出,在 $g \leq \alpha + T$ 时,无激光输出。若电磁场幅值较小,激光增益波动幅值较小,整个激光增益在任何时间均大于 $\alpha + T$ 时,出现正弦波激光调制;若电磁场幅值较大时,激光增益波动较大,就出现调制波形畸变,产生脉冲激光输出。

这样,氦镉激光器有两种输出方式。在一般运行条件下,输出连续激光;在有金属边界的条件下,可产生自调制现象,输出脉冲激光序列。这可使氦镉激光器的应用扩大。自调制现象也有可能其它金属蒸气激光器上观察到。

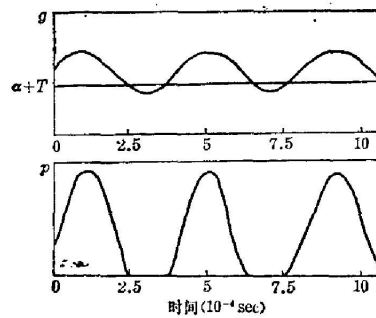


图 9 增益的时间变化引起激光输出的调制波形

Fig. 9 Discontinuous laser output power corresponding to the variation of the gain with time

参加本实验工作的还有曲世圃同志。

本文工作得到氦镉激光组金国江,许达文等同志在实验设备上的支持,特表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. Banifacio *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **30**, No. 1 (Jul), 129.
- [2] 吕建华等;《光学学报》, 1983, **3**, No. 7 (Oct), 609.
- [3] T. F. Johnston Jr. *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1976, **QE-12**, No. 8 (Aug), 482.
- [4] T. Suzuki;《应用物理》, 1978, **47**, No. 11 (Nov), 1046.
- [5] M. S. Chiu *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**, No. 3 (Mar), 1797.

Generation of laser pulse sequence with discharge

QIU MINGXIN ZHEN YONGJIAN ZHOU ZHENGZHUO AND SHAO MEIZHEN
(*Shanghai Institute of Laser Technology*)

(Received 12 June 1984; revised 6 August 1984)

Abstract

The laser self-ulsing modulation (LSPM) has been observed in He-Cd laser and the paramaters related to this phenomenon have been measured. The LSPM has been found to be intrinsically different from the laser noise caused by the moving striation. The suppression of the LSPM is briefly discussed.

(上接 378 页)

六十年代初期,郑一善教授在华东师范大学物理系组建光学教研室,并主持了室工作,从事光学与分子光谱学的教学和科研。随后,逐步开展了分子光谱学、高分辨率激光光谱学、激光大气传输特性和大气测污及监控等方面的研究工作。其中有三个项目已取得中国科学院科学基金的资助,两个项目获得上海市科委的资助金。

近年来,郑一善教授不仅自己在有关杂志上发表了多篇评述性论文,而且还与中、青年教师通力合作,写出了学术水平较高的论文多篇,或分别发表在国内、外有影响的杂志上,如中国的《光学学报》、《中国激光》(曾名《激光》)、《华东师范大学学报》(自然科学版)等和美国的《激光通讯》等;或被国际及国内的专业会议录用,如在“国际激光会议”和“分子光谱学专题讨论年会”等会议上宣读。

1976年后,郑一善教授积极从事培养研究生的工作,主讲了“近代分子光谱学”、“分子光谱与分子结构”等课程,至今已培养出十多名研究“激光光谱学”和“近代分子光谱学”两个方向的研究生,为国家建设事业输送了“光学”和“光谱学”方面的急需人才。

郑一善教授以平易近人,治学严谨的风尚,赢得了光学界同仁的赞誉。他一方面不辞辛劳地指导室内中、青年教师的教学、科研和进修工作;另一方面积极与国外高水平的大学联系,近年来选送多名中、青年教师出国进修(已有7人回国)。不仅如此,他还与1981年度物理学诺贝尔奖金获得者、美国斯坦福大学肖洛(A. L. Schawlow)教授联系,聘请肖洛教授为华东师范大学名誉教授,并邀请肖洛教授两度(1979年、1984年)来华讲学,使室内成员与全国派来听讲的学者受益非浅。

1982年6月,郑一善教授应邀出席了在美国召开的“第37届分子光谱学专题讨论年会”。作为大会特邀的六个发言人之一,他作了有关华东师范大学在光谱学方面研究成果的报告,报告受到与会者的高度重视。会后,他应邀访问了斯坦福大学,与肖洛教授洽谈了有关科研协作的问题。此外,他还参观了一些美国的其它大学,为中国光学事业加强在国际间的交流、协作,为中国光学事业赶超世界先进水平,创造了条件。

(王祖康 沈士璠)