

脉冲氩离子激光及其在 “超声全息”中的应用

吴直江 吴立丹 张懋弧 谢世栋

(中国科学院上海细胞生物学研究所)

提要: 对通常的玻璃壳连续氩离子激光器采用维弧激励二步法, 可以获得寿命长、效率高的脉冲氩离子激光。磁场是脉冲氩离子激光提高功率输出的重要条件。脉冲氩离子激光用于液面法声全息提高了动态声全息的成象质量。

Pulsed argon ion laser and its application to acoustical holography

Wu Zhijiang, Wu Lidan, Zhang Maohu, Xie Shidong

(Shanghai Institute of Cell Biology, Academia Sinica)

Abstract: By using a two-step arc sustaining technique to excite an ordinary continuous argon ion laser made of glass, a high efficient pulsed argon laser of very long life-time can be obtained. The strong magnetic field required for the excitation of an argon ion laser is of fundamental importance. The pulsed argon laser thus obtained is used as a reconstruction light source for liquid surface acoustical holography, resulting in a greatly improved image quality.

一、前 言

为了获得经济、实用及有一定脉冲激光功率输出的氩离子激光器件, 我们对小型玻璃壳准连续氩离子激光器(南京工学院)进行脉冲激励调制, 并且获得了符合要求的脉冲氩离子激光。

液面法超声全息显象应用脉冲激光是重要的。由于二束相干的超声波在液面干涉而获得声全息图, 需要以相干光源照明声全息图, 以重现出声全息象。然而, 使用脉冲超声波可以形成最佳的、高信息含量的声全息图。这是一幅动态的声全息图。如果以连续激光

照明, 其作用结果仅是声脉冲期间的平均效应, 在声脉冲的作用期间液面声全息图有建立、维持与消隐三个过程, 故采用光脉冲“询问”液面是获得较佳成象的重要条件。采用连续激光来照明脉冲声全息图, 就能量而言, 连续激光有一种不必要的光能剩余, 因为光能仅在声脉冲作用期间才是有效的, 并且也不能获得明显的带通滤波效应。

因此液面超声全息应用脉冲氩离子激光较为合适, 可以获得高峰值功率、高重复频率以及窄脉冲或矩形脉冲, 这有利于提高声象的成象质量, 也更适合于动态声全息图的显示。

收稿日期: 1981年8月17日。

二、脉冲氩离子激光器

1. 脉冲氩离子激光的激励

Ar^+ 激光器工作在脉冲状态下, 可以有二种方法进行脉冲激励^[1]。其一, 直接用高压脉冲电压加到激光器上。这只适合于充以低电压的激光器, 特点是激光的阈值电流较高, 而脉冲电流的极大值有时达数百安培, 因而气体消耗很快, 从而工作寿命往往显得很短, 常需要重新加以排气充气。其二, 在“二步”激励过程的基础上先将 Ar^+ 激光器启辉维弧, 维持工作电流在某一数值上, 然后加上脉冲电压。这时激光的阈值电流比直接高压脉冲法要低得多, 而只需要较低的脉冲电压即可, 这样对于应用就会带来许多的好处。

这里按后一种方式, 设计了一种以“二步”为基础的脉冲氩离子激光器, 获得了输出脉冲峰值功率为 1 瓦, 重复频率 300 赫, 脉冲宽度为 50 微秒的矩形激光脉冲, 正适合于液面法超声全息的应用。

对小型玻璃壳连续氩离子激光器进行脉冲调制是较为理想的。它的特点是体积小、成本低、输出功率大、寿命长、采用水冷却, 激光管的工作气压在 0.1~0.7 托内。

在实验中采用单色分光器, 可以看到七条输出谱线, 如图 1 所示。其中 4880 Å、5145 Å 输出最强, 它们在激光束中能量居主要地位。

2. 脉冲激励电路

脉冲氩离子激光器的激励电路如图 2 所示, 主要是由激光管触发启辉回路、仿真线储能回路、闸流管开关回路、脉冲同步推动回路等所构成。

该电路是依二类气体放电过程设计的。采用仿真线储能以形成矩形电脉冲, 由二只脉冲氩闸流管轮流导通与截止, 可以稳定可靠地供给激光管矩形电脉冲。仿真线的节数直接影响脉冲的宽度与顶部的平坦情况。现

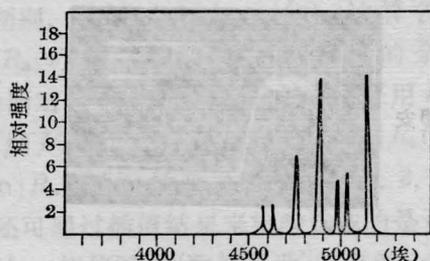


图 1 脉冲氩离子激光器输出谱线

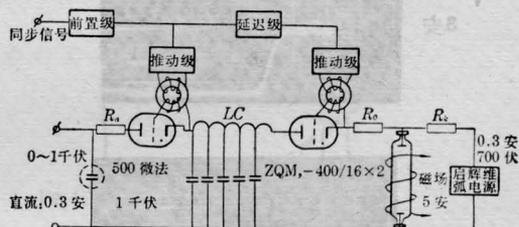


图 2 脉冲氩离子激光器的激励电路

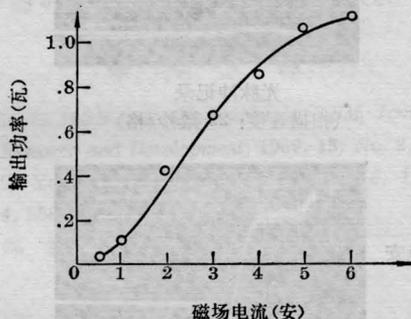
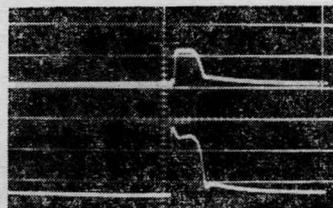
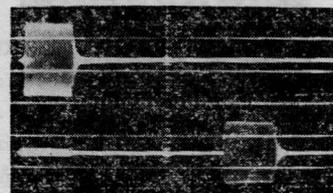


图 3 输出光功率与磁场的关系



输出光脉冲

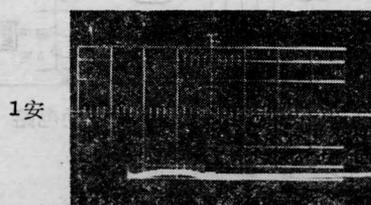
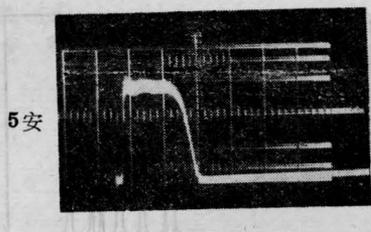
(上线: 激光光脉冲, 下线: 驱动电流脉冲, 扫描速度: 50 微秒/格)



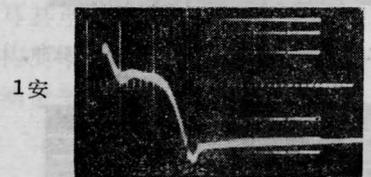
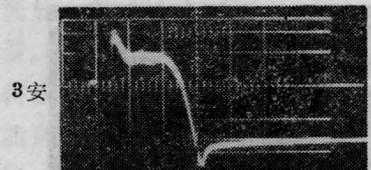
声脉冲

(上线: 物体束超声, 下线: 参考束超声, 扫描速度: 50 微秒/格)

图 4



光脉冲记录
(扫描速度: 20 微秒/格)



电脉冲记录
(扫描速度: 20 微秒/格)

图5 磁场的改变对输出光脉冲功率及波形的影响

在用5节Γ型电路,可以获得较为理想的矩形脉冲波。电路分二步进入正常工作状态,

先由加在激光管二端的启辉电源在启辉触发的作用下立即启辉导通,维持电流在0.3安左右。当接通磁场之后,管内阻即有所降低,维持电流可升达0.4安。第二步即加上阳极电压,并引入同步脉冲,电路立即进入正常的脉冲工作状态,输出脉冲激光。激光管的脉冲电流工作在25~30安左右。

3. 脉冲氩离子激光器的输出分析

① 磁场对输出光功率的影响

在氩离子激光器的管轴方向加上适当的磁场时,发现输出功率有较大的增加,还增长了激光器的使用寿命。

磁场从小开始逐渐增大,激光器的脉冲输出功率也随之而开始增大,在某一定磁场强度附近输出功率趋于饱和,磁场与功率的关系如图3所示。

图4是输出的光脉冲以及声脉冲波形记录。

我们还对光脉冲与激励的电流脉冲作了分析比较(图5)。

② 维持电流对输出的影响

维持启辉电流增大,激光阈值电流将进一步降低,同时发现输出的脉冲光功率有明显的升高,当对另一种即YJN-220小型氩离子激光器作实验时,维持电流对输出脉冲光功率的影响更为明显。

③ 输出光脉冲的波形

储能仿真线配置适当的级数可以获得较为理想的矩形光脉冲,采用Γ形要比Π型好,可以有效地防止光脉冲的起始上冲,使波形近于理想。由于磁场会直接影响激光管的内阻,在适当的磁场下可使仿真线回路保持最佳匹配。

三、脉冲氩离子激光器 在超声全息中的应用

1. 声全息原理及装置

液面法超声全息成象系统分为声学成象

及光学成象二大部分。声学成象系统的图象信息转换成光学图象的信息是依靠一个特殊的液面来完成的。在声路中，一路为物体声束，所需进行透视成象的物体可以放入该声束之中，声路系统中的声透镜将物体及其内部的信息传递到液面上；而另一路声束为与物体声束相干的参考声束，它以 30° 的角度照射到液面，并控制参考声脉冲与物体声脉冲同时到达液面，在液面成象盘的液-空气界面上形成一个干涉图即为声全息图。然而这个干涉图样是以高度变化的浮雕形式的液面出现的。成象的液盘底部有一层仅有几十微米的涤纶薄膜使成象的液面与水槽中的水隔开，这样就防止了水槽中的干扰因素。在光路部分，激光形成具有一定面积的平行光，由液盘上面的光学反射镜照射到液面，再由液面反射出带有调制在高频空间载体上的物体信息光，并在光路的焦点上会聚，在焦平面上衍射成几级衍射光，用空间滤波器(针孔)置于焦平面上，这样，一级衍射光可以从背景的零级光和高级衍射成份中分离出来，由另一光学成象透镜将声全息图象成象在摄象机的靶面上，因而在闭路电视的显示屏上就能够观察到透视的声学图象，并且可以作记录，装置示意图如图 6 所示。

在液面超声全息成象过程中，由于液面的特点，事实上多数成象过程是用声脉冲和光脉冲来完成的^[2]。采用声脉冲可以大大降

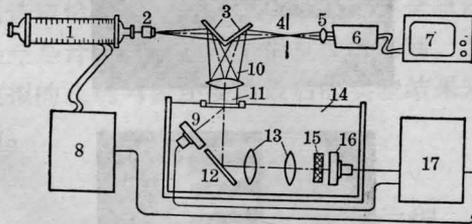


图 6 超声全息总装置示意图

1—脉冲氩激光器；2—显微物镜；3—反射镜；4—滤波器；5—摄像透镜；6—摄像机；7—显示器；8—脉冲氩激光同步激励电源；9—参考换能器；10—光学透镜；11—液盘；12—声反射镜；13—声透镜；14—水槽；15—物体；16—物体束换能器；17—多频脉冲超声发射机

低在液面的平均强度，即液面的 $B/2A$ 比值可大为降低(B 为液面的总隆起, A 为全息的特征量), 有利于成象, 可将液体的流动及骚动问题降低到最低限度, 从而降低了液面不稳定部份的平均高度。在脉冲期间形成声全息波纹, 在二个声脉冲间隔中, 液面可以把扰动衰减成一个光学的平稳液面, 从而达到声学的最佳成象。对液面系统再进行光学“询问”, 所以脉冲氩离子激光作为这样的照明器件更为合适。实验用的脉冲氩离子激光的脉冲宽度为 50 微秒, 重复频率为 300 次/秒, 输

全息衍射



(a)

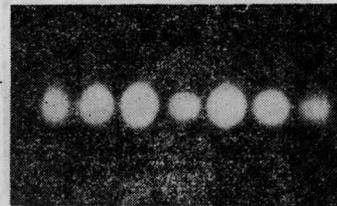
布喇格衍射



(b)

脉冲氩离子激光

全息衍射



(a)

布喇格衍射



(b)

氩-氟激光

图 7 脉冲氩离子激光及氩-氟激光的全息与布喇格衍射级

出脉冲激光峰值功率为1瓦。光脉冲相对于声脉冲经同步及延迟之后照到液面从而可获得声全息的图象。

2. 实验结果

① 脉冲氩离子激光与连续氩-氟激光在衍射成象上有不同的现象。从声全息的衍射级以及声学布喇格衍射可以明显地看到脉冲光的零级相对连续氩-氟激光的零级要小,而且脉冲光的高级衍射成分多,相对亮度高,如图7所示。

此外,脉冲氩离子激光对于显示脉冲多频超声发射消除声场的费涅耳环状背景干扰也是有利的。

② 成象的实验结果(图8~11)

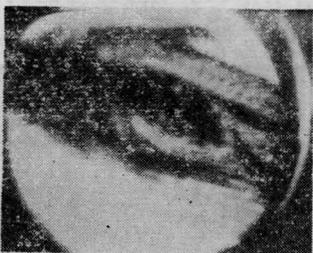


图8 鱼的内部透视(骨骼及鱼鳃)



图9 手掌虎口部位的声全息象(可见不同成象焦面的腱及血管等软组织)



图10 氩-氟激光显示的同一手掌的声全息象

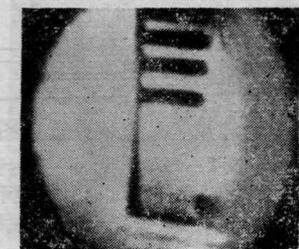


图11 钻孔的有机材料声全息象

(下转第447页)

- [5] R. Burnham; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 48~49.
- [6] C. H. Fisher *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **15**, 26~28.
- [7] W. K. Bischel *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**, 4429.
- [8] D. L. Huestis; *Lasers'80 Dec. 15~19, 1980*, New Orleans, LA.
- [9] C. H. Fisher *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 901~903.
- [10] W. E. Ernst, F. K. Tittel; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, 945~948.
- [11] R. M. Hill *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, 137~139.
- [12] G. Marowsky *et al.*; *Appl. Optics*, 1980, **19**, 138~143.
- [13] D. Kligler *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**, 39~41.
- [14] T. G. Finn *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **34**, 52~55.
- [15] M. Rokni *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 729~731.
- [16] W. E. Ernst, F. K. Tittel; *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, 2432~2435.
- [17] R. A. Klein; Sandia Report SAND, 1979, 79~1659.

.....

(上接第 452 页)

装置能够透视观察生物体内部的软组
织, 以及不透明材料的内部缺陷。图 8 至 11
显示了成象的情况, 另外可见脉冲氩离子激
光的成象有较多的细节及较高的反差, 声全
息作动态的电影记录或磁录象观察效果更为
好。

四、讨 论

脉冲玻璃壳氩离子激光器能够应用于声
全息研究, 在实验中已经使用了一年以上, 至
今输出功率尚未衰落, 恒定冷却水压是保证
激光输出功率不变的关键。超声波工作在 3
兆周, 系统分辨率可达 1 毫米左右。氩离子
激光对光学镜面的要求较高, 如镀铝反射镜

面氧化后, 脉冲氩离子激光的功率损失要比
氩-氟激光严重得多。此外脉冲氩离子激光
器的激励电源较氩-氟复杂, 操作较繁琐些。
脉冲氩离子激光在声学中除了可用于声全
息显象外, 还可以用于斯利伦声场显示研
究。

孙慧芳同志也一起参加本研究工作, 特
别是南京工学院凌一鸣老师为实验提供了激
光管, 江苏师院姜锦虎老师协助联系, 参加联
试实验, 特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 气体激光编写组; 《气体激光》, 上海人民出版社,
1975 年。
- [2] B. P. Hildebrand *et al.*; "An Introduction to
Acoustical Holography", 1972, p. 137.