

“共腔多通道激光器”与“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪”设计中的原理概念问题

——同“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪及其在工程技术中的应用”一文作者商榷

贺安之 阎大鹏

(华东工学院应用物理系, 南京)

摘要: 本文指出“共腔多通道激光器”这一名称本身就不够确切, 各谐振通道并不共腔; 多通路激光输出构成空间分离的面阵光源, 不是时间序列的, 更不存在良好的相干性。用被动染料Q开关和触发同步延迟产生的时空分离的脉冲, 间隔波动很大。本文认为, “序列脉冲激光瞬态全息摄影仪”并没有成功地解决序列脉冲激光瞬态全息摄影中的时间序列高速分幅关键问题, 因而也无法用于定量测试。

The problems of principles and concepts in design of “co-cavity and multipass laser” and “serial pulsed laser instantaneous holography” instrument

—Discussion with the author of paper “Serial pulsed laser instantaneous holography instrument and its application in engineering”

He Anzhi, Yan Dapeng

(Department of Applied Physics, East China Institute of Technology)

Abstract: In this paper, it is pointed out that the name of “co-cavity and multipass laser” is incorrect, all the oscillating cavities are not in co-cavity, surface lattice light sources separated in space from multipass laser are not time serial and not coherent each other, in addition, there is a strong fluctuation between two pulses separated in time and space and produced with passive dye Q-switch and trigger synchronous delay. At the same time, in this paper, it is considered that the key problems of time serial high speed framing have not solved successfully in the “serial pulsed laser instantaneous holography instrument” and quantitative measurement can not be made with it.

一、引 言

序列脉冲激光瞬态全息摄影在国内外都是一个令人关注的问题。自1966年到1968年Brooks等^{1,2}首次获得子弹飞行与穿甲的全息干涉图后,人们进而开始探索对瞬态过程的序列全息摄影,发表了多种实验构思。1970年Lowe M A^[3]提出了转镜式高速全息摄影的方案;1975年Landry⁴提出了用多腔激光器,物光同向照明,参考光编码的方案;1978年Ebeling K J等⁵发表了声光偏转高速全息分幅的方案;1987年任国权等⁶人发表了用具有一定特色的电光偏转分幅全息高速记录方案和实验结果。但至今仅见到四幅时间序列全息干涉图的报道。由于种种原因,如采用参考光编码分幅技术,可分辨幅数少,而且还存在较严重的重复曝光、杂散光干扰等问题,所以全息工作者认为至今仍未成功地解决瞬态过程的序列脉冲全息摄影问题。

无损检测杂志1988年第10卷第2期第1页发表了题为“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪及其在工程技术中的应用”的文章⁷(以下简称“序列”),该文称已成功地解决了序列脉冲全息目前所遇到的这些重大技术难题,细读和分析了“序列”一文,本着百家争鸣促进学术发展的方针,本文就“序列”一文中关于“共腔多通道激光器”,“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪”设计中的物理概念、激光技术原理、全息原理上的问题,发表我们的看法和见解,同“序列”一文作者商榷。

二、“共腔多通道激光器”名称不够确切,各谐振通道并不共腔,各通道输出的激光束并不彼此相干,也不应称为时间序列脉冲

“序列”一文的作者在文中指出:“新系统采用作者研制的共腔多通道激光器,在它的光学谐振腔中,平行地放置了 N 支激光棒,每支激光棒都有一个独立的同步的泵系统。这种同步控制是靠一个 N 通道的泵浦控制器来实现,这样,就可以在一个光学谐振腔中构成 N 个谐振通道,并按一定的规律输出 N 个激光束”。这种“共腔多通道激光器”的原理图如图1所示。从图1可看出,各谐振通道只是在形式上共用了反射镜、染料盒和标准具,而实际上各谐振通道只是由各自的工作物质截面直径所决定的圆柱通道,如图2所示,即由工作物质与其相截交的那部分镜面、标准具、染料盒构成。它们是空间分离,各自独立谐振,相互间不存在模和态的耦合,是多个谐振腔的组合,称作“共腔”是不确切的,故国外称这类设计为“多腔”激光器。

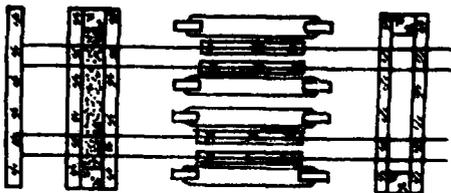


图1 四通道红宝石激光器染料Q开关示意⁷

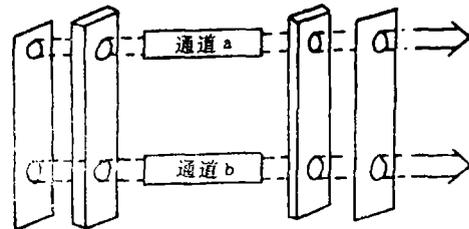


图2 各通道分离工作

“序列”一文的作者还在文中指出一个技术论点与措施:“为了使各通道的激光束具有良好的相干特性,在技术上应保证各谐振通道的光学长度严格相等”。也许该文作者认为按

公式 $v_k = kc/2nL$,只要光学长度 nL 相等,纵模频率就相等了。然而我们知道不同通道的工作物质的增益线宽不同以及温度等状态不同会使 k 不同,纵模也就不同,横模场结构因腔的边界条件的差异也并不相同,更重要的是它们的位相关系并不恒定,仍是彼此独立的光源,如上所述是不存在相干性的。然而该文作者为了实现构想中的相干性,提出“各谐振通道的光学长度严格相等”的苛刻加工和调整要求,这显然是在错误的学术思想指导下的既苛刻又毫无必要的技术要求。

这里还必须指出,该文作者设计的“共腔多通道激光器”输出的激光是空间严重分离的多脉冲光源,不能称作时间序列的脉冲光源。

三、对双脉冲全息干涉的错误理解

“序列”一文的作者要求各谐振通道输出光束良好相干,可能是因为他认为既是双脉冲(或双曝光)全息干涉,那就要求两次曝光的激光束要有良好的相干性。然而全息工作者都知道,双曝光全息干涉图的形成过程是每次曝光各自独立地在全息底片上形成反映波面特点的复合干涉图——全息图,只要求每次曝光光源(或光脉冲)有良好的相干性,并不要求两次曝光脉冲相互之间有良好的相干性,再现时,用同一激光束照明此双曝光所得到的分别反映物场 t_1 与 t_2 时刻波面的两幅叠加的全息图,分别衍射重建 t_1 和 t_2 时刻物场波面。这两个再现波面由于是用同一光源照明分别衍射产生的,当然具有相同的频率、偏振和相位特性,因而是完全相干的,形成 t_1 和 t_2 时刻物场波面的差分干涉图。凡是做过全息实验的人都知道,即使用同一光源作双曝光全息,两次曝光时间可相隔几秒甚至几十秒,时间间隔远远超过光源的相干时间,这两次曝光的光束显然是决不会相干的,然而无论是连续激光作的二次曝光,还是单脉冲二次曝光,都可得到清晰的全息干涉图。

四、利用被动染料Q开关技术和触发泵灯控制

脉冲时序必会使脉冲间隔控制性能差

序列脉冲激光器和用于单幅瞬态全息摄影的单脉冲激光器对单个脉冲相干性要求是相同的。主要不同在于要求精确控制脉冲间隔,以得到时间间隔严格可控的分幅全息图和双曝光时间间隔,因为时间间隔是用于测量过程参量的瞬态特性(即变化率)的基本依据,否则就失去了序列定量的价值。国外从70年代初就开始研究各种序列脉冲激光器(国内从80年代开始),都是采用可较精确外控的主动Q开关——电光开关,控制精度可达 $0.1\mu s$,一般达到 μs 级。染料Q开关依赖于染料的饱和吸收原理,是被动和随机的,开关时间随机波动可达几十微秒。和电光调Q相比不需调Q电源,结构简单,故在不需外控的单脉冲激光器(及相应的全息仪)中采用,未见有用于序列脉冲中作为Q开关的。因此“序列”一文作者认为“利用被动式染料Q开关发射一组分离时间任意可调的序列激光脉冲,这在国际上还是首次”。染料调Q既是被动开关,是不能主动控制时序的,于是该文作者采用同步延时触发泵灯控制脉冲间隔。然而人们知道,从泵浦工作物质,形成粒子数反转到发射激光的时间,有一较大的随机波动,可达几十个微秒级,多通道激光器相邻两路激光各自受两种随机波动的影响。理论和实验结果都表明,脉冲间隔波动可达 $100\mu s$ 范围,因此利用被动染料Q开关和同步触发泵灯控制时序和脉冲间隔,显然是一种性能较差的控制技术,对全过程才 $100\mu s$ 级的瞬态过程无法用以进行测试。

五、“共腔多通道激光器”并非“新系统”，其结构复杂难于实现

共用反射镜的多通道激光器并非“新系统”，早在1975年Landry〔4〕就发表了他设计的共用反射镜的四通道激光器和四脉冲全息摄影仪，但他没有称作“共腔多通道激光器”，而是较严格地称为多腔激光器（multiple cavity laser），“序列”作者的原理构思和Landry的构思是一样的，只是控制脉冲时序和间隔采用的是被动染料Q开关与同步泵浦方案，但这比Landry采用的电光Q开关主动控制技术精度差的多，为了克服“共腔多通道激光器”输出光束严重空间分离不能构成时间序列的缺点，还需采用麻烦的合束装置使物光沿同一方向通过测试区。图3为1975年Landry发表的四脉冲多腔激光器，他设计

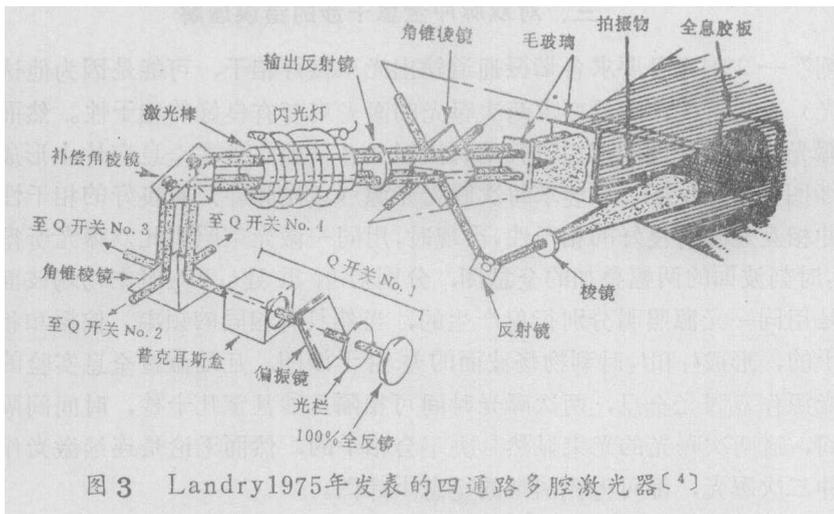


图3 Landry1975年发表的四通路多腔激光器〔4〕

了参考光编码的全息分幅光路，在原理上虽是合理的，但由于物光重复曝光降低了分幅全息图的分辨力，而且可分辨的幅数较少，因此全息界认为Landry的方案仍未成功地解决序列脉冲瞬态全息摄影问题。Landry设计的共反射镜多腔多脉冲激光器已发表20多年，并未获得发展和应用，除上述原因外，还因为这种构思是 $1+1+\dots+1=n$ 的多路激光器组合，每一谐振通道并非数学轴线，都要占据一定的空间，所以 n 不可能大。“序列”作者的“共腔多通道激光器”是由多个独立的泵浦与谐振通道组合，存在同样的问题，当 $n=4$ 时，就要求反射镜、标准具、染料盒都要加工到 $\phi 150\text{mm}$ 的大口径，加工精度又要求很高，是难于实施的。

六、“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪”实为一台多腔激光器，没有解决瞬态过程的序列全息摄影问题

序列脉冲激光瞬态全息摄影的核心问题是解决序列多幅记录问题，从Lowe M A, Landry M J到任国权等人发表的多篇论文都集中在如何解决高速全息记录问题上。序列脉冲激光光源当然也是序列全息摄影中的一个重要问题，然而经过多年的努力已较成功地解决了。早在1970年，Lowe M A就在第9届国际高速摄影会上提出了用重复频率达 2×10^5 ，脉宽为30ns的巨脉冲红宝石激光器为光源，采用转镜同步偏转参考光编码的高速全息记录方案。30多年来，许多人发展和改善了序列脉冲光源，天津大学采用内调制欠调Q技术克服了一般调Q序列脉冲技术中存在的强度不稳的问题（这是由于调Q脉冲间隔变化时，粒子数反转跟不上需要所致），研制出一路激光器输出25个以上间隔可控，强度稳定的序列脉冲激

光,成功地解决了序列脉冲全息摄影的光源问题。多通道、多腔或多路组合激光器输出多脉冲激光在技术上是人们较易想到的方案。如Dally James W^[8]做成电光开关控制时序6脉冲组合激光器代替火花沙尔丁光源进行激光高速阴影和光弹摄影,也有想用这种光源作沙尔丁式的全息,但全息工作者都知道,这种严重空间分离的多方向全息(干涉)图,仍只有定性的价值,且不能称作为时间序列。因此人们在用这种多路激光器作多幅全息时,仍须先将多通路光束合成一束构成序列脉冲,然后用和单通道序列脉冲全息一样的高速全息记录方法去解决高速分幅问题。显然这种用25路单脉冲激光去产生25个脉冲的技术既结构复杂又耗资巨大。从这一简要的历史回顾中,我们看到,20多年来人们集中注意力去解决高速分幅问题,而至今仅见到4幅序列全息干涉图的报道,全息工作者认为至今尚未成功地解决这一难题。

“序列”一文的作者一方面在文中说:“序列脉冲激光瞬态全息摄影仪的核心部件,是全相干型序列脉冲红宝石激光器”而又在文中称他设计的“共腔多通道激光器”“把目前遇到的重大技术难题,都比较圆满地解决了”。但实际上,文中既无解决高速分幅全息图的实验结果,又无解决高速分幅的装置设计或构思。虽然“序列”一文给出了喷雾粒子场、蜡烛火焰、振动等双曝光单幅全息(干涉)图,但这类工作早在60年代末,70年代初就已有大量的文献资料报道^[9-11]。因此,应该说“序列”一文既没有在理论上给出解决序列脉冲激光瞬态全息高速记录的构思与设计,也没给出与标题一致的实验结果,只是一台 $n=2$ 的多腔激光器。

七、结 论

1. “序列”一文作者构思的“共腔多通道激光器”其名称不够确切,各通道并不共腔,实为多腔。

2. “序列”一文作者设计的“利用被动式染料调Q开关发射一组分离时间任意可调的序列激光脉冲”的论点本身是矛盾的,用控制泵浦时机和被动染料Q开关控制发射激光脉冲时机都有较大的随机波动,使脉冲间隔控制精度很差。

3. “序列”一文作者认为只要保证各通道光学长度严格相等,就能实现各通道输出激光具有良好的相干性的论点是既不可能实施,又是违背基本物理与激光技术原理的。

4. “序列”一文作者构思的“共腔多通道激光器”发射的是一组严重空间分离的多脉冲,并非时间序列,不能解决瞬态过程的序列多幅记录与定量计算问题。

5. “序列”一文既没有给出序列脉冲全息摄影的核心技术——高速全息记录装置的设计,也没有给出与标题一致的实验结果——瞬态过程的序列全息(干涉)图,实际上是“ $n=2$ 多腔激光器的设计及其应用”。

以上论点,愿与“序列”一文作者和同行商榷。

参 考 文 献

- [1] Brooks R E, Heflinger L O, Wuerker R F. Pulsed laser holograms. IEEE J Q E, 1966; QE-2: 275
- [2] Brooks R E, Wuerker R F, Heflinger L O *et al.* Paper presented at the international colloquium on gasdynamics of explo-

sions. Brussels, Belgium, 1967

- [3] Lowe M A. Proc of the 9th ICHSP. 1970; 26
- [4] Landry M J, McCarthy A E. Use of the multiple cavity laser holographic system for EBW analysis. Opt Engng, 1975; 14:69
- [5] Ebelins K J, Louterborn W. Appl Opt, 1978; 17 (13) : 2071
- [6] Ren Guoquan, Wu Xing, Zhang Zunlin. A study of electrooptical framing type multipulsed holography. SPIE Proc, 1987; 215
- [7] 王其祥. 序列脉冲激光瞬态全息摄影仪及其在工程技术中的应用. 无损检测, 1988, 10 (2) : 31
- [8] Dalley J W, Sanford R J. Multiple ruby laser system for high speed photography. Opt Engng, 1982; 21 (4) : 704
- [9] Thompson B J *et al.* Appl Opt, 1967; 6 (3) : 519
- [10] Zinky W R. AD-474534, 1965
- [11] Trolinger *et al.* Appl Opt, 1969; 8 (5) : 957

* * *

作者简介: 贺安之, 男, 1938年9月出生。教授, 系主任, 中国光学学会全息与光信息处理专委会委员, 江苏省激光与光学工程学会副理事长, 国际SPIE会员, Industrial Metrology编委。曾获全国科学大会奖、两次部级科技成果二等奖和一枚全国发明展览会金。牌现从事应用激光技术与激光瞬态干涉度量学研究。

阎大鹏, 男, 1956年4月出生。讲师, 硕士, 在职博士研究生, 国际SPIE会员。曾获全国第二届发明展览会金牌。现从事激光瞬态干涉测试技术和方法研究。

收稿日期: 1990年7月18日。收到修改稿日期: 1990年9月18日。

· 简 讯 ·

有声光Q开关的微型激光器

Amoco Laser公司介绍了一种Q开关二极管泵浦固体微型激光器, 这种激光器把该公司专有的端泵浦结构与声光Q开关设计相结合。

激光器具有大于 $15\mu\text{J}$ 的脉冲能量, 脉冲宽度小于 30ns , 束为 TEM_{00} 模。它需要 110VAC 电源, 功耗不到 100W , 勿需水冷。

译自 L & O, 1990, Aug; 68

张贤义 译 刘建卿 校

一种加工陶瓷的钻石钻头问世

由西南技术物理研究所同成都工具研究所共同开发研制成一种钻石钻头, 能装配在普通台钻上对陶瓷等材料打孔加工。这种钻石钻头规格为 $\phi 1\sim\phi 6$ 等, 现已能提供使用。

(屈乾华 供稿)