

## 未 来

改善激光晶体的光学质量和制备技术,以减小光束角,因而使亮度达到  $10^{15} \sim 10^{16}$  瓦/厘米<sup>2</sup>/球面度,这一目的在不久的将来就能够达到。损坏阈值大概不会明显提高,但想象的激光器的列阵和大直径的晶体将有可能使在一个拉长的脉冲中放出 1000 焦耳

能量的高功率 ( $25 \sim 100 \times 10^9$  瓦) 激光器制成。电子学反馈电路将有可能使脉冲拉长而不致延长腔长。当全面考虑过这些以后,激光器是有光明前途的。

## 参 考 文 献 (略)

译自 Burns F. P., *IEEE Spectrum*, 1967 (Mar.), 4, №3, 115~120

# 紫外激光器的设计与应用

虽然在紫外范围工作的气体激光器具有短波所具有的独特优点,但由于其工作性能差,常常使其应用受到限制。但是,此种脉冲氮激光器<sup>[1-8]</sup>却具有许多突出的特性——例如高峰值功率、高重复率、短脉冲持续期及优良的脉冲稳定性,这些特性使得它对于诸如光化学、光色数据显示、光谱学、微粒

探测,照相术以及电光效应及光学测距等重要应用极为适宜。

本文介绍脉冲氮激光器的工作理论,并叙述美帝阿夫科·埃弗雷特研究实验室在广泛研究三年后发明和制造的脉冲氮激光器商品的设计和應用。

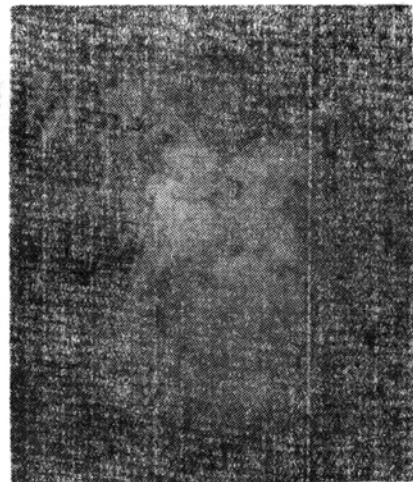


图 1 以脉冲氮激光器研究气体紊流的结构。左图是在白光源照射下看见的一束亚声速喷烟,右图则为以紫外激光器照射时拍摄的照片。被散射的紫外光为紊流给出一幅瞬时平面图。激光束的高度方向性使之可以将喷烟分开,获得详细的结构图。

## 理 论 考 虑

氮激光器属于自终结脉冲气体激光器一

类,这类激光器包括氙<sup>[9-11]</sup>、铜<sup>[12]</sup>、和铅<sup>[13]</sup>。这些激光器一般用快速上升的高压放电激励,产生的脉冲功率在千瓦至兆瓦范围。脉

冲宽度为 10 毫微秒的数量级。

发生在 3,371 埃的脉冲氮分子激光器的能级跃迁对应于氮分子第二正带(0,0)跃迁,其部分能级图示于图 2。C 态的辐射寿命是 40 毫微秒, B 态的辐射寿命是 10 微秒。这种寿命比对于稳态激光工作是不利的,除非有某种选择性碰撞消激发过程,使 B 态的有效寿命小于 C 态的寿命。但是,若激发进入 C 态的速率大于 B 态的速率,就可以在象要求从 C 到 B 态跃迁所需的时间内获得反转,并获得激光作用。事实上,这一过程已在实验上发现。脉冲氮分子激光器的输出延续约 20 毫微秒,而与气体密度、电场和其他所有能改变的参数无关。

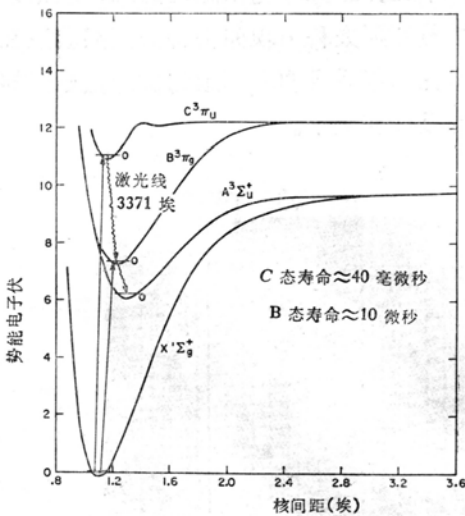


图 2 氮分子在 3,371 埃处第二正带上运转的激光器的有关能级。

在理论上,脉冲氮分子激光器在脉冲重复率达每秒 1,000 次的范围时,能产生 1 至 20 兆瓦的脉冲功率,而总效率保持为 1%。最近,在美帝海军研究实验室实验的一次单发射的基础上已取得的峰值功率为 2~3 兆瓦<sup>[8]</sup>,这是迄今最高峰值功率的气体激光器。在阿夫科·埃弗雷特研究实验室所进行的实验中,每秒重复率为 200 次获得的峰值

功率为 100 千瓦;每秒重复率为 1,000 次时,峰值功率稍低。在低重复率时已获得 400 千瓦的峰值功率。现在研究的目的是对它进行充分了解,使理论上可能的峰值功率、重复频率及效率能在实际装置上同时获得。

## 实用氮分子激光器

**物理描述**——图 3 所示的是阿夫科脉冲氮分子激光器商品的剖视图。此种装置名叫 C102 型,包括三个主要单元:激光管道、放电电路以及与三相接的各种传输线,触发发生器。诸如电源及氮气处理设备 etc 均可选择购买。

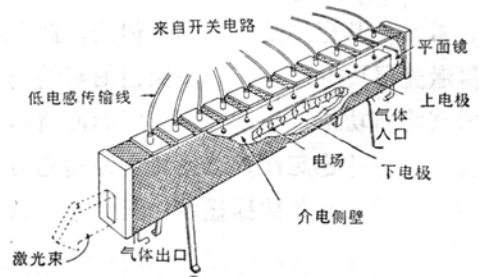


图 3 脉冲氮激光器交叉场几何结构剖视图。

C102 型设计的特点之一是能利用快速断路器使激光管道与放电电路隔离。

**运转**——C102 结构的一个独特之处是它的横电场几何结构,即所用的电场垂直于受激发射的方向(见图 3)。这种结构使得能利用易于处理的电压激励大体积气体。若是只在两端放电,那末,为了要获得相等的电场将需要 50 万伏的高压。

当 C102 工作时,电容器将在 2 万伏处储藏的几焦耳能量通过低电感传输线向氮体积空间放电,装氮的空间体积是由一对电介质侧壁及两个电极组成的,其中一个电极用作结构的支撑架。在适当的氮气压下,氮被过度加电压,并通过电子碰撞获得粒子数反转。这一条件维持的时间约为上激光能级辐

射寿命的时间，激光以只有一个反射镜的超辐射形式运转。在实际上，这种反射镜的曲率半径两倍于管道的长度。所以，每维光束的发散度是以该维的长度除以 2 倍于实际管道的长度。C102 型的规格列于表 1。

### 脉冲氮激光器的优点

**同步特性**——氮激光器具有极好的同步特性。激光脉冲可用小于 1 个微秒的总延迟时间来产生。这一时间相当于杂乱的输入触发信号时间，这一点不同于光泵固体激光器，它们的 Q 开关必须发生在光泵工作的期间。一般是毫秒数量级。氮激光器这一固有的短促延滞时间需要激光器保持连续可靠条件及能在小于 1 微秒时间内对某些外界激励起响应的应用中是有用的。

**脉冲稳定性**——脉冲氮激光器具有优良的脉冲振幅稳定性。用 ITT F-4000(S5) 光二极管和 519 Tektronix 示波器对 C102 型的输出功率作了测量，作出如图 4 所示的振荡图。垂直的灵敏度每厘米高于  $10^5$  瓦，扫描速率是每厘米 10 毫微秒。图中的时间曲线为几百个脉冲重迭在一起，表明系统脉冲的稳定性。这些脉冲重迭得十分好，没有发现振幅或位相上任何明显的差别。

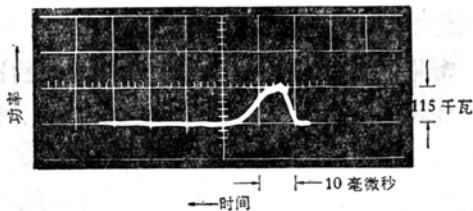


图 4 氮激光脉冲的示波图。其上升时间低于 1 毫微秒。图中几百个脉冲重迭，表明激光器脉冲振幅稳定性良好。

**可靠性**——对类似于 C102 这样的激光器所作的寿命试验表明，系统作  $2.5 \times 10^7$  次

工作还没有发现输出功率下降及系统元件损坏。这种激光器的可靠性使之能用于需要长期工作的场合。这些应用包括大量的监视、监听活动以及一些军事性质的应用。

**峰值功率**——图 5 绘出了峰值功率与重复率的关系，商品装置可得的性能示于阴影区。还绘出恒定平均输出功率的一些曲线。实验上获得的重复率约为 100 次，但要求激光管道有效的冷却。现时的努力是向每秒 1000 次及将峰值功率增至兆瓦水平。C102 型平均功率 0.1 瓦的曲线是用实点表示的。

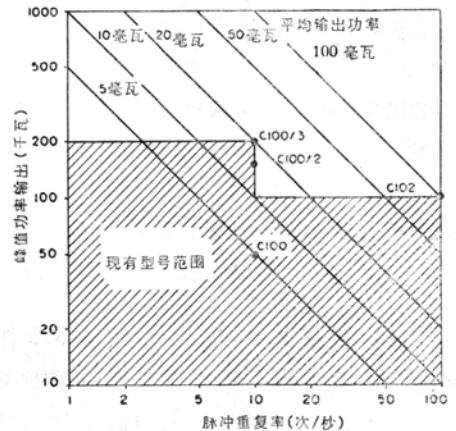


图 5 阿夫科脉冲氮激光器商品系列峰值功率输出与脉冲重复率的关系。

**平均功率**——从激光介质中除去无用的热及能量的问题似乎限制了所有的固体和气体激光器平均功率的上升。对于脉冲氮激光器说来，将无用的热通过气体扩散到管壁所需的时间限制着静态激光器所能获得的最大脉冲重复数。

在高重复率时，激光器性能下降可由氮气的温度测定。氮气体温度限制的作用重于电脉冲及原子密度，振动或电子受激亚稳态。温度上升的影响是增大转动激发，这种增大主要是使该跃迁变宽，并因此降低增益。如果振动或电子激发态分子比例增大，则由于从这些能级的激发截面不如所愿望的那样适

当，因而粒子数反转就会减少。对于一定的输入功率，气体温度由冷气体扩散到器壁及通过侧壁的热传递速率所决定。原子和亚稳态的增加受到催化侧壁孔使氮气在管道中流动来抑制。

表 1 C-102型紫外脉冲激光器规格

特性	规格
峰值输出功率	100 千瓦
有效脉冲宽度	10 毫微秒
脉冲重复率	1~100 次/秒(可变的)
平均功率	100 毫瓦
输出波长	3,371 埃(紫外)
输出带宽	≈1 埃
输出光束尺寸	$\frac{1}{8}'' \times 1\frac{1}{8}''$
束散	$\frac{1}{8}''$ 为 2 毫弧度 $1\frac{1}{8}''$ 为 20 毫弧度
放电管道	矩形交叉场 长 1 米

气体管道宽 1/8 吋、工作气压 3.5 托的典型氮气体激光器，相当于最低阶扩散模的时间约 1 毫秒，它将重复率限制于每秒 1000 个脉冲左右。当然，利用超声对流除去无用的热量能使扩散限制大大超过其边沿。图 6 所示的就是阿夫科·埃弗雷特<sup>[14]</sup>用马赫 2 的超声对流工作的氮分子脉冲激光器。每秒脉冲重复率达 13,000 次而没有相同装置单次发射的特性下降现象。

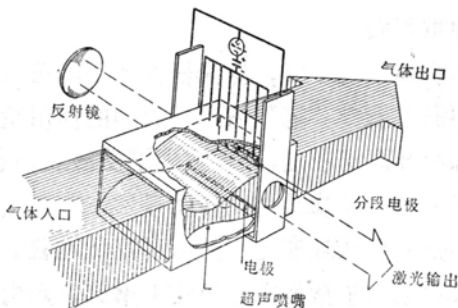


图 6 以超声速气流运转的脉冲氮激光器装置。

## 氮激光器的应用

氮激光器的许多重要应用来自它的如下六个特性中的一个或几个的组合；这六个特性是：

- 在 3,371 埃的紫外波长；
- 高平均功率(0.1 瓦)；
- 非常短的脉冲持续时间(10 毫微秒)；
- 延迟时间少于 1 微秒；
- 极好的脉冲振幅稳定性；
- 这种脉冲激光器可靠性良好，即使工作几千万次也不用维修。

下面讨论几种应用：

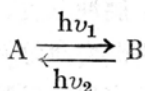
**光化学**—— 3,371 埃紫外光子的能量与许多化学键的强度差不多。若分子吸收了这样一个光子，就可望有各种化学效应。由于光子与分子的碰撞选择性很强，所以可以沿用熟知的光谱学方法来研究这些效应。况且，10 毫微秒的脉冲持续时间允许短寿命的自由基进行细致的时间分辨测量。这是很重要的。例如，在研究荧光过程或熄灭过程的截面就是。其次，现在已可以首次或仔细地观察瞬时激发态之间的化学作用。高重复率及极好的脉冲稳定性的激光器仍能在研究诸如闪光光解型实验等阈值信号时，使用标准同步探测技术。高重复率和脉冲稳定性对于研究化学过程线上监控也是理想的。

密集的紫外线辐射在生物化学和生物医学方面还有待探索。例如，我们知道酶对紫外线照射显示有独特的反应，紫外线有被机体组织选择吸收的倾向，这表明外科医学处理(特别是细胞的微型外科手术)能从相干紫外辐射的使用中得到利益。

**光色数据显示**——光化学应用的一种特殊情况，在将脉冲紫外线激光用来激发供管理和控制用的显示光色材料上似乎特别有

趣。这种激光在目前光色材料对实时数据显示系统很有用，因为各种色彩的光色图象能一步完成，且有高的分辨力。光色材料的另一特别重要的特性是图象的可逆性，可提供动态显示，在信息的来历或时间量纲上能迅速被看出。

光色材料的一般性能用下面的方程简化：



通常，激发辐射  $h\nu_1$  是紫外线或蓝光，而  $h\nu_2$  落在可见光或近红外区域。B 态通常比 A 态更高地着色。正是这个产生相对颜色对比度的可逆特性给出数据的固有时标。例如，在轨迹线的情况下，大多数现代的被激发的位置都较暗，在视屏上的余辉(慧尾)效应将立刻告诉观察者运动物体的方向和时间范围，而不用进一步求助于数字符号。

美帝 Cycinamid 公司<sup>[15]</sup>已经发展出一种 Sodalite 光色图片材料，在一个 0.003 吋的聚合物胶片基底上涂上 0.0005 吋的活性镀层。采用这种光色材料，一个辐射波长能写字，第二个波长投影，第三个波长则(将这些)消除。在最近的一次实验中，这些胶片用末聚焦的脉冲紫外线激光器在 10 毫微秒内激活到约 0.4 的密度。

当激光束用一个 15 厘米焦距的透镜聚焦，在一次单脉冲中，在焦点上，每平方厘米就产生 0.1 和 1 焦耳的能量密度。它的能量密度大于末聚焦的波束所产生的能量密度的二个数量级，还表明，比 Sodalite 灵敏度较低的许多其他材料也能用紫外线激活。

光色材料在实时可逆图象信息中的好处在将来设计大屏数据显示系统中必将会被考虑。高重复率紫外线激发将具有必需的快的

书写速度和有效的信息处理能力。

**喇曼和瑞利散射**——在瑞利和喇曼型散射中，截面或散射概率随入射光的四次方而变化。因此，当利用瑞利或喇曼散射时，在紫外频谱区域工作有好处。例如，经典喇曼光谱学通常均使用高功率 Hg 弧光灯，以适当的滤光片隔离出一条线，通常在 2537 埃。众所周知，气体激光器现在在单一波上密度上已有巨大的增加，现今在喇曼工作上广泛地使用。

工作在理想的紫外区域的脉冲氮激光器，现允许喇曼光谱工作可以 10 毫微秒分辨力的实时基准。利用适当范围的选通电路，它可能以测量距激光源的距离为函数的喇曼散射。这种测量类型在关于气象和空气污染等大气研究方面将有广泛的应用。由于喇曼波长的移动与散射分子所特有，因而将喇曼散射作为波长和距离的函数来测量，将产生大气成份的浓度剖面图。单端远距离定点成分取样装置在连续对大气大体积取样时显然是很经济的。例如这种数据能被用来作一局部天气预报系统的输入。

在空气污染控制上也肯定有好处。现在对空气污染控制正确的有效实施的主要缺点是适当的测试设备不足。喇曼散射测定系统能使有关人员只稍看看来自烟囱的气体，就可以进行分析，所有者可合作，也可以不合作。同样的装置也能用来测量大气中二次分出的污染物浓度，从而提供目的物的数据，以便在紧急情况下发布关闭命令。

**晴空紊流探测**——去年由密西根大学的弗兰肯 (P. A. Franken) 领导的激光晴空紊流探测实验已引起极大的兴趣<sup>[16]</sup>。它的实验方法是在一架轻便飞机上安装一台脉冲激光发射机和接收机。在飞行期中将机前方几公里外的大气的光学反向散射与飞机中的加



速度计测量有关。他得出结论，认为实验明显地指出激光在测量晴空紊流上有用。

他的测量计划是建立在来自非均匀分布的大气中的气溶胶及微粒物质在 6,943 埃红宝石波长上的 Mie 型反向散射。假定晴空紊流将在反向散射体回波中出现可识别的信号。

脉冲氮激光的紫外波长会从这些气溶胶，特别是微粒分布的小尺寸端提供相当大数量的总散射。脉冲氮激光能迅速扫描，给出在尺寸上能与微粒物质相比的空气粒子的二维图样也是重要的。高重复率、高可靠性的紫外线激光肯定在晴空紊流探测系统商品的设计中必然会受到考虑。

**照相和光电光学——氮激光器的 10 毫微秒脉冲宽度很理想地适合于高速照相，这些照相基本上停止了快速运动的动作。因为阿夫科·埃弗雷特是一个气体动力学实验室，所以脉冲氮激光器的室内应用<sup>[17]</sup>之一是观察超音速流这一领域。**

特定超声流的目视化问题牵涉到紊流的起伏与在喷口上将一定数量的污秽物和跟在物体后的超音速自由气流的混合有关。需要湍流的流动连续缩小地绘制在一个平板上。通常的条纹法照相、相干计量或图象转换技术在本质上给出一个累积量。这种输出不足以决定湍流混合现象的详细情况。将一束  $1/16 \times 1$  吋的紫外光束通过该气流区，然后照来自相互作用区域的散射光，立刻就会在一个平面上获得一幅浓度图。在原理上，任何脉冲激光也许都能用在这种应用中，但来自脉冲氮激光的自然发生的平面图输出却刚好适合这一需要。照象胶卷在 3,371 埃的高灵敏度和激光对瞬时流动的容易同步使人们自然会选择它。

另一明显应用是在距离选通电路照相。

当在反差有限的情况下工作时，这种技术是很有用的，因为来自被拍物体和照明器之间的源产生散射光，如在雾中或水下就是如此。对鉴别强背景照射时也很有用，例如，在白天的天空为背景上拍摄卫星就是如此。在这种情况下，图象变换摄影机被选通，以便仅仅接收相当于激光照明器和被照相物体间经历的时间两倍的光。各种激光特性，如波长、峰值功率、脉冲宽度、容易同步、最大重复率、可靠性和寿命等将决定此种激光器在特殊照相上的应用。以脉冲氮激光器作雾滴谱仪去测量小滴大小分布的使用也是有趣的<sup>[18]</sup>。企图说明雾发展的理论依赖对作为时间的函数的雾滴大小分布的了解。

激光雾滴谱仪是建立在被相干、准直的单色光照射下雾微粒所产生的衍射效应的分析。为了停止雾粒子的运动，特别是在大风中，需要短脉冲宽度，因而使用 Q 开关红宝石装置。要得到在分布上变化的好的时间分辨力，也需要高重复率。对无人照管的远距离装置下长时间的观察说来，很需要脉冲氮激光器的上述可靠性。

激光雾滴谱仪技术一般可用于气溶胶、喷雾、雾及雨滴的实验室和野外测量。采用高重复率的和 10 毫微秒脉冲氮激光，粒子大小分布的直接测量能在飞机上进行。

**光测距——脉冲氮激光器很适宜于作为高峰值功率、高重复率光测距系统中的发射机使用。10 毫微秒的脉冲宽度可提供几吋的距离分辨力。每秒 100 次的重复率可提供连续的位置信息，那里激光器与目标之间是相对运动的。**

在本实验室房顶做过一次实验，以测定脉冲氮激光器在这个应用上的利用情况。这一试验采用一台 50 千瓦的 C102 型脉冲氮激

(下转第 35 页)

## 高重复频率的双晶体光调制器 Q 开关

美帝西屋公司新产品部出售一种在高重复频率时提供精确电子控制 Q 开关的双晶体光调制器。此种光调制器是一种普克耳斯盒用作 Q 开关、光调制器或光闸。它的特征是低驱动电压和高频率响应。调制器的工作性能不受温度的影响，因为所用两个电光晶体装在对温度变化不灵敏的晶体盒里。

这种结实的固态装置的应用包括成像投

影系统、信息处理系统、快速洗印和通讯系统。由于它是能与红、绿、蓝色激光一起使用的此类商品的唯一产品，故它的用途非常广。

这种轻型(约 2 磅重)双晶体光调制器首先在西屋国防中心研制出，用在诸如光雷达、测距计、照明器和通讯装置等军用装置上。

译自 *Laser Weekly*, 1967 (Oct.) 1, №2, 2

## 滤光片产生双束激光输出

美帝光学技术公司研究发展部在出售的滤光片，可由氩-氟激光器能得到双束输出。

该激光系统适用于全光照相和光度学领域。激光系统的另一工作是由背景辐射隔离出 6328 埃。

称为“Set70”的全套装置包括能经受强光源，全介质高效率带涂层的分束器和一个对氩-氟波长具有峰值透过率的单程窄带滤光片。

译自 *Laser Weekly*, 1967 (Sept.), 1, №1, 2

(上接第 24 页)

光器，而没有进一步准直。一台标准的 8 吋直径的反射式望远镜装上光电倍增管和适当的窄带滤光片用作接收机。在白天的条件下，在地面约 2 英里外可从这一区域中的各种各样的目标诸如烟、云、街灯、无线电站发射塔、汽车、卡车、气箱、水塔、建筑物和类似的东西等获得距离数据。

不仅对民用工程，而且对多种军事应用包括测距仪的测距系统均有可能使用。作为民用测量装置时，激光测距和定向仪是能提供精确的距离和方位读数的，而不需要多点定位、三角测量法或其它几何计算。目前正在考虑的一种军事应用为以激光去精确地测定舰船位置，以校准声纳和雷达系统。长时间的可靠性和容易维修使脉冲氮激光器对试验基地远距离定位的自动工作很有用。一般

情况下，在需要高信息率，好的距离分辨力和长时间的可靠性处，脉冲氮激光器可能作为光雷达系统。

如前所述，目前正研制兰绿 5,401 埃氮激光管道，作为脉冲氮激光放电电路使用的替代物。这种装置有一独特的水下测距应用，目前正在考虑从飞机上测量水的深度。水面和水底回波间的时间延迟直接地给出了深度信息。估计用 5 毫微秒氮激光脉冲宽度能得到约 1 呎的深度分辨力。使用这样的测深系统，高性能的飞机能在很短的时间内测绘大面积的近岸海区或内河河道。

### 参 考 文 献 (略)

译自 Leonard D. A., *Laser Focus*, 1967 (Feb.), 3, № 3, 26—32