

会议报导

1969年国际激光工程和应用会议报导

激光器已越来越多的脱离实验室投入各种应用。基于激光理论和设计技术的进一步掌握，人们越来越强调修改元件，以满足应用的需要。尽管有很多力量仍然放在理论研究和可能性判断试验上，但与此同时也花费相当一部分力量去提高性能，并为装置的发展提供更多的选择。

由于可靠性提高，寿命延长，成本降低以及有效工作特性范围的扩展，激光产品的种类又增多了。

光通讯和雷达、焊接和机械加工、高强度隐蔽和公开照明、高速照相以及信息的贮存、处理和显示都属应用之例。最近(1969年5月26~28日)在美帝召开的激光工程和应用会议所描述的激光产品的多方面发展将有助于这些应用。

在固体、气体和半导体激光器方面，输出的提高以及对波长、脉宽、可调度、相干性、稳定性和带宽等参量的控制能力的加强均有所报导。

提高脉冲和连续激光源的平均功率和能量输出仍然是一个主要而公开的任务。对于接收设备来说，相应的任务是发展更灵敏的接收器。

合起来看，这些都是延长光通讯和雷达系统的工作距离的手段，而功率的提高本身则对照明、焊接和机械加工有所帮助。

在脉冲非常短的情况下，高功率激光源在高速摄影、研究等离子体和产生冲击波这

些科研工作中很有价值。在高重复率的情况下，狭窄的脉宽在通讯、数据处理和雷达系统中都很有用。

脉宽的压缩表明了产生超短、高功率光脉冲方面的进展。三年来，脉宽压缩了五个数量级：从几十毫微微秒到十分之几微微秒。与此同时，产生高峰值功率的能力也提高了三个数量级：从几千到几百万兆瓦。

由毫微微秒到微微秒脉冲这一进展是波型同步技术发展的结果，而亚微微秒脉冲的获得则是因为使用了与微波系统中采用的脉冲压缩技术相类似的方法。

在脉冲内扫描信号频率而得到的“啁啾”脉冲通过色散介质时便受到压缩。所谓色散介质是指低频分量受到较长延迟的那种介质。

这种调制方式在激光腔内外都实现了。

美帝贝耳电话实验室的杜圭(M. A. Duguay)和汉森(J. W. Hansen)已将波型同步氦-氖激光脉冲压缩1.85倍。而波型同步钽玻璃激光脉冲则已压缩到0.4微微秒的脉宽。

据加利福尼亚大学的加斯特弗森(T. K. Gustafson)、凯利(P. L. Kelly)和菲舍(R. A. Fisher)谈，采用自相调制技术之后，还能得到更短的脉冲。令脉冲通过折射率与强度有密切关系的介质，如液体二硫化碳，则峰值强度为每平方厘米22千兆瓦的脉冲在通过由这种材料做成的长10厘米的样品之

后,便压缩到0.05微微秒,相应的峰值强度为每平方厘米620千兆瓦。

利用一种排列方式与多级电子振荡器/放大器相似的串级放大装置,便能将激光振荡器的输出放大到更高的水平。利用这种放大方法,还能使脉冲成形。

法国通用电气公司将通过五级级联放大产生100焦耳、1.5毫微秒的脉冲。目前,这系统用它的五个放大器中的三个来工作已产生35焦耳的脉冲,脉冲前沿的锐化是由磷酸二氢钾完成的。

苏修列别捷夫物理研究所也是用级联放大器来产生大能量超短脉冲的。他们的激光器是波型同步钹玻璃激光振荡器,其后配置了五个级联放大器,可产生20焦耳、20微微秒的脉冲,用于高速摄影和其他等离子体研究工作。

美帝联合碳化物公司科拉德分部的郎德耳(W. J. Rundle)用单级红宝石放大器提高Q开关红宝石振荡器的能量输出,从不到0.74焦耳/脉冲提高到4.9焦耳/脉冲。振荡器是直径10毫米、长100毫米的红宝石棒,工作于“脉冲传输模”,产生半功率点宽度为4.5毫微秒的高功率短脉冲。输出级是一根 19×250 毫米的棒,它与振荡器的6.3毫米的输出孔径相匹配,束扩展为3:1。

输出光束的半角、半能量发散度为0.5毫弧度。

振荡器和放大器可以是不同类型的激光器,只要它们之间有足够的匹配便可。这种多样性可用来调整系统的特性。因此,氦-氖激光振荡器的1.0621微米输出在美帝光学公司便是用来作为两级高增益钹玻璃激光放大器的高相干性光源的;这种放大器的峰在1.0610微米处。

第一放大级是一台蕊直径为15微米的

单波型纤维激光器,其增益为40分贝,输出为0.6瓦。第一级输出的相干长度的测量值大于12米。第二级是 10×450 毫米的激光棒,其增益为10分贝,最后输出为3.5瓦。

有关光通讯的可能性和价值的主要试验将是飞船-飞船-陆地实验。该项工作由美帝戈达德空间飞行中心规划,实验时还要利用ATS-F和ATS-G卫星工作。按计划,将在这两个卫星和陆地之间试验一条宽带、高信息率、10.6微米的激光通讯线,并提供数据,以便直接比较激光系统和X带微波系统。

10.6微米波长对空间应用很有利,其理由如下:

- 在这一波长上存在一个大气“窗口”。

- 高效率、大功率二氧化碳激光器已实现,其工作波长就是10.6微米。

- 利用相干外差技术,可能在这一波长制成高灵敏度接收器。美帝航空仪器实验室已经为戈达德中心制成这种接收器。

- 尺寸公差为几分之一一个波长,与在可见光波段(约短20倍)工作的系统比起来,10.6微米系统更易于达到。

外差探测的最终灵敏度,即量子极限,在理论上是 10^{-20} 瓦·厘米 $^{-1}$ ·赫 $^{-1/2}$ 。试验指出,靠近理论极限低端的灵敏度可达到。光频外差探测器的困难之一是需要使本机振荡器和波前对准(由于探测器的“天线辐射图”特性)。这一问题的理想解决方式是利用各单元有不同视场的多元天线阵。

多普勒问题

光外差中的另一问题是多普勒频移对所要求的接收器带宽的影响。多普勒频移正比于所发射的信号频率——10.6微米的系统为 28×10^{12} 周/秒。因此,对于每小时1,000

哩的接近速度来说,单向频移将超过40兆周,而对于雷达系统,频移约为84兆周。

戈达德系统具有一个频率调制器发射器,它用砷化镓在激光共振腔内进行调制。对这种用途而言,砷化镓一直是公认的最好的电-光调制器。但是,休斯飞机公司制成的碲化镉调制器所需的激励功率仅为砷化镓的四分之一。

珀肯·埃耳默公司为马歇耳空间飞行中心设计的激光通讯系统的信息率为每秒一兆笔,工作距离超过一亿哩。这种系统可选用下列三种激光器工作:

- 工作波长为10.6微米的CO₂激光器。
- 工作波长为0.63微米的氦-氖激光器。
- 具有铈酸钡钠倍频器、输出为0.53微米的掺铈钕铝石榴石激光器。

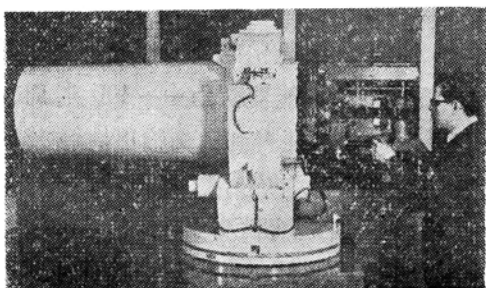


图1 美帝珀肯·埃耳默公司为美帝国家航空和宇宙航行局制造的深空光通讯系统的样机。信息率为每秒兆笔,工作距离超过1亿哩。实验室中进行的试验证明,瞄准精度高于0.1弧秒。氦氖激光束的直径为0.4弧秒。收发两用机还将使用CO₂激光器和带有倍频器的钕铝石榴石激光器。

收发机使用16吋的、具有卡塞格伦焦点的望远镜。光学系统的作用是探测和跟踪地面站——该站的氦激光器发射4,880埃的信标信号。瞄准精度高于0.1弧秒。确定瞄准精度的实验包括模拟飞船的迅速运动,即令收发机的方位轴以0.13度/秒的最大速度在±2度范围内运动。

虽然CO₂激光器效率较高,连续输出功率也高,但由于波长较长,束散较大,因此优点多少有些损失。

该公司的0.63微米氦-氖激光收发机的输出束宽为0.4弧秒,但CO₂激光束的宽度几乎还要大20倍。因此,接收到的功率率仅为短波的1/400。

氦-氖激光器尽管效率不够高,但却能产生可见的、仅受衍射限制的输出,而且是一种了解深透的、非常可靠的装置。

该公司设计的、可供空间使用的氦-氖激光器已运转11,000小时以上,即一年以上,如果使用抗清除灯丝*,寿命还能延长。

频率倍增的钕铝石榴石激光器是一种更新的类型,在理论上有更高的效率和更高的输出。

休斯飞机公司的布里季斯(W. B. Bridges)和科耳布(W. P. Kolb)设计并做成了适合空间工作的5毫瓦氦-氖激光器。使用涂有氧化物薄膜的、大的中空圆筒钽阴极可降低溅射率,即氦-氖激光器性能衰退的主要障碍之一。

寿命试验

使用这些阴极的激光器已进行过寿命试验,历时8,000小时以上,并未发现性能有何变化。有一台据说工作13,000小时之后还在运转。

激光管外壳是一种金属陶瓷结构,用高温窗密封。

西耳伐尼亚电子系统公司强制气体沿激光管的横向进行循环,使CO₂激光器的输出功率提高了20倍。他们由激活长度为1米的激光器获得1千瓦的连续输出,而在普通

* 译者注:原文为 backup filament.

设计中，通常每米只有 50 瓦。气体由速率约为 100 立方呎/秒的热交换器冷却，然后在鼓风机推动下实现循环，在激光管内的流速约为 100 呎/秒。

工作物质的总压力为 18 托。其中分压分布如下：

- 二氧化碳 2 托。
- 氦 6 托。
- 氮 10 托。

放电效率为 8%。当鼓风机所消耗的功率也计入时，装置的总效率为 6%。他们并不认为这些指标已达极限。

该公司还在继续开展实验，以便把这种技术应用到多路径振荡器、放大器和 Q 开关激光器以及其他类型的气体激光器中去。

横向气流很容易把放电吹走，但该公司声称已解决此问题。

一种重复频率为 100 脉冲/秒的 Q 开关钕玻璃钷铝石榴石激光器已用于由日本东芝电气有限公司制成的扫描激光雷达的发射机中。

激光器用水冷氙闪光灯泵浦。氙灯每脉冲输出 15 焦耳，按雷达脉冲频率工作。

激光器的输出是 1 毫瓦、30 毫微秒的脉冲，闪灯每隔 50 小时调换一次。

检测器是采用 S-1 光阴极的光电倍增管。接收器带宽是 ± 20 埃。

对于 0.1×0.3 弧度的视场，扫描周期大约是 5 分。角坐标分辨能力（为脉冲跳动和亮度调制脉冲所限）约为 2 毫弧度。距离分辨能力为 10 米。

用铈酸锂晶体把红外发射机输出转换到 0.53 微米，并以带有 S-20 光阴极的光电倍增器作为探测器，这种系统也能在可见光波段工作。这种结构的峰值功率为 0.1 毫瓦，脉冲宽度为 15 毫微秒。

该雷达的工作距离已达三千多米，显示系统采用 B 型显示器。

激光弹道记录仪

法国通用电气公司制成的激光弹道记录仪所使用的 Q 开关钷铝石榴石激光用连续的氙弧灯泵浦，峰值功率 1 千瓦，重复频率每秒 800 次脉冲。

据报导测距精度为 ± 2 米，角精度高于 1 毫弧度。这种仪器的功用是在试飞时精确测定飞机的方位角、仰角和距离。脉冲频率有可能提高到每秒 4,000 次。

美帝贝耳电话实验室已制成一种声-光调制器，用以对钷铝石榴石激光器进行重复 Q 调制，重复率为每秒几千次。设计这种器件的目的是避免转动反射镜的机械问题以及电-光晶体的高损失问题。

调制器由粘合在熔融二氧化硅块上的石英换能器组成。二氧化硅是一种光学损耗很低的优质材料。换能器激励——400 兆周、100 伏——断掉后便得到激光输出。重复频率不超过 5,000 脉冲/秒时，峰值功率大于 1 千瓦，脉冲-脉冲稳定性高于 1%。脉冲重复率超过 10,000 次/秒时，发现脉冲-脉冲有很大变化。

玻璃是热的不良导体，因此一般说来高重复率玻璃激光器是不可能的。但是，大尺寸却是可能的，而且结构不为晶体生长问题所限。

问题减少

据美帝光学公司的塞格雷(J.P.Segre)谈，采用有适当纵横比的矩形或板状激光器，玻璃中那种有害的热影响便能减轻。有一台 2 毫米 \times 7 毫米 \times 3 吋的板状激光器的重复率已达 100 脉冲/秒。一台 3 毫米 \times 10 毫米 \times 3

时的板状激光器的重复率为 15 脉冲/秒，平均功率输出为 5.42 瓦。

单只砷化镓二极管在室温下的峰值输出已达 100 瓦。这种元件的混联列阵可作为峰值功率为几千瓦的光源。

这种二极管激光器准备用于美帝陆军的

轻型短程测距装置中。接收器采用硅雪崩二极管探测器，白昼的工作距离达 700 米，不久可望延伸到 900 米。

采用其他注入式激光材料，如镓砷铝，距离极限可提高到 2,500 米，而重量仍维持 8 磅左右。

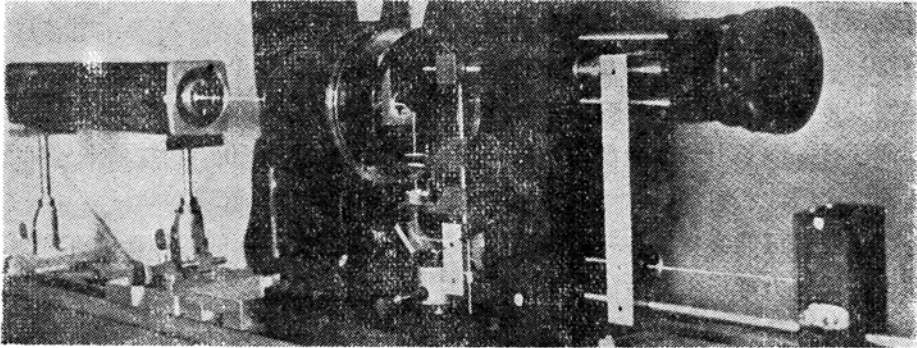


图 2 在美帝国际商业机械公司制成的实验系统中，计算机信息贮存在长条状照相胶片上的 256 根全息照片道上。每一全息照片记录一个二进制组，其中包括一个时标位和几个数据位。长条胶片在透明的鼓(中)中转动。用激光器(左)照射胶片上的全息照片，并用盒(右)中的光电二极管阵列接收，便能读出所贮存的信息。贮存密度已超过 2 兆笔/时²。

p-n 结激光器性能的改进可归因于下述两个重要的晶体生长领域的进展：

- 鉴定并去除结附近的晶体缺陷，这就大大延长了在给定电流密度下激光器的寿命；

- 新的制备法采用了液相外延生长法，这就提高了室温下的效率，并降低了阈电流密度。

为砷化镓二极管发展的液相处延生长技术也适用于镓砷铝二极管。用这种材料制成的器件输出波长能够调节，适用于 6,400 到 9,000 埃这一波段，它的重要性越来越明显。

磷铟镓这一类合金可产生比目前的二极管激光器更短的可见光。

场致发射公司的布鲁斯特(J.L.Bewster)指出，半导体激光器可能作为摄影中的高强

度非相干闪光光源，在室温下，从直径 2 厘米的硫化镉已重复得到 10 毫瓦、两毫微秒的光脉冲。

发射波长为 5,300 埃，但据报导其他波长的兆瓦级输出已从其他半导体(如硒化铈和硒碲硫)光源得到。这些光源的制备方法是在能透过电子的反射箔底上粘上很多半导体细晶体或小片，使之产生适合于摄影的辐射图形。

美帝陆军的 8 千米和 10 千米测距仪大概还要继续使用固态钽或红宝石光源，它们能产生兆瓦级的峰值功率。

尽管红宝石激光器有很多缺点，如体积大，重量大，脉冲重复率比较低(每分钟几次，而钽玻璃激光器每秒钟在一次以上)等，但直到最近，它仍保有一种主要优点，即在它的波长上存在一种灵敏的探测器(S-20 光电阴

极),而且,很多应用都不要求高重复率。

S-20 光电阴极的灵敏度

S-20 光电阴极对 0.69 微米红宝石激光辐射的灵敏度比 S-1 光电阴极对 1.06 微米钽激光辐射的灵敏度高五倍多。而美帝无线电公司研制的一种称为“延伸的红色多碱材料”的新探测器物质,它对于 0.69 微米的灵敏度比 S-20 材料高三倍多。有希望把这种新材料的响应范围延伸到 1.06 微米,但估计这必须在制成了这一波长上的优良的光电倍增器之后六到九个月才有可能。

另外两项发展可能有损红宝石激光器维持至今的优点,一为可产生增益的硅雪崩光电二极管的发展,另一为光学前量放大器器件的发展。

美帝通用电气公司的钽激光测距仪的接收器采用了这种新近制成的光电二极管。这种钽激光器的性能与有相等输出功率的红宝石系统的性能相当。

钽激光器还具备其他优点:重量轻、输入功率低、寿命长、体积小,而且输出是不可见的,这在某些场合甚为有用。

据报导一种接收器实验装置的灵敏度约为 170 毫微瓦,这大约比 0.7 微米探测器的低 8.5 倍。但是,1.06 微米钽激光在大气中易于传输这一事实几乎完全弥补了这一缺点。

接收器试验

接收器已在大约 7,900 米的距离上作过试验,发射器是输出功率为 0.4 毫瓦的 Q 开关钽玻璃激光器。距离分辨能力约为 30 米。

探测器元件的直径约为 0.1 吋。样品二

极管雪崩区域的倍增增益在 112~174 这一范围。

光学前置放大器也能用来改进接收器的性能。用闪光灯泵浦的有外层的钽玻璃纤维激光器能探测 1.06 微米的、强度为每脉冲 400~2,400 个光子的微弱 Q 调制信号。其他探测器的最小可探测信号(以每脉冲的光子数表示)为:

- 具有 S-1 光电阴极的光电倍增器为 96,000。

- 效率为 50% 的普通半导体光电二极管(非倍增的)为 53,000。

- 前文提到的那种新的可产生增益的光电二极管(增益为 25)为 3,700。

- 具有 S-20 光电阴极的光电倍增器为 1,200。

- 具有 S-17 光电阴极(对 5,300 埃的可见光辐射很灵敏)的光电倍增器为 120。

氮装置

美帝西耳伐尼亚电气产品公司和西屋电气公司报导了用氮泵浦的掺钽钷铝石榴石激光器,其总效率为 2.9%,连续输出 100 瓦。前一单位采用 6×102 毫米的棒,后者的棒为 5×50 毫米。前者自述其装置尚不够满意,几个月之后功率可大大提高。

德克萨斯仪器公司报导了用由九只镓砷磷二极管构成的列阵来泵浦的掺钽钷铝石榴石激光器,其波长为 1.06 微米,总效率 1%,连续输出 48 毫瓦。二极管和 1.5×30 毫米的激光器都有冷却措施。

取自 B. M. Elson, *AW&ST*, 1969, July 7, 91, №1, 77, 81, 82, 84, 85