

綜 合 評 述

用光雷达作气象观察

M. G. H. Ligda

1. 引言

Q 开关激光器的发明,为雷达技术向电磁谱的光和近光波段的延伸提供了一种直接方法。虽然涉及的是散射、吸收和折射这些同样的现象,但欲观察的气象条件和欲得到的新知识是很新奇的,以致可能公认一个“光雷达气象学”^{*}新领域。现在使用的光雷达辐射的电磁谱的频率约比厘米波雷达高 50 倍。

目前,光雷达技术多半和 1930 年末的微波雷达的情况差不多。光学收-发开关还未发明,脉冲重复频率很低,此外,由于辐射很强,系统的某些元件的寿命也很有限。因此,前二十年间发展起来的雷达气象学的许多成熟的技术,还不能应用于气象光雷达的观察和分析。尽管有新仪器出现,而且到现在为止已得到很多新奇的观察资料,但越来越明显地看出,光雷达和微波雷达能相互补充。而且当一起使用时,所能得到的大气信息,将比它们当中任何一种单独使用时所提供的要多得多。

2. 历史背景

多年来,一直用光束来观测低层和高层大气的天气条件。最早的工作,正如赫耳贝斯特(Hulbest)^[11]所描述的,是采用稳定的或低频调制的光束。后来脉冲技术发展了,弗里德兰(Friedland)等人^[8]用它来观测高层大气,霍尔曼(Horman)^[10]用来测定能见度。现在,利用持续时间为微秒数量级的光脉冲(不是激光)的脉冲式光测高计已有商品出售。

激光器作为光源的可能性是由肖特兰(Schotland)等人^[17]提出的,他考虑了脉冲系统和连续系统的应用。在他们研究期间,Q 开关(产生激光单脉冲所必需的)还完完全全处于实验室的试验阶段,因此他们不能十分彻底的研究光雷达的应用。大约在同时,卡特(Canter)^[3]扼要提及了气象光雷达的可能性。早在 1963 年,阿特拉斯(Atlas)^[1]在其演说中就推测过,激光器在将来可能应用于气象学。同年末,贝特勒(Batelle)等人^[2]考察了激光雷达用于海军天气观测的可能性,利格待(Ligda)^[13]描述了斯坦福研究所制造的光雷达,以及由它得到的第一次观测结果。当然,还有些私人之间交流的研究结果、备忘录、计划书、进展报告等等,

^{*} 缩写“Lidar”(即 Light detecting and ranging)是 1953 年米德耳顿(Middleton)和斯皮耳豪斯(Spilhaus)在其著作“气象仪器”一书的第 207 页提出的,当然,这比激光光源的发明早几年。

在各种不同文件中都详细地处理该课题，可以期望，至少其中有些终将是有益的。

斯坦福研究所的工作于1963年1月开始。那时，他们用该研究所提供的资金，着手制造一台Q开关红宝石激光雷达实验装置，激光器头和电源是向里尔·西格勒公司仪器分借的。1963年7月中旬，用该光雷达在斯坦福研究所一个实验室屋顶上进行了第一次气象观测。直到现在观测还在进行，有时偶然中断，是为了修理和改进系统的元件。

第一台光雷达用火花隙^[10]或氩闪光灯作为能源。前者可得到1微秒量级的光脉冲，后者约20微秒。两者都属于“宽带”发射器，若在接收机上采用滤光片来滤掉天气噪声(后面将讨论)，那末光束中许多有用能量都被滤掉。这些光源发射出的光是非相干的，因此，若不使用相当大孔径的光学系统，就不能高度聚焦。

人们热衷于将固体激光器用于光学测距工作，其原因有四点。第一，有用的能量高度集中于一个单的、很窄的光谱带内。这样，就有可能区分或很尖锐地去掉不需要的辐射(或噪声)。第二，辐射能够很强，现已研制成大于500兆瓦的实验系统。当然这就可能在有用距离内探测目标。第三，在Q开关激光器中，能量是以一个单的、高斯型分布的脉冲发射出去。这个脉冲没有尾翼，其持续时间是几十毫微秒(10^{-9} 秒)。这就满足了距离测定的高精度和高分辨率。第四，激光器的辐射是非常相干的。这意味着，用以聚焦和准直光束的光学系统，本质上只受衍射的限制，因此，用一个适度大小的孔径就能产生很尖锐的光束。例如，一个直径为4吋的物镜或反射镜，就能从 $\frac{1}{4}$ 吋孔径的红宝石晶体获得角宽度约2弧分的光束。锐光束具有良好的角分辨率，并且在目标的单位面积上有最大的能量密度。

至少是在1961年以后，几个军事部门和电子学设备制造商^[16]就在发展用于军事测距的轻便Q开关红宝石光雷达。一般来说，这样设计的光雷达是不适宜于气象观测的，但经修改之后，其资料记录和显示部分对某些应用还是可以利用的。

3. SRI 光雷达

SRI光雷达(斯坦福研究所光雷达)的略图示于图1。原始装置示于图2。现在的仪器已经

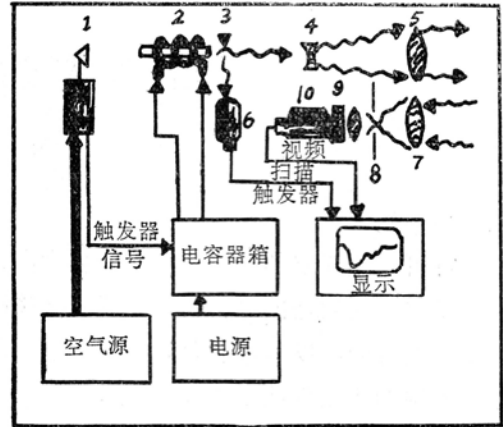


图1 光雷达示意图(SRI 2型)。

- 1—旋转棱镜Q开关；2—激光晶体和激励灯；
- 3—刀棱式光散射器；4—发散透镜；5—发射机物镜；6—发射机光检测器；7—接收机物镜；
- 8—接收机光束调整；9—太阳光滤光器；10—接收机光电倍增管。

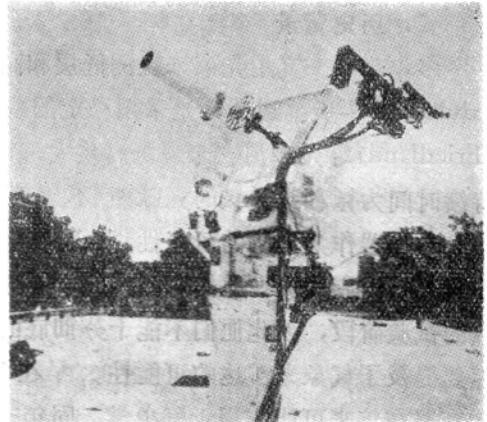


图2 SRI光雷达(1型)(右上是激光器头部)。

过第二次修改，它采用了里尔·西格勒公司借给的功率更大的、更有效的激光器。目前的计划是使这种光雷达便于由运输机或火车携带，这样，光雷达几乎就能架设在任何需要的地方，甚至是在船上，以进行实验观测。

这几种型号的装置的一般规格如下：

	1 型	2 型	3 型
	1963年7~10月	1964年1~3月	1964年6月~
激光器(都是红宝石)	C—轴, $3 \times \frac{1}{4}$ 吋, 90° 端面, 一端 50% 反射率, 另一端涂增透膜	同 1 型	$3 \times \frac{1}{4}$ 吋, 布儒斯特角端, 未镀膜
激励灯	螺旋状氙灯	同 1 型	直管氙灯
发射器光学系统	无, 光束直接由红宝石到大气	一折射望远镜, 孔径 4 吋	同 2 型
$\frac{1}{2}$ 功率的束宽	$\frac{1}{2}$ 度(近似)	$1/30$ 度(近似)	同 2 型
激光器功率	5~6 兆瓦	同 1 型	15~20 兆瓦
Q开关	转速为 1,000 转/秒的贝克曼-惠特利(Beckman-Whitley) 旋转棱镜	同 1 型	馥花青滤光片
接收器孔径	4 吋航空照相机物镜	同 1 型	同 1 型
冷却	无	强制的空气	强制的空气
接收器滤光片	694.3 毫微米电介质	同 1 型	同 1 型
带通	1.0 毫微米		
光电倍增管	10 级, 响应 S-20	同 1 型 S-20, 晚上工作	同 2 型
显示	A 和 R (方位和距离)	同 1 型	同 1 型
脉冲重复频率	每分钟 1~2 次	同 1 型	高达每分钟 4 次

运转系统时要求：电源与储能电容箱相联结，把旋转棱镜 Q 开关调整到适当的速度，装设显示器并加以调节，使作单扫描，光雷达对准需要的方向。然后操纵者接通连接电棱镜角信号和触发器的点火开关，令储能电容器箱放电。当棱镜转到合适位置时，电容箱通过氙灯放电，红宝石发生“激射作用”。光脉冲离开红宝石后，由发射机的光电倍增管检测，后者触发显示装置，使其开始扫描。沿途的物体或物质的反向散射光由接收器光电倍增管检测，它的输出加在显示器的垂直偏转板上。现在，由每一个图迹组成了一个独立的照片，当脉冲重复频率能充分增高时，这种程序既不实际，又不需要。

设计和制造供实验和专门观察使用的更有效的光雷达，现正在该研究所的实验室里进行。工作主要集中在三方面：较高的光频率；仪器对实验的进行有较大的适应性；对观察的

收集和分析程序的改进。

4. 光雷达天气观察中的气象和物理影响

虽然光雷达气象观测在原则上完全与微波雷达相似,但不同的射束特性以及非常短的波长,却完全改变了观测的信息内容和物理因素的性质,这些东西在理解时是必须给予考虑的。显然这个问题是十分复杂,即便我们的知识很完全(但在很多方面,这是不可能的),但由于篇幅所限,本文仍无法进一步作彻底分析。

问题的处理可化为三种基本现象的研究:衰减、散射和干扰。大气折射在将来可能是一个很重要而且有意义的因素,但目前在我们显然有限的观测经验中,显得并不重要。

衰减方面,除 K 带(特别是水蒸汽在 1.25 厘米的吸收线和氧在 0.5 厘米的吸收线)外,微波辐射的自由大气衰减轻微得可以忽略不计。

对于波谱的光频和近光频区域内的辐射,上述问题是远不正确的。有散射和吸收作用的烟、雾、尘埃、盐粒、花粉、霾、薄冰云和水滴云,都广泛地分布在各个对流层中,甚至借用气象学的术语,当天空是“晴朗”的时候也如此。埃耳特门(Elterman)^[5]发表了在“晴朗标准大气”模型的条件下,可见和红外辐射的衰减表。该表在一段时间内对光雷达气象学家一定是有用的参考资料,这是因为其中列出的光谱和高度范围适当,并且还包含了实际的气溶胶分布情况。瑞利(分子的)和气溶胶衰减系数都列于表中。0.7 微米的瑞利系数是 8.157×10^{-3} (千米),表面层的气溶胶系数是 1.50×10^{-1} 。这是在能见度为(或调节为)20~25 千米的条件下,根据气溶胶浓度的测定算出的,由此容易看出,至少在低层大气中,晴空衰减对于颗粒远比分子浓度更灵敏,特别是因为分子浓度在任意给定水平上是相对稳定的。

朗(Long)^[14]在分析在红宝石激光器的可能工作带宽(受温度控制)内,衰减与波长的关系时,已对红宝石激光波长的气体衰减因素给予注意。观察到了氧和水蒸汽引起的若干大气吸收带以及太阳大气中的铁的一条强(55%)吸收线(十分之几埃宽,位于 0.6945 微米附近)。当能够制造几分之一埃带通的滤光片时,则注意力可能集中到这一吸收线的利用上;在这一波长运转的光雷达将能大大减低太阳噪声。

当然,云和雾沿观察路径有严重的衰减因子。而局部的浓烟羽和尘埃的衰减因子有时会超过这个值。云会蔓延相当大的厚度,粒子也会有很大的浓度;通过其中某些能看见星星,而对于其余的情况,当太阳很高时,就必须利用户外人工照明。红宝石光雷达射束可透过前者几公里远,但只能透过后者几十米。

云变为雨下降时,无疑不会(据我们有限的经验)很强烈地衰减光雷达的光束,这是因为每单位体积内的雨滴(雨的浓度)相当低。一般说来,雪的衰减可能比雨厉害,这是因为雪的粒子尺寸较大,且其向前散射因子较小。

考虑到大气和其他天然噪声源时,光雷达比之微波雷达,又一次暴露出其缺点。太阳偶然会在微波范围内辐射,而检测信号的天线几乎又必须直接指向太阳^[12]。然而,利用微量子放大器和参量放大器之后,雷达接收机的噪声水平几乎降低到了理论极限。

光雷达观测中的噪声有三种不同的来源:由目标反射的太阳光、由接收机和目标之间的大气散射的太阳光(如果目标没有遮断光束,就要考虑更远的大气散射)以及光电倍增管的

“暗电流”或热离子发射^[7]。

一般说来，太阳噪声阻碍了在白天检测微弱的回波。此时应用滤光片是有利的（但有一定限度）。使发射光束和接收光束尽可能变锐，也可减低日光噪声。降低太阳噪声的两种技术是，令发射和接收能量有合适的偏振角，以及如上面所提到的，采用同太阳大气中的吸收线相同的波长。这两者在斯坦福研究所都未试验过。

如果没有任何如象太阳那样的外噪声源，当检测很弱的信号时，光电倍增管的散粒效应噪声就很重要了。在一定程度上，这个噪声源可减到最小，其方法是冷却光电倍增管，并除了接收机需要接收信号的那一瞬间以外，防止任何光线进入，此外，在设计管子时，使光敏表面积减到最小。在热离子噪声成问题的能量水平上，实际上是检测单光子，而且标的出现是建立在概率的基础上。这种气象观察多半可以最容易、最快速地进行数字处理，因为信号幅度不再有意义了。

由于光雷达的辐射波长比微波雷达短很多，故光雷达光束更易遭受小粒子的散射和反向散射作用。事实上，正如埃耳特门^[4]、弗里德兰^[8]和其他人所证实的，甚至必须注意分子散射，虽然，在对流层，甚至有时在同温层，似乎粒子散射会压倒气体散射。

由于当波长与粒子的大小大约相等时，散射是这两者的比值的灵敏的函数，故当用双频光雷达研究云的形成消散时，可以在几分钟时间内观测到光雷达回波的惊人变化。

对于大气的气体成分，分子大小与波长的比值有利于瑞利散射。在光雷达的大部分观测中，比较重要的对象将是固态和液态的悬胶体。它们的大小在几十分之一到几个微米之间。在这范围内，粒子大小与波长的比值将落在瑞利极限值 $d/\lambda \approx 0.1$ 之外，这时更一般的米氏方程是适用的。若雨、雪、雹这些水蒸汽的凝聚产物处于无云的空气中，则可用激光雷达进行观测，然而，微波雷达对于这种观测会更有效，至少其观测距离较长。当雷达受到地面杂乱回波限制时，可用光雷达观测降雨的情况，而且，借助于光雷达的很高的方位和距离分辨率，可得到有关降雨细微结构的新情报。

同吸收和折射相比，最大兴趣可能集中在光雷达气象观测的反向散射上面。然而，吸收与折射这两种现象是通信工程师目前集中研究的课题。已用连续激光器在单程通路内很好地检定了它们。

5. 观察仪器的考虑

由于尚未设计出一种实用的光学收-发开关，在作者所知的所有光雷达中，发射、接收光学系统都是分开的。这两个系统可以有公共的光轴，此时激光束直接射入接收系统物镜上的孔；也可以有彼此平行的光轴（例如在 SRI 光雷达中），此时两个光学系统并排的固定在一起。

在上述两种情况下，都产生一种有趣的效应：当散射和接收光束会聚并随着远离发射机而逐渐重迭时，接收机就开始收到附近大气气溶胶体的反向散射光。随着距离的增加被照射，因而能进入接收机视野的体积逐渐增大，由于受照射的散射质点的数目增多，回波讯号的强度也不断加大。但是，超过某一距离后，距离衰减逐渐起主要作用，于是回波讯号开始减弱，并渐趋于零。

若散射粒子的大小均匀，浓度也均匀，则根据 1 型 SRI 光雷达计算出的讯号强度与距离的关系示于图 3；(a) 图 3 (b) 绘出的是实际观测结果。理论曲线完全基于几何的考虑。实际曲线上的小小的“前峰”，其原因尚不清楚。在我们的观测中，在某种程度上，它总是出现，我们认为，从本质上说，原因应在大气方面而不在仪器^[13]。

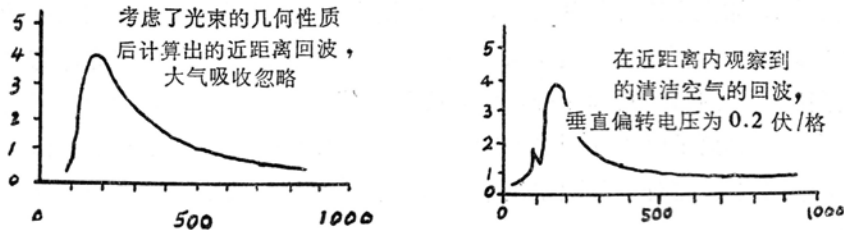


图 3

“近场”或短距离回波强度对于质点浓度非常微小的变化都极为敏感。有一天早晨，当能见距离从 20 哩变到 25 哩时，回波峰值的幅度变化非常显著。在有雾时，显示器的灵敏度必须调得很低，以免饱和。在这个区域中分析回波时，相对距离是更为重要的因素；例如，由 100 到 200 米，点目标回波幅值的差是 9 分贝，而从 1,100 米到 1,200 米时，只差 1.5 分贝。

6. 应用

虽然经验还很有限，但已证明脉冲光雷达有一系列重要的应用，甚至还有大量的可能应用尚待试验。必须指出，现时激光技术尚处于比较原始阶段，因而气象方面的许多可能应用有待于今后技术的发展。

将脉冲光雷达用于测云，显然优于其他任何技术。它能在白昼测量 35~40,000 呎 远处极薄的不可见卷云的能力、可以测 20 哩远处积云顶的高度(同样在白昼)的能力以及易于穿过较低云层的隙缝而探测较高云层的厚度的特点，都完全证实了上述论断。由于脉冲长度很短(名义上是 25 呎)，离地面很近的云底的高度也很易测得，有雨时也可用这种仪器探测云底的高度。

可以看出，光雷达用于能见度的客观测定有一定的希望，至少在某种条件下是如此。通过对光束的反向散射和消光的分析，可以想象，大气透明度能以有用的精度确定下来。需要做些实验来证明，单色光的观测结果是否能代表实际气象观测中白光的观测结果。如果沿这些方向的某些设想是正确的，则测定斜向能见度及海上能见度等重要而又几乎是经典的问题就可迎刃而解了。

由于光雷达可以探测极其稀薄的、肉眼难以分辨的(或者是黑得完全看不见的)云和烟的浓度，这就有可能利用它根据烟和霾的浓度确定逆温层的位置，也可能根据它们的气溶胶浓度来区分气团。毫无疑问，混合层的厚度也可以测出，如果需要的话，当太阳加热地表面，破坏了夜间的逆温时，可以一点一点地测(见图 7)。这种仪器最终还可以广泛地用于大气污

染的观测和研究。

观测(图9)表明,在白昼,深入浓积云至少100米左右,仍可以得到可测的光雷达回波。薄的卷云可以穿透几公里。这些观测结果提示了光雷达的另一一些应用,即研究云的发展、云的不同部位的水滴浓度以及光在云内部的散射。随着仪器技术(如象光束的微波调制)和观测技术的进展,将有可能利用多普勒位移观测云滴的运动,如同多普勒气象雷达所作的那样。

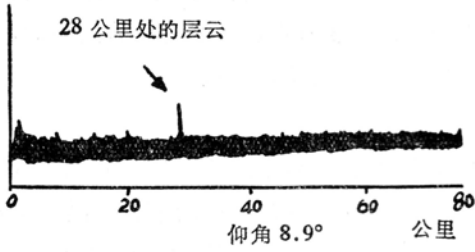


图 4

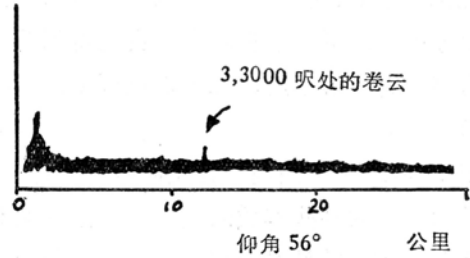


图 5

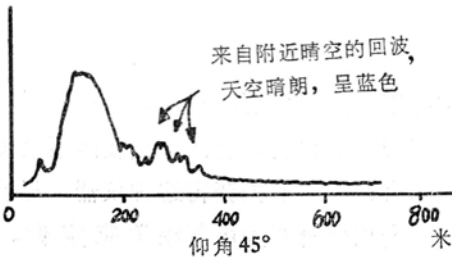


图 6

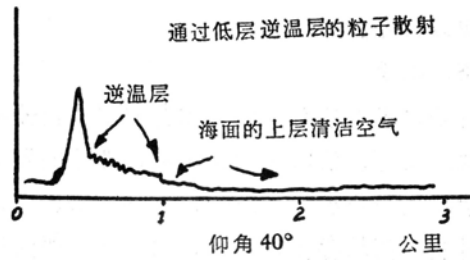


图 7

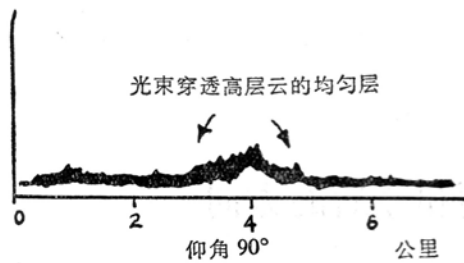


图 8

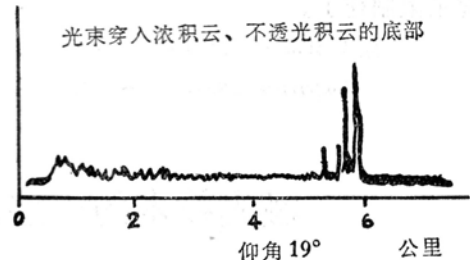


图 9

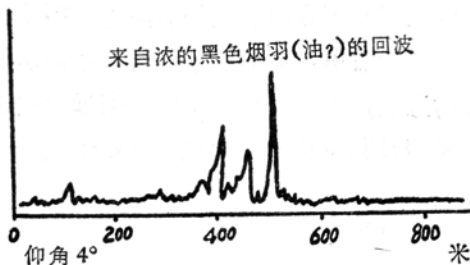


图 10

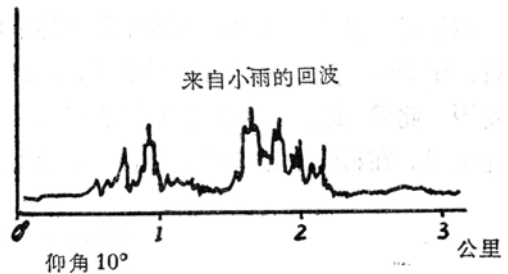


图 11

还可以提到其他一些可能的应用，例如利用追踪喷烟和火箭的尾迹来测风。但光雷达最有意思的用处之一，或许将是借探测漫延在对流层中的稀薄的烟、尘埃等粒子来观测小规模的大气运动。象微波雷达能够借检测雨滴和雪片的水平和垂直分布（风使它们形成一些特殊的花样）来描绘飓风和旋风的旋涡、垂直风剪力和前沿区那样，光雷达也可以通过尘埃的不同分布，间接描绘出无云地区内大气的活动情况。在这想法实现之前，我们必须等待高脉冲重复频率光雷达的进展，这是因为仍不可能在适度的时间内产生 PPI（平面位置指示器）、RHI（距离高度指示器）或 Z-t（方位角-时间）光雷达图案，但是，能够实现这一想法的日子并不十分遥远。可以预料，由光雷达得到的尘埃图与由雷达得到的降雨图有显著的不同，这是因为存在着下落速度、源区以及观测尺度和分辨能力这些主要的差别。

7. 观测

图 4 到图 11 是到现在为止所得到的许多观察中的很少的一部分例子。选取它们是想说明光雷达观测的某些本质问题，而不是说明有关大气的新情况。这些图片是实际光雷达摄影的精确描述，并且必须记住，每一张图片只不过是单独的描述。很显然，由于我们只用了不到一年的时间进行观测实验，我们尚须进一步究明有关仪器的能力和所受的限制，并对观测结果加以解释。

8. 结论

看来，光雷达在气象工作者的很多仪器中，一定处于一个很重要的地位。目前，对于探索性观测研究、仪器试验和光雷达理论的发展都存在着极好的机会。有两个重要因素会促进光雷达的进一步进展。第一，这种仪器比雷达简单，这会促进人们去获得这种仪器，尽管还没有过剩的商品存在；第二，由于在一段时期内，每一台仪器都必须由气象学家定做。这样，发明和改进的机会远比当时的雷达大——雷达的设计实际上已被探测点目标和描绘地形图的要求限制死了。

原载 *World Conference on Radio Meteorology Incorporating the Eleventh Weather Radar Conference*, 1964, 482~489(赵燕曾、林海译, 孙占鳌、杨香春校)

激光技术的一些问题和今后的方向

堀崎賢治, 高桥 忠

在最近的科学发明中，象激光器那样举世瞩目的东西是不多的。最初的激光器^[1]使用红宝石，于 1960 年制成；接着，利用氦、氖混合气体的高频放电，制成了第一台连续振荡的激光器^[2]。此后，激光器的研究、发展和应用有了巨大的进展；现在已制成了比初期远为先进的激光装置。在科学上已形成了包含微波激光器、激光器及其应用的新领域——量子电子学。

激光器的现状

表 1 给出了各种激光工作物质。在这些工作物质中，不仅有气体、液体、固体、激发方

法、振荡波长、输出等等差别，而且其中有的只是在低温下才能起振，也有的好容易在实验室产生振荡，但与实用还相距很远。这里就主要工作物质的现状加以说明。

表 1 激光工作物质一览表(括号表示固体、液体激光器中的基质工作物质)

光激发固体激光器	$\text{Cr}^{3+}(\text{Al}_2\text{O}_3)$, $\text{Ni}^{2+}(\text{MgF}_2)$, $\text{Pr}^{3+}(\text{CaWO}_4, \text{SrMoO}_4, \text{玻璃})$, $\text{Pr}^{3+}(\text{LaF}_3)$, $\text{Nd}^{3+}(\text{CaWO}_4, \text{YAG}, \text{其他晶体}, \text{玻璃})$, $\text{Eu}^{3+}(\text{Y}_2\text{O}_3)$, $\text{Ho}^{3+}(\text{CaWO}_4, \text{CaF}_2, \text{玻璃})$, $\text{Er}^{3+}(\text{CaWO}_4)$, $\text{Tm}^{3+}(\text{CaWO}_4, \text{SrF}_2)$, $\text{Sm}^{2+}(\text{CaF}_2, \text{SrF}_2)$, $\text{Dy}^{2+}(\text{CaF}_2)$, $\text{Tm}^{2+}(\text{CaF}_2)$, $\text{U}^{3+}(\text{CaF}_2, \text{SrF}_2, \text{BaF}_2)$
阴极射线激发固体激光器	$\text{Nd}^{3+}(\text{CaWO}_4)$
光激发有机激光器	Eu^{3+} (各种螯合物的乙醇溶液)
注入式半导体激光器	SiC (振荡有疑问), $\text{Ga}(\text{As}, \text{P})$, GaAs , $(\text{In}, \text{Ga})\text{As}$, InP , $(\text{In}, \text{P})\text{As}$, GaSb , InAs , InSb , PbTe , PbSe
阴极射线激发半导体激光器	CdS , InSb , InAs , GaAs , PbS , PbSe , PbTe , GaSb , Te
光激发半导体激光器	InSb , InAs , GaAs
放电激发气体激光器	Ne , He , Ar , Kr , Xe , O , C , N , S , Br , I , Cl , Hg , N_2 , CO , H_2O , RCN , Si , Hg^+ , Hg^{2+} , $\text{Ar}^+ \sim \text{Ar}^{3+}$, Kr^+ , Kr^{2+} , Xe^+ , O^+ , O^{2+} , Cl^+ , I^+ , C^{2+} , $\text{N}^+ \sim \text{N}^{3+}$, $\text{S}^+ \sim \text{S}^{3+}$
光激发气体激光器	Cs , I

1. 红宝石激光器

红宝石($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$)是以 Cr^{3+} 置换 Al_2O_3 晶体中的 Al^{3+} 而成。在激光器中，通常使用约 0.5% (重量) 的粉红色的红宝石，产生 6,943 埃的振荡。

虽然红宝石有着三能级激光材料所共有的一些缺点：如产生振荡需要大的光激发输入，不易产生连续振荡等；但由于它能在室温下工作，荧光寿命长(室温时约 3 毫秒)，工作物质极为稳定，因而最适用于高功率输出和巨脉冲(后述)。

用作激光的红宝石应该是：(1) Cr^{3+} 溶度适当，而且分布均匀；(2) 没有气泡和条纹；(3) 没有杂质。其中，(1) 是为了延长荧光寿命，缩小谱线宽度；(2) 是为了不降低谐振器的 Q 值；(2)、(3) 是在大功率输出时，为了不损坏红宝石棒所必须的条件。制造这样的红宝石非常困难，目前是从制成的红宝石中选择较为优良的加以使用。通常，把铝和氧化铬的混合粉末熔于氢氧焰中，使之结晶而成(维涅耳法)。从液体中析出晶体而制成的优质红宝石价格昂贵，特别适用于巨脉冲。

要想激发红宝石，合适的光源应该具有丰富的、与红宝石吸收带(3,600~6,000 埃)尽量相一致的光谱成分。通常使用氙闪光灯，在其发射光谱中，对红宝石激发有用的约占输入电能的 10%。即便是相同的输入电能，如果充电电压高，发射光谱聚集在波长短的一侧，效率提高，但是灯的寿命缩短。为了高效率地把线状的灯光聚到红宝石上，在二开口部安装平面镜，并使用圆筒椭面镜，将灯和红宝石分别置于两焦轴上，聚光效率可达 30%。这样从电输入到激发红宝石的光的变换效率最多不过 5%，这里大有改进的余地。还存在着氙灯以外的光源，但在使用方便和效率方面不及氙灯。

红宝石激光器工作时，通常产生时间宽度为 1 微秒量级的脉冲振荡（尖峰），其重复时间在 1 毫秒附近作不规则的变化。采用 Q 调制^[3]方法可获得时间宽度更窄的（100~5 毫秒）、输出大的单一脉冲（巨脉冲）。在这种方法中，最初降低谐振器的 Q 值，并进行光激发，到集居数反转分布充分大时，突然提高 Q 值，使之产生振荡。把一个反射镜作成高速旋转（每分约几万转）的棱镜，或将克尔盒、蒸涂薄膜，以及在强光作用下吸收，饱和后能变成透明的物质放入谐振器内，Q 调制就能进行工作。集居数反转分布越大，Q 调制的速度越快，红宝石的输出也就越大。一般认为红宝石的最大输出界限是每 1 平方厘米截面积为 1,000 兆瓦。此时，由红宝石内部的振荡光引起的电场强度约为 10^7 伏/厘米，超过这个强度，绝缘很可能破坏。实际上，由于某些尚不清楚的原因，在几十兆瓦的输出时，红宝石内部已形成了气泡状的东西，变得不能使用。如果不将红宝石放入谐振器，而作放大器使用，那么甚至在数倍的输出下也能使用。

巨脉冲的重要用途之一是利用这样的强电场来研究物质的非线性现象。为此，最希望的是以透镜聚光之后，能将能量密度提高的单频。使用优质的红宝石和波型选择器，能获得数十兆瓦。如果用透镜聚光，即便是 10 兆瓦以下的输出，也要引起空气击穿。

2. 使用红宝石以外的晶体的激光器

迄今存在着红宝石以外的、也能显示激光作用的激活离子和基质晶体的组合，已经获得 0.6~2.6 微米波长的振荡。由于激活离子作为杂质置换了一部分基质晶体，所以作为激光工作物质，为了保持狭的荧光宽度和长的荧光寿命，激活离子的价电子数和离子半径最好与基质晶体中应该被置换的离子的价电子数和离子半径大致相等；最好具有尽可能宽的激发光的吸收光谱带，以获得强激发，且基质晶体要具有良好的光学均匀性。如表 1 所示，存在许多工作物质，四能级的激光器在低激发光输入时也会振荡。在室温时能连续振荡的钇铝石榴石（YAG）： Nd^{3+} ^[4]和 CaF_2 ： U^{3+} ^[5]等就是代表。但是，光激发固体激光器的共同特点是，即使连续工作，振宽也要随时间作不规则变动。尚未能获得与红宝石和玻璃相匹配的脉冲输出的工作物质。

3. 玻璃激光器^[6]

玻璃是非晶体，具有能作成光学均质的长棒（长约 1 米）和添加大量离子的优点，因而成了稀土元素的良好基质。掺铈玻璃激光器以 1.06 微米的波长振荡，和红宝石激光器相比，在输出上大致相同（约 1,000 焦耳）；在效率上，由于是 4 能级激光器，所以较为优越。由于它的荧光寿命短（约 0.1~1 毫秒）、工作物质要变坏（特别是由于紫外光的照射）、放热速度慢以及又是红外振荡等方面的原因，使得红宝石激光器更易使用于巨脉冲中。

4. 有机化合物^[7]

掺激活离子 Eu^{3+} 的螯合物，在紫外光的激发下也会引起激光振荡。通常将它们溶于有机溶剂（乙醇等），在液氮温度下作固体使用。具有光学均质性、在液态时使用能循环冷却以及通过选择不同种类的螯合物可以改变振荡波长等是它的优点，但在另一方面，因为是有机材料，受热后变软，致使吸光系数过大（约 10^4 厘米⁻¹）；由于激发光不能射到工作物质的内部，故实验上成功的例子很少，距实用还很远。

5. 半导体激光器

在某种半导体中，当导带电子和满带空穴再结合时，以很大的机率放出光。在这样的半导体中，若造成集居数的反转分布，便会引起光的放大和振荡。最一般的是砷化镓 p-n 结二极管，若在顺方向加一偏压，于是电子从 n 区域、空穴从 p 区域注入到接合部附近，在这里再结合，在 0.84 微米附近引起激光振荡^[8]。从激发电流到振荡光的变换效率高(50%以上的也有)，即使是高频(约 10^4 兆周)，通过改变电流，就可以直接调制振荡光的振幅，同时还具有体积小等优点。通常，低温时脉冲工作，但室温时脉冲工作、液氮温度 (77°K) 时连续工作的也有。最大连续输出达 12 瓦。把电子束或光照射到半导体上，造成竖直电子-空穴对，使激光振荡获得成功的例子也有^[9]。

6. 气体激光器

低压气体中，构成气体的原子、离子和分子间的相互作用小，所以荧光的宽度窄。由多电子能级间的跃迁和分子振动能级间的跃迁，即可获得激光振荡。脉冲振荡时，在 0.2358~373 微米之间获得了 500 根以上的工作波长；连续振荡时，在 0.4579~133 微米之间获得了 270 根以上的工作波长。

气体密度小，有助于放大的集居数反转分布也少，所以每单位长度的增益，较固体激光器和半导体激光器小得多。但是，气体是光学均匀的媒质，所以增加长度时，不会降低共振器的 Q 值，若有百分之几的放大量，便能使之振荡。

气体激光器除了振荡波长丰富、容易连续振荡之外，还具有振荡光的相干性优越的优点。

空间相干性表示振荡光偏离等相位平面或者球面的程度，具有好的空间相干性的平行光束，能聚光在与波长同量级的线度范围内。气体激光器得到的空间相干性接近于被折射所限制的理论值。时间相干性表示单色性的程度，好的时间相干性，其振荡光的光谱窄，如将光线分成两部分，即使给以很大的光程差(时间差)，当再度会合时，仍能引起干涉。例如，频率稳定的 6,328 埃的连续振荡单频激光器，短时间的频率稳定度约为 10^3 周/秒，这相当于约 1 千公里的可干涉距离。

在各种气体激光器中，氦-氖激光器运用得最广。它容易产生 0.63 微米、1.15 微米、3.39 微米的连续振荡。

氩激光器^[10]和二氧化碳激光器^[11]是最近的课题。前者属于利用离子激励态间的跃迁的所谓离子激光器，用直流弧光放电得到紫-绿色的连续大功率输出。现在如果增加输入功率，其输出还会继续增加。但它存在着放电部分不能充分冷却、反射镜涂料因受热而损坏、寿命短以及效率低等等问题。得到最大输出 18 瓦，这是所有激光器中最大的连续输出。

在 CO_2 激光器中，通过 N_2 及空气等混合气体的放电，高效率地将 CO_2 激励至振动能级上，利用它向低能级的跃迁，在 10.6 微米附近的三个波长上，得到了相互独立的单频连续振荡，其总输出为 16 瓦(输入为 400 瓦)，这是气体激光器中的最高效率(4%)。

激光器的一些问题

从激光应用的观点加以要求，希望得到任意波长和任意输出，且容易使用、经济的激光

器。完全满足这些条件的激光器还没有，表2例出了目前一般认为比较实用的典型的激光器的特性。

表 2 典型的激光器的特性

种类	光激发固体激光器		注入式半导体激光器	气体激光器				
工作物质	红宝石(掺钎玻璃)		YAG: Nd ³⁺	GaAs		He-Ne	A ⁺	CO ₂
波长(微米)	0.69(1.06)		1.06	~0.84		0.63, 1.15 3.39	0.46~0.53 几个波长同时	10.57 10.59
工作方式	单脉冲 ~1毫秒	单巨脉冲 ~毫微秒	连续	重复脉冲 1微秒 几百次/秒	连续	连续	连续	连续
工作温度	室温	室温	室温(水冷)	77°K	4.2°K	室温	室温(水冷)	室温
激发	氙灯	氙灯	钨灯	直流脉冲 电流	直流电流	直流气体 放电	直流气体 放电	高频气体放电
电输入	3千焦耳	3千焦耳	1千瓦	几十瓦	几安	100瓦	5千瓦	400瓦
光输出	3焦耳 (5焦耳)	30兆瓦	0.5瓦	10瓦	1瓦	30毫瓦	1瓦	10.57微米8.9瓦 10.59微米3.0瓦
工作物质的尺寸	直径10毫米 长100毫米	直径10毫米 长100毫米	直径5毫米 长50毫米	接触部分面积几百 微米×10~100微米		直径几毫米 长1米	直径几毫米 长0.5米	直径25毫米 长2米
备考	尖峰状振荡 持续~1毫 秒		单频工作可 能, 输出几 兆瓦	振荡宽度作不 规则变动		单频工作可 能, 输出~1 毫瓦	单频 根据文献[11]	

从(1)光激发固体、(2)注入式半导体、(3)气体的任一种中都获得了连续振荡。但获得1瓦以上输出的只有:(1)中是1.06微米(Nd³⁺)、2.6微米(U³⁺);(2)中是0.84微米;(3)中是可见光、10.6微米。在(1)中,振荡光的振宽作不规则变化。(2)的效率优异,体积小,能用电流直接调制,但振荡光的相干性差。(3)中,除10.6微米的振荡以外,单频的输出较低。把振荡光作为窄波长范围的强光源时,(1)、(2)、(3)中的任一个都能使用。(2)能用作简单通信的载波,(3)能用作宽带光通信的载波。10.6微米正好处在大气中衰减减少的、一般称作“窗”的波长范围内。在振荡波长范围和相干性这一点上,气体激光器最优越,但是由于激励是通过和具有宽广速度分布的电子的碰撞而产生的,故大多数的效率低于0.1%。大功率输出的氙激光器存在着效率低、寿命短(几十小时数量级)的问题。

脉冲振荡时,就输出这一点讲,数光激发固体激光器最佳。因为到闪光灯和激光棒的平均输入是有限的,所以输出越大,脉冲宽度和脉冲重复频率也下降得越快。水冷红宝石激光器和玻璃激光器获得了每秒几焦耳的输出,若用透镜将光聚到微小面积上,则足以进行切割和熔接等工作。

据闻,红宝石激光器和玻璃激光器都获得了约1,000焦耳的单脉冲输出,在此将需要特别大型的灯和巨大容量的电容器。现在,日本国内试制到50焦耳的数量级,由于价高,应用还少。

为了使激发光对棒的聚光效率不致降低,灯的大小不能比棒大,所以大功率输出激光器

和重复率高的激光器的灯的寿命短，这在工业应用上也是一个问题。

在巨脉冲中，使用红宝石和玻璃作工作物质。如前所述，在性能和使用容易性方面，红宝石稍稍优越一些。问题在于优质的棒价高、且有时要损坏。

有关技术的现状和一些问题

激光以外的技术的发展，给激光研究和应用带来重大的影响。这里仅对综合了各种技术之后才成为可能的通讯方面的应用^[12]加以说明。在光波段中，也曾试图实现诸如微波波段的环行器、隔离器、可变衰减器和相移器等元件。这可用棱镜、偏光元件和偏光面回转元件等组合而成。在可见光、近红外光的实验很多，但实验困难的红外光的例子很少。

调制是对振荡光的振幅、频率和相位加以控制，从广义上讲，它包含了Q突变。在光激发固体激光器中，除了Q突变外，还通过超声波振动来控制振荡尖峰的高度和间隔。在半导体激光器中，如改变激发电流，则振荡输出作振幅调制。有人在谐振腔内部放入激光工作物质，得到了11千兆周调制的实验结果^[13]。在气体激光器的调制中，有改变激光管的增益、共振腔的损失和耦合度的内调制，以及调制输出光的外调制等。内调制的调制效率高，但由于使振荡器的工作点发生变化，因而振幅和频率同时被调制；另外，除了耦合度调制以外，调制频率有上限(100~1,000兆周)。在使用ADP和KDP等的外调制时，需要强电力，这是一个缺点。在许多轴向波型上同时产生振荡的激光器中，调制用来使各波型的振荡频率间隔和相位一致(模式锁定)^[14]，或者用以得到单频(调频激光器)^[15]。

在传送路中，可以分为光从介质内部和中空管中通过，以及从大气中和水中通过这两种情形。前者的可靠性较高，宜用于宽带通讯。有实验表明，如使管内的气体形成密度差，就会具有折射和透镜的作用。在大气中，由于存在着气体分子、尘埃和水滴等，引起散射和吸收。有几个衰减少的窗，但终因大气折射率的不规划变化而导致光路的不稳定，使信号恶化。在海水中，兰绿色光衰减最小；但是，每前进100米，光的强度减至1/30，所以可能通信的距离约1,000米。宇宙空间是理想的传送路，问题在于如何将光束射向对方。如光的波长为1微米、发射光学系统(反射镜)的直径为1米，则束宽约 10^{-6} 弧度。这相当于从相距1千米的地方瞄准直径为1毫米的目标。

光检测器大致可分为光子检测器和热检测器。光子检测器是计测入射的光子数的，它是利用光电子发射、光导电、光电池、光电磁效应等构成的。在光子能量大的范围(近紫外~10微米)内是灵敏的。由于光电子发射面工作在近紫外~1.2微米范围内，响应时间也较 10^{-9} 秒短，所以作为缩短电子行走时间的光电管使用。在光电管和光二极管中，利用其非线性，将频率不同的两种光混合，以检测光束的差拍。当信号弱时，用外差检波器可得到比直接检波更大的信噪比。

热检测器是利用随着检测元件的温度上升而发生的电动势(热电偶)、电阻变化(热变电阻器、测辐射热器)以及热膨胀(高莱池)等而进行检出的。所有的波长都有接收能力，但响应时间，即便是快速检测器，也有 10^{-3} 秒的量级。

激光的未来

获得激光振荡才五年时间，但所开拓的研究有日新月异之感。老实说，谁也不能预料未来的路程。这里就最近必须解决的问题和方向加以说明。

首先，看一下激光装置的发展，即新波长的振荡，输出的提高，相干性、效率、寿命等的改进。

在大功率输出的脉冲激光器中，使用红宝石和掺钕玻璃，现在得到了约1千焦耳以上的输出。如不改进灯，则充电用的电容器的容量将一直增加。有人考虑以爆炸时发光这种电以外的能源作光源。

估计不会出现输出功率远远超过目前数值的巨脉冲激光器。必须开拓10~100兆瓦的稳定性好的单频激光器。为此必须阐明怎样的红宝石适用于巨脉冲，并设法制作这样的红宝石。玻璃中的变坏问题必须解决。

象YAG: Nd³⁺那种在室温下保持1瓦量级连续输出的固体激光器，较气体激光器的体积小得多，但输出和频率有不规则的变动，这些必须改良成稳定的连续振荡。

为了提高光激发固体激光器的效率，现在最好是开拓和某种激光工作物质的吸收光谱带相一致的激发光源；或者从另一方面，在含有激活离子的激光工作物质中，为进一步增加吸收，适当地加入对激发起作用的敏化离子。

气体激光器优越的相干性、宽阔的振荡区域等优点将被充分利用。为了增加单频激光器的输出，必须寻找每单位长度增益较大的气体工作物质。现在只是二氧化碳激光器处于红外区，所以加长共振器，就能得到大功率输出。振荡波长仅就可见光而言，现在约有150条，但将进一步增加。如能得到各种振荡波长的约0.1瓦的连续输出，那么，在物理光学研究方面将会有很大的用处。乙醇激光器中有着10瓦以上的振荡线，能作为喇曼光谱仪的激发光源和加工机之用。在美国正在进行着提高这种激光器的输出和寿命的研究，不久将会制成输出100瓦的这种激光器。另外，输出1瓦、寿命1,000小时以上的激光器也将成为可能。效率低必须改善，但是，这种改善有赖于把工作机理彻底搞清楚。

半导体激光器，由于相干性不佳，所以利用其效率高、体积小以及能直接调制的优点，主要将用于简易通讯、红外光源、光电子学等方面。脉冲频率调制的、输出16瓦的砷化镓激光器，预定用于双子星座7号的地面站进行通讯实验。光电子学是以光代替电作为讯号，使电子回路工作，能用于计算机方面，但要实用还相当困难。

液体激光器，通过和半导体激光器相同的激光作用，有利于研究工作物质本身，所以将继续进行基础研究。

在开拓激光装置的同时，应用也在发展。现例举主要的看一下。在用作干涉仪、全光照相（利用干涉的照相机）^[16]、光谱仪、透视检验仪等光学机械的光源时，需要相干的连续振荡输出。气体激光器适用于它。能控制振荡时间宽度和输出的、在几秒内能获得约1次重复输出的红宝石激光器或玻璃激光器，适用于以透视聚光、在物体上打孔或者熔接的加工机中。一般认为激光加工机对薄膜电子回路的打孔、导线的熔接、光化学处理等，特别是对小面积

的加工,应用甚广。在这种激光加工机中,必须有至少能保持 10,000 次闪光寿命的闪光灯。在医用方面,已制成了能精密控制振荡时间宽度和输出(1 焦耳以下)的治疗视网膜脱落的激光器,以及治癌的大功率玻璃激光器。现正进行这方面的实验。

在通讯应用方面,对于简单的用途,固体、半导体、气体激光器中的任一种都能胜任,但是用于宽带通讯乃是气体激光器的使命。后者能付诸实用,将是 5 至 10 年以后的事情。为此,必须建立性能良好的激光器、调制法、传送路、检测法,而且必须探讨激光通讯方式的必要性和经济性。现在已可望制得在低压时工作的调制元件 $\text{KTa}_{0.65}\text{Nb}_{0.35}\text{O}_3$ ^[17],但是今后仍要开拓新的工作物质。检测方法除使用以往的感觉元件外,利用各种非线性现象、变换成其他的波长后加以检测的外差检波技术,将会获得进展。迄今为止,研究工作主要还只是在可见光区域内进行,红外区域内的研究同样也有进行的必要。

最后,在物理、化学研究上也有其用途。例如,巨脉冲使许多非线性现象^[18]成为可能,使以高的变换率发生高次谐波以及制作喇曼激光器成为可能等等。

人们对激光器大谈特谈,而实用上却没有进展,这样的批评是经常听到的。但是,激光发明以来时间尚短,象其他许多技术领域的进展一样,不花费相当的时间,是无法取得扎实的进展的。激光还是值得充分重视的领域。

参 考 文 献

- [1] T. H. Maiman: *Nature*, **187**, 493 (1960).
- [2] A. Javan, W. R. Bennett, Jr., and D. R. Herriott: *Phys. Rev. Lett.*, **6**, 106 (1961).
- [3] F. J. McClung and R. W. Hellwarth: *Proc. IEEE*, **51**, 46 (1963).
- [4] J. E. Geusic, H. M. Marcos, and L. G. Van Uitert: *Appl. Phys. Lett.*, **4**, 182 (1964).
- [5] G. D. Boyd, *et al*: *Phys. Rev. Lett.*, **8**, 269 (1962).
- [6] E. Snitzer: *Phys. Rev. Lett.*, **7**, 444 (1961).
- [7] A. Lempicki and H. Samelson: *Phys. Lett.*, **4**, 133 (1963).
- [8] R. N. Hall, *et al*: *Phys. Rev. Lett.*, **9**, 366 (1962).
- [9] たとえば B. Lax: *IEEE Spectrum*, p. 63 (July, 1965).
- [10] W. B. Bridges and A. N. Chester: *Appl. Opt.*, **4**, 573 (1965).
- [11] C. K. N. Patel: *Appl. Phys. Lett.*, **7**, 15 (1965).
- [12] たとえば 斎藤成文: 電気通信学会編量子エレクトロニクス, p. 177 (1964).
- [13] B. B. Goldstein and R. M. Weigand: *Proc. IEEE*, **53**, 195 (1965).
- [14] L. E. Hargrove, R. L. Fork, and M. A. Pollack: *Appl. Phys. Lett.*, **5**, 4 (1964).
- [15] G. A. Massey, M. Kenneth Oshman, and Russell Targ: *Appl. Phys. Lett.*, **6**, 10 (1965).
- [16] たとえば E. N. Leith and J. Upatnicks: *Scientific American*, **212**, 24 (June, 1965).
- [17] J. E. Geusic, *et al*: *Appl. Phys. Lett.*, **4**, 141 (1964).
- [18] P. A. Franken and J. F. Ward: *Rev. Mod. Phys.*, **35**, 23 (1963).

会议报导

第六届国际光波与超高频的产生和放大会议

由英国电气工程师学会电子学部 and 电子学与无线电工程师学会联合举办的第六届国际微波与光波的发生与放大会议(以前为超高频管会议), 将于 1966 年 9 月 12 日至 16 日在剑桥大学举行。

这次会议的目的, 是在 1964 年 9 月在巴黎召开的第五届会议以后, 在超高频及光波的产生、放大及其它有关技术领域中, 促进研究意见的交流。关于这些主题所有的科学发展及技术进展, 均将在会上提出, 并讨论。

计划包括以古典超高频管及固体、等离子体及其它激活介质产生超高频波与光波。此外, 还包括除严格限制频率外, 相干电磁波的产生与放大。

原载 *Onde Elect.*, 1966, №471, 766 (王克武译)

(上接第 21 页)

示在表 II 里。 J 值小时, 符合得很好, 但当 J 增大时, 出现有规则的偏离, 增加的数量为 12%。为了使符合的情况更好, 需要考虑二次项。

CO 的一次激发振动态在 2143 厘米^{-1} , 其辐射寿命为 33 微秒, 其碰撞寿命可能还要长^[5]。这样, CO 能借几乎是共振振动-振动碰撞将能量转移给 OCS 的 00^0_1 能级, 其行为类似于 $\text{N}_2\text{-CO}_2$ 激光器中的 N_2 ^[6]。使用 OCS-CO 混合物时出现 R-支跃迁, 这反映出由于获得的共振转移, 增益有所提高^[7]。

参 考 文 献

- [1] C. K. N. Patel, *Appl. Phys. Lett.*, **7**, 246 (1965).
- [2] A. G. Maki, E. K. Plyler, E. D. Tidwell, *J. Res. Natl. Bur. Std.*, **66A**, 163 (1962).
- [3] C. H. Townes and A. H. Schawlow, *Microwave Spectroscopy* (McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1955).
- [4] G. Herzberg, *Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules* (D. Van Nostrand Co., Inc., New York, 1959).
- [5] R. C. Millikan, *J. Chem. Phys.*, **38**, 2855 (1963).
- [6] C. K. N. Patel, *Phys. Rev. Lett.*, **13**, 617 (1964).
- [7] C. K. N. Patel, *Phys. Rev. Lett.*, **12**, 588 (1964).

原载 *Appl. Phys. Lett.*, 1966, **8**, No. 12, 334~335 (陈嘉华译)

新 型 装 置

新型氩激光器获得 53 瓦输出

雷瑟恩公司研究部已研制成所谓最强的电离氩激光器，其连续输出可达 53 瓦。

输出是可见光谱兰绿部分的 6 个跃迁，其中的主要谱线是 4,880 埃和 5,145 埃。放电管的长度约 260 厘米，放电体积约 124 立方厘米。

以前报导的这种激光器的最高水平是 30 瓦(同一公司)。

较大的功率在激光通讯系统中有重要的应用。另外，氩激光器还可以用在全光照相、亮度显示系统、精密机械加工和切削系统中。

功率的提高与所使用的反射镜的质量有密切的关系。该公司的研究人员帕纳嫩(R. Paananen)说：“我们已找到了能制造质量看来是非常好的反射镜的新厂家。”

帕纳嫩说，采用直径 8 毫米的光束(比平均直径大得多)，使光束产生的热扩散到可透过的反射镜的很大部分上，这样，反射镜就不大容易损坏。

该公司目前使用的反射镜的透过率较高，虽然这样会使效率降低，但这也能减少发热。过度的热引起激光系统的反射镜变白，并产生斑点，从而使反射镜失效。他们现在正在做冷却反射镜的技术工作，并希望在不久的将来获得比现在大得多的输出。

原载 *Electron. News*, 1966, 11, №550, 33 (周碧秀译, 向立人校)

法国制成室温运转 CaWO_4 固体激光器

1965 年末，法国国家通讯研究中心物理、化学与冶金部最先在该国制成室温运转连续输出的荧光固体激光装置。输出波长为 1.06 微米。除激光灯外，全部为法国自制。

激光棒为该中心生长的掺钕钨酸钙单晶制成。将晶体加以修整，侧面与两端抛光，获得直径 3 毫米、长 30~50 毫米的棒。端面是曲率半径为 50 毫米的球面，涂以银膜或多层介质膜。

光泵装置主要由截面为椭圆的、内部镀银的柱状反射镜组成。激发光源为氙弧灯，最大输入功率为 1 千瓦。

棒与灯以循环水冷却。输入交流电 420 瓦时，获得激光发射，输入 900 瓦时获得连续输出。激光发射的平均功率超过 0.5 瓦。

原载 *Onde Elect.*, 1966, №471, 754 (王克武译)

法国制成钇铝石榴石激光器

法国汤松·乌斯通公司研究实验室最先在法国制成连续发射的固体激光器。此种激光器以掺百分之一钷的钇铝石榴石棒作激活元件，对通讯与测距特别有利。石榴石及钷（具有极细荧光线的激活元件）的光学质量较好，只需几百瓦的钨丝灯抽运即可获得激光效应。灯与石榴石棒各置于椭圆腔的一个焦点上，以循环水来冷却晶体。输出的红外辐射波长为 1.06 微米，功率为 400 毫瓦数量级，并未采用特别适合的灯进行抽运。将来采用特殊的灯抽运，将功率提高至几十瓦，可考虑将此种激光器用于解决大大超过通讯极限的一些问题。

原载 *Onde Elect.*, 1966, №469, 503 (王克武译)

碘蒸汽脉冲激光器产生的新谱线

B. M. Ковальчук, Г. Г. Петраш

本文报导了碘蒸汽的脉冲放电所产生四条新谱线的观察实验。在实验中采用了以布儒斯特角焊接的石英窗以及外反射镜的普通结构的激光器。还采用了有内冷却铝电极的玻璃管。管的内径为 10~12 毫米，放电距离为 80~110 厘米。用容量为 0.01 微法的电容器放电，通过被控制的三极放电器的电流脉冲来激发管子。电容器的电压从 10 千伏调节到 50 千伏，放电电流达到 1 千安培左右。碘晶体放入用开关从放电管分支出的侧管中。在工作时将碘蒸汽大量放入放电管中，然后聚积到所需的压强。除在纯碘蒸汽中的放电之外，还研究了碘与惰性气体、氮气的混合气体中的放电。

在上述条件下，仅仅当碘蒸汽压强为 10^{-3} 毫米水银柱高时，在纯碘蒸汽的放电中才观察到振荡。缓冲气体的增加破坏了振荡。在光谱的可见区域观察到三条振荡线，在红外区观察到一条振荡线。当电容器的电压接近 30 千伏，并渐增至 50 千伏时，振荡功率也随之增长，这时就产生了可见光的振荡谱线。只有当电压接近 50 千伏时才观察到红外振荡，而且是不稳定的。在这种条件下，不论是在纯碘中，还是在碘与其他惰性气体以及氮的混合气体中，都没有观察到碘的任何其他振荡线。

振荡光谱线的波长是用在可见光谱区中色散本领为 2 埃/毫米、在红外区域中的色散本领为 4 埃/毫米的 ДФС-13 光谱仪器测量的。测量的估计误差对可见光是 $\Delta\lambda \approx \pm 0.03$ 埃，对于红外线接近于 ± 0.06 埃。测量到的波长：4,533.79 埃、4,674.40 埃、4,934.67 埃和 10,714.2 埃。

在可见光谱中，振荡产生于电流脉冲的开始，它具有有效持续时间为 1.5 微秒的衰减的正弦曲线形式。在可见光线中，振荡脉冲大概是三角形的，半高度处的持续时间接近 150 毫微秒。

在电容器的电压为 45 千伏、脉冲重复频率为 3 赫的条件下，振荡的平均功率是用带刻

度的热探头进行测量的。由于在振荡的可见光谱区中，反射镜之一的透射率约为1%，输出反射镜的透射率为80%。在此情况下，三条可见光谱线的振荡脉冲总能量大约为0.33兆焦耳，这一总能量与2.2千瓦的峰值功率相符。没有红外振荡光谱。在可见光谱线上观察到明显的超亮度效应。

在掺有惰性气体的碘蒸汽中，很早就观察到了脉冲振荡^[1-3]。我们曾经观察到的谱线与这些文献中所谈及的每一条谱线都是不一致的。我们之所以没有观察到早已知道的振荡线，是因为采用的激发条件不同。

我们试图将观察到的光谱归咎于定态跃迁，根据JI和JII^[4,5]光谱的完整的数据，足以断定我们所观到的谱线与这些光谱无关。用任何可能的杂质来描述这些谱线的尝试同样没有得到结果。同样，这些谱线与其他元素产生的已知谱线也是不相同的^[6,7]。

在观察振荡的条件下研究了放电的自发光谱(这是很容易用超亮度来控制的)。在可见光谱和紫外区的160条光谱线的测量表明，在我们的激发条件下，JI谱线不存在，而只有谱线JII才是强谱线。按文献8的数据可以将大多数的谱线归于JIII和JIV光谱。大约有70条谱线不属于定态跃迁。但是，应该指出，文献8中JIII和JIV光谱的数据是很不完全，而且是很不可靠的。关于较高次电离的离子光谱的数据，我们一般是不知道的。

基于所获得的结果，可以假定，在本工作中所观察到的振荡谱线，属于高次电离的碘离子光谱中的跃迁。

参 考 文 献

- [1] G. R. Fowles, R. C. Jensen, *Proc. IEEE*, 52, 851, 1964.
- [2] G. R. Fowles, R. C. Jensen, *Appl. Optics*, 3, 1191, 1964.
- [3] R. C. Jensen, G. R. Fowles, *Proc. IEEE*, 52, 1350, 1964.
- [4] C. C. Kiess, C. H. Corliss, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 63A, 1, 1959.
- [5] W. C. Martin, C. H. Corliss, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 64A, 433, 1960.
- [6] W. R. Bennett, *Appl. Optics, Supplement No.2 on Chemical Lasers*, 3, 1965.
- [7] W. R. Bridges, A. N. Chester, *IEEE J. Quant. Electronics*, QE-1, 66, 1965.
- [8] L. Bloch, E. Bloch, *Ann. Phys.*, II, 141, 1929.

原载 *ЖЭТФ, Письма в редакцию*, 1966, 4, № 6, 210~213 (陈彩廷译, 肖浩延校)

OCS 分子激光器

T. F. Deutsch

在纯的 OCS 和 OCS-Na, OCS-He, OCS-CO 和 OCS-CO-He 混合物的脉冲放电中，已获得激光作用。在 8.39 微米和 8.25 微米附近观察到 31 种波长发射；在 5.1 和 5.7 微米之间，观察到 29 种波长发射。8.39 微米的激光作用源自 OCS 的 00⁰1-10⁰ 振动带的 P 支

的跃迁，而 5 微米附近的激光作用则起因于 OCS 的分解对 CO 产生的振动激励。

使用了一根内直径为 32 毫米、长为 2 米的水冷激光管。这光学系统的一端有一面半径为 25 米的镀金反射镜，而另一端有一面带有 1 毫米直径耦合孔的平面镜。所使用的流动气体由速度为 7 公升/秒的泵浦驱动。典型的 OCS 压力是 0.3 托，而 He 的压力在 0.8 到 6.0 托范围内；最佳条件根据被观察的波长确定。应用了重复率为每秒 16 次的电流脉冲，其标称宽度为 1 微秒，尖峰幅值达 70 安。波长的测量是由 0.5 米的贾雷耳-阿什 (Jarrell-Ash) 分光计完成的；在 8.4 微米的估计精度是 ± 0.004 微米。使用了在 4.2°K 运转的 Gu : Ge 探测器。硫化羰是马西森 (Matheson) 商品级的，其最低纯度为 96%。

起因于 CO 的、在 5 微米范围内的激光作用已由纯的 OCS (典型压力为 1.4 托) 和 OCS-He 混合物 (典型压力 : OCS 是 0.4 托, He 是 1.4 托) 观察到。OCS-He 混合物产生的输出比纯的 OCS 大；在 OCS-He 混合物中加入 CO 阻碍了激光作用。根据佩特耳 (Patel) 对 CO 的观察结果^[1]，能观察到的谱线的数目，取决于所使用的气体的压力。激光作用在电流脉冲之后 20-60 微秒开始，其持续时间约 30 微秒。所测得的波长曾与根据佩特耳修正过的 CO 振动常数^[1]计算出的波长比较。在这一范围内的测量精度是 ± 0.15 厘米⁻¹，所观察到的波长在这一精度内与计算值相符。对观察到的跃迁的鉴别列在表 1 里。

表 1 在 OCS-He 放电中观察到的 CO 激光跃迁的鉴别

带	所 观 察 到 的 跃 迁
7~6	P(10), P(12)
8~7	P(11), P(12)
9~8	P(8), P(9), P(10), P(12)
10~9	P(9), P(10), P(12), P(13), P(14)
11~10	P(9), P(11), P(12), P(13), P(14)
12~11	P(10) 到 P(13)
13~12	P(9) 到 P(13)
14~13	P(10), P(11)

5 微米附近的激光作用起因于在离解反应里，受振动激励的 CO 的形成；过程可能是



管壁上丰富的沉淀物的形成——其后经分析确定为硫——表明分解真的发生了。OCS 需要低压力，以及将 CO 加到 OCS-He 混合物里会阻碍激光作用，说明这种效应不是由于 CO 在商品级 OCS 里作为杂质出现而引起的。

8.4 微米范围的激光作用在电流脉冲之后 10 微秒发生，其持续时间为 4 微秒。OCS-CO 的每一成分的典型压力都是 0.3 托。0.3 托的 OCS 和 0.6 托的 He 混合后，我们发现，8.4 微米附近的振荡阈值约为 30 安，5 微米附近的振荡阈值约为 45 安。各种气体混合物在 8.4 微米的输出按下列顺序增加：OCS、OCS-N₂、OCS-He、OCS-CO 和 OCS-CO-He。在 OCS-CO 和 OCS-CO-He 混合物中，除 8.4 微米附近的 P 支发射外，还观察到了相应于 00°1-10°0 跃

迁的 R 支的振荡，其波长近于 8.25 微米。表 II 列出了观察到的真空波长和频率。各支里的最强线随使用的压力作轻微变化，但 P 支的最强线在 P(29) 和 P(26) 之间，R 支的在 R(20) 和 R(18) 之间。

虽然在吸收的热带里不能观察到 OCS 的 $00^{\circ}1-10^{\circ}0$ 跃迁，但 $00^{\circ}1$ 能级 (2062.22厘米^{-1}) 和 $10^{\circ}0$ 能级 (858.95厘米^{-1}) 的能量能由光学测量得到，而带的中心也可计算出^[2]。微波测量已确定了转动常数的值^[3]。

表 II 真空波长和频率的测量值，频率的计算值以及 OCS 激光跃迁的鉴别

波长的测量值(真空) ^(a) (微米)	频率 (厘米 ⁻¹)	频率的计算值 ^(b) (厘米 ⁻¹)	鉴别 ($00^{\circ}1-10^{\circ}0$ 带)
8.3625	1195.82	1195.83	P(18)
8.3654	1195.40	1195.40	P(19)
8.3685	1194.95	1194.98	P(20)
8.3715	1194.52	1194.56	P(21)
8.3746	1194.09	1194.13	P(22)
8.3779	1193.62	1193.70	P(23)
8.3809	1193.19	1193.27	P(24)
8.3839	1192.76	1192.84	P(25)
8.3870	1192.32	1192.41	P(26)
8.3900	1191.89	1191.98	P(27)
8.3930	1191.46	1191.55	P(28)
8.3962	1191.02	1191.12	P(29)
8.3999	1190.49	1190.68	P(30)
8.4024	1190.14	1190.25	P(31)
8.4055	1189.70	1189.81	P(32)
8.4085	1189.27	1189.37	P(33)
8.4117	1188.82	1188.93	P(34)
8.4146	1188.40	1188.49	P(35)
8.4178	1187.95	1188.05	P(36)
8.4213	1187.46	1187.61	P(37)
8.4243	1187.04	1187.17	P(38)
8.2673	1209.59	1209.59	R(15)
8.2645	1209.99	1209.98	R(16)
8.2623	1210.32	1210.36	R(17)
8.2595	1210.73	1210.75	R(18)
8.2571	1211.08	1211.13	R(19)
8.2543	1211.48	1211.51	R(20)
8.2518	1211.86	1211.89	R(21)
8.2439	1213.02	1213.03	R(24)
8.2416	1213.35	1213.41	R(25)
8.2388	1213.76	1213.78	R(26)

a) 波长系几次运转的平均值，流动系统使用的混合物为 OCS-CO、OCS-He 和 OCS-CO-He。

b) 精度： $\pm 0.06\text{厘米}^{-1}$ 。

从这些数据得到，转动常数 $B_{001}=0.201644\text{厘米}^{-1}$, $B_{100}=0.202171\text{厘米}^{-1}$ 。振动能量可从表达式

$$\nu(J) = \nu_0 + (B_{001} + B_{100})m + (B_{001} - B_{100})m^2 - 4D_0m^3 \quad (2)$$

计算得到，其中，对于 P 支， $m = -J$ ，对于 R 支， $m = J + 1$ ^[4]。 $D_0 = 4.39 \times 10^{-8}\text{厘米}^{-1}$ ， $\nu_0 = 1203.27\text{厘米}^{-1}$ ^[3]。 D_0 项的贡献很小，对于 P(38)，等于 0.01厘米^{-1} 。这些计算值表

(下转第 16 页)

激光晶体的电子束激励

W. W. Anderson

在关于用电子束抽运激光器所发表的文章中，多数作者都考虑了电子最大渗透深度的测定^[1-4]。能量耗损随渗透深度的分布函数是比较重要的。最大能量耗损区域将确定激光器的激活区域，这一点是赫维茨 (Hurwitz) 和凯斯 (Keyes)^[5]所发现的，他们估计了 GaAs 用 50——千电子伏特的电子来激励时，其激活区域的厚度在 5 微米到 10 微米之间。基于埃伦伯 (Ehrenberg) 和金 (King)^[6]的工作，斯廷勒 (Stimler)^[1]得到一个经验方法，此法确定渗透的最大深度约 13.5 微米。用埃伦伯和金的其他一些结果，作者提出了确定激光材料激活区域深度的一个方法。例如，用此方法估计，GaAs 中 50——千电子伏特电子的渗透深度是 5 微米至 7 微米，这与赫维茨和凯斯的估计相比，较为准确。

我们所用的埃伦伯和金的资料是其电子通过晶体的能量耗散图。这些结果证实了斯潘塞 (Spencer)^[7]关于快速电子的能量耗损理论这一事实表明，这些结果是正确的。这样，斯潘塞所给出的表就能很有把握地用以计算在典型的激光晶体中电子的能量耗散，至少表中所给的能量范围是可用的。这是由显著的、仅仅材料的密度和分子的平均原子序数才有意义的比例性质得到的。

表 I 列出了一些激光或可能的激光半导体材料的密度和平均原子序数。图 1 表示 GaAs 和 ZnSe 中电子能量耗损的计算值。横坐标和纵坐标分别乘以和除以 1.12 就可得到 InP 和 CdS 的一组类似曲线。图 2 表示了 InSb 中电子能量耗损的计算值。横坐标和纵坐标分别乘以和除以 0.93 (或 0.77) 则可得到 Te (或 PbS) 的一组类似曲线。最后，图 3 表示了 ZnS 中电子能量耗损的计算值。图 1 中平均原子序数 $Z=32$ 的晶体的曲线是从斯潘塞表中原子序数 $Z=29$ 的 Cu 计算得到的。图 2 中 $Z=50$ (或 52、或 49) 的材料曲线是由所列出的关于 Sn ($Z=50$) 的数据得出的。图 3 中 $Z=23$ 的 ZnS 的曲线按斯潘塞的提议应用了 Al ($Z=13$) 和 Cu ($Z=29$) 之间的对数内抽法。图 3 可与列别捷夫物理研究所的工作者测出的 ZnS 的能量耗损相比较，这些人在比我们计算结果较浅的深度上找到了分布峰值。可以相信，这反映了他们的测量技术包含了电子在薄膜中的渗透。 $Z=41$ 的 GaSb、InAs、ZnTe 和 CdSe 的类似曲线可能已由 Cu ($Z=29$) 和 Sn ($Z=50$) 之间的内抽法计算得到。但是，关于这一点上，有兴趣的读者去参看埃伦伯和金^[6]的文章似乎更好一些，他们画出了能量增加了 10 千电子伏的

激 光 半 导 体

材 料	密度(克/厘米 ³)	平均原子序数(\bar{Z})
GaAs	5.32	32
GaSb	5.57	41
InP	4.75	32
InAs	5.69	41
InSb	5.78	50
ZnS	3.98	23
ZnSe	5.42	32
ZnTe	6.34	41
CdS	4.82	32
CdSe	5.81	41
Te	6.24	52
PbS	7.5	49
PbSe	8.1	58
PbTe	8.16	67

电子在一些磷光晶体中的耗损图。特别是其中 KI ($Z=36$) 的曲线可用于其物质密度按比例改变的 GaAs、InP、ZnSe 和 CdS, $Z=45$ 的 RbI 可用于其物质密度按比例改变的 GaSb、InAs、ZnTe 和 CdSe, 最后, CsI ($Z=54$) 可用于 InSb、Te、PbS 和 PbSe。

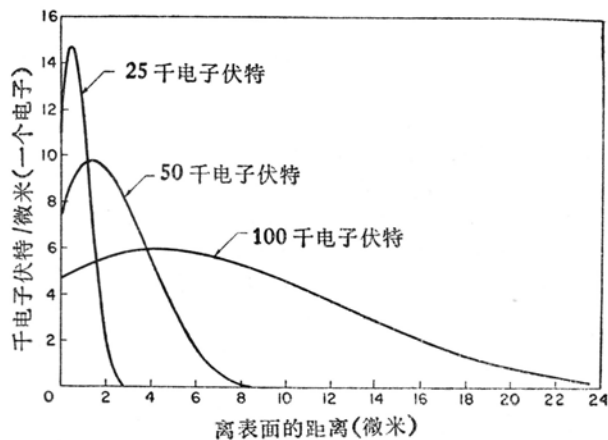


图 1 GaAs 和 ZnSe 中快速电子能量耗损的计算值(InP 和 CdS 参看文内)

现在考虑激活区域厚度的问题。能量耗损对于进入晶体的距离的曲线与电子-空穴对产生的速率(作为到表面距离的函数)成正比。当无载流子的徙动时, 这些曲线就会给出激活区域增益的剖面图。但是, 由于一般地有高的表面复合速度和向晶体内部的扩散流, 因此就有向着表面的扩散流。假若少数载流子扩散长度大于明显的电子-空穴对产生的深度, 则扩散

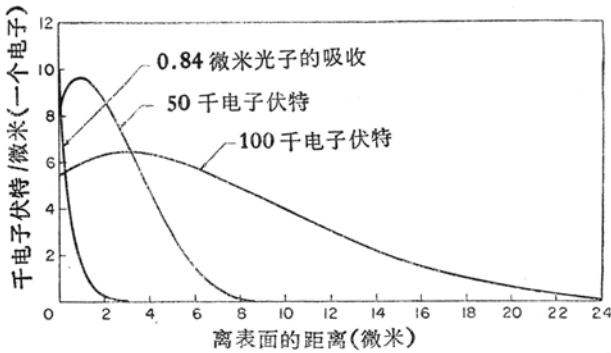


图 2 InSb 中快速电子能量耗损的计算值
(Te 和 PbS 参看文内)

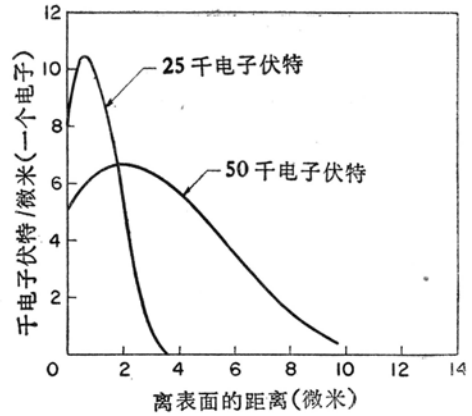


图 3 ZnS 中快速电子能量耗损的计算值

长度将决定激活区域厚度。扩散长度的变化由几微米 (GaAs) 到几百微米 (InSb 和 InP)。此外, 扩散长度对于掺杂程度以及晶体的完整性是灵敏的。因此, 抽运激光器的电子束的激活区域的厚度或许应对每种情况分别地确定。但关于电子-空穴对的空间产生的数据将给出激活区域厚度的下限。

从图 1 可以看出, 用 50 千电子伏的电子抽运的 GaAs [5] 在 7 微米以下所受的激励比较小。由于这相当于或大于 GaAs 中典型的扩散长度, 故激活区域厚度的原来估计值为 5 微米到 10 微米是很合理的 [5]。另一方面, 对于浓度大的物质, 如 InSb, 激活区域厚度最可能由扩散确定。对于吸收系数近于 2×10^4 /厘米的光抽运情况 [9], 这是特别正确的 (为了和电子束激励比较, 图 2 中也画出了光学吸收)。

参 考 文 献

- [1] M. Stimler, *Appl. Opt.*, **4**, 626 (1965).
- [2] D. A. Cusano and J. D. Kingsley, *Appl. Phys. Letters*, **6**, 91 (1965).
- [3] D. A. Cusano, *Solid State Commun.*, **2**, 353 (1964).
- [4] C. Benoit, *à la Guillaume* and J. M. Debener, *Solid State Commun.*, **3**, 19 (1965).
- [5] C. E. Hurwitz and R. J. Keyes, *Appl. Phys. Letters*, **5**, 139 (1964).
- [6] W. Ehrenberg and D. E. N. King, *Proc. Phys. Soc.*, **81**, 751 (1961).
- [7] L. V. Spencer, *Natl. Bur. Std. Monograph*, **1**, (Sept. 1959).
- [8] V. L. Levshin, *et al.*, *Soviet Researches on Luminescence*, D. V. Skobeltsyn, ed. (Consultants Bureau, New York, 1964), p. 75.
- [9] R. J. Phelacr, Jr., and R. H. Redliker, *Appl. Phys. Letters*, **6**, 70 (1965).

原载 *Appl. Opt.*, 1966, **5**, №1, 167~168 (宋铭钊译, 颜绍知校)

超导体在磁流体发生器中的应用

目前发现了一些新的超导材料, 其中有些能在 18°K 这一较高温度下工作。这给超导体在高能物理中的应用开辟了光辉的前程。一般采用铌-锆、铌-锡等合金作超导材料。超导体

的最大优点是能储存巨大的能量，且体积小、重量轻、能快速操作，因而在军事设备中大有作为，其用途之一是可作轻便能源。

一个产生磁场强度为 100,000 高斯的电磁铁，需要 170 千瓦电能，每分钟还要 1,000 加仑水散去铜绕组所产生的热量。若用超导体，产生同样的磁场强度，只要 6 伏特的电池——300 瓦——能源和 10,000 瓦的电冰箱冷却。

一个产生 67 千高斯、储存能量大于 600,000 焦耳的超导体磁铁只是由三组内径为 6 吋的同心线圈组成。

超导体最广泛的可能的应用是在磁流体功率发生器里。在磁流体装置中，高速的离化气体(等离子体)喷气流在磁铁的两极间通过。在与磁场和等离子体运动方向成直角的等离子体导体中便产生了电动势。将电极放在气流中，便可以得到直流电。超导体磁铁也减轻了每单位功率输出的励磁线圈的重量和体积。因而使磁流体功率发生器优于一般的发电设备。

原载 *Electronics*, 1966, 39, №3, 95~101 (陈建文摘译)

借原子碰撞激发光

为了激发原子发光，就须转移能量给它的一个电子，将其提升到原子内部能级的高能态。只有当两个物体的质量完全相等时，才能借碰撞将能量从一个物体完全转移给另一个物体。因此利用电子激发是一个有效的方法，而重离子只可能转移其能量的很小一部分。

纽约哥伦比亚大学的莱皮利斯(M. Lipeles)、诺维克(R. Novick)和托耳克(N. Tolk)从理论上发现，如果用氦原子激发氩原子，使后者发射 11.1 电子伏特的光子，则氦离子应有约 2.5 千电子伏特的能量，才能得到最大的能量转移几率。令人吃惊的是，他们发现最大碰撞截面(转移几率)实际上发生在非常低的能量水平。

这是因为当原子被隔离时，两个电子能级(基态和激发态)之间的能量差可为几个电子伏特，当另一个原子与它非常靠近时，相同的两个轨道的能量是很相近的(或完全相等)。因此激发从一个能级提升电子到另一个能级只需要很少一点能量。第二个原子的必备动能也相应降低。

这种过程的知识将对了解大气极光及气体激光器的原理很有用。

原载 *New Scientist*, 1966, 29, №477, 30 (王玉珠译)

巨脉冲激光器的同步

H. Opower, W. Kaiser

对于许多实验来说，发现需要同时，即在时间间隔不过 10^9 分之几秒的时间内，运转几台巨脉冲激光器。我们想报导在短于 3×10^{-9} 秒的时间内，同时发射光脉冲(每个的半宽度约 10 毫微秒)的两台巨脉冲激光器成功的运转。

该系统由以隐花青溶液进行 Q 开关的两台巨脉冲激光器组成。液体染料开关非常简单是其优点，此外，还保证发射光谱有高度的光学纯度。一般说来，染料变为透明系由激光器本身的发射完成^[1-4]，这种发射的起始时间的起伏有 100 毫微秒的数量级。但是，在我们的激光系统中，激光器染料溶液的变色系由另外一台开关激光器的巨脉冲完成的。

关于这点，下述的一般考虑是适当的。通过外来的变色作用，染料的透过率由起始值 T_0 到终值 T 。变色过程所需的光通量可示于下式：

$$\phi_0 = (InT - InT_0) / 2t_d \sigma_a (1 - T) \quad (1)$$

式中 σ_a 是吸收横截面， t_d 是染料分子的张弛时间。对于 $T_0 = 30\%$ 和 $\sigma_a = 8 \times 10^{-16}$ 、 $t_d \approx 3 \times 10^{-9}$ ^[5,6] 的隐花青染料的特殊情况，方程(1)的结果绘于图 1。保持小的 T_0 值，以完成激活材料的足够的反转。由图 1 可清楚地看出，高透过率 T 需要兆瓦数量级的强光通量 ϕ_0 ，那就是说，要想漂白隐花青溶液，使其透过率从小变到大，就需要巨脉冲。开关染料突然漂白之后，激光巨脉冲按时间常数 t_b 建立， t_b 可按式^[7-9]估计：

$$t_b \approx \tau In(1 + 1/\alpha\tau) \quad (2)$$

式中 $\tau = t_1 / [\sigma_A(N_2 - N_1)l - r]$ ，损失因素 $r = \frac{1}{2}In(R_1 R_2 T^2)$ 。 t_1 为光横过共振腔所需的时间； σ_A 和 $(N_2 - N_1)$ 分别为放大介质的横截面和反转粒子数， l 为激活介质的长度， R_1 与 R_2 为

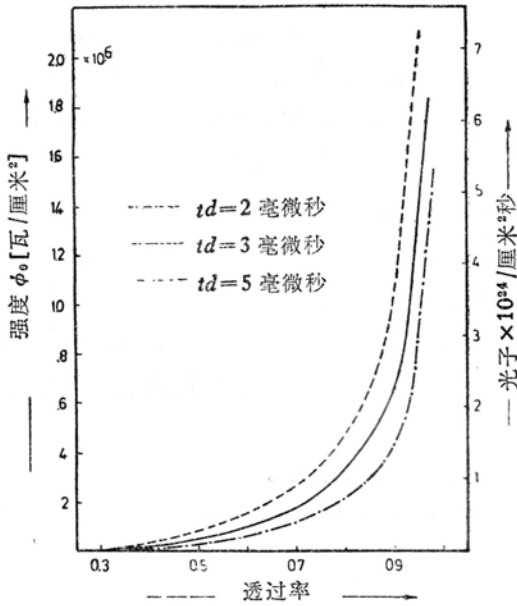


图 1 透过率由初值 $T_0=0.3$ 到终值 T ，漂白过程所需的光通量为 Φ_0 。 t_d 是染料分子的张弛时间。

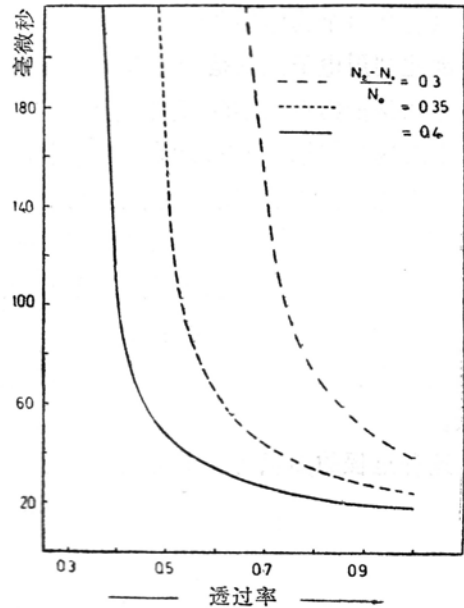


图 2 光脉冲建立的时间作为透过率 T 的函数。(见正文中使用的各种参数)。

共振腔两端反射镜的反射率； α^{-1} 表示激发态的寿命。时间常数 t_b 根据方程(2)作为透过率 T 的函数绘于图 2。下列数据(我们的实验系统的特性)供计算的曲线用： $R_1=1.0$ ； $R_2=0.07$ (红宝石表面的反射率)； $\alpha^{-1}=3 \times 10^{-3}$ 秒； $l=15$ 厘米和 $t_1=1.3$ 毫微秒。图 2 清楚地

示出，欲保证激光脉冲的迅速建立，就需要高的 T 值和高的反转率。仅当 t_b 的值很小时，两台激光器的光脉冲才会同时发生（即在几毫微秒之内）。

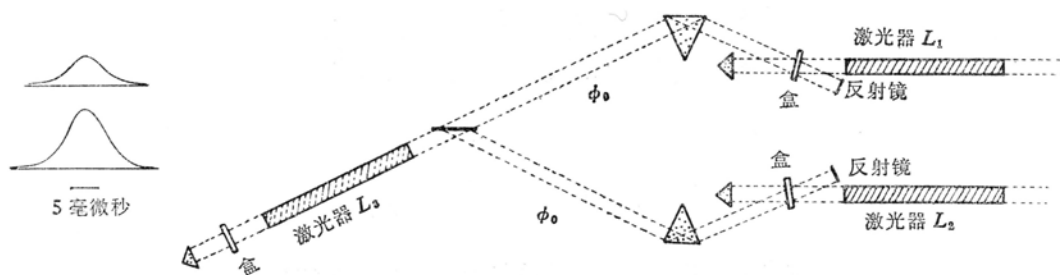


图 3 有两台同步激光器的系统的略图。左上角：一台和两台激光器的光脉冲。

图 3 描述了我们的实验装置。两台红宝石激光器 L_1 和 L_2 的染料溶液由激光器 L_3 的强光脉冲漂白。我们的实验观察与上述的理论考虑是一致的。减低激光器 L_3 的功率，两台激光器 L_1 和 L_2 的发射之间的时间增加到几百毫微秒。为了减小时间差，开关激光器 L_3 发射接近 10 兆瓦（约 20 毫微秒的半宽度）的脉冲。此外，还需要很强烈地抽运激光器 L_1 和 L_2 。我们估计 L_1 和 L_2 有接近 0.4 的反转率 $(N_2 - N_1)/N_0$ ，该值要求 $T_0 \approx 0.3$ ，以便在没有外部漂白作用时能制止激光作用（见图 2）。图 3 左上角示出了激光器 L_1 的发射脉冲的示波图（上面一条）和激光器 L_1 和 L_2 的总发射的示波图（下面一条）。能清楚地看出，在适当的实验条件下，两个激光脉冲以小于 3 毫微秒的精度同时出现。所取得的总激光强度（集光系统未示出）在 500 兆瓦以上。注意，在 L_3 发出光脉冲之后约 25 毫微秒， L_1 和 L_2 的发射才开始（与图 2 一致），这是很有趣的事。

我们使用间隔为 1 厘米的法布里-珀罗标准具研究了两台激光器 L_1 和 L_2 的发射光谱。当两台激光器 L_1 和 L_2 单独运转时，各自示出了一个振荡频率，两者有明显的频率差（在法布里-珀罗照片中构成两种不同的环形系统）。两台激光器耦合在一起时，发现频谱只是由一种频率组成的（我们的标准具的分辨率为 $\Delta\nu \approx 5 \times 10^{-2}$ /厘米）。这种结果是我们所预料到的，因为激光器 L_3 的发射是以同一频率射入激光器 L_1 和 L_2 的两种染料的吸收带中的。三台激光器的发射频率以这种方式锁住。

这里描述的耦合系统能扩展到多于两台激光器的情况。应当提及，当漂白的光通量被仔细衰减，且（或）一定的损失被引入激光器 L_1 或 L_2 时，就观察到两个激光脉冲间可重现的时间差。显然，改变激光器 L_3 和激光器 L_1 与 L_2 的染料盒之间的光程，就能引入时间差。

这里讨论的耦合激光系统有各种各样的应用，例如，此种系统能用于非线性光学工作的探查实验^[10]。或在大量高功率激光器情况下用于内破裂实验。此外，将两台激光器的发射聚焦到同一靶子上时，我们还研究了高温微等离子体的形成。使用两台激光器已大大增加了离子的能量。这一工作的详细报告将在别处发表。

（下转封二）

应用研究

实验红外雷达

E. D. Mills, N. A. Sullivan, J. W. Meyer

引言

激光器的进展决不是设计光雷达的前兆，然而，把一个相干源用在可见光域及红外区域的好处鼓励着人们最近在这一方面作各种努力。事实上，法国在三十年代研制过一种光雷达，利用钨电极间的火花放电产生 40 兆瓦的光脉冲，提供了一种测量云高的有效途径。

由于红宝石激光器的重复率非常低，妨碍了它作为雷达的实用光功率源。然而，红宝石激光器的峰值功率通常可达兆瓦级。利用半导体二极管激光器，可以获得较高的脉冲重复率，但产生的峰值功率相对地低。

我们曾见过用红宝石激光器研制成的雷达，它能够探测从月球反射回来的讯号，而用半导体激光器制成的雷达，正与到达并降落在月球上的问题一起进行研究。

除了微波接收机和光检波器这一重要的差别以外，光雷达设计的元件和微波雷达所用的元件没有很大的差别。微波接收机中，噪声电平是在电压放大器中形成的，而光学检波器是功率检波器，即完全的平方律检波器。如所周知，在估算微波雷达作用距离时，脉冲能量和平均功率是主要参数，因为雷达脉冲频谱名义上是和接收机带宽相匹配的。在功率检波器的情况下，计算最小可检测信号时，接收机带宽引进一根号，结果是随着雷达峰值功率越增加，作用距离就越远。

云高指示——能见度显示器

半导体激光器低峰值功率的缺点，一定程度上被高脉冲重复率所补偿，对精确地决定云高和机场上空能见度来说，它似乎是有用的。考虑到这种应用，同未成形的雷达做了一些散射实验，叙述如下。

用相当直接的方法可以证明，对于扩展目标（扩展目标总是超过发射光束在目标处的大小），光雷达的作用距离如下：

$$R^2 = \frac{P_T \eta_T}{L} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \frac{A_R}{NEP \cdot B^{1/2} \cdot S/N}$$

式中： P_T ——峰值发射功率

A_R ——接收孔径有效面积

P ——散射目标的反射系数，即雷达散射截面 $\sigma = \frac{A_s P}{4}$ ， A_s 是散射体面积

η_T ——传输效率，由于传输损耗， $\eta_T \leq 1$

L ——系统损耗因子， $L \geq 1$

NEP ——等效噪声功率，检波器性能的一种量度

B ——接着检波器的放大器带宽

S/N ——所要求的信噪比

下列参数为：

$$P_T = 100 \text{ 瓦}$$

$$A_R = 14 \text{ 米}^2$$

$$P = 0.1$$

$$\eta_T = 0.3$$

$$L = 10$$

$$NEP = 10^{-12} \text{ 瓦} \cdot \text{赫}^{-1/2}$$

$$S/N = 10$$

$$B = 10^8 \text{ 赫}$$

雷达作用距离为 $R = 500$ 米。

一种利用三角方法的云高指示器说明书给出的最大测量距离为 600 米 (2,000 英尺)。这个最大明辨距离允许的脉冲重复率高达 250 千赫。

实验 红外雷达

用砷化镓二极管激光器作为实验红外雷达的能量(图 1)。在晚间，已接收到从 480 米处 (1,600 英尺) 砖石目标反射回来的、信噪比为 20 分贝的回波脉冲(图 2)，在白天，也接收到信噪比相同的、距离较近的木制目标的回波脉冲(图 3)。白天，树木、岩石和其他地面物体产生的回波，其信噪比较差，如图 4 所示。当发电厂排气时，在烟囱下观察到了凝缩水蒸汽的回波(图 5)。

雷 达 发 射 机

发射系统的方框图见图 6。发射机由装在微波跟踪座上的砷化镓激光二极管构成。浸在液氮(放在密封杜瓦瓶里)里的二极管以 200 安培的峰值电流、每秒 50 个脉冲的重复率工作。脉宽为 30 毫微秒，上升时间为 5 毫微秒。激光光束本身是定向的，并且用发射机里的有效孔径为 $f/1$ 的透镜系统聚焦。测得的输出功率为 100 瓦。

半导体激光雷达设计中比较困难的问题之一，是设计和阻抗非常低(0.1 欧姆)的二极管输出相匹配的狭脉冲调制器。如果二极管在低温下工作，还必须有低阻抗和低导热性的同轴线(见图 7)。

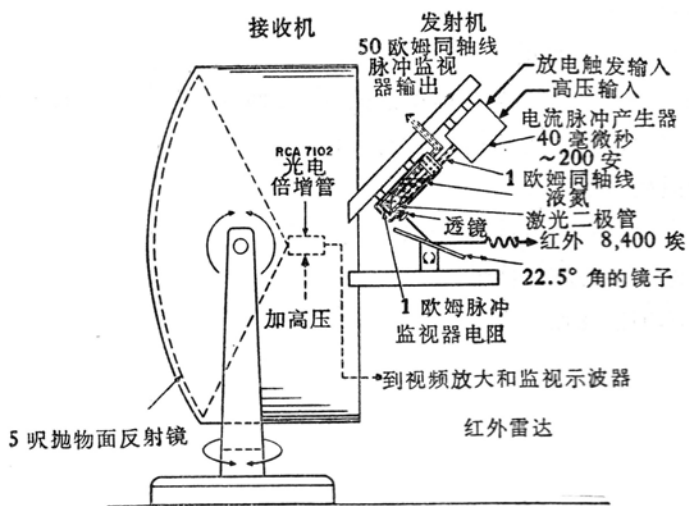


图 1 红外雷达示意图。发射系统装在 60 吋的探照灯接收光学系统上。放二极管的液氮杜瓦瓶，装成 45° 角，能改变方位和俯仰角，不会洒出液氮。辅助反射平板必须使发射和接收光轴平行。

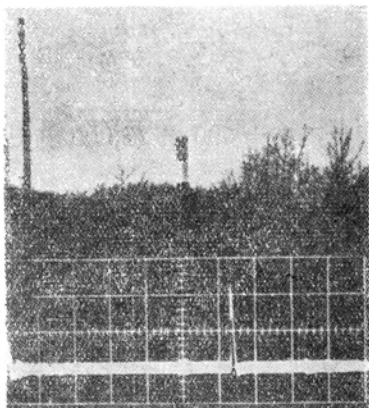


图 2 在调整实验雷达时，电站的烟囱作为标准检测目标。涂有红白相间条纹的烟囱在 A 型示波屏上产生很强的检测信号。

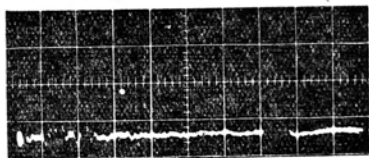


图 3 白天，距离约 100 米，从 8×8 平方呎胶合反射板来的回波。

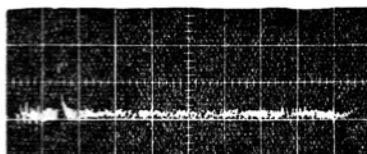


图 4 白天，距离约 100 米，直径 3 呎的岩石的回波。

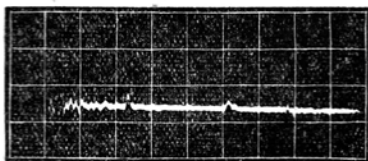


图 5 在示波器第六分格附近是从凝缩水蒸汽来的回波，第三分格旁边的脉冲是视场中部分树木在低仰角情况下的回波（示波器分格格 0.5 微秒）。

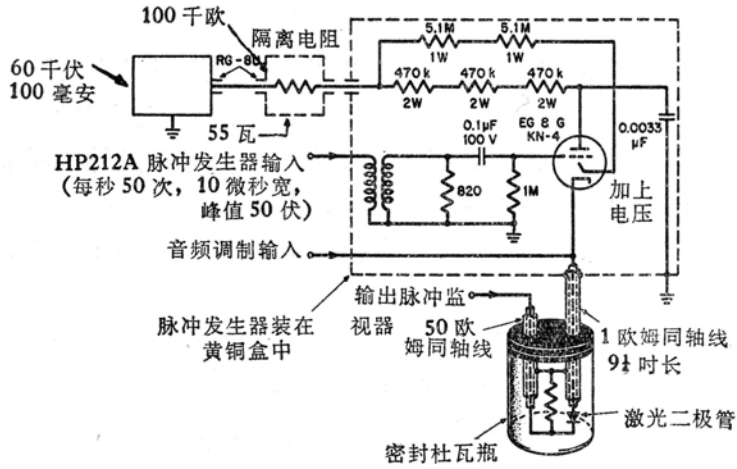


图 6 雷达发射机方框图。

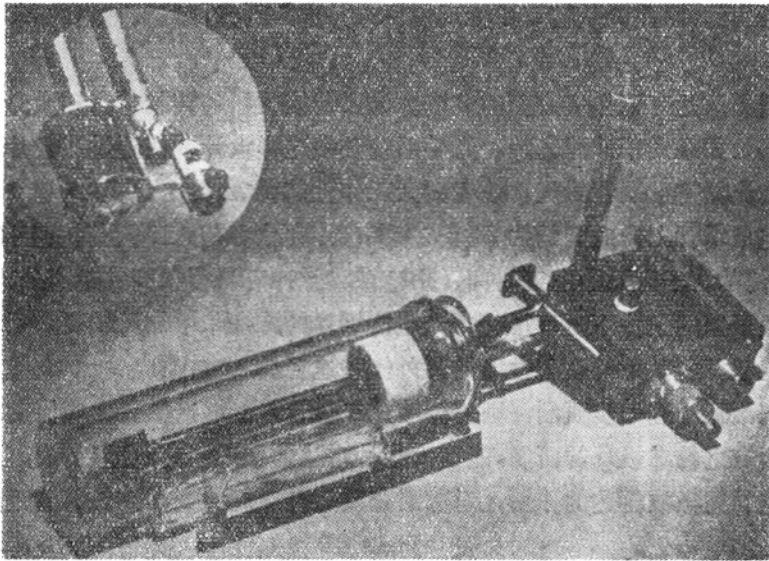


图 7 发射机头和液氮杜瓦瓶以及左上角的二极管支架和电流显示电阻局部细节图。

脉冲发生器用电阻电容电路，由一个小型冷阴极触发管开关，用低电容作储能元件，通过一个大电阻充电至 3.6 千伏。当管子触发时，电容器通过电阻为 1 欧姆的同轴线对二极管放电。因为二极管的正向电阻在大电流时很低，所以同轴线用一个 1 欧姆的串联电阻匹配，它也作为二极管电流的取样电阻。

脉冲发生器放在密封杜瓦瓶的上部，1 欧姆的输出线和 50 欧姆的电流脉冲监视线，插进密封杜瓦瓶的顶部。为了使同轴线有低的热导率和较低的电阻，它由薄壁管状的铜镍合金做成。

接 收 机

接收系统由 5 呎的探照灯抛物面反射镜和位于它焦点处的 7102 光电倍增管组成。因为反射镜的焦距短(约 26 吋),焦点所对的角约为 120 度。因为进入光电管套的光线倾斜,不太可能利用这个光学系统的整个孔径。虽然没有对系统的光学效率作严格的分析,但有效孔径可能不会超过 1.92 平方米的几何孔径的六分之一。

光电倍增管的输出经宽带放大器放大 20 分贝,放大器的通带和脉冲的视频频谱宽度接近。

从 1,600 呎远的砖石目标反射回来、并进入 7102 光电倍增管的功率,计算如下。接在示波器输入端的 90 欧姆电阻(作为视频放大器的负载电阻)上的脉冲峰值电压为 40 毫伏。

$$P = \frac{(4 \times 10^{-2})^2}{90} = 17.7 \times 10^{-6} \text{ 瓦}$$

视频放大器的增益为 20 分贝,因此输入到视频放大器的功率为 17.7×10^{-8} 瓦。在 7102 光电倍增管 90 欧姆负载电阻上的光电流为 4.4×10^{-5} 安培,而报道的 7102 光电倍增管灵敏度为 400 微安/微瓦。因此,从砖石目标反射回来并进入到光电倍增管里的峰值信号约为 10^{-7} 瓦。

这种未成型的雷达可以作多方面的改进。为了使接收器的接收带宽和激光相匹配,应该使用窄带滤光器。如果用干涉滤光片,光学系统必须这样设计,使通过滤光片的光束是平行的。应用匹配滤光器可减弱背景光,改善白天工作性能。

所用的光电倍增管上升时间约为 2×10^{-9} 秒,限制了最狭的工作脉冲宽度(约 5×10^{-9} 秒左右)。设计专门的管子可减小上升时间,用毫微秒脉冲可获得很高的距离分辨率。

在背景无法限制的条件下,可用冷却光电倍增管的方法来增加灵敏度,后检波积分和测距选通是雷达工程师所熟悉的改善性能的另外一些途径。

更有效的调制器的进一步研制,则需要改进二极管,能够产生更大峰值功率或者脉冲能量,或两者兼而有之的二极管的研制,能增大这种雷达的作用距离,也能扩展其应用范围。显然,这种雷达能补充微波雷达的作用,对散射介质适合于短的光学波长的测距问题有现实的贡献。

云、雾对光的散射是云高-能见度指示器的独特的优点,而在其他地面雷达及通讯问题中,则限制了激光器的应用。

参 考 文 献

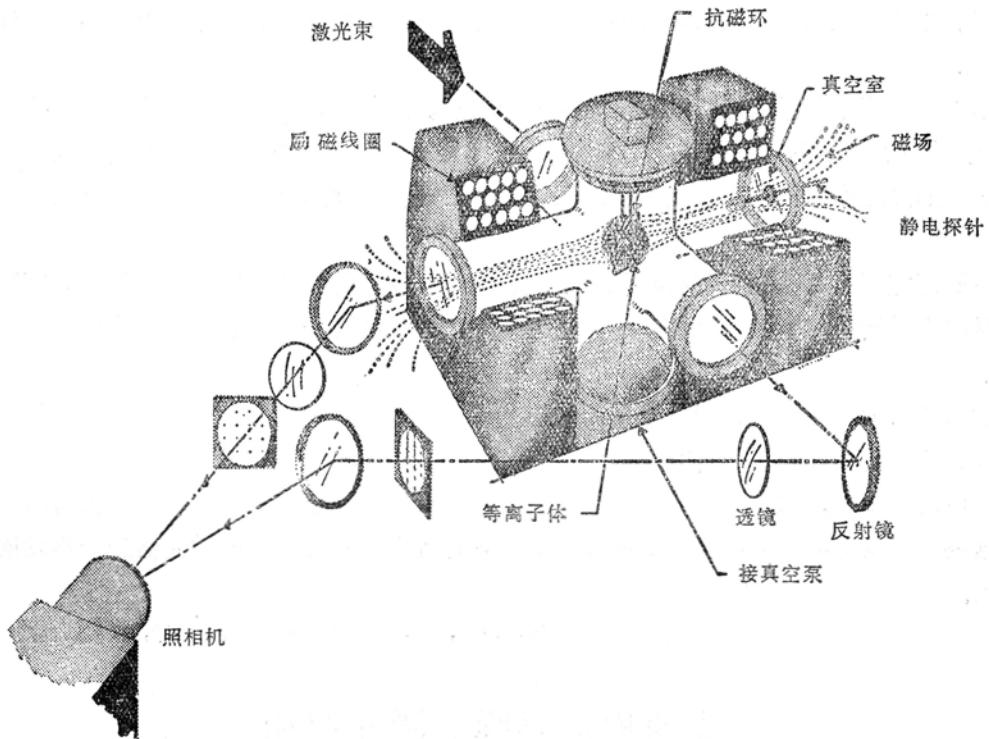
- [1] Bureau R., "Altimetrie des Nuages par Impulsions Lumineuses," *La Meteorologie*, July 1946, pp. 292—301.
- [2] Hansen W. W., "Surveying by Pulsed Light Radar," *Electronics*, July 1948.
- [3] Smullin L. D. and G. Fiocco, "Project Luna Sec," *Proc. IRE*, Vol. 50, 1962, pp. 1703-4.

原载 *Microwave J.*, 1966, 9, №2, 33~37 (胡企铨译,叶碧青校)

用激光照射铝靶产生 300 万度的高温

美国西屋电气公司上星期透露了等离子体性质的研究中被认为是重要的一步的情况。

该公司的苏科夫(E. W. Sufov)、帕克(J. L. Pack)、恩格尔哈特(A. G. Englehardt)和费尔普斯(A. V. Phelps)用激光照射针头大的铝靶,已产生了铝等离子体。这种等离子体用磁场限制。



激光产生的等离子体: 铝等离子体产生在用激光蒸发铝靶的这种装置中。西屋电气公司的研究人员希望找到一种方法,把这种等离子体限制到足够长的时间,以便使用于控制热核能量上。

如果此法成功,将用放射性靶代替铝。激光和等离子体将被左下角的照相机记录下来。

计算出的等离子体温度为摄氏 3 百万度。其持续时间约 50 微秒。

由美国原子能委员会支持的这一研究项目是增加等离子体的温度,以及详细研究等离子体与磁场的互相作用,使它能较长期地存贮。西屋与原子能委员会正在谈判,签订更进一步的合同。

该公司希望它所发展的这种技术将成为研究等离子体性质的廉价而令人满意的方法。

希望放射性氘和重氢的等离子体最终能用来代替铝等离子体,以开始自身可以持续的可控聚变反应,以提供有用的热核能量。

用光读出计算机的存储信息

意大利米兰奥利维特 (Olivetti) 通用电气公司有两位工程师提出在计算机中用光束贮存和读出信息的方案。

他们研究出一种技术, 这种技术利用了铁磁材料的磁性在其“补偿温度”附近随温度剧烈变化的特性。补偿温度是指样品的磁性由于构成铁磁体的两种晶格的相反磁效应而完全消失的温度。早期的想法是, 使铁磁丸的温度十分靠近补偿温度, 而光束象一个外热源一样作用在丸上。

不幸, 低速率和低贮存密度是这种系统的缺点。福伦尼 (F. Forlani) 和明纳哲 (N. Minnaja) 所建议的方法是, 选用其波长能影响铁磁体磁矩的光束, 以光束对铁磁体磁矩的影响代替对它的温度影响。这同将铁磁体的温度维持于补偿温度附近而改变其温度时的效应类似。

他们研究了光对钆铁石榴石磁化的影响。钆铁石榴石的补偿温度为 280°K 。在此温度下, 材料去磁所需的场强(矫顽力)约 230 奥斯特, 当温度改变 $\pm 3^{\circ}$ 度时, 观察到该值减少了 75%。

这两位意大利人发现, 倘用更高的光密度 (7.3×10^8 瓦/厘米²) 去照铁磁丸, 则其矫顽力的改变相应于温度增加 2°C 时引起的改变。

应该着重指出, 这种情况表明, 至少在原则上有可能利用这种系统达到一极高的贮存密度。这要求一紫外波段的高辐射密度源, 但这只有等发射紫外波段的激光器进一步发展后才能得到。

原载 *New Scientist*, 1966, 30, №498, 582 (黄秉英译, 颜绍知校)

高速模拟导弹的激光照相

多数高速自由飞行射程都良好地用阴影照相台和条纹照相台、辐射计、高速照相机和微波测高仪来装备。这些仪器系统的每一个都提供了关于模型及其飞行情况的极有价值的数。然而, 他们当中只有少数才能对飞行中的模型表面进行可见的观察。这种信息在分析消融模型和决定圆锥体和球体的旋转方面是极有价值的。激光阴影照相和激光条纹法的早期经验已证实 Q 开关激光器能够有效地拍摄速度超过 12 公里/秒的模拟导弹的运动, 同时亦显示了辨别不需要的光的能力。

根据此种背景信息, 设计并建造一种系统, 利用由在自由飞行射程中的高速模拟导弹反射的激光摄成照片。

以下分别描述系统的各部分。

光源

图 1 简略示出了整个光源系统。光源是一台 Q 突变脉冲红宝石激光器。激光器用一支

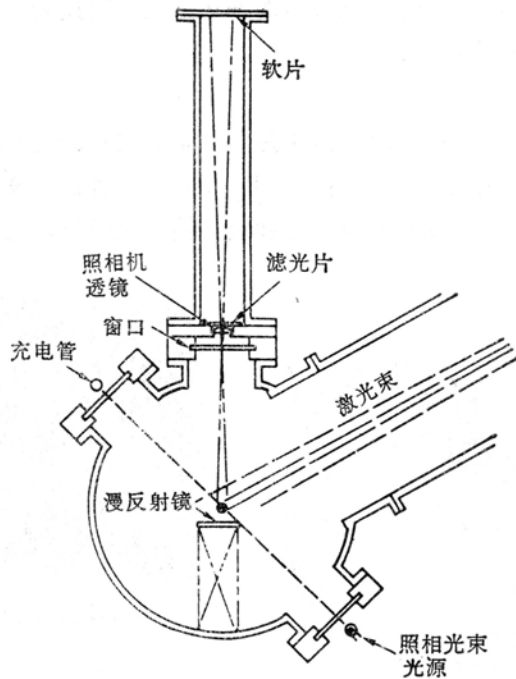


图 1 系统简图

线状闪光灯抽运宝石棒。一只克尔盒作 Q 开关使用。棒两端的外反射镜构成有效的激光腔。包括灯和红宝石棒的整个反射谐振腔是由空气冷却的。激光器的输出在脉冲长度为 30 毫微秒时是 100 毫焦耳。一面短焦距单透镜用来形成激光斑点以照明模拟导弹。这台激光器的光束均匀性试验指出，将近 50% 的能量包含在直径为总光束直径的 $\frac{1}{3}$ 的中心线束中。因为准备发射的模拟导弹的最大线度是 25 毫米，故选择透镜焦距，使在飞行路径平面上可获得 75 毫米直径的光束。这就使模拟导弹上的能量密度为 2.3×10^4 尔格/厘米²。

照相机

照相机由一面单透镜、一片窄带通滤光片、一只软片夹和一个暗盒组成。使用卷筒型软片的颇勒罗德 (Polaroid) 镜箱选择作为软片支架，于是可以使用颇勒罗德 #413 红外软片。选择此种软片是因为它对 6,943 埃的光很灵敏，而且容易显影。0.06 尔格/厘米² 的能量密度将在雾翳以上产生 0.5 的光学密度。一只干涉型窄带通滤光器用来透射激光并有效地阻止所有其他波长的辐射。滤光器曲线的峰值在 6,943 埃，其透射率近于 75%，而在透射率为 37.5% 的地方，带宽为 20 埃。此外，滤光器为摄影操作提供了方便，即在相当长的时间间隔内，在通常的环境光线影响下，可不使用象机快门。焦距为 254 毫米的单透镜置于相机壳体的内壁，其放大率是 2。透镜孔径选为 42 毫米，以便兼顾景深和搜集光的本领。

自由飞行射程的内部通常是黑暗的，因此为造成光亮的背景，将白色漫反射体放在模拟导弹的飞行路径之后。

点火电路

在两个不同的台的位置上，令小白炽灯的光束与飞行路径交叉。当模拟导弹遮断第一束

光束(照相台的上游)时,闪光灯点燃,红宝石的抽运开始。当遮断第二束光束(在照相台的平面内)时,克尔盒打开,产生激光脉冲。

系统性能

图2是实验中发射的圆锥的静态照片。它是一只带有钨顶、直径6毫米的底面附近绕有聚四氟乙烯消融环的 $12\frac{1}{2}^\circ$ 的抛光铜圆锥。图3和图4是底面直径为9毫米的类似圆锥的照片。图5和图6是15毫米直径的聚四氟乙烯球体和包上铜的聚四氟乙烯球体的照片。在图3里,

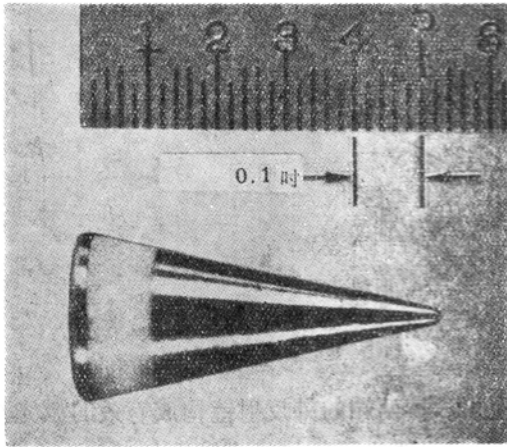


图2 典型圆锥体模型。

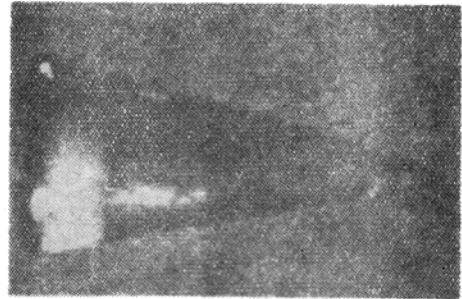


图3 7.1公里/秒速度飞行的圆锥体照片。



图5 15毫米直径球体。

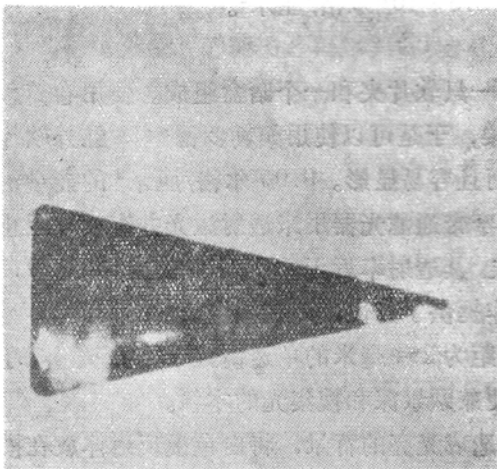


图4 7.0公里/秒速度飞行的圆锥体照片。

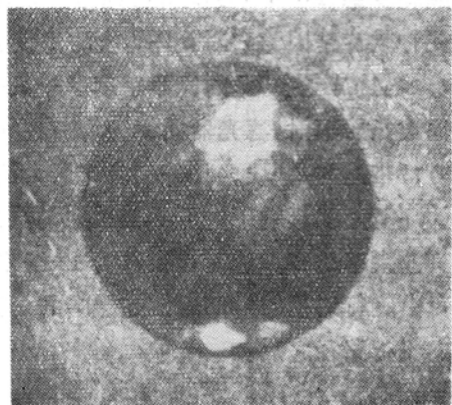


图6 15毫米直径球体。

圆锥体在压力为 50 毫米汞柱高的干燥空气中以 7.1 公里/秒的速度飞行。因为相机快门是打开的，故在这张照片上将记录下由圆锥热顶所产生的一条暗纹。邻近底面和沿着圆锥边的亮点是由于激光束直接受镜反射后进入照相机生成的。在图 4 里，圆锥体是在 50 毫米汞柱压力的干燥空气中以 7.0 公里/秒的速度飞行。摄制这张照片的激光束能量稍大于图 3 情况下的能量。这就形成较明亮的背景，因此模拟导弹边缘比较清晰。在图 5 里，球体在 10 毫米汞柱压力的干燥空气中以 6.4 公里/秒的速度飞行。这张照片上的水平暗线是照相机光学系统引起的；然而那条线在球上的锯齿形部分以及其下的 V 形标志实际上是在球体上。在图 6 里，15 毫米球体在 150 毫米汞柱压力的干燥空气中以 6.4 公里/秒的速度飞行。

原载 *Rev. Scient. Instrum.*, 1965, 36, №11, 1551~1553 (陈奕升译, 颜绍知校)

分析与测量快速运动粒子的全光照相机

技术运用公司将在 90 天内出售三台激光全光照相机。这些装置将用来分析和测量快速运动粒子。

三维测量系统的其他应用包括测量粒子的大小、气溶胶衰减研究、喷嘴的非破坏试验、雨和沉淀的研究、流体和环境控制系统中空穴现象的研究。

这三个照相机所测的粒子大小范围是 3~100 微米、30~1,000 微米和 300~3,000 微米。典型的体积分别为 1 立方厘米、5,000 毫升和 1 毫升。

系统的主要组成部分包括 10 兆瓦峰值功率的 Q 开关激光器、数字控制的电源、激光准直仪、照相机和用视觉与照片读出的全光再现装置。

技术运用公司于 1964 年与 1965 年夏天，在奥蒂斯(Otis)空军基地安装了两台全光照相机系统，供空军剑桥研究实验室用来测量天然出现的雾。

根据与陆军化学兵团的研究与发展实验室的合同，埃奇伍德 (Edgewood) 兵工厂已制成并安装全光照相机和再现系统，用来估计爆炸产生的气溶胶。

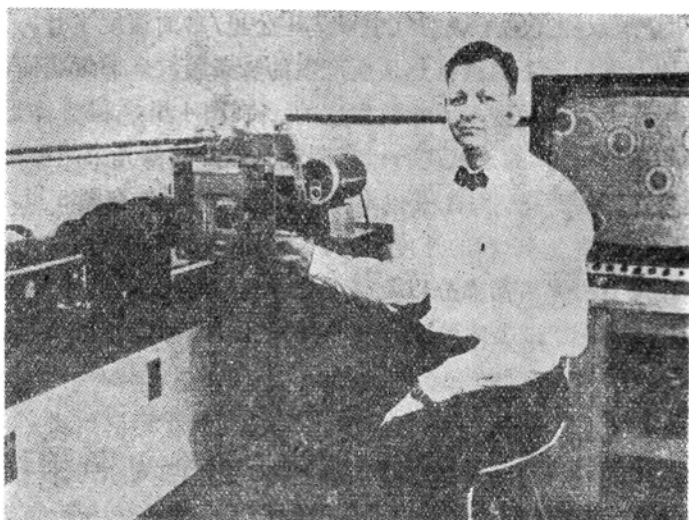
在典型的运转中，空中的粒子在激光照明器和照相机之间漂流。每 2 秒钟，Q 开关激光器发射一次相干闪光，持续 20 微秒。在这一瞬间，胶片记录下所有被照明的微粒。

全光底片用另一激光器照明时，全部景象以完美的三维形式再现。观察者能从任何一个角度观察景象，甚至能看到隐藏在其他东西后面的质点和小滴。质点可以用一般光学测量装置在三维象内的任何地方进行测量。

其他优点是，全光照相机系统的景深最少是一般照相系统的 50 倍，因为被记录的物体不需要聚焦。

由于这种装置不需要聚焦，所以能由未经训练的工作人员在远处拍摄污染和危险的地区。动态气溶胶粒子大小的分析技术，也能记录大体积的粒子而对被测粒子的速度没有扰乱。

分析质点大小的经典方法有过滤法、静电沉淀法、热聚集法、光散射粒子计算法和惯性聚集法。这些方法的精度，部分依赖于有关取样过程中粒子速度变化的知识。



用全光照相研究雨滴。用 Q 开关激光器“拍摄”下降的雨。再现的全光图显示在电视指示器上。全光底片沿扫描器滑架移动时，各种各样的雨滴便进入焦点。这种技术能测量存在于原有体积中的粒子的大小和分布情况。

原载 *Electronic News*, 1966, 11, №536, 26 (周碧秀译)

英国研制激光自动刻度校正装置

英国国立物理研究所利用具有极高亮度和谱线宽度极窄的气体激光，制成了应用激光的长度刻度校正装置。它克服了因使用以往的光束而产生的缺点。

在使用一般光束时，由于光源限定为单色光，因而超过 10 米时，干涉度量就不能使用；若使用激光，由于其谱线宽度极窄，因而甚至 100 米也可能使用*。另外，当用光电二极管读出干涉条纹的数目时，使用的光源为单色光的情况下，要求其频率稳定度为 100 周/秒，若用高亮度的激光时，频率稳定度可降低到 1~10 兆周/秒。

本装置是使由氦氖激光器所产生的出射光束与被反射镜反射回的光束产生干涉，用光电二极管检测出由于台架的移动而引起的光的强弱变化，就可测出所通过的干涉条纹数。

另一方面，安装在台架上的刻度，每当在显微镜下通过时便产生信号，该信号控制计算干涉条纹的计算机的起动与停止；用数字电子计算机对干涉条纹的尾数、时间间隔数以及与激光波长有关的空气折射率进行处理，作成误差表；连同测定时的温度、气压、空气中的水份含量一起自动打在纸带上。

本装置的精度是 ± 0.25 微米，但若经改良，精度可达 ± 0.05 微米，进而在折射计、显微镜上也可应用。

原载《科学新闻》，1966，第 1128 号(3) (张荣康译，红兵校)

* 最大干涉测量长度为 $L_{\text{最大}} = C/\delta f$ ，式中 δf 为谱线宽度——校者注

以激光研究微小的振动

美国天主教大学的两个研究人员正用激光研究空气和水中的极小振动。

这种技术对于研究换能器表面小点上的微小运动或将电信号转换为声音信号的水下声纳部分有用。

德法雷里(H. D. DeFarrari)和安德鲁(F. A. Andrew)已用这种方法测量平板上针头那样的小点的振动,他们测量过的振动点运动的距离在0.1~5,000埃间。点在100赫到20千赫的频率范围内来回运动。

使用这种技术时,将激光束分开。一部分扫描振动表面,另一部分不为振动表面的反射所改变,但为固定的反射镜所反射。

两束光重新结合后,进入光电倍增管。因为一束光传播的距离比另一束光传播的稍远,其差值正好等于运动点的位移,于是在光束重新组合时发生干涉效应。光电管探测这种效应,并产生电流,此电流正比于振动表面上被激光击中的点的运动。

在某一实验中,激光被用来探察一个一呎长的塑料水桶。精确地测出了桶的远端水下一个平板所产生的振动。

新技术的优点是不必在待研究的平板上再附加物质,而以加速计进行测量时则需要。与电容探察也不一样,它既不会改变板的任何声学性质,也不需要特殊的非电导体的流体。

现在这两个研究人员正想确定这种技术在空气和水中的极限,并将这些结果应用到水下工作中的实际问题上。美国海军研究局支持这个工作。

原载 *Electronic News*, 1966, 11, №549, 36 (周碧秀译)

激光器的几种普通应用

J. B. Brinton Jr.

在美国新墨西哥州,一千呎的隧道是借助激光器的帮助开凿的。在加利福尼亚州给牙齿钻孔也用激光器。同时,也可借助激光器使薄钢板比较迅速地从机器中压制出来,且废品很少。

激光器被用作测量工具,也用作象微型电路那样小的或象建筑机械那样大的东西的位置参考。

这些应用中没有一个得到如激光雷达或激光焊接设备那样多的研制经费。即使如此,在不那么吸引人的一些领域内,也发现激光器有它最普通的,或许是最有益的用途。

借助激光器凿隧道

在新墨西哥州北部,土木工程师正要将“直如弦”似的电气版改变为“直如激光束”。芬尼

克斯(Fenix)和西欣(Scission)公司正在开钻一个由开垦局设计的一千呎长“直如激光束”的隧道。这类设计的规格是非常严格的，孔内不容许弯曲，只容许百分之一的倾斜度；并且，在整个隧道中隧道壁必须只在几吋范围内平滑地增加或减少。

休斯工具公司制造的凿隧道的机器，直径为 20 呎，长为 25 呎，它装有 43 个刀头，一下就可搬走 4 呎砂石。这些机械排出这么多砂石方是由仅长为 14 吋，直径为 3 吋的珀肯·埃耳默 5200 型激光器控制的。

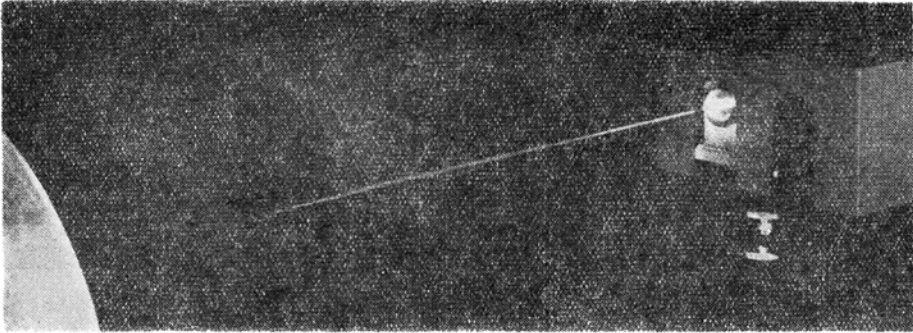


图 1 激光速度计。应用激光反向散射测量沿光束垂直方向运动的物体的速度和长度。这是为工业上应用设计的。

在机器的顶部安装一个测量经纬仪。激光器发射出 1.5 毫瓦的光束可远达 200 呎，通过岩石尘土到达装在钻孔机前后的两个“靶”上。这两个 1.5 呎的方形“靶”是由近 200 个光电管组成的列阵。

当钻孔机离开路线时，光束就漂过光电管列阵，在操作者控制板上触发起光的图样。将光调回显示器的中心，操作者就能制导机械回到光束的路线上来。

该公司对在这个实验中采用的激光器是很满意的。此种装置在其凿孔路径上制导穿孔机至少达到指定的精度，并且工作约 5,000 多小时没有发生故障。

钻较小孔的重要性，对我们中许多人来说都有切身的体会。这项工作正在其他地方进行研究。例如，在洛杉矶加利福尼亚大学牙科研究所里斯特恩(Ralph Stern)和索格内斯(R. F. Sognnaes)正在研究激光能量对牙齿的影响。

他们正研究用激光束对人的牙齿施行钻孔和切割、用激光器溶解珐琅或瓷制品填补牙洞，甚至用激光照射过的牙齿可能预防腐烂。

考虑到激光器能够把大量的热量集中到小面积上，前两种应用显然是简单的。最后一个应用是不太明显的，它基于珐琅的构造和早期腐烂机理。

腐烂是从牙齿下表面的脱矿质作用和表面上特征“白斑”的形成开始的。只是对含矿物怎样逸出不完全了解，但是一条逸出路线已被查出。

珐琅好象是结晶体和纤维物质的混合，表面下的含矿物质看来是通过纤维组织逸出的。

应用非 Q 开关式的 12 焦耳科拉德激光器，牙科医生以大约为 500 微秒的脉冲来照射“白斑”，某些珐琅晶体便转变为非结晶体状态，封住了纤维状的通路，于是停止了脱矿质作

用，并阻止继续腐烂。

医学研究者们是乐观的。牙科医生们讲：“或许有一天能用激光对珐琅进行预防性光滑处理，致使它们的外层能阻碍腐蚀的破坏。”

用光接触法进行测量

如果你希望测量正在流动的湿面条的速度，那末可以应用通用精密公司的一种测量面条流动速度的仪器进行测量，并能保持湿面条的本来状态(因为湿的面条容易断掉)。

这不是一件远离现实的应用。通用精密公司的斯塔维(G. Stavis)是速度计的发明者，食品生产者正向他征询速度和长度测量精确度能到 0.1% 的激光器。

另一些询问则来自于需要连续进行加工的布匹、纸张、金属、丝绸、塑料和橡皮等工业部门。在这些部门中，为了使机器得到最高产量，需要精确的速度控制。精确的速度的控制也保证了产品的质量象金属薄板，因为滚压机的速度直接关系到最终产品的厚度。

通用精密公司的速度计监视着从移动材料散射回来的光瓣。它的发射机是珀肯·埃耳默 5200 型激光器。接收机安装在刻线光栅背面的光电倍增管上。当每个光瓣扫过管面时它就产生一个输出脉冲，脉冲的速率等于光瓣的速度乘单位距离光栅的刻线数。这些脉冲的重复速率正比于原料运动的速度。

由于速度计是通过观测反向散射工作的，所以完全不要接触材料就能测量出类似热塑料(或湿面条)的速度。

激光器的其他应用

激光器的最直接应用之一是发射一束光，而不是沿一根线瞄准的自动经纬仪。

该项应用的一个关键看来是廉价的激光器，比如象光学工艺公司 170 型氦氖激光器。这种激光器适用于在土木工程中所遇到的环境的极端情况，因为激光器谐振腔的反射器是等离子体管的一部分。这就是说能使横模选择稳定，同时保护镜面。

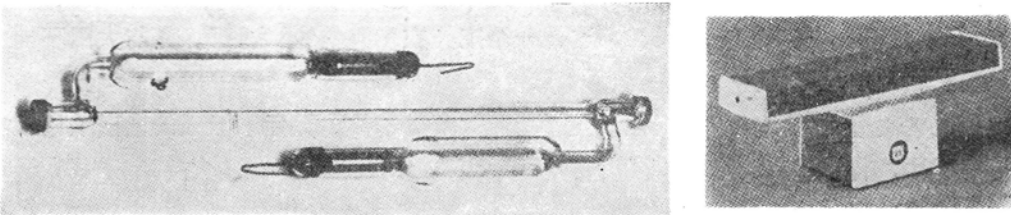


图 2 完整的反射镜，为等离子体管的一部分，它使激光器能适应土木工程应用中所遇到的崎岖不平的环境。它是三种激光经纬仪的基本部件。

至少有三家公司正准备利用此种激光器来发射。其中两家是土木工程公司；第三家是在萨克森堡的半导体元件公司。该公司预见到从标准测量操作到被称为是“五十层楼铅锤”的应用。

在造建筑物期间，打洞常常要垂直地从楼上凿通到基底。利用激光器就没有必要划出每

层上每个孔的位置。工人们只须打最上面的第一个孔，然后把激光器朝下对准并通过它，沿着光束凿通直达底层。

其他方面的应用包含管线的排列，公路和跑道水平度及坡度的测定。

一架更为混杂的装置(光谱物理公司Ⅲ型测地经纬仪)有希望从具有50哩作用范围的“一级”测地学仪器上发展起来。Ⅲ型测地经纬仪装置利用正弦波调制氦氛激光器和能同轴地安置在它的光电倍增管接收器上的卡塞格伦光学系统。

测距就是说要准确到“每哩远远小于1吋”，读数装置是能分辨出0.001呎的一种模拟或者数字装置。

微 定 位 器

美国光学公司和光谱物理学公司正在发展一种以激光器为基础的设备，它能以0~3微吋的准确度定位微型电路膜片。

现在的照相技术不能达到这样的准确度，因为经缩小许多倍之后，要保持在两个重迭的膜片之间适当的相对尺寸就很困难，并且需要重复定位操作。

激光微定位器能克服这些缺点；它利用改进的迈克尔逊干涉仪确定膜片与照相设备的位置，完成第二次和以后的缩小步骤，并以电子学装置使整个过程自动化。

这些公司认为他们的装置预备在1966年下半年生产。他们断言，优质膜片和定位准确度可使集成电路放得更为接近，从而可能获得较高的生产率。

原载 *Microwaves*, 1966, 5, №3, 8~11 (赖群力译, 王克武校)

西德将氢的同位素加热到6,000万度*

西德慕尼黑附近加兴(Garching)的马克斯·普朗克公司所属的等离子体物理研究所最先成功地把原子核加热到6,000万度温度，亦即2,000万度左右的电子温度。这一实验采用氢的同位素(氘与氚)，在某些方面说来，这是一个工作在加兴的“小太阳”。其与太阳不同之处在于，真正太阳的温度仅达1,400~1,600万度。

为了成功地进行此项实验，应在石英管中产生等离子体。然后以极强的电磁铁压缩成最快的等离子体，将它加热至特高的温度。此种温度是迄今为止德国或其它国家采用离子或电子的类似装置所未曾达到的。这一实验为将氢转变为氦以及和平利用热核能成功地开辟了道路。高温延续时间平均为十万分之一秒。但对热核聚变的内能说来，至少需要百分之几秒。

原载 *Electronique*, 1966, №59, 130 (王克武摘译)

* 可参见《参考消息》1966年3月5日第4版——译注。