

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<sup>[1]</sup>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<sup>[2]</sup>。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射器、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	$\text{Eu}^{3+}$ (各种螯合物的乙醇溶液)
注入式半导体激光器	$\text{SiC}$ (振荡有疑问), $\text{Ga}(\text{As}, \text{P})$ , $\text{GaAs}$ , $(\text{In}, \text{Ga})\text{As}$ , $\text{InP}$ , $(\text{In}, \text{P})\text{As}$ , $\text{GaSb}$ , $\text{InAs}$ , $\text{InSb}$ , $\text{PbTe}$ , $\text{PbSe}$
阴极射线激发半导体激光器	$\text{CdS}$ , $\text{InSb}$ , $\text{InAs}$ , $\text{GaAs}$ , $\text{PbS}$ , $\text{PbSe}$ , $\text{PbTe}$ , $\text{GaSb}$ , $\text{Te}$
光激发半导体激光器	$\text{InSb}$ , $\text{InAs}$ , $\text{GaAs}$
放电激发气体激光器	$\text{Ne}$ , $\text{He}$ , $\text{Ar}$ , $\text{Kr}$ , $\text{Xe}$ , $\text{O}$ , $\text{C}$ , $\text{N}$ , $\text{S}$ , $\text{Br}$ , $\text{I}$ , $\text{Cl}$ , $\text{Hg}$ , $\text{N}_2$ , $\text{CO}$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{RCN}$ , $\text{Si}$ , $\text{Hg}^+$ , $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Ar}^+ \sim \text{Ar}^{3+}$ , $\text{Kr}^+$ , $\text{Kr}^{2+}$ , $\text{Xe}^+$ , $\text{O}^+$ , $\text{O}^{2+}$ , $\text{Cl}^+$ , $\text{I}^+$ , $\text{C}^{2+}$ , $\text{N}^+ \sim \text{N}^{3+}$ , $\text{S}^+ \sim \text{S}^{3+}$
光激发气体激光器	$\text{Cs}$ , $\text{I}$

### 1. 红宝石激光器

红宝石( $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$ )是以  $\text{Cr}^{3+}$  置换  $\text{Al}_2\text{O}_3$  晶体中的  $\text{Al}^{3+}$  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)  $\text{Cr}^{3+}$  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<sup>[3]</sup>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）： $\text{Nd}^{3+}$ <sup>[4]</sup>和  $\text{CaF}_2$ ： $\text{U}^{3+}$ <sup>[5]</sup>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<sup>[6]</sup>

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。掺铷玻璃激光器以 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<sup>[7]</sup>

掺激活离子  $\text{Eu}^{3+}$  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<sup>-1</sup>）；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<sup>[8]</sup>。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 ( $77^\circ\text{K}$ ) 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<sup>[9]</sup>。

## 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<sup>[10]</sup>和二氧化碳激光器<sup>[11]</sup>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  $\text{CO}_2$  激光器中,通过  $\text{N}_2$  及空气等混合气体的放电,高效率地将  $\text{CO}_2$  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 <sup>3+</sup>	GaAs		He-Ne	A <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>
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(Nd<sup>3+</sup>)、2.6微米(U<sup>3+</sup>);(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<sup>[12]</sup>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<sup>[13]</sup>。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)<sup>[14]</sup>，或者用以得到单频(调频激光器)<sup>[15]</sup>。

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: Nd<sup>3+</sup>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）<sup>[16]</sup>、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  $\text{KTa}_{0.65}\text{Nb}_{0.35}\text{O}_3$ <sup>[17]</sup>,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<sup>[18]</sup>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).