

国外激光技术发展现状

263
29
3275

上海科学技术情报研究所

国外激光技术发展现状

*

上海科学技术情报研究所出版
新华书店上海发行所发行
上海新华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 2 字数: 48,000

1972年11月出版

代号: 1634086 定价: 0.25元

(只限国内发行)

毛主席语录

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

国外激光技术发展现状

一、概 况

1960年7月8日美国 Maiman 氏首先试制成功了世界上第一台红宝石固体激光器,以后国外又相继制成了气体、液体、半导体和化学等各种各样的激光器。激光器的诞生至今虽然只有十多年的历史,但是由于它在国防、工农业生产和科学实验等各方面都具有广泛的用途,因此引起了世界各国的注意。目前已成为国际上最受重视的课题之一。特别是用激光器作为辐射武器的研究,更为各国所注目。

近1~2年来,在激光技术的发展方面,进展是显著的。1970年美国贝尔电话实验室首次实现了半导体激光器在常温下的连续振荡。同年,国际商业机器公司(IBM)也制成了紫外激光器(波长仅1,567~1,614埃)。1971年加拿大制成了横向激励、大气压力激光器(TEA),而美国和苏联则致力于原子能激光器的发展工作。1972年年初,国外又报道美国 Sylvania 公司初步制成了太阳能激光器等等。与此同时,在激光器的大功率化方面,也取得了显著的进展。目前连续波的最大输出功率已达6千瓦(二氧化碳激光器),也有一些报道说,可以达到数十千瓦。在脉冲输出方面,美国 Sandia 公司利用钎玻璃激光器已达到25兆兆瓦(25万亿瓦)的峰值输出功率。

目前,全世界约有1,000个企业和研究机构在从事激光器的研究和生产。按激光技术现在的发展水平来看,美国是居于前列的。西欧各国和日本的激光技术,近年来虽有很大的发展,但基本上仍限于大学和研究机构范围内,着重于基础研究,从1969年起才逐步推向民用方面。在东欧国家中,苏联是唯一具有先进激光技术的国家,其实验室水平很高,主要用于军事方面,而民用激光技术的发展仍相当落后。

美国正大力发展激光技术。1967年用于激光方面的金额为4,190万美元,而1971年却增至13,630万美元,增加了二倍多。预计1975年将达到41,900万美元。其中各行业的费用比例如表1。

至于各种激光器的销售额(不包括成套激光系统、激光器件及附件)以及销售台数,列于表2。

1970年西欧各国在激光方面的销售额为3,000万美元,1971年增至3,600万美元,预计1972年将增加20%,为4,320万美元。至于日本,1970年的销售额为300万美元,1971年增至400万美元。日本的激光工业目前基本上已能满足国内70%的需要。

二、国外激光器的进展

近年来,国外激光器的发展大体上是围绕着以下五个要求,即:1)平均输出功率大;2)脉冲峰值输出功率高;3)转换效率高;4)振荡波长范围宽;5)振荡调谐范围宽。另外,从实用的观点出发还要求:寿命(信赖性)高,小型化,价格低廉和使用维修方便等。

表1 美国激光装置市场销售额(单位:百万美元)

部 门 \ 年 份	1967	1968	1969	1970	1971	1972*	1975*	1969~1975 的增加额
测 量	2.0	3.0	5.9	8.9	10.4	14.0	26.0	20.1
军 用	1.4	2.5	14.8	32.0	40.0	53.5	102.0	87.2
交 通 运 输	—	—	0.1	0.2	2.5	9.4	34.5	34.4
信 息 处 理	0.3	0.5	1.2	5.9	13.1	24.6	125.0	123.8
材 料 加 工	0.7	1.3	3.2	6.0	11.0	17.5	42.9	39.7
医 用	0.5	0.7	0.9	1.5	2.6	3.4	5.8	4.9
研 究 用	36.0	39.6	43.9	48.5	51.7	56.5	66.8	22.9
通 讯	—	0.2	0.5	1.0	2.5	4.5	10.0	9.5
其 他	1.0	1.1	1.5	2.0	2.5	3.0	6.0	4.5
总 计	41.9	48.9	72.0	106.0	136.3	186.4	419.0	347.0

数据出处:史坦福特研究所统计。*估计值。

表2 1967~1972年美国各种激光器的销售情况

激 光 器 种 类	1967			1968			1969			1970			1971			1972*		
	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)	台 数	平均 单 价 (美 元)	总(百 万 美 元 值)
红宝石激光器	277	15420	4.25	270	15600	4.2	405	16100	6.5	460	16400	7.8	415	17500	7.3	405	18200	7.4
玻璃激光器	165	14000	2.31	180	14500	2.6	190	15100	2.9	280	15700	4.4	325	16300	5.3	505	17000	8.6
钇铝石榴石激光器	111	15400	1.71	230	15600	3.6	265	16100	4.3	355	16900	6.0	490	17500	8.6	775	18200	14.1
氦-氖激光器	1542	2280	3.52	1700	2080	3.6	2400	2160	5.2	2945	2210	6.6	3620	2350	8.5	5355	1810	9.7
离子激光器	239	11250	2.69	240	11400	2.7	325	11900	3.9	365	12400	4.6	410	12800	5.2	470	13300	6.3
二氧化碳激光器	182	9660	1.76	200	10400	2.1	240	10800	2.6	305	11200	3.4	400	11700	4.6	605	12200	7.4
其他气体激光器	77	6700	0.52	80	5000	0.4	80	5200	0.4	80	5400	0.4	80	5600	0.4	90	5850	0.5
半导体激光器	261	1680	0.44	300	2080	0.6	430	2160	0.9	685	2240	1.5	1090	2350	2.6	1475	2420	3.6
液体激光器	16	6250	0.01	20	8000	0.2	20	8400	0.2	20	8650	0.2	25	9000	0.2	30	9350	0.2
其 他	70	1544	0.11	30	1600	—	30	1670	—	20	1750	—	25	1820	—	30	1900	0.1
总 计	2940	5910	17.4	3260	6135	20.4	4385	6135	26.9	5515	6330	34.9	6880	6210	42.7	9740	5945	57.9

数据出处:史坦福特研究所统计。*估计值。

目前国外激光器已能达到如下的性能指标:

(1) 最大的平均输出功率:二氧化碳激光器在10.6微米波长下,连续波最大平均输出功率为6千瓦,但是也有已达几十千瓦的报道。另外,据有些研究者说,若采用优良的反射镜,他们深信可以获得输出功率在100万瓩的连续波。

(2) 最大脉冲峰值输出功率:多级放大的掺钕的玻璃激光器的峰值输出功率已达25兆瓦(25万千瓦,即 25×10^{12} 瓦)。

(3) 效率:横向激励、大气压力激光器(TEA)的转换效率已达21%,而化学激光器则在12%以上。

(4) 振荡波长范围:由H₂激光器的1.523埃至HCN激光器的774微米。

(5) 可能的波长调谐范围:利用掺钕的钇铝石榴石激光器的二次谐波激励的采用铌酸锂(LiNbO₃)晶体的参数振荡激光器,其波长在5.400埃至4微米范围内,可在数个领域内

加以调谐。

下面就各种激光器近年来的进展分别地加以叙述。

气体激光器

1) 远红外激光器: CN 激光器是利用 HCN 或 ICN 构成的激光装置, 具有 337 和 774 微米等最长的激光波长。另外, 远红外激光器还包括 H_2O 激光器 (波长 79、118 和 220 微米) 以及 D_2O 激光器 (波长 84、107 和 171 微米) 等, 但是这些激光器近年来没有什么显著的进展。

2) 二氧化碳激光器: 二氧化碳激光器连续波输出功率的大幅度增加以及脉冲输出高峰值功率的实现, 已成为各国极为关切的问题。

(一) 连续波输出的改进: 气体激光器一般是利用电子束使之激励, 从而使处于低能态的分布粒子向高能态移动, 并由高能态跃迁回低能态, 从而发射出激光束。但是由于低能态上分布的粒子数不可能大幅度地减少, 所以激光器的输出必然受到限制。如果使得被激励的气体以非常高的速度横向地流过激光器的谐振腔体, 这样就会使得激光谐振腔中处于低能态的粒子数大大减少, 从而显著地改善了激光器的输出。以前一米长的二氧化碳激光管, 在 10.6 微米波长的情况下, 连续波输出一般为 50 瓦左右。但是, 1969 年 Tiffang 等利用横向激励的方法, 使每一米长的二氧化碳激光管发射出一千瓦以上的连续波输出。

美国 Avco 公司的 E. T. Gerry 进一步改进了高速气流型激光器, 试制成功了所谓的气体动力激光器。其原理图 1。在左侧静止部分 (图 1a) 的高温气体的大部分能量, 是积蓄在

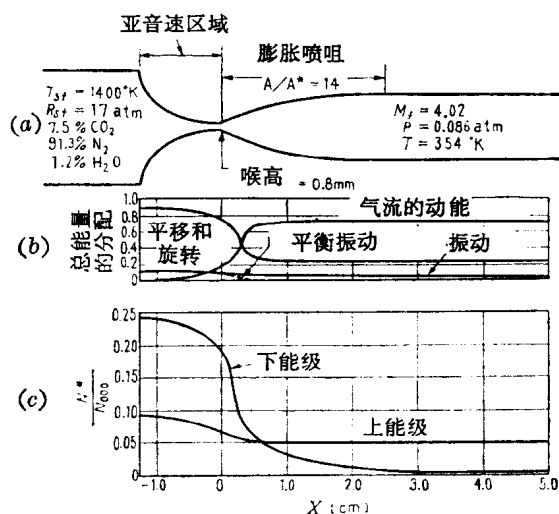


图 1 气体动力激光器的原理图

(高温气体由左侧的静止部分通过喷嘴, 以高的马赫数喷出)

气体分子的平移能级和转动能级, 而积蓄在振动能级的能量只占全体的十分之一以下。这种高温气体由喷嘴以极高的速度喷出, 压力和温度迅速下降, 处于平移和转动能级的能量被转变为气体的流动运动能 (图 1b)。但是由于激光跃迁的较高能级 (Upper level) 所具有的振动能级的张弛时间, 较之压力和温度的降低更为迟缓, 所以就形成了所谓的冻结状态, 这时粒子数的分布变化是不大的。另一方面, 激光跃迁的较低能级 (Lower level) 所具有的振动

能级的张弛时间,本来就较短,再加之利用氦气体等使之迅速下降,所以在少量的通过喷嘴的气体中,会发生大量的激光跃迁的粒子分布反转,如果谐振腔组合适宜的话,可以得到极高的输出功率。1971年 Avco 公司的气体动力激光装置,在每秒 14 公斤气体流过的情况下,已经得到 6 万瓦的连续波输出,波长为 10.6 微米。

(二) 脉冲输出的改进:在极短时间内一次激励的情况下,没有必要较多地去考虑激光跃迁的较低能级的极限。为了使脉冲输出增加,只要增加气体分子的密度,即提高密封压力就可以了。据报道,加拿大的 Beaulieu 氏利用常压的二氧化碳激光器(一个大气压)获得了 10~100 兆瓦的峰值输出功率(10 焦耳能量)。

3) 氦-氖激光器:在氦-氖激光器方面要特别加以叙述的东西不多。关于氦-氖管的寿命问题,国外已开始研究。在放电电流为 20~30 毫安的情况下,氦-氖管的寿命已经超过一万小时,管径细的电流小的氦-氖管,甚至可达数万小时。

4) 离子激光器:氩和氦等激光器是离子激光器,但是近来没有什么显著的进展。在离子激光器的使用寿命方面,据美国 TRW 仪器公司声称,该公司已制成一种装在激光管内的充气装置能使脉冲氩激光器的寿命延长三倍左右,同时也能使氦激光器的使用寿命延长。采用这种充气装置后,TRW 仪器公司制造的 71B 和 83A 型氩脉冲激光器的使用寿命由原来的 150 和 500 小时,相应地提高到 500 和 2,000 小时,氦激光器的使用寿命(71KR 型)也提高到 500 小时以上。

据 TRW 仪器公司报道,这种装在激光管内的充气装置内,充有较激光管内压力更高的激光气体,通过一个阀门能定量地流入激光管,以便进行充气,详细构造见图 2。



图 2 美国 TRW 仪器公司制成的管内充气装置

5) 金属蒸气离子激光器:属于这一类的激光器有镉-氦(Cd-He), 硒-氦(Se-He)和锌-氦(Zn-He)等激光器。镉-氦激光器在波长 4,416 埃(紫)和 3,250 埃(紫外)下,能获得较强的连续波输出,由于镉-氦激光器作为短波长激光器而应用于光化学反应等方面,所以国外颇为注意。另外,在放电电流方面,镉-氦激光器与氩离子激光器或氦离子激光器的几十安培相比较,是极低的,一般在 100 毫安以下。以前的镉-氦激光器,其所采用的镉蒸气晃动、不稳定,而且由于带正电荷的镉蒸气(Cd^+)向阴极流动,所以经过一定的时间后,需要使正负极切换。Herngqvist 等设计了一种与氩和氦离子激光器极类似的正负极之间的旁路,这样不仅使杂波降低,而且延长了使用寿命。另外,如果将镉的同位素镉¹⁰⁶、镉¹⁰⁸、镉¹¹⁰、镉¹¹¹、镉¹¹²、镉¹¹³、镉¹¹⁴和镉¹¹⁶适当地混合使用,可使镉-氦激光器的带宽达 8,000 兆赫,而且获得了单模式脉冲激光,这点已引起很多研究者的注意。特别是,日本的管原氏等采用空心阴极(Hollow cathod)的镉-氦激光器获得了 6,300~7,300 埃的新的稳定的激光束。

关于硒-氦激光器,按带正电荷的硒的能级,其波长在 4,604~6,535 埃之间,但是实际上已经获得了 24 个不同波长的连续振荡。至于锌-氦激光器,不再加以叙述。

6) 紫外激光器:在紫外激光器方面,以前的氮(N_2)激光器可发射出波长为 3,371 埃的较强的脉冲激光束,另外还有氦 V 紫外激光器(波长为 3,324 埃)和氦 IV 紫外激光器(波长为 2,358 埃)。氦 IV 激光器的波长在以前是最短的。但是后来, Fendley 等利用氦 IV 激光器获得 3,507 埃波长的输出,利用氦 III 激光器获得波长为 3,345、3,358 和 3,638 埃的较强功率的连续波输出。最近国际商业机器公司的 Hodgson 以及美国海军研究实验室的 Waynant 等利用氢(H_2)喇曼激光器获得了波长为 1,567~1,614 埃的紫外脉冲激光束,其功率约为 100 瓦左右。另外, Hodgson 还利用一氧化碳气体获得了波长为 1,800~2,000 埃的脉冲激光束。

固体激光器

1) 红宝石激光器:红宝石激光器以大功率脉冲输出为主,也可以输出连续波,但是稳定性和转换效率尚不足。近来没有什么显著的进展。

2) 钇铝石榴石激光器:掺钕的钇铝石榴石激光器转换效率较高,容易做到连续波输出。据称,是最有发展前途的固体激光器。在其大功率化方面,美国 Sylvania 公司的 Osterink 等采用一根直径 10 毫米,长度为 150 毫米的钇铝石榴石晶体($Y_3Al_5O_{12}$),在 1.06 微米波长下获得了约一千瓦左右的连续波输出。另外, Holobeam 公司将 5 台具有小型钇铝石榴石晶体的激光器串联起来,也同样获得了约一千瓦的连续输出。串联时调整较困难,但是在经济性方面是较合算的。最近 Holobeam 公司采用 8 级串联,获得了 1,100 瓦的连续波输出。

以前,钇铝石榴石激光器一般是采用碘钨灯或氩弧灯作为激励源的。在采用氩弧灯时,最高转换效率也只有 3% 左右,并且需要冷却措施,而灯泡的寿命也只有数百小时而已。最近,国外开始采用砷化镓发光二极管(波长 0.8 微米左右)来激励掺钕的钇铝石榴石晶体,并且获得了连续波输出。当初,由于要使发光二极管的波长保持在 0.81 微米,曾采用液氮进行冷却(因为发光二极管的波长会随温度而变化)。最近,在室温条件下,成功地实现了发光二极管激励的连续波输出。但是,其连续波输出的功率要达到一瓦以上,看来是较困难的,因此不适宜于大功率方面的应用。

3) $YAlO_3$ 激光器:最初在苏联有所报道,暨后 Raytheon 公司也进行了研究,目前已制成了含铬的掺钕 $YAlO_3$ 激光器。在 Q 开关动作方面,极少有关钇铝石榴石激光器为佳的报道。目前,钇铝石榴石激光器大概仍是固体激光器中较优良者。

4) FAP 激光器:FAP 激光器具有 $Ca_3(PO_4)_2F$ 成份的工作物质,目前主要由 Westinghouse's 公司在研究,但是没有很大的进展。

5) 玻璃激光器:

(一) 大功率化方面:法国中央电力总局(CGE)近年来在钕玻璃激光器脉冲大功率输出的研究方面,颇有进展,他们采用多级放大的方法。最近,美国 Sandia 公司获得了 25 兆瓦的峰值脉冲功率,重复率为每秒三次。这些激光器被用于可控核聚变的研究方面,用来形成等离子体。

(二) 连续波输出方面:玻璃激光器由于热传导率低和较宽的荧光辐射,所以以前没有能够实现连续波输出。最近,日本的内田禎二等采取了玻璃棒细径化措施,使棒芯得以冷

却,同时还采取措施防止由于细径化而增加的激光的衍射损失。这样就初步实现了玻璃激光器的连续波输出。另外,“SELFOC”玻璃激光器,有可能连续输出脉冲宽度为微微秒的超短激光脉冲,目前正在研究单模式,并取得一定的进展。一个直径为 1.5 毫米、长为 10 厘米的“SELFOC”激光器件,可以在 1.06 微米波长下获得约 3.5 瓦的连续波输出。

半导体激光器

在半导体激光器方面,1970 年夏季,美国贝尔电话实验室实现了室温条件下的连续波输出,随后英国、日本和苏联等也相继实现了室温下连续波输出。初期,利用的半导体材料只有砷化镓,后来发展到 $\text{GaAs-Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ 异质结合构造,最后成为 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As-GaAs-Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ 双重异质结合构造,并终于能够在室温条件下连续振荡。图 3 为这种半导体激光器件的构造图,振荡部分是砷化镓部分。这种双重异质结合构造可以使振荡的工作电流大幅度下降。

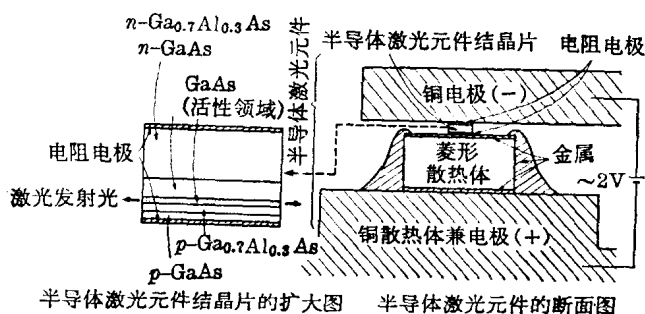


图 3 半导体激光器件的构造

目前,这种半导体激光器的连续波输出功率为 20 毫瓦,转换效率为万分之几。其体积比一颗砂粒还小(0.0015 吋长 $\times$ 0.003 吋宽),以干电池作为电源,发射出近于可见的红外光(波长为 8,500 埃)。今后的主要问题是长寿命化和振荡模式的纯化。

无机液体激光器和染料激光器

(1) 无机液体激光器:在常温下,将 NdCl_3 等溶解在 SeOCl_2 或 POCl_3 等中,然后利用铈(Nd^{3+})离子的锐利的荧光光谱而发射出激光束。在本质上与稀土元素离子固体激光器是相同的。关于这种激光器的最近的进展,此处不再赘述。

(2) 染料激光器:频率可调的激光器,包括染料激光器和参数激光器。染料激光器的频率范围包括由可见光到紫外光,参数激光器的光谱范围则由可见光向红外光谱发展。

在染料激光器方面,1970 年是值得注意的一年,实现了染料激光器的连续波输出以及在极宽的频率范围内加以调制。Snively 等利用输出功率为一瓦的氩激光器所发射的波长为 5,145 埃的光,使若丹明 6 G(又称碱性蕊香红, Rhodamine 6 G)激励,从而获得中心波长为 5,965 埃,半功率点宽度为 30 埃的连续波输出。

另一方面,美国贝尔电话实验室的 Shank 等使处于激励状态的 4 甲基伞形酮(4-Methylumbelliferone,简称 4 mu)染料成为质子的受主,与质子 H^+ 相结合而形成多重激发态(Exciplex),随后利用与中性 4 甲基伞形酮波长截然不同的新的荧光光谱,实现了在极广

波长范围内可调谐的激光器。Shank 等还利用波长为 3,371 埃的氮 (N_2) 激光器的光束,使酸性的 4 甲基伞形酮溶液激励,实现了在 3,910 埃~5,670 埃范围内可以调谐的激光器。

光高次谐波的发生以及光参数振荡器

由于利用非线性光学晶体的参数作用,很早以前就实现了光的高次谐波的发生和参数振荡,目前,铌酸钡钠 ($Ba_2NaNb_3O_{15}$)、铌酸锂和碘酸锂等晶体已被有效地利用。在光高次谐波的发生方面,应用上述晶体已可以高效率地发生 1.06~0.53 微米波长的光束。目前这方面的新发展不多。

在参数振荡激光器方面,Chromatix 公司已制成光束频带范围极宽的参数激光器,并已正式出售。这种激光器是利用掺钕的钇铝石榴石激光器的波长为 9,560~13,580 埃的 13 束激光的倍频光作为激励光,去照射铌酸锂,实际上在 5,400 埃~4 微米范围内,在数个波长内可以连续地加以调谐。

化学激光器

化学激光器是利用化学反应的能量激励,以达到激光发射的激光器。1965 年,利用氯和氢形成氯化氢时所引起的氯化氢的振动跃迁,成功地发射出波长为 3.7~3.8 微米的激光束。暨后,1969 年又成功地研制成 $DF-CO_2$ 激光器和 $HF-CO_2$ 激光器(波长为 10.6 微米)以及 CS_2-O_2 激光器(波长为 5.0~5.3 微米)等。1970 年, D. J. Spencer 等实现了化学激光器的连续波输出。这是利用 $H_2 + F \rightarrow HF + H$ 反应,而得到 HF 振动跃迁,从而发射出波长为 3 微米的激光。

另外,还利用电弧加热氮气 (N_2), 随后将六氟化硫 (SF_6) 射入炽热的氮气中,引起氟的离解。接着再混以氢气,使氢气与氟原子混合而形成振动激励的氟化氢。随后使氟化氢以超声的速度通过一个光学腔,并改变能态,从而诱射出激光束。这种化学激光器的最大输出功率已大于 1,000 瓦(连续波),转换效率达 12%,波长为 2.6~2.9 微米之间。

喇曼激光器

喇曼激光器是利用喇曼效应的一种激光器,目前正在 CS_2 等多种物质中观测激光束的发射。自旋转向 (spin-flip) 可调谐的喇曼激光器是目前国外引人注目的激光器。至于这种可调谐的喇曼激光器的理论,1966 年已被提出来,并且已确定能带间隙低的、电子有效质量极小的 n 型锑化铟 (InSb) 作为适当的材料。1970 年,贝尔电话实验室和麻省理工学院利用锑化铟实现了可调谐的激光器,特别是麻省理工学院还达到了连续波输出。这是利用半导体的 Landan 能级的一种激光器,由于 n 型锑化铟的电子有效质量是非常小的,所以与外加磁场变化相对的波长调谐的范围也是极大的。

Patel 等利用波长为 10.6 微米的二氧化碳激光器的光束作为激励源,并且依靠磁场由 3 万高斯变为 6 万 5 千高斯,而使得反斯托克斯光 (Anti-Stokeo light) 能够在 9.4~10.0 微米范围内加以调谐,而对斯托克斯光来说,则可在 11.3~12.2 微米范围内加以调谐。此外, Mooradian 等利用波长为 5 微米的一氧化碳激光器的光束来激励,磁场变化为 17~50 千高斯,在输出波长为 5.55 微米的情况下,获得了 70 厘米⁻¹ 程度的调谐范围。

原子能激光器

美国佛罗里达大学 R. T. Schneider 已利用原子核反应堆来激励二氧化碳,使之产生激光束。苏联莫斯科国立大学也进行了类似的工作。

太阳能激光器

美国 Sylvania 公司正在发展一种用太阳光加以激励的激光器。这种激光器是用在空军的宇宙通讯系统上的。利用反射镜或棱镜系统将太阳光聚焦,并投射在激光器工作物质的尾端(图 4)。

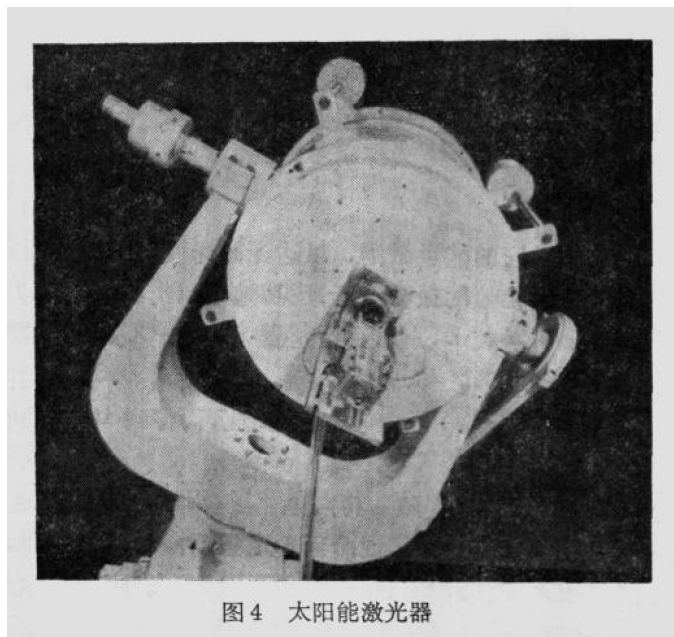


图 4 太阳能激光器

三、国外激光技术的应用

(一) 概 况

国外激光技术总的应用目前尚处于发展阶段,还没有达到成熟应用阶段,应用的进展也是较缓慢的。现就其大致的应用情况列表概述如表 3。

(二) 激光在军事方面的应用

美帝和苏修为了实现其瓜分世界的阴谋,疯狂地扩充军备,把一切科学技术成果都用于战争需要,激光就是其中的一项。美帝国防部自 1959 年以来,一直对激光武器的研究投入大量的经费和人力。1970 年度的研究和研制经费即达 1.18 亿美元。苏修也在加紧研究激光武器,特别是作为辐射武器用的化学激光器,其主要研究单位有:量子物理研究所,化学物理学院,莫斯科国立大学和诺沃西比尔斯克地方的核子物理学院等。

按激光技术在军事上的应用来看,大致可以分为:作为辐射武器使用、制导应用、侦察和搜索应用以及氢弹引爆等。

表3 国外激光技术应用概况

应 用 阶 段	应 用 例 子
探索发展阶段(或称基础研究阶段)	激光反弹道导弹武器 激光用于氢弹引爆和可控核聚变 人造卫星间的激光通讯 激光海中通讯 激光化学 微工秒脉冲技术 激光计算机
初期应用阶段(已制成初步产品,但有待进一步改进)	激光记忆 电子计算机输入输出装置 { 激光打字 激光显示 激光文字读取 激光图形识别
较成熟应用阶段(方向已肯定,有定型产品)	激光立体电影 激光陀螺仪 激光大气通讯 激光自动操纵系统 激光医用机器 全息彩色磁带录象系统 激光机械加工装置 激光雷达 激光测距装置 喇曼分光分析仪

(1) 作为辐射武器使用: 美帝激光武器的研究和发展工作由国防部远景研究计划局主持, 其大部分研究活动集中在新墨西哥州凯特兰空军基地的武器实验室进行。该实验室目前约有 90 人在从事高能激光器的研究工作。据透露, 目前凯特兰空军基地的武器实验室正在从事防空激光武器、机载激光武器以及反弹道导弹激光武器的研制工作。研究的几种主要激光器几乎是气体动力激光器、电-气体动力激光器和化学激光器。气体动力激光器目前所提供的功率是最高的。目前已达连续波 6 千瓦, 也有的已达几十千瓦, 甚至更高。但是, 气体动力激光器消耗大量的不可回收的燃料, 设备体积庞大, 而且转换效率也只有 5%。电-气体动力激光器在这三方面均有所改进。它的燃料是可以回收的, 设备体积紧凑, 而且转换效率在 10% 以上。凯特兰空军基地曾对电-气体动力激光器进行改进。目前其功率已可在 5 秒钟内击穿一时厚的压缩石棉板。

至于化学激光器, 美帝军方也极为重视。目前正在研究一种新型的横向激励化学激光器, 其横向激励原理与加拿大的兆瓦级的二氧化碳横向激励激光器相似。目前峰值功率仅 25 瓩, 脉冲宽度 300 毫微秒, 每秒输出 3~5 脉冲。

在激光武器的应用方面, 美帝空军在距离凯特兰空军基地武器实验室仅 15 哩左右的试验场正式试验一种防空激光武器, 它能将 10,250 呎以外的厚木板焚毁。此外, 还在发展一种供未来战斗机 F-15 和轰炸机 B-1 使用的机载激光武器。

美国国立磁体实验室空军激光武器讨论会上称, 横向激励、大气压力激光器不久将产生一万焦耳的能, 足以用于导弹的防御方面。除此以外, 在法兰克福兵工厂自 1964 年以来,

一直在继续试验激光枪。该枪采用红宝石激光器,其形状与一般步枪相似,重量为 10 公斤,每秒可发射一个脉冲以上,射击距离为 1.5 公里。这种激光枪可以使衣服和木头着火,使远处的敌人变成瞎子,使一定距离内的爆炸物爆炸。在短距离内,则能打死人和击穿装甲车。

目前国外激光辐射武器已取得的进展有:

(1) 美帝陆军曾用高能激光器把数百米以外的装甲车击穿一个拳头大小的洞。

(2) 用二氧化碳激光器照射一枚战术导弹的头部,在不到一秒钟时间内,弹头就破裂成许多碎片。

总之,从激光器作为远距离辐射武器的要求来看,激光辐射武器还有待进一步提高功率和缩小体积。另外,大气层的影响以及如何迅速搜索和瞄准高速运动的目标等问题,还没有根本解决。

(2) 激光制导应用: 美帝国防部声称,激光制导对于战术武器的影响,可以与四十年代和五十年代雷达技术的应用以及导弹的制导相媲美。由于激光制导武器在战术上的重要性日益增加,美帝国防部于 1971 年曾成立激光制导武器特别工作小组,对激光在战术中的应用等进行了长达 6 个月的调查。美帝的激光制导炸弹,改进了对地面目标的命中率。所谓激光制导炸弹,实质上只不过是普通的炸弹上装上“激光寻的器”、控制系统和特殊的尾翼而已。这种炸弹能自动跟踪激光目标指示器,射向目标而反射出来的激光束。激光目标指示器一般是由地面侦察人员手持照射目标,或者是安装在飞机上或地面车辆上。

目前美帝采用的激光制导炸弹大概有两种,一种是北美航空公司为空军制造的制导系统 Hobos,该系统是在一般的 MK 84 (2,000 磅) 和 M 118 E 1 (3,000 磅) 炸弹上添加上制导系统(一个由陀螺稳定的红外寻的器)、外肋条板和尾翼(图 5)。四个外肋条板是与尾翼安装在同一直线上的,以保持空气动力稳定性。控制部分是外加于炸弹尾部的一段胴

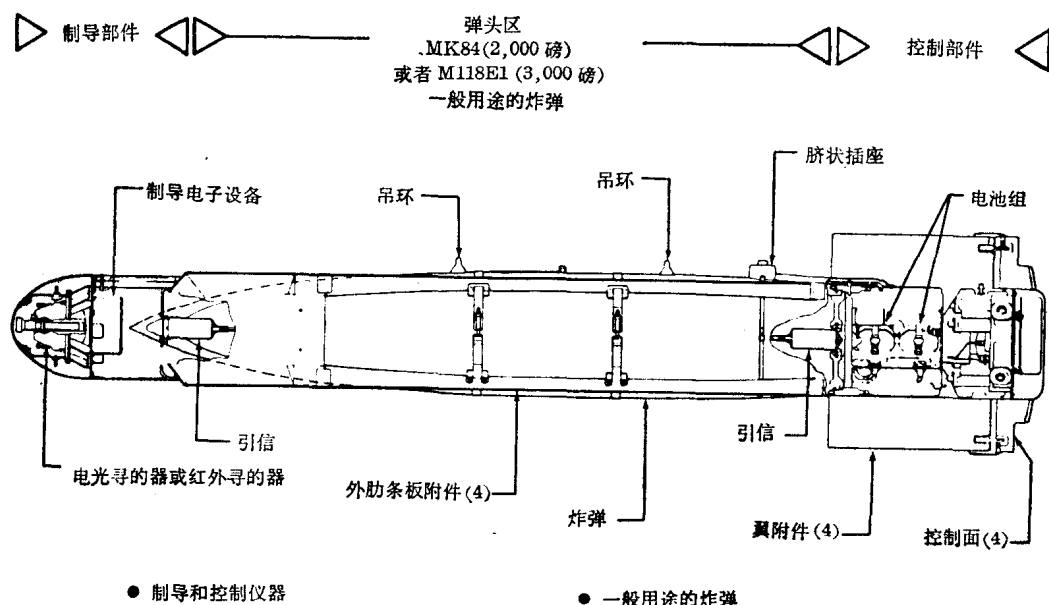


图 5 北美航空公司制造的激光制导炸弹

体,具有固定的十字型的尾翼和副翼。由炸弹头部制导系统发出的倾斜度讯号和偏倚-转向讯号为自动控制部分所接收,随后自控部分再发出讯号驱动气动传动装置,使副翼动作,以便使炸弹飞向目标。四个外肋条板可以延长炸弹滑翔的距离。

另一种激光制导炸弹是供战斗轰炸机投掷的。炸弹的前一部分是制导部件。德克萨斯仪器公司所制造的激光寻的器就安装在圆形稳定环前面的子弹状容器内。在寻的器后面是改进的控制装置,包括伺服控制系统,用以驱动四个可动的翼面。炸弹投下后,它会跟着反射回来的激光来自动寻的,而激光是由一架在前方的飞机射向目标的。

由于激光制导炸弹的成功采用,引起了激光制导导弹的进一步发展,包括空对地和地对地各种战术弹道导弹。例如,陆军的激光制导的“诚实的约翰”导弹便是一个例子。此外,陆军还企图在 155 毫米口径的炮弹上安装激光制导装置。

激光制导武器发展主要朝战地多适用性。例如,美帝空军的某些激光制导武器必须能够与陆军手持的激光目标指示器以及空军飞机上的目标指示器配合使用。这就意味着空军导弹的寻的器弹头必须与陆军地面的激光目标指示器能够在同一波长和同一脉冲重复率中工作。

另外,为了解决目标和避免地面激光目标指示器的误指示目标,美帝正在大力研究反措施。它包括两个方面:(1)反敌方激光制导武器的措施;(2)使自己的激光制导武器不受敌人反措施的影响。

激光制导武器与雷达制导武器相比较的优点在于,结构较简单,成本低廉。

(3) 侦察和搜索应用: 美帝空军已采用一种被称之为“罗盘系统”(Compass link)的激光侦察技术。这种侦察装置可以在 5 分钟内将一幅 5 吋×5 吋的侦察照片由实地传至华盛顿,达数千公里,或者是传输电视图像。

这种激光侦察装置是: 使一个铍金属轴以每分钟达 20 万转的速度旋转,轴中央有一个八面棱体,当每个镜面经过一个调准点时,一束激光由镜面反射回来,对 5 吋×5 吋的胶卷底片进行扫描。随后利用微波通讯或地球卫星将光信息传输至华盛顿。这种激光侦察技术还可用于预报鱼汛或农作物病害,以及用于数据处理、输入输出转换或电子计算机等方面。

另外,美帝海军正在发展一种利用极短的激光脉冲(30 毫微秒)来探测潜至水下 500 呎的潜艇的技术。激光脉冲被射向一定的海域,部分反射回来,但另一部分则通过海水继续传播直至射到一个固体物为止。反射回来的脉冲会激活一台接收机,该接收机只接收由水下物体反射回来的极微弱的光脉冲,这样就保证了高的灵敏度。此外, Bendix 公司也在发展一种利用全息摄影术搜索潜艇的技术。

苏修则利用激光在液体内部产生的巨大压力发明了一种“水光”,根据此原理制成的武器将很容易摧毁潜艇或船体。

(4) 用激光实现受控核聚变和引爆氢弹: 原子核反应有裂变和聚变两种方式。人类控制裂变反应用来发电,这就是原子能发电。多年来,人们试图把聚变反应(热核反应)控制起来,但是一直没有成功。近年来,受控核聚变反应的研究已成为国外科学研究的一个重点课题。1970 年苏联的研究费用约 5,000 万美元,美国为 2,600 万美元,英、法、日等国的投资总额约 5,700 万美元。

核聚变反应与世界上现有的能源(煤、石油、天然气、水力以及原子能裂变反应等)比较,其主要优点是:资源丰富、能量巨大,而且成本低廉。核聚变反应所用的燃料是海水中的氘,

由一公升海水中可提炼 30 毫克的氘,这些氘通过核聚变反应可以发出相当于 300 公升汽油的能量,而制取一公斤氘只需要 300~400 美元。

1963 年苏联的物理学家首先提出,利用高能激光来引起热核反应的可能性。这一建议引起了世界各国的注意。1969 年,法国利用峰值功率为 50 千兆瓦(脉冲宽度 5 毫微秒)的钕玻璃激光器,首次成功地进行了核聚变实验。在将上述高能激光集中照射冷却至 4.2°K 的氘冰粒时,形成了温度高达 $6\sim 10\times 10^6^{\circ}\text{C}$ 的等离子体,于是氘原子核之间发生了微弱的聚变反应,释放出能量为 2.45 兆电子伏的中子。以后,美国和苏联也相继实现了利用激光照射而引起的聚变反应。

有关利用高能激光引爆氢弹的建议,于 1968 年起受到各国的重视。在现有的技术条件下,氢弹中必须包含裂变原子弹,利用原子弹爆炸使氢变成足够热、足够稠密的等离子体,从而引起猛烈的聚变爆炸。目前,美、苏都在积极进行激光引爆氢弹的研究,1970 年美国在这方面的研究费用为 2,500 万美元。据国外报道,一旦引爆成功,即便是缺铀的不发达国家也可以直接生产热核武器,而无需首先研制原子弹。目前,应用于这种目的的激光器的短脉冲输出能量,距离要求还很远,至少要提高三倍左右。

(三) 激 光 通 讯

光是一种电磁波的概念,早在 19 世纪已为人们所熟知。但是,普通光源所发出的光,频率不纯。激光出现以后,获得了极纯的光束,可用于通讯方面。激光束的通讯频带是极宽的,即使只是可见光范围,其通讯带宽已经是现在所使用的微波带宽的 10 万倍。由信息传输的观点来看,信息传输量差不多可以说是无限大的。

目前国外激光通讯的几种主要方式

激 光 通 讯 方 式	用 途
激光大气传输通讯.....	近距离特殊通讯用
利用光学纤维(光缆)进行激光传输通讯.....	{ 近距离郊外通讯线路 局间中继线路
利用光学透镜导向传输.....	{ 长距离郊外通讯线路 局间中继线路

(1) 激光大气传输通讯: 由于激光在大气中的传输,较大程度上要受气象条件的限制,例如,雨、烟、雾和雪等能使激光的传输显著衰减,所以激光大气传输通讯中还存在着可靠性问题。

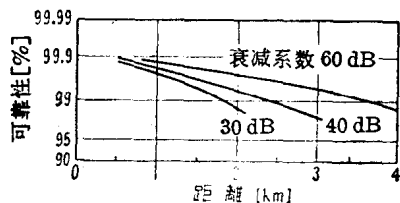


图 6 1962~1966 年在日本东京附近收集的激光通讯可靠性的资料

图 6 是以衰减极限作为参数表示的传输距离和通讯线路可靠性之间的关系。如果传输距离为 2.5 公里,允许的衰减极限为 40 分贝(万分之一),那么在一年之中大约有 1%(80 小时)的时间是不可能通讯的。如果在近距离约 500 米内通讯,可靠性是极高的,达 99.9%,全年不能通讯的时间极短,仅 8 小时左右,这主要是由于降雪的影响所致,其他气象条件对此没有影响。日本电气通讯研究所曾在通讯距离为 2 公里的

情况下,进行过高速激光通讯试验,每秒的通讯信息量达 122 兆二进制信息单位。

目前,国外激光大气传输通讯的最大传输距离已达 48 公里以上。美国休斯航空公司的子公司 Santa Barasa 研究中心,最近试制成功了一种望远镜式的激光通话机(图 7)。这种激光通话机与普通的望远镜一般大小,形状相似。激光源、发射机、接收机、传声器、瞄准器以及电池等均安装在通话机内,耳机则是外接的。总重量仅 1.4 公斤。通讯距离在视界为 10.6 公里的情况下,可达 6 公里,这时激光的扩散角约为 2 度左右。激光光源是利用砷化镓红外激光二极管,电源则由通话机内部的镍-镉电池供给。电池的容量为 6 伏,500 毫安/时。电流耗费:讲话时为 100 毫安,听话时为 3 毫安。



图 7 望远镜式的激光通话机

目前苏联只有两条激光通讯线路在试验性通话。第一条线路位于亚美尼亚的伊里万市与布拉坎市天体物理实验室之间,全长 25 公里左右。载波激光器是输出 400 兆瓦的脉冲调制氮-氛激光器,其射束宽度为 100 兆赫,只能同时进行 24 路通话,每路带宽 3.5 千赫。第二条激光通讯线路则在莫斯科市内,通讯距离达 11 公里,它可同时进行 240 路通话。

(2) 利用光学纤维(光缆)进行激光通讯: 为了进行高可靠性的激光通讯,使之不受气候条件的影响,完全有必要采用光缆。毫米波或微波以下的电磁波的传输,一般使用金属导线。在光学通讯方面,目前已使用由玻璃状透明物体的纤维所构成的光学线路。光学线路一般可分为包覆型和自聚焦型两种。以前使用普通的光学玻璃纤维所制作的光学线路,讯号衰减量每公里达数百分贝。现在光学线路的制作技术已有显著的改进,已制成衰减极低的光缆,每公里的衰减值仅 10 分贝左右。

如果光缆的直径在 100 微米以下,信息传输量可达到每秒钟数千兆二进制信息单位。假

如将很多根光缆集束在一起构成组合光缆,则可以进行大容量信息传输。图8为郊区短距离光缆激光通讯发送端的构成示意图。如果一根光线路每秒钟可以高速传输1.6千兆二进制信息单位,那么由100根光线路所构成的组合光缆,至少可以同时传输800通路的4兆赫的电视信息。此外,还可以传输电话、数据和图像等。如果线路的衰减每公里为10分贝,那么中继间隔可以保持在3~4公里左右。

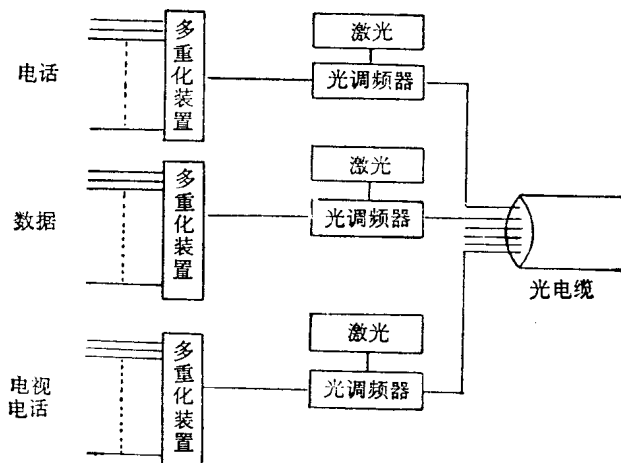


图8 组合光缆激光通讯的发送部分

(3) 利用光学透镜导向传输: 光学透镜导向激光通讯是一种长距离超大容量激光通讯的好方法。这种通讯线路系由长焦点(50米左右)的透镜间隔100米排列而构成(图9)。其讯号衰减值是极小的,一般在0.5分贝/公里以下,中继站间隔可以保持在50公里以上。所以说,透镜导向传输线路是一种极为经济的长距离传输方式。

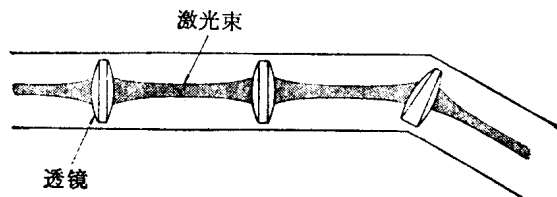


图9 光束波导管

光学透镜导向传输系统至少具有1,000千兆赫的传输带宽,如果采用多路化通讯,每秒钟的通讯量可达到1,000千兆二进制信息单位,也就是说,能够同时传输约一万通路的4兆赫的电视讯号,并且可以全天候地通讯。

(四) 激光在精密测量和测距方面的应用

在激光诞生以前,国外精密测长用的干涉仪的光源,于1950年前后曾采用镉灯,其精密测长的最大距离仅10厘米。以后,随着汞¹⁹⁸和氦⁸⁶同位素灯的逐渐采用,制成了精密测长距离可达一米的干涉仪,并加以推广应用。1960年,国外正式以氦⁸⁶灯的真空波长代替标准米