

# 中国激光 20 年概貌 (II)

本刊记者 纪鍾 本刊通讯员 群莅

## A 20 years' survey of laser science and technology in China (II)

The correspondent Ji Zhong The reporter Qun Li

### 各 类 元 件

激光工作物质、光源、反射膜等元件的研制,在我国激光科学技术发展中占有重要的地位,它们对激光器的性能有着直接的影响。在六十年代激光器竞相发展的时候,各类元件为激光器的成功运转创造了条件。随着激光技术的应用逐步开发和深入,在走向实用化的道路上,对各类元件又提出了更高的要求,因此,广泛地开展各类元件的研究,提高这些元件的质量是推广激光应用的一个关键性工作。

激光工作物质是其中最主要的元件,我国在 1961 年就开始拉制红宝石激光材料,到六十年代中期许多性能已接近国际先进水平。当时,为了获得大尺寸的晶体曾经组织过有关单位的会战攻关,由于不能达到使用的要求,明显的是质量不如钹玻璃,结果下了

马,造成了研究生产脱节,应用很少。近几年来,对红宝石激光材料又继续开展了研究,并有所改进,如河南省焦作激光研究所用焰熔法生产的红宝石,由于改进了工艺,使激光效率达 1% 左右,最高可达 1.7%,几年来向国内近百家单位提供激光棒 3000 多根。中国科学院安徽光机所等几个单位研究用提拉法生长红宝石,在光学质量上有了显著提高,使激光光束得到改善。

从我国研究工作实际情况出发,钹玻璃工作物质的研究是规模大的国家之一。曾组织了有研究所、工厂等十余家参加的大会战,从原材料加工提纯,坩埚叶浆工艺,成分配方,直到生产熔炼开展了全面的研究。曾得到  $\phi 120 \times 5000$  毫米的大棒,可以说这是世界上少有的。经过十多年的努力,钹玻璃工作物质研究,不论工艺、配方,还是理论上\*的研究都取得了一定的成果。中国科学院上海光机所研制和生产的激光玻璃,某些性能

焰熔法和提拉法生长的红宝石晶体性能的比较

生长方法	发 散 度	阈 值	效 率	研制单位、日期、近况
焰 熔 法	$\leq 5$ 毫弧度	$\phi 10 \times 150$ 棒 700 焦耳	平均 0.8% 最高 1.7%	焦作所, 1970 年, 通过鉴定, 成批生产
提 拉 法	3 毫弧度 (端面不需修光程)	比焰熔棒低 10%	$> 0.7\%$	安光所, 1974 底开始, 研制阶段

\* “关于玻璃的非线性折射率及其计算方法”,《激光》, 1979, 6, No. 4, 12. “掺钹磷酸盐玻璃光谱和发光特性的研究”,《激光》, 1979, 6, No. 9, 23.

我国几种商品钕玻璃的性能

	型 号		
	N <sub>1130</sub>	N <sub>2112</sub>	N <sub>0312</sub>
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (W+%)	3.0	1.2	1.2
受激发射截面 (10 <sup>-20</sup> cm <sup>2</sup> )	2.5	3.5	1.2
荧光寿命 (μs)	300	350	590
荧光中心波长 (μ)	1.06	1.054	1.06
荧光半宽度 (μ)	270	265	290
1.06埃损耗系数 (10 <sup>-3</sup> cm <sup>-1</sup> )	1.0		1.5
激光效率 (R=50)%	2.0		4.0
	(φ6×150mm)		(φ16×500nm)
n <sub>D</sub>	1.560	1.581	1.522
ν	58.0	64.4	59.8
折射率温度系数 (6328 埃) (10 <sup>-7</sup> /°C)	24	-53	16.4
热膨胀系数 (10 <sup>-7</sup> /°C)	105	117	115
	(20~400°C)	(20~400°C)	
热光系数 (10 <sup>-7</sup> /°C)	71	7.1	58
应力热光系数 (10 <sup>-7</sup> /°C)		7	
双折射热光系数 (10 <sup>-7</sup> /°C)		4	
转变温度 (°C)	465	497	
变形温度 (°C)	500	530	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.61	3.20	2.51
弹性模数 (kg/mm <sup>2</sup> )	8860	5360	
剪切模数 (kg/mm <sup>2</sup> )	3600		
泊 松 比	0.231		

几种玻璃的物理性质和工艺性质

型号	物 理 性 质				工 艺 性 质				
	密度 ( $\frac{\text{克}}{\text{厘米}^3}$ )	显微硬度 ( $\frac{\text{公斤}}{\text{毫米}^2}$ )	机械强度 ( $\frac{\text{公斤}}{\text{毫米}^2}$ )	弹性模量 ( $\frac{10^3 \text{公斤}}{\text{厘米}^2}$ )	膨胀系数 10 <sup>-7</sup> °C <sup>-1</sup>		转变 温度 T <sub>g</sub> (°C)	软化 温度 T <sub>f</sub> (°C)	粘度100泊 时的温度 (°C)
					15°C~200°C	15°C~T <sub>g</sub>			
N <sub>0112</sub>	2.90	560	9.7	679	90	104	500	590	1400
N <sub>0212</sub>	2.87	560	9.0	720	83	91	560	630	1380
N <sub>0312</sub>	2.51	606	11.8	759	80	88	590	660	1430
N <sub>0412</sub>	2.49	615	9.4	727	52	57	590	670	1680
N <sub>0612</sub>	2.52	623	10.4	810	87	98	555	610	1270
N <sub>0712</sub>	2.52	557	9.1	647	89	96	495	560	1470
N <sub>0812</sub>	2.80	551	9.1	647	107	120	545	600	1440
N <sub>0912</sub>	2.50	533	10.2	687	87	93	620	680	1450
N <sub>1024</sub>	2.52	585	8.9	750	89	100	525	585	1420

我国几种钕玻璃的荧光和激光性能

型 号	荧光寿命 (微秒)	1.06 微光荧光半 宽度(毫微米)	$\phi 16 \times 500$ 毫米 棒的激光效率	1.06 微米吸收系数 (%/厘米)	研制年分	备 注
N <sub>0112</sub>	600	27	2.4	0.2	1962	已定型
N <sub>0212</sub>	620	28	3.0	0.1		未定型
N <sub>0312</sub>	590	29	4.0	0.1	1967	已定型
N <sub>0412</sub>	680	28	3.8	0.16	1968	未定型
N <sub>0612</sub>	680	27	2.2	0.29		未定型
N <sub>0712</sub>	890	24	3.5	0.12	1970	已定型
N <sub>0812</sub>	760	28	2.7	0.27		已定型
N <sub>0912</sub>	750	24	3.8	0.1		已定型
N <sub>1024</sub>	510	28	3.5	0.22	1971	已定型

已达到国际先进水平,有几种型号的激光玻璃已作为出口商品出售。上表列出的为出口激光玻璃的主要性能。

此外,早期激光工作物质还有掺钕钨酸钙、掺铈氟化钙和掺铈氟化钙晶体\*,而且这些激光材料也都获得了激光输出\*\*。但是,目前应用比较广泛的晶体还是在1965年研制成功的掺钕钇铝石榴石晶体。据统计,我国研究YAG晶体曾多达40多个单位,近几年经过调整,进入提高质量、进行小批生产阶段,现在仍有20个单位左右。最大的晶体尺寸可达 $\phi 40 \times 200$ 毫米;能量转换效率最高达2%左右。右图为大尺寸YAG激光晶体棒。



高达150瓦。上海光机所和华北光电技术研究所都分别进行了双掺(Nd、Cr)YAG晶体的研究,获得了连续激光输出达165瓦,效率2.7%。安徽光机所等还开展了双掺(Nd、Lu)YAG的研究,还有不少单位也在进行基础理论的探索。

其中,华北光电技术研究所采用中频感应加热低拉速、低转速生长 $\phi 20 \times 120 \sim 150$ 毫米的晶体,质量比较稳定,连续激光输出最

曾于1978年在北京举行过专业测试会议,各单位研制的YAG晶体性能测试结果见下表\*\*\*。

YAG 晶体棒测量结果(1978年5月)

(样品共23根,来自16个单位,现选刊16根样品的试验结果)

编 号	单 位	尺寸及加工情况	生长方式	测量① 单位	消光比 db/ 5厘米	内耗% /厘米 <sup>-1</sup>	大角② 散 射 %/厘米 <sup>-1</sup>	静态脉冲工作				连续工作		
								國值③ (焦耳)	斜率效 率(%)	总输出 (焦耳)	总效率 (%)	國值 (瓦)	斜率效 率(%)	总输出 (瓦)
1	辽宁 大学	$\phi 5.4 \times 73$ //2'⊥2' 平度 1/2 1/3,光洁 度,不亮	电 阻	I	26~29	2.4	0.26	2.7	1.12	0.75	1.04	1140	1.57	23.4
				II	26~30	3.3	14.0	3.2	1.55	0.93	1.27	1110	1.33	25
				III	25~30	7.9	0.86	7.6	1.14	1.05	1.05	504	1.54	24.6
				IV	20~24	2.7		4.5	1.32	0.78	0.96	1570	1.73	26
				暂定	26~30		0.26~ 0.86		1.32					1.73

\* “采用区熔结晶制备氟化钙优质单晶体”,《科学通报》,1964, No. 2, 150.

\*\* “CaF<sub>2</sub>:Dy<sup>2+</sup> 荧光晶体的红外受激发射”,《科学通报》,1964, No. 1, 56. “CaF<sub>2</sub>:U<sup>3+</sup> 荧光晶体的红外受激发射”,《科学通报》,1964, No. 1, 57. “掺钕钨酸钙光激光器”,《科学通报》,1965, No. 9, 827.

\*\*\* “掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)晶体统一测试报告”,《激光与红外》,1978年, No. 10, 1.



(续表)

编号	单位	尺寸及加工情况	生长方式	测量① 单位	消光比 $\frac{a_2}{a_1}$ 5厘米	内耗% 厘米 <sup>-1</sup>	大角② 散射 %/厘米 <sup>-1</sup>	静态脉冲工作				连续工作		
								阈值③ (焦耳)	斜率效 率(%)	总输出 (焦耳)	总效率 (%)	阈值 (瓦)	斜率效 率(%)	总输出 (瓦)
2	鞍山 金属材料厂	$\phi 5.5 \times 65$ //10" $\perp$ 30" 平度 1/2 光洁度 V	电 阻 Nd2% 1.2毫米/小时 68转/分	I	10~17	4.8	0.95	4	1.15	0.62	0.97			1.28
				II	8~16	8.5	123	2.5	1.56	0.89	1.36	2340		3.5
				III	10~17	5.4		4.4	1.05	0.93	0.93	1090		4.8
				IV	6~10	3.4	2.26	2.5	1.23	0.74	1.00			2
				暂定	8~16		0.95~ 2.26		1.23					
3	北京 物理所	$\phi 5.4 \times 79$ //15" $\perp$ 30" 平度 1/5 光洁度 V	高 频 Nd5% 1.3毫米/小时 45转/分	I	25~29	1.0	0.25	1.0	0.9	0.70	0.90	990	2.05	35.2
				II	23~29	2.5	24.0	1.3	1.50	0.95	1.20	890	2.14	44
				III	21~27	1.0		1.3	1.88	1.41	1.41	490	3.40	42
				IV	18~22	2.5	1.12	1.7	1.96	1.54	1.70	1100	2.15	49
				暂定	23~29		0.25~ 1.12		1.96					2.15
5	北京 化工厂	$\phi 5.5 \times 76$ //1" $\perp$ 30" 平度 1/4 光洁度, 差	电 阻	I	13~19	1.6	0.33	2.5	1.47	0.97	1.30	1400	0.48	6.2
				II	10~21	3.3	43	2.2	1.60	1.04	1.36	1430	0.90	12
				III	12~18	2.3		3.4	1.30	1.05	1.05	790	0.97	13
				IV	7~13	3.5	1.23	3.5	1.42	1.00	1.18	1460	1.20	20
				暂定	10~21		0.33~ 1.23		1.42					1.20
7	华北 光电所	$\phi 5.5 \times 75$ //30" $\perp$ 1' 平度 1/3 1/4, 光洁度 III, V	中 频 双 掺 1.24毫米/ 小时	I	27	1.4	0.21	1.8	1.56	0.98	1.32	966	1.40	29.7
				II	24~33	1.4	30.5	1.0	1.45	0.98	1.38	940	1.70	40
				III	29~33	3.1		2.7	1.39	0.96	0.96	490	1.40	26
				IV	23~33	1.8	5.30	1.8	1.32	1.03	1.26	1100	2.10	50
				暂定	24~33		0.21~ 5.30		1.32					2.10
8	上海 光机所	$\phi 5.5 \times 73$	电 阻 Nd3% 2毫米/小时 90-50转/分	I	27~33	1.1	0.3	1.6	1.14	0.77	1.07	1330	1.10	13.1
				II	24~32	2.4	33	1.3	1.4	0.91	1.24	1220	1.50	24
				III	25~35	2.4		3.1	1.1	1.02	1.0	530	1.10	19.2
				IV	21~28	2.9	0.86	2.0	1.3	0.95	1.05	1490	1.61	28
				暂定	24~32		0.3~ 0.86		1.3					1.61
11	上海 东方仪 表厂	$\phi 5.5 \times 71$ //40" $\perp$ 30" 平度 1/2 光洁度, 不亮	电 阻	I	26~30	1.8	0.19	2.5	1.54	1.00	1.42	1070	1.90	24.9
				II	22~28	2.7	13	1.4	1.93	1.18	1.68	970	2.10	38
				III	21~31	3.6		3.6	1.10	0.99	1.00	440	1.70	26.5
				IV	17~19	2.8	0.9	1.7	2.00	1.29	1.60	1180	2.50	47
				暂定	22~28		0.19~ 0.90		2.00					2.50
14	扬州 5308厂	$\phi 5.6 \times 71$ //10" $\perp$ 1' 平度 1/4 光洁度 V	电 阻	I	31	1.1	0.3	1.3	1.52	0.96	1.37	1080	1.72	28
				II	29~32	1.9	26	1.2	2.0	1.33	1.37	1220	1.72	32
				III	26~29	3.3		4.0	1.3	1.20	1.20	420	1.60	25
				IV	24~27	2.3	1.1	1.7	1.4	1.04	1.30	1230	1.72	31
				暂定	29~32		0.3~ 1.1		1.4					1.72
15	华东 工程学 院	$\phi 5.9 \times 70$ //10" $\perp$ 1' 平度 1 光洁度 III, V	电 阻	I	15~18	1.4	0.26	1.2	1.54	1.0	1.45	1364	1.2	11.8
				II	12~14	1.5	15.0	0.7	1.71	1.2	1.70	1240	1.78	30
				III	15~18	1.2		2.2	1.40	1.2	1.20	560	1.1	18
				IV	8~9	1.8	0.98	1.3	1.88	1.29	1.65	1490	1.2	20
				暂定	12~14		0.26~ 0.98		1.88					1.2

(续表)

编号	单位	尺寸及加工情况	生长方式	测量① 单位	消光比 db/ 5厘米	内耗% /厘米 <sup>-1</sup>	大角散 射 %/厘米 <sup>-1</sup>	静态脉冲工作				连续工作		
								阈值② (焦耳)	斜率效 率(%)	总输出 (焦耳)	总效率 (%)	阈值 (瓦)	斜率效 率(%)	总输出 (瓦)
17	南京 玻璃厂	$\phi 5.6 \times 70$ //5"⊥15" 平度1½ 光洁度III	高频 Nd3% 1.3毫米/小时 60转/分	I	13~15	2.3	0.27	1.4	1.28	0.92	1.33	1140	1.0	19.7
				II	11~15	1.2	32	0.8	1.78	1.20	1.72	1310	1.0	19
				III	11~15	3.0		2.5	1.40	0.93	0.90	600	0.97	14.4
				IV	7~10	2.0	1.07	1.5	1.53	1.13	1.45	1650	1.1	21
				暂定	11~15		0.27~ 1.07		1.53				1.1	
18	济南 半导体 厂	$\phi 5.5 \times 69$ //30"⊥30" 平度1/5 光洁度,差	电阻	I	25~29	1.8	0.42	1.5	1.95	1.21	1.78	1390	1.2	11.3
				II	22~30	1.8	34	1.0	1.58	1.0	1.45	1270	1.1	18.5
				III	23~28	3.7		2.3	1.4	1.1	1.1	560	1.0	12.9
				IV	9~26	2.5	1.05	1.8	1.7	1.28	1.6	1580	1.3	21
				暂定	22~30		0.42~ 1.05		1.7				1.3	
19	五机 部209 所	$\phi 5.4 \times 71$ //5"⊥1' 平度1/4 光洁度III	电阻 Nd3.5%	I	4~6	1.0	0.26	1.0	2.21			945	2.48	37.3
				II	4~8	1.7	11	0.7	2.50	1.74	2.45	970	2.51	41
				III	5~7	4.8		3.5	1.70	1.26	1.26	420	2.0	29
				IV	3~4	2.3	0.86	1.1	1.73	1.26	1.50	1170	2.1	43
				暂定	4~8		0.26~ 0.86		1.73				2.1	
20	成都 208厂	$\phi 5.6 \times 78$ //30"⊥30" 平度1/3 光洁度II III	电阻 1.5毫米/小时 95~98转/分	I	25~27	1.2	0.37	1.0	1.57	1.08	1.5	1130	1.5	23.4
				II	20~26	1.4	16	0.7	1.34	0.97	1.32	970	1.9	38
				III	20~23	2.8		2.3	1.30	1.14	1.14	540	4.0	43
				IV	15~19	1.5	0.99	1.3	1.48	0.94	1.10	1270	1.8	42
				暂定	20~26		0.37~ 0.99		1.48				1.8	
21	成都 半导体 厂	$\phi 5.5 \times 70.5$ //10"⊥15" 平度1/8 光洁度V VI	电阻 Nd3% 1.33毫米/ 小时 83转/分	I	23~29	1.0	0.24	1.2	1.37	0.92	1.31	1160	1.73	24
				II	22~25	1.5	16	0.8	1.6	1.03	1.45	1120	1.54	35
				III	21~26	1.3		2.8	1.15	1.11	1.11	490	3.40	36
				IV	16~22	1.5	0.75	1.5	1.4	0.95	1.20	1300	1.73	35
				暂定	22~25		0.24~ 0.75		1.4				1.73	
22	三机 部613 所	$\phi 5.7 \times 76$ //30"⊥1" 平度1/3 光洁度,差	掺 Nd4% Lu7.2%	I	27~30	1.3	0.41	1.5	1.12	0.92	1.22	1480	1.03	12
				II	15~28	2.5	19	1.1	1.3	0.97	1.33	1370		28
				III	18~28	3.3		2.8	1.17	0.99	0.99	560	0.92	13
				IV	11~22	3.0	0.95	1.8	1.76	1.38	1.60	1720	1.0	16
				暂定	15~28		0.41~ 0.95		1.76				1.0	
23	五机 部205 所	$\phi 5.5 \times 72$ //15"⊥2' 平度1/2 1/4,光洁 度III	电阻 1.5毫米/小时 84转/分	I	19~22	3	1.44	3.1	1.06	0.68	0.94			
				II	17~20	1	138	2.2	1.50	0.95	1.32			
				III	19~22	5		5.2	0.8	0.66	0.66			
				IV	13~15	4	2.0	3.9	1.2	0.78	0.9			
				暂定	17~20		1.44~ 2.0		1.2					

① 测量单位: I 上海光机所; II 上海东方仪表厂; III 山东大学; IV 华北光电所。其中暂定值: 消光比值采用东方仪表厂数据, 大角散射采用上海光机所和华北光电所数据, 静态效率和连续斜率采用华北光电所数据。

② 大角散射: 上海光机所用 1.06 微米光源, 华北光电所用 6328 埃光源。

③ 静态脉冲激光测试部分山东大学加套管测, 数据偏低。

④ 测量条件: 输入功率: 上海光机所, 东方仪表厂为 3 千瓦, 山东大学 2.5 千瓦, 华北光电所 4.3 千瓦。

我国还有不少单位开展了一些新激光晶体材料的研究,如掺钕铝酸钇、五磷酸钕、四磷酸钕锂、氟化钕、钼酸钕等,并且也都成功地获得了激光\*。下表为华北光电技术研究所近年来探索的一些新晶体材料。

激光光源的研究适应于激光器件的发

展,在种类上,有大能量脉冲氙灯、大功率脉冲氙灯、重复频率氙灯和连续氙灯等。形状和结构上也有螺旋型、直管型以及同轴型,而大量的直管型光源。几年来,制作光源的工艺有了很大的发展,使光源的寿命和负载强度都有较大提高。

1. 摩擦涂敷钢封工艺,实现了石英、玻璃与铜、银等气密性封接,漏气速率  $<10^{-11}$  托·升/秒。

2. 石英和钨杆高温封接新工艺,利用封接玻璃作为石英和钨杆封接的过渡层,能在  $700\sim 800^{\circ}\text{C}$  的温度条件下长期工作,目前已能封接最大钨杆直径为 4 毫米,密封性能优于  $10^{-10}$  托·升/秒

3. 铜帽与石英灌铅工艺,可封接  $\phi 150\sim 200$  毫米口径的石英管。

我国光泵光源的研制和性能见下列各表。

大能量脉冲氙灯

代 号	尺 寸				方波放电参数		极限负载 (焦耳)	电 阻 率 (欧姆·厘米)
	灯 长 (毫米)	极 间 距 (毫米)	外 径 (毫米)	内 径 (毫米)	电 容 (微法)	放 电 时 间 (毫微秒)		
TEP-50×310	520	310	50	45	21600	20	$35\times 10^4$	$\sim 0.03$
TEP-50×500	710	500	50	45	21600	20	$57\times 10^4$	$\sim 0.03$
TEP-50×1000	1210	1000	50	45	21600	20	$115\times 10^4$	$\sim 0.03$
TEP-50×1800	2010	1800	50	45	21600	10	$156\times 10^4$	$\sim 0.023$
	2010	1800	50	45	21600	20	$212\times 10^4$	$\sim 0.028$
	2010	1800	50	45	21600	40	$360\times 10^4$	$\sim 0.031$
TEP-50×2250	2460	2250	50	45	21600	20	$258\times 10^4$	$\sim 0.023$

大功率脉冲氙灯

代 号	尺 寸				使 用 参 数							极限负载 (万焦耳)
	灯长 (毫米)	极间距 (毫米)	外径 (毫米)	内径 (毫米)	电容 (微法)	工作电压 (千伏)	放电脉宽 (毫秒)	辐射效率 (%)	灯电阻 (欧姆)	点燃频率 (次/分)	使用寿命 (次)	
TMS-15×500												
TMS-20×480	680	480	20	16	900	4.5	0.43	60	0.48	1	>2000	1.5
TMS-25×500	700	500	25	21	2000	4	0.40	60	0.35	1	>2000	2.5
TMS-30×480	680	480	30	26	3000	4	0.50	60	0.23	1	>2000	3.0
TMS-35×600	800	600	35	31	3000	4	0.78	55	0.26	1	>2000	6.5
TMS-35×1100	1300	1100	35	31	1750	7	1.2	55	0.70	1	>1000	8.0
TMS-50×330	550	330	50	45	4000	4	0.8	40	0.05	1	>100	5.5

\* “氙灯泵浦的  $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$  晶体微型脉冲激光器已出光”,《激光》,1979,6, No 6, 62; “五磷酸钕激光器”,《激光》,1979,6, No 12, 16.



### 重复频率脉冲氙灯

代 号	尺 寸 (毫米)				使 用 参 数						
	灯长	极间距	外径	内径	最高电压 (伏)	频 率 (次/秒)	单次能量 (焦耳)	爆炸能量 (焦耳)	脉 宽 (毫微秒)	冷却水流量 (立升/分)	寿 命 (脉冲次数)
GPMX-8×50	150	50	8	6	800	20~100	20	300	70	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-8×70	170	70	8	6	1150	20~100	30	500	70	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-8×120	210	120	8	6	1350	20~100	50	1200	100	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-10×80	210	80	10	8	1350	20~100	70	1700	100	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-10×100	212	100	10	8	2000	20~100	110	2500	150	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-12×100	222	100	12	9	1350	20~100	90	2000	150	>6	>10 <sup>7</sup>
GPMX-12×120	242	120	12	9	2000	20~100	135	3000	180	>6	>10 <sup>7</sup>
DPMX-8×110	220	110	8	4	10000	20~40	10	400	<2	>6	>10 <sup>6</sup>

### 连续氩弧灯

代 号	尺 寸 (毫米)				工 作 参 数					
	灯 长	极间距	外 径	内 径	工作电流 (安培)	工作电压 (伏)	功 率 (瓦)	冷却水流量 (升/分)	累计使用寿命 (小时)	
LK-8×75	200	75	8	6	35±2	132±3	4500	25	100	
LK-10×100	235	100	10	8	44±2	136±3	6000	25	50	
LK-10×120	255	120	10	8	48±2	167±3	8000	25	50	

### 我国激光薄膜现有水平

	波 长	一 般 水 平	最 高 水 平
高 反 射 膜	6328 埃 软膜 硬膜	(垂直反射率 %) 99.5~99.8 90.0~99.5	(垂直反射率 %) ~99.9 99.8~99.99
	1.06 微米 软膜 硬膜	99.5~99.8 99.0~99.5	99.8~99.9 ~99.8
	硬膜的抗激光强度: 对 1.06 微米 功率激光 >10 兆瓦/厘米 <sup>2</sup> , 对 1.06 微米 YAG 连续输出激光(光束~φ3)200 瓦正常使用。		
	在可见至近红外 区对单一波长	剩余反射率~0.1%	<0.05%
减 反 射 膜	1.06 微米 GaAs 窗口 Ge 窗口	透过率 >98% 透过率 >90%	抗激光强度 >1000 瓦/厘米 <sup>2</sup> 抗激光强度 >100 瓦/厘米 <sup>2</sup>
	6328 埃 6943 埃	半宽度 40~60 埃 透过率 70~75%	
干 涉 滤 光 片	1.06 微米	半宽度 100 埃左右 透过率 70~75%	50 埃~55%
	1.06 微米		700 埃≥40%
	1.06 微米	s 分量透过率=2% p 分量透过率=96%	s 分量透过率~0.3% p 分量透过率~98%

我国激光薄膜技术在不断地发展,而且有一支相应的技术力量和一定水平的设备,从目前各类激光器的需要情况看,其中主要四类薄膜技术水平见上表所列。

电光、非线性等材料是激光器中调Q、倍频等常用的晶体。我国开展研究也比较早,1957~1958年厦门大学开始研究磷酸二氢铵(ADP)晶体,当时作为压电材料。自激光出现后,此种晶体很快就被用于电光调制和倍频研究上,虽然它和磷酸二氢钾(KDP)一样,调制系数和转换效率都不够理想,但这两种晶体容易长出光学均匀性好的大单晶,目前仍是普遍采用的晶体。此外,许多单位还长出新的晶体材料来,如铌酸锂、钽酸锂、碘酸锂、铌酸钡钠等。下表为非线性材料的性能及主要产家。

最近一、二年来,新的非线性晶体还有:

一水甲酸锂、五硼酸钾、硫酸铍、淡红银矿\*\*等。福建物构所等对有机非线性材料进行了探索,初步得到了样品,其中磺基水杨酸钠晶体\*\* (SN) 经测试结果表明,SN比ADP有较高的非线性效应,但不及LiIO<sub>3</sub>。

由于激光的波段不断扩展,对激光器窗口材料的要求越来越高,品种也越来越多。目前,有光学玻璃,NaCl、KCl、Ge、GaAs等,此外,氟化钙晶体是一种良好的红外材料,它具有宽的光谱透过范围,高透过率,均匀的色散等性能。长春光机所最近长出一块φ180毫米,重15公斤的CaF<sub>2</sub>单晶体,这是具有国际先进水平的。中国科学院广州电子技术研究所研制的溴碘化铯,透过率(1~30微米间)达60~70%。很多单位研制的蓝宝石晶体也得到了较大尺寸和光学质量好的晶体。

非线性材料的性能统计

研制单位	晶体名称	分子式	倍频效率	双折射率	透过波段	研制日期
福建物构所 山东大学	ADP (磷酸二氢铵)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	电光调制, 倍频转换,转 换效率≈10%	≈10 <sup>-6</sup> /厘米	2100~17000埃	1965年
	KDP (磷酸二氢钾)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		≈10 <sup>-6</sup> /厘米		1965年
	KD*P (磷酸二氧钾)	KD <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	电光调制	≈10 <sup>-5</sup> ~10 <sup>-6</sup> /厘米	2500~2×10 <sup>4</sup> 埃	1976年
硅酸盐所 江西999厂 宁夏905厂	铌酸锂	LiNbO <sub>3</sub>	电光调制,倍 频转换	≈10 <sup>-5</sup> /厘米	3500~5×10 <sup>4</sup> 埃	硅酸盐所在 1967年即开始 研究
山东大学 江西999厂	钽酸锂	LiTaO <sub>3</sub>	电光调制	≈10 <sup>-4</sup> /厘米	3500~5×10 <sup>4</sup> 埃	~1973年 ~1974年
硅酸盐所	铌酸钠钡	Ba <sub>2</sub> NaNb <sub>5</sub> O <sub>15</sub>	倍频转换效率 ≈30%	≈10 <sup>-4</sup> /厘米	3500~5×10 <sup>4</sup> 埃	1976年
物理所 物构所 山东大学	碘酸锂	LiIO <sub>3</sub>	≈15~20%	≈10 <sup>-5</sup> /厘米	3500~5×10 <sup>4</sup> 埃	1971~1972年

\* “非线性材料——淡红银矿晶体的生长”,《激光》,1979,6, No. 7, 51。

\*\* “磺基水杨酸钠晶体的生长及其倍频效应”,《全国晶体生长与材料学术会议——论文摘要汇编》,1979,B11, 32。



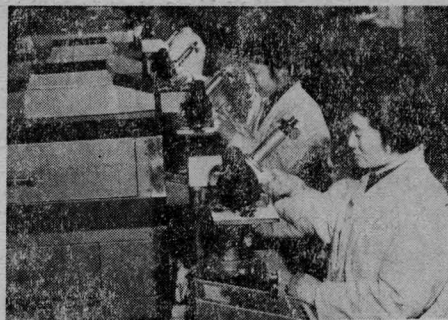
## 此 起 彼 伏

激光技术一出现，不到一年时间就得到了应用，这是以往任何技术所不及的。但是，对于一种新技术的出现，人们对这种技术的认识和技术本身的发展，客观上影响了应用的开发。我国的激光技术的应用存在着认识和技术本身不断完善的两个方面的问题。所以，在我国曾经形成过一股应用激光技术的热潮，后来，由于某些性能达不到要求，结果应用受到了影响。随着激光技术本身的不断完善和关键问题的解决，应用又发展了起来。或者说在某一领域范围的应用曾热过一阵，后来又冷了下来，这种此起彼伏的现象，反映出我国激光技术发展的一个侧面。

激光技术的应用在六十年代是处于准备和开始阶段，它已经在打孔、准直和测距上都得到了很好的应用。一旦跨进七十年代，应用的局面一下打开了，形成了广泛浪潮，象一股急流向各个学科领域强烈地冲击着，这种强有力的渗透和波及，给各个学科带来了新的手段，为国民经济建设提供了有力的工具。

### 一、激光工业应用

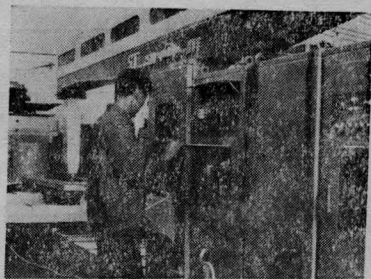
我国第一台红宝石激光器研究成功不久，便开展了激光工业上的应用研究。1963年红宝石激光打孔机的第一台样机就出现在北京一个展览会里，受到人们的关注。上海钟表元件厂在国内钟表行业中最早应用激光技术进行宝石轴承的加工，1965年开始试验，经过试生产，最后投入了生产，发挥了重大作用。右上照为激光打孔车间生产情况。除了钟表行业外，激光打孔还在柴油机喷嘴、维尼龙的喷丝头等打孔中均收到良好效果。激光打孔在我国应用的时间较长，技术较为成熟，目前在提高打孔的频率上开展了研究，已获得14次/秒高重复频率的激光输出。如果激光输出光束质量有更大的改善，激光打孔的进一步推广应用是大有希望的。



激光打孔加工钟表宝石轴承生产情况

利用激光进行切割钢板、钛板、石英、陶瓷等难熔材料已是不言而喻的事实了。但是如何制成工业上的加工机床，也还是需要经过一番努力的。国家科委于1979年9月份在长春召开了一次鉴定会，对长春第一汽车制造厂轿车分厂、长春光机所、吉林省机械工业设计研究所和一机部重庆设计院共同研制的SJ-2500数控激光切割机进行鉴定。这台激光切割机的性能\*可以满足汽车工业切割6毫米以下形状复杂薄钢板零件的要求，它的特点是切割缝隙窄(约0.3毫米)，切割边缘整齐，氧化物熔渣少，热影响区小于1毫米。在两年多的试生产中，对20多种材料和20多种工件进行了加工试验，完成了长度共3万余米的工件加工。因此，它的成功对我国造船、航空等工业的推广应用创造了有利条件，对于那些小批量、多品种和新产品的试制显示了优越性，为激光加工技术的应用填补了一项空白。

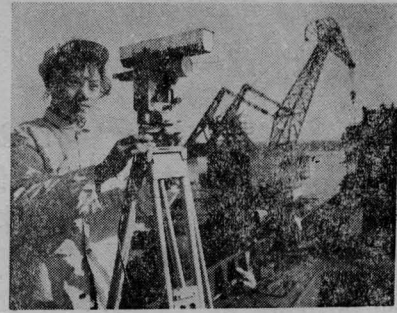
激光准直技术的应用，在我国已是相当



数控激光切割机

\* “数控激光切割机”，《激光》，1977，4，No. 5，17。

的广泛, 因为利用激光具有高度方向性这个特点, 给人们提供了“风吹不偏、雨打不弯”的准直工具。激光准直仪、激光经纬仪、激光指向仪等等各种准直仪器已经在进行大型设备安装、万吨巨轮分段合拢、飞机骨架安装、高层建筑、造桥、筑路、铺设地下管道、地下铁路、开凿隧道、涵洞、煤矿开掘等各种工程中得到了很好的应用, 发挥了新技术的作用。右照是激光经纬仪在造船工业上的应用。



激光经纬仪在造船工业上的应用情况

激光工业上的应用还有微型焊接、精密计量等。我国已经定型生产的激光产品有

40余种, 有的还在继续扩大应用成果。下表为一机部系统主要的激光仪器产品。

主要激光仪器产品

产品名称	主要技术性能	产品名称	主要技术性能
JG-II型自动补偿激光干涉仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>在0~20米可稳定可靠工作;</li> <li>分辨率0.1微米;</li> <li>测量精度: 计量室恒温 <math>\pm 1</math> 微米/米 生产车间 <math>\pm 2</math> 微米/米</li> <li>测量速度: <math>&gt; 10</math> 米/分</li> <li>环境参数修正传感器: 气温传感器精度: <math>\pm 0.1^{\circ}\text{C}</math> (8~32<math>^{\circ}\text{C}</math>) 气压传感器精度: <math>\pm 1</math> 毫米汞柱 (600~800毫米汞柱)</li> </ol>	WDJ-1激光单色仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>调谐范围: 根据需要需要使用多种染料时 3800~7000埃</li> <li>波长精度 <math>\pm 1</math> 埃, 输出稳定性 <math>&lt; 0.05</math> 埃/<math>^{\circ}\text{C}</math></li> <li>可连续更换染料数: 6</li> <li>输出谱线宽度: 不加标准具 <math>&lt; 1</math> 埃 (在6000埃) 加标准具 <math>&lt; 0.1</math> 埃 (在6000埃)</li> <li>单脉冲输出转换效率 <math>&gt; 8\%</math> (光栅调谐)</li> <li>光波发散度 <math>\theta/2 \leq 5</math> 毫弧度</li> <li>波长校正精度 <math>\theta &lt; \pm 0.5</math> 埃</li> <li>波长扫描速度 (使用光栅扫描时) 30埃/分, 750埃/分</li> </ol>
激光丝杠动态检查仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>被测丝杠长度为: 1米、3米和5米三种</li> <li>精度: 1米内零级 2米内一级</li> </ol>	激光喇曼分光光度计	<ol style="list-style-type: none"> <li>工作光谱范围: 4000~8500埃</li> <li>波数重复性: 全波段为 <math>\pm 1</math> 厘米<math>^{-1}</math></li> </ol>
单模稳频激光干涉仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>测量范围: 0~20米</li> <li>最小分辨率: 0.1微米</li> <li>速度: 2米/分</li> </ol>	J <sub>2</sub> -JD激光经纬仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>测角精度: 水平方向中误差 <math>\pm 2</math> 秒</li> <li>光束发散度: 100米处光斑直径约5毫米</li> </ol>
激光测长机 (1、3米)	<ol style="list-style-type: none"> <li>测量范围: 0~1000毫米 0~3000毫米</li> <li>误差: <math>\pm (0.2</math> 微米 <math>+ 10\%)</math></li> </ol>	激光准直仪	<p>最大准直距离: 100米 重复精度: 0.05毫米</p>
高精度丝杠磨床激光自动校正装置	稳定磨削零级精度丝杠	JZY-1型激光指向仪	<p>距离: 1000米 光斑直径: <math>&lt; 60</math> 毫米</p>
液面法超声波全息探伤实验装置	目前在实验装置上可检查出16毫米厚的铝板内部 $\phi 1$ 毫米人工孔缺陷的指标	JD-2型激光指向仪	防爆型, 一次工作距离500米
双向激光测径仪	<p>测量范围 <math>\phi 5 \sim \phi 30</math> 毫米 测量误差 <math>&lt; \pm 0.05</math> 毫米</p>	相位式远程精密测距仪	<p>白天测程40公里以上, 精度 <math>\pm (5</math> 毫米 <math>+ 0.8 \times 10^{-6}\text{D})</math> 工作温度 0~40<math>^{\circ}\text{C}</math></p>
激光微区光谱分析仪	<ol style="list-style-type: none"> <li>相对灵敏度: 0.01~0.001%</li> <li>绝对灵敏度: <math>10^{-9} \sim 10^{12}</math> 克</li> <li>取样直径: 10~100微米, 可分析元素不少于60个</li> </ol>	短程红外光电测距仪	<p>测程: 0~2公里 精度: <math>\pm 1.5</math> 厘米 工作温度: <math>-15 \sim 40^{\circ}\text{C}</math></p>
CLS-95型激光平面干涉仪	<p>测定光学零件平面度及小角度 平面度精度 <math>\lambda/15</math> 平行度精度 1秒</p>		
J <sub>74</sub> -1型激光膨胀仪	测定金属、非金属材料热膨胀性能 测量精度 $\pm 0.1 \pm 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		

## 二、激光农业应用

我国开展激光农业应用研究工作起步比较晚,大约从1972年才开始。全国现约有20个省、市、自治区100多个单位或部门在开展这项工作,其中以广东省、湖南省、四川省为最活跃。广东全省曾有80个公社以上的单位(如统计到生产队,约有130个单位)开展过试验。全国召开过两次激光农业应用座谈会,一次是在1974年12月于广东佛山召开的,全国18个省、市、自治区81个部门和单位参加,这次会议是由中国科学院召开的。第二次是1975年12月在北京召开的,全国25个省、市、自治区80多个单位115名代表参加。

利用激光对粮食作物、经济作物、蔬菜、果树、蚕等20个种类的上百个品种做了育种试验,对动物如猪、鸡、鱼、微生物等也进行了激光照射试验。在水稻、油菜、蚕等方面已获得一定成果。比如,用激光培育出来的“科激”1号、2号、27号、28号、29号等,在大面积上推广试种,亩产量增加60~100斤;用激光培育出来的油菜籽也增产。在上海市青浦县,有十分之一的油菜地(9000亩)种了激光育种的油菜,平均每亩增产10~25%。

用激光诱变选出的家蚕和蓖麻蚕新品种,已分别饲养到第五代和三十一代。家蚕新品种的蚕形较大,产丝量增加,比对照增产约18%。蓖麻蚕新品种出现多种形质变异,并能稳定遗传,茧形较大。

用激光选育的菌株,在林区的杀虫效果提高60%以上,而对照菌株的杀虫效果只有30%。

总之,经过几年来的初步试验,已观察到一些结果,比如,激光照射作物的种子能使种子发芽加快,苗期茁壮,熟期提前和抗病虫害能力提高等,并且能引起后代的变异。但是,许多结果还有待进一步试验证实。各地都希望进一步加强有组织、有规划的科学实验,为我国农业发展找出一条新的技术途径。

## 三、激光医用研究

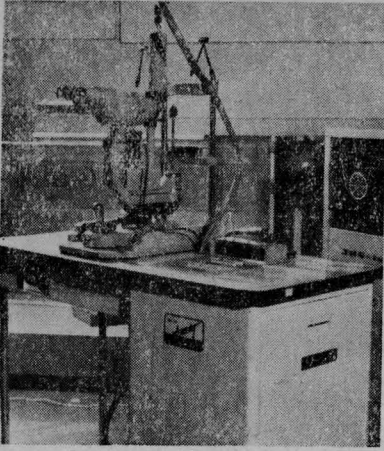
激光医用研究我国开展比较早。在1965年便制成功红宝石医疗机,对家兔、小白鼠、狗、猴子等动物进行试验。不久便利用CO<sub>2</sub>激光医疗器进行了动物体表和内脏切割、切除等实验。1970年,我国已比较广泛地进行若干病种激光临床治疗。目前我国约有200个单位开展了激光医疗临床治疗(其中研制医疗器械的工厂有50多家,科研单位40多个),至于使用激光进行治疗的单位那就更多了。治疗的病种达130多种。其中眼科、皮肤科、五官科、妇科、肿瘤科、针灸科等积累了不少病例的临床经验。眼科治疗中,激光虹膜切除的工作是达到国际先进水平的。利用激光治癌也是我国医学界较为重视的工作,在皮肤癌的治疗上已取得良好效果。上海一家医院,曾用激光气化治疗了各种类型肿瘤73例,总有效率达96%。其中常规疗法放弃的有40例(即外科手术、抗癌药物、放射治疗皆无效),采用激光气化治疗后生存二年以上的占76.7%,其中22例恢复工作或正常生活。而常规疗法可治疗的26例中,经用激光气化治疗后,生存二年以上的达96.2%。

此外,几年来的临床实践表明,用He-Ne激光治疗急性炎症、溃疡等疗效较显著,CO<sub>2</sub>激光烧灼血管瘤、色素痣、扁平疣等病的疗效也很好,有效率90%。

为了促进激光医学研究,1977年6月在武汉召开了全国激光医学交流及激光医疗器械技术交流会,全国23个省、市、自治区的243个单位共410名代表参加了会议。此外,不少省、市也召开过有关激光医学方面的交流会。

我国激光医用研究是先从眼科开始的,现在有16个省、市自治区的20多个单位在进行各种眼科治疗机的研制、治疗的眼科疾病有20种以上,其中疗效较好和经验较成熟的是,视网膜凝结、虹膜切除、青光眼、封闭视





JG-75-1 型激光虹膜切除仪

网膜裂孔、中心性视网膜新生血管和血管瘤、白内障等。

用 CO<sub>2</sub> 激光、YAG 激光进行烧灼、切割口腔及颌面部肿瘤有良好疗效。尤其对于口腔颌部的血管瘤，过去应用放射线、冷冻以及注射硬化剂等都不大满意，应用一般手术切除又常常造成功能障碍和畸形。用激光来治疗，不但收到临床满意的效果，很多病例治疗后不遗留功能障碍，并保存了面颌部形态的完整。



用 CO<sub>2</sub> 激光治疗机做烧灼手术

针灸疗法是我国一项传统的、在民间广泛使用的疗法，在我国已有几千年的悠久历史。光对穴位有刺激效应，在近代理疗学已广为应用。激光出现后，医学工作者自然而

然地想利用激光做针灸工具的试验，我国从 1976 年开始这项研究，现在使用 He-Ne、CO<sub>2</sub>、YAG 激光器、N<sub>2</sub> 分子激光器做成的激光针灸机，已作了千多例的临床试验，初步探明了激光针灸的效能。用激光针医疗甲沟炎的有效率达 93.3%，痊愈率也高达 75%，效果是可以肯定的，以后患这种病的人就不用再受拔指甲之苦。其次，在治疗眼玻璃体混浊、高血压、哮喘、颈椎肥大等症效果也很好。

#### 四、其它方面的应用

激光器的诞生及随后的激光物理的发展，对整个光学领域产生了深远的影响。科学家们把激光的问世誉为“光学的复兴”。

激光已渗透到科学技术研究的各个领域，其中光谱学上的应用是最成功的应用之一。古老的光谱学采用了激光之后，光谱分辨率一下提高了百万倍。目前，以激光为中心的超高分辨率光谱学已逐步发展成为一门新学科。科学家们认为，激光引起了光谱学的革命，这并不是过高的评价。

我国的科学工作者也积极开展激光光谱的研究，并且取得了可喜的成就。例如，利用锁模红宝石激光激发苯液体，观察到七阶斯托克斯线，并且看到很敏锐的一阶反斯托克斯喇曼谱线。还观察到一些新的现象。按照受激喇曼理论，阶序较低的谱线首先出现，然后才出现部分谱线，且谱线强度随阶数增加而减弱。但实验中观察到“阶跳”现象\*，往往出现第五阶而不出现第三、第四阶的谱线；或者第五阶谱线较三、四阶谱线强。

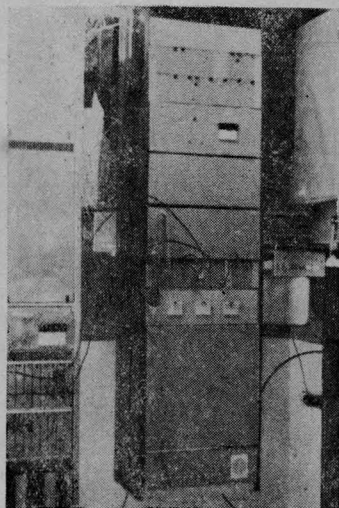
利用电光开关倍频 YAG:Nd 激光通过石英多模光纤，初步观察到从 5460~6840 Å 的 10 级斯托克斯受激发射。或许这是一种简单的变频激光器。

光的倍频研究也取得了成果。利用倍频脉冲激光激发有机染料溶液，观察到了简并的四波混频作用。

\* “高级受激喇曼散射的观察”，《激光》，1978，5，No. 5~6，22。

激光在化学上的应用也引起了我国科学家的浓厚兴趣，特别是激光分离同位素的研究，从七十年代初期就开始组织研究，并且已取得了结果。1976年用脉冲 $\text{CO}_2$ 激光从六氟化硫中分离硫获得成功\*，接着在三氯化硼中分离出同位素 $\text{B}^{10**}$ ；在甲醛中分离出同位素氘\*\*\*。目前，我国的科学工作者还正在探索一种用激光分离同位素铀的新方法。

在光纤通讯方面，我国已迈入实用研究阶段，用光缆传送电话、电视已进行实地试验。5.7公里120路电话实验系统已在实地使用，连续使用2000小时，性能保持良好。光通讯用的光学纤维，每公里平均损耗已降到5分贝。



光纤通讯机(5.7公里)



架空光缆和接头

## 往 高 里 提

激光技术经过了十多年的发展，人们对它的认识也在逐渐深化，同时在实践中还不断地提出了许多新问题，急待于解决和突破，才能进一步把激光技术推向前进，另一方面也正视了与国外激光技术发展的差距，力求迎头赶上，急切呼吁基础研究必须“往高里提”。

在“侧重基础、侧重提高”的方针下，许多方面开展了研究，一九七八年在广州举行的

“第四次全国激光学术报告会”就是一次激光科学研究交流的盛会。这次会议的总面貌和特点是：一是理论分析的论文增加了；二是注意开展新型器件的研究；三是增加了填补国内空白的课题；四是加强了提高器件性能的研究；五是理论和实验的质量有了新的提高，这是一个极其可喜的现象，充分地体现了周总理生前一再强调的“在广泛深入实践的基础上把科学研究往高里提”和加强基础理论研究的精神。

会上交流了近几年来激光基础研究及部分应用基础研究的成果，并讨论了当前激光研究中的若干关键学术问题和今后的努力方向。在250多篇研究报告和学术论文中，有不少科研成果已达到了较高的水平，如激光核聚变的一维聚爆物理模型的建立具有自己的特点，它的计算和实验得到较好的符合；在强光与原子、分子相互作用方面，指出了微扰理论的局限性，提出了适合于强光条件下的计算方法；在激光激发荧光、激光等离子体X光谱等基础实验研究中，也观察到一些值得深入探讨的新现象；在谐振腔理论、激光在介质中非线性传输等对激光技术发展有密切关系的方面，开展了广泛的研究工作；在信息处理方面提出了具有较高水平的论文报告，充分利用信息容量的一些观点，受到了大家的注意；激光材料方面除工艺上取得的进展外，对材料的基本物理性能也进行了深入的研究。

总之，这次会议在我国激光科学技术发展的历史上起到总结过去，影响今后的作用，是一次激光发展史上规模最大的盛会\*\*\*\*。

(待续)

\* “采用 $\text{TEACO}_2$ 激光器分离同位素”，《激光分离同位素》，《激光》，1978，5，No. 5~6，13。

\*\* “红外多光子吸收法分离硼同位素”，《激光》，1978，5，5~6，14。

\*\*\* “多光子离解甲醛浓缩氘”，《四川大学学报(自然科学版)》，1978，No. 4，63。

\*\*\*\* “激光科学研究的一项盛会”，《激光》，1978，5，No. 5~6，1~2。