

文章编号: 0258-7025(2010)09-2183-05

回顾中国激光的诞生和早期发展

(邀请论文)

干福熹^{1,2}

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 201800; ² 复旦大学, 上海 200433)

摘要 简略地介绍了世界上和国内第一批激光器的诞生背景和经过。列举了中国激光技术的初期发展以及我国政府采取的有力和有效的措施。介绍了激光早期(1961~1967年)发展的几个主要方面以及这些早期激光的研究和开发工作对后期中国激光技术发展的影响。

关键词 激光技术; 诞生和发展; 在中国; 成就

中图分类号 TN241 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103709.2183

Review the Emergence and Development of Laser Technology in Early Stage in China

(Invited Paper)

Gan Fuxi^{1,2}

(¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

² Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract In this paper the background and undergo of first emergence of lasers in the world and in China have been briefly introduced. The main development of laser technology in early period (1961~1967) in China has presented, and the measures for promoting this development of laser technology, given by our government, have been emphasized. The achievements of research and development of laser technology in early stage gave the great and deep influence for next years.

Key words laser technology; emergence and development; in China; achievement

从 1960 年 5 月梅曼(T. H. Maiman)制成了世界上第一台激光器, 同年 8 月在英国《自然》(Nature)杂志发表“红宝石光激射作用”一文^[1], 至今已 50 年了。激光的诞生无疑是 20 世纪的重大发现, 对当代科学技术的发展产生了重大而深远的影响。作者为纪念激光诞生 40 周年, 曾编著出版了科普性的一书——“当代激光之魅力”^[2], 较详细介绍了激光发展简史, 各类激光器和当今激光器的主要发展方向以及激光在各行各业的应用。本文重点介绍中国激光的诞生背景和经过, 以及早期发展过

程, 作为我国激光技术发展史的回顾。

虽然第一台红宝石固体激光器产生于 1960 年, 而对光受激辐射器的理论和物理基础即酝酿于 10 多年前。20 世纪 50 年代, 汤斯(C. H. Towns)1954 年研制成功氨分子振荡器, 在微波频率产生相干电磁辐射波, 称微波量子放大器(Maser), 激起许多物理学家为开拓更短波长相干辐射的探索。1958 年末肖洛(A. L. Schawlow)与汤斯(C. H. Townes)合作提出“红外和光学激射器”的设计理念^[3], 同年相似的建议也由前苏联的普洛霍罗夫(Prokhorov)和

收稿日期: 2010-06-28; 收到修改稿日期: 2010-07-10

作者简介: 干福熹(1933—), 男, 光学和材料学家。1980 年当选为中国科学院院士(学部委员)。1993 年选为第三世界科学院院士。1957 年建立了我国第一个光学玻璃试制基地; 建立了我国耐辐射光学玻璃系列。研制掺钕激光玻璃, 国内第一个获得激光输出并建立了激光钕玻璃系列。是我国光信息存储领域的开拓者。曾获国家自然科学基金三等奖、国家科学进步二等奖、中国科学院科技进步一等奖、国家优秀科技图书特等奖等。1997 年获何梁何利科学和技术进步奖。2001 年获国际玻璃界的终身成就奖——国际玻璃协会主席奖。

巴索夫(Basov)提出^[4]。世界科技界高度评价他们的原始创新思想,认为是1960年激光器产生的物理基础。因此,他们都获得了1968年诺贝尔物理学奖。

国际上在1960年出现第一台红宝石固体激光器后,相继出现了氦氛混合气体激光器(1960年12月,A. Javan等)^[5],掺钕玻璃激光器(1961年11月,Snitzer)^[6],GaAs p-n结半导体激光器(1962年,Hall等)^[7]等。中国大概在国外出现第一台上述各类激光器后一年左右就研制出同类型的激光器,除了是原理性仿制和具有研制的技术基础外,也有我国自己的学术和技术背景,这是在回顾我国激光技术的诞生时应该提到的。1959年在美国汤斯实验室工作的王天眷回国,带来了美国从事微波量子放大器的信息,引起京区科学界的重视;20世纪50年代后期回国的黄武汉已经在中国科学院电子学研究所(简称中科院电子所)开展红宝石微波量子放大器的研制工作。1961年前后师从前苏联普洛霍罗夫何慧娟和从事微波量子放大器作频率标准(即原子钟)的王育竹先后回国,到中科院电子所工作。当时中国科学院从事半导体研究的半导体所王守武小组和电子所从事气体放电的林俊琛小组都关心国外最初激光技术的发展,准备了开展激光研究的相关科学和技术基础,并在1963年前后研制成功77 K GaAs扩散同质结脉冲激光器(1963年12月,王守武等)以及Xe, He-Xe, He-Ne红外激光器(1963年12月,林俊琛等),1964~1965年Ar⁺激光器和Kr⁺激光器出光(邱明新)^[8]。

我国各类固体激光器第一次出光都是在中国科学院长春光学精密机械与物理研究所^[9](简称中科院光机所),包括红宝石激光器(1961年9月,王之江等)^[10],钕玻璃激光器(1962年4月,干福熹等)^[11],掺钕氟化钙激光器(1962年,刘颂豪等)^[12],含钕铈钙激光器(1963年11月,刘顺福等)^[13]。1963年7月成功地完成氦氛气体激光器(邓锡铭等)^[14]的运转。1964年研制成功镓砷半导体激光器(王乃弘等)^[15]和转镜开关短脉冲激光器(吕大元等)^[16]。这批优良的激光科研成果的获得是由于在中科院光机所建所10年中,在王大珩、龚祖同老一辈光学家的带领下,已建立起较强的和较完整的光学材料(如光学玻璃和晶体)和光学单元技术(如薄膜和气体放电)技术体系。同时有以邓锡铭、王之江、王乃弘、刘颂豪为首的一批意气风发和思想活跃

的青年光学科研人员。1960年前后从前苏联回国从事玻璃和固体光谱学的干福熹、刘顺福,他们迅速地建立起固体发光和光谱学研究。这批思想解放的科研人员积极地迎接了20世纪60年代初激光出现时的创新高潮。他们的科研工作成果公开发表在《科学通报》等期刊,并汇编成《受激光发射论文汇编》^[17],选编了从1962~1963年近一年来的中科院光机所的有关激光研究论文31篇。

由于党和国家的高度重视和支持,使中国早期激光技术迅速发展。在此特别要提到当时的中国科学院党组书记张劲夫,早在1963年8月他陪同朝鲜科学院代表团来长春,当时正召开第二届全国激光学术讨论会,他鼓励与会人员,并讲:“发展这门新技术要考虑一些非常措施。”什么非常措施呢,从以后的发展进程中体会会有以下几点:

1) 成立全国激光技术领导小组,张劲夫任组长,亲自领导,并要求各级领导给予大力支持。

2) 组建中科院光机所上海分所。1963年底在北京科学院院部展出氦氛激光电话和红宝石激光打穿钢板尺时,张劲夫副院长陪同聂荣臻副总理来观看。观后聂副总理指示:“在上海建所为宜,可以充分利用上海的工业基础,加速发展激光技术。”1963年底以黄武汉的名义,建议组建中科院光机所上海分所,张劲夫批转给国家计委、国家科委和上海市领导,获得各方大力支持后,中国科学院上报建所设计任务书,并于1964年1月经国家计委和科委批准。接着指示调中科院光机所全部从事早期激光研究人员及相关技术人员约200余人和中科院电子所量子电子学和波谱实验室50余人进入上海。上海市委和市政府拨出上海长江光学仪器厂和兢明光学仪器厂作为中科院光机所上海分所的试制工厂。让出在嘉定的原华东电子测量仪器研究所和华东力学所的全部用房,作为上海分所的初期所址。所以,仅仅半年时间,就建立起最早的中国激光科学研究基地。

3) 把激光技术的研究纳入1963~1972年全国科学发展规划纲要(草案)。正在此时(1963~1964年)毛泽东主席对“反导”提出指示:“有矛必有盾,搞少数人吃饭不干别的,5年不行10年,总要搞出来的”。当时就把高能激光纳入“反导战略发展计划”(640工程)中的一个途径“激光反导”(640-3工程)。《毛泽东文集》第八卷352页是这样表达的,“死光(即激光),要组织一批人专门去研究它。要有一小批人吃了饭不做别的事,专门研究它。没有成绩不

要紧。军事上除进攻武器外,要注意防御问题的研究”。“640-3”任务极大地促进了我国早期激光的发展。

4) 积极组织了国内外学术交流和科技情报的研究。上世纪激光的产生和发展大多在西方。20世纪60年代初我国还未和西方国家建交,只有和英国有半建交的外交关系,所以从1963~1966年,中国科学院特批,凡是与激光有关的国际会议都争取去参加。1963年11月~1964年1月以英国皇家学会邀请的名义,派激光考察小组黄武汉、邓锡铭和干福熹去英国考察激光技术,1964年9~10月派王守武、干福熹、周炳琨等5人去英国赫尔(Hull)参加国际发光会议,以及在英国伦敦(London)参加国际激光会议。1965年9月干福熹等2人参加英国马尔文(Malven)国际远红外和亚毫米波会议等。所以,在20世纪60年代我国受到西方技术封锁之际,还能够了解国外激光发展动态,实属不易。

在中国激光诞生后蓬勃的发展初期,从1962年到1964年召开了三次全国激光学术讨论会议。在长春召开第一届(1962年1月)和第二届(1963年7月)全国激光学术讨论会。我国光学界老前辈严济慈参加了第二届激光学术讨论会,听取了所有报告,提出殷切的希望。有关专家评述过这两次会议:“第一次会议通过理论和实验论证,解决了中国激光技术的研究是否具备了条件。第二次会议则反映了中国各类激光器竞相发展的盛况。两次会议推动了全国早期激光技术的发展。”第三次全国激光学术讨论会于1964年7月在上海召开,此时中科院光机所上海分所刚建立不久,严老和张劲夫一起主持了这次会议,这次会议上,各路会师,形成了初见规模的中国激光科技队伍,展示了中国激光的早期蓬勃发展,也明确了下一步的研究方向。

我国早期(1961~1967年)的激光技术的发展是很快的,主要表现在以下几方面:

1) 以辐射武器为牵引的高能量钕玻璃激光系统及其应用的研究。从1962年4月在长春中科院光机所钕玻璃激光器出光,1963年底达到100 J输出($\phi 16\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ 玻璃棒),效率为1%。到1964年迁至上海,年底钕玻璃激光器输出能量高达1200 J,当时就明确掺钕玻璃激光器作为辐射武器(6403)的主要技术途径。上海市科委从1964年开始就安排生产部门配套研究开发低铁含量的石英砂原料,上海跃龙化工厂专门开发生产低杂质含量光

谱纯氧化钕原料。在实验研究上解决了降低掺钕硅酸盐激光玻璃的静态与动态损耗的途径,并在上海新沪玻璃厂建立专门车间试制掺钕激光玻璃。到1967年研制出直径12 cm,5 m长的钕玻璃棒和5 m长的大型脉冲氙灯,1967年底能量输出为 $1.91 \times 10^5\text{ J}$,效率为3.3%;1969年输出能量为 $3.38 \times 10^5\text{ J}$,效率为3%,光束方向为 $15 \sim 20\text{ mrad}$,脉宽约30 ms。这种大型固体激光器至今还是国内外最高水平。为提高输出激光的方向性,以后改用振荡-扫描放大激光系统($10^5\#$ 方案)可以达到 $10\text{ cm} \cdot \text{mrad}$ 范围内有万焦耳能量(10 ms)的高亮度激光。用1.2 m玻璃望远镜,能将2 km处0.2 mm厚铝靶击成网状^[18]。

虽然到1976年根据科学判断,决定高能量的光抽运钕玻璃激光系统不再作为辐射武器的主要技术途径,但在提高效率 and 亮度过程中,发现和解决一系列理论和技术问题,都属于原始创新的。这些工作不仅在当时使高能量激光器的激光性能达到很高的水平,时至今日对发展高能激光器仍富有指导性价值。高能量钕玻璃激光系统的研究,从单元技术到科研队伍等方面都为以后开展以激光核聚变研究为目标的高功率钕玻璃激光系统的研制奠定了基础。

2) 以激光核聚变为目标的高功率钕玻璃激光系统及应用研究。1963年国内研制成功第一台高功率和短脉冲的激光器,采用红宝石作为工作物质,以转镜调Q的方式运转^[16]。1964年10月核物理学家王淦昌提出“利用大能量大功率的光激光器产生中子”的建议。1964年底根据国内的条件,果断地选择了钕玻璃激光为大功率激光的主攻技术路线。1965年5月开设了名称为“高功率激光及其驱动的惯性约束聚变研究”的研究项目(代号为71#)。独立提出并发展了行波放大、扩束技术和消除寄生振荡等技术,1965年底建立了 $3 \times 10^9\text{ W}$ 四级行波放大高功率钕玻璃激光系统(7651装置,脉宽20 ns),激光束聚焦在空气中获得等离子体火花串列结果。1973年,建立 10^{10} W (4 ns,40 J)的五行波放大钕玻璃激光系统,采用削波,电光调Q,成像打靶。加热氘化锂靶获得 $6 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6$ 高温高密度的等离子体,观察到中子。1976年建立了六路纳秒高功率激光系统(1 ns,180 J, $1.8 \times 10^{11}\text{ W}$),开展了多路打靶。

为适应短脉冲高功率激光,要求有比掺钕硅酸盐玻璃更高的受激发射截面的磷酸盐激光玻璃。自1963年我们在国际上首先报道了激光钕玻璃的二

次谐波振荡和掺钕磷酸盐玻璃的激光特性^[19],1965年研制成功低阈值高效率掺钕磷酸盐激光玻璃,输出3 J($\phi 8\text{ mm} \times 89\text{ mm}$)^[20],几年的努力至1972年开始应用于高功率、短脉冲激光器件,推动了激光器的发展。

3) 以激光加工、准直、测距和雷达为目标的(高重复频率)中、小功率固体激光器研究^[8]。初期激光红宝石晶体购自国外,至1962年自行研制出用火焰法生长的激光红宝石晶体,红宝石激光器应用于钟表轴承的打孔(1965年5月汤星里等)。1965年开始用提拉法成功生长出 $\text{CaF}_2:\text{Sm}^{2+}, \text{Dy}^{2+}, \text{CaWO}_4:\text{Nd}^{3+}$ 晶体。1966年西南技术物理研究所罗楚南等和中科院光机所上海分所邓佩珍等用熔剂法和提拉法开始生长掺钕石榴石激光晶体(YAG: Nd^{3+}),西南技术物理研究所屈乾华等研制出YAG激光器,为日后自行发展中、小功率高重复频率固体激光器及应用创造了条件。关键的激光元件,如电光调制器(1964年范果键等)研制成功。开始了钻石拉丝模打孔、激光漫反射测距(1965年12月,顾去吾、范果键等)、激光通信(1964年11月,万重怡等)和激光雷达(1969年4月梅遂生等)等应用研究^[8]。

4) 气体激光器和半导体激光器及其应用研究。20世纪60年代上半期以氦氖气体激光器为主,主要应用于激光测量上,全国各地普遍开花。20世纪60年代下半期重点发展了轴向直流放电二氧化碳(CO_2)气体激光器(1965年9月,王润文等)和横向激励(TEA) CO_2 激光器,开始在激光医学和激光加工上应用。

半导体激光器以GaAs器件为主,从同质结向外延同质结和液相外延异质结发展,研制成同质结GaAs激光器和AlGaAs单异质结激光器,开始应用于国内光纤通信的实验研究。

我国较早开拓气体和化学/红外和远红外激光器,包括波长为 $53\ \mu\text{m}$ He-Ne和 $23\sim 32\ \mu\text{m}$ 水蒸气气体激光器(王润文等,1965~1966年), $1.3\ \mu\text{m}$ CH_3I (1966年3月邓锡铭等)和HCl(1966年12月陶愉生等)化学激光器。

总之,我国激光事业开端良好,20世纪60年代各类激光器已蓬勃发展,并且独立自主地建立激光材料、元件和单元技术。抓住并组织了以辐射武器为应用目标的大能量激光系统和以核聚变为应用目标的高功率激光系统的研究。中、小功率激光器在材料加工、通信、测速、测距和雷达以及医疗上的应

用普遍开花。我国激光发展形势大好。虽然10年动乱开始,激光技术的科技骨干纷纷受到靠边劳动、隔离审查等各种迫害,离开研究岗位,我国激光事业受到很大的损害。但是由于有毛泽东主席对640-3的指示,主要的激光研究工作未被完全停止下来,有所前进。所以,到10年动乱后期,1975年我接待美国固体物理考察团来中国科学院上海光学精密机械研究所访问,其中有1965年和1972年诺贝尔奖获得者巴丁(C. Bardeen)和著名非线性光学教授布隆伯根(N. Bloembergen, 1984年诺贝尔奖获得者)。回去后由布隆伯根主持写的《中国激光工作的对比》报告中写道:“中国科学院上海光学精密机械研究所的激光技术比美国落后了三至五年,……好像这个所未经过文化大革命冲击……。”^[21]我回信给他,这是过高的评价,我国整体激光技术的水平要比美国差得多。当时正值“批邓”,“反击右倾翻案风”之际,他们这种“赞美”只能使我再次进上海“五七”干校劳动。

参 考 文 献

- 1 T. H. Maiman. Stimulated optical radiation in ruby [J]. *Nature*, 1960, **187**(4736): 493~494
- 2 单振国, 干福熹. 当代激光之魅力[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- 3 A. L. Schawlow, C. H. Townes. Infrared and optical masers [J]. *Phys. Rev.*, 1958, **112**(6): 1940~1949
- 4 A. C. Tарер, A. A. Гладун, Н. Г. Басоб, ЖЭТФ. *Journal of Elementary and Technical Physics*, 1958, **35**: 808
- 5 A. Javan, W. R. Bennett, Jr. *et al.*. Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1961, **6**(3): 106~110
- 6 E. Snitzer. Optical maser action of Nd^{3+} in a barium crown glass [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1961, **7**(12): 444~446
- 7 R. N. Hall, G. E. Fenner, J. D. Kingsley *et al.*. Coherent light emission from GaAs junctions [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1962, **9**(9): 366~368
- 8 邓锡铭. 中国激光史概要 [J]. 北京: 科学出版社, 1991
- 9 邓锡铭. 回顾——纪念长春光机所建所三十周年 [J]. *光学机械*, 1982, (3): 12~16
- 10 Wang Zhijiang. The ruby optical maser [J]. *Acta Physics Sinica*, 1964, **20**(1): 63~71
王之江. 红宝石光量子放大器 [J]. *物理学报*, 1964, **20**(1): 63~71
- 11 Gan Fuxi, Jiang Zhonghong, Cai Yingshi. Study on inorganic laser glasses activated by Nd^{3+} ions [J]. *Science Bulletin*, 1964, **9**(1): 54
干福熹, 姜中宏, 蔡英时. Nd^{3+} 激活无机玻璃态受激光发射器工作物质的研究 [J]. *科学通报*, 1964, **9**(1): 54
- 12 Liu Songhao, Ao Xinneng, Lin Kaihua *et al.*. Infrared laser action by luminescent crystal $\text{CaF}_2:\text{Dy}^{2+}$ [J]. *Science Bulletin*, 1964, **9**(1): 56
刘颂豪, 沃新能, 林开华等. $\text{CaF}_2:\text{Dy}^{2+}$ 荧光晶体的红外受激发射 [J]. *科学通报*, 1964, **9**(1): 56
- 13 Liu Shunfu, Chen Xi, Liang Baogen *et al.*. Laser action of neodymium doped calcium tungstente [J]. *Science Bulletin*, 1965, **10**(9): 827

- 刘顺福, 陈 兮, 梁宝根 等. 掺钕钨酸钙光激光器[J]. 科学通报, 1965, **10**(9): 827
- 14 Deng Ximing, Deng Jilu, Song Congwu *et al.*. Laser action of gas mixture He-Ne[J]. *Science Bulletin*, 1963, **8**(12): 40
邓锡铭, 邓继禄, 宋从武 等. 氦氛混合气体受激光发射器[J]. 科学通报, 1963, **8**(12): 40
- 15 Wang Naihong, Pan Junhua, Nie Chaojiang *et al.*. Laser action of GaAs semiconductor[J]. *Science Bulletin*, 1964, **9**(7): 619
王乃弘, 潘君骅, 聂朝江 等. 半导体砷化镓的受激发射[J]. 科学通报, 1964, **9**(7): 619
- 16 Lü Dayuan, Wang Zhijiang, Yu Wenyan *et al.*. Short pulse and high power ruby laser[J]. *Science Bulletin*, 1964, **9**(8): 733
吕大元, 王之江, 余文炎 等. 瞬时大功率红宝石受激光发射器[J]. 科学通报, 1964, **9**(8): 733
- 17 吕大元. 受激光发射论文汇编[M]. 北京: 科学出版社, 1963
- 18 1964~2003 中国科学院上海光学精密机械研究所志(简本), <所志>编纂办公室, 2003, 7~9
- 19 Cai Yingshi, Li Xishan, Gan Fuxi. Second harmonic spectra in ADP crystal by Nd³⁺ activated glass laser[J]. *Science Bulletin*, 1964, **9**(12): 1112
蔡英时, 李锡善, 干福熹. Nd³⁺ 激活玻璃受激光发射在 ADP 晶体中产生的二次谐波光谱[J]. 科学通报, 1964, **9**(12): 1112
- 20 Gan Fuxi, Cai Yingshi, Jiang Zhonghong *et al.*. Several laser characteristics of Nd³⁺-doped glasses[J]. *Science Bulletin*, 1965, **10**(11): 1012
干福熹, 蔡英时, 姜中宏 等. Nd³⁺ 激活玻璃的若干激光特性[J]. 科学通报, 1965, **10**(11): 1012
- 21 Laser Focus, 1976, **12**(12): 10, 12, 14, 16, 18