

# 访美激光观感

王之江

(中国科学院上海光机所)

章志鸣

(复旦大学物理系)

## Impression on the visit to U. S. A.

*Wang Zhijiang*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

*Zhang Zhiming*

(Department of Physics, Fudan University)

### Abstract

Laser Delegation of Instrument Society of China was invited to attend the 7th Conference on Laser Engineering and Application in United States. The authors personally learned the frontier trends and the developments in depth in the field of laser science. The successful work by the American scientists has left deep impression on them.

今年初夏,中国仪器仪表学会组成了激光代表团,接受美国电机电子工程师协会(IEEE)及美国光学学会(OSA)的邀请,参加了在美国首府华盛顿召开的第七届激光工程与应用会议(CLEA)。代表团是由科学院、教育部、一机部及五机部所属的有关激光科研、教育、生产、管理等方面的几位同志组成的。CLEA自5月30日至6月1日共举行3天,会议期间,同时举办了激光展览会。会议以后,自6月2日至17日,代表团分别访问了七所大学(麻省理工学院,罗彻斯特大学,斯坦福大学,加州大学贝克莱分校,南加

州大学,阿利桑那大学,加州大学圣地亚哥分校),四个激光研究所或研究实验室(贝尔实验室,KMS聚变公司,福特汽车公司研究实验室,加州大学劳伦斯利佛莫尔实验室),四个专门生产激光器件的工厂(阿夫柯公司,光谱物理公司,相干公司,休斯公司)以及四个开展激光应用的单位(通用汽车公司,圣纳蒂克视听服务所,Polaroid公司,Sinal医院)。这些虽然只是一小部分单位,但也反映了美国在激光研究、生产以及应用方面的概况,再者从参加CLEA中也了解到一些目前在激

收稿日期:1979年8月25日。

光工程及应用方面的倾向和成就。限于时间和水平,我们的观感一定会有片面的甚至错误之处。

激光工程与应用会议每隔两年召开一次(与国际量子电子学会议交替召开),参加者主要是美国科学家,但西欧、日本、苏联及东欧国家的科学家也经常出席,所以是国际性的。我国是第一次参加这一会议。会议共分十六个专题的论文报告分组会,宣读了201篇论文,分三个会场举行,共进行了三整天及一个晚上,分组报告会的专题内容为:(1)材料加工,生物医学应用及其他新应用;(2)可调滤光器,调制器及探测器;(3)遥感;(4)激光同位素分离及光化学;(5)光谱学及非线性光学;(6)自适应光学,转动传感器及雷达;(7)激光退火及材料加工;(8)光通讯(共二次);(9)准分子激光器;(10)激光聚变(共二次);(11)光学相位共轭技术;(12)红外激光器;(13)可调激光器;(14)光泵激光及短脉冲激光;(15)光学记录及信号记录;(16)双稳态器件及其他的应用。从以上的内容可以看出论文所涉及的范围是十分广泛的。但总的看来,是属激光工程和应用方面的基础研究,包括激光器件的研究,对于已是成熟的激光应用则并无反映。

与会议同时举行的展览会共有六十三家公司参加,展品主要是各类激光器件和元件,激光测试仪器以及各种光学元件及光电接收器件等。

会议期间还举行了两个授奖的报告,一个是1979年的沙诺大奖,授与由于“发现开敞结构的模式及其在激光谐振腔中的应用”的G. Fox及厉鼎毅博士(Tingye Li);另一是1979年M. 李勃曼奖,授与“由于集成光学技术方面有贡献”的田炳耕博士(P. K. Tien),以上三位受奖者都是贝尔实验室的研究人员,而且其中两位是华裔学者。

我国代表团王之江同志也向会议提出了“关于中国的激光科学和技术”的论文,这一

论文在时间限期上虽已属迟到,但仍受到十分重视,被作为特别邀请报告,并多次预告。在报告时,许多外国学者及几乎全部华裔学者都蒞会参加,大家对报告中所提到的我国已经开展了多种激光器件及应用的研究,以及也开展了激光聚变方面的研究表示十分惊讶与钦佩,报告完毕后许多学者及会议主席都来祝贺。

整个参观访问过程中我们受到美国科学家十分热情友好的接待,对美国激光科学技术的深度和广度留下了深刻的印象。现分述如下。

关于激光器件方面的分组报告会有准分子激光、红外激光、可调谐激光以及光泵激光和短脉冲激光。Avco公司报导了在 $\text{KrF}^*$ 及 $\text{XeF}^*$ 激光器中已获得 $\sim 1$ 微秒脉冲,效率10%,输出为12焦耳/升的结果。西德马克思-普朗克激光研究所获得了卤族分子 $\text{Cl}_2$ 及 $\text{F}_2$ 混合气体中新的属于 $\text{ClF}^*$ 的紫外285毫微米的激光输出。在参观中也看到很多大学和研究机关也广泛进行准分子激光的研究工作,如研究激发反应过程机理,提高器件输出功率等。这是由于它有多方面的应用价值之故。

在红外激光方面,有人报导了小型TEA  $\text{CO}_2$ 激光的研究结果。日本报导了1.5千瓦高压连续 $\text{CO}_2$ 激光器件工作情况,所参观的各大学中有较多单位致力于亚毫米波段激光的获得以及红外波段可调谐激光的研究。并且非常关注这个波段的探测器研究。对于各种类型的 $\text{CO}_2$ 激光器的小型化也很感兴趣。

在可调谐染料激光器方面重点在研究如何获得频率稳定的激光输出。相干公司报导了环形染料激光器可以获得3瓦单频输出,其频率飘动在0.2兆赫,可调范围为300千兆赫。光谱物理公司报导了同步泵浦的方法的频率稳定性、长度稳定性及腔内功率之间的关系。我们看到的各激光实验室中染料激光器也许是最为普遍的工具,一般达到的单



色性都是兆赫级。在美国标准局提出的一篇报告中,线宽达到小于2千赫。

另一类可调谐的色心激光器也受到注意,例如  $KF$ ,  $F_2^+$  色心激光器的连续输出可达2瓦,可调谐范围从0.8~1.5微米,目前已设计了优良而方便的低温容器以保藏晶体以及用光致电离可以有效地使  $F_2$  色心转化为  $F_2^+$  色心的方法,因此色心激光器已趋于普遍,并已有商品。与此类似的还有以过渡元素(Ni、Cr、Co、V等)激活的晶体近红外可调谐激光器。

光泵器件中包括以  $OCS_e$  气体光分解形成的Se激光,在波长4890 Å 输出4焦耳/升;以碱金属卤化物蒸气光分解形成的碱金属激光,它可以在波段3800~9000埃得到高重复率的峰值功率万瓦级的小型器件。小型化的光泵晶体除五磷酸铍外,还发展了五磷酸铍镧,可以做成小型化的器件,例如包括氙灯及能源的总尺寸仅为6"×3"×3"。至于短脉冲技术则可以注意用反向 Raman 受激散射作脉冲压缩的技术,利弗莫尔实验室认为  $KrF$  激光 Raman 压缩后将是激光聚变用的最佳候选者。

光纤通讯已进入工程应用阶段,它的进一步发展的潜在可能性,更引起人们关注。5月初美国光学学会对这个专题召开的会议有近九百人参加,超出预计,讨论了基础研究到工程应用的各方面问题。至于 CLEA 的两个单元的内容,则属开创新路的性质。其中一次集中在室温运转单模输出的半导体光源,这种光源大多是在二元基底上的多元异质结的结构,如  $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}/InP$ 、 $Al_xGa_{1-x}As_ySb_{1-y}/GaSb$  等,输出波长在1.2微米至1.5微米,阈值电流为3.5~5千安/厘米<sup>2</sup>,寿命在1万小时以上。MIT 的林肯实验室报导了在外腔结构中获得连续单模输出,频率漂移小于5兆赫/分,期望以 F-P 标准具锁定后可小于1兆赫。日本电报电话公司评述了在1微米波长附近的光通讯现状,

认为目前的纤维衰减已达到在1.2微米处为0.5分贝/公里;在1.3微米处单模为0.5分贝/公里,多模为0.34分贝/公里;在1.5微米处单模为0.2分贝/公里,而且在1.3微米处石英材料具有几乎等于零的色散,因而在单模纤维中的脉冲传输所引起的展宽是很小的。其次是有高调制能力的四元半导体激光器的波长可以复盖1.0~1.4微米,锗雪崩二极管具有很快的响应而波长灵敏达到1.6微米,所以认为今后可以在较长波长下进行通讯系统的性能研究。另一次报告会集中在集成光学及个别部件的研究,例如铌酸锂波导的损耗机理、导光纤的透射测量、折射率剖面的无损测量等。

可以看到研究的思路是开阔的,并未为已有的进展所局限,变成思路狭窄的工艺研究,而是为更大容量通讯的潜在可能性,进行着广泛的有成效的工作。既有前沿又有纵深。

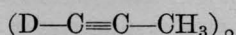
激光聚变的二次报告会包括了日本、西德、英国及美国的劳伦斯利弗莫尔实验室,洛斯阿拉莫斯实验室及罗彻斯特大学的高能激光实验室在激光聚变方面的工作成就及计划。如大阪大学激光工程研究所介绍他们的 Gekko IV 型四束4兆瓦玻璃激光器的性能;西德 Asterix 的碘激光1兆瓦输出的研究等。会后又参观了三个有关实验室,对于铍玻璃器件的发展和聚变实验的进展得到更深刻的印象。由于采取空间滤波器作为中继系统,再由于将初级振荡放大部分作清洁处理,已使波面的均匀性进一步提高,从而使器件功率负载提高50%。Shiva 装置的光路长度自动调整和自动对准系统,以及支架的稳定性都很成功,使这个20路的大型实验装置已成为正常运转的工具。KMS 的器件中则已将使用整形脉冲。

制靶是聚变研究的重要组成部分,为从实验而深入了解聚变过程,并与理论相比较,这是十分必要的。为此几个主要实验室为靶

丸制造和检测布置了很大的力量，可以制出合格的多层靶、低温靶等。

Shiva 自 1977 年末运转以来，经过 18 个月的工作，到今年三月获得了压缩到液体密度  $100\times$  的结果 (30 克/厘米<sup>3</sup>)。

关于当前应用方面比较受注意的激光分离同位素分组有八个报告。劳伦斯利佛莫尔实验室采用多光子吸收(MPA)的方法对氖进行分离，以脉宽为 2 毫微秒或 100 毫微秒的 CO<sub>2</sub> 激光器，能量密度在 10~20 焦耳/厘米<sup>2</sup>，所选择的工作体系是氟里昂 123 (CF<sub>3</sub>CDCl<sub>2</sub>)，三氟甲烷 (CDF<sub>3</sub>) 及甲基乙炔



其浓缩比都有较好的效果，并且分析了激光同位素分离所应具有商业应用价值的条件。美国海军研究所提出了采用连续 CO<sub>2</sub> 激光器进行非共振泵浦的方法，通过一些敏化分子对同位素具有选择性的能量转移的原理而使甲烷 (CH<sub>4</sub>) 与 CH<sub>3</sub>D 分离。

激光热加工虽早已应用于工业中，但最近又有所发展。其一是用高功率激光在金属表面熔镀上抗蚀层。另一是对半导体表面缺陷的激光退火处理。后者由于其对半导体质量的良好影响，尤受重视。对离子注入的掺质在半导体硅表面上所引起的缺陷进行激光退火，所采用的激光有 1.06 微米的连续 YAG、连续 CO<sub>2</sub> 激光，功率在 20 瓦到 30 瓦，也采用脉冲 KrF 激光。对于厚度为 1000 埃的非晶态硅膜利用激光退火可以在几毫秒中完成，这是一种固相取向附生重新生长的过程，但并不破坏衬底单晶硅的材料，掺质浓度可在  $10^{12}\sim 10^{15}$  厘米<sup>-2</sup>，经过电子显微镜证实确已形成优良的单晶薄层。还有一种激光的应用研究是利用激光的光分解有机金属化合物，使析出金属膜层。膜层的宽度目前可达到几个微米，两壁陡削。所采用的体系是二甲基镉 [Cd(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]、四甲基锡 [Sn(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>] 及一碘三氟甲烷 (CF<sub>3</sub>I) 等，激光器采用准分子激光或氙离子激光的紫外辐射。也有采用

CO<sub>2</sub> 激光，其机理不是光分解而是热分解，在四羰基镍 [Ni(CO)<sub>4</sub>] 的蒸气气氛中以 CO<sub>2</sub> 激光聚焦束射在一块衬底上，就可以析出镍的薄层，这些新的加工方法的研究，期望在半导体及集成光学的微形器件加工中可能会有应用。

另外，值得一提会上反映不多的两个应用，一是光陀螺，采用被动方式测位相差，采用光纤形成大面积环路等，将会有新的进展；再一类应用是激光记录和显示：作为电子计算机的输出设备，已成为几家公司的相互竞争的商品。而家用的录象盘 (Videodisk) 已经商品化，它将成为激光器的最大市场。单面记录 30 分钟到 60 分钟的录象盘售价 6 到 16 美元，作为廉价的高密度信息存贮手段，看来是很有前途的方面，其作用并不单在供家庭娱乐。

最后，谈一下我们对美国的基础研究工作的观感。总的看来，美国对基础研究是十分重视的，应用研究大多在工厂的研究室中进行，而基础研究则在大学中或者某些大企业的研究实验室中进行，例如福特汽车公司的研究实验室也开展了氢原子光谱的高激发态精细结构的研究。据我们了解，象福特汽车公司的研究实验室及贝尔实验室等著名的研究机构，其研究课题的选择完全由研究人员自己确定，公司只要求每年在杂志上发表一定数量的论文。但是实际上，由于引导有方，这些研究小组的选题总是围绕着一一些特定的目标，例如福特公司的激光方面的课题都是与燃烧及大气污染探测有关的，而贝尔实验室则从事于更先进的光通讯的研究，包括获得新波段的激光源，在这一波段的传输性质等等。这说明科研的领导者能够有效地协调科研人员的积极性与总的目标之间的关系。至于在大学中，科研的选题当然比一些研究所更为自由，可以涉及更广泛的方面，但是也要受到向美国科学基金会，能源部或三军的研究机构对所申请的科研经费的限

制, 这些机构对基础研究的重视促进了科学的发展, 促进创造性工作的出现。

前述基础研究中, 有些已具有明确的应用目的性, 或可以设想的远期应用目的性, 这类工作易于受到支持, 但这还并不是最基础的研究; 这在美国称之为开发发展工作。而所谓基础研究是指那些暂时还看不出应用价值的研究, 美国大学物理系的激光科研多半属这种性质。他们以激光器为工具, 发展激光光谱方法和非线性光学方法, 用以深入研究物质的物理性质或物理化学过程, 或用以验证物理定律的正确性, 等等。由于过去已发展了多种消除多普勒宽度的光谱方法, 已广泛应用以研究原子光谱精细结构, 如氢原子光谱, 以及高激发态光谱。由于有微微秒脉冲激光这个工具, 就可用来研究快过程。而相干反斯托克斯喇曼光谱 (CARS) 的优点, 尤其是偏振 CARS 的高灵敏度使它用来

研究多种物理过程, 如液晶的弛豫过程、表面声子等等。至于如何用光学方法来验证相对论的正确性, 验证弱相互作用的宇称性质更吸引着物理学家的注意。

美国实验室的设备在测试仪器方面都比较先进, 包括各种信号的处理及分析, 计算机及微处理机的应用也很普遍, 有一些实验室也自己制作一些激光器, 但一般来说都是购买成熟的商品, 目前美国的实验室中, 氢离子泵浦的染料可调激光器是十分普遍的, 因为要进行激光物理的研究, 这是不可缺少的工具。

在我们的访问中, 发现国外科学家之间的情况都是相互很了解, 他们之间的资料交流也十分频繁, 科学思想活跃, 对于新的思想, 新的方法的出现都受到鼓舞和尊重, 这一点也是值得借鉴的。