

1987年度中国激光科技发展一瞥

赵梅村 雷仕湛 黄永楷 王润文

编者按: 激光在中国问世已26年多了,如今是姹紫嫣红,满园春色。为了及时总结激光科学技术领域中所取得的新发现、新创造和新进展,促进激光事业的发展,本刊从1987年度起开辟此年度综述栏目。敬请激光工作者提供信息,协助编者力求减少片面性,尽量全面地反映出中国激光研究的新水平。

A glimpse of development of laser science and technology in China in 1987

Zhao Meicun, Lei Shishan, Huang Yongkai, Wang Runwen

Editor's Note: 26 years have past since the advent of laser in China, it is now in full flourishing. We plan to start a special column on the annual review beginning from the year of 1987 for the purpose of summarizing the new discoveries, creations and advancement in the field of laser science and technology, thus promoting its development in China. Contributions are welcome from the researchers of the laser community.

1987年度中国激光领域又添新葩。输出激光功率 10^{12} W的神光装置通过了国家级鉴定;利用棱镜补偿腔内光脉冲的群速度分散的CPM环形染料激光器直接输出了脉宽19 fs的激光脉冲,超过了贝尔实验室1985年创造的27 fs窄脉冲记录;生长出高质量的新型非线性晶体 LiB_3O_5 ,建成了输出34.2 W的倍频YAG激光器等等。这些均是本年度中有代表性的成果。激光器件已向实用化发展。激光技术应用于国民经济等方面也取得了新的进展。

一、激光器件

1.1 神光装置通过国家级鉴定

经核工业部和中国科学院批准,下达中国科学院上海光机所研制的神经装置,在核工业部第九研究院合作下,1985年建成后经过试运转一年半于1987年6月27日通过国家级鉴定。

神光装置是一项大型、综合性科学工程。它由激光器、靶场、激光参数测试、能源、环境保护等系统和中心控制室组成。激光系统由两路构成,包括不同脉宽的主振荡器2台、各种规格磷酸盐棒状放大器10台、片状放大器12台、有像传递功能的空滤滤波器12台、磁光隔离器7台、电光隔离器3台。光束至靶场光程为100 m,两路激光同步精度 ≤ 10 ps。有15项单元技术和特种工艺系国内首次采用。如利用半导体光电开关提高信噪比

达2~3个量级;采用自适应光学改善了激光的光学质量;使用列阵透镜提高了激光束对靶面照明的均匀性等新技术。该装置输出激光峰值功率为 10^{12} W,脉冲宽度为 10^{-9} ~ 10^{-10} s,末级输出在10倍衍射极限(0.3 mrad)内集中了80%以上的激光能量。这台装置可用于开展核聚变、核爆模拟以及高功率激光等离子体物理研究,也准备迎接中国各地和国外研究者进行有关高功率激光与靶相互作用的研究之用。

1.2 输出34.2 W的倍频YAG激光器

天津大学精仪系和山东大学晶体研究所合作研制成功高功率内腔倍频YAG激光器,已获平均功率34.2 W的绿色(0.532 μ m)激光输出。

器件采用双氩灯泵浦尺寸 $\phi 6 \times 100$ mm的Nd:YAG棒;聚光腔镀金;用KTP倍频晶体,通光方向长5.5 mm;熔石英制的声光Q开关,中心频率40 MHz,重复频率1~10 kHz可调。在聚光腔与倍频晶体间插入一块1.06 μ m高透、0.532 μ m高反的平面镜以增强倍频效果。激光腔长570 mm。当氩灯电流取26 A作连续泵浦、Q开关重复率为9 kHz时,获得了平均功率34.2 W绿光输出。激光脉宽200 ns;光束发散角 ≤ 10 mrad;输出功率起伏 $< \pm 2\%$ 。

1.3 建成喇曼自由电子激光器

中国科学院上海光机所获得了基于受激喇曼散射的自由电子激光辐射。激光脉冲能量16.8 mJ;峰值功率0.84 MW;脉冲宽度20 ns;电子效率1.4%;波长为8 mm(K₀波段)。

1.4 实用化、高平均功率XeCl准分子激光器

中国科学院安徽光机所和长春光机所分别研制成功实用型10 W级快放电泵浦XeCl准分子激光器。他们采用了闸流管高速开关、快速气体横向循环、气体净化处理和镜片

保护等技术。安徽光机所的激光器一次充气使用寿命可大于 10^6 次,最高重复率130 Hz,最大平均功率已达20 W。

中国科学院上海光机所研制成功大面积X光预电离准分子激光器。电子枪阴极采用石墨结构,X射线均匀度在100 cm²的范围内被改善到 $\pm 25\%$ 以内,并使用了耐腐蚀高压转动密封技术。放电体积约0.4升。最高输出功率29.5 W;短期功率起伏 $\pm 1.4\%$;一次充气存放寿命1000 h。

1.5 CO₂激光器输出突破万瓦

中国科学院上海光机所在搞清激光工作气体的蜕化机理之后,将千瓦横流CO₂激光器一次充气连续运转时间延长至30 h以上,放电长度为1 m。输出多模功率1.3~1.5 kW;功率起伏 $< \pm 1\%$;电光转换效率15%。

华中工学院激光研究所用氩代氦作辅助气体,制成了无氦3 kW横流电激励CO₂激光器。还将两台输出功率5 kW、采用多针-平板放电结构的器件串连后分别供电,用经镀膜处理的神化镓作输出窗口,得到了多模10.35 kW激光输出,是中国目前连续输出功率最高的CO₂激光器系统。

1.6 同时输出6种波长的He-Ne激光器

中国计量科学院研制出同时辐射6条谱线的He-Ne激光器,波长分别为612、629、633、635、640和650 nm,总功率1 mW;他们还利用有布儒斯特窗的外腔放电管获得40 μ W 543.5 nm的He-Ne激光;该院还提出一种在锁定情况下激光频率可沿最佳S曲线连续调谐的新方法,建成1.52 μ m He-Ne横向塞曼稳频激光器,调谐范围 > 170 MHz;取样时间为1 ms~100 s,频率稳定性在 4×10^{-10} 至 4×10^{-11} 之间。

南京工学院制成了实用型的1.52 μ m相干光纤通信激光信号源。单模输出功率0.4 mW,拍频线宽 < 1 MHz,频率稳定性在

10^{-10} 量级, 室温连续工作 24h 不跳模, 寿命 10^4 h。已定型生产提供使用。

南京工学院 1 m 长 He-Ne 管输出了 80 mW 632.8 nm 激光。浙江大学从 3 m 折迭式 He-Ne 管输出了 115 mW TEM₀₀ 模 632.8 nm 激光, 功率起伏每小时 $\pm 0.6\%$ 。多横模激光功率已达 250 mW。

1.7 16 μ m 仲氢受激喇曼激光系统

中国科学院长春光机所研制成功输出波长 16 μ m 仲氢受激喇曼激光系统。工作波段在 14~17 μ m 可调; 单脉冲能量 ≥ 500 mJ; 脉冲宽度 30 ns; 能量转换效率 $\geq 13\%$ 。该系统的输出波长范围能满足 UF₆ 分子的同位素光谱范围, 可促进这方面工作的开展。

1.8 半导体激光器的新进展

中国科学院北京半导体所采用特殊的设计方法制造出用于精密测距的匀相位半导体激光二极管, 输出功率 2~10 mW, 调制速率 1~2 Gb/s, 波长 820~860 nm。

清华大学无线电系在研制实用型半导体激光器方面取得新进展, 制成一种输出波长 1.3 μ m 的外腔粘结型单模半导体激光器。输出激光功率大于 2 mW, 线宽小于 1 MHz, 激光束发散角 1 mrad, 稳定工作时间 > 24 h。

中国科学院上海光机所研制出中红外波段 14~18 μ m 连续可调谐 PbSnSe 激光器。单模调谐范围 3 cm^{-1} , 总调谐范围 160 cm^{-1} , 最高工作温度 48 K。

1.9 重复率 30 pps 的窄脉冲激光器

上海光机所解决了锁模条件下腔的热稳定性问题, 研制出高重复率 (10、20、30 pps)、高锁模概率 (100%)、高稳定性 (起伏 $\pm 2\%$) 及窄脉冲 (30~50 ps) 的 YAG 激光器。目前该激光器已用于高精度激光人造卫星测距。

1.10 输出平均功率 200 w 的脉冲 YAG 激光器

由中国科学院上海光机所研制成功的平均输出功率大于 200 W 的 YAG 激光器, 可应用于工业加工和外科手术上。该器件选用

长脉冲氦灯泵浦, 且运转在较高小信号增益状况, 因而使平均功率和泵浦效率获得显著提高。器件工作频率 1~30 Hz, 峰值功率 5 kW, 光束发散角 10 mrad 左右。

二、新材料

2.1 系列化的磷酸盐激光玻璃

中国科学院上海光机所研制出磷酸盐激光玻璃, 并成功地应用于神光装置里的大型片状激光放大器。磷酸盐玻璃在 1.06 μ m 波长处的光吸收系数小于 $0.15\% \text{ cm}^{-1}$, 条纹度为 1 A, 应力双折射属于一类, 光学均匀性为 $2\sim 4 \times 10^{-6}$ 。同时又为中小应用研制了不同规格的掺钕磷酸盐激光玻璃系列, 包括有不同受激发射截面及高钕浓度的各种规格, 规格范围为 $\phi 6\sim 10$ mm, 长 70~150 mm。作成的器件重复率可大于 30 pps, 脉宽达 5~10 ps, 效率 1.5~2%。能部分取代 YAG。

2.2 高质量新型非线性晶体

中国科学院福建物构所研制出新型优质非线性晶体 LiB₃O₅。该晶体体积大、不易潮解、光学均匀性好、且破坏阈值高。用于倍频, 其倍频效率比用 KTP 时大 2 倍。另外匹配角可调范围为 1° , 利于调整。极适合大型、多级激光系统和商品激光器采用。

2.3 自激活激光晶体 NdAl₃(BO₃)₄

NAB 是一种高钕浓度、低阈值和高增益的激光晶体, 是较理想的小型固体激光器材料。中国科学院福建物构所找到了合适的新型助熔剂, 生长出光学均匀性好、大尺寸的新型助熔剂, 生长出光学均匀性好、大尺寸的 NAB 晶体。晶体毛坯尺寸 $20 \times 20 \times 45\text{ mm}^3$, 光学均匀性为 $0.3\lambda/\text{吋}$, 可加工成 $\phi 3.2 \times 23.7\text{ mm}$ 的激光棒。长脉冲激光能量达 422 mJ; 波长 1.063 μ m; 发散角 2 mrad。

2.4 优质 Nd:YAG 激光晶体棒

电子工业部第 11 研究所采取掺 Mg²⁺、控制气氛等措施, 生长出高 Nd 含量优质 Nd:YAG 晶体棒。Nd 浓度达到 1.1 ± 0.1

at%；晶体中无散射颗粒，无色心；消光比高，平均 41 dB；单位体积产生连续激光功率为 71 W/cm^3 。该晶体产品已在市场上出售。

2.5 新型激光染料

天津染料工业研究所研制出 ppo 和磺化三嗪基芪新激光染料。ppo 染料的性能：激光波长 370 nm，调谐范围 359~391 nm，效率 13%（用 N_2 激光泵浦），7.1%（用氙灯泵浦），吸收中心波长为 303 nm；磺化三嗪基芪染料的性能：激光波长 405 nm，调谐范围 400~480 nm，效率 24%（用 N_2 激光泵浦），吸收中心波长 340 nm。

2.6 激光防护玻璃

中国科学院上海光机所研制出紫外（200~320 nm）和红外（600~1100 nm）波段激光防护玻璃。利用掺杂着色剂玻璃对光作选择性吸收而实现防护。在防护波段透过率 $< 0.5\%$ ，可见光透过率 $> 50\%$ ，达到国际同类产品水平。

三、基础研究

3.1 获得 19 fs 激光窄脉冲

陈国夫（中国科学院西安光机所）等人在英国圣·安德罗斯大学物理系采用四棱镜群速度补偿、七镜水平喷流谐振腔结构的 OPM 环形染料激光器直接输出 $19 \times 10^{-15} \text{ s}$ 脉宽的激光窄脉冲，创造了世界窄脉冲最新记录。他们利用镀膜技术使激光反射镜具有黄光和红光截断特性，在保证获得短脉冲前提下对脉冲带宽作了适当的限制，从而提高了激光器工作的稳定性。另外吸收体的喷流厚度选为 $130 \mu\text{m}$ ，并选择了合适的增益介质浓度以增强可饱和增益的作用，进一步压窄了激光脉冲。他们的成功被誉为是激光时钟发出的最短滴答声。

3.2 铀原子的激光光谱研究

中国科学院上海光机所利用脉冲放电在铀的空心阴极中产生相当高的铀原子蒸气密

度，在停止放电阶段用自制的 YAG 激光器泵浦的两台可调谐染料激光器进行双频三光子电离，同时利用原有的电极收集电离信号的方法进行铀原子的共振三步光电离研究，并获得丰富的光谱数据。

中国科学院长春应化所在国内首先建立了激光光电流光谱法，测定了 ^{235}U 和 ^{238}U 的位移光谱及 ^{235}U 超精细结构光谱。这些光谱数据是激光分离同位素实用价值较大的三光子过程重要参数。

3.3 F_2/H_2 链反应脉冲化学激光器简化模型计算

中国科学院大连化物所完善了一个可同时计算 HF 的 7 种振动能级、14 种转动能级共 98 条激光谱线时间分辨特性的脉冲化学激光器简化模型。对 HF 化学激光研究很有帮助。计算结果可预言 H_2/F_2 反应的阻抑剂、引发剂、预反应等对激光性能的影响。

3.4 表面增强 Raman 光谱学

北京工业学院采用表面涂层技术进行表面 Raman 光谱的研究。突破了通常只能研究水溶性分子化合物的局限，有可能对大量非水溶性化合物进行 Raman 光谱测量，并能有效地抑制荧光背景干扰。可用于荧光化合物的 Raman 光谱测量。

3.5 钠蒸气中双支受激超喇曼散射的观察

哈尔滨工业大学光电子技术研究所用准分子激光泵浦的染料激光（ $\lambda \sim 578.76 \text{ nm}$ ， $E_p \sim 4 \text{ mJ}$ ）作激发源，同时观察到钠蒸气中 $3s$ 经 $4D$ 至 $4P_{3/2}$ 、 $4P_{1/2}$ 双支受激超喇曼散射。测量出它们的波长分别为 2.3387 和 $2.3356 \mu\text{m}$ ，调谐范围 30 cm^{-1} 。可望做成一种新的可调谐相干光源。

3.6 孤立波方法用于光学理论研究

上海光机所借助光与二能级原子系统相互作用的模型导出一般条件下光与原子相互作用的孤立波方程，求出精确解，导出存在解的两个必要条件，并推广到二波、三波情况。

计算模拟结果与激光实验情况基本一致。

四、激光技术的应用

4.1 淬硬宽度近 30mm 的热处理技术

激光热处理采用通常的聚焦法，一次扫描宽度小于 4mm。不适合处理较宽的零件，应用范围受到限制。

上海光机所设计成功宽带积分组合镜和摆动扫描镜等激光热处理用的光学系统。将热处理一次扫描宽度提高至 7~12mm。使用千瓦 CO₂ 激光，硬化层深度 >0.4mm。

天津纺织工学院研究了高功率激光在正多面体转镜上的扫描规律，用矩阵光学推导出反射光束的空间曲线方程，给出了激光淬火宽度表达式，并用多面体光学转镜应用于大功率激光热处理，使一次淬硬宽度达到 30mm，且连续可调。采用这种技术可扩展激光热处理的应用范围，也提高了处理效率和质量。在量具行业的块规和粮食工作的榨油机榨条的生产上使用，成效显著，年经济效益已达 150 万元。另外，还可用于大面积激光熔敷、激光合金化等多方面。

4.2 激光医疗机又绽新花

北京光电技术研究所推出外型美观、性能稳定和安全可靠的 YJ 系列 YAG 激光医疗机。该机采用微机控制，光纤末端激光输出功率大于 80W。用于治疗口腔、皮肤、食道及痔疮等癌取得了肯定的疗效。在治疗血管栓、心脏病等应用上也有好的结果。

浙江大学和浙江省医疗器械研究所联合试制出激光光敏治癌机。诊断用铜蒸气激光，波长 510nm，功率 30~200mW；治疗用铜激光泵浦（纵向）的染料激光，光转换效率为 40%，宽带中心波长 630nm，功率 750mW。均采用光纤耦合输出，可连续 8 小时工作。已在临床使用，有较好疗效。

上海光机所研制成功的 GZ 型砷化镓袖珍半导体激光光针，波长范围 820~870nm，最大功率 1.3mW，最高重复率 3kHz。利用

调整聚焦镜位置来改变进针深度。此光针已在上海 6 个医疗部门临床使用，效果良好。

在癌症诊断方面，复旦大学通过光学多道分析仪并使用内窥镜开展了早期癌症荧光光谱与图象综合诊断研究，提供了高灵敏、快速诊断手段。

4.3 新颖的激光光学仪器

合肥工业大学和中国科学院安徽光机所共同研制出 JWG 型激光微区光谱分析仪。该仪器以红宝石激光器作光源，最大激光脉冲能量大于 1.2J，能量起伏小于 ±5%；峰值功率大于 4.5MW；检测相对灵敏度为 10⁻²~4×10⁻³%，绝对灵敏度为 10⁻¹⁰~10⁻¹²g；空间分辨率为 10~200μm，并附有升温、降温和恒温系统，恒温精度为 ±0.2℃。该仪器可对物质进行微区、微量分析，具有分析准确、速度快、灵敏度高、不用制备样品和基本不破坏样品等优点。能广泛用于矿山、冶金、公安等部门。

设计新颖、功能齐全的便携式瞬态全息散斑照相机和激光雾化粒子照相机由北京光电技术研究所研制成功。这两种照相机均采用固体激光器作光源。后者用调 Q 红宝石激光照明，脉冲能量大于 1.5J，脉冲数 1~9 个，脉冲宽度 20~500ns。物方视场可为 24×24mm² 或 60×60mm²，物分辨率 0.005mm。可拍摄高速运动的微小颗粒瞬态照片，记录其分布、速度、尺寸等数据。该单位还用单脉冲红宝石激光进行了高速摄影。物方视场 φ300~500mm，捕捉速度范围为 1~7km/s，单站捕捉率 ≥90%。可应用在航天、航空和弹道等试验中。

除此之外，1987 年度还研制出了用半导体激光器制成的抗干扰力强和低功耗的激光防盗器、降低香烟内焦油含量的激光香烟嘴打孔机、剥离比发丝细的导线绝缘层的准分子激光剥离器等等。

最后，对提供本年度激光发展动态和信息的所有个人及单位，编者谨致谢意。