

# 红宝石激光器的新式泵浦

提要：采用新式泵浦系统和低损失的汞灯，可以延长红宝石激光器的使用寿命，也可提高它的重复率，这样，就有可能使红宝石激光器从实验室的仪器变为生产的工具。

目前已研制出一种红宝石激光器，其红色强光束不仅能应用于实验研究，而且能应用于生产。新型红宝石激光器的脉冲重复率比过去任何一种红宝石激光器都高，此外，它的光束可以聚焦成极小的点，价格较低廉，使用寿命也长。其奥妙在于采用了新的泵浦系统及一种专门设计以代替一般红宝石激光器氙灯的脉冲汞蒸汽灯。这种新型汞灯的寿命要比氙灯长 100~1,000,000 倍，而其成本比氙灯便宜 10 倍。

由西德的西门子与哈耳斯克公司研究出的这种新型激光器特别适用于工业上的微型加工，诸如熔化、钻孔、切割及装配等。在实验室条件下，这种激光器能够把铅蒸发到不需要的或有缺陷的元件上来校正大型集成电路列阵的接线，同时，能够部分蒸发物质来精确地调整厚的或薄的元件。

到目前为止，红宝石激光器的商品生产还受到三种严重缺陷的阻碍：

第一，出射光束还远远没有达到理想的程度，它们也不能聚焦到很小的点上。光束并未限于最易于准直的零级模式，因而光束的发散度要比所要求的大 10~100 倍。光束是不均匀的，即是说从一个脉冲到另一个脉冲变化时有最大值和最小值；

第二，一般作为光泵浦源的脉冲氙灯，

只能给出 100~100,000 个脉冲，这对于价值 100 美元的放电管来说，实在太不合算；

最后，典型的脉冲重复率在 0.1 至 1 赫之间变化。当然，也可以用通过冷却的方法来提高脉冲重复率，但这是不现实的，因为这样会加速脉冲灯的损坏，而且需要一个既庞大又高价的功率系统。

而这种激光器已基本克服了这些缺点。此种激光器的脉冲重复率的范围在 100 赫之内，它的椭圆反射泵浦系统能保证足够小的发散度及光束的高度稳定性，因为激光器辐射出具有理想圆截面的均匀光束，同时，几乎只在低模式上工作。

汞灯的使用寿命很长，达  $10^7$  次脉冲。此外，汞灯在电弧尺寸较小时也有很高的效率，而其价格仅 10 美元。所以汞灯代替氙灯是合算的。

用长仅 25 毫米、直径 2 毫米的红宝石棒制成的激光器，其绝对效率为 0.22% 左右（参看“红宝石激光器的工作特性”一表）。

图 1 示出的光泵系统<sup>[1]</sup>具有下述特性：它的效率不致因用了很短的晶体而减少（这是椭圆形系统所具有的特点），因为在这种结构中没有环形效应。红宝石激光器为了要在室温下获得连续振荡，这种类似的椭圆形系统很早以前就使用过了<sup>[2]</sup>。

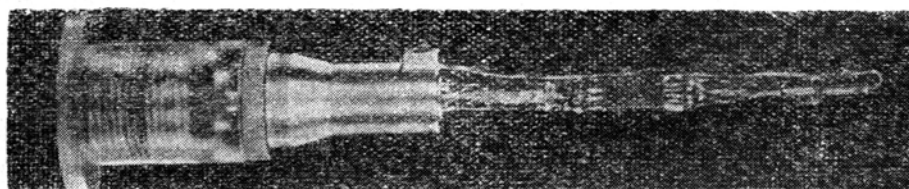
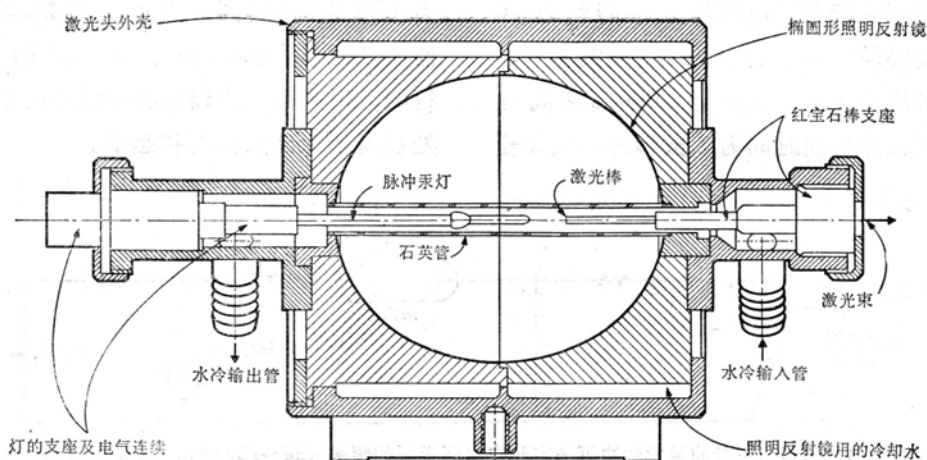


图 1 重复率为 100 赫的新型红宝石激光器。采用了椭圆形照明反射镜、长为 25 毫米的红宝石棒及高压脉冲汞灯。绝对输出效率为 0.22%。下图的照片是汞灯，它具有可互换灯座及电气接头。

### 红宝石激光器的工作特性

波长	6,943 埃
激光物质	红宝石, 长 25 毫米, 直径 2 毫米
红宝石体积	0.08 厘米 <sup>3</sup>
光泵脉冲持续时间	2 微秒
脉冲重复率	50~120 赫, 最适宜的重复率为 70 赫
脉冲阈值能量	2.5~3.5 焦耳
最高数据	
光泵能量	15 焦耳 (比阈值能量高 4~6 倍)
平均输入功率	1,000 瓦 (120 赫)
平均输出功率	2 瓦 (70 赫)
峰值输出功率	80 瓦
效率	
绝对效率	0.22% (70 赫)
微分效率	在光泵功率最大时为 0.87%
灯的使用寿命	10 <sup>7</sup> 脉冲或 70 赫时为 20 小时

如图 2 所示, 将汞灯装在椭圆反射镜轴上的一个焦点和邻近的顶之间, 在椭圆另一

半的相应位置装上红宝石棒。流经同心石英管的冷水对宝石棒和光源起冷却作用。光泵反射镜则由绕装置外部流动的水冷却。

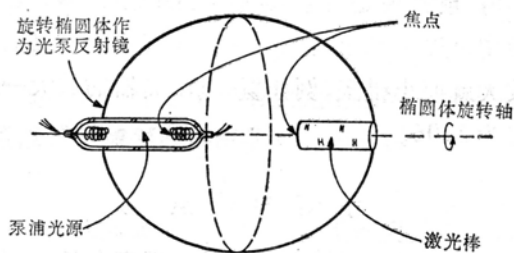


图 2 光源装在对称旋转椭圆形照明反射器的焦点及顶之间。光泵的光由椭球体反射后落到对面的模拟焦点一顶上, 在这个焦点上安装的是激光棒。

激光器的光泵脉冲由西门子公司 STE-6011 型闸流管触发器获得, 脉冲重复率可以在 50 至 120 赫之间变化。100 毫安左右的辅助电流由 1,500 伏的直流电源供给。

使用图 3 所示的电源装置商品后, 在 70 赫时, 获得最大输出功率。在这一频率下, 光泵的平均功率可在 500 至 1,000 瓦之间变化。光泵脉冲持续时间为 2 微秒时, 激光输

出脉冲的持续时间为 1~1.5 微秒。测得的阈值能量为 2.5~3.5 焦耳。测量是用间接法进行的, 因为甚至当输入功率最小时激光器也处在高于振荡阈值的状态下。

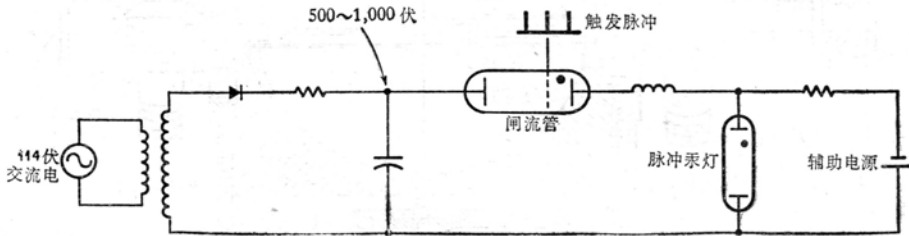


图 3 落到闸流管的触发脉冲可决定脉冲汞灯光泵的频率 (50~120 赫)。这是电源的简化线路图。

泵浦功率为 900 瓦, 并采用具有集聚反射镜(透射系数 10%)的棒时, 激光器的平均功率为 2 瓦, 脉冲功率达 80 瓦。工作了 20 个小时 ( $10^7$  个脉冲) 之后, 这一数值减少 30%。

高效率意味着电极的温升很轻微。灯可以做得很小, 且比氙灯便宜。

在一次实验中, 将红宝石棒的一端涂上非反射层并采用外凸反射镜。最大平均功率 1.5 瓦。将可饱和吸收体作为 Q 调制器时, 激光器能在 70 赫频率的“巨”脉冲状态下工作。光束一次通过时, 25 毫米长的棒放大为 1.5, 就是说是足够大的, 因此在激光器共振腔中可以有几个耗能元件。而气体激光器的放大就要小得多, 例如氩-氟激光器的放大一般为 1.06。

汞灯泵浦系统的总效率还可以提高, 因为它的发射光谱线与红宝石激光器的吸收带正好重合(见图 4)。

### 汞灯的优点

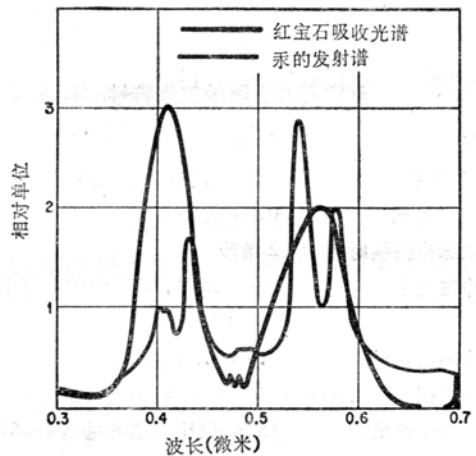


图 4 红宝石的吸收带与脉冲汞灯的发射谱线能很好地重合, 它们的峰值位置基本上在同一波长上。

汞灯的主要优点当然是使用寿命长, 而且不会劣化, 因为汞灯不存在象低压氙灯那样会使电报蒸发的低压放电阶段。在汞灯中保持内压为 100 个大气压左右, 这样就大大地减轻了汽化及劣化。

为了使汞能保持气态, 激光器应工作在高于平均功率最小值的状态下, 而且应基本上处于连续状态。上述激光器预计在 50 至 120 赫之间的频率下工作。

汞灯的另一个优点是采用短的放电长度时能获得很高的效率。对于氙灯来说, 如果放电长度小于 5 厘米时, 它的效率就会下降。

在差不多是连续工作的状态下, 激光棒

处于热平衡状态<sup>[2,3]</sup>。这对于产生同一的脉冲振荡来说是很重要的。

### 棒的变热

泵浦和振荡过程会导致红宝石激光棒变热。温度梯度会引起两端面的弯曲；同时，因为折射系数也依赖于温度，因此介质棒中的光路也会弯曲。可见，带有泵浦系统的激光棒的作用好似“透镜”一样，这种“透镜”的焦距依赖于棒中温度的分布，亦即依赖于光泵分布。

在高脉冲重复率工作的激光器中，由温

度梯度引起的棒端面的弯曲，实际上是固定的。但是，在单脉冲状态下工作的激光器又是另一种情况。在这种情况下，棒的弯曲强烈地依赖于时间，同时也随着激光器中热弛时间的长短而变化。在平面平行共振腔中，由于热引起棒的弯曲使固体激光器光束发散度劣化。但是在这种新型的红宝石激光器中，共振腔的这种球面热变化好象一种光学上的校正(见图5)。棒的两端面具有负曲率，因此，在热棒中的低模式光束能在束截面的任意点中垂直地落到反射镜上。这样，就存在低模式振荡。

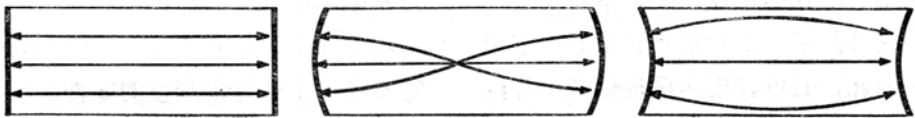


图5 共振腔的热弯曲。假设在具有平面平行端面的共振腔(左图)中，整个横截面中都有低模振荡。热弯曲使共振腔成为共焦状态(中图)；此情况下，低模振荡只在靠近轴的地方产生，同时抑制了高数量级的振荡。端面的负弯曲补偿了热效应(右图)。

值得注意的是，设计这样的激光器在低温时不产生单脉冲的振荡，因为共振腔的内弯曲会产生高的损耗，这一损耗是激光放大所无法克服的。只有当棒的热膨胀补偿了弯曲的一部分，并靠透镜的膨胀效应再补偿所余部分时，共振腔的损耗才能减小到阈值以下。结果表明，正确选定的补偿对光泵的平均功率是不太灵敏的，因此，高数量级的选择在所有可能的光泵功率上都能实现。

椭圆泵浦系统所以有好处是因为泵光的分布，因而热形变具有严格的旋转轴对称性。灯和激光棒都安装在椭圆反射镜的旋转轴上，使得通过灯横截面发出的光正好落在激光器的横截面上。因此，激光束的横截面具有理想的圆形，且没有明显的最小值。

相反，在圆柱形泵浦系统中由于象差的缘故，落在激光器横截面上的泵光在某平面上会有集中的现象。此外，棒中的温度梯度

能引起共振腔的弯曲和扭转，所以会导致光束发散度的劣化。

### 应用及今后的发展

自从上述激光器出现之后，它在经济方面所受的阻碍有所减轻。但这不是它唯一的优点。

在进行机械加工时，由于此种激光器能量小、脉冲重复率高，因此比能量大而只有单次脉冲的激光器精确得多。峰值功率的减小还能延长光学元件的使用寿命。

在测距技术中，因为此种激光束可准直至几秒弧度的角发散度，故可应用于具有高角分辨本领的快速测量及扫描装置中。在单程测量系统中，输入功率可以大大减少。

甚至长仅25毫米，体积小于0.08厘米<sup>3</sup>的红宝石的激光器，就可作多种实际的应用。

平均功率为 1.5 瓦时，聚焦后的光束能吸收物质——诸如铁氧体或厚的锗等——蒸发产生明亮的激光羽。具有高反射特性的金属如金、银等，它们的薄片也很容易用激光束来切割，可以得到 3~5 微米的工作直径。

活的组织会在平均功率小于 0.5 瓦的聚焦激光束下凝结。作者与瑞士伯尔尼大学的范克豪塞(F. Fankhauser)和洛特马(W. Lotmar)一起成功地进行了焊接视网膜的实验。在这些应用中，由于激光束几乎是稳定连续的，功率可调节，峰值功率又适度，因此，就具有了不可取代的优点。

由于此种红宝石激光束具有很好的空间相干性，因此，它可以用作重现全光照片图象的一个很好的光源。此外，它还可以用在复合散射光谱中，作为一种功率激励源。复合散射光谱这一方法，在化学工业中广泛用来测定有机体的结构。

此种红宝石激光器的今后应用还可能在

巨脉冲方面。频率为 70 赫时，持续期为 30 毫微秒、峰值功率为 10 到 100 千瓦的巨脉冲已在单轴和横向波型的条件下获得。人们认为，在 70 赫时，在这样小的红宝石体积中获得功率为 100 千瓦的巨脉冲还是迄今为止的最高记录。最大功率为 100 千瓦时，平均功率为 100 毫瓦。工作物质尺寸为上述宝石 30~100 倍的红宝石激光器，在单脉冲状态工作时可以得到  $10^6 \sim 10^9$  瓦数量级的功率。

目前，一般都是研究大体积晶体激光器应用的可能性。对于这类研究，正在制作一些专门的脉冲灯。看来，用长为 75 毫米、直径为 4 毫米的红宝石棒，可以获得 30 瓦的平均功率和 1% 的效率。在这样的功率水平下，激光器可用来焊接笨重的零件。

### 参 考 文 献 (略)

译自：D. Roess, G. Zeidler; *Electronics*, 1966  
(Sept. 5), 39, №18, 115~118

## 激 光 光 束 监 控 器

许多外科医生都不愿在手术室中使用激光器，因为不停止工作，就无法检查所用的激光束的能量。但是，除非知道其能量水平，使用时常常就会有烧灼过度的危险。

法国有一位研究者现已研制出一对控制器，不必插入光束中，就能量出激光器的输出。法国的施奈德无线电电视仪器公司已研制出一种数字焦耳计，以配合这种探测器使用。

法国教育部所属的国家科学研究中心激光实验室的领导人布吕马(M. Bruma)领导研制激光能量探测器的小组工作。一种接收

器为一平面薄膜装置，另一种为一中空陶瓷圆柱体。接收材料保密，只透露此种材料具有半导体与压电的特性。

此种薄膜探测器的反应较快，可拾取 10~100 毫微秒持续时间的 Q 开关激光脉冲。装置与激光束并排放置，其作用象一台低阻抗发电机。

当激光通过陶瓷圆柱体时，它便起一个电压发生器的作用，产生高于 1 兆欧姆的阻抗。圆柱体仅拾起较长的脉冲，最短为 2 或 3 毫秒。与薄膜探测器不同之处在于，圆柱体可将激光束的整个脉冲功率进行积分。典