

红宝石激光眼科治疗仪机理探讨

广西科学院物理室 刘玉生 樊宝忠 潘心红

提 要

本文主要介绍红宝石 ($\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}^{3+}$) 激光眼科治疗机的治疗原理、激光器的工作原理以及该机的主要技术指标, 并对该机的结构形式和存在问题进行分析讨论。

一、前言

应用红宝石晶体材料产生的 6943\AA 激光进行人眼疾病治疗的新技术国内已有了些报道, 这方面的仪器也正在不断地加以改进。然而, 对于我区来说, 这方面的技术应用还是比较少的。为此, 我们和广西医学院修配厂共同协作, 承担研制一台具有我区特点的红宝石激光眼科治疗机。经过一年多的共同努力, 于一九七九年试制出一台样机, 并交付广西医学院附院眼科临床应用 (待区科委安排鉴定)。目前, 样机运行良好, 性能较稳定, 达到了设计要求。本文主要介绍红宝石激光器的原理, 样机设计的性能, 特点及一些实验情况, 并对一些问题进行了讨论。

二、治疗原理

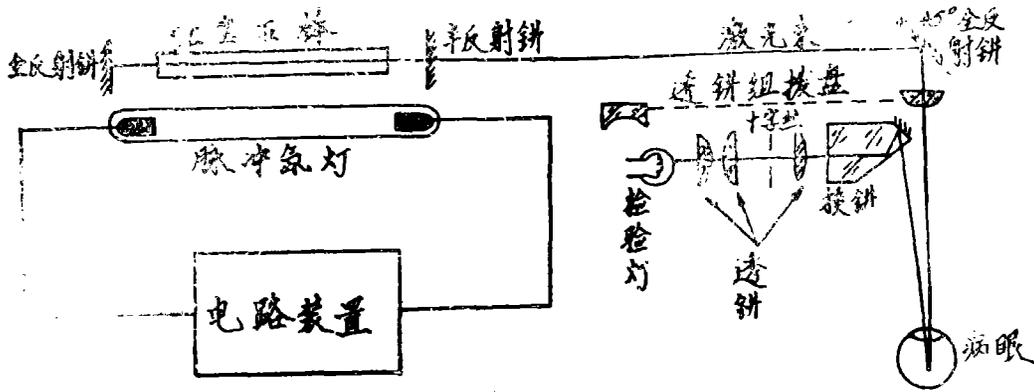
人眼是一个结构复杂而又十分精密的感光器, 眼睛对激光的反应是有选择性的, 角膜是透明组织, 可透过 2950\AA 以上的光波; 晶状体是一种透明可调节的双面凸透镜, 其成份是纤维构造的致密而有弹性的蛋白物质, 可透过 3800\AA 以上的光线; 玻璃体是一种透明的蛋白物质, 它对光线进行附加的折射; 这些组织构成眼睛的光学系统, 再加上瞳孔的调节作用, 使人眼可以看到客观存在着的物体。由于激光本身的特点, 在治疗眼科疾病时是利用它与人眼相互作用产生的热效应和压力效应。红宝石激光器输出波长为 6943\AA , 这种波长的单色光对人眼睛的透明屈光间质 (角膜、房水、晶状体、玻璃体) 有较高的透过率, 不会受到激光的损伤, 而虹膜色素、视网膜色素则对此种波长的光有强烈的吸收。激光治疗眼底视网膜裂孔, 就是利用激光在透过角膜、晶状体、玻璃体等组织不被吸收, 而到达眼底视网膜时被强烈吸收, 致使裂孔周围组织局部烧伤并产生粘连达到封闭治疗的目的。用这种办法治疗眼底病, 能缩短治疗时间, 减轻病人痛苦。实践证明, 这是一种很好的治疗方法。

三、激光原理

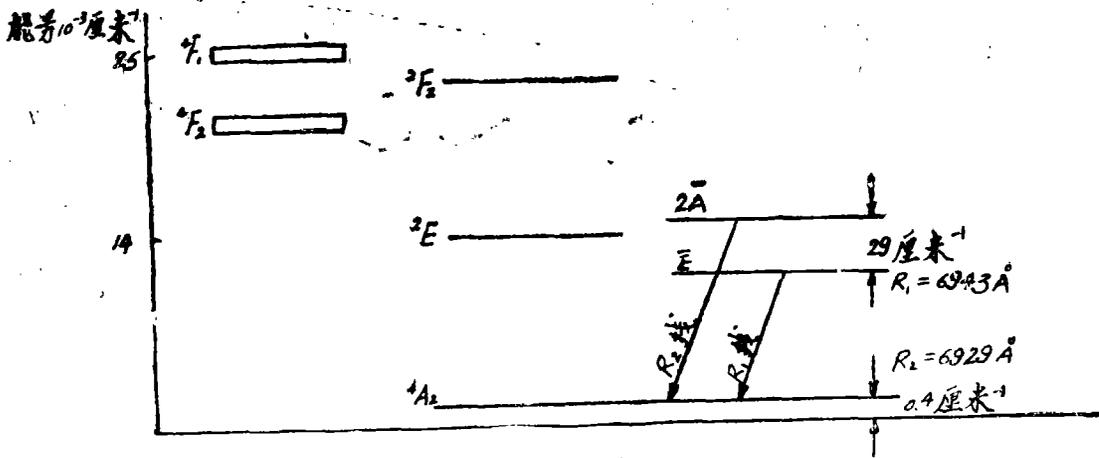
激光眼科治疗机工作原理如图 (1) 所示。激光工作物质是红宝石棒, 其化学表示式为 $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}^{3+}$, 在光照下呈淡红色, 故称为红宝石。红宝石中的 Al_2O_3 成份称为基质。由于红宝石的吸收和发光是掺入晶体内呈离子状态的铬离子, 称为激活离子。其激发能级如图 (2) 所示。图中 $^4\text{A}_2$ 是 Cr^{3+} 的基态, $^4\text{F}_1$ 、 $^4\text{F}_2$ 是两个分布很宽的能级, 当光照射到红

本文1982年7月17日收到

宝石上时，由于红宝石吸收光谱的峰值在光谱紫区和绿区，紫光被铬离子吸收，从基态 4A_2



图(1)、红宝石脉冲激光眼科治疗机工作原理图



图(2)、红宝石激发能级图

跃迁到 4F_1 能级，而绿光被吸收，从基态 4A_2 跃迁到 4F_2 。但处于 4F_1 、 4F_2 上的铬离子是不稳定的，离子被抽运到吸收带后，在短于 10^{-7} 秒内就快速落到紧挨着的 2E 能级中去（这两个能级彼此分开 29厘米^{-1} ）。 2E 能级是一亚稳态，铬离子在 2E 上可停留较多的铬离子，所以在 2E 和 4A_2 之间能达到粒子数反转。因为 2E 态是由数量相差 29厘米^{-1} 的两个支能级 $2\bar{A}$ 和 \bar{E} 构成，而基态 4A_2 虽然也由能量相差 0.4厘米^{-1} 的两个支能级构成，但它们之间能量之差太小，所以对激光作用实际是三能级式， $2\bar{A}$ 和 \bar{E} 均向 4A_2 跃迁发光， $\bar{E} \rightarrow ^4A_2$ 产生 $R_1(6943\text{Å})$ 光谱线， $2\bar{A} \rightarrow ^4A_2$ 产生 $R_2(6929\text{Å})$ 光谱线。 R_1 线与 R_2 线中心波长处的荧光强度虽然不大（约为7:5），但一方面由于 R_1 线跃迁几率比 R_2 线大，另一方面由于 $2\bar{A}$ 能级与 \bar{E} 能级间热弛豫时间极短（ $\sim 10^{-9}$ 秒），使得 \bar{E} 能级上粒子数始终保持大于 $2\bar{A}$ 能级上的粒子数（室温下约多12%左右），因此在强光泵和加光学共振腔的情况下，激光振荡一般始终发生在 R_1 谱线处，而 R_2 线则不能形成振荡。所以，本机产生激光输出的波长是 6943Å 。

四、激光技术指标及光路说明

本仪器主要是用于人眼虹膜打孔和视网膜凝结。根据国内外有关资料报道介绍，通常用于视网膜凝结所需激光能量为0.5—0.8焦耳。而虹膜打孔能量略为高些，约为1.2—1.5焦耳。激光所发出的能量只要经过光学聚焦，就能起到眼科医疗的效果。

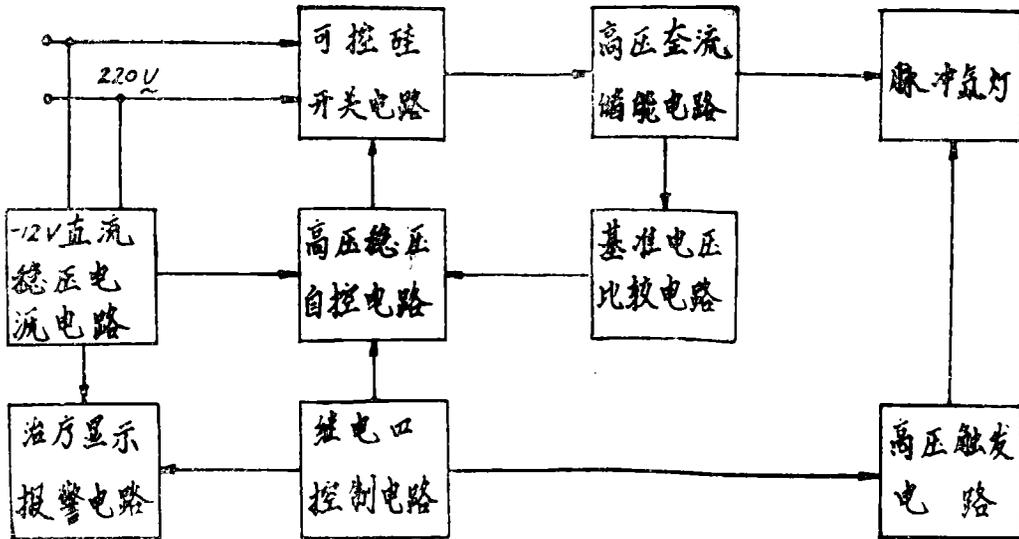
根据技术要求，我们参照国内有关经验，定出了本仪器的技术指标与研究方案。

激光器由红宝石棒（ $\phi 6 \times 80\text{mm}$ ）、脉冲氩灯（ $\phi 10 \times 80\text{mm}$ ）和光学共振腔组成。聚光腔为圆柱状镀银抛光，红宝石棒和氩灯一起密封在聚光腔内。工作时，对工作物质和氩灯进行水冷。光学谐振腔两端面上由全反射镜和半反射镜组成，分别固定在聚光腔两端面上，并有可调装置。同时根据使用者的要求，输出光路还附有照明光路。激光光路与照明光路同轴，以便达到使用方便。考虑到一机多用的特点，我们选用如图（1）的光路系统。

本机的光路特点是，可用时用于虹膜打孔和视网膜裂孔凝结以及眼底出血积血等。当激光由谐振腔内产生形成后，就由半反射镜向外输出，我们在光路上加上一块 45° 全反射镜，将光路进行 90° 转折，形成与照明光路同轴。当医生通过检眼镜看清目标，即激发激光，就可起到打孔和视网膜凝结的效果，考虑到每个人的屈光度不同、在进行能量聚焦时，我们采用各种不同规格的透镜组成的透镜盘，医生使用时可根据不同情况，选用不同焦距的透镜。为使照明光路与激光光路同轴，我们在照明光路中做了调节装置，这样就可随时调节改变照明光点位置，以确保光路同轴。

五、电子线路装置的说明

本装置提供了小型轻便，性能稳定，结构简单，操作方便，易于维修及拆装搬运的电路装置，其原理方框图如下。从本机的电路原理图中可看到，各个单元电路基本上都是选用了



图（3）. 红宝石脉冲激光眼科治疗机电路方块图

该种类型的典型电路。而在整流电路中，根据不同的需要，系采用半波整流、桥式整流，还采用了倍压整流，对于报警电路的音频振荡器，考虑到体积和经济问题，这里不采用LC电路，而是选用了典型的RC移相式振荡电路。

六、能量输出的测量

为了保证本机有足够的能量输出，以便达到治疗效果，我们对本机的激光输出能量分别进行了不经光路损耗和经过光路损耗的测试。

根据输入能量公式：

$$W = \frac{1}{2} cv^2 \quad c\text{—电容、}v\text{—电压}$$

由于我们选用电容为2000 μ f，在输入电压为800v时，输入能量为

$$W = \frac{1}{2} cv^2 = \frac{1}{2} \times 2000\mu\text{f} \times 800^2 = 640\text{焦耳}$$

经过测试证实本机虽然有一定的光路损耗，但仍然满足工作需要。在输入能量为640焦耳时不经光路损耗输出量达1.6焦耳，转换效率为2.5%。经光路损耗时输出能量为1焦耳，转换效率为1.6%，从而可起到虹膜打孔及视网膜凝结的治疗效果。测量数据参看下表：

能量测量对比表

电容 μ f	输入电压 v	输出能量 焦耳（不经光路）	输出能量 焦耳（经光路）	转换效率 %
2000	620	0.03	0	2.5 (不经光路)
	640	0.08	0.03	
	660	0.15	0.06	
	680	0.3	0.15	
	700	0.4	0.27	1.6 (经光路)
	720	0.63	0.33	
	740	0.8	0.45	
	760	1	0.57	
	780	1.3	0.7	
	800	1.6	1	
	820	1.8	1.2	
	840	1.9	1.4	
	860	2.1	1.6	
	880	2.2	1.8	

七、问题讨论

1、工作物质的保护

鉴于红宝石吸收光谱的峰值在光谱的紫区和绿区，即对应于能级图中所示 $4F_1$ 、 $4F_2$ 能级。当氙灯结光以后，其发出的光能中，只有其中紫区和绿区部分的光被吸收而转换，其他部分的光能则转变为热能，这一部分能量对激光振荡并无起到收益作用。根据此种情况，我们应当将除紫光 and 绿光以外的光进行过滤，以保证工作物质其内部结构工作正常，这时我们可选用青玉外套材料套在红宝石棒外，即能起到这一效果。但由于材料来源困难，故没有解

决这一问题，如果将这一问题解决，对激光输出的稳定性将有很好的效果。

2、能量损失问题

从输出能量测量表中我们可以看到，经过光路损耗与没经光路损耗比较能量损失较大。例如在输入能量为640焦耳时，输出能量经光路为1焦耳，不经光路为1.6焦耳，可见能量损失将近40%。这其中有一相当重要因素就透镜没有进行镀膜，一界面反射损耗可达4%，两个界面就为8%。可见我们的能量损耗有很大一部分是损耗在镜片上，如果我们将镜片镀上透过率为98%的增透膜，就能大大减少反射损耗，以保证有足够的能量输出。在同样的治疗效果下，如减少输入能量，对氙灯和红宝石也都有好处，可以延长其使用寿命。