

Nd: YAG 激光器的特性及其在医学领域的应用

李成凤

激光是 60 年代初出现的一种新型光源, 激光以其高亮度、高单色性、高方向性和高相干性, 引起普遍重视, 并很快在工农业生产、科学技术、医疗、国防等各个领域得到广泛应用。激光医学是激光技术与医疗科学有机结合的产物, 激光在 70 年代开始广泛用于临床; 90 年代, 随着新型激光器的研制成功, 激光与医疗、生物组织科学紧密结合, 研究范围日益扩大。

Nd: YAG 激光器以其增益高、阈值低、量子效率高、热效应小、机械性能良好、适合各种工作模式(连续、脉冲)等特点, 在当今各种固体激光器中应用最广泛。目前, Nd: YAG 激光治疗仪以其安全可靠、操作简便、携带方便、性能稳定、价格低等优点, 已成为激光医疗中的主要设备。不同波长的激光与物质相互作用的效果是不同的, 不同波长的 Nd: YAG 激光器采用连续、脉冲等方式工作使激光与不同部位的生物组织相互作用, 可以获得良好的疗效。医用 Nd: YAG 激光器在外科手术、眼科、牙科、口腔科、耳鼻喉科、皮肤科、美容等方面应用广泛, 特别是治疗皮肤色素性疾病, 有创伤小、愈合好、无疤痕等独特优点, 本文主要介绍 Nd: YAG 激光器的特性以及在治疗皮肤疾病方面的应用, 使读者了解各种激光器的性能及不同种类激光治疗仪的治疗效果。

一、Nd: YAG 激光器的特性

能产生激光的系统, 称为激光器。一台简单的激光器通常由工作物质、泵浦源和谐振腔三部分组成。自 1960 年第一台激光器诞生以来, 已有上百种激光器问世。形形色色的激光器彼此之间差异极大, 根据产生激光的工作物质, 有气体、液体、固体和半导体激光器等。固体激光器是以固态基质中掺入少量激活元素为工作物质的激光器, 工作物质的物理化学性能主要取决于基质材料, 而其光谱特性主要由发光粒子的能级结构决定。但发光粒子受基质材料的影响, 其光谱特性将有所变化, 有的甚至变化很大。用作基质的主要有刚玉、石榴石晶体及各种玻璃等。发光粒子称为激活离子, 最常用的激活离子为钕、铬等稀土元素离子。例如世界上第一台激光器所用工作物质为红宝石, 就是掺入极少量铬离

子的刚玉。以掺有一定量钕离子(Nd^{3+})的钕铝石榴石(YAG)晶体为工作物质的激光器, 称为掺钕钕铝石榴石(Nd: YAG)激光器。掺钕激光器是当前应用最广泛的固体器件之一, 在激光加工、医疗、军事等领域应用广泛。

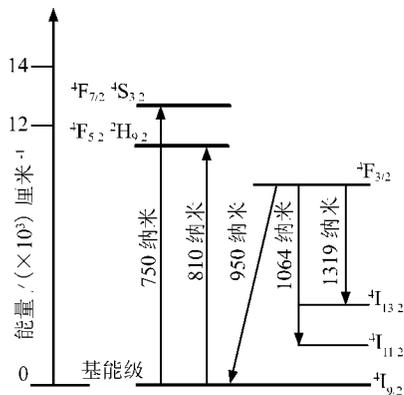


图1 Nd: YAG 的能级图

Nd: YAG 激光器为四能级系统, 室温下有多条荧光谱线, 正常工作条件下(室温) 1064 纳米波长激光振荡最强, 简化能级如图 1 所示。如果在谐振腔中插入标准具或色散棱镜, 或以特殊设计的谐振腔反射镜作为输出镜, 使用镀有高度选择性介质膜的反射镜, 抑制不需要的波长的激光振荡, 可获得所需波长的激光跃迁, 如 1319 纳米、1338 纳米、946 纳米等。输出波长为 1064 纳米的 Nd: YAG 激光器, 经过倍频(KTP)晶体后可产生波长为 532 纳米的激光。输出光有连续、准连续等形式。

Nd: YAG 中掺入 Nd^{3+} 浓度应合理, 掺杂浓度高, 则吸收率高、反转粒子数高、激光器的效率高, 但是掺杂浓度太高时, 转换效率不仅不会增高, 反而会下降, 甚至出现浓度淬灭现象。Nd 原子浓度一般在 0.5% ~ 1.5% 以内, 浓度较高会缩短荧光寿命, 使展宽线变宽, 在晶体中引起应变, 最终导致光学质量变差、效率降低。应用中, 可根据需要选择合适的掺杂浓度, 从而提高激光器的性能, 对于 Q 开关* 运转, 选择高浓度的掺剂(1.2%), 以产生高储能; 对于连续运转, 通常选择低浓度的掺剂(0.5% ~ 0.8%), 以获得优良的光束质量。增益介质的尺寸通常根据激光器的增益选择, 高增益的激光器选择大尺寸的

YAG棒,长度可达150毫米,低增益的激光器通常选择短的激光棒,有几毫米或十几毫米,太长的激光棒不仅不能提高增益,反而会因为吸收损耗等因素而降低效率。

Nd:YAG激光器采用激光二极管(LD)作为泵浦源,体积小、重量轻、效率高、寿命长,不需要冷却系统,为激光系统小型化提供了有利条件。LD泵浦Nd:YAG激光器的结构形式有端面泵浦和侧面泵浦两种。端面泵浦方式灵活方便,通过光纤耦合的泵浦光发散角小,可与固体激光器的基模相匹配。侧面泵浦可采用多个LD阵列,散热效果好,可提供较强的泵浦光,适合大功率运转。

LD泵浦的全固态调Q激光器是把能量以激活离子的形式存储在增益介质的激光高能级上,集中在一个很短的时间内释放出来,可产生高重复频率、高峰值功率、脉宽可调节等特性,在光学检测、原子分子物理、光谱学、非线性光学、激光医疗、激光雷达和光电对抗等领域具有重大应用价值。Q开关激光器脉冲短、峰值功率高,热效应小,Q开关激光聚集在靶点组织时会产生冲击波,靶点组织受到机械性的微爆破作用。国内外已有很多关于Q开关Nd:YAG激光在医学领域中各个方面的应用报道,如外科手术、眼科、牙科、口腔科、耳鼻喉科、皮肤科等。调Q激光器的工作方式多种多样,分为主动式调Q、被动式调Q、转镜调Q等。主动式调Q激光器主要有声光调Q、电光调Q,可饱和吸收调Q激光器是被动式调Q激光器。

声光Q激光器具有插入损耗小、调制电压低、易与连续激光器配合获得高重复率巨脉冲、稳定性好等优点,但对高能量激光器的开关能力较差,只能用于低增益的连续激光器。电光Q开关激光器具有开关时间短(10^{-9} 秒)、输出脉宽较窄(10~20纳米)、效率高、调Q时刻可精确控制、峰值功率高(几十兆瓦以上)等优点,缺点是半波电压较高,需要几千伏的高压脉冲。被动式可饱和吸收调Q激光器适于高重复频率、高功率的激光器,产生窄脉宽巨脉冲的同时,谱线变窄,达到选择相同能量和动量光子的作用,但它是一种被动式Q开关,不能人为控制调Q脉冲的产生时刻。转镜调Q激光器属于慢开关型,无插入损耗、无光损伤,用于能量较大的脉冲激光器,可获得峰值功率在几十兆瓦以上、脉宽为纳秒级的巨脉冲,主要缺点是高转速下的机械磨损影

响其使用寿命,且装配工艺要求高,目前已基本不用。

二、Nd:YAG激光器在医疗方面的应用

激光治疗皮肤色素疾病以及激光美容的理论依据是1983年美国的安德森(Anderson RR.)和帕里什(Parrish JA.)医生提出的“选择性光热解”理论。选择性光热解作用就是激光能量有选择地被某些特定组织成分吸收,热效应产生的热量破坏这些特定的组织成分。人体自身的免疫和代谢系统可将这些被破坏的组织碎屑吸收并排出体外,从而达到治疗色素疾病的目的。该理论指出了皮肤组织对不同波长激光吸收的差异,以及不同脉宽的激光脉冲对各种皮肤疾病的影响。该理论是激光治疗皮肤类疾病的基础,为激光医学的发展指引了方向,推动了医用激光器的迅速发展。在随后十几年里,医学领域涌现了大量不同波长的激光器。这些激光器在治疗色素类疾病(如太田痣、胎记、雀斑、黄褐斑、老年斑)以及血管类疾病(如鲜红斑痣、血管瘤、毛细血管扩张)等方面都取得了较好效果。激光利用选择性光热解作用原理治疗皮肤疾病,可对目标组织产生局部的高度破坏,而对周围组织的伤害很小。为了达到选择性光热解作用,必须选用恰当的波长、脉冲宽度以及能量密度,不同组织吸收不同波长的激光,我们通常希望激光器光子能量的绝大部分能够被目标组织吸收,而被周围组织吸收的较少。

Nd:YAG主要的三条荧光谱线中,中心波长1064纳米的激光最容易形成振荡,谱线荧光最强,约占整个谱线能量的60%,它可以较深地穿透皮肤,被黑色素细胞高度吸收,能更有效地清除较暗色或发炎的组织。根据选择性光热解作用原理,可用于治疗皮肤深层的色素疾病,当今医用Nd:YAG激光器的输出波长多是1064纳米。面部色素性病变传统的治疗方法有冷冻术、皮肤磨削术、化学剥脱术及二氧化碳激光治疗术等,现在已逐渐被全固态激光治疗所取代。用1064纳米Nd:YAG调Q激光治疗面部色素性病变时,应根据病变的性质、病灶的部位、患者的年龄及性别等因素合理判别治疗参数,并在治疗过程中进行适时调整,找出具体的最佳治疗参数标准,病变组织选择性吸收激光的能量后即被粉碎,并逐渐被自身吞噬细胞清除,最终达到祛除病灶且不留斑痕的目的。

1064纳米波长的激光穿透力深,可被皮肤深层

的黑色素细胞选择吸收,治疗太田痣时对其周围组织热损伤小。而 Q 开关则利用其冲击波的脉冲波将色素细胞击碎,再通过吞噬细胞将色素颗粒吞噬,使色素减退且不留疤痕,具有高选择性、高效性、安全可靠、操作简便的优点。由纹眉所致异物反应屡见不鲜,纹眉液色素物质残留于局部,出现红肿、浸润、鳞屑、瘙痒。以往通过外用或局部注射皮质类固醇仅能缓解症状,不能清除病变,局部炎症还会复发。采用 1064 纳米激光治疗时,纹眉液中色素颗粒选择性吸收激光能量后被击碎,网状内皮系统会将其吞噬、排泄,从而祛除病因。另外,由于该仪器采用 Q 开关技术,光能量在 5~10 秒内释放出来,作用时间短,对周围组织热损伤小,可避免疤痕、萎缩或皮纹改变等现象,且无色素减退或沉着。1064 纳米经倍频晶体产生 532 纳米激光输出,对褐色、红色的皮损和色素有效,皮肤中的色素颗粒吸收激光后破裂,而细胞框架则被完整保留,皮肤能很快康复。这一波长的激光用于治疗雀斑,副作用小、操作方便、无疤痕,且术后护理要求低。

1064 纳米 Nd:YAG 激光切除人工晶体前膜安全有效,患者没有不适感,不需要全身麻醉,减小了手术风险,已替代传统的手术切除虹膜,成为青光眼的首选治疗方法。

激光手术温度高,有很好的杀菌作用,术后很少感染;激光治疗安全,基本上没有并发症,手术时间短、止血效果好、伤口愈合快;激光束能量高,能到达普通手术刀无法进入的部位,并且位置精确,可以做显微手术,减少了对病变以外组织的伤害。1064 纳米 Nd:YAG 调 Q 激光还可用于治疗喉和咽喉部血管瘤、后发性白内障、牙周病等疾病。性能独特的 Nd:YAG 激光器必将越来越广泛地用于医疗领域。

(山东省临沂师范学院实验中心 276005)

* Q 称为品质因数,它与谐振腔的损耗成反比,如果改变损耗,就可以使 Q 值发生相应变化,这种技术称为调 Q 技术。在泵浦开始时使谐振腔高损耗、低 Q 值,不能形成振荡(即不能产生激光),使高能级的反转粒子数大量积累,到最大值时,损耗突然减小, Q 值突增,激光振荡建立,产生峰值功率很高的巨脉冲激光。用不同的方法控制不同类型的损耗,就形成不同的调 Q 技术,由此可做成不同类型的 Q 开关。

科苑快讯

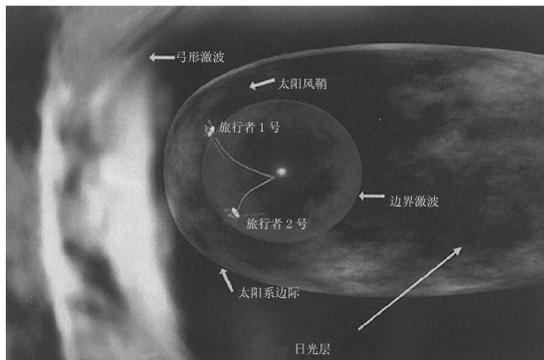
太阳系形状并非对称

在 28 年半的行程中飞越多颗行星的“旅行者 1 号”和“旅行者 2 号”飞船正在向科学家们提供日光层的信息。日光层像一个泪珠形的气泡,把太阳系与星际空间分开。

在美国地球物理学联合会(American Geophysical Union)和相关地球科学协会组织召开的五月会议上,美国加利福尼亚理工学院的爱德华·斯通(Edward Stone)报告了日光层变形的消息——“泪珠”的圆形边缘顶部(太阳系的北半球)突出、底部(太阳系的南半球)变扁。美国约翰·霍普金斯大学应用物理实验室(Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory)的罗伯特·德克(Robert Decker)解释说,不对称是由于微弱的星际磁场(强度只有地球磁场的 $1/10^5$)作用于太阳系南半球造成的。星际磁场甚至推挤边界激波区,在这个边界处,飞驰的太阳风突然慢下来并累积起来。

“旅行者 2 号”的测量数据表明,边界激波区南半部距离太阳可能比北半部近 10 亿英里(1 英里=1.609 千米)。“旅行者 1 号”已经飞越边界激波区进入太阳风鞘(如图所示),太阳风在太阳风鞘处会

慢下来,因为它与电离的星际气体相互作用。爱德华·斯通猜测,这两艘飞船正朝着弓形激波区(由于星际气体受太阳风作用而挤压形成)飞去,在飞过太阳系边缘进入星际空间之前,可能还需要 10 年(行程 3~4 亿英里)。两艘飞船剩余的动力还能维持 15 年。



(高凌云译自 *Physics Today*, 2006 年第 7 期)

