

液态水的光学击穿效应*

李祥生 郇宜贤 王应宗 傅克德

(陕西师范大学物理系, 西安 710062)

提要 详细描述了液态水光学击穿现象并且对该效应的机理做了初步探讨。

关键词 光学击穿效应, 多光子光致电离, 穴蚀效应

1 样品及实验装置

我们采用二次蒸馏水作为实验样品。实验装置如图1所示。图中, Quanta-Ray DCR-3型Nd:YAG脉冲激光器输出的激光(波长1064 nm, 532 nm, 重复频率10 Hz, 脉冲宽度8 ns)经反射镜后由分束镜($R_{532} > 99\%$, $T_{1064} > 94\%$)分为两束。一束532 nm激光经触发信号发生器到取样积分器, 控制取样门; 另一束1064 nm激光经反射镜($R_{1064} \geq 99\%$)然后聚焦至盛水样品池中央。所产生的信号进入光栅单色仪, 经取样积分器后由谱图记录仪记录光谱分布。HB₆₀₀滤色片是为了保证入射样品的1064 nm激光的纯度, QB₁₁滤色片是为防止1064 nm激光直接进入单色仪。

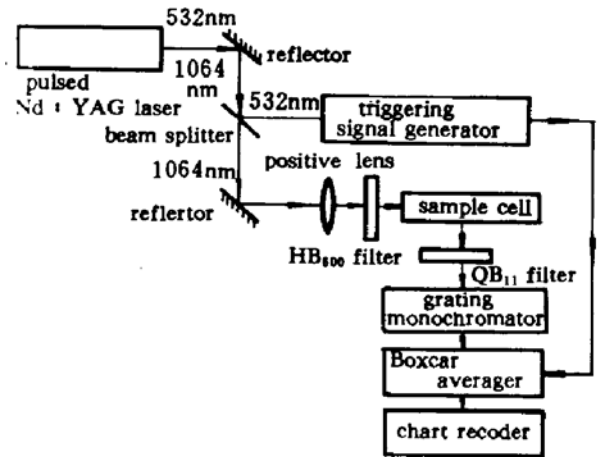


Fig. 1 Experimental diagram

2 实验结果与分析

2.1 实验结果

2.1.1 室内空气的光学击穿

为了进行比较,我们对空气击穿做了测试。当入射激光能量小于40 mJ时,无击穿现象,大于40 mJ才有间断击穿效应,只有超过100 mJ时,才有明显的连续击穿效应,出现明亮耀眼的放电闪光点,并伴随刺耳的尖锐卡塔声。

2.1.2 液态水的光学击穿

1064 nm激光聚焦于水中,当激光能量超过34.1 mJ(约为空气的三分之一)时,则出现明显的光学击穿效应。

* 陕西省自然科学基金资助项目。

如图 2 所示,水中击穿时,在焦点附近的光路中出现数个明亮的闪光点,同时出现悦耳的声响,并且伴随大量水滴溅射,产生许多气泡,然后缓慢地浮出水面。按图 2 进行测试,在光学击穿时,大约有 70% 的激光能量被水分子吸收。

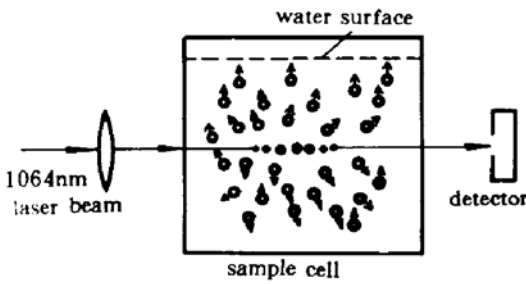


Fig. 2 Schematic illustration of breakdown in water

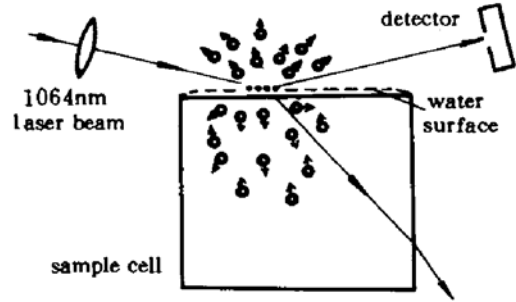


Fig. 3 Schematic illustration of breakdown on water surface

如图 3 所示,水表面击穿时,表面上侧产生大量的溅射水滴。当激光能量较大时,水表面出现动荡,并有大量水珠被抛离水面,而表面下侧则与水中击穿情况一样。放电闪光点集中在焦点附近,声响情况接近空气击穿,有刺耳的卡塔声。

2.1.3 水光学击穿的几个效应

(1) 闪光效应 随激光能量增加,闪光点数目增多,光点变大,亮度增强,并左右动荡,总长度约 1 cm。闪光点大小以焦点处为大,远离则变小。这些闪光点是强光场引起雪崩放电所致。此闪光效应与一般电学击穿不同,没有明显的放电击穿光路。所以,文献[1]中“和雨天打雷闪电一样”的描述是不恰当的。

(2) 声响效应 伴随闪光效应同时出现悦耳的声响,如同敲击木鱼声。此声响完全不同于空气击穿所产生的那种刺耳的啪啪声,也不是文献[1]所描述的刺耳的“尖锐卡塔声”。只有空气击穿或水表面光学击穿才有刺耳的“尖锐卡塔声”。此声响效应是放电时所产生的液力脉冲引起的。由于放电区周围有水,所以声响频率较低,悦耳动听。

(3) 溅射效应 光学击穿时,由于放电等离子体所产生的液力脉冲(液力冲击和穴蚀冲击)作用,不论水表面还是在水中,都有明显的水滴溅射现象,见图 2 和图 3。

(4) 穴蚀效应 当激光聚焦在样品池器壁附近时,由于穴蚀效应,玻璃器壁上出现损伤痕迹,类似于液电效应^[2]。它是穴蚀冲击引起的。此效应在冷加工方面将有广泛的应用。在激光治疗中,激光切除生物组织很可能就是依据这个效应(也有人认为是水分子的迅速气化)。

2.1.4 光学击穿的光谱记录

按图 1 所示装置,我们记录了液态水光学击穿时的光谱分布。图 4 是光谱分布随入射激光能量的变化。

2.2 分析讨论

图 5 是水的能级图^[8],图中未考虑振动和转动,能级位于能带的中央。由图可见,对 1064 nm 激光来说,单光子吸收不可能造成水分子的激发、离解以及电离。因为它的光子能量为 1.165 eV,相应的波数为 9398.5 cm^{-1} 。

在强激光场作用下,多光子过程很容易导致水分子的光致激发,光致离解,光致电离。激光能量大于 0.1~1 J,通常就会产生这种电离过程^[4]。水的离解能为 5.113 eV,电离能为 12.61

Optical Breakdown Effect in Water

Li Xiangsheng Huan Yixian Wang Yingzong Fu Kede

(Department of Physics Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract Optical breakdown effect in water is very important to study the nonlinear interaction between human body (or biobody) and laser light of high intensity. This effect is expected to have application perspective in wide areas. The observed phenomena are described in detail and the mechanism of this effect is discussed briefly.

Key words optical breakdown effect, multiphoton photoionization, hole-corrosion effect

巨大脑瘤术后偏瘫的 LMPT 康复治疗临床初探

作者根据弱激光对神经功能有良好修复与再生作用的特点,于 1991 年 9 月试用激光经络穴位疗法(Laser Meridian Points Therapy, LMPT)康复治疗巨大脑瘤术后偏瘫,收到理想的效果,现将治疗情况和结果报告如下。

临床资料:治疗病例男性,30 岁。“癫痫”样发作 1 年多,伴阵发性剧烈头痛 5 月余,双目完全失明 2 个月,1991 年 8 月 29 日在气管插管麻醉下常规开颅,至脑皮质下 2.5 cm 处切除一直径为 8 cm、重约 450 g 的巨大肿瘤,瘤块病理切片(经重庆医科大学附属一院病理科检验)报告为“脑膜瘤”(过渡细胞型)。术后左侧肢体瘫痪,左上下肢均不能动,肌力为 0 级,通过中西医药物和针灸理疗等常规的综合治疗 18 天无显著效果,于术后第 19 天试行 LMPT 治疗。

治疗方法:采用重庆市光学机械研究所生产的 He-Ne 激光治疗仪,激光波长为 632.8 nm,输出功率 ≥ 25 mW,双光纤每纤头治疗用功率为 6~8 mW。取穴位百会、哑门、三阴交、足三里、阳陵泉、血海、曲池、外关等,每穴以光纤头垂直对准进行接触性照射 10~15 min,每日 1 次,每次取穴位 6~10 个。

效果观察:治疗 2 次后自述左下肢比激光治疗之前显著有力,治 7 天已由家属牵引(失明所需)下自己步行 100 m 到激光室治疗,治 8 天后左下肢运动功能基本恢复,左手可以抬高至肩部,治 15 天左下肢肌力和运动功能恢复正常。治疗 1 个月左上肢肌力为 V~VI,运动功能大部分恢复,左手肌力为 III 级,运动功能部分恢复。

(四川省开江县人民医院(636250) 邱德明,1994 年 6 月 27 日收稿)