

文章编号: 0258-7025(2007)12-1732-04

眼科准分子激光实时监控能量计

胡俊涛, 刘翔, 张国勇, 崔文东, 张鹏翔

(昆明理工大学 光电子材料研究所, 云南 昆明 650051)

摘要 利用激光感生热电电压(LITV)效应制成了激光功率/能量计,它不仅能测量和记录每个脉冲的能量值及实时施加的脉冲总能量等信息,也能记录每个入射脉冲的响应波形,实现了对激光能量的实时监控。用此功率/能量计对248 nm准分子激光器进行模拟实验。测量结果表明,在1~50 Hz重复频率下,激光器输出能量的相对标准偏差在8.6%~10.7%。在模拟屈光手术设置参数下,对193 nm准分子激光器进行测量,表明此激光器输出能量的相对标准偏差在8.3%。将这种激光功率/能量计用于激光近视眼科手术中,对提高激光的切削质量和手术质量有重要意义。

关键词 医用光学与生物技术;激光功率/能量计;激光感生热电电压;成功率

中图分类号 TN 247;R 779.63 **文献标识码** A

A Real-Time Energy Meter for Medical Excimer Laser

HU Jun-tao, LIU Xiang, ZHANG Guo-yong, CUI Wei-dong, ZHANG Peng-xiang

(*Institute of Advanced Materials for Photoelectronics,*

Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650051, China)

Abstract A laser power/energy meter which is designed based on laser induced thermoelectric voltage (LITV) effect was reported. The laser power/energy meter can not only measure and record the energy of every input laser pulse and the total real-time energy, but also can record the response waveform of every input laser pulse. It realize the real-time controlling for laser energy. It was used to simulating experiment for 248 nm excimer laser. The result show that the relative standard deviation (RSD) of the laser output energy is 8.6%~10.7% with repetition frequency. And under the simulating setup parameters of refractive surgery, 193 nm excimer laser was measured, and its RSD is 8.3%. This kind of laser power/energy meter would be very significant in cornea refraction operation.

Key words medical optics and biotechnology; power/energy meter; laser induced thermoelectric voltage; the success ratio

1 引言

准分子激光用于临床矫正屈光不正手术精度要求非常高,国家对此类手术的展开有非常严格的要求。但是目前国家尚没有关于眼科准分子激光治疗仪的标准和检测规范,市场上此类设备的质量参差不齐^[1]。过矫欠矫的主要原因是脉冲能量波动和总激光能量不能实时监控造成的^[2]。H. U. Habermeier等^[3]在LaCaMnO₃薄膜中发现了激光感生热电电压(LITV)效应,基于此效应本文研制了激光功率/能量计,这种功率/能量计在紫外波段下显示出良好的工作特性,该仪器不仅能测量和记录每个单脉冲

的能量大小,而且能够记录每个脉冲的波形,对于激光器输出能量的状态和能量稳定性能够起到很好的监测作用。由于快速数据采集卡和计算机对数据的处理,该能量计还同时给出已施加的总能量等信息。此类激光功率/能量计用于医疗监测,对于提高手术成功率和减少医疗事故有重要作用。

2 基本原理

2.1 准分子激光治疗近视仪

用于手术的光源一般采用能够得到高质量烧蚀表面的193 nm ArF准分子激光。ArF准分子激光

收稿日期:2007-05-15;收到修改稿日期:2007-08-06

作者简介:胡俊涛(1983—),男,湖北人,硕士研究生,主要从事强关联材料的研究。E-mail:tom831120@163.com

导师简介:张鹏翔(1942—),男,辽宁人,教授,博士生导师,主要从事拉曼、光电子材料的研究。E-mail:pxzhang@iampe.com

器产生的 193 nm 激光属于紫外波段,单光子能量 (6.4 eV) 远大于人眼角膜组织分子键能 (3.4 eV), 能够打断生物分子的化学键,使组织分子气化,从而对角膜组织实施“光化学切削作用”^[4]。这种准分子激光属于“冷”激光,对被照射部位周边的组织几乎不产生热效应,其切削的准确度非常高。凭借这种准确的气化,可以把角膜按需要精确地切去,而对角膜的构造不会产生不良效应^[5]。切削量的大小取决于紫外激光脉冲的单个脉冲能量及总的脉冲次数。准分子紫外激光是用放电激发的,放电电压大小、气压高低等因素造成每个脉冲能量之间有相对大的波动。长期工作时,能量输出还由工作气体的新鲜度、激光腔和环境温度等因素决定。能量输出主要由工作气体的新鲜度和激光腔内所加的电压决定。由于每台激光器输出的激光能量都是不稳定的,所以监控每个脉冲的大小,同时实时给出已施加的全部激光能量对手术的成功,避免过矫和欠矫是十分关键的。

2.2 激光功率/能量计

激光感生电压(LIV)效应是半导体材料中常见的效应,并有着广泛的应用。在 La-Ca-Mn-O (LCMO)超巨磁电阻薄膜中观察到了类似的激光感生电压效应^[6]。当激光照射 LCMO 薄膜时,在薄膜两侧产生感生电压。深入研究表明,LCMO 薄膜中产生的激光感生电压效应与半导体不同。所产生的电压是由材料各向异性的泽贝克(Seebeck)系数引起的,所以称为激光感生热电电压效应。机制的研究表明 LCMO 薄膜中的激光感生热电电压效应与自旋排列的各向异性有关,大多数材料在 Mn-O-Mn 面内呈铁磁性,面间却呈反铁磁性,这导致了面内和面间电子运送的各向异性,即电阻的各向异性,从而产生了激光感生热电电压效应。张鹏翔等^[7]推导出了激光感生电压的时变公式,解决了几个涉及材料参数与器件性能的关系问题,为设计快响应、高灵敏应用器件提供了物理基础。大量实验研究发现,许

多钙钛矿结构的稀土锰酸盐氧化物都吸收从紫外、可见一直到红外的光,在很宽的能量范围内激光感生热电电压的峰值与脉冲激光能量呈良好的线形关系^[8],并利用此效应成功制得了激光功率/能量计。

在后续的研究中,改进了信号采集系统,借助计算机的数据接口和软件平台,对激光感生热电电压信号进行实时数据采集、处理,使这种激光功率/能量计真正实现了对激光能量的实时测量和记录。每个脉冲的能量值和它的波形都能够通过电脑软件界面反应给操作者,而且软件也会自动把数据和波形存档,并对数据进行初步的数学统计、处理,以便操作者及时调整激光器能量。利用上述功能,可以及时有效地监测眼科手术中激光器能量的输出状态,也可以为手术操作者提供每个脉冲能量和已经施加的全部脉冲的总能量,以达到提高手术成功率和减少过切削和欠切削的目的。

3 实验及讨论

在实验室对 248 nm 激光器进行模拟实验。激光器工作气体为 KrF,其波长为 248 nm,输出能量 0~1000 mJ,脉宽 25 ns。

激光器输出模式设为恒定能量,能量设定值为 200 mJ,分别对 1 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz 脉冲进行测量后,系统记录下的脉冲次数与激光能量如图 1 所示,记录点数为 120 个。激光能量测量系统对每次脉冲能量进行逐点记录,并储存、绘图。电脑软件系统能够自动处理激光能量相关信息,数据处理如表 1 所示。

由表 1 可知,尽管厂家称输出能量在恒定能量模式工作时误差小于 5%,但实际相对标准偏差在 10%左右。真正的能量波动较大,而不同工作频率下误差略有不同。在 20 Hz 下工作时,较其他频率下要稳定(其标准偏差为 17.6 mJ,相对标准偏差为

表 1 1~50 Hz 脉冲频率下电脑处理和储存的实验数据

Table 1 Summary of measured data and the computer processed results for 120 pulses at 1~50 Hz output

Frequency /Hz	Minimum energy /mJ	Maximum energy /mJ	Average /mJ	Total /mJ	Standard deviation /mJ	Relative standard deviation /%
1	143	268	197.6	23711	21.1	10.7
10	157	251	201.8	24210	19.2	9.5
20	173	260	205.0	24595	17.6	8.6
30	168	266	209.6	25156	19.4	9.3
40	147	241	186.5	22383	18.4	9.9
50	165	257	203.8	24453	18.9	9.3

8.6%),在此脉冲频率下最小的脉冲能量为173 mJ,最大脉冲能量为260 mJ,平均能量为205.0 mJ,脉冲的总能量为24595 mJ。总体来说此激光器的能量输出很不稳定(相对标准偏差都在10%左右),如果用于精密加工、镀膜和眼科手术是

有困难的。

图2显示了在20 Hz重复频率下一次纪录1200个脉冲实验中,第256~265次脉冲的感生电压的脉冲波形。可以看出脉冲波形提供了每次脉冲更为详细的信息,如响应时间(纳秒至微秒量级)、感

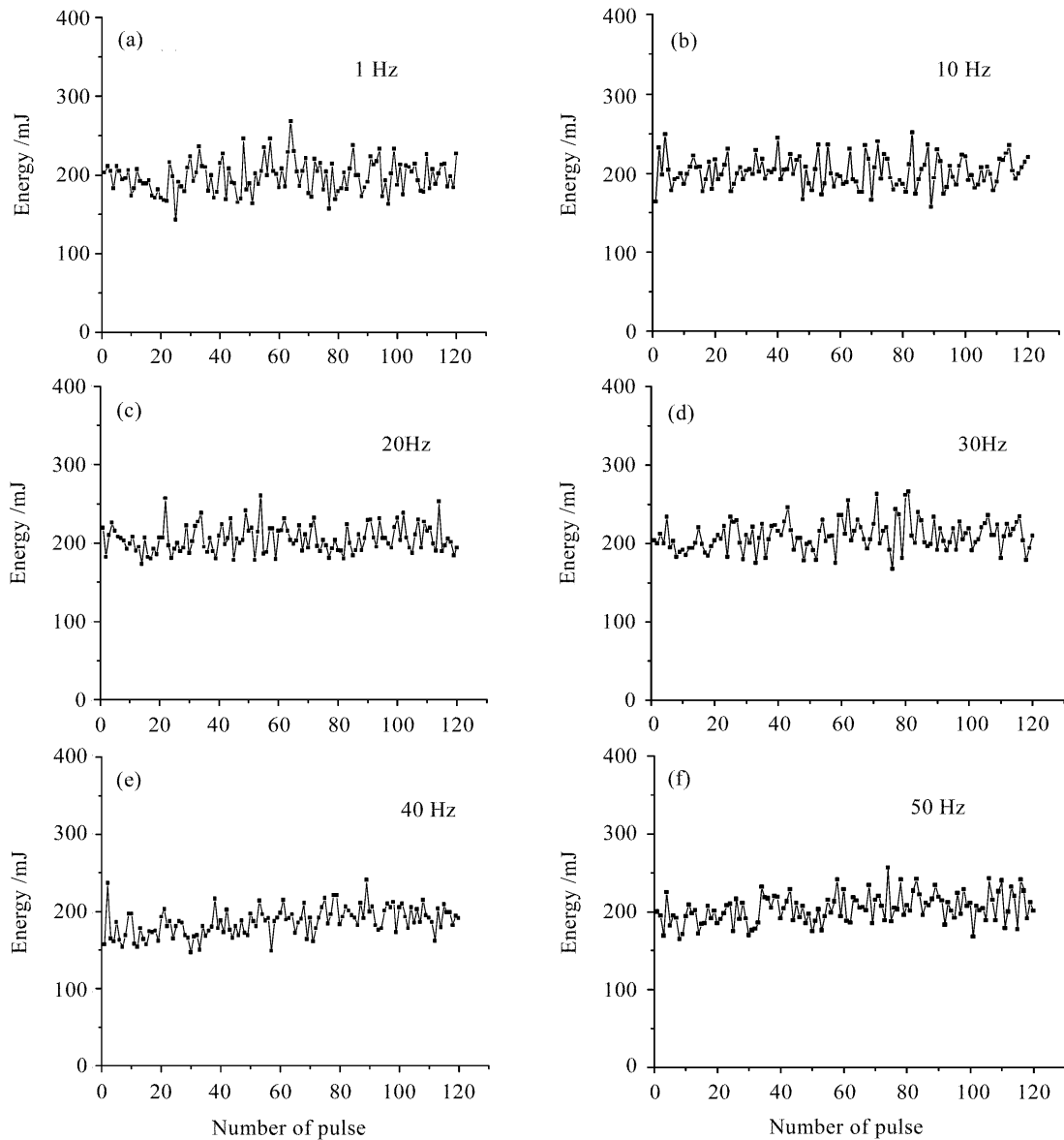


图1 1~50 Hz 调制频率下脉冲次数与激光能量的关系

Fig. 1 Relationship between number of pulse and the laser energy at 1~50 Hz

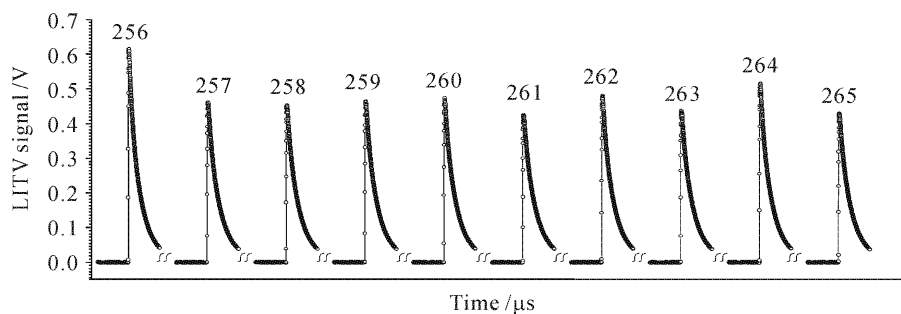


图2 一次实验中第256~265次脉冲的实时响应曲线

Fig. 2 Response curve of incident laser pulses from number 256~265th in one experiment

生电压峰值。第 256 个脉冲的感生电压最高,能量最大。第 261 个脉冲的感生电压最低,能量最小。

由于激光加工、手术的质量直接由单次脉冲的能量和总的脉冲次数决定,图 1,2 及表 1 的这些数据便为操作者提供了准确的数字依据,以便于操作者更直观了解激光能量的输出状态,从而对激光进行调节、校准,决定激光加工或手术的进程。

在进行的眼科手术机能量的实时动态检测实验中,所用激光器由某眼科医院提供,是美国 VISX 公司生产的准分子激光器,工作气体为 ArF,脉冲激光波长 193 nm,进行手术时能量设定值为 40 mJ,脉冲频率为 10 Hz。在对 10 位患者手术后,对激光器输出能量进行测量,将探头放在手术时人眼位置。在正常手术的条件下测量和记录了 500 个脉冲,图 3 为 500 次脉冲的能量大小和脉冲序数的关系,插图 3 为激光脉冲中第 19~28 次脉冲的激光感生电压信号波形中的一个典型脉冲响应波形图,其感生电压的峰值为 86 mV,半峰全宽为 1.03 μ s。

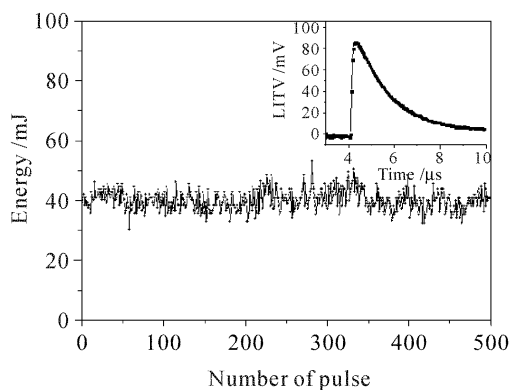


图 3 500 次脉冲的能量大小和脉冲序数的关系

Fig. 3 Relationship between number of pulse and the laser energy for 500 pulses

由图 3 可知,脉冲能量最小值为 30.26 mJ;能量最大值为 53.2 mJ,平均能量值为 40.04 mJ,500 次的总脉冲能量为 20019.61 mJ,标准偏差为 ± 3.32 mJ,相对标准偏差为 8.3%,大于厂家标称的 5%。这实际上会造成手术欠矫或过切削。而如果用本功率/能量计对每个脉冲和总能量进行实时动态监测,手术的成功率则会大幅提高。

4 结 论

利用激光感生热电电压效应研制出了激光功率/能量计,借助计算机的数据接口和软件平台,结合数据采集卡对激光感生热电电压信号进行实时数

据采集,能够准确测量和记录每个脉冲的能量值及每个脉冲的波形,同时能及时给出手术中已施加的总的激光脉冲能量、最高能量、平均能量、标准方差和相对标准方差等,实现了对手术和加工中紫外脉冲激光的实时监控。在此测量系统上加上闭环反馈电路,并通过一定的算法,即可对激光器的输出能量起到有效的控制^[9,10]。预期这一激光功率/能量计的推广使用可以避免医学眼科手术中的过矫和欠矫,使切削达到更高精度,大大提高手术成功率,也可对其他激光加工、镀膜的能量进行精确控制。

参 考 文 献

- 1 Wu Jiangang, Ma Fei, Hou Jinrui. The principle, structure and application quality control of the excimer laser cornea refraction instrument [J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2005, **26**(12):54~56
吴建刚,马飞,侯金睿. 眼科准分子激光治疗机的原理、结构与应用质量控制[J]. 医疗卫生装备, 2005, **26**(12):54~56
- 2 Zhao Youquan, Fan Shifu, Li Xiaoxia. Study on photothermal transfer and thermal damage of bio-tissue [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(5):631~634
赵友全,范世福,李小红. 生物组织光热传输和热损伤的研究[J]. 中国激光, 2004, **31**(5):631~634
- 3 H. U. Habermeier, X. H. Li, P. X. Zhang. Anisotropy of thermoelectric properties in $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin films studied by laser-induced transient voltages [J]. *Solid State Comm.*, 1999, **110**(9):473~478
- 4 Andreea E. Partal, Maria C. Rojas, Edward E. Manche. Analysis of the efficacy, predictability, and safety of LASEK for myopia and myopic astigmatism using the Technolas 217 excimer laser [J]. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2004, **30**(10):2138~2144
- 5 Zhang Jizhuang, Zhang Xuexue. Effect factors of laser tissue ablation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2):300~304
张纪庄,张学学. 激光蚀除生物组织的影响因素[J]. 中国激光, 2007, **34**(2):300~304
- 6 P. X. Zhang, W. K. Lee, G. Y. Zhang *et al.*. Time dependence of laser-induced thermoelectric voltages in $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ and $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(21):4026~4028
- 7 P. X. Zhang, C. Wang, G. Y. Zhang *et al.*. LaCaMnO_3 thin film energy/power meter [J]. *Optics and Laser Technology*, 2004, **36**:341~343
- 8 Cui Wendong, Zhang Hui, Zhang Guoyong *et al.*. Laser induced thermoelectric voltage of atomic layer thermopile materials [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(1):130~134
崔文东,张辉,张国勇等. 原子层热堆材料的激光感生热电电压[J]. 中国激光, 2007, **34**(1):130~134
- 9 Yu Yongai, Zhang Lingling, Tang Qianjin *et al.*. Real-time laser beam quality measurement technique [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2):255~258
于永爱,张玲玲,唐前进等. 激光束质量实时测量技术[J]. 中国激光, 2007, **34**(2):255~258
- 10 Lai Wuxing, Shi Tielin, Yang Zhuzi. Development of embedded laser energy real-time control system [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2006, **27**(3):328~330
来五星,史铁林,杨叔子. 嵌入式激光器能量实时控制系统开发[J]. 半导体光电, 2006, **27**(3):328~330