

LPX 305iF 型准分子激光光束质量诊断*

李呈德 陈 涛 万 盈 左铁钊

(北京工业大学国家产学研激光技术中心,北京,100022)

摘要:以准分子激光应用于微细加工为目的,采用了一套光束诊断技术对德国 Lambda Physik LPX 305iF 型 KrF 准分子激光器进行了全面鉴定。

关键词:准分子激光 光束质量 诊断

The beam quality diagnosis of Lambda Physik LPX 305iF excimer laser

Li Chengde ,Cheng Tao ,Wan Ying ,Zuo Tiechuan

(Beijing Polytechnic University , National Center of Laser Technology , Beijing ,100022)

Abstract : The excimer lasers are novel laser source for industry procedure. In order to obtain the optimum process parameters for various processing condition ,we have to now the laser beam quality characteristic ,such as energy stability of laser pulses sequences ,laser pulse duration and its stability ,beam divergence and its stability and energy distribution on spot ,except for operating wavelength ,maximum pulse energy ,pulse repetition and average power. So we used a set of dignotic techniques to evaluate the beam quality of Lambda Physik LPX 305iF KrF laser for excimer laser micro-machining .

Key words : excimer laser beam quality diagnosis

引 言

准分子激光是继大功率 CO₂ 激光和 Nd:YAG 固体激光后,又一种进入工业应用的大功率激光。因其波长处于紫外,在微细加工领域有独到优势。目前,世界上有 10 多家公司生产这种脉冲激光器,品种达 70 多种^[1]。1996 年世界准分子激光器销售总额达 15 497 万美元^[2]。国内已研制成功平均功率达 500W 的产品^[3]。由于准分子激光的应用主要以面光源并行加工为主,我们除了关注其工作波长、最高单脉冲能量、最高脉冲重复率和平均功率外,还需要用脉冲能量稳定性、脉冲持续时间及其稳定性、光束发散度及其稳定性、整个光束口径上能量分布的均匀性等,光束的时间特性和空间特性的多项指标来评价准分子激光的光束质量。笔者用一组诊断技术对德国 Lambda Physik LPX 305iF 型准分子激光器的以上指标进行全面鉴定。

1 LPX 305iF 型准分子激光器的技术状况及待测条件

德国 Lambda Physik LPX 305iF 型 KrF 激光器是 90 年代国际先进的准分子激光器,输出 248nm 波长激光,最高单脉冲能量 1200mJ,最高重复频率 50Hz,平均功率 60W。其采用的 Novatube 型放电管用高纯陶瓷和无碱无硅合金制成,管内不含任何有机物,对电极材料进行

了优选和钝化,内装静电气体过滤器来处理工作中产生的杂质。并提供了受微机控制实时产生高纯氟气的称之为 Holosafe 的卤素发生器选件,其产生的氟气纯度大于 99.99%,比钢瓶卤素纯度高。在泵浦电路里采用磁控开关技术,提高了闸流管在最高脉冲能量和脉冲重复率下的寿命。整机采用模块化设计,各模块之间的数据通讯用光缆联接,采用所谓光纤局域网进行控制,具有很高的运行可靠性和操作维护方便性。

测试时仍用传统钢瓶氟气。混合气成分为:卤素(含氟 5%,其余为氙)70mbar,纯度为 99.995%的氟气 100mbar,纯度为 99.999%的氙气 3460mbar。谐振腔采用平面平行腔。

2 实验方法及诊断结果

2.1 激光脉冲能量及其稳定性测量

该激光器后腔镜后装有机内能量计,向控制计算机提供数据,并向用户显示。我们发现其有较大的非线性,不能通过简单标定而给出各工作高压下准确的能量值。实验中所用能量计为北京物科公司 IP-550 型热释电能量计,为防止由于激光指向稳定性和发散度稳定性而带来计量误差,对能量探头的面均匀性进行了严格遴选。并以德国 Lambda Physik 公司生产现场用能量计:Lambda Physik 248nm SN6001V (Sensitivity 2.80V/J)及美国商品:Coherent Component Group Model P10i SN J417 (Sensitivity 10.36V/J)和加拿大商品:Gentec spectrolas Model ED-500 SN 120413 (Sensitivity 2.64V/J)作参考进行了标定。

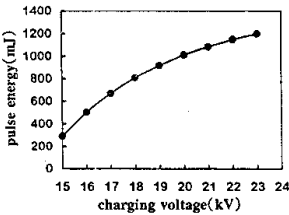


Fig. 1 Pulse energy vs charging voltage

能高重复率激光脉冲。另一方面,高能高频激光脉冲会产生热积累,而致测量失真。故实验中采用了衰减片。测量结果表明:在各工作高压下,激光脉冲能量不随重复率变化。见图 2。

2.1.1 激光脉冲能量与工作高压的关系

该激光机的最高工作高压为 23.0kV,充入新鲜 KrF 混合工作气体时输出 248nm 激光单脉冲能量达 1200mJ。阈值高压为 14.5kV。激光脉冲能量对工作高压的关系见图 1。

2.1.2 脉冲能量与脉冲重复率的关系

由于 KrF 准分子激光对物质有极强的刻蚀去除能力,热释电探头不能承受高

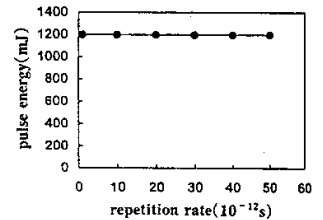


Fig. 2 Pulse energy vs repetition rate

2.1.3 激光脉冲能量随时间变化

对于工业生产应用,准

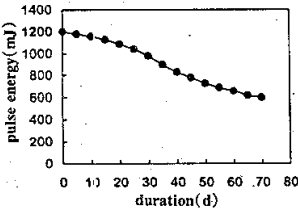


Fig. 3 Gas static life time

分子激光的动态寿命,即一个 New Fill 脉冲能量降到最高值 50%时输出的脉冲数特别重要。而对于科研应用,准分子激光的静态寿命,即一个 New Fill 脉冲能量降到最高值 50%的天数更有意义。本实验测量后者。测试条件:23.0kV,1pps。对每天的最高输出脉冲能量进行记录。结果如图 3 所示,气体静态寿命为 70d。

2.1.4 脉冲对脉冲能量稳定性

用能量计检测激光脉冲能量,经 A/D 转换及数据采集卡由计算机采集和处理。让激光机以 5Hz 重复率工作,对每一高压连续采集 5000 个脉冲,然后进行统计计算,求出平均值和标

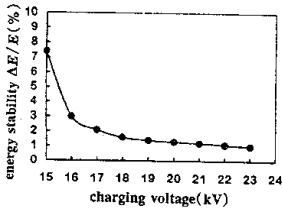


Fig.4 Pulse to pulse energy stability vs charging voltage

统计, 求取平均值和标准差。该实验采用美国 EG&G 公司的 UV215BQ 紫外增强型 PIN 光电二极管, 其石英窗口镀 250nm AR 膜。实验结果见图 5。脉宽为 $30\text{ns} \pm 3\text{ns}$ 。

2.3 光束发散度及其稳定性

2.3.1 光束截面尺寸及光束发散度

采用 ISO-92 光束宽度、光束发散度及光束传输因子测量标准草案^[4]允许的刀口法和 CCD 法进行测量和对比。刀口实验装置由透镜、刀口和能量计构成, 能量计取多脉冲统计平均, Clip level 参照文献 [5] 选取。CCD 图像法用美国 Sensor Physics 公司的 248nm UV 胶片记录光斑, 然后由 Sensor Physics Film Scan 型 CCD 图像采集系统获取光斑, 图像由 Sensor Physics Laser Test 光束轮廓分析硬软件, 测出 $1/e^2$ 宽度值。实验中透镜焦距为 1000.8mm。

测得透镜焦面、透镜变换后的束腰及其它多个位置的光束宽度后, 求出光束发散角及 M^2 因子。两种方法测得结果基本相同。

x 方向光束宽度 $W_x = 35.5\text{mm}$, y 方向光束宽度 $W_y = 16.5\text{mm}$, x 方向发散度 $\theta_x = 12.0\text{mrad}$, y 方向发散度 $\theta_y = 3.3\text{mrad}$, $M_x^2 = 710$, $M_y^2 = 100$ 。

2.3.2 光束发散度稳定性

用 Sensor Physics 248nm UV 胶片在透镜焦面记录 200 个脉冲, 然后由上述系统测得 $1/e^2$ 宽度值, 统计计算发散角的标准差。测量结果为 $\Delta\theta_x = 0.2\text{mrad}$, $\Delta\theta_y = 0.05\text{mrad}$ 。

2.4 光束截面能量分布均匀性测量

用上述 UV 胶片记录、CCD 图像采集及光束轮廓分析系统分析激光器输出光斑。通过光束轮廓形心的能量分布曲线如图 6。测试结果表明: x 方向光强变化百分率 $< 10\%$, y 方向光强变化百分率 $< 15\%$ 。

3 讨 论

准分子激光经 20 多年的发展, 在平均功率、运行可靠性、操作简便性方面取得了很大进步, 使它成为遍及世界许多实验室的重要装备, 并在一些主要发达国家进入了大工业生产领域。上面详细分析的各项光束质量指标, 是我们开发准分子激光微加工系统和实际应用中不可回避的问题。从以上的实验结果可见, 撇开准分子激光器高昂的购置和运行费用不说, 光束质量指标体系中的大发散角、不对称性、不均匀性, 大大增加了配套

准差。

从图 4 可见, 工作高压在 19~23kV 时, 脉冲对脉冲能量稳定性较好, 小于 1.5%。当工作高压值低于 16kV 时, 单脉冲能量低于最高单脉冲能量的一半, 约 500mJ 时脉冲能量稳定性迅速下降。

2.2 脉冲持续时间

用高速光电二极管对光束取样, 由数字存储示波器捕捉脉冲波形, 记录 100 个脉冲波形的 FWHM 宽度, 然后进行统计, 求取平均值和标准差。该实验采用美国 EG&G 公司的 UV215BQ 紫外增强型 PIN 光电二

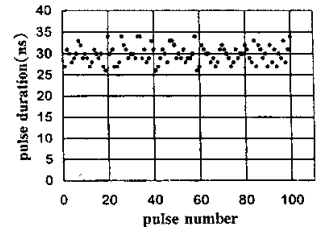


Fig.5 Pulse duration (FWHM)

极管, 其石英窗口镀 250nm AR 膜。实验结果见图 5。脉宽为 $30\text{ns} \pm 3\text{ns}$ 。

测得透镜焦面、透镜变换后的束腰及其它多个位置的光束宽度后, 求出光束发散角及 M^2 因子。两种方法测得结果基本相同。

x 方向光束宽度 $W_x = 35.5\text{mm}$, y 方向光束宽度 $W_y = 16.5\text{mm}$, x 方向发散度 $\theta_x = 12.0\text{mrad}$, y 方向发散度 $\theta_y = 3.3\text{mrad}$, $M_x^2 = 710$, $M_y^2 = 100$ 。

2.3.2 光束发散度稳定性

用 Sensor Physics 248nm UV 胶片在透镜焦面记录 200 个脉冲, 然后由上述系统测得 $1/e^2$ 宽度值, 统计计算发散角的标准差。测量结果为 $\Delta\theta_x = 0.2\text{mrad}$, $\Delta\theta_y = 0.05\text{mrad}$ 。

2.4 光束截面能量分布均匀性测量

用上述 UV 胶片记录、CCD 图像采集及光束轮廓分析系统分析激光器输出光斑。通过光束轮廓形心的能量分布曲线如图 6。测试结果表明: x 方向光强变化百分率 $< 10\%$, y 方向光强变化百分率 $< 15\%$ 。

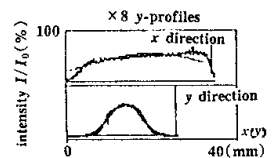


Fig.6 Pulse energy distribution along x and y direction

系统开发的成本,而诸项稳定性指标则直接关系到微加工工艺的可控性。

参 考 文 献

- 1 张粹伟.激光与光电子学进展,1996(1):15~19
- 2 1995~1996年激光器市场概况.激光与红外,1996,26(4):279~285
- 3 申家镜.中国激光,1996;A23(11):
- 4 Wright D, Greve P, Fleischer J *et al.* Opt Quant Electron, 1992, 24: 993~1000
- 5 Siegman A E. IEEE J Q E, 1991, 27(4):1098~1104

*

*

*

作者简介:李呈德,男,1962年12月出生。博士。现主要从事激光微细加工装备及加工工艺研究。

收稿日期:1999-04-05

收到修改稿日期:1999-05-18

万方数据