

一种由 Nd:YAG 构成的激光除垢实验设备

郭 琳 黄元庆

(厦门大学机电工程系 厦门 361005)

摘要 介绍了一种由 Nd:YAG 构成的激光除垢实验设备,分析了其主要的参数设计,对其功率密度进行了计算,判断其能满足激光清除硅片油脂的要求。

关键词 Nd:YAG 激光除垢 光学系统

A Laser-cleaning Laboratorial Equipment Consisting of Nd:YAG

Guo Lin Huang Yuanqing

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract This article introduces a laser-cleaning equipment consisting of Nd:YAG, analyzes its main optical parameter, computes its power density and estimates its requirement which can be fit for removing lipin from silica.

Key words Nd:YAG Laser-cleaning Optical-system

1 引 言

激光除垢是激光应用领域的一项新技术,在最近几年内引起广泛的重视。美国、日本均已实现此技术的商品化,工业化。然而在国内激光除垢仍然是个空白点,基本上处于实验阶段。现介绍一种由 Nd:YAG 构成的激光除垢实验设备,用于清洗玻璃硅片表面的油脂,阐述了其激光除垢的除垢机理,主要的实验装置及其相应的光路设计。

2 除垢机理及实验设备

激光除垢技术是利用激光束能够高速有效地清除清洁对象表面附着物的一项技术,该技术通过选取合适的激光波长与激光脉宽、频率以及激光能量,照射到硅片表面,使激光能被基体表面强烈吸收或部分吸收而产生热膨胀,由于膨胀发生在激光脉宽的纳秒级内,因此由此变化导致的平均加速度是相当大的,所引起的热应力导致吸附在基片表面的微粒或油脂克服吸附力的束缚而向前喷射,从而达到去除表面污染物的目的。

这种清洗设备主要有两部分组成:一是激光器及其导光设备,二是检测清洗效果的检测系统。本系统所采用的是固体激光器 Nd:YAG,输出波长 1064nm,脉冲周期为 0.1—10ns,脉冲重复频率 10Hz,为达到所需要的峰值功率采用调 Q 技术,激光器内带有插入型处理器直接控制激光器,采用 RS232 标准通信规程通过计算机控制激光参数和扫描系统。对于激光清洗后的每一小方块,可采用定量全相图像分析系统测试出清洁率。其中,试样由光学显微镜成像,通过 CCD 将光信号转化为电信号,最后由图像采集卡及相应的软件完成和量化功能,获取数字图像。将清洗干净的区域着色,计算着色区域占整个小块面积百分比,可获得清洁率。

3 实验光路设计

3.1 光路系统

这种激光器的导光设备相互独立,因此可单独分析其设计参数。由于 YAG 激光是不可见的,为了将其准确地聚焦在待清洗的部位,可采用 0.6328 μm 的 He-Ne 激光作同轴光路引导指示,为保证足够大的激光

出射孔径角并且将激光光斑聚集到足够小,应对激光束进行足够的扩束准直。装置采用二级扩束,均为导直的伽利略系统。因为 YAG 和 He-Ne 的波长及高斯参

数相差大,要保证它们能最后聚焦于同一点,系统采用各自的一级扩束,共同的二级扩束,图 1 为光路系统原理图。

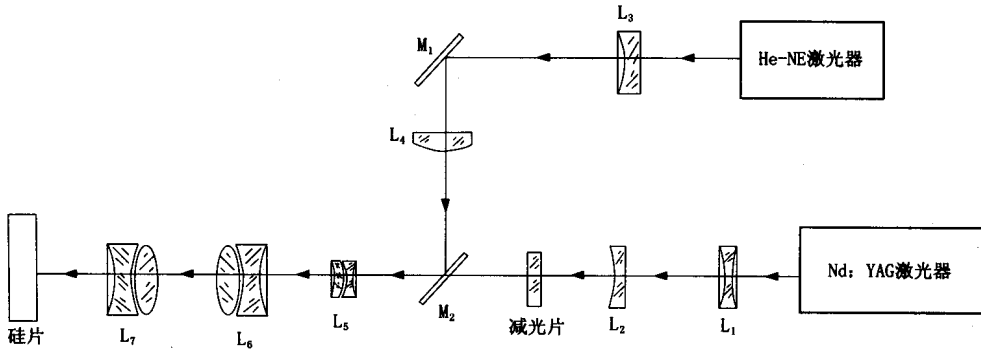


图 1

3.2 焦点光斑的确定

为了确定焦点光斑的位置,可在透镜 L_4 上加一镀金属的不透光片,当激光通过透镜时,只在焦点处形成实光斑,而在焦平面外光斑成环状,以此确定焦点的位置。

3.3 光学设计

为了保证较小的焦斑和焦深,使光击穿只在焦点处产生,焦点前后光功率密度迅速下降,从而对焦点前后光束可能经过的基体表面不会有任何损伤,可取出射孔径角为 18 度较为合适,考虑到操作方便和恰当的物镜孔径,取工作距离即聚集透镜 $f = 500\text{mm}$ 。当透镜焦距确定时可以通过改变激光器的输出能量的方式,来调节激光照射到基片表面功率密度的大小,当激光器输出的能量大小不变时。可以通过改变离焦量来改变激光照射到基片表面的光斑大小,也能达到同样的目的。

YAG 激光及 He-Ne 激光束发射角小,在计算分析中,可作为近轴光处理。YAG 激光器发出的激光束发散角为 0.6-1mrad。而已知的 He-Ne 激光束发散角为 2mrad。先经各自的一级扩束,再与 YAG 激光合并经二级扩束,并且扩束镜组正负透镜的间距可微调,用来补偿两种激光的色差,以保证它们聚集在同一焦点上。

由于在清洗中,激光能量密度的大小直接决定了清洗效果,因而对聚焦光斑大小研究至关重要。

在装置的导光系统设计中,取透镜口径 $D = 1.2 - 1.3\phi$ 式中 ϕ 为激光束在透镜处的通光孔径。激光孔径面上的激光束光斑小于透镜本身的孔径,因而可以忽略衍射效应对聚焦的影响,在理想的情况下,只考虑激光束作为高斯光束在光学系统中传输。为将高斯光束腰斑聚焦到最小,应使扩束后激光束腰落在聚焦镜 L_7

$= 2f \tan\mu = 2 \times 500 \times \tan 9^\circ = 160\text{mm}$,由此可推算出聚焦后最小的焦斑直径^[4]:

$$2\omega = 2\omega_0 / [1 + (\pi\omega_0^2 / \lambda f)^2]^{1/2} = 212\mu\text{m}$$

在实际中还必须考虑几何像差的存在,在进行系统的像差平衡时,应保证系统的最后工作距离和像方孔径角。通过修改扩束聚焦系统结构参数和选玻璃材料来进行全系统的像差平衡。剩余像差数据由微机计算得到在 0.707h 时的孔径色差和近轴色差大小接近,符号相反,达到较理想的平衡状态。这时由于球差而造成的聚焦弥散斑直径:

$$d = 2\delta L_{\text{YAG}}(0.707h) \tan(0.707u) = 2 \times 0.1 \times 10^3 \times \tan(0.707 \times 9^\circ) = 22\mu\text{m}$$

可看出远大于高斯焦斑直径,所以焦点尺寸主要取决于聚焦光斑的大小。由于加工和装调误差,实际焦斑尺寸还略大于以上数值。类似的计算,可得 He-Ne 激光的焦斑直径 200 μm 。全孔径范围内 He-Ne 光对 YAG 光在焦点处的最大轴向色差远小于轴向剩余色差。因此,He-Ne 光能够准确地指示出 YAG 光焦点的位置。

考虑焦点处的激光功率密度:

$$I = \eta E / (\Delta t \cdot S)$$

式中: E 为激光器的单脉冲能量, Δt 为脉宽。 η 是光学系统总的透过率, S 为焦点光斑直径,即 $S = \pi d^2 / 4$ 。取激光器单脉冲能量 $E = 10\text{mj}$,脉冲宽度 $\Delta t = 10\text{ns}$ 。考虑反射和光学吸收,透过率在 50% 左右。减光片的最小透过率为 10%,因此可取光学系统的最小透过率为 5%,取激光焦斑尺寸上届 $d = 210\mu\text{m}$,将以上数据代入上式,得系统焦点处的光功率密度:

中, TOC 的检测早已经成为一些生产生活领域的不可缺少的一环, 比如制药业、电子制造业等。他们更多的是参考美国药典或日本药方局颁布的有关规定。估计在不久的将来, 我国的总有机碳检测标准将会出台。由于我国在此方面的技术相对落后, 这决定了这个标准的核心仍然以传统技术为主。在新的技术方面, 半导体

光催化氧化法已经获得了实际的运用, 但至今没有获得美国试验材料科学会 (ASTM) 的认证。而臭氧类氧化法, 紫外光谱法虽然极具优越性, 目前却处于实验室的研究阶段。因此在今后的很长的一段时间里, 前面所介绍的 TOC 分析仪仍将持续地被运用。

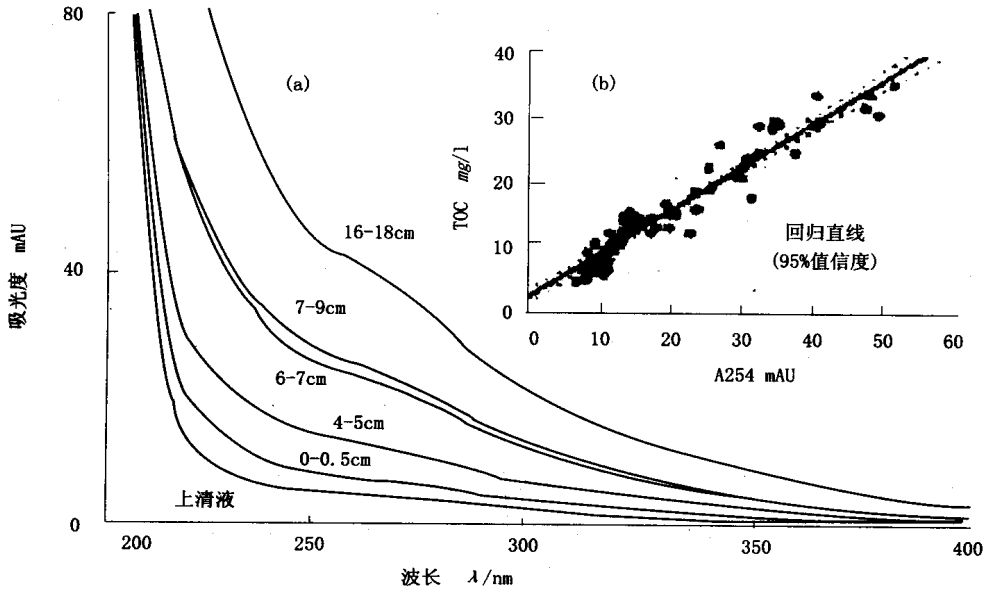


图 5 (a) 波长-吸光度关系图 (b) 波长 254 处吸光度-TOC 浓度线性模拟

参考文献

- 1 Bruno Deflandre, Jean-Pierre Fafne. Estimation of Dissolved Organic Carbon (DOC) Concentrations in Nanoliter Samples Using UV Spectroscopy. *Wat. Res.*, 2001, 35(13): 3057~3062.
- 2 Koji Kosaka et al. Evaluation of the Treatment Performance of a multistage ozone/hydrogen peroxide

process by decomposition by-products. *Wat. Res.*, 2001, 35(15): 3587~3594.

- 3 薛向东, 金奇庭. 水处理中的高级氧化技术. *环境保护*, 2001, (6): 13~15.
- 4 李国刚. 水质 TOC 在线自动分析仪的现状. *环境监测管理与技术*, 2000, 12(6): 18~19.
- 5 刘建伟, 莫德举. TOC 检测技术的新进展及工业应用选型参数. *仪器评价*, 2000, (6): 31~33.

(上接第 207 页)

$$I = 1.3 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$$

已知激光清洗玻璃硅片的清洗阈值为 10^7 W/cm^2 。因此判断本系统的光强度完全能满足使用要求。

4 结 论

这一结构操作灵活, 方便, 可以从各个角度照射基体表面, 以提高清洗效果。通过对清洗工艺的优化, 不仅可以获得效率很高, 清洗成本很低的硅片表面, 而且不会对清洗表面有损伤, 这表明激光清洗在解决光滑表面的清洗黏附微粒方面是一种实用高效的清洗技术。

参考文献

- 1 Yong feng Lu, Shuji Komuro, Yoshinobo Aoyagi. Laser induce removal of fingerprints from glass and quartz surface. [J]. *J. Appl.*, 1994, 33: 4691—4096.
- 2 A. D. Zimon. Adhesion of dust and powder. Plenum, New York, 1969.
- 3 朱企业. 激光精密加工. 北京: 机械工业出版社, 1990. 45~52.
- 4 周炳琨, 高以智, 陈家骅, 等. 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1984. 107~112.