

利用位相共轭激光器加工微孔*

陈 军

高文斌

(浙江大学光科系现代光学国家重点实验室, (杭州电子工业学院,
杭州 310027) 杭州 310012)

摘 要 报道了利用带 SF₆ 气体池受激布里渊散射位相共轭 Nd : YAG 激光器对 0.1 mm 厚的刀片进行了微孔加工试验. 初步实验结果表明, 利用该激光器小的光束发散角这一优点, 可加工出出口孔径为 20 μm 的微孔.

关键词 激光器微孔加工, 位相共轭激光器.

自从激光出现以来, 利用激光高功率密度及良好的方向性, 首先将它应用于打孔加工技术上, 例如传统的钟表工业中的钻石打孔. 随着激光技术的不断发展, 激光打孔技术也日益发展, 应用亦更趋广泛. 尤其在微电子、航空、半导体工业中的复合材料、多层印刷线路板、陶瓷、宝石基片、金属薄板等材料的微孔、深小孔加工广泛采用激光打孔技术. 本文介绍利用位相共轭 Nd : YAG 激光器输出的高质量光束进行微孔加工的初步实验结果.

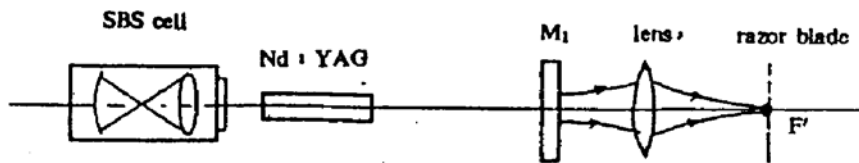


Fig. 1 Schematic arrangement of the SBS-phase conjugate laser

图 1 示出了位相共轭激光器的结构**. 该激光器包括以下几个部分: Nd : YAG 激光头. 它是由一根 $\phi 6 \times 80$ mm 的 Nd : YAG 棒及双氙灯泵浦的激光反射腔体组成; 反射镜 M_1 为平面反射镜, 反射率为 30%. 受激布里渊散射池内充 SF₆ 气体, 气压为 2.0 MPa (20 个大气压). 池内放置一反射式望远镜系统, 以使在望远镜内的焦点处有足够高的功率密度以达到受激布里渊散射阈值, 从而激发受激布里渊散射而形成受激布里渊散射位相共轭镜. 每支氙灯的泵浦能量为 50 J, 该激光器输出能量为 200 mJ, 脉冲宽度为 25 ns 的单脉冲激光. 利用一维 CCD 列阵接收器在与 M_1 相距 8.5 m 处测量光斑直径, 测得在光强 e^{-2} 值处的直径为 4

* 本课题得到国家教委留学归国人员科研基金资助.

** 详细的原理及其特性可参见文献[1,2].

收稿日期: 1994 年 2 月 26 日; 收到修改稿日期: 1994 年 4 月 29 日

mm, 由于测量距离远远大于 M_1 出口处光斑直径(1.5 mm), 故可认为所测的远场发散角, 计算得远场发散角 $\theta = 0.47 \text{ mrad}$. 输出的空间模式在近场及远场近似为基模分布^[2].

利用焦距为 96 mm 透镜把输出激光直接会聚在 0.1 mm 厚的不锈钢双面剃刀片上. 一次脉冲便可在刀片上加工出一个微孔. 实验将刀片分别置于焦面附近前后 $\pm 1.5 \text{ mm}$ 位置上, 获得了正面入口孔径在 $40 \sim 60 \mu\text{m}$, 背面出口孔径在 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 的通孔. 孔形状圆整, 图 2 示出了由这种激光器所打的微孔的显微放大像, 其中 a) 为入口孔像, 由于配有正面反射光, 故可见到入口表面烧灼后形成的环状边缘. b) 为出口孔由透射光所成的显微像. 由显微标尺像可知, 出口孔径为 $20 \mu\text{m}$.

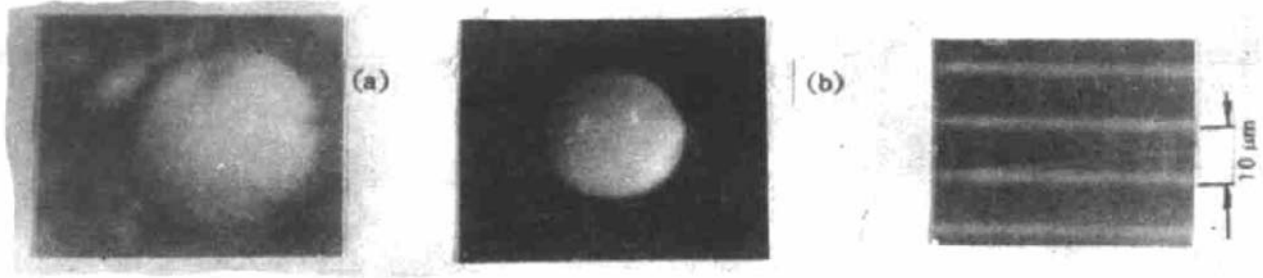


Fig. 2 Microscopic photograph of the SBS-phase conjugate laser drilled hole on the 0.1 mm thick razor blade, a) entrance of the fine hole, b) exit of the fine hole

本文结果与用一般的 Nd:YAG 激光器并采用常规的用倒置望远镜压缩发散角的方法进行的微孔加工相比, 具有加工的微孔孔径小, 入口孔径与出口孔径比小、锥度小等优点. 例如作者曾用一台超声调制腔长的 Nd:YAG 激光器作试验, 腔内加 1.8 mm 直径的光栏, 束散角约为 1 mrad, 并用扩束望远镜进一步改善聚焦性能, 且采用短焦距透镜聚焦 ($f = 65 \text{ mm}$), 对同样的材料只能加工出最小入口孔径 $90 \mu\text{m}$. 出口孔径 $30 \mu\text{m}$ 的微孔, 入口孔径与出口孔径比为 3. 将此结果与前面所述的用位相共轭激光器作微孔加工结果相比较, 显然利用新型的位相共轭激光器的加工不但具有孔径小且锥度也小的优点.

当然, 被加工材料的厚度是个很重要的参数, 厚度较小的材料上可加工更小孔径的微孔. 例如目前国内现有的微孔加工技术中, 对用作空间滤波器的厚度仅为 $20 \mu\text{m}$ 的金属薄板, 可加工出 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 孔径, 甚至可用机械的针尖压入法达到如此小孔径. 若对基片上的几个微米厚的膜层穿孔, 则孔径在 $1 \mu\text{m}$ 也并非难事. 但若厚度增加, 就会使加工同样孔径的微孔且具有小的锥度的技术难度大大增加. 图 3 示出了德国哈诺威激光中心 1991 年报道的在厚度为 0.6 mm 的 CrNi-钢板上加工的出口孔径为 $20 \mu\text{m}$ 微孔显微像^[3]. 这是目前世界上的先进水平.

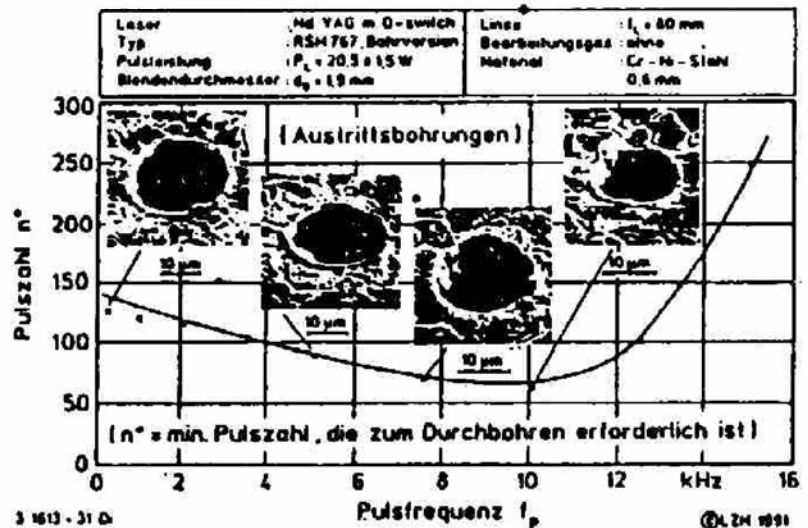


Fig. 3 Laser drilled fine hole on the 0.6 mm thick CrNi-steel plate by laser center hanover FRG

若按高斯光束理论计算并设透镜无像差的情况, 光束经透镜聚焦后的腰斑半径为:

$$\omega_0 = f(\theta/2) \quad (1)$$

式中 f 为聚焦透镜焦距, θ 为聚角前光束远场发散角(全角). 按实验测得的位相共轭激光器射出光束发散角 $\theta = 0.47 \text{ mrad}$, 所用透镜 $f = 96 \text{ mm}$, 求得 $\omega_0 = 22.6 \text{ }\mu\text{m}$.

由聚焦后的瑞利焦深(即共焦参数).

$$z_0 = (\pi\omega_0^2)/\lambda \quad (2)$$

求得 $z_0 = 1.5 \text{ mm}$, 这就是说, 当加工件位置在焦点前后 $\pm 1.5 \text{ mm}$ 附近变化时, 由瑞利焦深的定义可知光束在工件上的入口半径将在 $\omega_0 \sim \sqrt{2}\omega_0$ 范围内变化, 即 $2\omega_0$ 在 $46 \sim 63 \text{ }\mu\text{m}$ 间变化. 这与本文的实验结果相符.

以上初步实验结果表明, 由于位相共轭激光器具有小远场发散角的优点, 可以在特殊工件微孔加工中获得应用, 加工孔径在几十微米的微孔.

参 考 文 献

- [1] 陈军, 马跃如, 龙鹰. 用 SF_6 气体 SBS 相位共轭镜的激光谐振腔. 光学学报, 1992, 12(12): 1068~1071
- [2] 陈军, 龙鹰. 带受激布里渊散射池的位相共轭激光器输出的空间特性. 光学学报, 1993, 13(11): 975~979
- [3] K. Diskman *et al.*, Micro drilling with high beam quality Nd : YAG-Q-switch-laser. Laser und optoelektronik. 1991, 23(6): 56~62

Fine Hole Drilling Using the Phase Conjugate Laser

Chen Jun

(Department of Optical and Scientific Instrumentation Engineering,
The Key Lab. Modern Optic Instruments, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Gao Wenbin

(Hangzhou Institute of Electronics Engineering, Hangzhou 310012)

(Received 26 February 1994; revised 29 April 1994)

Abstract Using the Nd : YAG laser with the SBS-phase conjugate mirror based on SF_6 gas, the laser drilled hole on a 0.1 mm thick blade has been reported in this lecture. The primary experimental results show, that the fine hole with the exit diameter of $20 \text{ }\mu\text{m}$ and the entrance diameter of $30 \text{ }\mu\text{m}$ has been obtained due to the small laser beam divergence of this SBS-phase conjugate laser.

Key words laser drilling, phase conjugate laser.