

YAG激光诱导放电通道伏安特性研究

占 剑,杨明江

(中国科学院力学研究所,北京 100080)

摘要:研究了在空气、油膜和绝缘树脂薄膜这三种放电介质中的伏安特性,得出了在同一介质中,通道电极间电压不随其它初始条件改变而变化,只与放电介质对通道箍缩能力成正比,在本实验中薄膜的通道电压最高 80.4V,空气中最低 26.0V。通道中电流波形与放电介质有关,同样的高低压组合、相同放电脉宽下在空气和油膜中为矩形波,而在薄膜中为三角波,峰值电流变化不大。电流波形不随脉宽的改变而变化,当增大初始高压端或低压端输入时,电流随之增加,并且低压端输入对提高峰值电流更有效果。

关键词: YAG激光;伏安特性;放电通道;介质

中图分类号: TN249;O461

文献标识码: A

文章编号: 0253-2743(2008)05-0017-03

Investigation on the voltage - current characteristics of the YAG laser guiding discharge channel

ZHAN Jian, YANG Ming - jiang

(Institute of Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The Voltage - Current characteristics of the channel was researched in the air, oil and insulation resin films discharge media respectively. It is founded that the voltage has nothing to do with the other conditions in the same discharge media, and it increases with the improving of the pinch capacity. In this experiment, the highest voltage of the channel is 80.4V with the insulation resin films media, and the lowest one is 26.0V with the air media. The current waveform has something to do with the discharge media. It is rectangular wave in the air and oil media, and triangular wave in the insulation resin films media with the same other conditions. At the same time, the peak current has no change. The current waveform has nothing to do with the pulse width. When increasing the initial high voltage or low voltage, the current increases accordingly, and the effect for improving the peak current with increasing the low voltage is better, comparing with the high Voltage.

Key words: YAG laser; voltage - current characteristics; discharge channel; media

YAG激光诱导放电使激光能量与放电能量有效耦合,从而产生大能量对工件表面进行毛化-强化加工处理,能减少成本、增大强化层深度,有很好的发展和应用前景。S. Tzortzakis 等人发现激光沿电场方向作用形成的丝状弱电离通道能够减小触发延时^[1],曾传相等人发现在激光打孔时辅助火花放电可减小孔的锥度和增加对工件的蚀除量^[2],中国科学院力学研究所激光毛化中心对激光诱导放电现象做了一系列研究,总结出通道电流波形两种形式的取得方法^[3],本文在此基础上对放电通道内伏安特性进行了一些研究,从而完善了放电通道的研究,并对于如何提高通道内电流强度,增加强化层深度做出一些基础性研究。

1 实验条件

YAG脉冲激光使工件表面汽化,同时在电极间加一高压,使得气体击穿,之后低压续流维持后续一定脉宽下的稳定放电。图1为YAG激光诱导放电原理图。本实验中YAG激光脉冲能量为10.4mJ,脉宽为150ns,频率为1kHz,通过改变放电脉宽、放电介质和放电高低压端输入等初始条件,来考虑通道中电压与电流的变化。

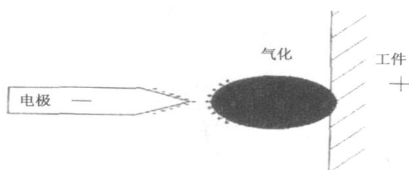


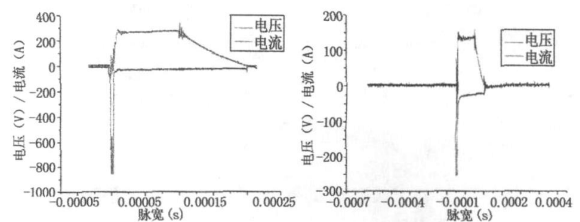
图1 原理图

2 放电通道弧压的研究

研究不同初始条件对放电通道弧压的影响。

2.1 同一放电介质(空气)

在同一介质中,改变放电高低压组合,如图2,弧压基本保持在26V不变,这正是由于电弧的最小电压原理所致,当弧柱环境不变下,电弧的最小能量消耗也是不变的,故电极间电压是不变的,这从另一方面也说明了本实验中的气体放电为电弧放电^[4]。



750V/60V 弧压:26V,电流:270A 400V/45V 弧压:26V,电流:125A

图2 空气中不同初始高低压组合下放电通道弧压

2.2 不同放电介质

根据初始条件的不同,本实验中采取两种方式分别研究。

2.2.1 等放电能量注入

在三种介质中,相同放电脉宽(100μs)下,利用改变放电初始高低压组合,使得放电的输入能量均为1.15J,放电的电压及电流波形如图3所示:

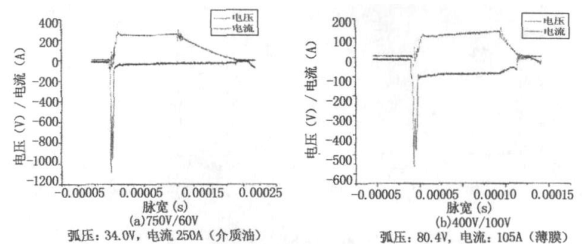


图3 不同放电介质中等能量放电通道弧压

由图 3 可以看出在空气中, 弧压最低, 电流最大, 而随着放电介质箍缩能力的增大, 从使用介质油到薄膜, 弧压逐渐增大, 电流则是逐渐减小。这是因为随着放电介质箍缩能力的增大, 使得通道变细, 而电阻的大小与截面积成反比, 故通道的电阻变大。

2.2.2 同初始高低压组合和脉宽条件

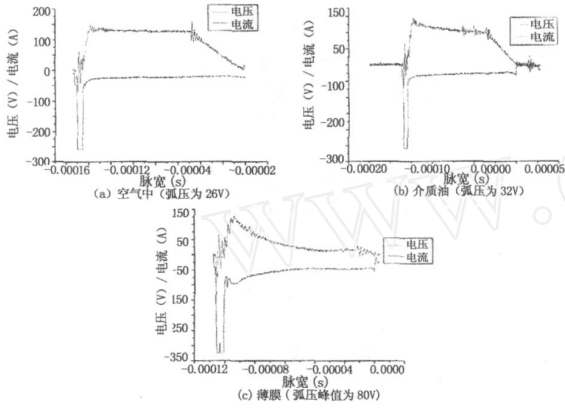


图 4 不同介质中同初始高低组合和脉宽条件下放电通道弧压

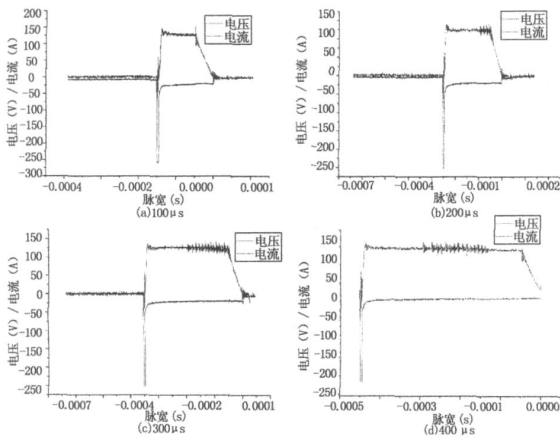


图 5 不同放电脉宽下的电流波形

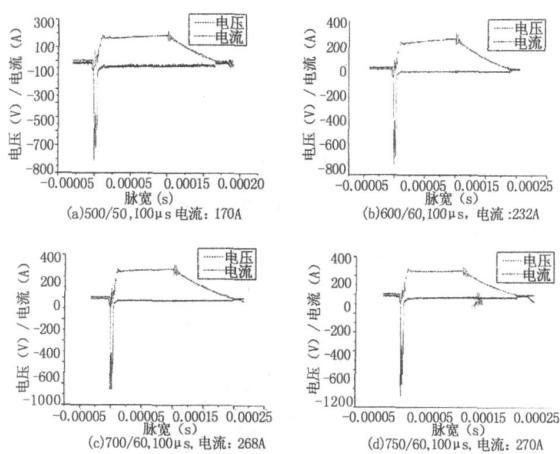


图 6 不同高压端输入下的电流波形

高/ 低压分别为 400V/ 40V, 脉宽为 100µs, 在三种介质中

的电压和电流波形如图 4 所示。同上所述类似, 当放电介质的箍缩能力增大时, 在能够有效放电的前提下, 弧压呈上升趋势, 特别是当放电介质为薄膜时, 在高压为 400V/ 40V, 弧压先达到峰值 80V, 之后逐渐减少至 48V 稳定。这说明随着箍缩能力的增强, 弧柱截面积减少, 电弧电阻随之增大, 弧压也随之增大, 并达到最大值, 而后因为低压续流能力不足, 导致后续能量注入不足, 弧压降低至稳定, 直至放电结束。

3 放电通道电流的影响因素

3.1 放电脉宽

在高压 (400V/ 40V) 及放电介质不变的情况下, 改变脉宽, 对通道中的电流强度不造成影响, 均为 125A 左右, 如图 5 所示。

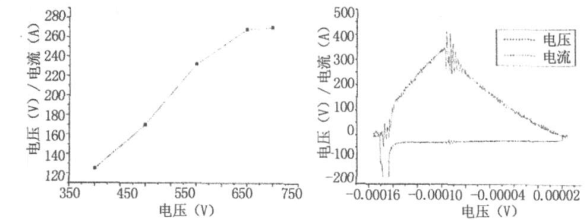


图 7 电流与高压值之间的关系 图 8 400V/ 120V、100µs 下电流波形

3.2 初始放电电压

3.2.1 高压端 (电流波形为矩形波时)

当初时放电电压增加时, 如图 6, 电流随放电初始电压的变化曲线如图 7 所示, 可知随着初始放电电压的增加, 电流也随之增大, 最后逐渐趋于平稳。

3.2.2 低压端 (三角波)

当增大低压至 120V 时, 会使得电流波形变为三角波, 如图 8, 电流峰值也随之增大, 当脉宽为 100µs 时, 峰值电流为 350A。图 9 列出不同脉宽下的电流波形:

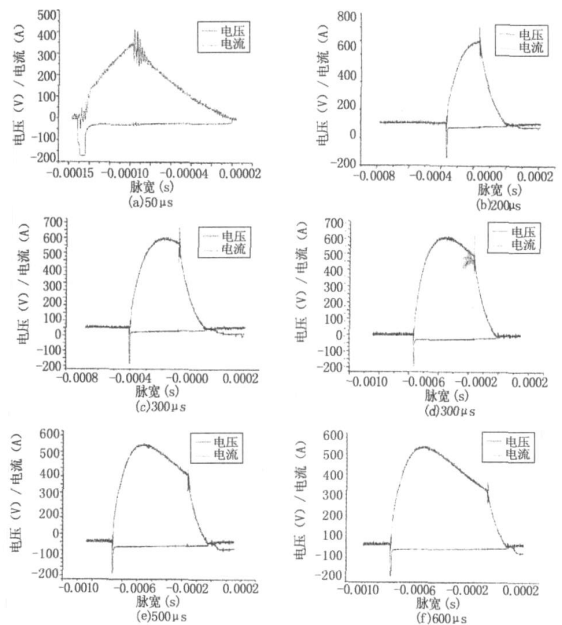


图 9 不同脉宽下的电流波形

可见, 增大低压, 可提高电流峰值, 当低压为 120V 时, 通道的峰值电流为 600A 左右, 且达到峰值时所需的脉宽大约

为200 μ s。根据上图9,可见脉宽对电流波形无影响,它只改变电流的通断时间。

3.3 不同放电介质

高低压分别为400V/40V,脉宽为100 μ s,在三种介质中的电流波形如图4所示。空气和介质油中,均为方波,而在薄膜中为三角波,且电流大小差别不大,均在125A左右。在介质为薄膜时,当起续流作用的低压增大时,如图10所示,通道的电流波形将由三角波变为方波,峰值电流先有所下降,后随着低压的进一步增大而增大。

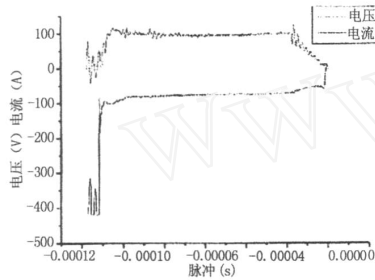


图10 400V/85V、放电介质为薄膜时电流波形
(电流峰值为100A左右的方波)

4 结论

同一放电介质中,弧压不随初始条件的改变而变化,它的大小与放电介质对通道的箍缩能力成正比。

通道中的电流波形与放电介质有关,相同条件下在空气和油膜中为矩形波时,在薄膜中则为三角波,当在此基础上提高续流能力,则转变为矩形波。

电流波形与放电脉宽无关,其它条件不变时,通道电流随高压端或低压端输入的增大而提高,其中增大低压续流端更有效果。

参考文献

- [1] S. Tzortzakis, B. Prade, M. Franco, and A. Mysyrowicz. Femtosecond laser - guided electric discharge in air [J]. PHYSICAL REVIEW E, 2001, 64, 057401.
- [2] 曾传相,周业为,谢建.火花放电辅助下激光破坏材料的研究[J].激光技术,1998,22(1):3~7.
- [3] Zhengyang Li, Yang Mingjiang, Wenjin Liu, et al. Investigation on crater morphology by high repetitive rate YAG laser - induced discharge texturing [J]. Surface & Coatings Technology, 2005, 3:243.
- [4] 过增元,赵文华.电弧和热等离子体[M].北京:科学出版社,1986,25~26.

(上接第16页)

镀1064nm & 532nm高反膜和808nm高透膜, S_2 面镀532nm和1064nm增透膜;倍频晶体KTP(3×3×5mm)两端面镀1064nm和532nm的增透膜;热补偿透镜 $f=100$ mm,两端面镀宽带增透膜;输出镜为平镜, S_1 面镀1064nm高反膜和532nm增透膜。

为了满足激光器在一些高精度测量仪器中的应用,缩短相干长度同时增大相干区域的周期,要求谐振腔腔长达到1米左右。由于热效应的影响,实验中在腔长大于800mm时,谐振腔变为非稳腔。为此对热效应进行了补偿,在谐振腔内加入热补偿透镜。一般情况下热补偿透镜常用于激光晶体与倍频晶体之间,但由于超长的腔长,热补偿后的光束直径会比较大,不利于倍频晶体的吸收,影响转换效率。因此我们选择将热补偿透镜放在KTP之后,既实现了长腔激光器的稳定运转,同时提高了倍频效率。在腔长 $L=1350$ mm,泵浦功率为3W时,获得了输出功率为110mW的绿光,发散角为0.7mrad,稳定性小于2%,输出功率随泵浦电流的变化曲线如图3。

当腔长为810mm,泵浦电流为3.0A时,1064nm的输出功率达到996mW,532nm的输出功率达到204mW,倍频转换效率为20%。当腔长达到1350mm,泵浦电流为3.2A时,绿光输出功率为110mW。通过计算,在拉长谐振腔腔长的过程中,光束束腰半径的大小变化不明显。

在实验过程中使用的Nd:YVO₄为切割,Nd:YVO₄有偏振吸收,需要注意晶体的偏振吸收方向要与泵浦光的偏振方向吻合。

3 结论

分析了激光器的相干长度与谐振腔腔长的关系,研究了全固态Nd:YVO₄/KTP激光器,在谐振腔腔长超过1m时绿光输出。在谐振腔内加入热补偿透镜对热效应进行了补偿,实现了长腔激光器的稳定运转。在腔长 $L=1350$ mm,泵浦功率为3W时,获得了输出功率为110mW的绿光,发散角为0.7mrad,稳定性小于2%。

参考文献

- [1] 李尚俊,刘永智.半导体多纵模激光器相干特性分析[J].激光杂志,2000,21(3):59-60.
- [2] 蓝信钜.激光技术[M].北京:科学出版社,2000,104-106.
- [3] 孙文,江泽文,程国祥.固体激光工程[M].北京:科学出版社,2003,212-218.
- [4] B.L. Booth, S.M. Jarrett, G.C. Barker. Holograms Made With Pulsed Argon - Ion Lasers Operating in Various Transverse Mode [J]. Applied Optics, 9(1):107-111.
- [5] 朱琳,陈檬,庞庆生,常亮,李港.短相干长度全固态多纵模绿光激光器的研究[J].激光杂志,2007,28(2):56.
- [6] 张彪,陈檬,李港.激光二极管的自聚焦透镜耦合理论与设计[J].激光与红外,2005,35(9):673-675.