

文章编号: 1001-3806(2006)03-0248-04

Nd:YAG 激光器切割硅薄膜太阳能电池的工艺参数研究

刘源¹ 李正佳^{1*} 吴奇彬²

(1. 华中科技大学 激光技术国家重点实验室 武汉 430074 2. 华中科技大学 光电子工程系 武汉 430074)

摘要: 结合国内外激光薄膜加工研究结果,从激光与物质相互作用的角度出发,建立激光切割硅薄膜太阳能电池的柱面坐标理论模型。利用 Monte Carlo 法求得多层薄膜结构的光场分布,进一步用有限元法(finite element method, FEM)求得柱面坐标下热平衡方程的数值解。得出了能量密度、脉冲形状、重复频率、光斑形状与切割速度以及切割质量之间的关系。

关键词: 激光技术;切割;有限元法;太阳能电池

中图分类号: TG485 **文献标识码:** A

Research of technical parameters of Nd:YAG laser scribing silicon film solar cell

LIU Yuan¹ LI Zheng-jia¹ WU Qi-bin²

(1. National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan 430074, China; 2. Department of Opto-Electronics Engineering, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: An optical-thermal model in cylindrical coordinate of pulsed laser scribing multi-layer thin film solar cell module is established. Monte Carlo method is employed to obtain the light fluencies rate of multi-layer material. Finite element method (FEM) is used to solve the heat equation in cylindrical coordinate. And the connection of the laser energy density, repetition frequency, the shape of pulse and facula, scribing rate and scribing quality is obtained.

Key words: laser technique; scribing; finite element method; solar cell

引言

激光加工相比其它加工方式,具有割线小、切割速度快、割缝边缘垂直度好、切割时无机械应力等优点。在薄膜太阳能电池加工的过程中,可以利用激光对太阳能电池的各个层分别进行切割是一道重要工序。最常用的硅薄膜太阳能电池切割激光器为 Nd:YAG,近年来,ArF, KrF, XeCl 等准分子激光器等紫外波段的激光器也被应用到硅薄膜半导体材料的加工领域^[1]。短波长激光器可以聚焦产生更小的光斑,可以使割缝更小,并且在切割面的平整度和切割质量上也有较大提高。但是,准分子激光在硅材料表面的反射率大于 Nd:YAG 激光器,并且准分子激光的重复频率普遍低于 Nd:YAG 激光器,因此不能达到 Nd:YAG 激光器的切割速率。现有的硅薄膜半导体材料加工设备仍大量采用 Nd:YAG 激光器,为了发挥 Nd:YAG 的最大切割效用,笔者从激光与物质相互作用的基本理论出发,建立激

光切割硅薄膜太阳能电池的二维理论模型,分析多层材料在相变之前的温度场分布,指导 Nd:YAG 激光器参数的优化设计。

1 理论模型与分析

激光薄膜切片技术的关键问题是确定最有效的利用激光能量、大面积快速切割和较高的切割质量时所应具备的条件。而激光波长、能量密度、脉冲宽度、光斑形状与薄膜损伤阈值以及切割质量、切割速度之间的关系比较复杂,相互关联。

用激光切割薄膜材料,必须提供一定的激光脉冲能量使材料熔断和汽化,产生刻槽,因此,作者试图从分析材料在相变前温度场的分布入手,分析 Nd:YAG 激光器切割硅太阳能电池薄膜的各项工艺参数。

在薄膜层温度达到熔断阈值点之前几乎所有的激光脉冲能量都是热能形式传入薄膜的^[2],而使材料汽化则需要更多的能量堆积。然而,太高的能量密度会引起激光脉冲的主要边缘地带产生的汽化物质所吸收的展宽的激光脉冲数增加。在这种情况下,激光器的大量脉冲能量无法到达薄膜。并且,随着能量密度的增加,割线的宽度也随之增加,受到热影响的区域增加,相比之下,割线的深度却没有如此显著的增加^[3],

作者简介:刘源(1979-),女,硕士研究生,现从事激光与物质相互作用的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhjli@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2005-03-07 收到修改稿日期: 2005-04-08

希望找到一个最佳的切片能量密度有利于展开其它问题的讨论。

为此,将以常见的太阳能电池单元 a-Si/TCO/glass 多层结构建立光热模型,分析脉冲激光与多层结构物质相互作用过程,通过分析激光作用在多层结构物质中温度场的分布来指导激光器切割系统的设计与制造。BIANCO 等在激光与多层物质相互作用光热模型方面做了大量工作,利用多层结构的光传输矩阵描述其光场分布,利用有限体积法求解热平衡方程^[4]。本文中采用了 Monte Carlo 方法描述光场分布,并利用有限元法求解热场分布。

1.1 光热模型

随着计算机技术的发展,各种数值计算方法得到广泛应用,本文中用 Monte Carlo 方法描述光场分布,利用有限元法求解热场分布。

在模拟过程中,为了尽量地还原真实状态,并且简化计算,做出了如下假设与约定。忽略光在物质中的自聚焦现象(事实上,由于材料的复折射率的实部为常数,所以没有表现出自聚焦现象);忽略压电效应,静电效应;在整个激光脉冲作用期间,忽略材料表面传向空气的热量损失(即认为材料与空气的接触面都是绝热的);忽略激光在物质中的散射效应;不考虑物质中的对流与辐射传热,只计算传导导热;忽略非热平衡,非傅里叶热效应;不考虑温度达到熔点以及沸点时的相变问题(不考虑熔融潜热)。各层材料在光学性能和热学性能上都认为是各向同性的,而光学性能和热学性能与材料的温度呈非线性关系,其拟合函数如表 1 所示。本文中的模型是以脉冲激光作为有效载荷,计算一个脉冲时间内模型内部的温度分布。

激光切割硅薄膜的理论模型可以参照三维固体热

Table 1 Physical parameters of glass, SnO₂ and a-Si

	$c/(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$	$\kappa/(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	$\rho/(kg \cdot m^{-3})$	\bar{n}
glass ^[6]	1200	1.4	2200	1.46-i0.0
SnO ₂ (TCO) ^[7]	371.0 + 0.217(T - 273.15)	39.6 - 2.09 × 10 ⁻² (T - 273.15) + 4.62 × 10 ⁻⁶ (T - 273.15) ² 1.3 × 10 ⁻⁹ (T - 900) ³ +	6640	1.95-i0.002
a-Si ^[8]	952.0 + (171.0 × T)/685	1.3 × 10 ⁻⁷ (T - 900) ² + 10 ⁻⁴ (T - 900) + 1.0	2330	3.8 - [0.043 + 6.297 × 10 ⁻³ × (T - 273.15)]

传导微分方程:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\kappa \nabla T) + \dot{U}''(T, r, z, t) \quad (1)$$

式中, $\dot{U}''(T, r, z, t)$ 为热源函数, ρ, c 分别为材料的密度和比热容, t 为时间, κ 为热导率, T 为温度。

由于入射光束为高斯光束,具有中心对称性,光场分布只与离中心的距离有关,因此,可以将问题转移到柱面坐标下,多层结构的光热模型如图 1 所示,激光入

向尺寸 z_i 为每层的纵向坐标,每层的厚度为 S_i , T_i 为第 i 层的温度分布函数, ρ_i, c_i 分别为第 i 层的密度和比热容, κ_i 为热导率。(2)式中的 $\dot{U}''(T, r, z, t)$ 为柱面坐标下的热源函数,其表达式为:

$$\dot{U}''(T, r, z, t) = \mu_a [\Phi_c(r, z) + \Phi_d(r, z)] \quad (3)$$

式中, T 为温度, r 为材料的横向尺寸, z 为整个模型的厚度坐标, μ_a 为材料吸收系数, $\Phi_c(r, z)$ 为准直射部分光通量, $\Phi_d(r, z)$ 为散射部分光通量, $\Phi_c(r, z)$ 与 $\Phi_d(r, z)$ 均由 Monte Carlo 法计算获得。

(2)式有如下初始与边界条件 (1) $T_i(r, z_i, 0) = T_{in}$, 材料在 $t = 0$ 时温度均匀分布,为常数 T_{in} (2) $\frac{\partial T_i(r, \rho, t)}{\partial z_i} = 0, \frac{\partial T_{i-1}(r, S_{i-1}, t)}{\partial z_{i-1}} = -\kappa_i \frac{\partial T_i(r, \rho, t)}{\partial z_i}$

描述层边界的热交换 (3) $T_{i-1}(r, S_{i-1}, t) = T_i(r, \rho, t)$, 相邻层边界温度相等 (4) $T_{n+1}(r, z_{n+1} \rightarrow \infty, t) = T_{in}$, 玻璃基底的厚度远远大于其它层的厚度,因此,可以看成是半无限的,在 $z_{n+1} \rightarrow \infty$ 处,温度不受影响,仍然为初始温度 T_{in} 。

1.2 FEM 求解

由于(2)式难以求得解析解,通过有限元分析法 (finite element method, FEM) 来求解其数值解。

首先建立如图 2 所示 a-Si/TCO/glass 结构的实体

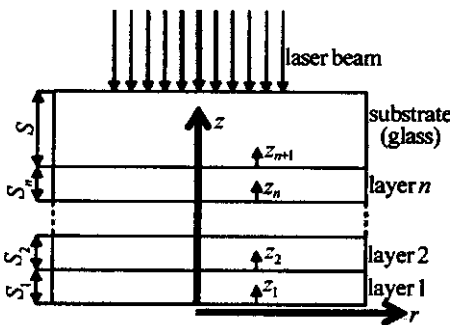


Fig. 1 Optical-thermal model of multi-layer

射方向激光束在箭头所指方向垂直入射,为 $-z$ 方向, (1)式可以改写成^[5]:

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \kappa_i \frac{\partial T_i}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z_i} \left(\kappa_i \frac{\partial T_i}{\partial z_i} \right) + \dot{U}''(T, r, z, t) \quad (2)$$

式中, i 为层标号, $i = 1, 2, 3, \dots, n, n+1$, r 为材料的横

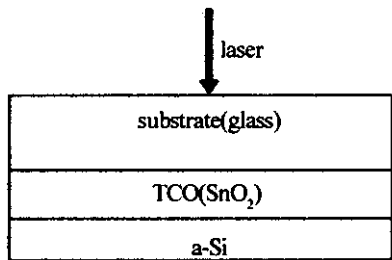


Fig. 2 Structure of a-Si cell

模型 激光束从玻璃方向垂直入射。激光束截面能量为高斯分布 $I(r) = I_0 \exp(-r^2/r_0^2)$, 半径为 $r_0 = 20\mu\text{m}$, 入射激光脉冲波形函数 $f(t) = \exp(-t/t_0)/t_0^2$, 其中 $t_0 = 5\text{ns}$ 。输入光强分别为 $I_0 = 1.0 \times 10^{11} \text{W/m}^2$ 与 $I_0 = 2.0 \times 10^{11} \text{W/m}^2$, 光斑直径为 $40\mu\text{m}$, a-Si 厚度为 $0.5\mu\text{m}$, TCO(SnO_2) 厚度为 $0.6\mu\text{m}$, 玻璃厚度为 $20\mu\text{m}$ 。

然后对实体模型进行有限元网格划分。在 z 方向 a-Si 被划分为 50 个节点, TCO 被划分为 60 节点, 玻璃厚度远大于 TCO 和 a-Si 层, 划分为 200 节点已经可以描述玻璃内部的热场分布。在 r 方向, 整个材料半径设定为 $100\mu\text{m}$, 相对于激光作用区域与实际热影响区域 (大约 $50\mu\text{m}$), 可以认为是半无限的, 划分为 200 节点。时间步长设为 0.1ns , 材料光热参数中, TCO(SnO_2) 和 a-Si 的比热容 c , 热导率 κ 为非线性参数, 如表 1 所示, 在每个时间步长后, 得到温度与非线性参数的离散序列, 将非线性连续关系转换为离散序列以便数值计算。参考温度 300K , 环境温度 300K 。

通过 FEM 数值计算获得瞬态温度场如图 3 所示。

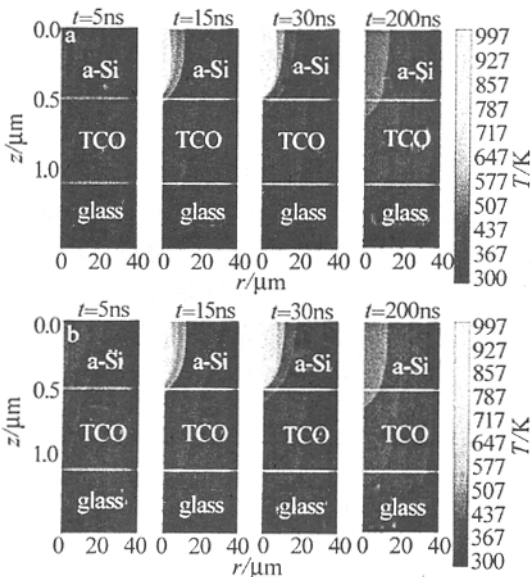


Fig. 3 Temperature field vs. time for the different incidence energy

a— $I_0 = 10^{11} \text{W/m}^2$ b— $I_0 = 2 \times 10^{11} \text{W/m}^2$

从 (3) 式又可以看出, 热源函数与 $\Phi_c(r, z)$ 相关, 而 $\Phi_c(r, z)$ 是与脉冲波形函数相关的函数:

$$\Phi_c(r, z) = I(r) f(t) (1 - r_{sp}) \exp(-\mu_1' z) \quad (4)$$

式中 $I(r)$ 为表面入射光强分布函数, r_{sp} 为反射系数,

μ_1' 为总体衰减系数, $f(t)$ 为激光波形函数。

因此, 不同激光脉冲波形对温度场分布也是会产生影响的。笔者选取了 3 种常见的激光脉冲波形来考察脉冲波形与温度场分布的关系。分别选取高斯脉冲 $f(t) = \exp[-4 \times (t - t_0)^2 / t_0^2]$, 三角波 $f(t) = \begin{cases} t/t_0 & 0 \leq t \leq t_0 \\ (40 - t)(t - 5) & 5 \leq t \leq 40 \\ 0 & t \geq 40 \end{cases}$ 和拟合调 Q 脉冲 $f(t) = t \exp(-t/t_0)/t_0^2$, 其中 $t_0 = 5\text{ns}$, 来模拟 $r = 0\mu\text{m}$, $z = 0\mu\text{m}$ 与 $r = 20\mu\text{m}$, $z = 0\mu\text{m}$ 处, 脉冲作用 100ns 内的温度曲线, 如图 4 所示。

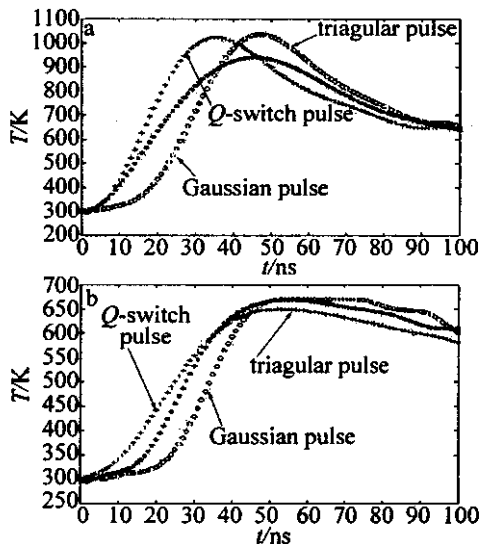


Fig. 4 Temperature curves vs. time for different laser shapes
a— $r = 0\mu\text{m}$, $z = 0\mu\text{m}$ b— $r = 20\mu\text{m}$, $z = 0\mu\text{m}$

2 结果分析

在上述光热场模型中, 只描述了多层结构在相变之前的光热场分布, 而实际激光切割薄膜材料, 将有熔融和汽化等状态存在。因此, 不可能通过模型的求解获得最终的材料状态, 切割质量或者割线外形。

2.1 激光能量与切割质量关系的讨论

从图 3a、图 3b 中可以清晰判断出可能的熔融区域, 受热影响的区域和热传导趋势等。在相变之前, 材料内部主要传热方式为热传导, 图中深灰色区域为热传导而导致的温度升高。t = 30ns 时, 如果入射的激光能量足够大, a-Si 内部的熔融将从 $r = 0$ 处开始, 熔融区域将主要集中在半径 $20\mu\text{m}$ 以内的区域中。入射的光强对内部温度分部起到至关重要的作用, 比较图 3a、图 3b 可以发现, 在相等时间条件下, 图 3b 中的温度场要普遍高于图 3a, 而与之同时产生的是更大的区域受到热影响。如果采用更高的入射能量, 则在激光入射区域将会形成更多的熔融汽化区域。如果继续加大激光能量, 图 3b 中白色的熔融临界区域将继续扩大, 升温, 材料内产生相变, 传热方式从热传导转变为

汽化传热机制。熔融与汽化需要大量的热量,因此,完成切割所需的能量应该是使材料升温和割缝内物质熔融汽化所需的热量总和。而表面汽化产生的那一刻开始,汽化产生的气体将吸收部分光能,汽化表面将形成一个能量阻隔层,大部分光能被转化为汽化热,从材料表面到内部的热传导效果甚微。而此时,能量的利用率下降很多,过高的能量使割缝的横向发展比深度发展要严重,影响切割的质量。

2.2 激光脉冲波形与切割质量关系的讨论

从图4中可以看出,在 $z=0$ 平面上, $r=0\mu\text{m}$ 和 $r=20\mu\text{m}$ 处,由于调Q脉冲有着较短的脉冲上升时间,因此,温度上升也较快。在图4a中,40ns以后,由于热传导,以及相对较少的下降沿激光,温度开始迅速下降。而图4b反映了非激光直接作用区域的温度时间曲线,调Q脉冲同样显示出了温度上升与下降较其它两种脉冲快速的特点。图4在一定程度上反映了有较短脉冲建立时间的激光脉冲可以降低其它区域受热影响的程度。

2.3 重复频率、光斑形状与切割速率的关系

此外,如果摒除多余热量的影响,较快的重复频率可以获得快的切割速率,但是从图3($t=200\text{ns}$)中的温度场分布以及图4中的温度时间曲线可以看出,激光脉冲产生的多余能量需要一定的时间来消散,过快的重复频率将导致多余热量的大量堆积,影响切割质量。实验中发现,在获得较好切割质量、重复频率为1kHz时,切割速率可以到25mm/s;重复频率为2kHz时,速率可以到30mm/s。当重复频率继续上升时,切割质量下降。而如果此时加大输出功率,则可能使材料的受热影响范围扩大。实验中获得的较好的切割速率与脉冲重复频率配对如图5所示。

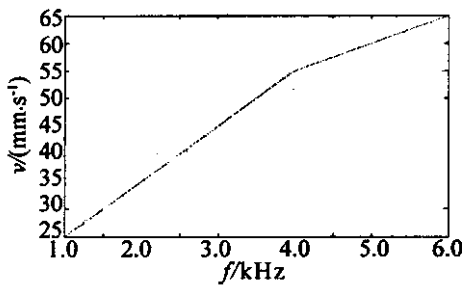


Fig. 5 Curve of repetition frequency and scribing velocity

在聚焦系统的设计上,利用柱面镜聚焦可以获得比用球面聚焦系统更高的切割速率与质量。在模拟过程中,激光光斑呈圆形高斯分布,光斑半径为 $20\mu\text{m}$,其中可能的熔融汽化区域的半径仅有 $6\mu\text{m}$,其它区域

对材料只有加热作用。如果用球面聚焦系统形成更小的光斑,则割缝方向的光斑尺寸进一步减小,切割速率将下降。而在保证能量密度的前提下,适当加大割缝方向的光斑尺寸,可以增加切割速率,提高切割质量。因此可采用柱面镜聚焦,聚焦后光斑如图6所示。

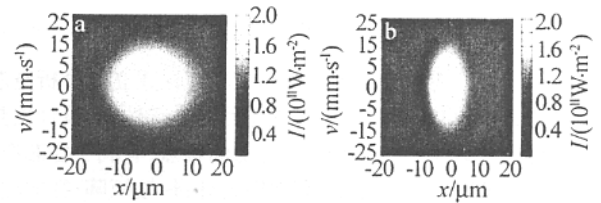


Fig. 6 Laser facula resulted from
a—spherical focus system b—cylindrical focus system

3 结论

激光器的各类参数与高质量切割的关系非常复杂,本文中建立的相变前薄膜结构内部热传导模型,有助于更好地理解激光与多层结构材料的相互作用过程,对激光器的设计提供了理论参考。在下一步的研究中将考虑相变引起的材料相态的变化,进一步细化模拟过程。

参考文献

- [1] MATULIONIS I, NAKADE S, COMPAAN A D *et al.* Wavelength and pulse duration effects in laser scribing of thin films [A]. Photovoltaic Specialists Conference, 1997, Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE [C]. Anaheim, CA: IEEE Press, 1997. 491~494.
- [2] COMPAAN A D, MATULIONIS I, MILLER M *et al.* Optimization of laser scribing for thin-film photovoltaics [A]. Photovoltaic Specialists Conference, 1996, Conference Record of the Twenty-Fifth IEEE [C]. Washington DC: IEEE Press, 1996. 769~772.
- [3] QI J, WANG K L, LIANG M Ch *et al.* Study on laser scribing of silicon wafer with a Q-switched Nd:YAG laser [J]. Journal of Materials Engineering, 1999, 44(3): 45~48 (in Chinese).
- [4] BIANCO N, MANCA O. Two-dimensional transient analysis of absorbing thin films in laser treatments [J]. American Society of Mechanical Engineers Journal of Heat Transfer, 2000, 122(2): 113~117.
- [5] ANGELOUCCI N, BIANCO N, MANCA O *et al.* Thermal transient analysis of thin film multilayers heated by pulsed laser [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1997, 40(11): 4487~4491.
- [6] GRIGOROPOULOS C P, PARK H K, XU X *et al.* Modeling of pulsed laser irradiation of thin silicon layers [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1993, 36(4): 919~924.
- [7] KIYAMA S, HIRONO Y, HOSOKAWA H *et al.* Temperature distribution analysis in multi-layer thin film structure by laser beam irradiation [J]. Japan Society of Precision Engineering, 1990, 56(6): 1500~1506.
- [8] ONG C K, TAN H S, SIN E H *et al.* Calculation of melting threshold of crystalline and amorphous materials due to pulsed-laser irradiation [J]. Material Science & Engineering, 1986, 79(3): 79~85.

作者: 刘源, 李正佳, 吴奇彬, LIU Yuan, LI Zheng-jia, WU Qi-bin
作者单位: 刘源, 李正佳, LIU Yuan, LI Zheng-jia(华中科技大学, 激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074), 吴奇彬, WU Qi-bin(华中科技大学, 光电子工程系, 武汉, 430074)
刊名: 激光技术 **ISTIC PKU**
英文刊名: LASER TECHNOLOGY
年, 卷(期): 2006, 30(3)
被引用次数: 1次

参考文献(8条)

1. MATULIONIS I. NAKADE S. COMPAAN A D Wavelength and pulse duration effects in laser scribing of thin films 1997
2. COMPAAN A D. MATULIONIS I. MILLER M Optimization of laser scribing for thin-film photovoltaics 1996
3. QI J. WANG K L. LIANG M Ch Study on laser scribing of silicon wafer with a Q-switched Nd:YAG laser[期刊论文]-Journal of Materials Engineering 1999(03)
4. BIANCO N. MANCA O Two-dimensional transient analysis of absorbing thin films in laser treatments 2000(02)
5. ANGELUCCI N. BIANCO N. MANCA O Thermal transient analysis of thin film multilayers heated by pulsed laser 1997(11)
6. GRIGOROPOULOS C P. PARK H K. XU X Modeling of pulsed laser irradiation of thin silicon layers 1993(04)
7. KIYAMA S. HIRONO Y. HOSOKAWA H Temperature distribution analysis in multi-layer thin film structure by laser beam irradiation 1990(06)
8. ONG C K. TAN H S. SIN E H Calculation of melting threshold of crystalline and amorphous materials due to pulsed-laser irradiation 1986(03)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 张永强. 吴艳华. 陈武柱. 张旭东. ZHANG Yong-qiang. WU Yan-hua. CHEN Wu-zhu. ZHANG Xu-dong 激光切割光辐射与切割质量关系的研究 -激光技术2007, 31(4)
为了研究激光切割过程光信号与切割质量的关系, 搭建了以切割前沿光辐射作为检测参量的实时检测系统, 对切割前沿光辐射的时、频域信号进行了试验研究, 得到了不同参数下光信号的变化规律. 时域分析表明, 无缺陷试样对应的标准方差较低; 与无缺陷切割相比, 过烧缺陷对应的光信号具有较低的强度和较高的标准方差; 挂渣缺陷具有较高的强度和标准方差. 频域分析表明, 低速切割, 光信号主频与切缝表面波纹频率一致; 高速无缺陷切割无明显主频; 挂渣缺陷具有明显的低频波动. 结果表明, 燃烧循环理论不仅是切割面波纹形成的主要因素, 也是光信号主频产生的主要原因.
2. 期刊论文 张永强. 吴艳华. 陈武柱. 张旭东. 阎启. ZHANG Yong-qiang. WU Yan-hua. CHEN Wu-zhu. ZHANG Xu-dong. YAN Qi 激光束姿态对三维激光切割质量的影响 -中国激光2006, 33(1)
研究了在三维激光切割过程中, 激光束姿态("切割倾角"和"切割方向")对切割质量的影响. 结果表明, 当激光束偏离重力方向达45°时, 保证切割质量合格的工艺参量范围将发生变化: 三维上坡切割的范围略大于二维切割, 而三维下坡切割的范围则明显小于二维切割. 指出了在三维切割中, 应尽量采用上坡切割方式, 在必须采用下坡切割方式的时候应控制其最高切割速度小于二维切割的速度.
3. 期刊论文 袁明权. 凌宏芝. 彭勃. YUAN Ming-quan. LING Hong-zhi. PENG Bo 石英玻璃薄板激光精密切割技术 -激光技术2006, 30(4)
为了实现石英玻璃薄板的激光精密切割, 对石英玻璃薄板激光切割原理进行了探讨, 提出了依照材料光学透过率特性来选择激光切割用激光光源的方法. 通过对材料光学透过率的特性分析可以得知, 用来切割石英玻璃的激光波长应在5 μm~20 μm范围内. 对石英玻璃薄板的激光精密切割进行了实验验证, 实验结果表明, 激光精密切割技术能够较好地运用于石英玻璃薄板的精密切割加工中, 其加工精度优于20 μm. 中心对称度小于3 μm. 这一结果和激光光源选择方法对石英材料激光精密加工技术研究及其设备研制是有帮助的.
4. 期刊论文 谢小柱. 李力钧. 魏昕. 胡伟. Xie Xiaozhu. Li Lijun. Wei Xin. Hu Wei 有机玻璃激光气化切割前沿 -中国激光2008, 35(6)
以PMMA(有机玻璃)为试件, 采用CCD拍摄到CO₂激光气化切割前沿的照片. 研究焦点位置、切割速度和激光功率对切割前沿形状和前沿深度的影响, 并建立激光能量耦合模型. 结果表明, 由于前沿存在多次反射, 使得切割深度增加. 正离焦切割时, 前沿吸收的总激光功率密度减小, 切割深度减小; 负离焦切割时, 最大激光功率密度值的位置下移, 使得前沿功率密度分布朝着深部推进, 切割深度增加, 若负离焦量过大, 表面光斑直径和光程增加, 更深位置的功率密度减小, 切割深度减小; 随着激光功率增加、切割速度减小, 则前沿弯曲程度减小, 被激光直接照射的前沿部位增长, 前沿吸收激光功率密度增加, 切割深度增加.
5. 期刊论文 陈继民. 左铁钊 CO₂激光三维方位切割的神经网络分析 -中国激光2004, 31(2)
三维激光切割在汽车、航空航天工业等领域得到越来越广泛的应用. 在三维激光切割过程中, 由于三维工件的复杂性, 切割头与工件表面保持垂直的同时, 不可避免地要进行一些方位切割. 为了定量地描述激光头的方位对切割质量的影响, 采用10分制对切割质量进行量化, 然后用人工神经网络的方法对结果进行分析. 结果表明, 人工神经网络可以通过网络的训练和自学习, 获得很多新的知识, 用于指导实际切割.

6. 会议论文 [阳建华, 陈继民, 左铁钊 高功率紫外激光精密切割](#) 2005

为了得到满足微电子工业应用的微细薄膜器件,以实验的方法分析和研究了影响紫外激光切割金属薄膜的切割质量的主要因素,介绍了针对金属薄膜柔性系数高、容易变形等特点而采取的特殊金属薄膜装夹方法.结果表明,在金属薄膜的紫外激光精密切割过程中,针对不同种类金属薄膜选择合适的紫外激光输出功率及最佳切割速度有助于减少切缝宽度,获得较好的切缝质量;同时对金属薄膜选用合适的装夹方法,保证金属薄膜在精密切割过程中平整无变形,可有效地提高切割精度及微细薄膜器件加工的成功率.

7. 期刊论文 [邓前松, 唐霞辉, 秦应雄, 彭浩, 柳娟, DENG Qian-song, TANG Xia-hui, QIN Ying-xiong, PENG Hao, LIU Juan 中厚钢板小圆孔的高功率CO2激光切割工艺研究 -激光技术](#)2008, 32(5)

为解决高功率CO2激光切割广泛用于面板、模板制作的中厚钢板小圆孔时存在的切割质量差的问题,采用Rofin DC025板条CO2激光切割系统,对6mm厚的A3钢板进行了5mm小孔的激光切割工艺研究.系统研究了激光功率、切割速度和氧气压力对切割质量的影响,分析了切割前沿温度分布对切割质量的决定作用.结果表明,当激光功率为1KW、切割速度为1.0m/min、氧气压力为 1.2×10^5 Pa时可获得最佳切割效果,解决了中厚钢板小圆孔的高功率CO2激光切割时存在的切割质量差的问题.

8. 会议论文 [邝贤锋 激光技术在塑料薄膜加工中的应用](#) 2006

塑料薄膜的激光切割和打孔看似微不足道,但将工艺引入到制造工业中,制袋质量和包装功能进一步优化,企业的市场竞争力将进一步提升.本文介绍了激光技术应用于塑料薄膜的切割和打孔的原理和优势,回顾了激光技术在薄膜加工中的研究进展,并展望了激光技术在包装应用中的广阔背景.

9. 期刊论文 [孙玲芳, 严椿绶 激光技术在木材切割中的应用 -林业机械与木工设备](#)2000, 28(5)

介绍了激光切割板材实验的要素和条件,通过实验数据绘制出了三维曲线图,在分析三维曲线图的基础上得出了最佳加工条件.详细介绍了三维曲线图的解法,并对实验结论进行了说明.

10. 期刊论文 [刘会霞, 王霄, 蔡兰 分层实体制造激光头切割路径的建模与优化 -中国激光](#)2004, 31(9)

分层实体制造(LOM)技术中分层制造时间是由该层的切割速度与切割路径确定的,当切割工艺参数(如:切割功率、切割速度)确定之后,每一层制造的时间是由该层切割(扫描)路径确定的.因此优化切割(扫描)路径对提高成型效率有重要意义,而分层实体制造技术中激光切割路径优化的实质是空行程路径的优化.建立了切割路径空行程路径优化的数学模型.由于求解该模型的复杂性,采用了分级规划的两个分步算法:首先用改进的最近邻域算法求解轮廓边界线上的切割起点,然后当切割点确定后把路径优化问题归结为旅行售货员问题(TSP),采用了高效的智能仿生算法—蚁群系统算法来求解.运行结果表明,该算法显著缩短了分层制造中的空行程,提高了快速原型制造的效率.

引证文献(1条)

1. [郑晓飞, 史彭, 刘伟, 白志欣 LD变半径抽运Nd:GdVO4晶体棒热效应](#)[期刊论文]-[激光技术](#) 2008(6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jgjs200603028.aspx

授权使用: 华南师范大学(hnsfdx), 授权号: 7f1421a2-c632-4ecb-9c3d-9dfe0108889e

下载时间: 2010年9月27日