

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 3/00 (2006.01)

H01S 3/23 (2006.01)

B23K 26/06 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02820622.3

[45] 授权公告日 2007 年 2 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1299404C

[22] 申请日 2002.2.18 [21] 申请号 02820622.3

[30] 优先权

[32] 2001.10.16 [33] JP [31] 318643/2001

[86] 国际申请 PCT/JP2002/001389 2002.2.18

[87] 国际公布 WO2003/034554 日 2003.4.24

[85] 进入国家阶段日期 2004.4.16

[73] 专利权人 株式会社片冈制作所

地址 日本京都

[72] 发明人 家久信明

[56] 参考文献

JP6326389A 1994.11.25

JP592284A 1993.4.16

JP2001196665A 2001.7.19

JP2001119101A 2001.4.27

审查员 王治华

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 李镇江

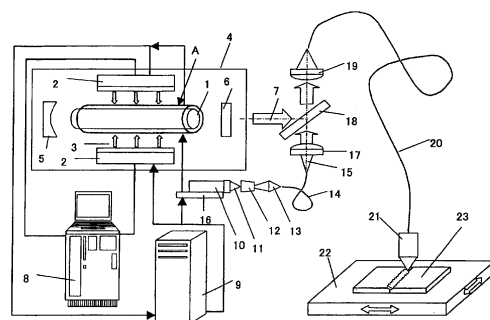
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

激光器系统

[57] 摘要

将激光器系统构造成通过二色分束器合并由固体激光器装置发出的固体激光束和由振荡波长范围短于固体激光束的激光二极管发出的激光二极管光束，所得的光束在空间中被导向光纤，并且用合并的 LD 光束和固体激光束以彼此几乎匹配的光束绝对辐射位置和辐射形状辐射工件。由此可以解决激光器系统由于较低的能量转换效率所致的高成本和高功耗的问题，而较低的能量转换效率在高输出、高亮度固体激光器装置是个问题。



1. 一种激光器系统，其特征在于通过二色分束器合并由固体激光器装置发出的固体激光和由振荡波长范围短于固体激光的激光二极管发出的激光二极管光，然后将其导向可以传输固体激光的传输用光纤，并且用该激光二极管光和固体激光以彼此几乎匹配的光绝对辐射位置和辐射形状来辐射工件，并且，在将所述激光二极管光聚光成比所述传输用光纤的纤芯的直径还要细小的光的基础上，将其与所述固体激光合并，并使该合并光入射到所述传输用光纤中。

2. 如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于将所述激光二极管光聚光成比所述传输用光纤的纤芯的直径还要细小的光是通过用于整形的光纤执行的。

3. 如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于在用固体激光辐射之前或同时，用所述的合并激光二极管光辐射工件，并且可变地独立控制激光二极管的输出激光的输出值、固体激光器的输出值以及辐射的开/关。

4. 如权利要求2所述的激光器系统，其特征在于在二色分束器中与固体激光束合并之前，通过利用单个柱状透镜或多个柱状透镜校正从所述激光二极管发出的用于合并的激光二极管光束的扩展角，从而使光束在所有方向上几乎均匀，之后，将所得的激光束引向上述用于整形的光纤，实施激光二极管发射模式图案的圆形化以及径向光束品质的均匀化之后，在二色分束器中与固体激光合并。

5. 如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于所述的固体激光器装置是一种利用激光二极管作为泵浦源的固体激光器装置，并利用发射的激光与用于在不大于 $\pm 50\text{nm}$ 的波长范围内泵浦固体激光器的激光二极管的激光具有相同波长的激光二极管作为用于合并的激光二极管。

6. 如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于用于合并的来自激光二极管的激光发射模式是一种连续发射相对于时间恒定的激光

输出的连续模式，或是一种脉冲输出模式，其中激光输出随时间变化。

7. 如权利要求 1 所述的激光器系统，其特征在于固体激光器装置的激光激活介质是一种 Nd:YAG、Yb:YAG 或 Nd:YVO₄ 的单个的固体晶体、单个固体晶体的组合或是陶瓷晶体。

激光器系统

技术领域

本发明涉及一种主要由高输出的高强度固体激光器装置构成并且有效功率有很大提高的激光器系统。

背景技术

近年来开发出了用于增大固体激光器装置的输出及强度的技术，并且已实现了满足上述两项性能的固体激光器装置。因此，可以进行高速的精细焊接和切割加工。高输出、高强度的固体激光器装置已经积极有效地用在了电气和电子部件的点焊和缝焊加工中以及用于金属、半导体、陶瓷等材料的刻划和切割加工中。

做为常规固体激光器装置的一个代表性实例，图 3 表示了一种 LD（激光二极管）泵浦的脉冲式 Nd:YAG 激光器系统，其激光器的激活介质是棒式 Nd:YAG 晶体，其平均输出功率在 300W 量级，是市场上分布最广的一种激光器。

Nd:YAG 晶体 1 由做为泵浦源的 LD 2 发出的 LD 光束 3 泵浦。从 Nd:YAG 晶体 1 发出的 $1.06\mu\text{m}$ 波长的光在构成激光谐振腔 4 的全反射镜 5 和输出耦合反射镜 6 之间被选择性放大。放大的光从输出耦合反射镜 6 做为 Nd:YAG 激光束 7 出射。根据使用情况对 Nd:YAG 激光器输出的控制由电耦合到 LD 2 的 DC 稳定电源 8 执行。为了维持稳定的 Nd:YAG 激光输出，直接或通过冷却介质供给装置 9 提供的冷却介质控制 Nd:YAG 晶体 1 和 LD2 的温度，使得周围部件的温度成为恒定。

Nd:YAG 激光束 7 由入射光会聚光学系统 10 会聚，从而满足用于传输的光纤 11 的传输条件，而光纤 11 具有 0.3mm 的纤芯直径。从光纤 11 发出的激光束由出射光会聚光学系统 14 整形并会聚，从而具有适于加工放置在 CNC 台 12 上的工件 13 的光束形状，并执行所需

的激光加工。

但在常规的结构中,在执行激光加工的情形中从激光器系统发出的激光束由输入到用于泵浦的 LD 的电转化的能量转换效率(以下称作“电-光转换效率”)是一个非常低的值,约为 10~20%。分析该值表明,用于泵浦的 LD 的电光转换效率为 30~50%,由 LD 泵浦光的能量向 Nd/YAG 激光束的能量转换效率(以下称作“光-光转换效率”)为 35~50%。“电-光转换效率”是“LD 的电-光转换效率”与“光-光转换效率”之积。

另外,如图 4 所示,在 Nd:YAG 激光束的振荡波长 $1.06\mu\text{m}$ 处,关于普通工业材料铝(以下称作“Al”)、铜(以下称作“Cu”)和铁(以下称作“Fe”)的激光束的能量吸收率分别为 5%、2%和 26%(源自 J.H.Weaver 的“Physics Data-Optical Properties of Metal”)。

因此,实际输入到 LD 的电能中被工件吸收的能量比例较低。在 Al 的情况下该能量比例为 0.5~1%,甚至在具有较高吸收率的 Fe 的情况下该能量比例为 3.5~7%。

虽然把常规的固体激光器装置安置在其上的激光加工机可以获得高速、高精细的加工性能,但它有一个问题,即由于能量利用率很低,所以激光器系统的引进及操作成本很高。所有没被转移或转换成最终的 Nd:YAG 激光束的剩余能量都变成热量,用于冷却 LD 和 Nd:YAG 晶体的冷却介质被该热量加热。其结果是从冷却装置向周围排出热量。虽然激光器是没有问题的,但会出现第二个问题,即激光器向周围环境散发热量。

考虑到这一问题,人们已经尝试着利用电光转换效率为 40%或更高的 LD 光束直接进行加工。但 LD 光束的聚光能力很低,难以用在通过小直径、0.3mm 或更小的光纤进行普通加工所必需的传输 300W 量级的输出。

本发明提供了一种激光器系统,解决了存在于高输出高强度的固体激光器装置中的由于低能量转换效率所致的高成本和高功耗的问题。

发明概述

为解决上述问题，本发明提供了一项提高固体激光器光束吸收率并实现激光器系统的较高效率的技术，该技术利用光吸收率随金属材料的基础材料温度的升高而增大的物理现象通过另一个装置同时或提前加热固体激光器激光束的加工点。

如果不必加工的部分也被加热，则不能获得理想的加工精度，并且还造成能量损失。因此，必需集中加热加工点。为此目的，通过合并用于加热传输固体激光器激光束的光纤的光束，用固体激光器的激光束以及合并的光束辐射同一加工点。

用于传输固体激光器激光束的光纤的纤芯直径通常不大于 0.3mm 以便高精度地进行微加工。合并的光束必需经小直径光纤高效率地传输。因此，如果激光束不用作合并光，就不能实现本发明目的。

做为被合并的激光束，根据对图 4 所示普通金属材料的吸收特性的估计，如果把波长短于 Nd:YAG 激光束的振荡波长 $1.06\mu\text{m}$ 的激光束用于联合激光器系统，则金属的吸收率增大。预先进行的工件加热效果也因而增强。

因此，做为用于联合激光器系统，选择激光二极管做为激光器系统，用于发射波长短于 Nd:YAG 激光束的波长并具有几乎与 Nd:YAG 激光束相同的光束会聚性的光束，该光束甚至具有激光器系统最高的振荡效率。

因为通常将 LD 用作常规结构的固体激光器装置的泵浦源，所以对于 LD 很难将光束会聚成小的形状。但是，当输出水平不大于 50W 时，通过进行光发射点的重新光分布并校正激光束扩展角，LD 可以将光束会聚成直径小于 0.3mm。

通过对本发明应用激光束合并和分解技术，可以不降低加工精度及高速度地大大提高激光加工效率，以致于可以减小固体激光器的输出。其结果是可实现固体激光器装置的尺寸减小、即固体晶体尺寸的减小以及高成本部件数量的减少，如减少用于泵浦的 LD 的数量。而且还可以降低激光器系统的工作成本并大大改善对周围环境的影

响。

附图简述

图 1 是表示根据本发明实施例的结构示图。图 2 是表示所示实施例中焊接加工特性的曲线。图 3 是常规技术的结构简图。图 4 是能量吸收率与材料波长的关系曲线。

执行本发明的最佳模式

下面参考附图描述本发明的实施例。

关于本发明的实施例，图 1 表示一种激光器系统的结构，其中主要处于 Al 激光焊接目的的激光器激活介质是棒状 Yd:YAG 晶体，该激光器系统主要由平均输出为 300W 量级的 LD 泵浦的脉冲式 Nd:YAG 激光器装置 A（对应于本发明的固体激光器装置）构成。

棒直径为 $\phi 5\text{mm}$ 、长度为 116mm 的 Nd:YAG 晶体 1 由 LD 泵浦装置 2 发出的 LD 光束 3 泵浦，而 LD 泵浦装置上安置 60 条在中心波长 808nm 处振荡的 20W/条的 LD。从 Nd:YAG 晶体 1 发出的 $1.06\mu\text{m}$ 的光束在全反射镜 5 和反射率为 70% 的输出耦合反射镜 6 之间被选择放大，其中全反射镜 5 和输出耦合反射镜 6 构成一个谐振腔长度为 400mm 的激光谐振腔。放大的光做为 Nd:YAG 激光束 7 从输出耦合反射镜 6 出射（对应于本发明的固体激光器光束）。由电连结到 LD2 的 DC 稳定电源 8 执行对 Nd:YAG 激光器根据用途的输出控制。为了维持稳定的 Nd:YAG 激光输出，直接或通过纯净水冷却装置 9 供给的纯净水控制 Nd:YAG 晶体 1 和 LD 2 的温度，使得周围部件的温度变为恒定温度。在此结构中，当 LD 峰值电流为 110A、脉宽为 0.5msec、脉冲频率为 200Hz、纯净水温度为 11°C 时获得 Nd:YAG 激光束 7 最大的平均激光输出 290W。

另一方面，用于发射与 Nd:YAG 激光器装置 A 发出的激光束 7 合并的合并 LD（激光二极管）光束 11 的联合 LD 为连续输出式，并以 808nm 为中心波长地振荡。具有椭圆形状的合并的 LD 光束 11 穿过柱状准直透镜 12 的快轴和慢轴以减小扩展角，并经合并的 LD 光束入射光学系统 13 进入纤芯直径为 0.2mm 的折射率渐变式（以下称作

SI 式) 光纤 14 以进行光束整形。该光束被整形并在光纤发射端做为在所有方向上有着几乎均匀的圆形形状的合并的 LD 光束 15 发射。联合 LD 10 固定在冷却水从中流过的冷却板 16 上。LD 本身被间接地冷却。

具有圆形形状的合并的 LD 光束 15 被平凸准直透镜 17 准直成具有与 Nd:YAG 激光束 7 相同的形状。之后, 通过 Nd:YAG 激光束 7 和二色分束器 18 合并激光输出。Nd:YAG 激光束 7 分布在二色分束器 18 的相反侧, 圆形的合并的 LD 光束 15 分布在发射端, 再进行光轴调节, 使得激光束 7 和 15 共轴重叠。之后, 由入射光会聚光学系统 19 会聚合成的激光束, 从而满足纤芯直径为 0.3mm、传输距离为 20m 的 SI 式光纤 20 的传输条件, 并进入传输光纤 20。从传输用的光纤 20 发射的激光束被加工焦距为 100mm 的输出光会聚光学系统 21 会聚, 从而获得适于加工的光束形状。用会聚的激光束辐射放置在 CNC 台 22 上的工件 23 并进行所需的激光加工。在输出光会聚光学系统 21 上安置一个光学部件, 该部件在具有波长 1.06 μ m 的 Nd:YAG 激光束的波长区域中以及在具有波长 808nm 的合并 LD 光束的波长区域中具有不小于 98% 的透射率。

在辐射 Nd:YAG 激光束 7 之前或同时, 用合并 LD 光束 15 辐射工件 23。可以可变地独立控制联合 LD 10 的输出激光输出值、Nd:YAG 激光输出值以及辐射的开/关。

图 2 表示在只使用 Nd:YAG 激光束 7 的情况下的焊接性能和在合并的 LD 光束 15 与激光束 7 合并的情况下的焊接性能的比较试验结果。在该试验中, 做为测试件, JIS 标准的#3003 铝件, 加工速度固定在 20mm/sec, 氮气 (N_2) 做为加工点周围的屏蔽气体以 10 升/分钟的流速供给。

从简图中看到, 在只使用 Nd:YAG 激光束 7 的情况下, 当平均激光输出为 250W 时, 以 0.4mm 的焊点点核直径获得 0.74mm 的最大穿透深度。当合并 10W 的合并 LD 光束 15 的激光输出时, 与只利用 Nd:YAG 激光束 7 的情形相比, 穿透深度变深 5%。在 LD 光束 15 的

激光输出为 20W 和 30W 的情况下，穿透量分别增加 19%和 46%。通过单个的 Nd:YAG 激光器装置 A，当最大平均激光输出为 290W 时，获得 1.0mm 的最大穿透深度。在合并 30W 的 LD 光束 15 的情况下，以 240W 的激光输出做为单个 Nd:YAG 激光器装置 A 的平均输出，获得相同的穿透深度。因而可以减小单个 Nd:YAG 激光器装置 A 中大约 50W 的平均激光输出。

测量穿透深度为 1.0mm 时的功耗。结果是，在输出 290W 做为单个 Nd:YAG 激光器装置 A 的平均输出的情况下，功耗为 2.015W。在合并 LD 光束 15 的 30W 并且单个 Nd:YAG 激光器装置 A 的输出为 240W 的情况下，功耗为 1750W。即，可以以小于 13%的能量执行相同的加工。

此时，在辐射 Nd:YAG 激光束 7 之前或同时，用合并的 LD 光束 15 辐射工件，并且独立可变地控制联合 LD10 的出射激光输出值、Nd:YAG 激光器装置 A 的输出值和辐射的开/关。因此，通过适当地调节加工点的加热时间和程度，可以有效地追寻更高的效率。

特别是，在二色分束器 18 中与 Nd:YAG 激光束 15 合并之前，利用准直透镜 12 校正从联合 LD10 发出的合并 LD 光束 11 的扩展角，使得几乎在所有方向上均匀。之后，激光束进入用于光束整形的光纤 14，在那里 LD 发射模式图案形成为圆形，并且径向光束量均匀，所得的光束在二色分束器 18 中与 Nd:YAG 激光束 7 合并。因此，用于加热的 LD 光束 11 可以会聚成直径小于 0.3mm，可以有效地进行对加工点的高效加热。

另外，本实施例中的 Nd:YAG 激光器装置是一种利用 LD 泵浦装置 2 做为泵浦源的固体激光器装置。用于发射与固体激光器泵浦 LD 发射的光束相同波长的光束的 LD10 也用作联合激光二极管。因此，联合 LD 的可靠性很高，并且可以方便地获得 LD。

因为只加热必需的加工点而不加热不必要的部件，所以当用随时间恒定的连续发射激光输出的连续模式代替从联合 LD10 发出的合并 LD 光束 11 的发射模式时，不出现问题。因而可以有效地增大加工点

的激光束吸收率。

本发明不限于前述实施例的每个部件的具体结构。

例如，在本实施例中，把用于发射与泵浦 Nd:YAG 激光器的激光二极管发射的光束具有相同波长的激光束的激光二极管用作联合激光二极管，其中泵浦的 Nd:YAG 激光器处于不大于 $\pm 3\text{nm}$ 的波段中。如果用于联合激光二极管的波段是不大于用于泵浦的激光二极管波段的 ± 50 ，则从要加工的金属和陶瓷材料的吸收特性来看，一般地可以预期达到与实施例相同的效果。

虽然连续输出式激光二极管在本实施例中用作用于合并的激光二极管，但对于脉冲输出式激光二极管来说可以预期有类似于本实施例的效果。

另外，在前述实施例中描述了激光激活介质为 Nd:YAG 晶体的 Nd:YAG 激光器的情形。在激光激活介质为单个固体晶体、如 Yb:YAG 或 Nd:YVO₄ 的情形中，也可以预期效果与本实施例相同的固体晶体或陶瓷晶体的组合。

在不脱离本发明实质的前提下也可以改进其它的结构。

工业实用性

本发明可以提供一种具有上述结构的激光器系统，可以无需降低激光器加工精度和高速度地实现较大的功率减小以及更加环保。另外，还可以实现激光器系统更小的尺寸，以致于可以提供一种有利于更小设备的激光器系统。

图1

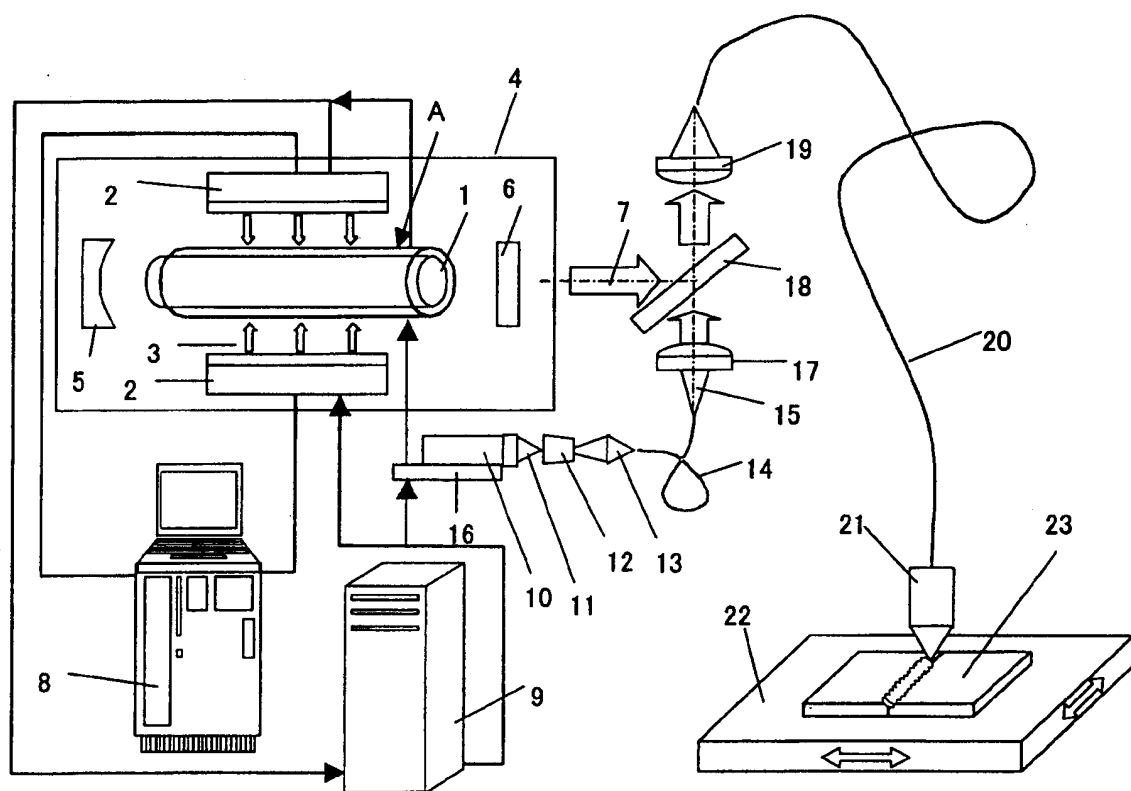


图 2

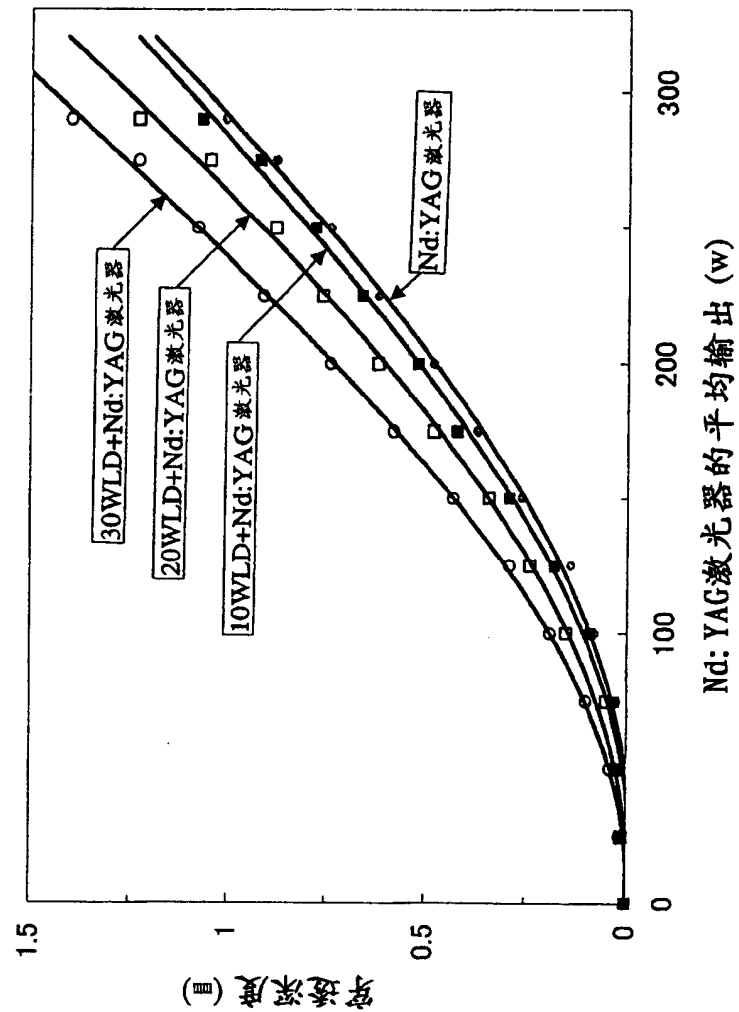


图 3

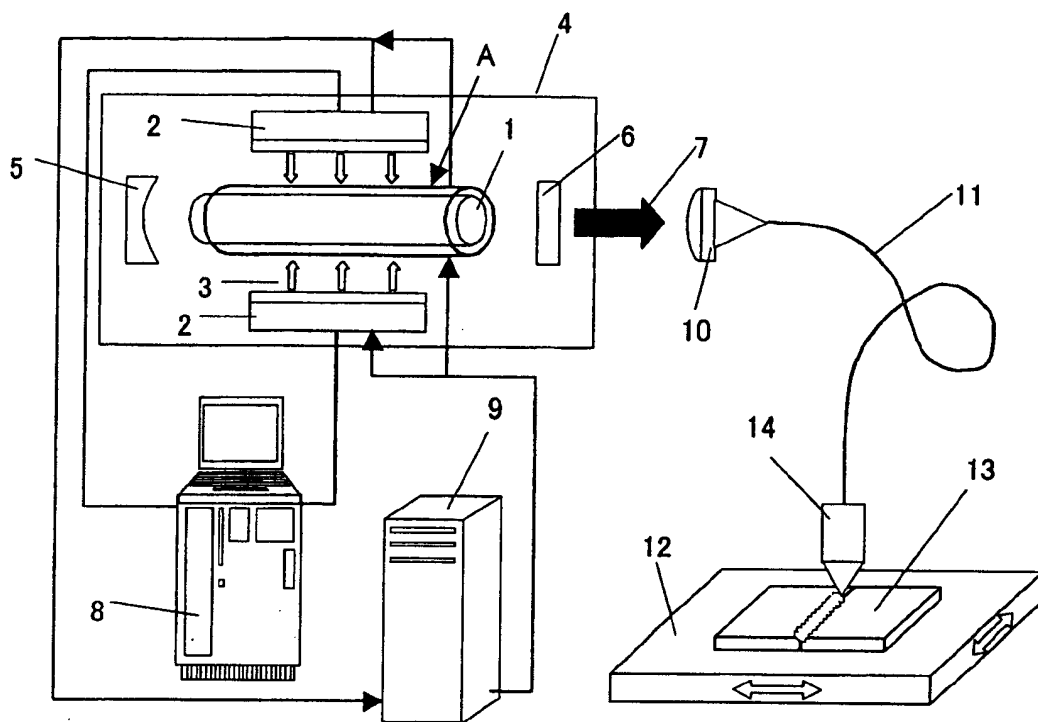


图 4

金属表面的光谱吸收率

