



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102077079 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 200980124861. 8

(22) 申请日 2009. 05. 14

(30) 优先权数据

12/120, 949 2008. 05. 15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 12. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/043919 2009. 05. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/140474 EN 2009. 11. 19

(73) 专利权人 洛克希德马丁公司

地址 美国马里兰州

(72) 发明人 罗伯特·菲利金斯

约翰·B·德亚顿 彼得·W·洛兰

托马斯·E·德雷克

马克·杜波依斯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

代理人 麦善勇 张天舒

(51) Int. Cl.

G01N 21/17(2006. 01)

G01N 29/24(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2002/0009115 A1, 2002. 01. 24, 全文.

CN 1700537 A, 2005. 11. 23, 全文.

朱赫. 能提高激光器系统性能的高功率泵浦
激光二极管. 《光机电信息》. 2005, 全文.

Espen Lippert 等. Midinfrared laser
source with high power and beam quality.
《APPLIED OPTICS》. 2006, 第 45 卷 (第 16 期),
全文.

P. A. Budni 等. Efficient mid-infrared
laser using 1.9- μm -pumped Ho:YAG and ZnGeP2
optical parametric oscillators. 《J. Opt.
Soc. Am. B》. 2000, 第 17 卷 (第 5 期), 全文.

审查员 李丽琴

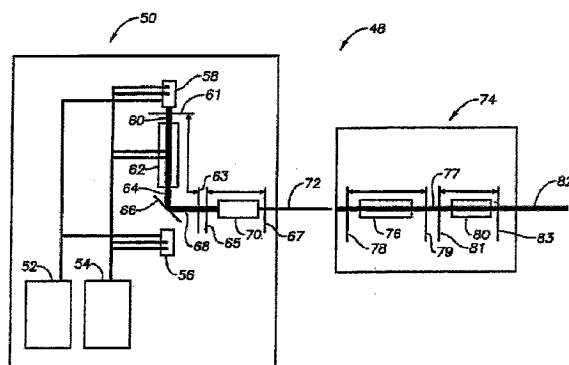
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

用于产生超声波的改进的中红外线激光器

(57) 摘要

一种用于超声波检查的紧凑型高平均功率的中红外线范围激光器。所述激光器包括 Nd:YAG 或 Yb:YAG 激光器中的一者, 其通过二极管以 808nm 泵浦来产生 1 微米的输出光束。将所述 1 微米的输出光束引导至光学参量振荡器, 在此所述光束波长被转换成 1.94 微米并且传送至中红外线发射头。所述发射头包括与第二光学参量振荡器光学耦接的 Ho:YAG 或 Ho:YLG 激光器中的一者。所述第二光学参量振荡器形成用于在靶上产生超声波位移的发生输出光束。所述发生输出光束的波长在约 3 微米至约 4 微米的范围内并且可为 3.2 微米。



1. 一种用于超声波检测靶的复合材料的激光超声波检测系统,包括:

激光超声波单元,其具有安装在所述单元内的发生激光源和检测激光源,所述发生激光源包括:

钕铝石榴石 YAG 激光器,其具有波长约为 1 微米的输出光束;

泵浦二极管,其可操作性地耦接到所述 YAG 激光器;

第一光学变频器,其可操作性地耦接到所述 YAG 激光器输出光束并且具有输出光束,其中所述第一光学变频器输出光束的波长为约 1.94 微米;

中红外线发射头,其耦接到所述第一光学变频器输出光束,包括激光器设备和第二光学变频器,所述激光器设备耦接成接收所述第一光学变频器输出光束并且具有引导至所述第二光学变频器的输出;以及

得自所述第二光学变频器的输出发生光束,其包括具有约 5.7 微米波长的闲频光束和具有约 3.2 微米波长的信号光束,且所述输出发生光束被引导至靶处,用于在所述靶的表面上产生超声波热弹性位移;以及

其中,所述检测激光源产生得自所述激光超声波单元的检测光束,所述检测光束接触所述位移时进行散射而形成调相光;而且所述系统还包括:

光学收集器,其接收并且进行处理所述调相光,以提供表示所述位移的数据。

2. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述 YAG 激光器包括选自由钕钕铝石榴石(Nd:YAG)激光器和掺镱钕铝石榴石(Yb:YAG)激光器组成的列表中的激光器。

3. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述第一光学变频器包括光学参量振荡器。

4. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述泵浦二极管发射波长为约 808 纳米的光束。

5. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述激光器设备具有引导至所述第二光学变频器的 2.05 微米的输出光束。

6. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述激光器设备包括选自由铒钕氟化物(Ho:YLF)激光器和铒钕铝石榴石(Ho:YAG)激光器中组成的列表的激光器。

7. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,其中,所述第二光学变频器包括光学参量振荡器。

8. 根据权利要求 1 所述的激光超声波检测系统,还包括用于泵浦所述 YAG 激光器的另一泵浦二极管。

9. 一种用于对检测物体的复合材料进行超声波分析的系统,包括:

激光超声波单元,其具有安装在所述单元内的发生激光源和检测激光源,所述发生激光源包括:

一对二极管泵浦,其各自具有波长为约 808 纳米的输出光束;

YAG 激光器,其具有与所述二极管泵浦的输出光束可操作性地耦接的相对端且具有波长约为 1 微米的输出光束;

第一光学参量振荡器,其与所述 YAG 激光器的输出光束可操作性地耦接并且具有波长为约 1.94 微米的输出光束;

光纤,其接收所述第一光学参量振荡器的输出光束;

钛激光器,其耦接于所述光纤并接收所述第一光学参量振荡器的输出光束,而且所述钛激光器具有波长为约 2.05 微米的输出光束;以及

第二光学变频器,该第二光学变频器与所述钛激光器的输出光束可操作性地耦接并具有输出发生光束,所述输出发生光束具有约 5.7 微米波长的闲频光束和具有约 3.2 微米波长的信号光束,所述输出发生光束被引导至检测物体处,用于在所述检测物体上产生所述复合材料的超声波热弹性位移;

其中,

所述检测激光源产生与所述发生光束同轴且围绕所述发生光束的检测光束,所述检测光束接触所述位移时进行散射而形成调相光;而且所述系统还包括:

光学收集器,其接收并且进行处理所述调相光,以提供表示所述位移的数据。

10. 根据权利要求 9 所述的系统,其中,所述 YAG 激光器包括选自由钕钇铝石榴石(Nd:YAG)激光器和掺镱钇铝石榴石(Yb:YAG)激光器组成的列表中的激光器。

11. 根据权利要求 9 所述的系统,其中,所述钛激光器选自由钛钇锂氟化物(Ho:YLF)激光器和钛钇铝石榴石(Ho:YAG)激光器组成的列表。

12. 一种用于检测由复合材料制成的物体的方法,包括:

在激光超声波单元中安装 YAG 激光器、钛激光器、以及检测激光源;

利用泵浦二极管泵浦所述 YAG 激光器,以发射得自所述 YAG 激光器的具有波长约 1 微米的光束;

使得自所述 YAG 激光器的光束传送到光学变频器,并利用所述光学变频器将所述得自所述 YAG 激光器的光束处理,以形成具有波长 1.94 微米的激光束;

利用所述钛激光器和光学参量振荡器处理所述波长 1.94 微米的激光束,以形成中红外线发生激光束,所述中红外线发生激光束具有约 5.7 微米波长的闲频光束和具有约 3.2 微米波长的信号光束;

使得自所述激光超声波单元的所述中红外线发生激光束脉冲并引导至所述物体,以形成所述物体的复合材料的超声波热弹性位移;

将得自所述激光超声波单元中的所述检测激光源的检测激光束引导至所述位移处,所述检测激光束接触所述位移时进行散射而形成调相光;以及

利用光学收集器接收所述调相光并且处理所述调相光,以提供表示所述位移的数据。

13. 根据权利要求 12 所述的方法,其中,所述检测激光束与所述发生激光束同轴并且围绕所述发生激光束。

用于产生超声波的改进的中红外线激光器

技术领域

[0001] 本发明整体涉及无损测试领域。更具体地讲,本发明涉及用于产生中范围红外线发生激光束的系统。

背景技术

[0002] 产生复合材料的新近发展已将复合材料的应用扩展到多种用途中。由于其高强度和耐久性以及其低重量,因此复合物正逐步取代金属和金属合金来作为某些承载元件的基础材料。例如,目前通常将复合物用作诸如汽车、船只、和飞机之类的主体部件和结构的材料。然而,为了确保复合机械完整性,需要进行严格的检查。通常需要在制造由复合物制成的元件时进行检查以及在元件寿命期间定期地进行检查。

[0003] 激光超声波为检查由复合材料制成的物体的方法的一个实例。该方法包括通过利用脉冲发生激光照射复合物的一部分而在复合表面上产生超声波振动。检测激光束被引导至振动表面并且通过该表面进行散射、反射、和调相以产生调相光。光学收集器接收调相激光并且引导其用于进行处理。处理通常是利用耦接到光学采集器的干涉仪来进行的。可从调相光处理中得知与复合物相关的信息,该信息包括检测到的裂纹、分层、孔隙度、异物(夹杂物)、脱粘、和纤维信息。

[0004] 图 1 提供了用于产生脉冲发生激光束的激光系统 10 的一个现有技术实例。激光系统 10 构造成产生位于中红外线范围内的激光并且包括光学耦接到中红外线发射头 30 上的中红外线激光头 11。中红外线激光头 11 包括通过一对二极管泵浦 (16,18) 进行端面泵浦的钪钇锂氟化物 (Th:YLF)。二极管泵浦 18 的输出 19 泵浦 Th:YLF 激光器 20 的一端,激光器 20 的另一端由二极管泵浦 16 进行泵浦。泵浦二极管 16 输出光束(未示出)穿过二向色混合器 24 的透射面并且进入激光器 20 的下端。钪激光器的输出 20 引导至二向色混合器 24 的反射面并且使其朝发射头 30 的方向进行反射。可任选的输入和输出耦接器 (21, 25) 设置在钪激光器 20 相应的输入和输出上。在此现有技术实施例中,泵浦二极管 (16,18) 以 794 纳米的波长泵浦钪激光器 20。钪输出光束 22 在大约 1.94 微米下操作。

[0005] 发射头 30 具有与变频器 38 可操作性地耦接的钪钇铝石榴石 (Ho:YAG) 激光器 34。变频器 38 示为光学参量振荡器 (OPO)。Ho:YAG 激光器 34 接收波长为大约 1.94 微米的反射的激光器输出 26 并且发射其相应的波长为约 2.05 微米的输出光束 36。OPO 将输出光束 36 转换成信号光束和输入光束,其中信号光束具有约 3.2 微米的波长并且闲频光束具有约 5.7 微米的波长。

[0006] 激光系统 10 发射约五至约十瓦的 3 到 4 微米的光,但需要约 1 千瓦的泵浦二极管功率。因此,中红外线激光头 11 装配有相关的冷却电路 14 以及电源 12,该电源需要足够的容量来支持激光系统 10 的工作。用于系统 10 的冷却能力的增加的功率导致大体积和大质量的激光头。另外,794 纳米的泵浦二极管不是通常易于获得的物品。通常,Ho:YAG 激光器输出为约 2.05 微米,其在 OPO 内转换成约 3.2 微米的中红外线激光输出。在发射头 30 内通常包括 Q 开关设备(未示出)。Q 开关为输出激光束 40 提供脉冲,以用于在靶表面上产

生热弹性位移,该热弹性位移随后在靶表面上形成超声波位移。所示的 Ho:YAG 激光器 34 在其输入端具有输入耦合器 32 并且在其输出端具有输出耦合器 33。示出的 OP038 具有输入和输出耦合器 (35,37)。

发明内容

[0007] 本文公开了用于超声波检测的中红外线范围激光系统,其包括具有输出光束的钕铝石榴石 (YAG) 激光器、可操作性地耦接到 YAG 激光器的泵浦二极管、可操作性地耦接到 YAG 激光器输出光束并且具有输出光束的光学变频器 (其中光学变频器输出光束的波长为约 2 微米)、以及引导至超声波检测靶上的激光系统输出光束。YAG 激光器可为钕钕铝石榴石 (Nd:YAG) 激光器或掺镱钕铝石榴石 (Yb:YAG) 激光器。光学变频器可为光学参量振荡器并且泵浦二极管的光束输出可具有约 808 纳米的波长。光学变频器的输出光束可为约 1.94 微米。中红外线范围激光系统还可包括耦接到光学变频器输出光束的发射头,其中发射头包括波长位于中红外线光谱范围内的输出光束,并且其中发射头输出光束形成激光系统的输出光束。发射头输出光束的波长可为约 3.2 微米并且可包括激光器设备和第二光学变频器,所述激光器设备进行耦接以接收光学变频器输出光束并且所述激光器设备具有引导至第二光学变频器的输出。发射头的激光器设备可为钛钕锂氟化物激光器或钛钕铝石榴石激光器中的一者。第二光学变频器可为光学参量振荡器。

[0008] 本文还公开了用于对检测物体进行超声波分析的系统,其包括利用波长为约 808 纳米的激光束进行泵浦并且具有波长为约 2 微米的激光头输出光束的激光头、以及构造成接收激光头输出光束并且发射位于中红外线波长范围内的发生输出光束的中红外线范围发射头,其中发生输出光束被引导至检测物体,以在检测物体上产生热弹性扩展并且形成超声波位移。发生输出光束的波长可为约 3.2 微米。激光头可为具有波长为约 1 微米的输出光束的钕钕铝石榴石激光器并且可为钕钕铝石榴石激光器或掺镱钕铝石榴石激光器中的一者。激光头可包括光学参量振荡器,光学参量振荡器构造成接收钕钕铝石榴石激光器的输出光束以及发射形成激光头输出光束的转换光束。中红外线范围发射头具有激光器设备和光学参量振荡器,所述激光器设备具有波长为约 2.05 微米的激光器输出光束,所述光学参量振荡器构造成接收激光器输出光束并且发射转换光束,其中所述转换光束形成发生输出光束。

[0009] 激光器设备可为钛钕锂氟化物激光器或钛钕铝石榴石激光器。可使用光纤来耦接泵浦头和发射头。

附图说明

[0010] 本发明的特征和有益方面中的一些已进行了陈述,当结合附图进行说明时,其他特征和有益方面将变得显而易见。

[0011] 图 1 为现有技术的超声波激光源的示意图。

[0012] 图 2 为根据本公开的中范围红外线激光源的示意图。

[0013] 图 3 为激光超声波系统的示意图。

[0014] 尽管本发明将结合优选实施例进行描述,但应当理解这并不旨在将本发明限定于此实施例。相反,其目的在于涵盖可包括在由所附权利要求书限定的本发明的精神和范围

内的全部替代形式、修改形式、和等同形式。

具体实施方式

[0015] 现在将在下文中结合其中示出本发明的实施例的附图来更加完整地描述本发明。然而本发明可以多种不同的形式进行实施并且不应解释为受限于本文提出的所示实施例；然而，所提供的这些实施例使得本公开将为完全和完整的，并且将充分地把本发明的范围传递给本领域技术人员。类似的附图标记在全文中代表类似的元件。为了便于参考附图，方向术语仅用于参考和说明。例如，诸如“上”、“下”、“上方”、“下方”等等之类的方向术语用于说明相关位置。

[0016] 应当理解，本发明并不限于所示和所说明的构造、操作、精确材料、或实施例的精确细节，因为修改形式和等同形式对于本领域技术人员将是显而易见的。在附图和说明书中，已公开了本发明的示例性实施例并且虽然使用了特定术语，但它们仅以一般和描述目的的进行使用，并非旨在限制。因此，本发明的范围将仅受所附权利要求范围的限制。

[0017] 现在参见图 2，其示出了中红外线激光系统 48 的实施例的示意图。中红外线激光系统 48 包括可任选地通过光纤 72 耦接到发射头 74 上的中红外线激光头 50。中红外线激光头 50 包括钕铝石榴石 (YAG) 激光器。YAG 激光器可为钕钕铝石榴石 (Nd:YAG) 激光器或掺镱钕铝石榴石 (Yb:YAG) 激光器中的一者。YAG 激光器 62 在其一端通过得自二极管泵浦 58 的泵浦输出光束 60 进行端而泵浦，YAG 激光器 62 在其相对端接收得自泵浦二极管 56 的穿过二向色混合器 66 的透射面的泵浦输出光束（未示出）。可任选地将 YAG 激光器 62 的输出 64 引导至二向色混合器 66 的反射面以形成反射输出光束 68。反射输出光束 68 形成光学变频器的输入 68，该输入被引导至光学变频器 70 处。在一个实施例中，光学变频器 70 包括 OPO。所示的 YAG 激光器 62 具有可任选的光学输入耦接器 61 以及可任选的光学输出耦接器 63，光学输出耦接器 63 设置在位于 YAG 激光器 62 和光学变频器 70 之间的通路中。所示的输入耦接器 65 设置在光学变频器 70 的输入端并且相应的输出耦接器 67 设置在输出端。

[0018] 光学变频器 70 接收 YAG 激光器 62 的输出并且发射形成发射头输入光束 72 的转换光束。如上文所述，光纤可提供光学变频器 70 和发射头 74 之间的导管通路。发射头 74 包括构造成接收发射头输入光束 72 的钛激光器 76。将得自钛激光器 76 的输出光束 77 引导至第二光学变频器 80。第二光学变频器 80 接收激光器输出光束 77 并且发射形成中红外线激光输出光束 82 的转换光束。钛激光器 76 可为钛钕锂氟化物 (Ho:YLF) 激光器或钛钕铝石榴石 (Ho:YAG) 激光器中的一者。可任选的是，第二光学变频器 80 也可包括 OPO。示出的钛激光器 76 位于在输入耦接器 78 和输出耦接器 79 之间形成的腔体内。类似地，所示的第二光学变频器 80 位于输入耦接器 81 和输出耦接器 83 之间的腔体内。

[0019] 在图 2 的中红外线激光系统 48 的一个实施例中，YAG 激光器通过泵浦二极管 (56, 58) 进行泵浦，其中泵浦二极管的波长为 808 纳米。在此实施例中，YAG 激光器 62 发射约 1 微米的输出激光束 64。光学变频器 70 构造成将大约 1 微米的输出光束 64 转换成波长为约 1.94 微米的转换光束。在一个实施例中，钛激光器 76 进一步地将光束波长转换成约 2.05 微米并且第二光学变频器 80 发射位于约 3 微米至约 4 微米的中红外线范围内的光束。从第二光学变频器发射出的光束形成中红外线激光输出光束 82。可任选的是，中红外线激光

输出光束 82 为约 3.2 微米。更具体地,在另一个实施例中,中红外线激光输出光束 82 包括波长为约 5.7 微米的闲频光束以及波长为约 3.2 微米的信号。

[0020] 图 2 中的系统的多个优点中的一个为泵浦二极管在可用于 YAG 激光器 62 的吸收谱带内进行工作的有效性。与输出为 794 纳米的泵浦二极管相比,输出波长为约 808 纳米的泵浦二极管更加丰富。另外,通过在铥激光器的中红外线激光头 11 上使用 YAG 激光器 62,降低了中红外线激光头 50 的功率需求。因此,用于冷却中红外线激光头 50 的相关冷却电路 54 的尺寸可由于更低的冷却需要而更小。这进一步地降低了从电源 52 到泵浦二极管 (56,58) 所需的功率需求。在一个替代实施例中,YAG 激光器 62 可通过泵浦二极管进行侧面泵浦,从而潜在地提高了系统的功率效率。另外,可利用单个泵浦二极管代替提供于图 2 中的两个端面泵浦二极管来为 YAG 激光器 62 供能。

[0021] 图 3 提供了激光超声波检测系统 85 的一个实施例的侧立体图。检测系统 85 包括激光超声波单元 87,激光超声波单元 87 可任选地包括本文所述的中红外线激光系统 48。检测系统 85 发射引导至检查靶 91 处而发生光束 86,其中发生光束 86 包括利用中红外线激光系统 48 形成的中红外线激光输出光束 82。发生光束 86 接触检查靶 91 的检查表面 92。发生光束 86 热弹性地扩展检查表面 92,从而在检查表面 92 上产生相应的位移 93。在一个实施例中,发生光束 86 构造成用于在检查表面 92 上产生位移 93 的脉冲激光。另外示出的检测光束 88 发射自激光超声波单元 87 并且示出为围绕发生光束 86 共轴。尽管发射自同一激光超声波单元 87,但检测和发生光束 (86,88) 是通过不同源产生的。然而,检测光束 88 可任选地源自不同单元以及不同位置。已知的是,检测光束 88 包括接触位移 93 时进行散射、反射、并且调相以形成调相光 90 的检测光束。得自检测光束 88 的调相光 90 随后由光学收集器 89 接收并且进行处理以确定关于检查靶 91 的信息。发生和检测光束 (86,88) 可横跨靶 91 扫描,以获得关于整个表面 92 的信息。用于扫描光束 (86,88) 的装置 (未示出) 可容纳在激光超声波单元 87 内。用于控制该装置并且可任选地用于处理由光学收集器记录的数据的处理器 (未示出) 也可容纳在激光超声波单元 87 内。所示的光学收集器 89 与激光超声波单元 87 分离并且通过箭头 A 与激光超声波单元 87 通信,然而光学采集器可包括带有激光超声波单元 87 或被包括在激光超声波单元 87 内。

[0022] 因此本文所述的本发明非常适于实现目的并且获得所述的目标和优点以及其中内在的其他目的和优点。尽管为了公开已给出本发明的当前优选实施例,但在实现所需结果的过程细节中存在多种变化。这些以及其他类似的修改形式将易于为本领域技术人员所知,并且旨在涵盖于本文公开的本发明的精神以及所述权利要求书的范围内。

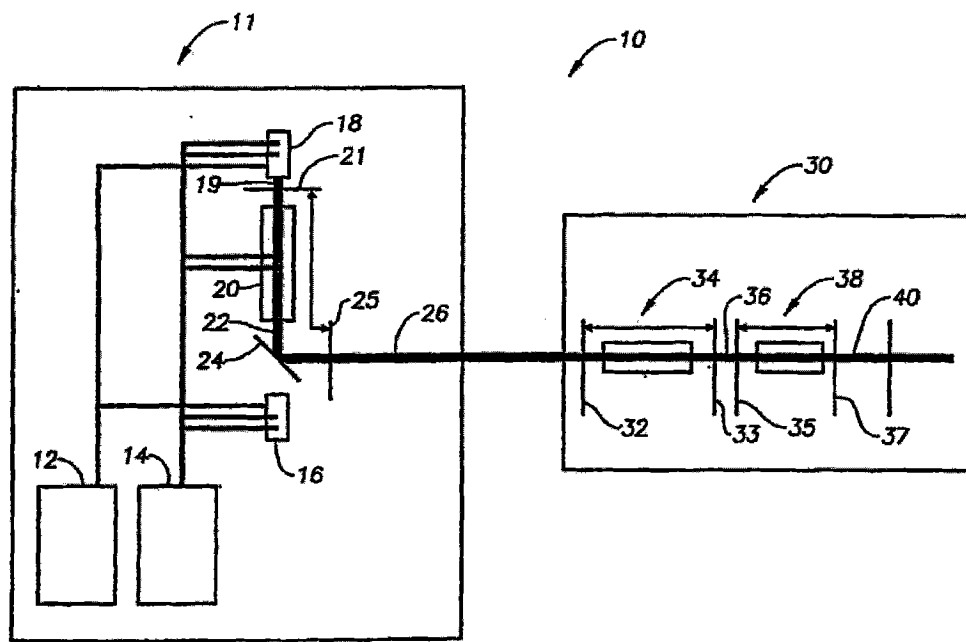


图 1(现有技术)

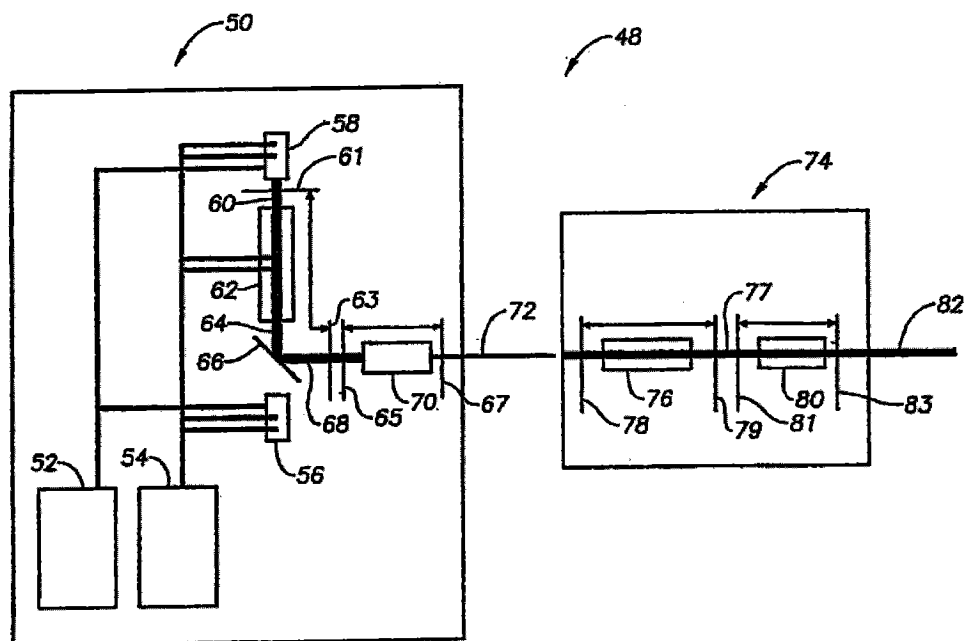


图 2

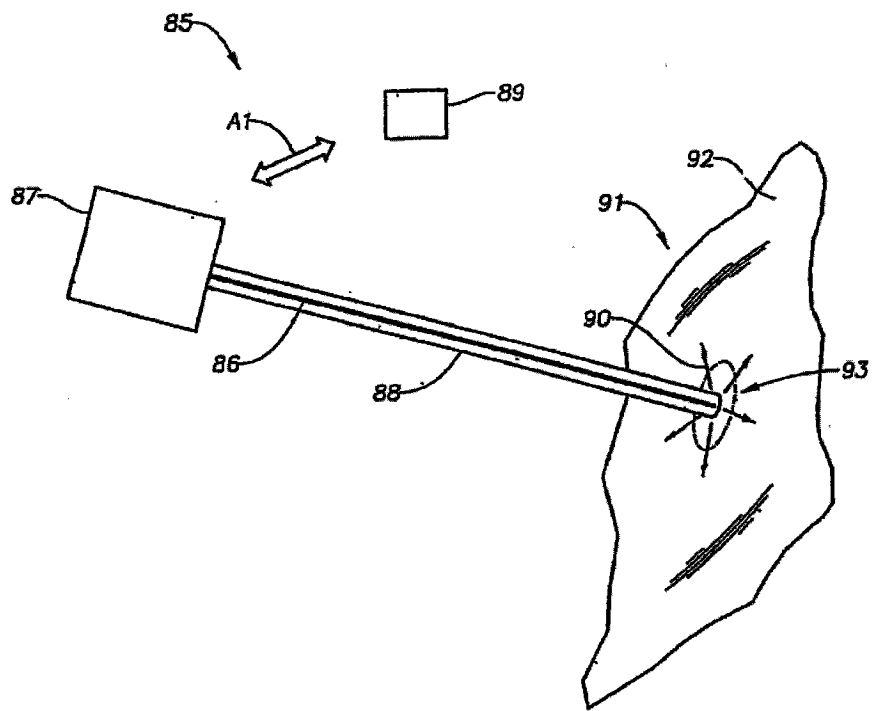


图 3