



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 90100784.6

[51]Int.Cl⁶

B08B 7/00

[45]授权公告日 1996年6月12日

[24]颁证日 96.3.16

[21]申请号 90100784.6

[22]申请日 90.1.17

[30]优先权

[32]89.1.17 [33]FR[31]8900496

[73]专利权人 技术开发地区事务所

地址 法国第戎

[72]发明人 伯格·休伯特 鲍奎龙·让-皮尔
布勒逊·菲利普

H01S 3/10

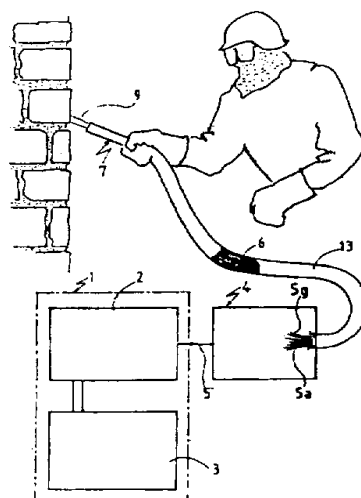
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所
代理人 付 康

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 利用能发射短脉冲的脉冲激光器清洁材料表面的方法及装置

[57]摘要

本发明涉及一种用来对材料，尤其是对石头、玻璃、钢、陶瓷、木料、纸张或纸板的表面进行清洁处理的方法，这种方法采用了聚集在要清洁表面上的激光光束，其特征在于将所用激光器的“峰值功率”调到几百千瓦和几十兆瓦之间，选择激光光束直径时，应使该表面上的“峰值功率”密度在每平方厘米十分之几兆瓦到几十兆瓦之间。本发明特别适用于艺术品，如历史遗物木制家具、玻璃或陶瓷等的修复以及对正在制造中的和使用过后需除垢的管状产品进行清洁处理。



权 利 要 求 书

1. 利用能发射短脉冲的脉冲激光器清洁材料表面的方法，其中将高瞬时功率的脉冲激光束聚焦到所述表面上，所述方法的特征在于：

用于该目的的激光器提供脉冲，该脉冲的持续时间在光开关方式下包括在几毫微秒和几十毫微秒之间，而在正常工作方式下则为几微秒，该脉冲的瞬时功率具有包括在几百千瓦和几十兆瓦之间的某一值，该脉冲被聚焦到待清洁的表面上，使得每脉冲的功率密度包括在每平方厘米几百千瓦到每平方厘米几十兆瓦之间，从而在材料界面上产生非热冲击波，该冲击波能分离覆盖所述材料的污染表层的至少一部分。

2. 根据权利要求 1 的清洁材料表面的方法，其特征在于：所述脉冲的持续时间在正常方式下包括在 1 微秒和 3 微秒之间。

3. 根据权利要求 1 或 2 的清洁材料表面的方法，其特征在于：用于该目的的激光器所发射的辐射的波长处在待清洁材料表面上所形成的一表层污染材料的吸收光谱内。

4. 根据权利要求 1 或 2 的清洁材料表面的方法，其特征在于：采用发射率可变或可调的激光器，激光器的发射频率在清洁处理过程中可进行连调或不连调，所需的波长范围主要随清洁的下层材料和覆盖在下层材料表面上的污染材料的各吸收光谱而变化。

5. 根据权利要求 4 的清洁材料表面的方法，其特征在于：使用染料激光器。

6. 根据权利要求 4 的清洁材料表面的方法, 其特征在于: 采用频率可变或可调的固体放大介质激光器、掺钛的蓝宝石类激光器或金绿宝石类激光器。

7. 根据权利要求 1 或 2 的清洁材料表面的方法, 其特征在于: 采用一种掺钕的 YAG 晶体或玻璃类的固体放大介质激光器, 它以光量开关方式工作, 所发出的脉冲的持续时间约为 10 毫微秒至 30 毫微秒之间, 每个脉冲的最大能量接近 500 毫焦耳, 从所述激光器发射出的激光光束在待清洁表面上的截面直径约为 10 毫米。

8. 根据权利要求 1 或 2 的清洁材料表面的方法, 其特征在于: 采用复合受激态激光器。

9. 根据权利要求 1 或 2 的清洁材料表面的方法, 其特征在于: 所述材料的表面是管状产品的内和/或外表面。

10. 实现根据权利要求 1 的清洁材料表面的方法的装置, 其特征在于: 它一方面有一个机械设备, 该机械设备由激光器及其电源组成, 另一方面包括一个位于从所述机械设备发出的激光光束通路上的箱, 该箱包括一个用于将激光光束分离成许多能量彼此近似相等的其他激光光束的光学系统, 然后将所述许多激光光束由一个光纤组件传输到一个手持件上, 该手持件具有一个用于将许多束激光光束复合成一个单激光光束的光学部件和一个用于调整所述复合激光光束直径的光学部件, 该第二个光学部件可由远焦光学组件构成, 所述手持件具有能使对表面进行清洁处理的操作人员很容易操作的足够的尺寸。

11. 根据权利要求 10 的清洁材料表面的装置, 其特征在于: 用于将多束激光光束传输到手持件上的光导纤维具有一个二氧化

硅芯和一个二氧化硅或硅的外套。

12. 根据权利要求 10 或 11 的清洁材料表面的装置, 其特征在于: 一个能喷射流体射流、最好是空气射流的装置设置在手持件的内部或外部, 该装置用于连续或不连续地清除手持件的光学部件外表面上的灰尘。

13. 根据权利要求 10 或 11 的清洁材料表面的装置, 其特征在于: 包括用于将激光光束分离成许多束激光光束的光学系统的箱是一个内部形成真空的密封箱, 这种真空能有效地保护光学部件, 使其免受灰尘侵蚀, 并且能避免箱内激光光束的聚焦所产生的破坏作用。

说 明 书

利用能发射短脉冲的脉冲激光器 清洁材料表面的方法及装置

本发明涉及一种对材料、特别是对石头、玻璃、钢、陶瓷、木材、纸张或纸板的表面进行清洁处理的方法及实现该方法的装置，该装置采用能发射短脉冲并使光束聚集在待清洁表面上的脉冲激光器。

在目前的已有技术中，有一些方法用于清洁被沾污了的物体或大型建筑物的表面，这些物体或建筑物是由于处在污浊或侵蚀性环境中，或在工业领域的生产过程中被沾污的。

关于以前的情况，包括以非破坏性的方式整修遗址、玻璃、陶瓷或金属工艺品，如硬币、青铜器、武器和其他古物，都是采用已知的机械方法，如喷射粉状二氧化硅清洁石头，或用精密磨机去除小件物体上的凝块，或者也可采用化学方法，例如用酸。目前这些技术比较棘手，花费时间长，不够经济，而且不能保证全部彻底地把沉积的污物清除掉。在实验室中又研制出一种新的方法，该方法使用一种钕铝石榴石(YAG)脉冲功率激光器，该激光器自由发射激光，所获得的脉冲在0.1微秒到约10微秒之间。

这种方法在美国专利US-4,756,765中进行了描述，该专利涉及的是清除低热导率的沾污物质基底，例如颜料、润滑脂或陶瓷表面的方法，这种清除产生于热效应并且必须以高能量将激光束直接照射在待清洁的表面上，脉冲持续时间一般大于3微秒，这样，在聚焦以后，能量密度为 2 J/cm^2 与 100 J/cm^2 之间。尽管这后一种方法主要是用在工业上，而不是对沾污的物体或大型建筑物进行简单的清洁处理，但它采用的是相同的物理现象。在国际专利申请WO

— 83 / 0 1 4 0 0 中发现了激光器大致相同的工作条件，该申请更专门地描述了对船身的清洁处理；能量密度为接近 20 J/cm^2 的某一值，所用的激光器通常为 CO_2 激光器或 YAG 激光器。建议以较低能量来消除出现在金属表面上生锈的表层的方法构成了法国专利申请 FR 2, 467, 656 的发明主题；所用的激光器为 CO_2 激光器，其焦点聚焦在待清洁的表面上，以使能量密度达到约 5 J/cm^2 。利用此方法，锈层变成四氧化三铁锈层，然而，由于该锈层牢固地粘在处理过的金属表面上，所以还必须用传统的机械或化学方法进行清除。法国专利申请 FR 2, 300, 632 中也有相同的缺陷，其中激光器只是用于对金属物体表面上的氧化物表层膜进行加热，所述膜最终靠机械、化学或电化学作用将它们从金属基底上清除掉。

因此，所有这些方法都具有应用单一的缺陷，它们构不成一种普通的统一方法来对处于污染或工业环境中的材料、物体或建筑物进行清洁处理。此外，这些方法仍然有其侵蚀性，事实证明，很难限制它们只对硬化的污物层起作用。特别是由于需处理的污染物或下层物的吸收光谱范围可以很宽，反之也可以很窄，在许多情况下，所采用的激光束的波长很难适于进行理想的清洁处理，该光束不仅可以被需清除的污物表层所吸收，而且也会被下层材料所吸收，因此就会出现由于热效应而破坏下层材料的危险。事实上，一方面当激光脉冲长时，激光束聚集在待清洁材料上的平均能量会达到很高的数值，而在另一方面，当脉冲能量和它们的频率过高时，上述的平均能量就为已有技术方法中的情况。最后，法国专利申请 FR - 2, 525, 380 提到一个非常专门的应用领域，在该文献中描述了利用脉冲激光器可以对有放射性氧化物层的核动力电站的各部件进行清洁处理的情况，该

脉冲激光器的强度足以使热穿透该氧化物层的厚度，而且不损伤下层金属基底。这一方法与前面所述的方法有相当大的差别，该方法虽然建议使用大于 4 J/cm^2 、通常接近 10 J/cm^2 的能量密度，但是也可以使用较短的激光脉冲。尽管如此，该方法仍有对下层材料施加上述热效应的危险的缺陷。

本发明的目的在于提供一种利用能发射短脉冲的脉冲激光器清洁材料表面的方法及实现该方法的装置。

这里，我们应该着重根据激光束的功率密度来考虑，而不是着重根据能量密度来考虑；事实上，本发明提出的冲击波是由于高功率激光束与需进行清洁处理的表面之间的瞬时相互作用形成的，也就是说这是个简短的相互作用问题，而不是能量问题。这就是为什么出现一峰值后又缓慢衰减的激光脉冲十分适合于本发明的原因，此外，即使在瞬时功率时间过程中用传统方式通过积分计算的聚集能量也可重新取得可与上述已有技术专利中提到的数值相比较的数值。在这种情况下，冲击波可以只在所有主要热吸收现象的外部形成，显然，在这种情况下应避免使激光脉冲的时间过长和/或能量过高。

因此，本发明提供一种利用能发射短脉冲的脉冲激光器清洁材料表面的方法，其中将高瞬时功率的脉冲激光束聚焦到所述表面上，所述方法的特征在于：用于该目的的激光器提供脉冲，该脉冲的持续时间在光开关方式下包括在几毫微秒和几十毫微秒之间，在正常工作方式下为几微秒，该脉冲的瞬时功率具有包括在几百千瓦和几十兆瓦之间的某一值，该脉冲被聚焦到待清洁的表面上，使得每脉冲的功率密度包括在每平方厘米几百千瓦到每平方厘米几十兆瓦之间，从而在材料界面上产生非热冲击波，该冲击波能

分离覆盖所述材料的污染表层的至少一部分。

按照本发明的另一特征，激光器产生的脉冲的持续时间在正常工作方式下可以在1微秒到3微秒之间变化。

按照另一特征，由该激光器发射的辐射波长处于污染材料的吸收光谱内，该需清洁的材料的表面形成一表层。

另外，由于污染材料的吸收光谱一般不同于需清洁的下层材料的吸收光谱，所以当材料表面的清洁度提高时，污染程度较低的表层材料就会反射较多的激光辐射，因而使下层材料发生改变的危險实际上也就不存在了。这种作用在对石头（例如花岗石）进行清洁处理时就特别容易理解。

对于酸浸或除锈材料的情况是相同的，这些材料主要是金属材料以及更一般的材料，这些材料的吸收光谱部份地包括了污染材料的吸收光谱，但是按照本发明的附加特征，可以使用发射频率可变或可调的激光器，激光器的发射波长在清洁处理过程中可以作连调或不连调，为此波长范围就需要是两种吸收光谱的函数。当污染材料的吸收光谱很窄时，用这种激光器使本发明的方法更加有效，因为在这种情况下，可调激光器可以使该材料在最佳状况下挥发。相反，对于由所用的可调激光器能发射的某些波长来讲，人们可以从需清洁的下层材料的透明“窗口”中获益，这些波长进一步被污染材料吸收，在这种情况下，下层材料被破坏的危險性明显减小。

因此，使用瞬时功率高的激光脉冲是本发明方法的要点，每个脉冲的能量是固定的，这样我们就可以清楚地知道，所述脉冲的持续时间减少得越多，则它们的“峰值功率”就越是增加。靠以足够小的激光光束直径将有效功率聚集在需清洁的表面上方法，则使有效功率

密度越来越大。

短的脉冲持续时间使得聚集在需清洁材料上的平均功率可以只有几瓦或十几瓦，如果采取监测激光器发出脉冲的重复频率的方法，则可以对功率进行调节。

由于本发明的方法需要较低的平均功率，这就可以有效地使用小尺寸低耗能的激光器，即使在该激光器工作极限较低时也是如此。激光器可以采用固体放大介质激光器，特别是掺钕的YAG类激光器、掺钕的蓝宝石激光器、以及金绿宝石类激光器、染料激光器或复合受激态激光器，当然这里所列的激光器并非全部。

另一方面，本发明提供一种利用能发射短脉冲的脉冲激光器清洁材料表面的装置，其特征在于：它一方面有一个机械设备，该机械设备由激光器和其电源组成，另一方面包括一个位于从所述机械设备发出的激光光束通路上的箱，该箱包括一个用于将激光光束分离成许多能量彼此近似相等的其他激光光束的光学系统，然后将所述许多激光光束由一个光纤组件传输到一个手持件上，该手持件具有一个用于将许多束激光光束复合成一个单激光光束的光学部件和一个用于调整所述复合激光光束直径的光学部件，该第二个光学部件可由远焦光学组件构成，所述手持件具有能使对表面进行清洁处理的操作人员很容易操作的足够的尺寸。

根据另一特征，用于将多束激光光束传输到手持件上的光导纤维具有一个二氧化硅芯和一个二氧化硅或硅的外套。

另外，还可将一个能喷射流体射流、最好是空气射流的装置设置在手持件的内部或外部，该装置用于连续或不连续地清除手持件的光学部件外表面上的灰尘。

再者，该装置的用于将激光光束分离成许多束激光光束的光学系统的箱可以是一个内部形成真空的密封箱，这种真空能有效地保护光学部件，使其免受灰尘侵蚀，并且能避免箱内激光光束的聚焦所产生的破坏作用。

在参照附图阅读了如下描述后，本发明将更容易理解，其中：

图 1 为按本发明方法用于清洁历史遗物的装置的总视图；

图 2 为手持件的侧视图；

图 3 为用于分离激光束的光学系统的原理图。

现在参照附图，在本发明方法的第一个实施例中，采用了掺有钕作固体放大介质的钇铝石榴石 (Y A G) 激光器，它以光量开关的方式工作，因而提供了脉冲持续时间在约 10 毫微秒到约 30 毫微秒之间的脉冲，为了适应专门用于本发明方法的工作状态，脉冲能量最大值约为 500 毫焦耳，从所述激光器发射出并照射到需清洁表面上的激光束的平均直径约小于 10 毫米。

这种为 m^3 数量级的小型激光器便于运输，它的能量供应装置由一个等尺寸的小箱构成。在上述状态下，能量消耗约为每小时 4 千瓦，选择的脉冲重复频率约为 30 赫兹。这样就可以将该装置与一个可移动的发生器相接，使得该装置特别适用于清洁物体或清洁处于沾污介质中的大型建筑物，例如塑像、历史遗迹或其他古物的工作现场。该

装置也完全可以应用于清洁其他更为普通的大型建筑物，而且仍具有其经济效益。

激光器频率的选择不是很重要的，但是，根据在实验室和工作现场所作的研究似乎表明，当频率约为十几赫兹时，激光器能获得最佳效果，事实上，下面描述的本发明的方法给出了在清洁建筑物外部时所用的非限定性的特例。

根据图 1，激光束的焦点在要清洁的表面上的移动是由操作者来控制的，最好是采用自动移动的光学扫描式激光器，这种激光器的不足在于会引起一系列重复性缺陷，以及激光束截面能量的空间不均匀性，即使是在焦点聚集在需清洁的表面上之后也是如此。但是，应注意到，在本发明方法的其他应用，尤其是工业范围内的应用中，自动移动是有用的。

根据图 1、2 和 3，用于实施本发明方法的装置非常适合于人工操作，它工作可靠，效率高。该装置一方面包括一个具有激光器 2 和其电源 3 的机械设备 1，另一方面包括一个按装在从所述机械设备 1 发出的激光束 5 通路上的箱 4，该箱 4 包括一个用于将激光束 5 分离成许多其他激光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 的光学系统，这些激光束的能量彼此相等，所述激光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 又被光纤集管 6 引导到手持件 7，该手持件 7 有一个用于将激光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 复合成单一激光束 9 的光学装置 8，和一个用于调整所述复合后的激光束 9 的直径 11 的光学装置 10，此第二装置 10 比如可由一个远焦光学组件 12 构成，所述手持件 7 具有便于清洁待清洁表面的操作者操作的适当的尺寸。

因此，这种清洁方法的效率很高：在清洁石筑的历史遗迹的一般条件下，据估计在一小时内可以恢复一平方米的表面，该效率与喷射硅粉的机械工艺的效率相比大为提高，喷射硅粉的方法每天最多恢复一平方米的表面。

实现本发明方法的装置的一个重要特点是选择将激光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 传输到手持件 7 的光导纤维 6。这一选择直接关系到由这些光导纤维 6 传送的激光脉冲持续时间的选择；事实上，对于每种纤维，都存在着一个激光束以“峰值功率”传输的最大极限。这就解释了用于将激光束 5 分离成许多其他光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 的光学系统 6 的作用。

用于将激光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 传导到手持件 7 的光导纤维最好采用一个二氧化硅芯和一个二氧化硅的包层或硬硅。在目前采用光导纤维的情况下，这种选择似乎是唯一可行的，至少就提供很高峰值功率的激光束的传输来说是如此。

还应该注意的是所选择的光导纤维长度约为 30 米，这样就可保证操作者在工作时离实现本发明方法的装置的固定部件有一段足够远的距离。

最后，利用坚固的外套 13 对光导纤维进行机械保护，使该装置可应用于工作现场。

此外，还必须保护整个装置，防止由激光器清洁时所产生的灰尘的侵害：在需清洁表面的附近，也就是说在距表面约 20 厘米处，手持件 7 的光学元件外表面 71 会受到灰尘的侵害，这些灰尘是由于石头上污物表层的飞溅造成的。在手持件 7 的内部或外部设置一个能产生流体（最好是空气）射流 14 的装置，可对光学元件表面 71 进行

连续或间歇的除尘。用一个压缩机向该装置供气，压缩机与产生射流 1 4 的装置之间最好用一根管子连接起来，这根管子由用来加强纤维 6 的外套 1 3 来保护。

另外，箱 4 含有将激光束 5 分离成许多光束 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f 和 5 g 的光学系统，该箱最好是内部为真空的密封箱；这种结构可有效地防止激光束分离系统的光学元件受到灰尘的侵害。但是，还应避免激光束 5 聚集在箱 4 内部、处在所述激光束 5 通路上的灰尘上而造成的故障。

最后，位于手持件 7 体内的用来调整复合激光束 9 的直径的光学部件 1 0 的作用应予以注意。该光学部件 1 0 可由远焦点光学组件 1 2 组成，该组件包括一个发散透镜和一个会聚透镜，光学部件 1 0 使得从激光束的有效相同能量中获得可变“峰值功率”密度成为可能；操作者可以根据观察到的要清洁表面的污垢外表的坚硬程度来改变清洁效率：效率的改变是通过利用光学部件 1 0 来增大直径 1 1 而实现的，这样可直接改变清洁效率。

根据本发明方法的第二个实施例，采用染料激光器或者采用掺有钛或金绿宝石的固体介质蓝宝石激光器。这类激光器是可变或可调频率的激光器。典型的染料激光器以可见光谱发射，波长根据所用染料为 5 0 0 和 7 2 0 毫微米之间。掺钛的蓝宝石激光器发射的激光波长为 7 0 0 到 1 1 0 0 毫微米的范围内，同时使用一种众所周知的倍频器，倍频器利用由电场在材料内形成的光学双折射现象，这样就可以使波长范围在 3 5 0 到 5 5 0 毫微米之间有效地变化。因此，用这种方法，在对需清洁的材料以及形成一表层的沾污材料的各吸收光谱进行预先研究之后，就可以选择和调节可调激光器的发射波长，以便

所用激光器具有最佳的清洁条件，即对于激光束来讲伴随有沾污材料的最佳吸收效率，而且不会因此改变适于产生冲击波现象的足够短的脉冲持续时间，这就是本发明方法的特征。

因此，染料激光器可采用“自由持续方式”，即在正常工作条件下工作，在这种情况下激光器发射几微秒的脉冲，或者采用光亮开关方式，脉冲在该情况下持续几毫微秒的时间。与此相反，在采用已经提到过的固体放大介质激光器的情况下，如按“驰豫方式”，脉冲持续时间为1至3微秒之间，如采用光亮开关方式，脉冲持续时间约为几十毫微秒（可将该持续时间与按某种方式工作的YAG式非可调固体放大介质激光器的脉冲发射持续时间相比较）。

采用可变或可调频率的激光器，对于要清洁的下层材料和复盖其表面或贯穿其中的沾污材料的吸收光谱来讲具有重大的影响，事实上，在这种情况下，就有改变下层材料的危险，这将造成难以解决的问题，除非按照上面提到的法国专利申请FR-2, 525, 386中给出的技术教导，使提供给激光器的工作条件能使激光器在发出的脉冲与要清洁或要去垢的材料表面相互作用期间会产生热效应，该热效应受脉冲贯穿的深度的限制。利用可调激光器，总可以找到避开下层材料吸收光谱的工作波长范围的，当表面的沾污层挥发时，如果该范围内的波长被沾污材料正确地渐渐吸收或全部吸收，那么在清洁处理开始时就应用该范围的波长；在后一种结构中，用一个适当的监测装置（带反馈或不带反馈）使其按波长发出激光光束。

这里采用的实现本发明方法的可调激光器的特定实施例包括清洁各种工业环境中的管状产品，这些管状产品可以是制造中的，也可以是用后需除垢的。在这些特定情况下，使用可调激光器是不受限制的，

而且事实证明，在上面已提到的条件下以光亮开关方式工作的YAG激光器也是适用的。此外，使用发射紫外辐射的复合受激态激光器被证明也是有利的，这主要是由于从管状产品的表面上除去的沾污材料通常具有硫态结构，这与下面的描述相符。

这里有一个冲刷、清除油渍，或更一般地说是去除润滑剂产品，如处在管状产品内壁和/或外壁上的易溶玻璃或油脂的问题，该管状产品来自拔丝厂，或用一个芯轴贯穿其中，然后再用传统的方式膨胀或缩小来制造的。在管或管状产品脱离成型装置，即锻压装置以后，由于生产上使用润滑剂，特别是这些产品从位于拉制装置上游处的贮存地出来时是很脏的。到现在为止，我们已经知道，为了去除涂在管状产品上的润滑剂，可采用化学方法和/或采用内和/或外部喷丸的机械方法，这种操作对于某些专门的后继处理来说还是必要的。

按照本发明，在管状产品拉制成型后，例如从拉丝厂出来以后，用激光束对其至少一个内或外表面进行扫描以去除润滑剂层和残留氧化层，用于该目的激光器具有所有的必要特征，它在下层材料的表面，比如钢制物质（当然也不排除其他物质）的表面形成分离所述层的冲击波，此外，对于发射频率来说，所述激光器为可调或不可调的。

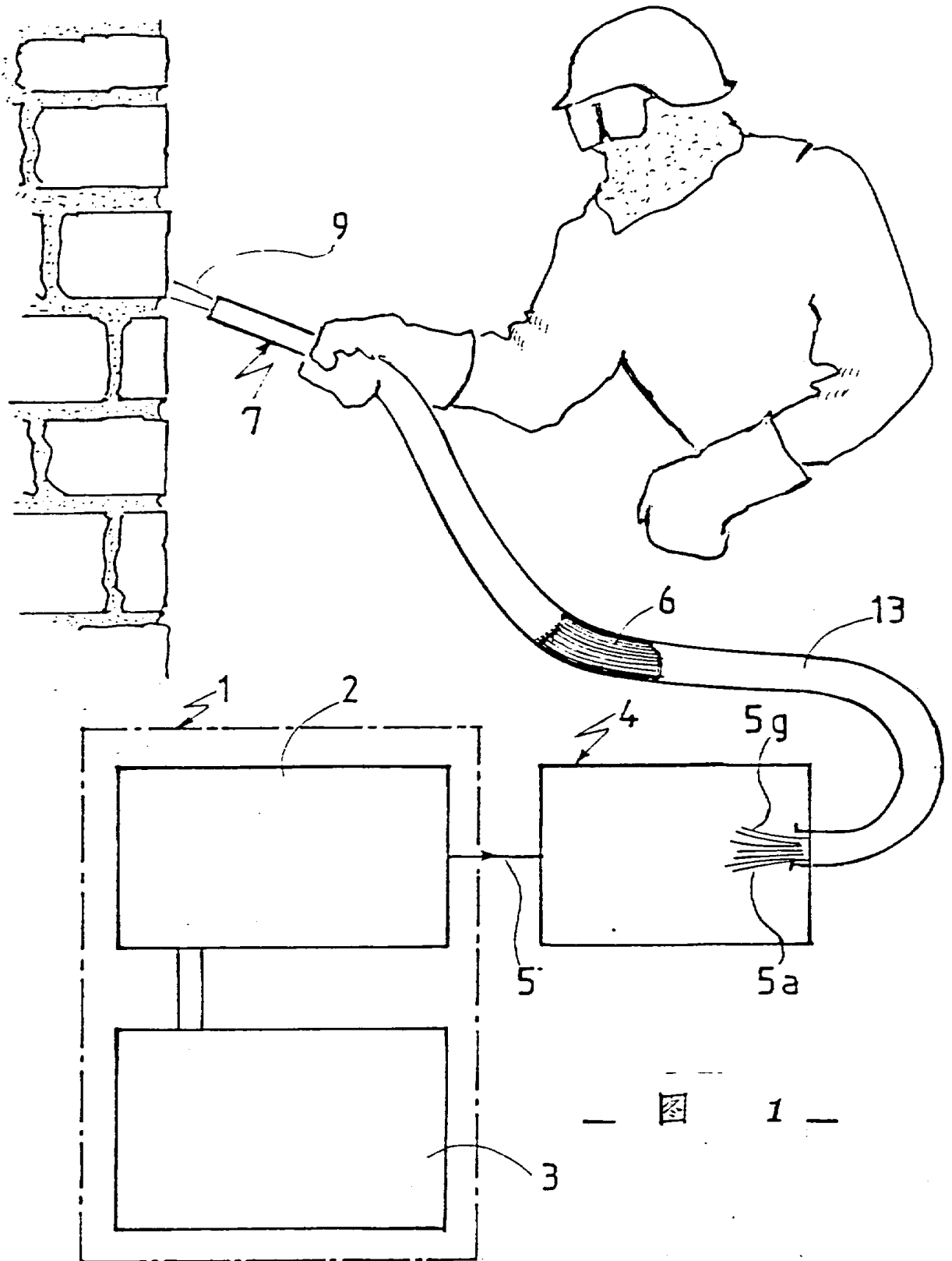
同样，在工业环境中使用的管子，在被沉积物污染或在具有侵蚀性状况下，尤其是在发电厂使用以后，就可以利用相同的工艺去除该管的污垢。在这种情况下，按本发明的实施例需要将激光束相互作用所选择的区域附近，并按本发明上述的技术教导，利用至少一根光导纤维传输激光束，这时本发明的优越性就会很容易体现出来。应当注意到使用可调激光器可以大大简化该清洁方法的实施例，事实上，可调激光器可在所用激光器的波长和要清洁的下层材料以及复盖在该材

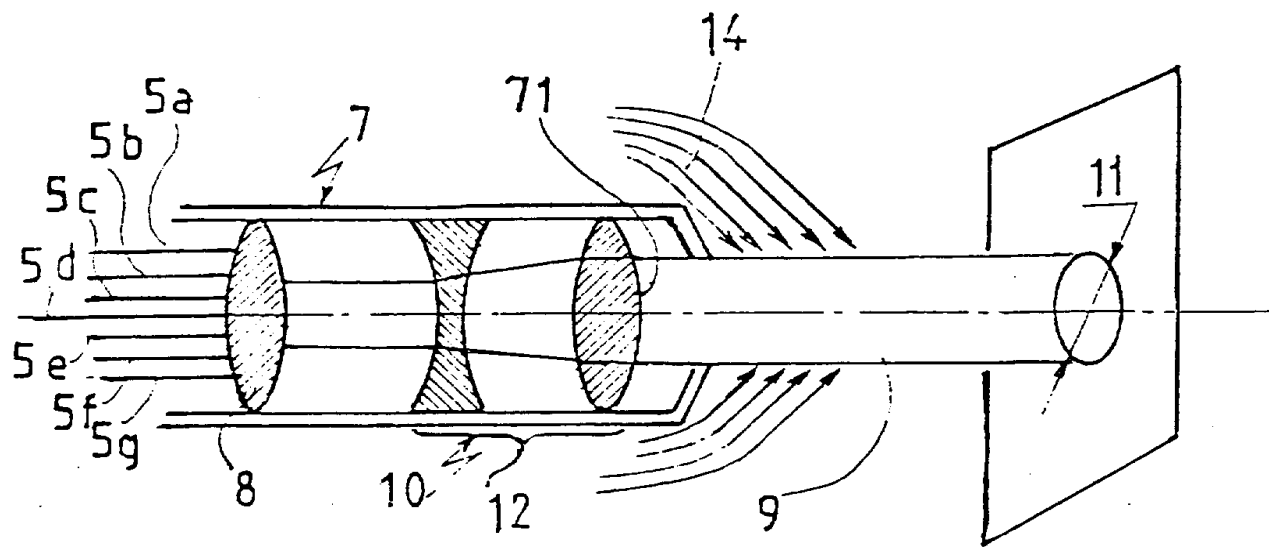
料表面上的沾污物质的各吸收光谱之间进行适当的调整。激光器可以以低能耗工作，它利用光导纤维很容易传输光束，即使只用一根光导纤维，或不采用二氧化硅或硬硅纤维而采用其他类型的纤维，都是很容易传输光束的。

显然，不仅仅上述实施例，任何按照本发明方法制造的装置进行清洁的方法，如采用本发明的构思，均在本发明的保护范围之内。

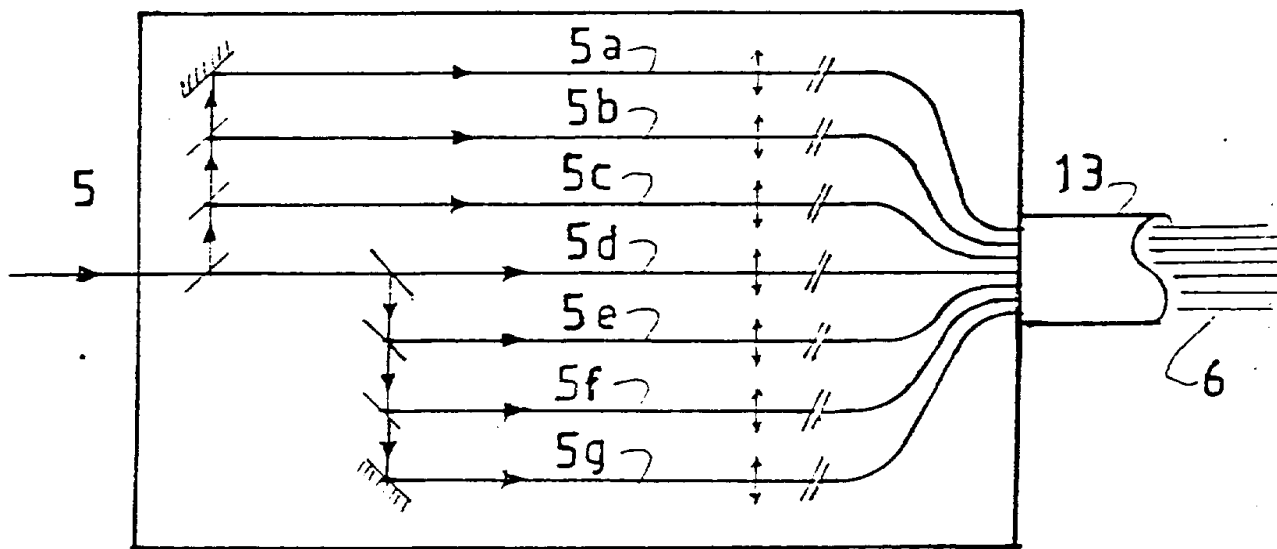
本发明特别适用于艺术品的修复，无论艺术品是历史遗迹、木制家具、玻璃或陶瓷。另外本发明还适用于清洁在生产过程中或使用以后需除污垢的管状产品。

说明书附图





— 图 2 —



— 图 3 —