



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102089651 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 24

(21) 申请号 200980125463. 8

(22) 申请日 2009. 05. 14

(30) 优先权数据

12/120, 907 2008. 05. 15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 12. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/043906 2009. 05. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/140468 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 彼得·W·洛兰

托马斯·E·小德雷克

约翰·B·小德亚顿

马克·杜波依斯 罗伯特·菲利金

(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 29/12 (2006. 01)

G01N 29/24 (2006. 01)

G01N 29/44 (2006. 01)

(56) 对比文件

W0 01/07906 A1, 2001. 02. 01, 说明书第1页
第9-25行, 第2页第1-20行.

US 2003/0033882 A1, 2003. 02. 20, 说明书
[0057]-[0058]段.

US 6041020 A, 2000. 03. 21, 全文.

W0 02/18958 A2, 2002. 03. 07, 全文.

Marc Dubois et al..Progress on
the development of an advanced laser
ultrasound generation source for inspecting
polymer-matrix composites. 《CP615
Review of Quantitative Nondestructive
Evaluation》.2002, 第21卷 304-305.

审查员 王策

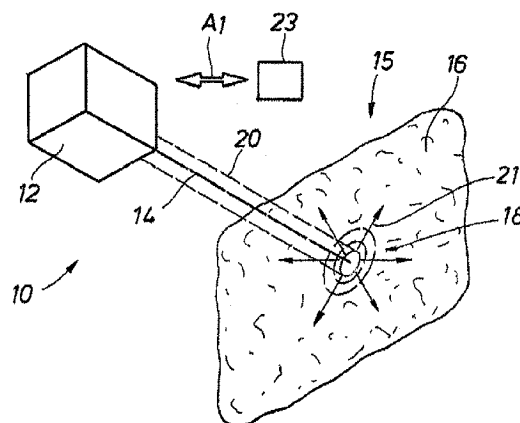
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

用激光超声系统对样品进行光谱表征的方法
和设备

(57) 摘要

一种使用激光超声系统对材料进行光谱分析的方法。该方法包括测量受到生成激光器激励的目标表面的幅度移位。幅度移位与目标光学吸收特性有关。在激光波长范围内产生幅度移位以获得可用于识别目标材料成分特征的光学吸收特征信号。



1. 一种目标对象的材料分析方法,包括:
 - (a) 通过将生成激光束导向在所述目标的一部分上而在所述目标的所述部分的表面上产生超声移位;
 - (b) 通过将具有变化的波长的所述生成激光束导向在所述目标的所述部分上而改变所述生成激光束的波长并在所述目标的所述部分的所述表面上产生超声移位;
 - (c) 测量步骤 (a) 和 (b) 中的所述超声移位的幅度;
 - (d) 其特征在于:利用所测量的超声移位幅度形成所述生成激光束的波长的曲线;
 - (e) 提供生成激光束的波长与由被导向已知成分的目标的所测量的超声移位幅度的波长对比的曲线;以及
 - (f) 通过将步骤 (d) 中的曲线与步骤 (e) 中的曲线进行比较来确定目标成分。
2. 如权利要求 1 所述的方法,进一步的特征在于通过步骤 (a) 和 (b) 的测量超声移位幅度来估计目标结构完整性。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于所述目标包括组装到成品上的制造部件。
4. 如权利要求 1 所述的方法,进一步的特征在于:基于步骤 (a) 和 (b) 中所测量的超声移位估计在所述部分的所述表面上的光深度,形成生成激光束的波长与所估计的光深度的波长对比的曲线,以及将具有所估计的光深度的曲线与步骤 (d) 中的曲线进行结合,以所述生成激光束的波长为横坐标,以所述所估计的光深度和归一化的所测量的超声移位幅度为纵坐标。
5. 如权利要求 1 所述的方法,进一步的特征在于形成与产生移位的激光波的波长相关的目标表面移位的测量的幅度值的对比数据阵列,其中目标表面成分是已知的。
6. 如权利要求 5 所述的方法,进一步的特征在于通过测量已知激光束波长范围内的目标表面移位幅度来产生测量的数据阵列,将测量的数据阵列与所述对比数据阵列进行比较,以及根据比较结果确定目标成分。
7. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于目标成分包括树脂,所述方法进一步包括通过确定目标成分的步骤确认特定树脂存在于目标中。
8. 一种分析对象的方法,包括:
 - (a) 使用工作在多于一个已知波长下的脉冲式生成激光束在所述对象的一部分上生成超声移位;
 - (b) 测量在每个已知波长下生成的、在所述对象的所述部分上的超声移位幅度;
 - (c) 产生测量的数据阵列,包括在每个已知波长和对应的已知波长下生成的超声移位幅度;
 - (d) 将测量的数据阵列与从已知材料获得的、且包含所测量的超声移位幅度和用于产生所述超声移位的生成激光束的波长的对比数据阵列进行比较;以及
 - (e) 基于将测量的数据阵列与所述对比数据阵列进行比较的步骤识别所述对象成分。
9. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于通过使用生成激光器在波长范围内生成已知材料的样品中的超声移位,测量所述超声移位幅度,以及将所述超声移位幅度与生成激光束波长相关联来产生从所述已知材料获得的所述对比数据阵列。
10. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于通过实验室光谱估计产生从所述已知材料获得的所述对比数据阵列。

11. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于所述对象是附接到航空器的制造部件。
12. 一种目标对象的超声检查方法,包括:
将生成激光束接触到目标对象上;
用生成激光束在所述目标对象的一部分上生成超声移位;
测量所述超声移位幅度;
其特征在于:改变生成激光束波长;
用不同激光束波长下的生成激光束在所述目标对象的所述部分上生成附加的超声移位;
测量附加的超声移位幅度;
形成超声移位幅度与生成激光束波长的测量的数据阵列;
将测量的超声移位幅度与用来生成移位的生成激光束的波长相关联;
将测量的数据阵列与已知材料的数据阵列进行比较;
基于比较步骤确定目标对象材料;以及
通过分析超声移位来检测目标对象中的缺陷。
13. 如权利要求 12 所述的方法,进一步的特征在于用生成激光束扫描大部分目标对象。
14. 如权利要求 12 或 13 中之一所述的方法,其特征在于目标对象包括组装到成品内的部件。

用激光超声系统对样品进行光谱表征的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明通常涉及非破坏性检测领域。更具体地,本发明涉及利用激光超声系统用于光谱分析的方法和系统。

背景技术

[0002] 近来,复合材料生成上的进步已将复合材料的使用扩展到多种应用中。由于复合材料重量轻并具备好的强度和耐用性,因此其正在取代金属和金属合金作为用于某些荷载组件的基础材料。例如,目前,复合材料被普遍用作交通工具(例如,车辆、水上飞机和航空器等)的壳体部分和构架的材料。然而,为了确保复合材料的机械完整性,需要严格的检查。典型地,需要在制作由复合材料制成的组件时进行检查,并且在组件的使用寿命期间周期性地进行检查。

[0003] 激光超声是检查由复合材料制成的对象的方法的一个例子。该方法包括通过利用脉冲生成的激光照射复合材料的一部分来在复合材料的表面上产生超声振动。检测激光束指向振动表面并且被散射、反射,并且相位被表面振动调制从而产生相位调制光。光收集器接收相位调制激光并引导该相位调制激光以便进行处理。典型地,通过耦接至光收集器的干涉仪来进行所述处理。可以通过相位调制光处理来确认与复合材料相关的信息,该信息包括裂纹、脱层、孔隙、异物(杂物)、消散和光纤信息的检测。

[0004] 针对具有复杂形状的对象,诸如航空行业中使用的部件使用激光超声的优势之一在于,耦合剂是不必要的并且可以在无需轮廓跟踪机器人的情况下检查复杂的形状。激光超声可以用于航空制造来检查聚合物基复合材料。这些复合材料可以承受多个表征阶段,其中之一是由激光超声进行的超声检查。在制造期间的有些时刻,这些复合物必须以化学方式表征以确保形成复合物中使用的树脂被正确地固化。另外,重要的是,确定在形成过程中使用正确的树脂。典型地,复合材料的化学表征典型地包含获得用于红外光谱实验分析的控制样品。

发明内容

[0005] 本文公开了一种材料分析方法,包括:将生成激光束导向目标表面以在目标表面上产生超声移位,其中生成激光束波长是可识别的;针对可识别的激光束波长测量目标表面移位幅度;改变激光束波长;以及通过将特定激光波长下的相对测量的超声信号幅度与相同生成激光波波长下的已知成分的相对超声信号幅度进行比较来确定目标表面成分。光谱方法可以进一步包括使用测量的目标表面移位幅度来估计目标表面结构完整性。目标可以是制造部件并且可以是组装到成品上的制造部件。该方法可以进一步包括在目标波长范围内以离散波长测量表面移位,针对离散波长形成与测量的目标表面移位幅度相关联的测量的数据阵列,以及将测量的数据阵列与针对已知成分的材料的目标表面移位幅度和离散波长的数据阵列进行比较以确定目标成分。可选地,该方法可以包括形成与产生移位的激光波的波长相关的目标表面移位的测量的幅度值的对比数据阵列,其中目标表面成分是已知的。可

以将测量的移位幅度与数据阵列进行比较以根据比较结果确定目标成分。可以通过测量已知激光束波长范围内的目标表面移位幅度来产生测量的数据阵列,随后将测量的数据阵列与所述对比数据阵列进行比较以根据比较结果确定目标成分。成品可以包括航空器。目标成分可以包括树脂并且该方法可以进一步包括通过确定目标表面成分的步骤确保正确地固化树脂并且也可以通过确定目标表面成分的步骤确认特定树脂存在于目标中。目标表面可以包括涂层。

[0006] 本文还公开了一种分析对象的方法,通过:(a) 使用工作在多于一个已知波长下的脉冲式生成激光束在所述对象上生成超声移位;(b) 测量在每个已知波长下生成的移位幅度;(c) 产生测量的数据阵列,包括在每个已知波长和对应的已知波长下生成的移位幅度;(d) 将测量的数据阵列与从已知材料获得的数据阵列进行比较;以及(e) 基于测量的数据阵列与所述数据阵列进行比较的步骤识别所述对象成分。数据阵列可以从已知材料获得并且通过使用生成激光器在波长范围内生成已知材料的样品中的超声移位,测量所述移位,以及将所述移位与激光波波长相关联来产生。可以通过任何标准光谱方法,FTIR 透射或光声方法产生从已知材料所获得的数据阵列。对象也可以是制造部件并且可以附接到航空器。本公开进一步包括一种目标对象的超声检查方法,其中将生成激光束导向目标对象上;用生成激光束在目标对象上生成超声移位;测量超声移位;改变生成激光束波长;用工作在不同激光束波长下的生成激光束在所述目标对象上生成附加的超声移位;测量附加的超声移位;形成超声移位与生成激光束波长的测量的数据阵列;将测量的超声移位与用来生成移位的生成激光束的波长相关联;将测量的数据阵列与已知材料的数据阵列进行比较;基于比较步骤确定目标对象材料;以及通过分析超声移位来检测目标对象中的缺陷。这些步骤可以通过用生成激光束扫描大部分目标对象来实现。目标对象可以是组装到成品内的部件。

附图说明

[0007] 已经说明了本发明的一些特征和优点,结合附图根据随后的说明,本发明的其它特征和优点将变得明显。在附图中:

[0008] 图 1 是超声检查系统的透视图。

[0009] 图 2- 图 4 包括将复合物的测量的光学深度与移位幅度进行比较的曲线图。

[0010] 尽管将结合优选的实施例说明本发明,但应当理解,这并非意图将本发明限定于实施例。相反,意图涵盖可由随附的权利要求书限定的本发明的精神和范围所包括的所有改变、变形和等价。

具体实施方式

[0011] 下面参照示出本发明实施例的附图更详细地说明本发明。然而,可以以不同的形式表现本发明,并且这些形式不应被构成为限定在此提出的所说明的实施例;相反,这些实施例是为了使本公开充分且完整而提出的,并且将使本领域技术人员完全知晓本发明的范围。文中相同的附图标记表示相同的原件。为了引用附图方便,对于参照和图解说明仅使用方向术语。例如,使用“上方”、“下方”、“高于”、“低于”等来说明相对位置。

[0012] 应当理解,由于对于本领域技术人员而言,变形和等价是明显的,因此本发明不限

于所示出并说明的结构、操作、具体材料或实施例的具体细节。在附图和说明书中,已公开了本发明的示例性实施例,并且,尽管采用了具体的术语,但其仅在一般意义和说明意义上使用而并非用于限定的目的。由此,本发明因而仅由随附的权利要求书的范围限定。

[0013] 图 1 提供了激光超声检测系统 10 的一个实施例的侧面斜视图。检测系统 10 包括形成为发射生成光束 14 并指向检查目标 15 的激光超声单元 12。生成光束 14 在检查表面 16 上与检查目标 15 接触。生成光束 14 热弹性膨胀检查表面 16 以在检查表面 16 上产生相应的波长移位 18。在一个实施例中,生成光束 14 是配置成在检查表面 16 上产生波长移位 18 的脉冲激光。检测光束 20 还被示出从激光超声单元发出并且示出为绕生成光束 14 是共轴的。尽管从相同的激光超声单元 12 发出,但检测光束和生成光束 (14, 20) 由不同的源生成。然而,检测光束 20 可优选地源自不同的单元及不同的位置。众所周知,检测光束 12 包括检测波,该检测波被散射、反射,并且在与波长移位 18 作用时被相位调制,以形成相位调制光 21。然后,来自检测光束 20 的相位调制光 21 被光收集器 23 接收并被处理以确定与检查目标 15 有关的信息。可以使生成光束和检测光束 (14, 20) 沿目标 15 扫描以获取关于整个表面 16 的信息。用于使光束 (14, 20) 扫描的机构 (未示出) 可以被放置在激光超声单元 12 中。用于控制所述机构,并且优选地用于处理光收集器所记录的数据的处理器 (未示出) 也可以被放置在激光超声单元 12 中。通过箭头 A1 示出光收集器 23 从激光超声单元 12 分离并且与激光超声单元 12 通信,然而,光收集器可以与激光超声单元 12 包含在一起。

[0014] 本文公开了一种使用激光超声测试系统以超声方式检查目标对象的缺陷以及使用激光超声测试系统以光谱方式表征目标对象的方法。在本方法的一个实施例中,生成光束由激光超声系统形成并且被导向目标对象以在目标表面上形成热弹性扩张。响应于热弹性扩张在目标表面上产生超声移位。已发现,超声移位在某些超声波长下的幅度与生成激光束到目标表面的光穿透深度成正比。光穿透深度与目标的吸光率成反比。因此,通过改变生成激光束光波长,可以在生成激光束的波长范围内观测目标材料的吸光带。

[0015] 在本文描述的方法的一个实施例中,诸如来自图 1 的激光超声源 12 的生成激光束被导向目标 15 以在目标表面 16 上产生超声移位 18。超声移位 18 的幅度可以通过如上所述的检测激光束 20 测量。生成激光束 14 的波长应当是可识别的,即,在产生表面超声移位时波长将是已知的,可以被计算的,或者是可辨别的。目标 15 的材料可以通过将测量的表面移位 18 与用于产生表面移位 18 的生成光束 14 的波长相关联来识别。移位和波长的值可以与之前记录或另外获得的已知材料的对应移位幅度和生成光束波长的数据阵列曲线进行比较。因此,通过将测量的相对幅度和波长值与已知材料的基准相对幅度和波长值进行匹配,目标材料和 / 或复合物是可确定的。在本方法的一个实施例中,使用借助对应的生成光束波长进行移位幅度的单次测量来识别测试对象材料。

[0016] 在一个可选实施例中,在光谱范围内改变检测光束波长并且沿此范围以离散点在对象上产生超声移位。每个离散波长下的移位值被测量并且与用来产生移位的生成光束波长相关联。使用测量的移位值和离散波长值来形成测量值的数据阵列。类似地,可以将测量的数据阵列与包括已知材料的生成光束波长和对应的移位的数据阵列进行比较和匹配从而识别目标材料。在本方法的另一实施例中,使用借助对应的生成光束波长进行移位幅度的两次测量来识别测试对象材料。在本方法的又一实施例中,使用借助对应的生成光束波长进行移位幅度的多于两次测量来识别测试对象材料。在本方法的再一实施例中,使用借

助对应的生成光束波长进行移位幅度的多次测量来识别测试对象材料,其中生成光束波长的光谱范围从大约 0.1 微米到大约 20 微米,可选地从大约 0.5 微米到大约 15 微米,可选地从大约 1 微米到大约 10 微米,可选地从大约 2 微米到大约 8 微米,可选地从大约 2.5 微米到大约 7.5 微米,以及可选地从大约 3 微米到大约 4 微米。在另一实施例中,连续生成光束波长之间的增量可以为大约 0.01 微米或者大约 3 微米,或者它们之间的任意值。可选地,连续波长值可以变化。

[0017] 采用本方法的另一优势在于,可以在制造的部件上,而不是在从特定部件取出并在实验室进行分析的样品上执行本文描述的光谱分析。另外,在该部件附接到成品时也可以采用本文描述的光谱分析技术。可选地,本发明可以在成品可用寿命期间使用,即,在其投入服务之后。例如,可以在把航空器部件装配到航空器上之前,在该部件的验收测试期间,可以在航空器部件上进行光谱分析。类似地,在附接到航空器上之后,可以在航空器验收之前,或者在航空器投入使用之后以及在该部件的或航空器的使用寿命期间,使用光谱分析来分析该部件。

[0018] 然而,应当注意,本方法不限于包括航空器的成品,还可以包括具有两个或多个部件的任何产品。另外,激光超声系统还可以用来提供难以访问位置的部件或部件的一部分的光谱分析。本方法不仅可以确定目标对象的成分,诸如制造的部件,本方法还可以确定是否正确进行了对象形成过程。例如,如果该部件是复合物或者包括树脂产品,则可以确定复合物组成,诸如树脂是否得到正确处理或固化。另外,还可以确定在形成成品时是否使用了特定或预期的成分,诸如树脂。分析还可以确定是否对对象施加了涂层,诸如喷涂的表面,是否向表面施加适当的涂层以及是否适当地施加了涂层。

[0019] 现在参考图 2,该图示出了光穿透深度和超声幅度移位(纵坐标)与用于产生穿透深度和移位的源的光波长(横坐标)的对比。更具体地说,图 2 示出了反映出测试石墨-环氧样品时记录的真实数据的曲线 22。曲线 22 包括一系列的点 24,表示与产生超声移位的生成光束波长有关的石墨环氧样品的超声移位的测量的幅度。测量的光深度通过光声估计获得并且由线条 26 表示。测量的光深度和波长的单位均为微米。在图 2 中,超声移位的幅度值被归一化以清楚地示出测量的幅度和光穿透深度之间的比例关系。在图 2 中,绝对值表示移位响应,可以使用线条 26 的相对形状和一系列点 24 的形状来识别目标的材料。而且,可以使用限制的点用于测量。例如,可以使用两个给定波长下测量的超声幅度的比率来识别目标材料或者特定表征,像固化的等级。

[0020] 因此,记录的已知复合物的光深度数据提供了有效的比较基准以根据测量的超声移位值和对应的生成光束波长来识别材料。如上所述,对于材料的识别不限于材料成分,也可以包括涂层,如果材料被适当的处理,以及材料内成分的百分比。

[0021] 图 3 也示出了将表示由生成光束产生的测量的幅度移位的归一化点 30 和反映出测量的光深度的对应线条 32 进行比较的曲线 28。在该示例中,材料是石墨-BMI 样品。图 4 也比较了给定波长下的测量的光深度和归一化幅度数据。在图 4 的示例中,对象包括喷刷的石墨环氧样品。

[0022] 在图 2-4 中,给出了 2.5 兆赫下的已知光谱技术、光声和激光超声测量之间的对比。光声测量是在实验室中在小样品上执行的,该样品是从复合部件切下、直径为 5 毫米。激光超声测量直接在复合部件自身上进行。激光超声测量借助装配有允许在 3.0 与 3.5 微

米之间调整波长的光参量振荡器的激光超声系统获得。该波长范围对应于 C-H 分子键的展开模式。图 2-4 清楚地示出了材料的超声移位与光深度之间的比例关系,从而示出了使用本方法的材料分析的其他优势。结果还表明激光超声测量容易区分不同类型材料。

[0023] 更完整的分析可以采用除了 2.5MHz 之外的几个频率下的超声幅度,因此本方法不限于 2.5MHz 下的测量。几个超声频率或宽带超声信号的使用,尽管情况更复杂,也包括在本文描述的方法的范围内。

[0024] 本方法的另一优势在于激光超声检测系统可以执行目标光谱分析同时针对故障状况的存在分析块体材料,并且测量其他一般材料特征,诸如孔隙、异物、脱层、孔隙、异物(杂物)、消散、裂纹和光纤特征,诸如光纤朝向和光纤密度、部件厚度和块体机械特性。除了节省时间和财力,实现了更具代表性的光谱分析,这是因为在对象自身而不是测试试样或控制样品上执行。如上所述,可以在制造部件上借助自身,附接到较大成品或者装配成品的作为一体的产品来执行扫描。

[0025] 可以采用几种方式实现改变生成光束波长。例如,可以包括光参量振荡器来提供在足以实现期望光学识别的范围内改变生成激光波长的能力。如果仅需要有限数量的不同波长,则可以使用像拉曼散射相位共轭镜(Raman cell)、布里渊散射相位共轭镜(Brillouin cell)、多波长激光器或多激光器的装置。给出使用多于一个波长的任何装置或系统应当被认为是本文描述的方法的实施例。

[0026] 因此,在此说明的本发明及其所包括其它内容能够满意地解决技术问题并且实现述及的目的和优点。尽管为了说明的目的给出了本发明当下的优选实施例,但在用于实现期望的结果的具体过程中,存在多种改变。对于本领域技术人员而言,这些改变和其它类似的变形是显见的,并且这些改变和变形意图包括于在此公开的本发明的精神和随附权利要求的范围内。

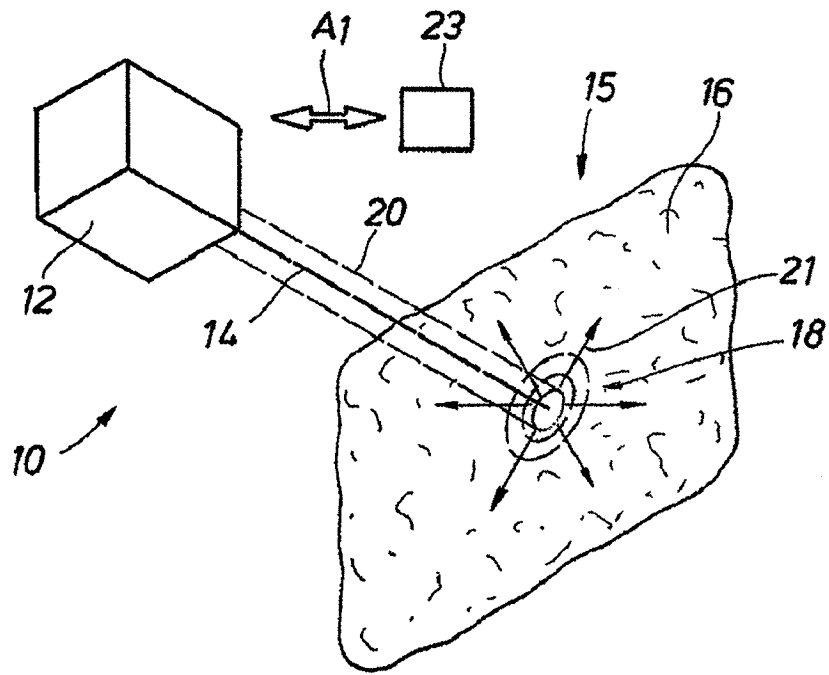


图 1

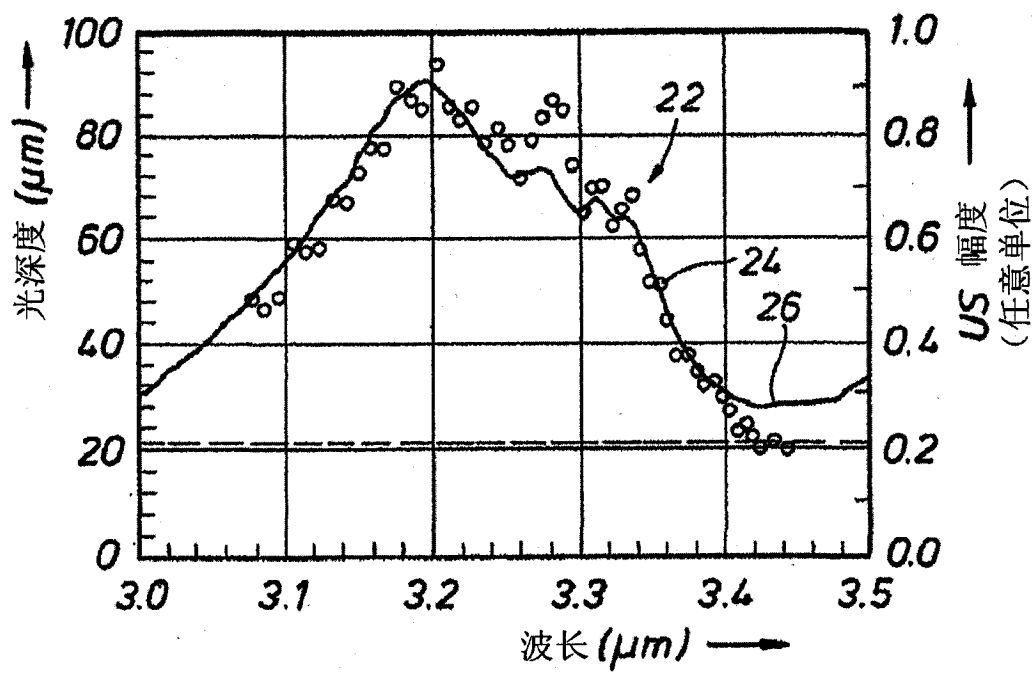


图 2

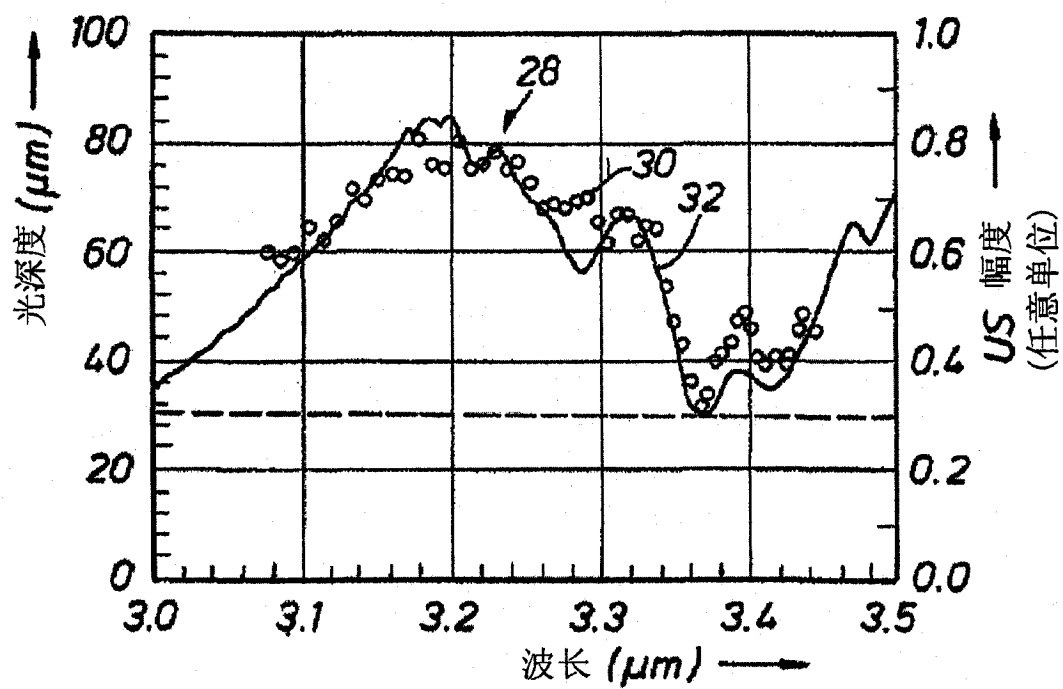


图 3

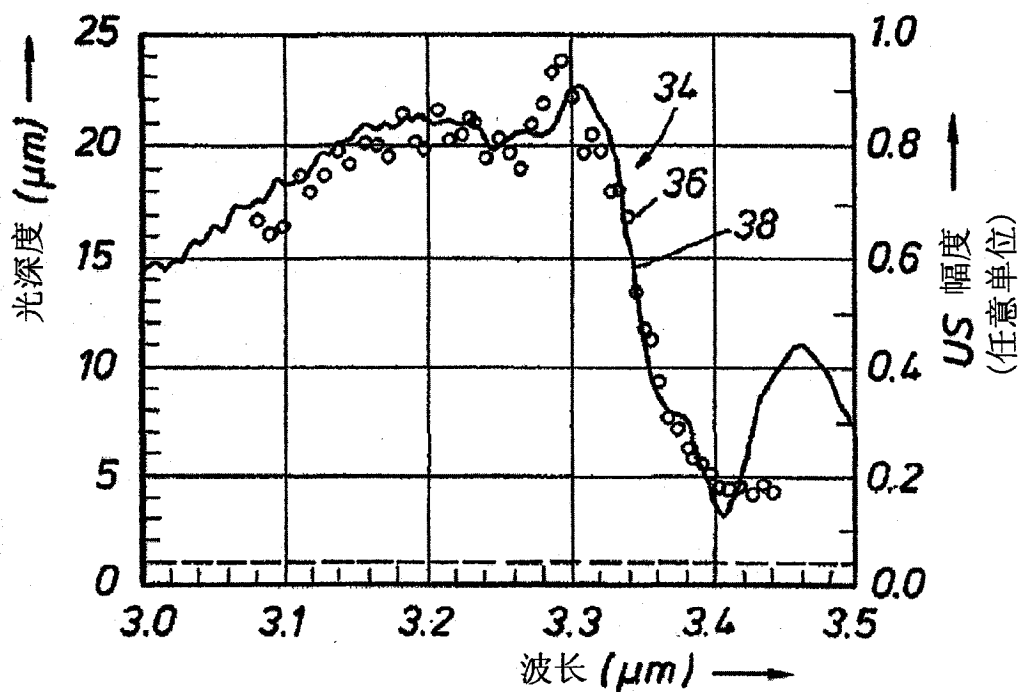


图 4