



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105699315 B

(45)授权公告日 2019.12.03

(21)申请号 201510930890.0

(22)申请日 2015.12.15

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105699315 A

(43)申请公布日 2016.06.22

(30)优先权数据  
2014-254392 2014.12.16 JP

(73)专利权人 爱科来株式会社  
地址 日本京都府

(72)发明人 内田裕久

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127  
代理人 吕俊刚 杨薇

(51)Int.Cl.

G01N 21/3581(2014.01)

(56)对比文件

US 2012211659 A1, 2012.08.23,  
US 2006255277 A1, 2006.11.16,  
CN 104006888 A, 2014.08.27,

审查员 程莉莉

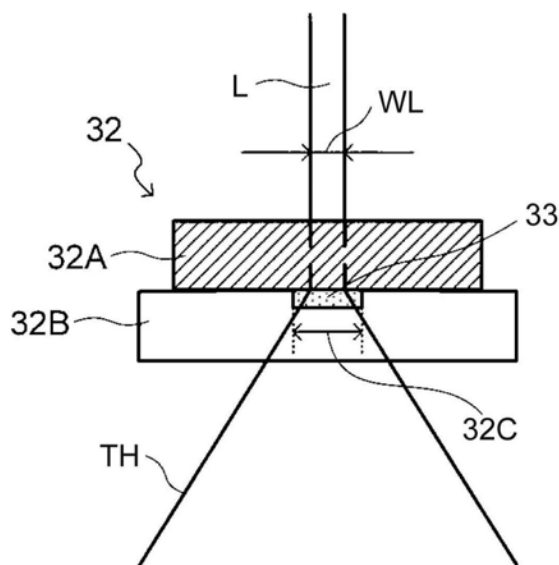
权利要求书2页 说明书11页 附图14页

### (54)发明名称

太赫兹波测量装置、测量方法以及测量仪器

### (57)摘要

太赫兹波测量装置、测量方法以及测量仪器。提供了一种太赫兹波测量装置,该太赫兹波测量装置包括:(1)太赫兹波产生元件,该太赫兹波产生元件基于入射到所述太赫兹波产生元件的激发光通过差频生成产生太赫兹波,激发光包括多个不同波长分量并且被汇聚以便具有预定大小的光束直径;(2)结构体,太赫兹波透射通过该结构体;以及(3)检测器,该检测器检测已透射通过结构体的太赫兹波的强度,其中,结构体包括保持样品的预定宽度的样品架,并且该结构体与太赫兹波产生元件紧密接触或者相接合。



1. 一种太赫兹波测量装置,所述太赫兹波测量装置包括:

太赫兹波产生元件,所述太赫兹波产生元件基于被入射到所述太赫兹波产生元件的激发光通过差频生成产生太赫兹波,所述激发光包括多个不同波长分量并且被汇聚以便具有预定大小的光束直径;

结构体,所述太赫兹波透射通过所述结构体;以及

检测器,所述检测器检测已透射通过所述结构体的所述太赫兹波的强度,

其中,所述结构体包括保持样品的预定宽度的样品架,并且所述结构体与所述太赫兹波产生元件紧密接触或者形成为具有一定间隙的接合,并且其中,

所述激发光的所述光束直径的所述预定大小小于将要产生的太赫兹波的波长。

2. 根据权利要求1所述的太赫兹波测量装置,其中,被辐射到所述结构体的所述太赫兹波的光束直径小于所述太赫兹波的波长。

3. 根据权利要求1或2所述的太赫兹波测量装置,其中,所述激发光的所述光束直径的所述预定大小小于所述样品架的所述宽度。

4. 根据权利要求1或2所述的太赫兹波测量装置,所述太赫兹波测量装置还包括:

移动部,所述移动部移动所述激发光的光路径,或者移动所述结构体,使得所述激发光的入射位置相对于所述太赫兹波产生元件以一个维度或两个维度移动,

其中,所述检测器根据相对于所述太赫兹波产生元件的所述激发光的所述入射位置检测所述太赫兹波的所述强度。

5. 根据权利要求1或2所述的太赫兹波测量装置,其中,所述太赫兹波产生元件是非线性光学晶体,所述非线性光学晶体在差频生成中实现相位匹配。

6. 根据权利要求5所述的太赫兹波测量装置,其中,所述非线性光学晶体是有机非线性光学晶体,所述有机非线性光学晶体是DAST晶体、DASC晶体或者OH1晶体。

7. 一种太赫兹波测量方法,所述太赫兹波测量方法包括以下步骤:

汇聚包括多个不同的波长分量的光的激发光,以便具有预定大小的光束直径;

使所汇聚的激发光被入射到太赫兹波产生元件,以便基于所汇聚的激发光通过差频生成产生太赫兹波;

使所述太赫兹波透射通过包括保持样品的预定宽度的样品架的结构体,所述结构体与所述太赫兹波产生元件紧密接触或者形成为具有一定间隙的接合;以及

检测已透射通过所述结构体的所述太赫兹波的强度,并且,

所述激发光的所述光束直径的所述预定大小小于将要产生的太赫兹波的波长。

8. 根据权利要求7所述的太赫兹波测量方法,其中,被辐射到所述结构体的所述太赫兹波的光束直径小于所述太赫兹波的波长。

9. 根据权利要求7或8所述的太赫兹波测量方法,所述太赫兹波测量方法还包括以下步骤:

将针对待测样品所检测到的所述太赫兹波的强度与针对已知浓度的已知样品预先检测到的所述太赫兹波的强度进行比较;以及

测量所述待测样品的浓度。

10. 根据权利要求7或8所述的太赫兹波测量方法,所述太赫兹波测量方法还包括以下步骤:

将针对待测样品所检测到的所述太赫兹波的强度与针对多个已知样品预先检测到的多个太赫兹波的各自的强度进行比较;以及  
识别所述待测样品。

11. 一种太赫兹波测量仪器,所述太赫兹波测量仪器包括:

太赫兹波产生元件,所述太赫兹波产生元件基于激发光通过差频生成产生太赫兹波,所述激发光包括多个不同波长分量的光,所述激发光被汇聚,以便具有预定大小的光束直径,所述激发光被入射到所述太赫兹波产生元件;以及

结构体,所述太赫兹波透射通过所述结构体,

其中,所述结构体包括保持样品的预定宽度的样品架,并且所述结构体与所述太赫兹波产生元件紧密接触或者形成为具有一定间隙的接合,并且其中,

被辐射到所述结构体的所述太赫兹波的光束直径小于所述太赫兹波的波长。

## 太赫兹波测量装置、测量方法以及测量仪器

### 技术领域

[0001] 本公开涉及太赫兹波测量装置、太赫兹波测量方法以及太赫兹波测量仪器 (rig)。

### 背景技术

[0002] 照惯例,在使用太赫兹波的一般的频谱测量和成像中,所发射的太赫兹波被引导以便被入射到样品,其中光源和样品彼此分开布置。

[0003] 此外,已经提出采用微细工程结构(例如,微电子机械系统 (MEMS) 和 $\mu$ 全分析系统 ( $\mu$ -TAS)) 的太赫兹波特征测量方法(例如,参见日本专利申请公开 (JP-A) No. 2012-185151)。在此类方法中,太赫兹波被辐射到包括至少一种类型的待测物质并且具有从 $10\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 的范围内的厚度的液体溶液的一部分上,使得传播方向是液体溶液的厚度方向。测量了通过该部分透射或反射的太赫兹波的频谱特性或特定频率或特定波长的太赫兹波的强度。

[0004] 还提出了一种包括在其前端具有开口的管形导体的太赫兹波探头,该太赫兹波探头包括用于从远离在该管形导体的外侧部分或者内侧部分中的一个处的开口的位置发射电磁波的发射装置,并且该太赫兹波探头包括用于检测来自远离在另一部分处的开口的位置的电磁波的检测装置(例如,参见JP-A No. 2007-248316)。该太赫兹波探头被构造成使得在管形导体(其具有等于或小于电磁波的波长的尺寸的开口)的内侧部分和外侧部分处分别发射并检测的所检测到的电磁波通过开口被耦合,并且当将要被检测的样本面对开口放置时,基于通过该开口的电磁波的耦合的改变获取关于样本的信息。

[0005] 还提出了一种近场显微镜,该近场显微镜包括:激光装置,其发射特定的激光;聚光透镜,其将激光汇聚到特定的聚光点;以及电磁波发射元件,其在激光的聚光点的附近发射电磁波,并且在该电磁波发射元件的外表面的附近发射电磁波的近场光(例如,参见JP-A No. 2009-036693)。该近场显微镜还包括:扫描机构,其移动样品或激光以使得近场光接近样品,并且利用近场光与样本之间的相互作用将近场光转换成传播光;电磁波检测器,其检测被样本反射或者被样品散射的传播光,并且获取该样品的图像;以及半反射镜,其传输激光并且向电磁波检测器反射电磁波。

[0006] 然而,在由JP-A No. 2012-185151所描述的装置中,虽然样品被装入微流路径中并且针对微小的区域执行太赫兹波的测量,但是(例如)难以针对需要超出该太赫兹波的衍射极限的空间分辨率的微小的区域测量太赫兹波。

[0007] 此外,在由JP-A No. 2007-248316所描述的装置中,由于所产生的太赫兹波必须通过包括不大于其波长的开口的探头来传播,因此在光源和探头的结构中必须包括具有复杂结构的元件。

[0008] 此外,在由JP-A No. 2009-036693所描述的装置中,利用了近场光与样本之间的相互作用,并且需要使用半反射镜来反射由测量样品透射或者由测量样品散射的太赫兹波的结构,并且该结构检测该太赫兹波。在这种结构中,由测量样品透射或反射(或者由测量样品散射)的太赫兹波在通过太赫兹波产生元件透射之后被检测。然而,在这种情况下,由于

从太赫兹波产生元件或者从样品(或者从样品的背面)的反射,有时太赫兹波会穿过由各个材料所形成的界面,并且受到在太赫兹波产生元件中、样品中、以及自由空间中的太赫兹波的吸收和反射的影响,导致为了精确地对测量目标的特性进行测量而需要执行复杂的计算或者数据处理。

## 发明内容

[0009] 本公开提供一种能够利用即简易又不受太赫兹波产生元件的吸收影响的构造针对微小区域测量太赫兹波的太赫兹波测量装置、测量方法以及测量仪器。

[0010] 技术方案

[0011] 本公开的第一方面是一种太赫兹波测量装置,该太赫兹波测量装置包括:太赫兹波产生元件,该太赫兹波产生元件基于入射到所述太赫兹波产生元件的激发光通过差频生成产生太赫兹波,该激发光包括多个不同波长分量并且被汇聚以便具有预定大小的光束直径;结构体,太赫兹波透射通过该结构体;以及检测器,该检测器检测已透射通过结构体的太赫兹波的强度,其中,结构体包括保持样品的预定宽度的样品架,并且该结构体与太赫兹波产生元件紧密接触或者相接合。

[0012] 根据第一方面,具有预定大小的光束直径的太赫兹波被入射到由与太赫兹波产生元件紧密接触或者相接合的结构体上的预定宽度的样品架保持的样品,并且检测已透射通过所述结构体的太赫兹波,因此能够利用不受太赫兹波产生元件的吸收影响的简易构造在微小的区域中测量太赫兹波。

[0013] 本公开的第二方面是第一方面的太赫兹波测量装置,其中,激发光的光束直径的预定大小小于样品架的宽度。

[0014] 这使得入射到样品的太赫兹波的光束直径能够被限制为非常接近于激发光的光束直径,由此能够在更微小的区域中测量太赫兹波。

[0015] 本公开的第三方面是第一方面或第二方面的太赫兹波检测装置,该太赫兹波检测装置还包括移动部,该移动部移动激发光的光路径,或者移动结构体,使得激发光的入射位置相对于太赫兹波产生元件按一维或二维移动,其中,检测器根据相对于太赫兹波产生元件的激发光的入射位置检测太赫兹波的强度。

[0016] 这能够实现对对应于相对于太赫兹波产生元件的激发光的入射位置的结构体的特性(即,反映保持样品的区域的形状的太赫兹波的强度)的成像。

[0017] 本公开的第四方面是第一方面至第三方面中的任何一个的太赫兹波测量装置,其中,太赫兹波产生元件是在差频生成中实现相位匹配的非线性光学晶体。

[0018] 本公开的第五方面是第四方面的太赫兹波测量装置,其中,非线性光学晶体是有机非线性光学晶体,该有机非线性光学晶体是DAST晶体、DASC晶体或者OH1晶体。

[0019] 本公开的第六方面是一种太赫兹波测量方法,该太赫兹波测量方法包括:汇聚具有多个不同的波长分量的光的激发光,以便该激发光具有预定大小的光束直径;让所汇聚的激发光被入射到太赫兹波产生元件,以便基于所汇聚的激发光通过差频生成产生太赫兹波;使太赫兹波透射通过包括保持样品的预定宽度的样品架的结构体,该结构体与太赫兹波产生元件紧密接触或者相接合;以及检测已透射通过结构体的太赫兹波的强度。

[0020] 本公开的第七方面是第六方面的太赫兹波测量方法,该太赫兹波测量方法还包

括:将针对待测样品所检测到的太赫兹波的强度与针对已知浓度的已知样品预先检测到的太赫兹波的强度进行比较;以及测量待测样品的浓度。

[0021] 本公开的第八方面是第六方面的太赫兹波测量方法,该太赫兹波测量方法还包括:将针对待测样品所检测到的太赫兹波的强度与针对多个已知样品预先检测到的多个太赫兹波的各自的强度进行比较;以及识别待测样品。

[0022] 本公开的第九方面是一种太赫兹波测量仪器,该太赫兹波测量仪器包括:太赫兹波产生元件,该太赫兹波产生元件基于激发光通过差频生成产生太赫兹波,该激发光包括多个不同波长分量的光,该激发光被汇聚,以便具有预定大小的光束直径,该激发光被入射到太赫兹波产生元件;以及结构体,太赫兹波透射通过该结构体,其中,该结构体包括保持样品的预定宽度的样品架,并且该结构体与太赫兹波产生元件紧密接触或者相接合。

[0023] 如上面所说明的,本公开的各个方面的太赫兹波测量装置、测量方法以及测量仪器能够利用即简易又不受太赫兹波产生元件的吸收影响的构造在微小区域中测量太赫兹波。

## 附图说明

[0024] 将基于下列附图对本公开的示例性实施方式进行详细描述,其中:

[0025] 图1是示出根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置的构造的示意图;

[0026] 图2是示意性地示出第一示例性实施方式的测量仪器的顶视图及侧视图;

[0027] 图3是示意性地示出第一示例性实施方式的微细工程结构的顶视图及侧视图;

[0028] 图4是用于说明本文公开的技术的实施方式的原理的图;

[0029] 图5是用于说明本文公开的技术的实施方式的原理的图;

[0030] 图6是用于说明本文公开的技术的实施方式的原理的图;

[0031] 图7是示出在太赫兹波产生元件与微细工程结构之间设置有薄片(sheet)的构造的示意图;

[0032] 图8是示出根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置的构造的示意图;

[0033] 图9是示意性地示出第二示例性实施方式的测量仪器的顶视图及侧视图;

[0034] 图10是示意性地示出第二示例性实施方式的微细工程结构的顶视图;

[0035] 图11是示出在空流路径的情况下的成像结果的示例的图;

[0036] 图12是示出在各流动路径中填充不同浓度的乙醇/水溶液的情况下的成像结果的示例的图;

[0037] 图13是示出用于比较验证的示例的构造的示意图;

[0038] 图14是示例的样品台(sample stage)A的示意图;

[0039] 图15是示例的样品台B的示意图;

[0040] 图16是示出示例的成像结果的示例的图;以及

[0041] 图17是示出示例的成像结果的示例的图。

## 具体实施方式

[0042] 下面将参照附图对关于根据本文公开的技术的太赫兹波测量装置的示例性实施方式进行详细说明。

[0043] 第一示例性实施方式

[0044] 如图1所示,根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10被构造为包括发射激发光的激发光发射装置20、汇聚激发光的聚光透镜22、将所聚焦的激发光引导至太赫兹波发生器30的反射镜24、使由激发光产生的太赫兹波入射到样品的太赫兹波发生器30、引导透射通过太赫兹波发生器30的太赫兹波的一对抛物面反射镜42A、42B、检测所引导的太赫兹波的强度的检测装置50、以及处理太赫兹波检测结果的处理器52。

[0045] 激发光发射装置20可以采用(例如)发射两种不同波长的激发光的KTP参量振荡器(KTP-OP0)或者BBO参量振荡器(BBO-OP0)。例如,KTP-OP0被构造为包括泵浦光源和两个磷酸氧钛钾( $\text{KTiOP}_4$ :KTP)晶体。泵浦光源是输出泵浦光的光源,该泵浦光在KTP-OP0中充当发射两种波长的激发光的基础,并且可以采用(例如)Nd:YAG激光的二次谐波(波长:532nm、脉冲宽度:24ns、重复频率:50Hz)。

[0046] 每个KTP晶体被安装到旋转台,使得可以对入射到晶体的泵浦光的入射角单独进行调整。从KTP-OP0发射的激发光的频率可以通过改变泵浦光到KTP晶体的入射角而改变。例如,可以使激发光发射装置20发射具有两种波长 $\lambda_1=1300\text{nm}$ 和 $\lambda_2=1308\text{nm}$ 的激发光。

[0047] 聚光透镜22汇聚激发光,使得太赫兹波发生器30中的激发光的光束直径小于太赫兹波入射于其上的样品的测量区域(在本示例性实施方式中(稍后说明的)微流路径32C的宽度)。例如,激发光的光束直径可以通过聚光透镜22被限制在 $100\mu\text{m}$ 。

[0048] 太赫兹波发生器30利用入射的激发光产生太赫兹波,并且也是将待测样品放置于其上并且所产生的太赫兹波入射于其上的样品台。例如,如图2所示,样品被装入测量仪器32中。图2是测量仪器32的顶视图及侧视图。该测量仪器32被构造使得太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B彼此紧密接触。

[0049] 诸如4-二甲氨基-N-甲基-4-苄偶氮甲苯磺酸盐(4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate,DAST)晶体、4-二甲氨基-N-甲基-4-苄偶氮-对-氯苯磺酸盐(4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium-p-chlorobenzene sulfonate,DASC)晶体、或2-(3-(4-羟基苯乙烯基)-5,5-二甲基环己-2-烯亚基)丙二腈(2-(3-(4-hydroxystyryl)-5,5-dimethylcyclohex-2-enylidene)malononitrile,OH1)晶体的有机光学晶体可以被用作太赫兹波产生元件32A。此外,对此也可以采用诸如磷酸镓( $\text{GaPO}_4$ )、砷化镓(GaAs)、或者铌酸锂( $\text{LiNbO}_3$ )的无机光学晶体。

[0050] 诸如环状烯烃基聚合物、聚二甲基硅氧烷(PDMS)、超高分子量聚乙烯(UHMW-E)或者高电阻的硅晶片的具有对太赫兹波高透射率的材料可以被用作微细工程结构32B的材料。此外,如图3所示,微流路径32C通过精细处理被形成成为微细工程结构32B。微流路径32C是(例如)具有预先设定的宽度W(例如, $W=500\mu\text{m}$ )和预先设定的深度D(例如, $D=100\mu\text{m}$ )的凹槽。微流路径32C保持样品。在太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B紧密接触的状态下,该太赫兹波产生元件32A在微流路径32C上形成盖子,并且样品被装入由微流路径32C和太赫兹波产生元件32A形成的空间部分中。

[0051] 要注意的是,微流路径32C的深度优选地在从 $10\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 的范围内。当微流路径32C的深度小于 $10\mu\text{m}$ 时,对太赫兹波的透射率过大并且不再能获得有区别的光谱特征。将样品装入微流路径32C中的操作也变得困难。当微流路径32C的深度超过 $100\mu\text{m}$ 时,通过充当溶剂的水分子的太赫兹波的吸收的效果变得太强,并且不再能测量溶液中的物质的光谱特

征。因此,适于将微流路径32C的深度设定在从10 $\mu\text{m}$ 到100 $\mu\text{m}$ 的范围内。

[0052] 此外,根据下面所描述的本示例性实施方式的原理,微流路径32C的宽度优选地大于入射到样品的太赫兹波的光束直径。如下所述,本示例性实施方式被构造使得入射到样品的太赫兹波的光束直径基本上等于激发光的光束直径,并且因此微流路径32C的宽度优选地是激发光的光束直径或者更大。

[0053] 接下来,下面将对本示例性实施方式的原理进行说明。

[0054] 图4示例性地示出了激发光入射到太赫兹波产生元件,并且从太赫兹波产生元件产生的太赫兹波被汇聚以便被入射到样品的状态。如图4所示,从太赫兹波产生元件产生的太赫兹波随着它们沿光学路径前进而被散射。当入射到样品时(当使用诸如聚光透镜、抛物面反射镜等的聚光器31聚光时),由于太赫兹波的衍射极限的影响而无法将太赫兹波在入射时的直径WTH汇聚为所产生的太赫兹波的波长或更小。即,当太赫兹波被入射到样品时,不能使已被散射并随后被汇聚的太赫兹波的空间分辨率比所产生的太赫兹波的波长更小。

[0055] 因此,如图4所示,在保持样品33的微流路径的宽度比太赫兹波TH的宽度更小的情况下,太赫兹波TH还被入射到除样品33之外的区域。在这种情况下,在后期所检测到的太赫兹波中包括没有透射通过样品33的大量的太赫兹波(即,噪声分量)。

[0056] 要注意的是,为了防止太赫兹波被入射到除了样品之外的区域,当它们被入射时,可以想到使得微流路径的宽度大于太赫兹波的光束直径。然而,当微流路径的宽度变大时,所需用于测量的样品的量以相同的程度增加。在(例如)物质具有高价值或者具有高稀有价值的情况下,难以大量的制备,并且因此希望将微流路径的宽度设定小以便能够用少量的样品进行测量。

[0057] 如图4所示,尽管来自太赫兹波产生元件的太赫兹波在产生之后被散射,但是太赫兹波的光束直径在产生之后基本上立即就与入射到太赫兹波产生元件的激发光L的光束直径WL大小相同。也就是说,只要在从太赫兹波产生元件刚刚产生之后,就可以通过将激发光L的光束直径WL限制为微小的尺寸来获得具有微小直径的太赫兹波。

[0058] 根据上述原理,在本示例性实施方式中,如图5所示,通过将太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B彼此紧密接触地放置,除了将激发光的光束直径限制为小于装入样品的微流路径32C的宽度的尺寸之外,还实现了这样的构造,其中具有与激发光的光束直径基本上相同的直径的太赫兹波在刚刚从太赫兹波产生元件32A产生之后就被入射到装入微流路径32C中的样品。

[0059] 此外,遵循上述原理,能够通过将微细工程结构32B的宽度和激发光的光束直径设置成小于所产生的太赫兹波的波长,将以超过该太赫兹波的衍射极限的空间分辨率来测量太赫兹波。例如,当根据激发光的两个波长之间的波长差已产生1.41THz的太赫兹波时,该太赫兹波的波长变为212.6 $\mu\text{m}$ 。使激发光的光束直径为212.6 $\mu\text{m}$ (这是将要产生的太赫兹波的波长)或更小的光束直径,导致超过太赫兹波的衍射极限的空间分辨率是可实现的。

[0060] 要注意的是,已经给出了关于太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B彼此紧密接触地放置的本示例性实施方式的情况的说明;然而,遵循上述原理太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B可以被设置成在一定范围内彼此分离。即,如图6所示,太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B可以以一定间隔来设置,使得从太赫兹波产生元件32A产生的太赫兹波TH在该太赫兹波的光束直径已经散射直到微流路径32C的宽度为止之前入射。



[0061] 在这种情况下,如图7所示,可以在太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B之间提供薄片32D。在(例如)担心太赫兹波产生元件可能溶入到样品中的情况下这是有效的措施。薄片32D的材料可以是与微细工程结构32B的材料(诸如,PDMS)相同的材料,只要该材料是具有对太赫兹波的透射率的材料。

[0062] 此外,没有对太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B彼此紧密接触地放置的方法的特别的限制。例如,可以利用微细工程结构32B的材料(例如,硅)的特征,并且太赫兹波产生元件32A可以被简单地放置在微细工程结构32B上,或者另选地太赫兹波产生元件32A可以在被放置于微细工程结构32B上之后轻轻压在其上。

[0063] 此外,测量仪器32可被构造为使得太赫兹波产生元件32A被接合到微细工程结构32B。例如,当作为形成微细工程结构32B中的微流路径32C的过程在将另一种用于形成微流路径32C的流体添加到预定的流体之后进行固定时,测量仪器32可以由通过将太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B彼此紧密接触地放置并且固定而接合在一起的太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B形成。此外,测量仪器32可以由通过利用处于熔融状态的太赫兹波产生元件32A将太赫兹波产生元件32A与微细工程结构32B彼此紧密接触地放置并随后冷却而接合在一起的太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B形成。

[0064] 要注意的是,当太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B被紧密接触地放置或者接合在一起时,考虑到当测量仪器32被设置面向太赫兹波发生器30时的方向,可以使激发的偏振方向和太赫兹波产生元件32A的晶体轴的光轴对准。

[0065] 在将已透射通过微细工程结构32B的太赫兹波汇聚成平行光之后,抛物面反射镜42A、42B将太赫兹波引导至检测装置50。该检测装置50检测已透射通过细微工程结构32B的太赫兹波的强度,并且将该强度输出到处理器52。

[0066] 处理器52包括包含CPU、ROM、RAM等的计算机和诸如显示器的显示部。在处理器52中,(例如)由检测装置50检测到的太赫兹波的强度被获得,并被转换成表示为与用作参考的水的透射率的比率的光学特性。然后,转换后的太赫兹波的光学特性与表示为已知物质与水的比率的预先存储的光学特性进行比较,并识别待测物质。使用上述用于测量其光学特性的方法预先获得表示为针对已知物质的与水的比率的光学特性。更具体地说,已知物质的溶液被装入测量仪器32的微流路径32C中,并对太赫兹波的光学特性进行测量。然后,利用类似地测量的水的光学特性,获得作为由已知物质的透射率与水的透射率的比率表示的已知物质的光学特性。处理器52在显示部上显示识别结果。

[0067] 要注意的是,由处理器52执行的处理并不限于待测物质的识别。所测得的太赫兹波的光学特性可以被原样输出,并且可以利用针对已知浓度的已知样品预先测定的太赫兹波的光学特性测量待测物质的浓度。

[0068] 接下来,下面将对关于根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10的操作进行说明。由第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10执行的测量太赫兹波的方法是本文公开的技术的太赫兹波测量方法的示例。

[0069] 首先,样品被装入测量仪器32的微流路径32C中。可以通过经由未被太赫兹波产生元件32A阻挡的微流路径32C的位置(例如,由图2中所示的点划圆所表示的位置)注入来执行样品的装入。此外,在紧密接触地放置太赫兹波产生元件32A之前样品被保持在微细工程结构32B的微流路径32C中的状态下,这可以通过用太赫兹波产生元件32A盖住来执行。然

后,装入样品的测量仪器32被布置在太赫兹波发生器30上,以便在激发光入射的一侧面向太赫兹波产生元件32A的表面。

[0070] 接下来,从激发光发射装置20发射具有两种不同波长(例如, $\lambda_1=1300\text{nm}$ 、 $\lambda_2=1308\text{nm}$ )的激发光。所发射的激发光通过聚光透镜22被汇聚成预先确定的光束直径(例如,  $100\mu\text{m}$ ),通过反射镜24被反射,并入射到测量仪器32的太赫兹波产生元件32A。

[0071] 在太赫兹波产生元件32A中,基于入射的激发光通过差频生成产生对应于激发光中的频率差异的太赫兹波。所产生的太赫兹波被入射到装入微细工程结构32B的微流路径32C中的样品。太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B彼此紧密接触,使得刚刚从太赫兹波产生元件32A产生的太赫兹波(即,具有与激发光的光束直径基本上相同的光束直径的太赫兹波)被入射到样品。在本示例性实施方式中,激发光的光束直径小于微流路径32C的宽度,以使得太赫兹波能够被入射到样品,而不包括除了样品之外的区域。

[0072] 然后,已透射通过样品的太赫兹波通过抛物面反射镜42A、42B被引导至检测装置50。在检测装置50中,检测所引导的太赫兹波的强度,并且将该检测结果输出到处理器52。

[0073] 在处理器52中,根据由检测装置50检测的太赫兹波的强度测量太赫兹波的光学特性,执行诸如待测物质的识别的处理,并将该处理结果输出。

[0074] 如上面所说明的,按照根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置和太赫兹波测量方法,太赫兹波产生元件和设置有样品被装入其中的微流路径的微细工程结构彼此紧密接触,并且激发光以小于该微流路径的宽度的光束直径被入射。由于具有与激发光的光束直径基本上相同的光束直径的太赫兹波被入射到样品,因此能够进行针对微小区域的太赫兹波的测量。

[0075] 此外,设置微流路径的宽度和激发光的光束直径使其小于将要产生的太赫兹波的波长,使得能够以超出太赫兹波的衍射极限的空间分辨率来进行太赫兹波的测量。

[0076] 因此,由于可以针对微小区域测量太赫兹波(诸如通过以超出太赫兹波的衍射极限的空间分辨率来进行测量),所以可以将用来保持样品的微流路径的宽度做得更精细,并且例如在待测样品具有高价值或者具有高稀有价值值的情况下,能够利用极小的样品进行太赫兹波的测量。

[0077] 此外,由于将从太赫兹波产生元件产生的太赫兹波不是近场光,所以它们可以透射通过样品,而无需考虑当检测到已被样品反射的太赫兹波时产生的来自太赫兹波产生元件的太赫兹波的吸收,使得利用简单构造能够检测太赫兹波。

[0078] 此外,不存在用于穿过太赫兹波产生元件与样品之间的自由空间传播的太赫兹波的光路径,使得能够减少太赫兹波的传播损耗。此外,无需汇聚从太赫兹波产生元件产生的太赫兹波并将该太赫兹波引导至样品的结构,使得能够简化装置的整体构造。

[0079] 第二示例性实施方式

[0080] 接下来,下面将进行关于第二示例性实施方式的说明。要注意的是,在根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置中,与根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10相似的构造被分配相同的附图标记,并省略其详细说明。

[0081] 如图8所示,除了根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10的构造外,根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置210被构造成包括移动布置在太赫兹波发生器30中的测量仪器32的移动机构54。

[0082] 该移动机构54可以是根据来自处理器52的指令移动测量仪器32使得激发光的入射位置相对于测量仪器32的太赫兹波产生元件32A一维或者二维地移动的任何机构。例如,可以采用XYZ三轴移动台作为移动机构54。

[0083] 图9是第二示例性实施方式的测量仪器32的顶视图及侧视图。第二示例性实施方式的测量仪器32被构造成使得薄片32D紧密接触地放置在微细工程结构232B上,并且太赫兹波产生元件32A紧密接触地放置在该薄片32D上。此外,如图10所示,该微细工程结构232B包括与第一示例性实施方式的微流路径形状不同的微流路径232C。在图10的示例中,具有预定宽度 $W_1$ (例如, $W_1=500\mu\text{m}$ )的多条微流路径(在图10的示例中是六条)以预定的流路径间隔 $W_2$ (例如, $W_2=1.2\text{mm}$ )彼此平行布置,每条流路径的端部交替地接合到相邻的流路径从而形成蜿蜒形状。太赫兹波产生元件32A被布置在设置有如此构造的微流路径232C的微细工程结构232B上,并且由如图9中的虚线箭头所示,例如,测量仪器32被移动机构54移动,以便移动激发光的入射位置,从而能够根据激发光的入射位置执行太赫兹波的强度的成像。

[0084] 要注意的是,提供给微细工程结构232B的微流路径232C的形状不限于图10中所示出的示例。可以采用提供用于保持样品的多个区域并且能够随着移动激发光的入射位置来检测透射通过取决于激发光的入射位置的多个测量位置的太赫兹波的各自的强度的任何形状。此外,类似于第一示例性实施方式的流路径的宽度 $W$ ,对应于微流路径232C的各个区域的每条流路径的宽度 $W_1$ 大于入射到样品的太赫兹波的光束直径是足够的。

[0085] 接下来,下面将进行关于根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置210的操作的说明。由第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置210执行的测量太赫兹波的方法是本文公开的技术的太赫兹波测量方法的示例。要注意的是,省略了针对与根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10的操作相似的部分的详细说明。

[0086] 首先,样品被装入测量仪器32的微流路径232C中。可以通过经未被太赫兹波产生元件32A阻挡的微流路径232C的位置(例如,由图9中的点划线圆所表示的位置)的倾倒来执行样品的装载。装载有样品的测量仪器32随后由移动机构54来保持。

[0087] 接着,从激发光发射装置20发射激发光。所发射的激发光通过聚光透镜22被汇聚成预先确定的光束直径(例如, $100\mu\text{m}$ ),通过反射镜24被反射,并入射到测量仪器32的太赫兹波产生元件32A。

[0088] 随着激发光入射到太赫兹波产生元件32A,处理器52指示移动机构54沿预定方向移动测量仪器32。移动机构54根据来自处理器52的指令移动所保持的测量仪器32。由此,相对于太赫兹波产生元件32A移动激发光的入射位置。

[0089] 当激发光被入射时,从太赫兹波产生元件32A产生太赫兹波,并且刚刚产生的太赫兹波被入射到对应于激发光的入射位置的微细工程结构232B的位置。当激发光的入射位置对应于微细工程结构232B的微流路径232C的位置时,刚刚产生的太赫兹波被入射到样品。

[0090] 然后,透射通过包括样品的微细工程结构232B的相应的位置的太赫兹波被抛物面反射镜42A、42B引导至检测装置50。在检测装置50中,检测所引导的太赫兹波的强度,并且将该检测结果输出到处理器52。

[0091] 在处理器52中,基于指示给移动机构54的信息和从检测装置50获得的太赫兹波的强度执行取决于激发光的入射位置的太赫兹波的强度的成像,并将该成像结果输出。

[0092] 图11示出了当没有东西被装入微流路径232C中(空流路径)时的成像结果。图12示

出了当不同浓度的乙醇溶液被装入微流路径232C的各自的流路径中并且激发光沿图9所示的虚线箭头方向扫描时的成像结果。图11和图12的横轴表示沿扫描方向相对于激发光的初始入射位置的距离,以及纵轴表示当激发光入射到对应于横轴上的距离的位置时所检测到的太赫兹波的强度。如图11所示,当流路径为空时,太赫兹波被检测而不受微流路径232C的形状的影响。另一方面,如图12所示,当具有不同浓度的乙醇溶液被装入各自的流路径中时,获得反映由微细工程结构232B形成的微流路径232C的特性的成像结果。此外,获得在对应于各自的流路径的位置处的太赫兹波强度反映了装入该流路径的乙醇溶液的浓度的成像结果。

[0093] 因此,如图12所示,可以通过装入不同浓度的溶液或者通过装入不同的样品到各条流路径中同时针对多个样品执行样品的太赫兹波的强度的成像。此外,对于正进行反应的样品,可以通过将具有不同的进行的状态的样品装入各条流路径中来成像样品反应的进行的状态。

[0094] 如上面所说明的,除第一示例性实施方式之外,根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置和太赫兹波测量方法,可以通过相对于太赫兹波产生元件移动激发光的入射位置来获得反映在微细工程结构232B中形成的微流路径232C的特性(即,保持样品的区域的形状)的成像结果。此外,可以获得反映诸如在对应于激发光入射位置的位置处保持的样品的浓度和类型的特性的成像结果。

[0095] 要注意的是,在第二示例性实施方式中已经给出关于通过移动测量仪器相对于太赫兹波产生元件对激发光的入射位置进行扫描的情况的说明,但不限于此。例如,可以进行构造,使得反射镜24是可移动型,激发光的反射方向是可任意改变的,并且相对于固定的测量仪器扫描激发光。

[0096] 此外,在第二示例性实施方式中已经给出关于相对于太赫兹波产生元件在一维中对激发光的入射位置进行扫描的情况的说明;然而,可以进行构造以便在两个维度上扫描。这将使得能够基于成像结果(诸如,在微流路径的形状未知(即,样品存在的位置未知)的情况下的成像结果)确定微流路径的形状。

[0097] 示例

[0098] 下面进行关于与用于本文公开的技术的说明的比较验证测试有关的示例的说明。

[0099] 图13示出了根据在比较验证测试中采用的示例的太赫兹波测量装置310的示意性构造。要注意的是,与根据第一示例性实施方式的太赫兹波测量装置10的构造以及根据第二示例性实施方式的太赫兹波测量装置210的构造相似的构造被分配相同的附图标记,并且省略其详细说明。

[0100] 如图13所示,根据示例的太赫兹波测量装置310包括:激发光发射装置20、1/2波长板54、衰减器56、聚光透镜22、太赫兹波发生器30、两对抛物面反射镜42A、42B和342A、342B、检测器50以及处理器52。

[0101] 使用泵浦具有355nm的波长、40mJ的输出、8ns的脉冲宽度以及10Hz的重复频率的Nd:YAG激光的三次谐波的光的BBO-OP0作为激发光发射装置20。由BBO-OP0输出具有波长 $\lambda_1=1255\text{nm}$ 、波长 $\lambda_2=1268.8\text{nm}$ (在2.6THz时)或者波长 $\lambda_2=1278\text{nm}$ (在4.3THz时)、以及0.6mJ的输出的两种波长的光。

[0102] 采用具有40mm的焦距的凸透镜作为聚光透镜22。采用DAST晶体作为太赫兹波产生

元件32A。所采用的抛物面反射镜42A、42B、342A具有76.2mm的焦距,以及抛物面反射镜342B具有50.8mm的焦距。采用由PLUXi制造的热解检测器(pyrodetector)作为检测装置50。

[0103] 类似于第一示例性实施方式和第二示例性实施方式,太赫兹波发生器30由于激发光的入射而产生太赫兹波,并且是放置待测样品的样品台,同时所产生的太赫兹波入射到待测样品上。类似于第一示例性实施方式和第二示例性实施方式,样品被保持在具有彼此紧密接触地设置的太赫兹波产生元件32A和微细工程结构32B的测量仪器中。在本示例性实施方式中,由太赫兹波发生器实现的样品台被称为“样品台A”。

[0104] 此外,太赫兹波测量装置310包括用于与本文公开的技术比较的样品台B,该样品台B被设置在被抛物面反射镜42B反射的太赫兹波的聚焦位置。样品架被设置在样品台B上,并且从设置在样品台A上的位置处的太赫兹波产生元件32A产生的太赫兹波被引导至抛物面反射镜42A、42B,并且被入射到样品架。

[0105] 设置在样品台A上的测量仪器32具有第一示例性实施方式中所采用的测量仪器(图2和图3)的形状,并且因此采用具有100 $\mu\text{m}$ 的宽度W、100 $\mu\text{m}$ 的深度D以及200 $\mu\text{m}$ 的厚度的微细工程结构32B。

[0106] 设置在样品台B上的样品架仅采用上述测量仪器32的微细工程结构32B的一部分。当样品被设置在样品台B上并且对太赫兹波强度进行测量时,在微细工程结构32B已被从太赫兹波发生器30的测量仪器32移除并且只保留太赫兹波产生元件32A的情况下产生的太赫兹波通过一对抛物面反射镜42A、42B被引导,并使其入射到设置样品台B的样品架上。

[0107] 要注意的是,虽然从图13中的说明中省去了样品台A和B二者,但是样品台A和B由移动机构54移动,以便在一个维度移动激发光或者太赫兹波的入射位置。

[0108] 使用根据如上所述构造的示例的太赫兹波测量装置310,所采用的作为测量样品33的75 $\mu\text{m}$ 直径的金属线(银线)被设置在微流路径中,以比较样品台A和B之间的太赫兹波的屏蔽率。

[0109] 图14是示例性地示出样品台A的侧视图及顶视图。通过聚光透镜22汇聚的激发光L入射到测量仪器32的太赫兹波产生元件32A的侧面,通过放置在刀口形设备台35A上的TEFLON(注册商标)薄片37。在本示例中,激发光L的光束直径WL在入射到太赫兹波产生元件32A时是65 $\mu\text{m}$ 。通过沿图14中实线箭头X1的方向移动样品台A来沿图14中虚线箭头X2的方向移动激发光L的入射位置IL。由此获得通过激发光的入射而产生并透射通过测量仪器32和样品33的太赫兹波的强度的一维成像结果。

[0110] 图15是示例性地示出样品台B的侧视图和顶视图。已由设置在太赫兹波发生器30上的位置处的太赫兹波产生元件32A产生的太赫兹波TH通过一对抛物面反射镜42A、42B被引导至设置在刀口形设备台35B上的样品架(微细工程结构32B)。通过沿图15中实线箭头Y1的方向移动样品台B来沿图15中虚线箭头Y2的方向移动太赫兹波TH的入射位置ITH。由此获得已透射通过样品架和样品33的太赫兹波TH的强度的一维成像结果。在入射到微细工程结构32B处的太赫兹波TH的光束直径等于或者大于所产生的太赫兹波TH的波长。

[0111] 图16示出了在激发光的波长 $\lambda_2$ 为1268.8nm并且已从太赫兹波产生元件32A产生具有2.6THz的频率的太赫兹波的情况下,已透射通过各样品台A和B的太赫兹波的强度的一维成像结果。图17示出了在激发光的波长 $\lambda_2$ 为1278nm并且已从太赫兹波产生元件32A产生具有4.3THz的频率的太赫兹波的情况下,已透射通过各样品台A和B的太赫兹波的强度的一维

成像结果。此外，下面列出了在所产生的太赫兹波的各个频率样品台A和B的太赫兹波的屏蔽率。

[0112] 表1

[0113]

产生的 THz 波		样品台	THz 波强度		屏蔽率
频率	波长		无银线	银线	
2.6THz	115 $\mu$ m	A	39.7mV	1.5mV	96.3%
		B	39.9mV	19.5mV	51.1%
4.3THz	70 $\mu$ m	A	106.9mV	3.8mV	96.5%
		B	97.3mV	41.2mV	57.6%

[0114] 上表中针对“无银线(no silver wire)”的太赫兹波强度是在图16和图17中所示的成像结果中太赫兹波未被屏蔽的范围内的设定的位置处的平均值。针对“银线(silver wire)”的太赫兹波强度是图16和图17中所示出的成像结果中的最小值。此外，屏蔽率通过下面的公式给出：

[0115] 屏蔽率 = (无银线的THz-有银线的THz) / 无银线的THz

[0116] 要注意的是，上面的等式中的“THz”表示太赫兹波强度。此外，所检测到的太赫兹波的本底噪声(noise floor)是6.6mV。

[0117] 如图16和图17以及上表所示，虽然利用样品台A实现了对于本底噪声或者低于本底噪声的太赫兹波的屏蔽，但是在样品台B中太赫兹波的屏蔽率降低。下面将进行更加详细的比较验证。

[0118] 虽然当产生具有2.6THz的频率的太赫兹波时该太赫兹波的波长是115 $\mu$ m，但是当所产生的太赫兹波被汇聚并被入射到设置在样品台B上的样品时，由于衍射极限该太赫兹波的光束直径无法汇聚成115 $\mu$ m或者更低的波长。也就是说，在样品台B的情况下，由于入射到样品的太赫兹波的光束直径大于115 $\mu$ m，因此针对直径75 $\mu$ m的银线，银线屏蔽率为51.1%，并且无法获得高屏蔽率。

[0119] 另一方面，在样品台A的情况下，由于太赫兹波产生元件32A和保持样品的微细工程结构32B彼此紧密地相接触，因此具有与入射到太赫兹波产生元件32A的激发的65 $\mu$ m光束直径基本上相同的光束直径的太赫兹波被入射到样品。即，在样品台A的情况下，由于针对直径75 $\mu$ m的银线，入射到样品的太赫兹波的光束直径是65 $\mu$ m，因而获得96.3%的高屏蔽率。此外，在样品台A的情况下，银线的太赫兹波强度低于6.6mV的本底噪声，并且实现了太赫兹波的完全屏蔽。

[0120] 此外，当产生具有4.3THz的频率的太赫兹波时，所产生的太赫兹波的波长是70 $\mu$ m，尽管由于其比银线的75 $\mu$ m的直径短，在样品台B处的屏蔽率提高为57.6%，但是无法实现太赫兹波的完全屏蔽。

[0121] 另一方面，在样品台A的情况下，类似于当产生具有2.6THz的频率的太赫兹波时，银线的太赫兹波强度低于本底噪声，并实现太赫兹波的完全屏蔽。

[0122] 因此，在样品台A的情况下，即，如本文技术公开的，在太赫兹波产生元件32A和保持样品的结构彼此紧密地相接触的情况下，能够以超出衍射极限的分辨率获得太赫兹波的光学特性，并且能够从成像获得图像。

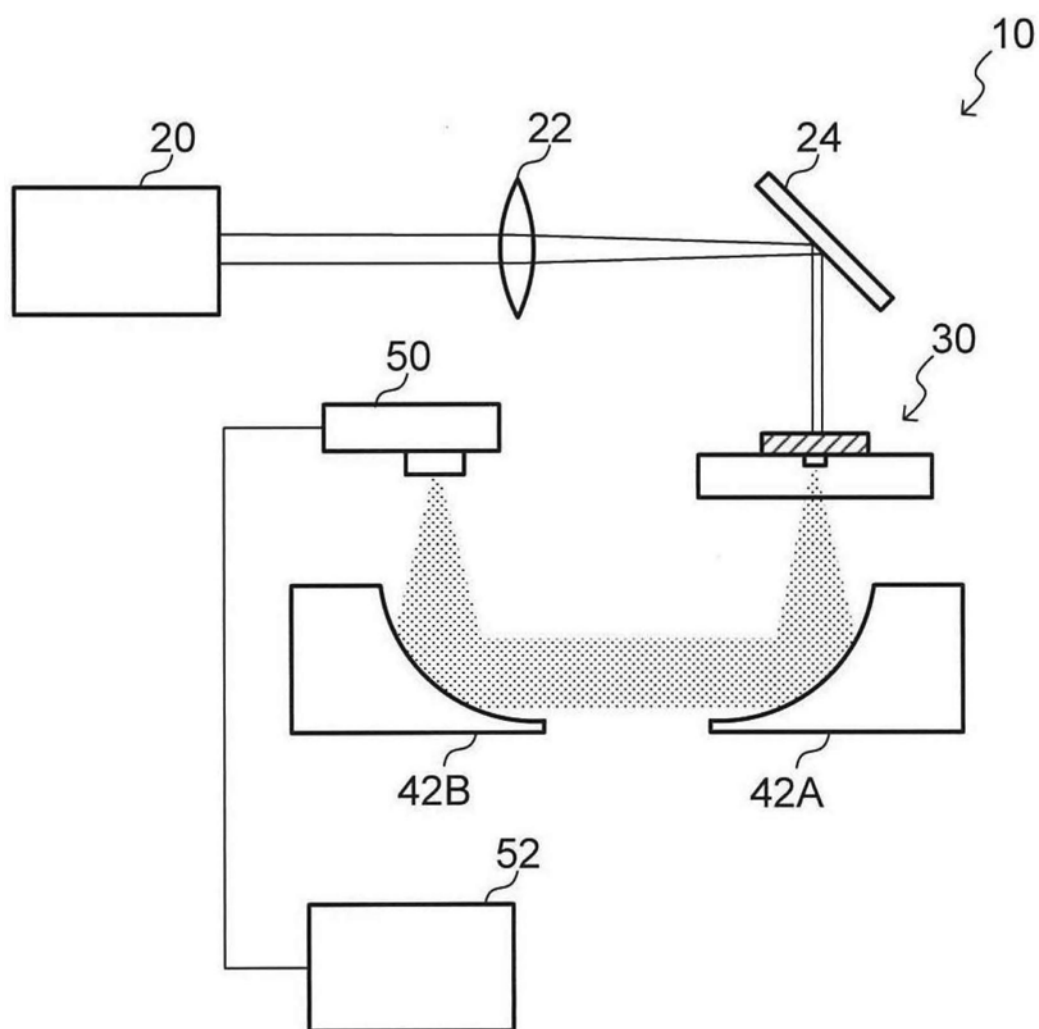


图1

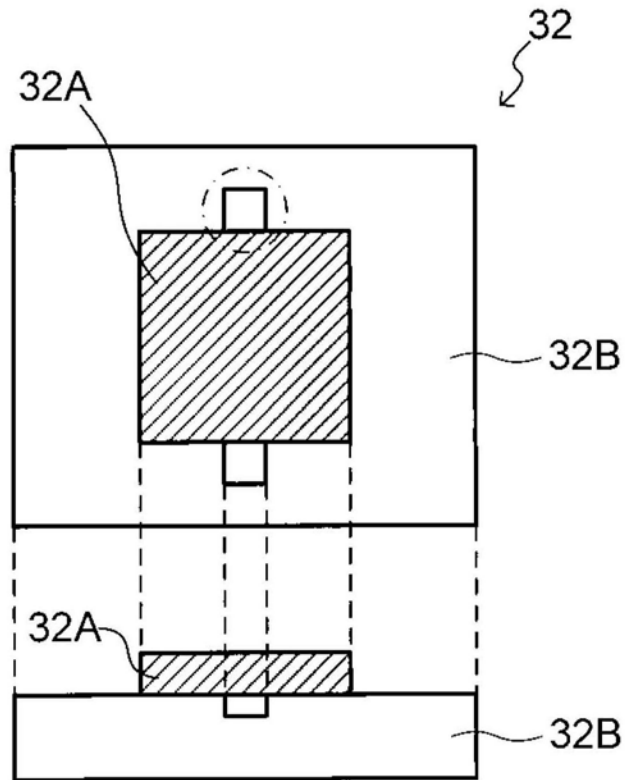


图2

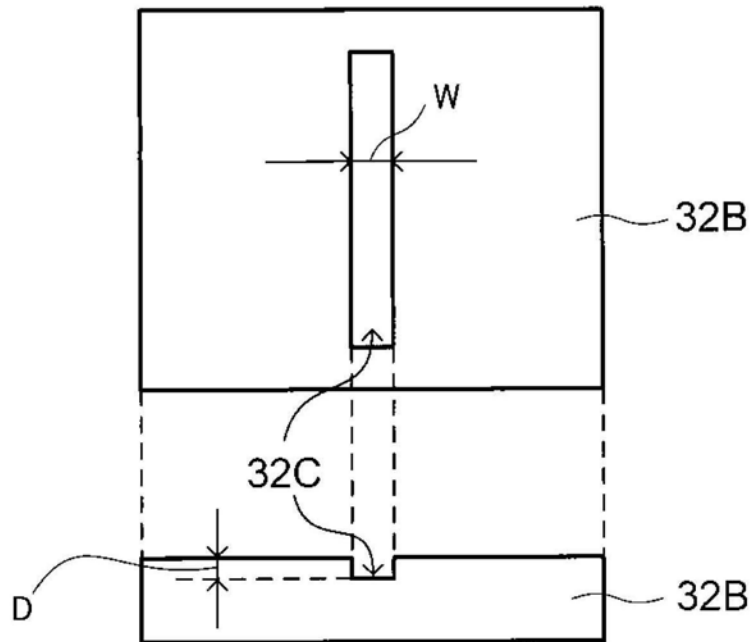


图3



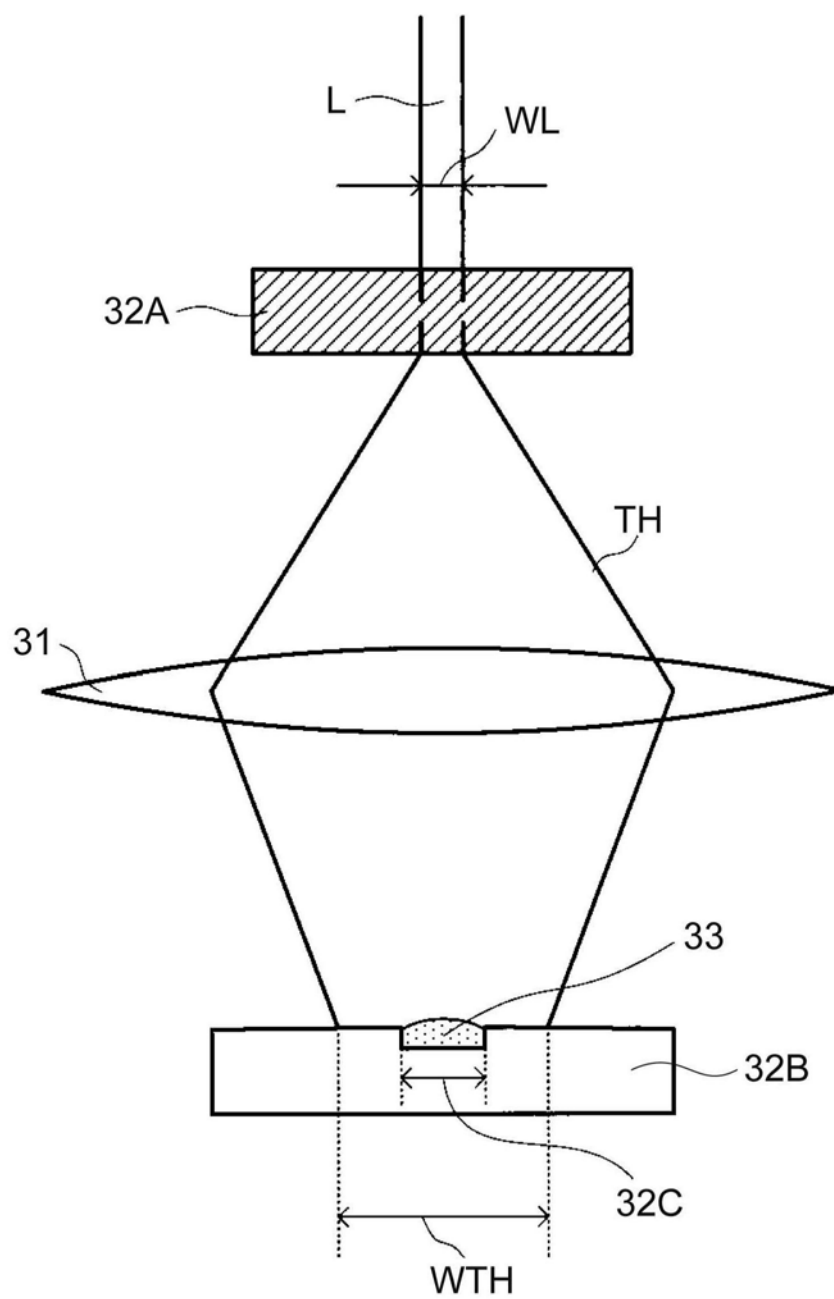


图4

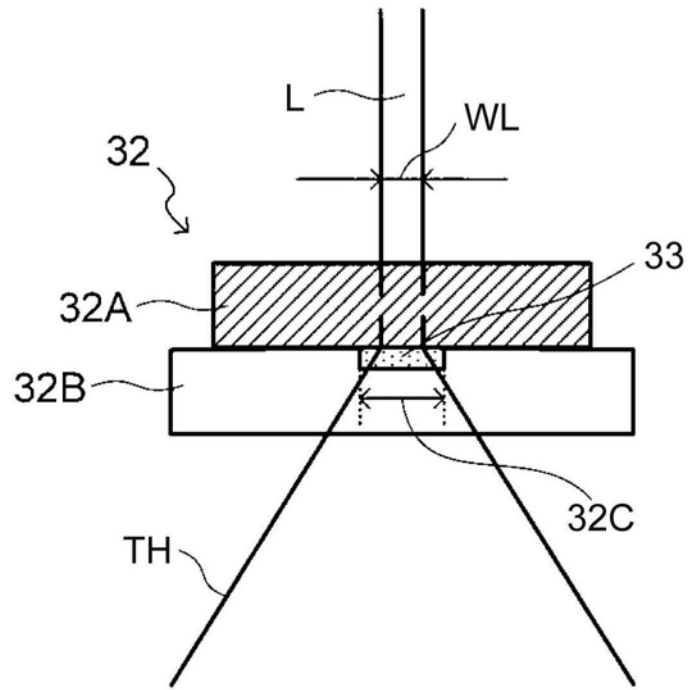


图5

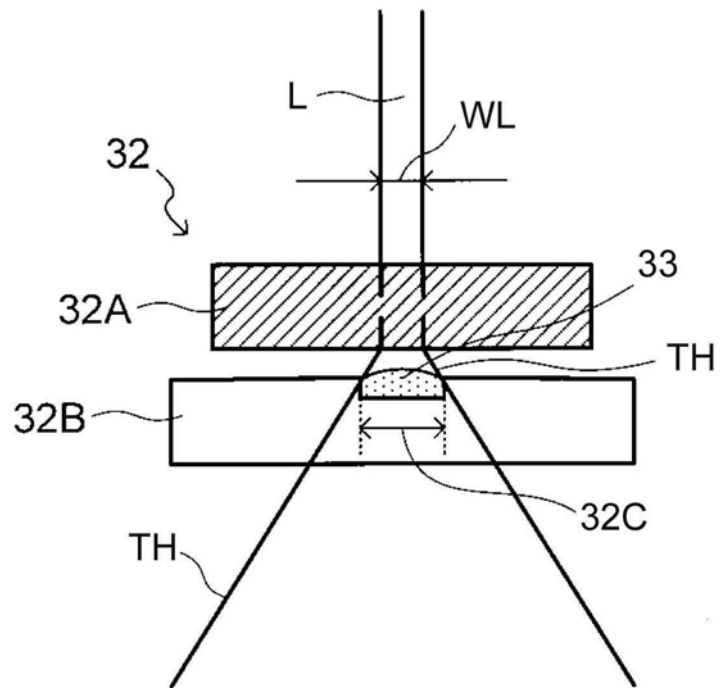


图6

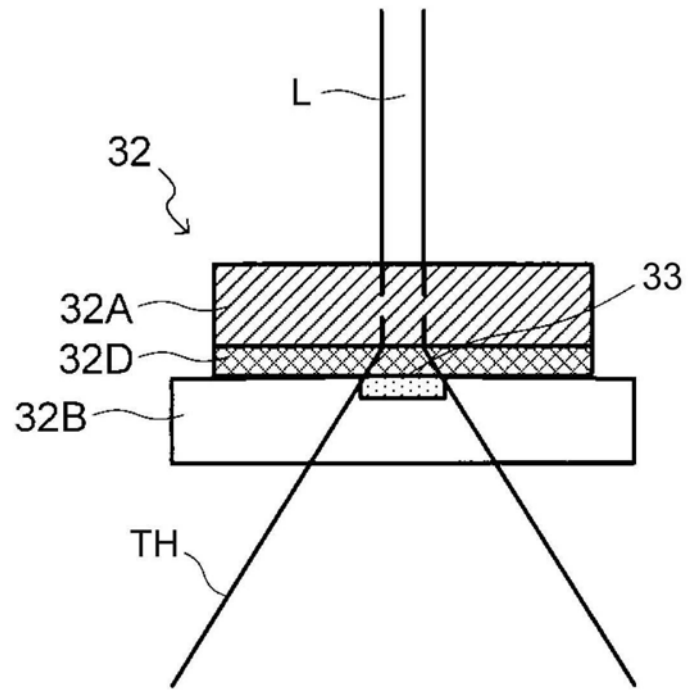


图7

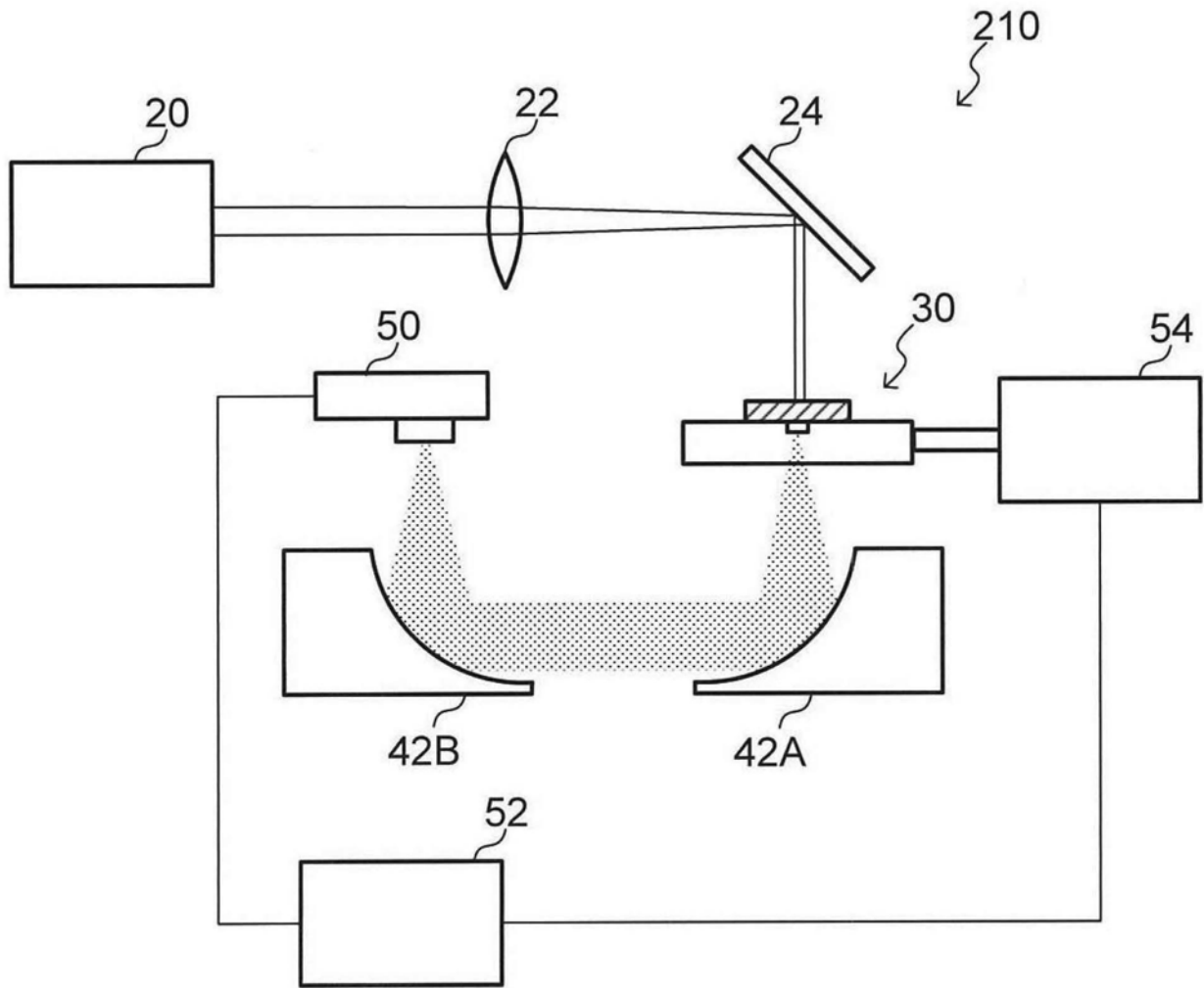


图8

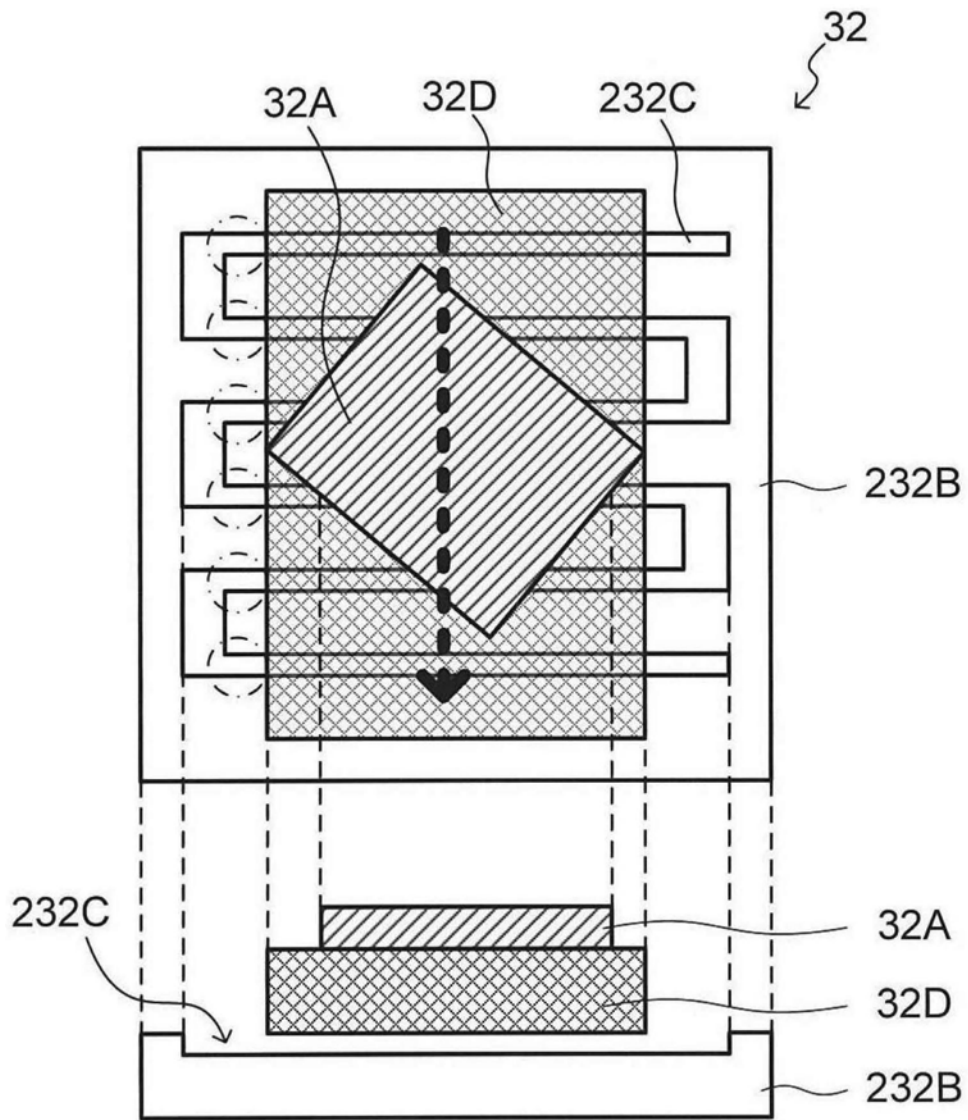


图9

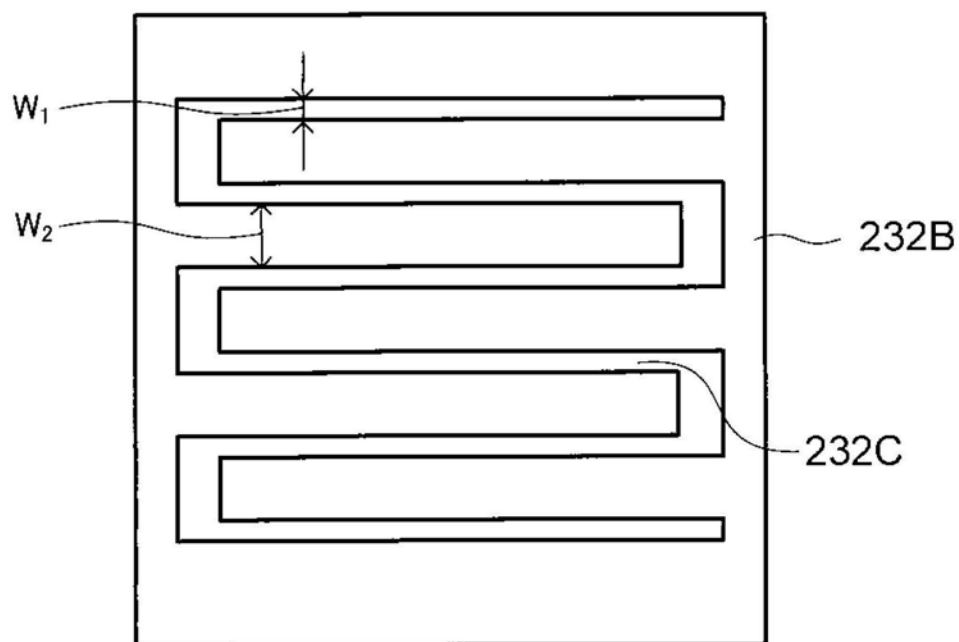


图10

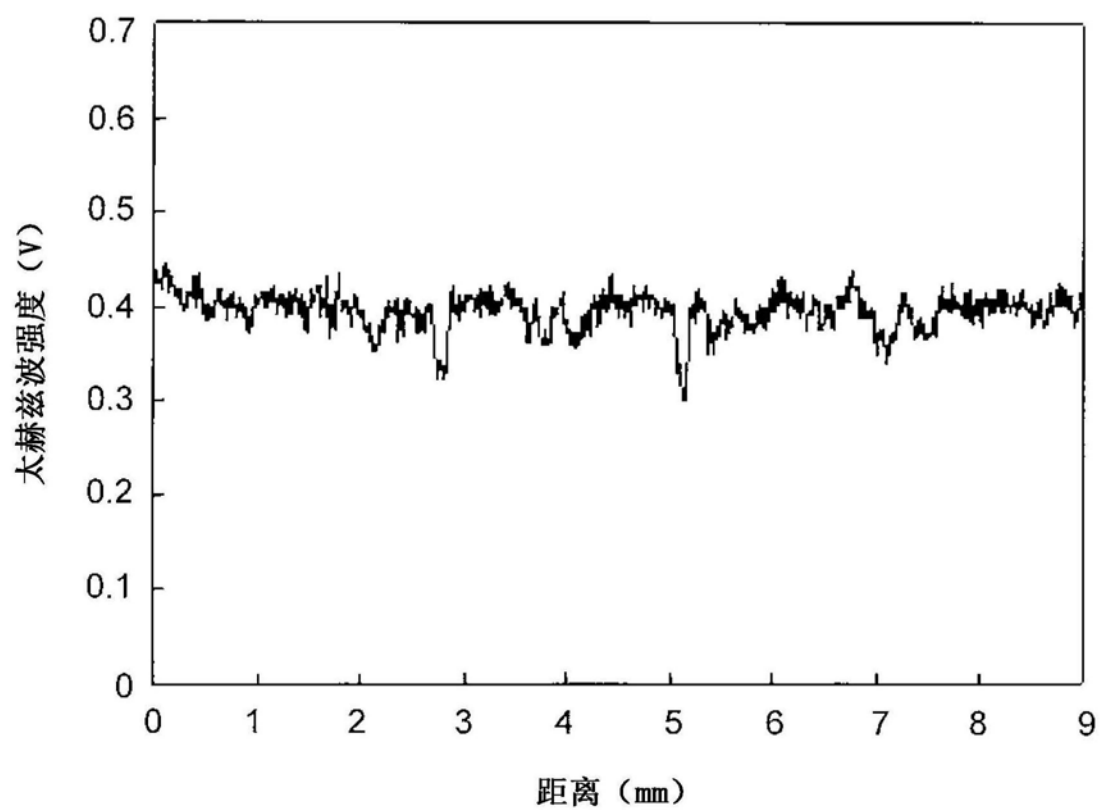


图11

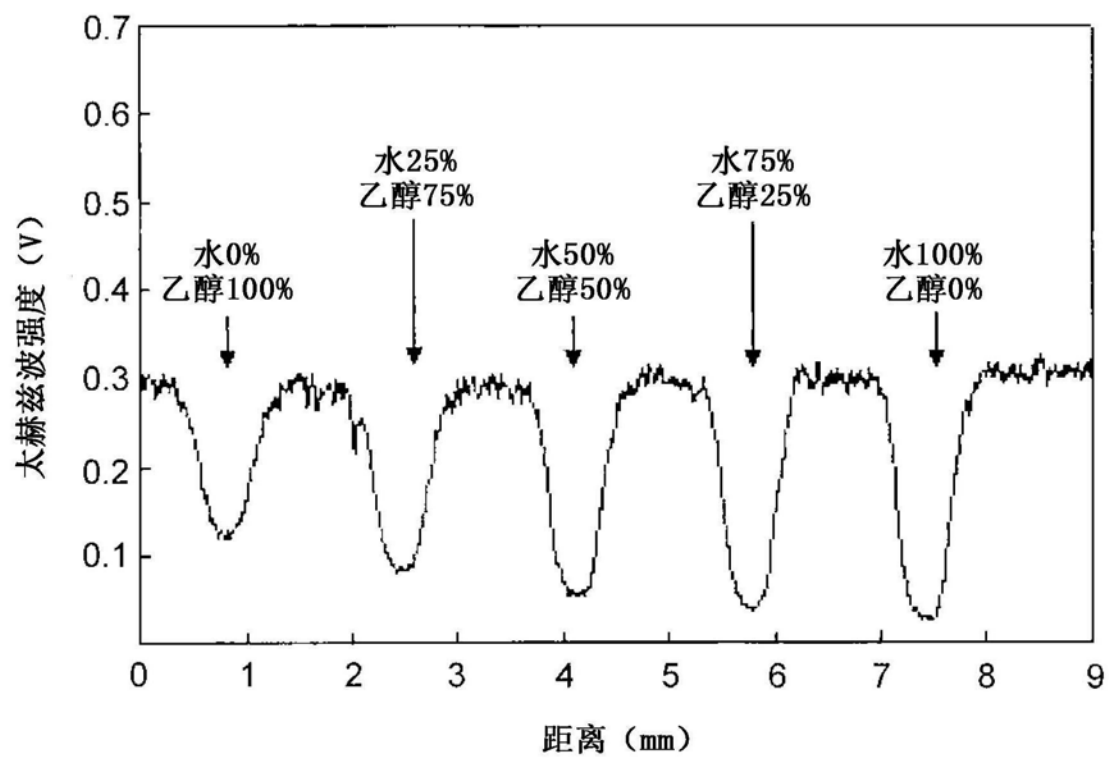


图12

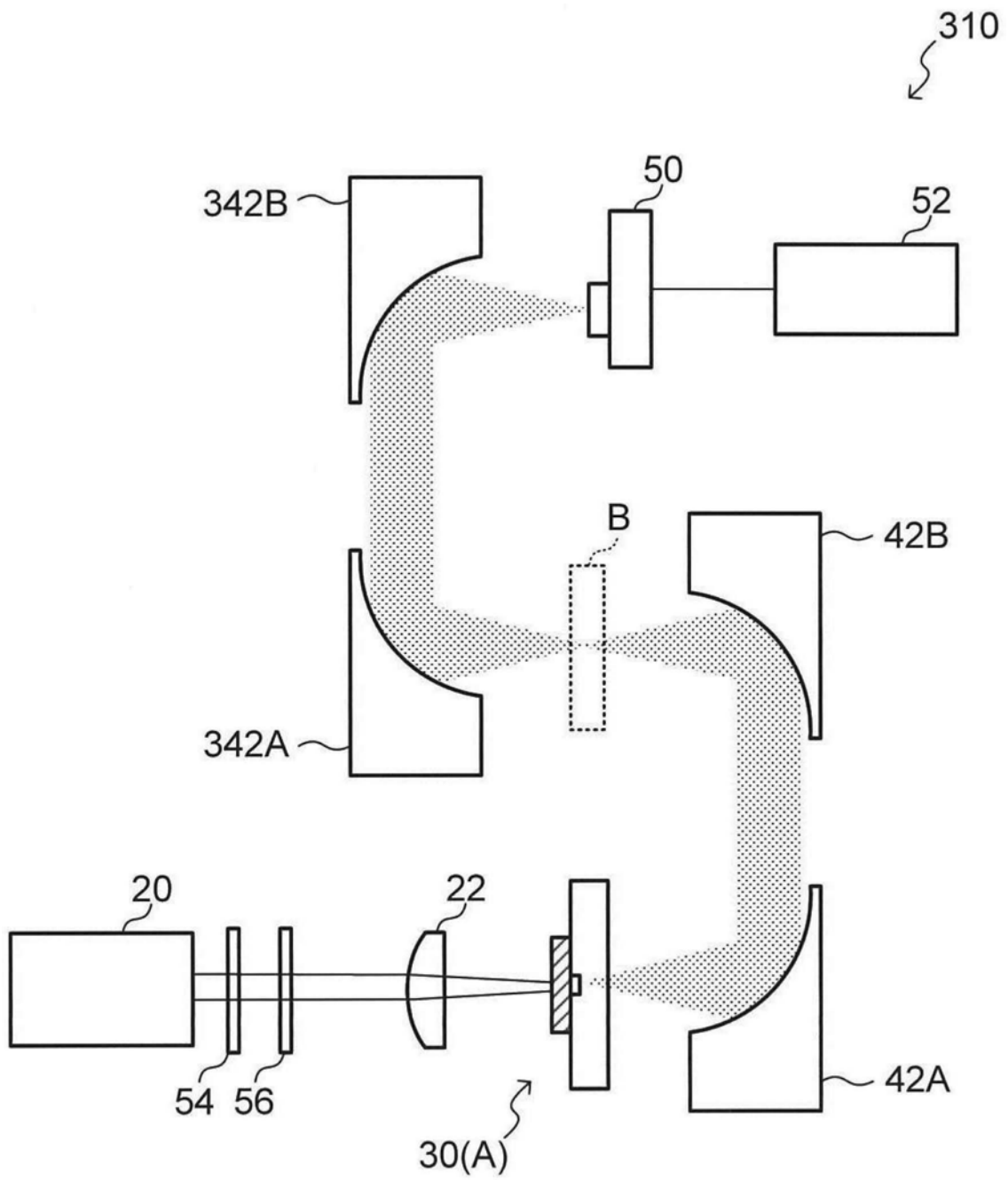


图13



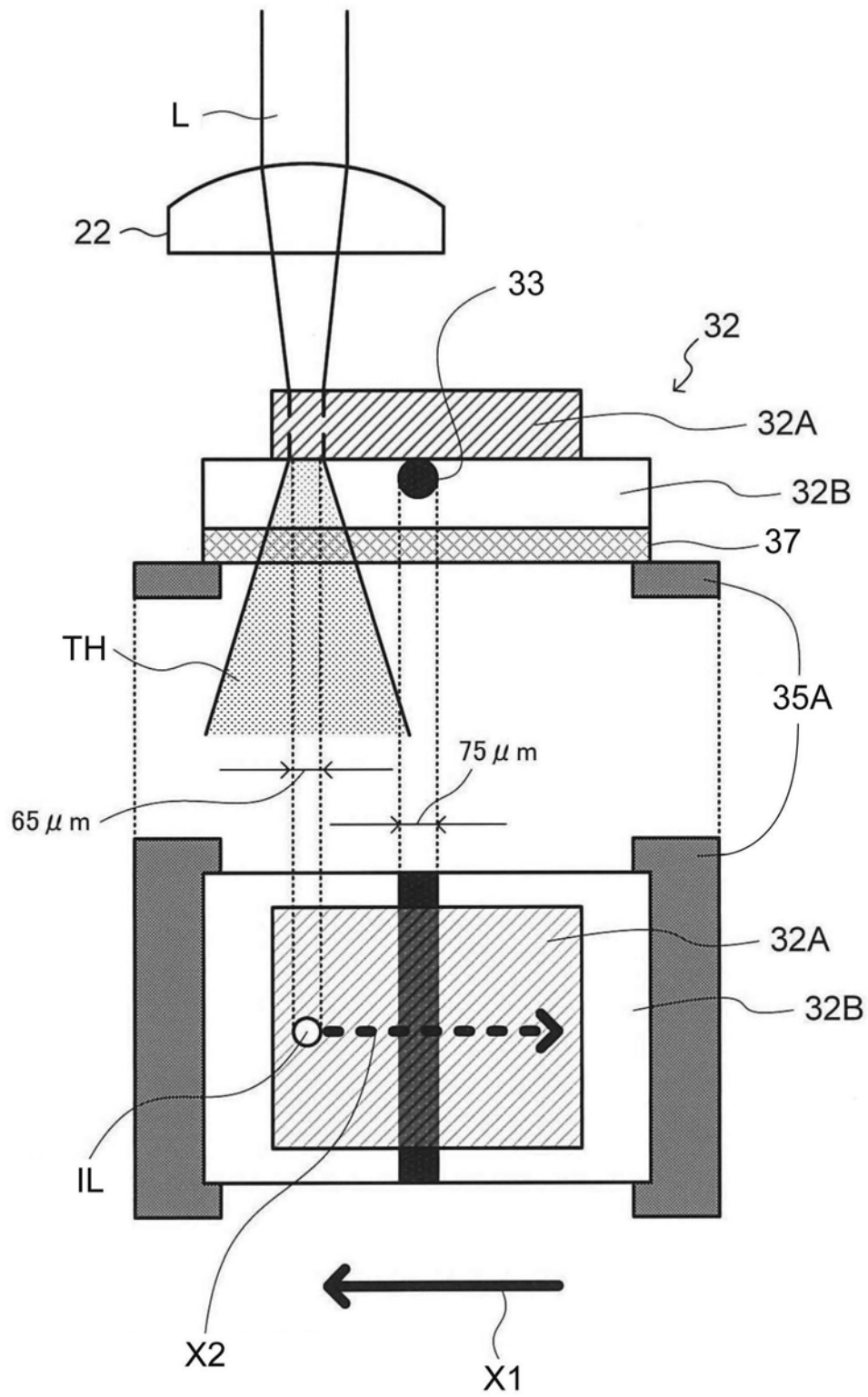


图14

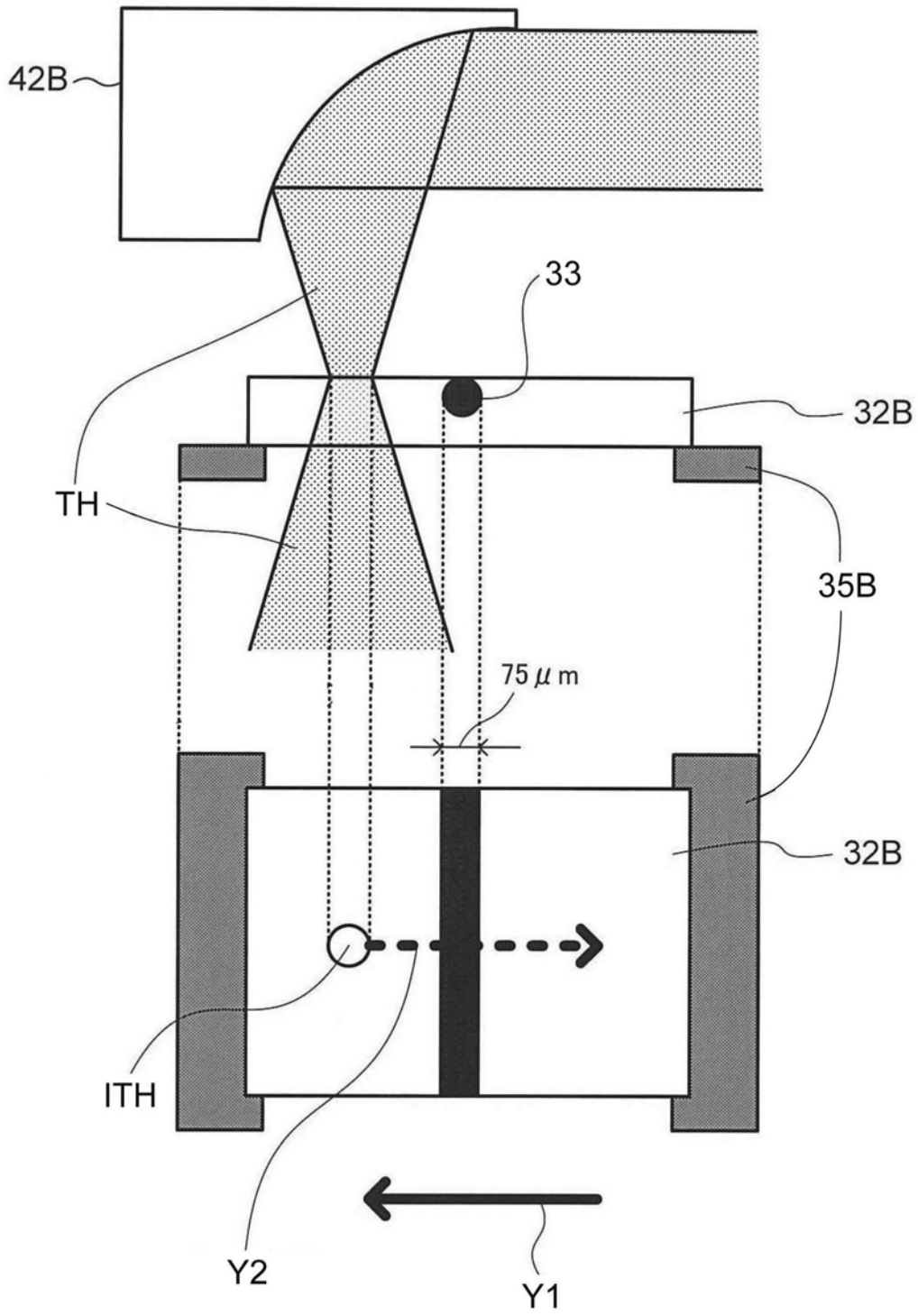


图15

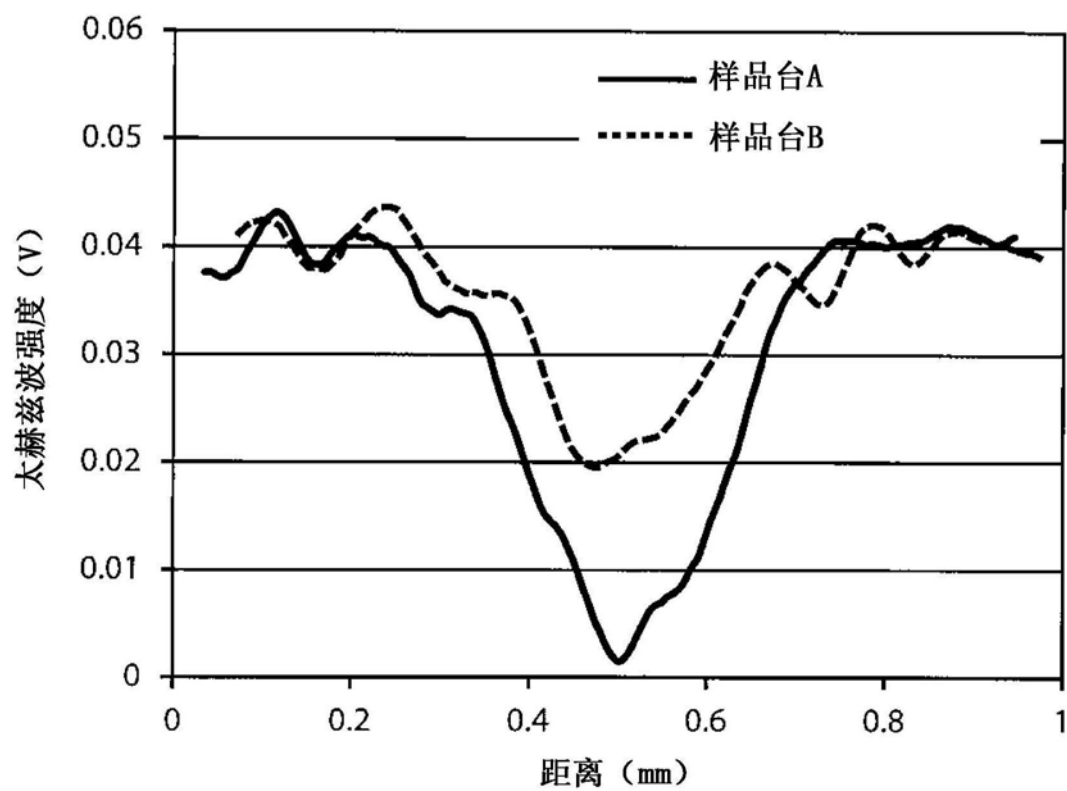


图16

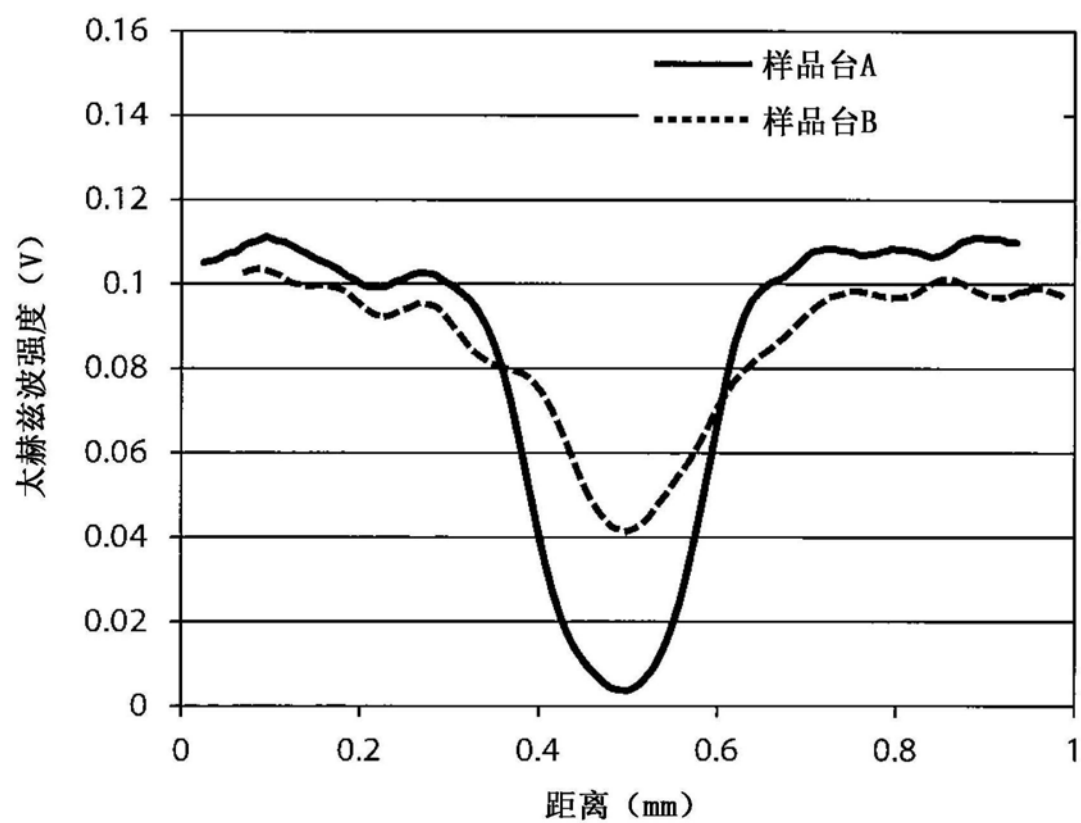


图17