



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102841395 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201210214061.9

(22)申请日 2012.06.25

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 102841395 A

(43)申请公布日 2012.12.26

(30)优先权数据

2011-139527 2011.06.23 JP

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 尼子淳

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 余刚 吴孟秋

(51)Int.Cl.

G02B 5/18(2006.01)

G01J 3/18(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开2008-197664 A, 2008.08.28,

US 2004/0013076 A1, 2004.01.22,

US 5392116 A, 1995.02.21,

CN 101738663 A, 2010.06.16,

审查员 付画婧

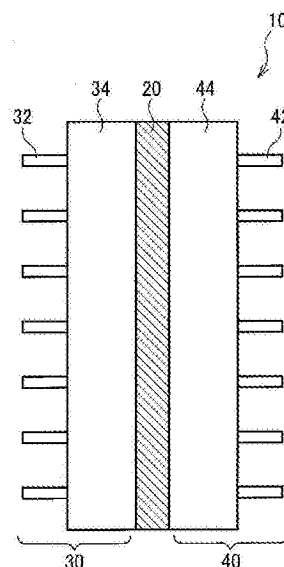
权利要求书1页 说明书9页 附图12页

(54)发明名称

透射式衍射光栅以及检测装置

(57)摘要

提供了一种透射式衍射光栅及检测装置。该透射式衍射光栅包括：偏振转换层；第一衍射层，配置于偏振转换层的一个表面侧；以及第二衍射层，配置于偏振转换层的另一表面侧。第一衍射层以及第二衍射层都具有沿第一方向以周期P排列的折射率调制结构，并且对TE偏振光分量的衍射效率比对TM偏振光分量的衍射效率高。



1. 一种透射式衍射光栅,其特征在于,具有:

偏振转换层;

第一衍射层,配置于所述偏振转换层的一个表面侧;以及

第二衍射层,配置于所述偏振转换层的另一表面侧;

所述第一衍射层以及所述第二衍射层都具有沿第一方向以周期P排列的折射率调制结构,并且对TE偏振光分量的衍射效率比对TM偏振光分量的衍射效率高,

所述第一衍射层以及所述第二衍射层分别具有由电介质形成的倾斜面,所述倾斜面相对于基准线倾斜配置,当设入射光的入射角相对于所述基准线为角度 θ_1 、设衍射光的衍射角相对于所述基准线为角度 θ_2 时,所述入射角 θ_1 是小于相对于所述倾斜面的布拉格角 θ 的角度,所述衍射角 θ_2 是大于所述布拉格角 θ 的角度。

2. 根据权利要求1所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

光谱波段中的波长设定为 λ 时,所述偏振转换层是 $\lambda/2$ 波长板。

3. 根据权利要求1所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

所述偏振转换层包括层叠的多个水晶板。

4. 根据权利要求2或3所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

所述第一衍射层以及所述第二衍射层分别还包括与所述偏振转换层接合的基板层,在所述基板层上具有所述折射率调制结构。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

所述折射率调制结构是凹凸图案。

6. 根据权利要求1至4中任一项所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

所述折射率调制结构是第一折射率的物质和第二折射率的物质在所述第一方向上交替层叠的结构。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的透射式衍射光栅,其特征在于,

所述折射率调制结构的高度设定为h时, $1.5 < \lambda/P < 2.0$ 并且满足 $1.75 < h/P < 2.50$ 。

8. 一种检测装置,其特征在于,包括:

权利要求1至7中任一项所述的透射式衍射光栅;

光学系统,用于将来自目标物质的散射光或反射光射入所述透射式衍射光栅;以及

检测器,用于检测来自所述透射式衍射光栅的衍射光。

透射式衍射光栅以及检测装置

技术领域

[0001] 本发明涉及透射式衍射光栅以及检测装置等。

背景技术

[0002] 在现有技术中,用于拉曼(Raman)光谱仪等分光装置的衍射光栅多为反射型。作为反射型衍射光栅,包括例如形成锯齿状断面的闪耀(blazed)光栅(例如专利文献1所记载的衍射光栅)。

[0003] 但是,反射型衍射光栅存在难以兼顾提高波长分辨率和拓宽可获得高衍射效率的波长区域的课题。例如,闪耀衍射光栅中通过断面形状锯齿化,从而提高衍射效率。但是,闪耀衍射光栅中如果为了提高波长分辨率而缩短光栅周期,则导致可获得高衍射效率的波长区域变得极为狭窄。

[0004] 作为本实施方式的比较例,图12示出闪耀衍射光栅的示例。如图12所示,闪耀衍射光栅的光栅周期设定为 P_a ,入射光波长设定为 λ_a ,入射光的入射角设定为 α_a ,一次衍射光的衍射角设定为 β_a 。

[0005] 首先考虑波长分辨率。衍射光栅的波长分辨率 $\Delta\beta/\Delta\lambda$ 由下式(1)表示。通过下式(1)知晓,为了提高波长分辨率 $\Delta\beta/\Delta\lambda$,可以减小光栅周期 P_a 、增大衍射角 β_a 。

[0006]
$$\Delta\beta/\Delta\lambda = 1/(P_a \cdot \cos\beta_a) \quad (1)$$

[0007] 图13是示出上式(1)中在设波长为 $\lambda_a = 633\text{nm}$ 、光栅周期为 $P_a = 333\text{nm}$ 的情况下,相对于衍射角 β_a 的波长分辨率 $\Delta\beta_a/\Delta\lambda_a$ 的特性例。此例中,波长和光栅周期的比为 $\lambda_a/P_a = 1.9$ 。此时,衍射角 β_a 为72度,波长分辨率 $\Delta\beta_a/\Delta\lambda_a$ 大约提高到0.01。

[0008] 接着考虑一次衍射光的衍射效率。在反射型衍射光栅的情况中,通过将其断面形状锯齿化而可以提高衍射效率。但是,如果为了提高波长分辨率 $\Delta\beta_a/\Delta\lambda_a$ 而缩短光栅周期 P_a ,则即使断面形状锯齿化也难以获得高衍射效率(《最新衍射光学元件技术全集》技术信息协会,p.107-p.120(2004))。这样,导致闪耀衍射光栅等反射型衍射光栅难以同时实现高波长分辨率和高衍射效率。

[0009] 例如,拉曼光谱仪等分光装置要求使用在宽波长区域中同时满足高波长分辨率和高衍射效率的衍射光栅。拉曼分光中,来自试样的散射光主要是瑞利(Rayleigh)散射光和拉曼散射光(以下关注具有长于瑞利散射波长 λ_{ray} 的拉曼散射波长 $\lambda_{\text{ray}} + \Delta\lambda$ 的斯托克斯(stokes)分量)。上述拉曼分光在实用方面存在若干课题。首先,拉曼散射光强度与瑞利散射光强度相比极为微弱。其次,通过拉曼分光确定物质时,需要以0.5nm左右的波长分辨率将由试样散射的拉曼散射光分光。并且,有时要求瑞利散射光和拉曼散射光的波长差扩大到100nm左右。考虑到这些方面,要求拉曼分光所使用的衍射光栅在从可见到近红外(波长400nm~1100nm)区域中,能够获得0.5nm左右的高波长分辨率。并且还要求在100nm左右的宽波长区域中能够获得高衍射效率。

[0010] 而且,在衍射光栅的光学特性很大程度依赖于入射光的偏振状态的情况下,在偏振方向无偏移的散射光中只有极少一部分进入检测器,并且由于信号相对于噪音的比也降

低,因此对检测器有过高的规格要求。

[0011] 现有技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献1:特开2004-354176号公报

发明内容

[0014] 发明要解决的课题

[0015] 根据本发明的若干实施方式,能够提供一种透射式衍射光栅以及使用该衍射光栅的检测装置,其中该衍射光栅在入射光的偏振方向无偏移且衍射层的偏振依赖性大的情况下,能够获得高衍射效率。

[0016] 解决课题的手段

[0017] (1)本发明的一个实施方式涉及一种透射式衍射光栅,包括:偏振转换层;第一衍射层,配置于上述偏振转换层的一个表面侧;以及第二衍射层,配置于上述偏振转换层的另一表面侧;上述第一衍射层以及上述第二衍射层都具有沿第一方向以周期P排列的折射率调制结构,并且对TE偏振光分量的一次衍射效率比对TM偏振光分量的一次衍射效率高。

[0018] 在此,将折射率调制结构中的相同折射率结构与第一方向交叉延伸的方向设定为第二方向。偏振方向与第二方向平行的直线偏振光为TE偏振光,偏振方向与第二方向垂直的直线偏振光为TM偏振光。

[0019] 根据本发明的一个实施方式,如果在偏振方向无偏移的入射光例如射入第一衍射层,由于对TE偏振光分量的衍射效率高因此多数TE偏振光分量被衍射,另一方面,由于对TM偏振光分量的衍射效率低因此多数TM偏振光分量透过。其次,在偏振转换层进行将TE偏振光分量转换成TM偏振光分量、将TM偏振光分量转换成TE偏振光分量的偏振转换。并且,由于第二衍射层也对TE偏振光分量的衍射效率高而对TM偏振光分量的衍射效率低,因此多数TE偏振光分量被衍射而多数TM偏振光分量透过。

[0020] 在此,当设第一、第二衍射层各自对TE偏振光的一次衍射效率为 α ,设第一、第二衍射层各自对TM偏振光的一次衍射效率为 β 时,透射式衍射光栅的光利用效率为:光利用效率 $=\alpha+(1-2\alpha)\beta$ 。当一次衍射效率的偏振依赖性大,例如 $\alpha \approx 1$ 、 $\beta \approx 0$ 时,上式的光利用率大致等于 α 。即,透射式衍射光栅的光利用效率大致与构成其的衍射光栅对TE偏振光的一次衍射效率相等。这样,即使衍射层中一次衍射效率的偏振依赖性大,也可以获得高衍射效率。

[0021] (2)本发明的一个实施方式中,设光谱波段中的波长为 λ 时,上述偏振转换层可以是 $\lambda/2$ 波长板。 $\lambda/2$ 波长板进行将TE偏振光分量转换成TM偏振光分量、将TM偏振光分量转换成TE偏振光分量的偏振转换。

[0022] (3)本发明的一个实施方式中,上述偏振转换层可以包括层叠的多个水晶板。即使是多个水晶板也可以在使用波长区域中实现接近180度的相位差,并能够进行将TE偏振光分量转换成TM偏振光分量、将TM偏振光分量转换成TE偏振光分量的偏振转换。

[0023] (4)本发明的一个实施方式中,上述第一衍射层以及上述第二衍射层分别还包括与上述偏振转换层接合的基板层,在上述基板层上可以具有上述折射率调制结构。这样,可以通过光刻(lithography)、压印(imprint)或干涉条纹曝光等对与偏振转换层接合的基板层进行加工,从而在基板层表面形成折射率调制结构。

[0024] (5)本发明的一个实施方式中,上述折射率调制结构可以是凹凸图案。由于凸部的折射率与作为凹部的槽的折射率(空气的折射率)不同,因此可以实现折射率调制结构。

[0025] (6)本发明的一个实施方式中,上述折射率调制结构也可以是第一折射率的物质和第二折射率的物质在上述第一方向上交替层叠的结构,以取代凹凸图案。

[0026] (7)本发明的一个实施方式中,上述折射率调制结构的高度设定为 h 时, $1.5 < \lambda/P < 2.0$ 并且可以满足 $1.75 < h/P < 2.50$ 。

[0027] 这样,可以实现一次衍射光的效率高且同效率的偏振依赖性大的透射式衍射光栅。在此, λ/P 的下限由一次衍射效率的偏振依赖性大的要求所确定。 λ/P 的上限由能够向空气中分出一衍射光的要求所确定。此外, h/P 的上限以及下限由赋予存在于两者之间的一次衍射效率最大值的约90%以上的效率的条件所确定。

[0028] (8)本发明的一个实施方式中,上述第一衍射层以及上述第二衍射层分别具有由电介质形成的倾斜面,上述倾斜面相对于基准线倾斜配置,当设入射光的入射角相对于上述基准线为角度 θ_1 、设衍射光的衍射角相对于上述基准线的角度为 θ_2 时,上述入射角 θ_1 可以是小于相对于上述倾斜面的布拉格(Bragg)角 θ 的角度,上述衍射角 θ_2 可以是大于上述布拉格角 θ 的角度。

[0029] 根据本发明的一个实施方式,由电介质形成的倾斜面相对于基准线倾斜配置。因此,朝向透射式衍射光栅的入射光以小于布拉格角 θ 的角度 θ_1 射入,衍射光以大于布拉格角 θ 的角度 θ_2 射出。由此,可以提高波长分辨率,并且能够例如拓宽可获得高衍射效率的波长区域。

[0030] (9)本发明的其他实施方式涉及一种检测装置,包括:上述透射式衍射光栅;光学系统,用于将来自目标物质的散射光或反射光射入上述透射式衍射光栅;检测器,用于检测来自上述透射式衍射光栅的衍射光。

附图说明

[0031] 图1是本发明的一个实施方式所涉及的透射式衍射光栅的简要说明图;

[0032] 图2是示出衍射光栅中的第一衍射层和朝向其的入射光的图;

[0033] 图3是多个水晶板层叠而成的偏振转换层的波长-相位差特性图;

[0034] 图4的(A)、(B)是示出衍射光栅的作用的特性图,图4的(A)示出了对入射光中TE偏振光分量的衍射以及偏光转换作用,图4的(B)示出了对入射光中TM偏振光分量的衍射以及偏光转换作用;

[0035] 图5的(A)是示出衍射效率和光栅深度的关系的特性图,图5的(B)是示出衍射效率和波长的关系的特性图;

[0036] 图6是示出入射角和衍射角的关系的特性图;

[0037] 图7是示出本发明的第二实施方式所涉及的透射式衍射光栅的图;

[0038] 图8是示出本发明的第三实施方式所涉及的具有倾斜折射率调制结构的衍射层的图;

[0039] 图9是示出衍射角和波长分辨率的关系的特性图;

[0040] 图10的(A)是示出 λ/P 与对TE偏振光分量的一次衍射效率的关系的特性图,图10的(B)是示出 λ/P 与对TM偏振光分量的一次衍射效率的关系的特性图;

[0041] 图11的(A)、图11的(B)是对检测装置进行说明的示意图；

[0042] 图12是对现有技术的闪耀衍射光栅进行说明的图；以及

[0043] 图13是图12所示闪耀衍射光栅中相对于衍射角的波长分辨率的特性图。

具体实施方式

[0044] 以下,对本发明的优选的实施方式进行说明。另外以下所说明的本实施方式并不对权利要求的范围中所记载的本发明内容进行不当的限制,并且并非本实施方式中所说明的所有结构都是作为本发明的解决方法所必要的。

[0045] 1、第一实施方式

[0046] 1.1、衍射光栅

[0047] 图1是示出了本实施方式所涉及的作为分光装置的衍射光栅10。该衍射光栅10是透射式,可以由相当于使用波长透明的一种或两种以上电介质构成。透射式衍射光栅(以下也称为衍射光栅)10包括:偏振转换层20;第一衍射层30,设置于偏振转换层20的一个表面侧;第二衍射层40,设置于偏振转换层20的另一表面侧。

[0048] 第一衍射层30具有折射率调制结构32,第二衍射层40具有折射率调制结构42。第一衍射层30还可以包括与偏振转换层20接合的基板层34。这种情况下,第一衍射层30在基板层34上具有折射率调制结构32。同样,第二衍射层40还可以包括与偏振转换层20接合的基板层44。这种情况下,第二衍射层40在基板层44上具有折射率调制结构42。

[0049] 在此,本实施方式中折射率调制结构32、42是由电介质形成的凹凸图案。例如,通过激光干涉曝光在基板层34、44上形成抗蚀图案(resist pattern),再通过光刻或压印将抗蚀图案转印到基板层34、44上,就可以形成凹凸图案。

[0050] 图2是示出了具有与第二衍射层40相同结构(周期、深度、线宽)的第一衍射层30的一部分。如图2所示,第一衍射层30的折射率调制结构32是如下的凹凸图案:在第一方向A上交替具有例如从基板层34垂直延伸的凸部32A以及位于两个凸部32A之间的凹部(槽)32B。第二衍射层40的折射率调制结构42也相同。

[0051] 即,折射率调制结构32(42)是折射率 n_1 的凸部32A(42A)和折射率 n_2 (空气折射率)的凹部32B(42B)沿第一方向A以周期P交替配置的结构。

[0052] 第一以及第二衍射层30、40的折射率调制结构32、42各自的参数例如为:周期P:400nm、深度h:800nm、线宽d/周期P(fill factor:填充因数):0.45。

[0053] 1.2、TE偏振光以及TM偏振光

[0054] 在此,朝向衍射光栅10的入射光一般在偏振方向无偏移。图2中,由于衍射光栅10的凹部(槽)32B的方向为垂直纸面的方向(第二方向),因此电场矢量的振动方向(偏振方向)位于垂直于纸面的方向的偏振光为TE偏振光,电场矢量的振动方向(偏振方向)位于平行于纸面的方向的偏振光为TM偏振光。因此,如图2所示朝向衍射光栅10的入射光Q包括TE偏振光和TM偏振光两者。

[0055] 偏振转换层20具有作为 $1/2$ 波长板的功能,将射入的直线偏振光的方位旋转 90° 。即,偏振转换层20将TE偏振光转换成TM偏振光、将TM偏振光转换成TE偏振光。上述偏振转换层20以对以特定角度斜射而入的光发挥作为 $1/2$ 波长板的功能的方式设计而成。这种波长板可以通过例如倾斜蒸镀实现。偏振转换层20可以使用例如特开2007-310052所公开的宽

波带波长板。

[0056] 此外,如特开2004-170853所公开的,也可以采用由在特定结晶方位切割出的多张水晶板层叠的结构作为偏振转换层20。作为一例,由两张Y向切割(Y-cut)水晶板贴合而成的偏振转换层20的相位差和波长的关系示于图3。相对于波长680nm的相位差为180度,在波长区域600nm~760nm中可以获得172度以上的相位差。这些特性足以将本发明应用于拉曼分光。

[0057] 1.3、衍射效率和偏振依赖性

[0058] 图4的(A)、(B)示出透射式衍射光栅10的作用。图4的(A)、(B)中,设第一、第二衍射层30、40各自对TE偏振光分量的一次衍射效率为 α ,设第一、第二衍射层30、40各自对TM偏振光分量的一次衍射效率为 β 。

[0059] 本实施方式中,第一、第二衍射层30、40各自对TE偏振光分量的衍射效率大于对TM偏振光分量的衍射效率。即 $\alpha > \beta$,当波长 λ 、光栅周期P满足 $1.5 < \lambda/P < 2.0$ 时,则 $\alpha \gg \beta$,也可以视为 $\alpha \approx 1$ 、 $\beta \approx 0$ 。

[0060] 如图4的(A)所示,由于对TE偏振光分量的衍射效率 α 大,因此多数TE偏振光分量被第一衍射层30衍射,并且在通过偏振转换层(1/2波长板)20时被转换成TM偏振光分量。由于对TM偏振光分量的衍射效率 β 小,因此多数TM偏振光分量不被第二衍射层40衍射而透过。

[0061] 另一方面,如图4的(B)所示,由于对TM偏振光分量的衍射效率 β 小,因此多数TM偏振光分量不被第一衍射层30衍射而透过,并且在通过偏振转换层(1/2波长板)20时被转换成TE偏振光分量。由于对TE偏振光分量的衍射效率 α 大,因此多数TE偏振光分量被第二衍射层40衍射。

[0062] 使用上述衍射效率 α 和 β 时,获得如下的衍射光栅10的光利用效率:

[0063] 光利用效率 $=\alpha+(1-2\alpha)\beta$ (2)

[0064] 在此,一次衍射效率的偏振依赖性大、 $\alpha \approx 1$ 、 $\beta \approx 0$ 的情况中,式(2)大致等于 α 。即,衍射光栅10的光利用率与构成衍射光栅10的光栅对TE偏振光的一次衍射效率大致相等。这样,射入衍射光栅10的光大部分被衍射,即可以进行分光。

[0065] 另一方面,一次衍射效率的偏振依赖性小、 $\alpha \approx \beta$ 的情况中,式(2)等于 $2\alpha(1-\alpha)$ 。从而,当 $\alpha=0.5$ 时利用效率最大,其值停留在0.5,大致是一次衍射效率的偏振依赖性大的情况的利用效率的一半。由此得知,本发明中必须使用偏振依赖性大的衍射光栅。

[0066] 这样,本实施方式所涉及的透射式衍射光栅10中,通过使用衍射效率特性的偏振依赖性大的两个衍射光栅(第一、第二衍射层30、40),从而在达到高衍射效率的同时,成功地消除了偏振依赖性。

[0067] 此外,如果在偏振转换层(1/2波长板)20的基板表面形成两个衍射光栅(第一、第二衍射层30、40),则可以将衍射光栅10整体厚度设定为2mm以下,将其搭载于分光器时,其厚度不形成障碍。

[0068] 图5的(A)(B)示出了光栅的衍射效率特性的一例。图5的(A)示出了透射衍射效率和光栅深度的关系,图5的(B)示出了一次衍射效率和波长的关系。该光栅的周期为400nm,断面形状大致为矩形。光的入射角为58度,对波长680nm满足布拉格衍射条件。如图5的(B)所示,用于拉曼分光的一次衍射光的效率,对于中心波长680nm,TE偏振光时为93%,TM偏振光时为0%。这样,衍射效率的偏振依赖性极大。如图5的(A)所示,当光栅深度设定为700nm~

1000nm(R1)时,TE偏振光的效率大致为80%以上,当光栅深度设定为500nm~1200nm(R2)时,TE偏振光的效率大致为60%以上。此外,如图5的(B)所示,当光栅的使用波长区域为630nm~730nm时,TE偏振光的效率为80%以上,TM偏振光的效率为7%以下。

[0069] 1.4、波长分辨率

[0070] 如图6所示,第一衍射层30的折射率调制结构32中,入射角为 θ_1 ,衍射角为 θ_2 。在此,

[0071] $\text{波长分辨率} = \Delta \theta_2 / \Delta \lambda (\text{rad/nm}) = 1 / P \cos \theta_2 \quad (3)$

[0072] 成立。由此得知,若缩短光栅间隔P、增大衍射角 θ_2 ,则波长分辨率增高。

[0073] 这样,若能提高波长分辨率,则可以在较短距离进行分光,可以实现包括衍射光栅的检测装置的小型化。这样,本实施方式中可以同时实现高衍射效率、消除偏振依赖性以及高波长分辨率。

[0074] 2、第二实施方式

[0075] 图7是示出了本发明的第二实施方式所涉及的透射式衍射光栅50。图7所示透射式衍射光栅50也包括偏振转换层20;第一衍射层60,设置于偏振转换层20的一个表面侧;第二衍射层70,设置于偏振转换层20的另一表面侧。

[0076] 第一衍射层60具有折射率调制结构62,第二衍射层70具有折射率调制结构72。第一衍射层60还可以包括与偏振转换层20接合的基板层64和用于保护折射率调制结构62的保护层66中的任一种或者两种。同样,第二衍射层70还可以包括与偏振转换层20接合的基板层74和用于保护折射率调制结构72的保护层76中的任一种或者两种。

[0077] 在此,本实施方式中,折射率调制结构62、72不是第一实施方式那样的由电介质形成的凹凸图案。折射率调制结构62、72是第一折射率 n_1 的物质和第二折射率 n_2 的物质在第一方向A上交替层叠而形成的结构,未使用如第一实施方式那样的是空气折射率的凹部(槽)32B(42B)。

[0078] 这种折射率调制结构62(72)中,例如通过将基板层64(74)经激光等干涉条纹曝光,并经过干式或湿式显影,从而可以在基板层64(74)表面形成第一、第二折射率 n_1 、 n_2 的分布结构。

[0079] 从而,即使使用衍射光栅50取代第一实施方式所涉及的衍射光栅10,也可以同时实现高衍射效率、消除偏振依赖性以及高波长分辨率。

[0080] 这样,与后文说明的第三实施方式相比,第一、第二实施方式中对无倾斜的衍射光栅适用本发明。从而,可以将以往由于衍射效率的偏振依赖性大而不受注目的高密度衍射光栅($\lambda/P > 1.5$),应用于分光装置。

[0081] 3、第三实施方式

[0082] 本实施方式中,通过使产生布拉格反射的周期结构倾斜、进一步增大衍射角,从而进行增大波长分辨率和衍射效率的宽波段化。图8示出了具有取代图6所示凸部32A(42A)的倾斜凸部32C(42C)的衍射层80的截面图。

[0083] 凸部32C(42C)沿第一方向A以周期 $P/\cos \phi$ (光栅间隔)配置。凸部32C(42C)例如相对于与基板层34(参照图8)的主表面正交的基准线L倾斜角度 ϕ ($\phi > 0^\circ$)而形成。更具体而言,凸部32C(42C)形成相对于基准线L以角度 ϕ 倾斜的倾斜面32D(42D)。倾斜面32D(42D)在与倾斜面32D(42D)垂直方向上的周期为P,衍射光(布拉格反射光)由该周期P的周期结构产

生。另外,使用波长 λ 和光栅周期 P 满足 $1.25 < \lambda/P < 2.0$,更优选为满足 $1.5 < \lambda/P < 2.0$ 。此外优选光栅周期 P 为 $250\text{nm} \sim 550\text{nm}$,凸部32C(42C)的高度为 $500\text{nm} \sim 1100\text{nm}$ 。此外,优选倾斜角度 $\phi < 45^\circ$ 。

[0084] 如图8所示,波长 λ 的入射光以角度 θ_1 射入衍射光栅,衍射光以角度 θ_2 被衍射后透过。在此波长分辨率 $\Delta\theta_2/\Delta\lambda$ 由下式(4)表示。另外,下式(4)中 $\phi=0$ 时得到上式(3),变成表示无倾斜时的波长分辨率的式子。

$$[0085] \quad \Delta\theta_2/\Delta\lambda = \cos\phi / (P \cdot \cos\theta_2) \quad (4)$$

[0086] 然后,对根据本实施方式提高波长分辨率和衍射效率的方法进行说明。如图8所示,本实施方式利用由倾斜面32D(42D)的周期结构产生的布拉格衍射。考虑将图8的示例与倾斜角度 $\phi=0^\circ$ 的情况(图6)进行比较。产生布拉格衍射的入射光的入射角设定为布拉格角 θ 时,布拉格条件由下式(5)表示,其中空气(介质)的折射率为 n 。图8中,布拉格角 θ 与相对于倾斜面32D(42D)的角度大致相等。

$$[0087] \quad 2nP\sin\theta = \lambda \quad (5)$$

[0088] 如前面所说明的,为了增大波长分辨率 $\Delta\theta_2/\Delta\lambda$,则有必要增大布拉格角 θ (衍射角)。由上式(5)知晓如果增大布拉格角 θ 则必须减小 P 。但是,如前面所说明的,若减小周期 P 则导致高衍射效率的波长区域变窄。因此,本实施方式中,如图8所示通过使凸部32C(42C)倾斜从而增大衍射角 θ_2 。此时,入射角 θ_1 近似为 $\theta_1 = \theta - \phi$,衍射角 θ_2 近似为 $\theta_2 = \theta + \phi$ 。此外,严谨而言并不局限于入射角 $\theta_1 = \theta - \phi$,衍射角 $\theta_2 = \theta + \phi$ 。这样,通过使凸部32C(42C)倾斜而可以使衍射角 θ_2 大于布拉格角 θ ,因此通过衍射角 θ_2 增大波长分辨率 $\Delta\theta_2/\Delta\lambda$ 的同时,与 $\phi=0^\circ$ 的情况相比可以将周期 P 设定为更大值。

[0089] 图9是示出了相对于衍射角的波长分辨率的特性例。图9是波长 $\lambda=633\text{nm}$ 、光栅周期 $P=366\text{nm}$ 、倾斜角 $\phi=10^\circ$ 的情况的示例,一次透过衍射光的布拉格角 $\theta=59.9^\circ$ 。光栅周期 $P=366\text{nm}$ 是比现有技术的光栅周期 $P_a=333\text{nm}$ 大10%的值。此外,该衍射光栅的波长分辨率与周期为 $P/\cos\phi=366/\cos(10^\circ)=372\text{nm}$ 、无倾斜衍射光栅的波长分辨率相同。

[0090] 光栅未倾斜 $\phi=0^\circ$ 时,在衍射角为布拉格角 $\theta=59.9^\circ$ 的附近一次衍射光的衍射效率最大。此时,如图9所示,波长分辨率停留在 $0.005[\text{rad/nm}]$ 。另一方面,使光栅倾斜 $\phi=10^\circ$ 时,由于衍射角扩大到 $\theta_2=73^\circ$,因此波长分辨率由 $\phi=0^\circ$ 的情况提高大约1.8倍而变成 $0.009[\text{rad/nm}]$ 以上。这样,通过使光栅以角度 $\phi=10^\circ$ 倾斜,从而在衍射角 $\beta=73^\circ$ 附近实现高衍射效率。

[0091] 当单独使用这种具有倾斜凸部32C(42C)的衍射层60时,偏振依赖性大。图10的(A)、(B)示出一次衍射效率和 λ/P 的关系。图中将折射率调制结构的厚度 h 设定为参数。在 $\lambda/P=1.7$ 的条件下,对于折射率调制结构的厚度 h 足够大(槽深)的情况,可以获得对TE偏振光超过80%的高效率(参照图10的(A))。但是,基本上不能期待对TM偏振光的效率(参照图10的(B))。

[0092] 因此,本第三实施方式中,通过在图1所示偏振转换层20两侧设置具有倾斜凸部32C(42C)的第一、第二衍射层,从而与第一实施方式同样地能够消除偏振依赖性。并且第三实施方式中能够同时实现通过进一步增大衍射角 θ_2 而提高波长分辨率、以及通过在获得必要的波长分辨率的范围内尽量增大周期 P 而使衍射效率宽波段化。

[0093] 第三实施方式中所说明的具有倾斜的折射率调制结构并不局限于适用于第一实

施方式的凹凸图案,也可以适用于图7所示第二实施方式的折射率调制结构。

[0094] 另外,第三实施方式中所说明的具有倾斜的折射率调制结构的制造方法,可以采用由本申请申请人在先申请的专利申请2010-111124中所公开的方法。

[0095] 此外,第一至第三实施方式中,当使用波长 λ 和光栅周期P的关系设定为 $1.5 < \lambda/P < 2.0$ 时,优选折射率调制结构的厚度和光栅周期P的关系设定为 $1.75 < h/P < 2.50$ 。

[0096] 4、第四实施方式

[0097] 作为本发明的第四实施方式,对具有上述第一至第三实施方式的任一衍射光栅的检测装置进行说明。

[0098] 图11的(A)、图11的(B)示出本实施方式的衍射光栅所适用的检测装置的第一结构例。该检测装置包括拉曼传感器300(传感器芯片、光设备)、第一凹面镜310、带通滤波器(band pass filter)320、衍射光栅340、第二凹面镜350、阵列(array)光检测器360(检测器)、光源370和边缘滤波器(edge filter)380。上述检测装置是单光谱仪,其中一个衍射光栅340和两个凹面镜310、350按照规定的位置关系配置。此外,以下对用于进行拉曼分光测定的检测装置进行说明,但本实施方式的衍射光栅也可以适用于采用其他分光方法的检测装置。另外,衍射光栅340采用例如图8所示第三实施方式所涉及的具有倾斜折射率调制结构的衍射光栅。

[0099] 如图11的(B)所示,来自光源370的激光被边缘滤波器380反射,照射向拉曼传感器300上的试样390(目标物质)。例如,光源370是连续振动的He-Ne激光(波长633nm、输出20mW)。被激光照射的试样390通过由拉曼传感器300产生的表面增强拉曼散射而产生瑞利散射光和拉曼散射光。这些散射光射入边缘滤波器380。该边缘滤波器380将激光的波长(633nm)的光反射,而将比其长的长波长光透过。即,通过边缘滤波器380,瑞利散射光被反射而拉曼散射光被透过。被透过的拉曼散射光射入凹面镜310,由凹面镜310调整为平行光。

[0100] 接着,如图11的(A)所示,来自凹面镜310的反射光通过带通滤波器320,以规定的入射角 θ_1 射入衍射光栅340。带通滤波器320进一步拦截瑞利散射光,仅仅使拉曼散射光透过。射向衍射光栅340的入射光如图4的(A)、(B)所说明那样,在第一衍射层30、偏振转换层20以及第二衍射层40被偏振转换、以衍射角 θ_2 被衍射或被透过,从而被分光。被分光的拉曼散射光,每个波长仅相差微小差异的衍射角,各波长为平行光。上述被分光的拉曼散射光射入凹面镜350,由凹面镜350聚光于阵列光检测器360上,从而形成光谱分布。然后,通过阵列光检测器360检测拉曼散射光的光谱分布。

[0101] 接着,对上述检测装置的波长分辨率进行具体说明。当将阵列光检测器360上的瑞利散射光的位置设定为 $X(\lambda)$,将拉曼散射光(斯托克斯光)的位置设定为 $X(\lambda + \Delta\lambda)$ 时,这些位置间的距离由下式(6)表示。在此, f 是凹面镜350的聚光距离(焦点距离)、 $\Delta\theta_2/\Delta\lambda$ 是衍射光栅340的波长分辨率。

[0102] $X(\lambda + \Delta\lambda) - X(\lambda) = f \cdot \Delta\lambda \cdot (\Delta\theta_2/\Delta\lambda)$ 式(6)

[0103] 由上式(6)得知,对于波长分辨率 $\Delta\theta_2/\Delta\lambda$ 足够大的情况而言,即使凹面镜350的聚光距离 f 短,也可以将拉曼散射光和瑞利散射光大地区分开。为此,通过使用本实施方式的高分辨率衍射光栅,从而能够缩短凹面镜350的聚光距离 f ,使各结构要素设置紧凑而使分光器小型化。

[0104] 例如,在使用图2所说明的衍射光栅10作为图11的(A)的衍射光栅340的情况中,衍

射光栅的周期为400nm(2500根/mm)、倾斜角度为0度、波长分辨率为0.005rad/nm,凹面镜的焦点距离f为20mm。这种情况下,波长差为0.5nm的两个散射光分量在阵列光检测器上仅仅相隔50 μ m,即使使用一般的阵列光检测器也可以被充分地分辨。并且,当拉曼移动量设定为50nm时,从瑞利散射光到拉曼散射光的距离为20 μ m $\times$ 50/0.5=2mm左右,该距离足够远。从而,大大减轻了对图11的(B)所示边缘滤波器380的特性的负荷。在精度要求相对不高的分光用途中边缘滤波器可以不要。

[0105] 另外,如上所述虽然已对本实施方式进行了详细说明,但是整体上不脱离本发明的新事项以及效果的多个变形是可能的,这对本领域技术人员而言是可以容易理解的。因此,所有这种变形例都包含在本发明的范围内。

[0106] 例如,在说明书或附图中,与更广义的或同义的不同术语(衍射光栅、传感器芯片、检测器等)共同被记载的术语(透射式衍射光栅、拉曼传感器、阵列光检测器等),在说明书或附图的任意位置,至少一次能够用上述不同术语置换。另外,衍射光栅、分光装置、检测装置等的结构、操作也并不仅限于本实施方式所说明的方式,可以进行各种变形。

[0107] 符号说明

- [0108] 10、50 透射式衍射光栅(衍射光栅)
- [0109] 20 偏振转换层 30、60 第一衍射层
- [0110] 32、42、62、72 折射率调制结构
- [0111] 32A、42A 凸部 32B、42B 凹部(槽)
- [0112] 32C、42C 倾斜凸部 32D、42D 倾斜面
- [0113] 34、44、64、74 基板层
- [0114] 40、70 第二衍射层 66、76 保护层
- [0115] 80 衍射层 300 拉曼传感器
- [0116] 310 凹面镜 320 带通滤波器
- [0117] 340 衍射光栅 350 凹面镜
- [0118] 360 阵列光检测器 370 光源
- [0119] 380 边缘滤波器 390 试样
- [0120] 01 入射角 02 衍射角

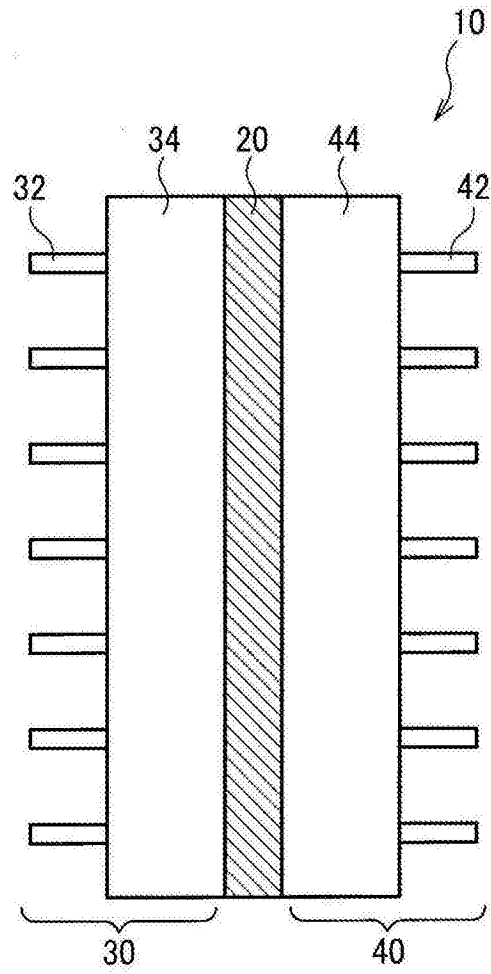


图1

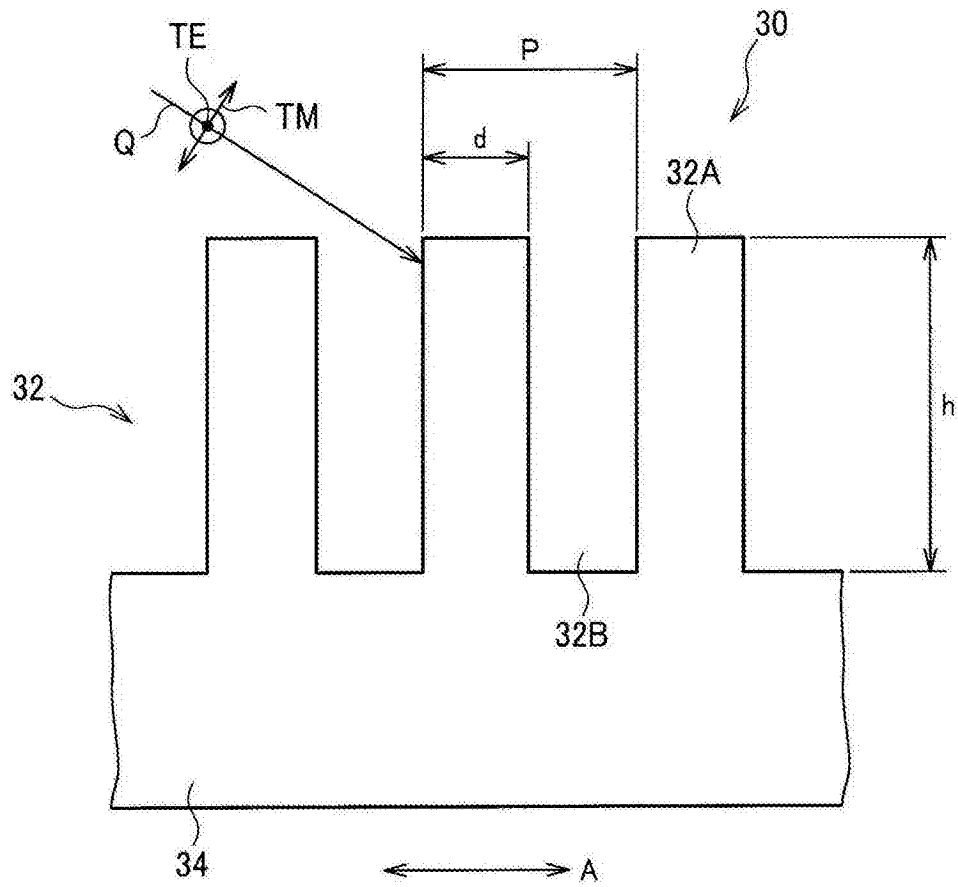


图2

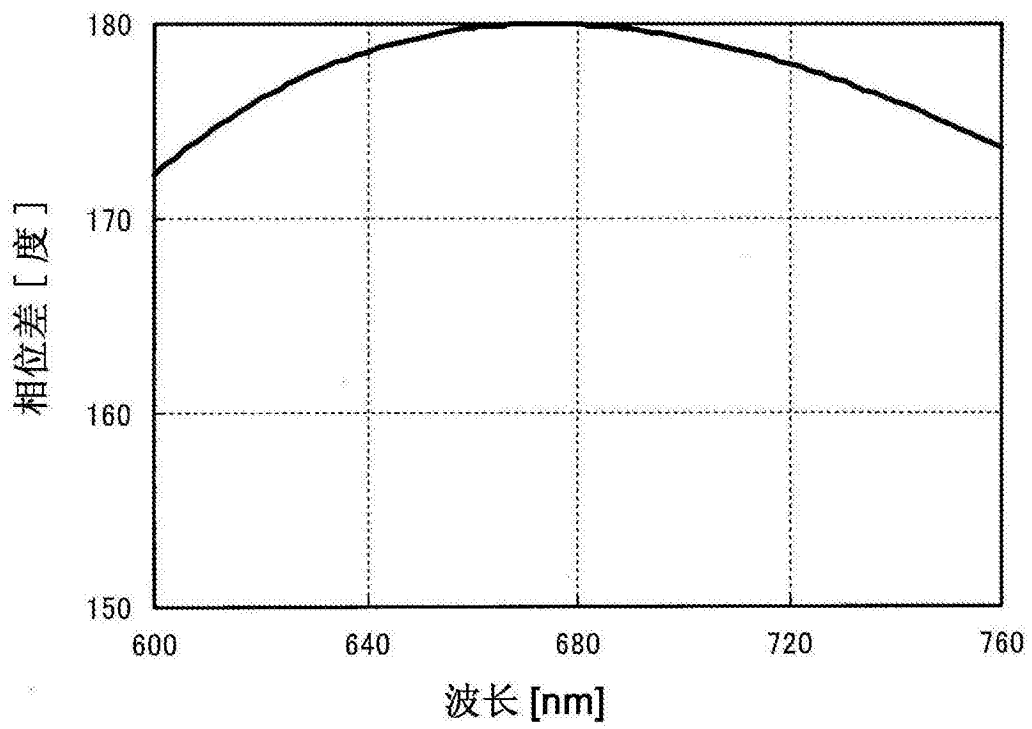
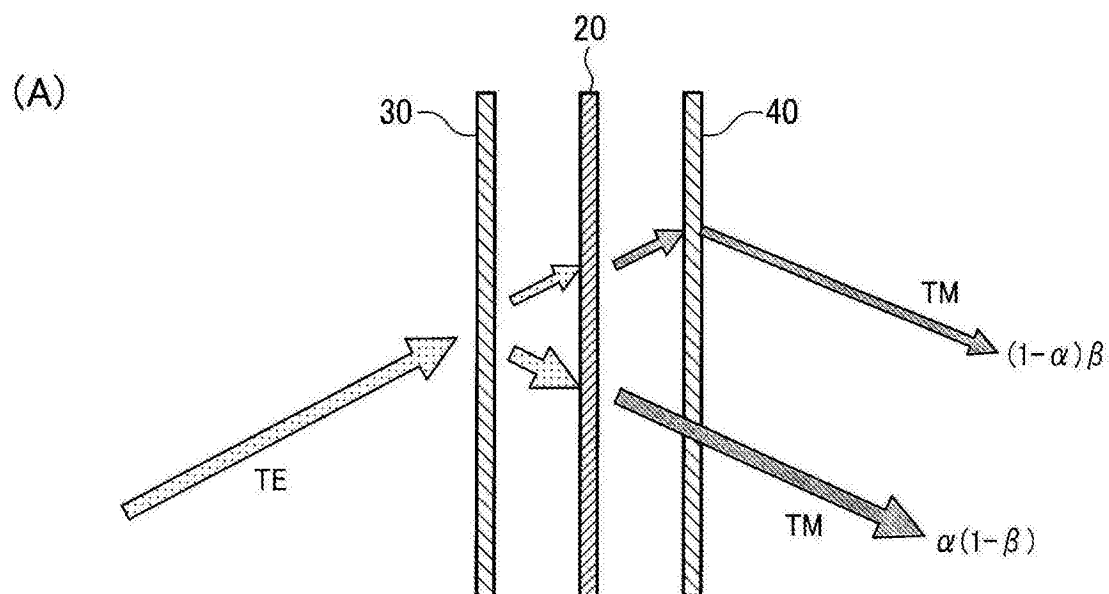


图3



α : 对 TE 偏振光的一次衍射效率
 β : 对 TM 偏振光的一次衍射效率

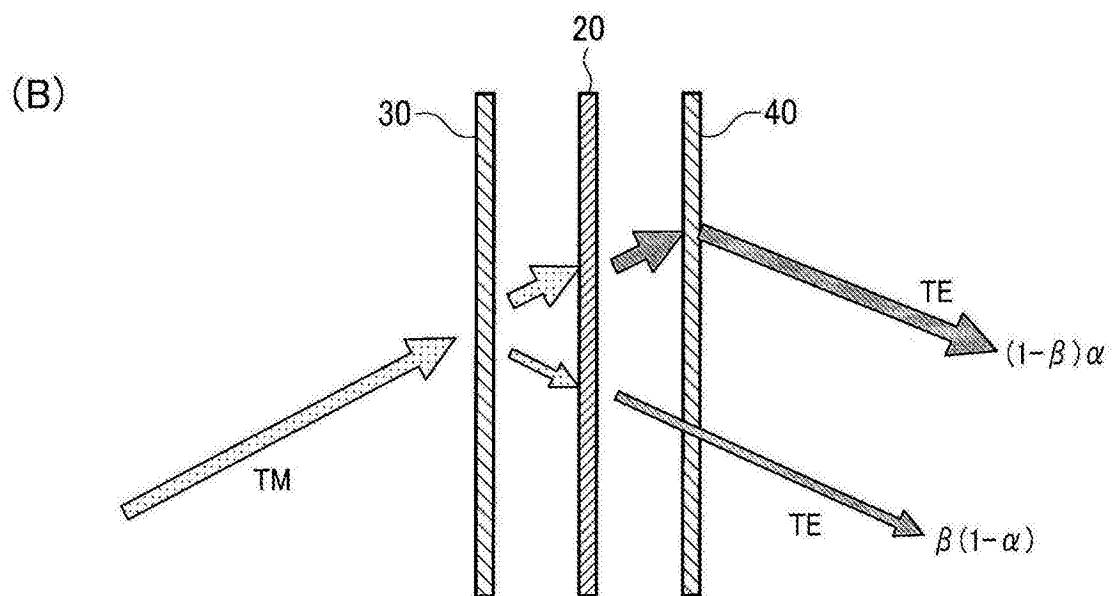
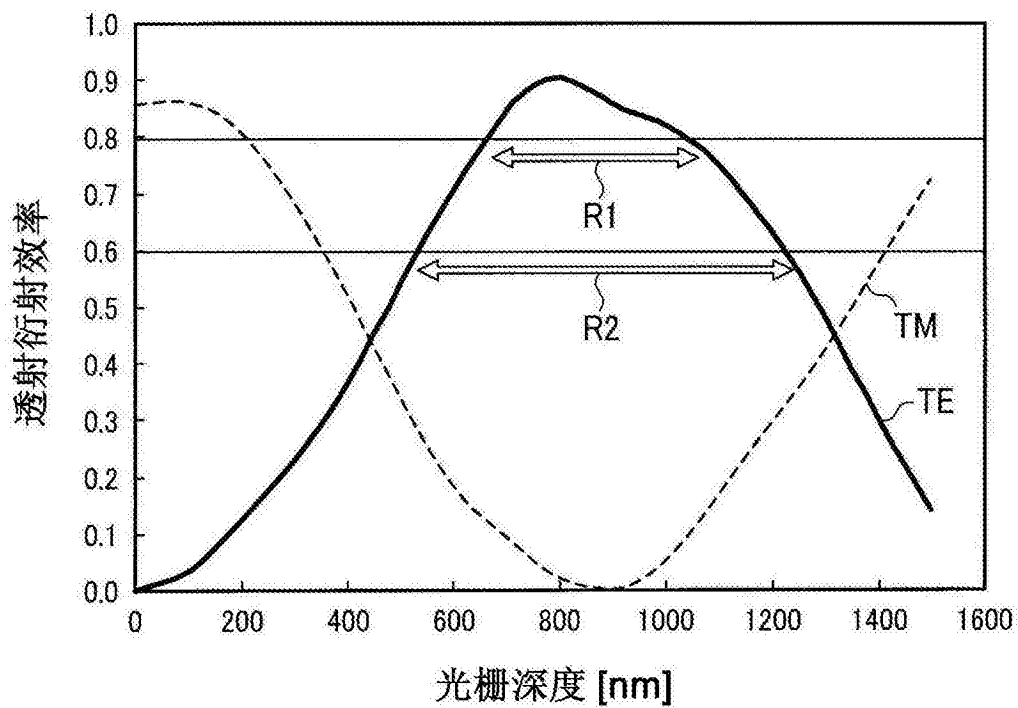


图4

(A)



(B)

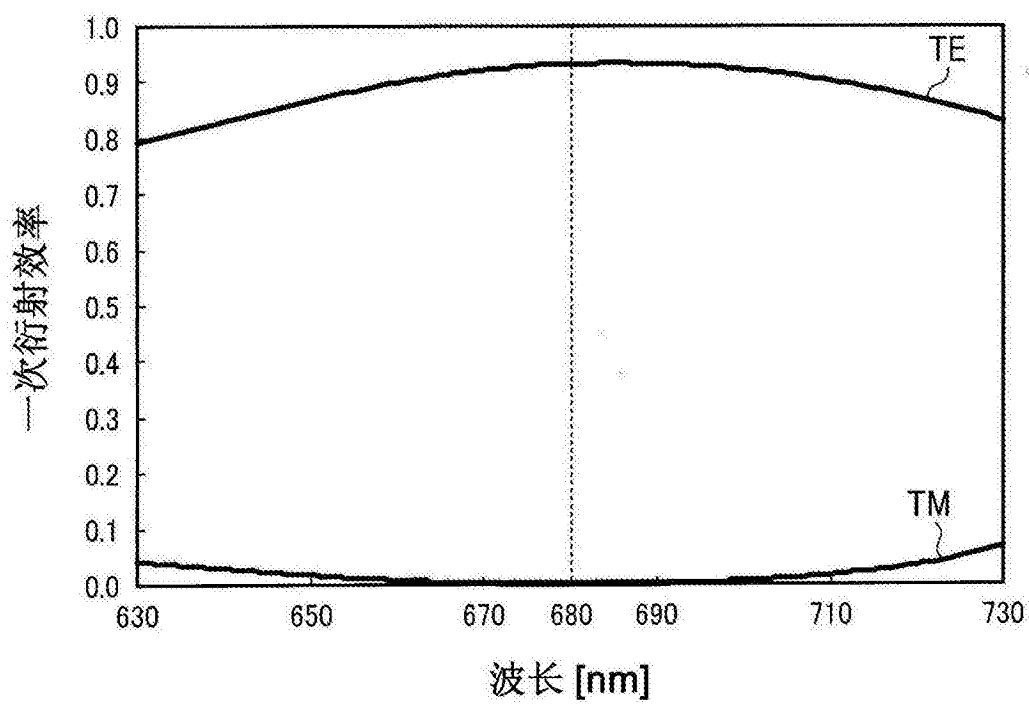


图5

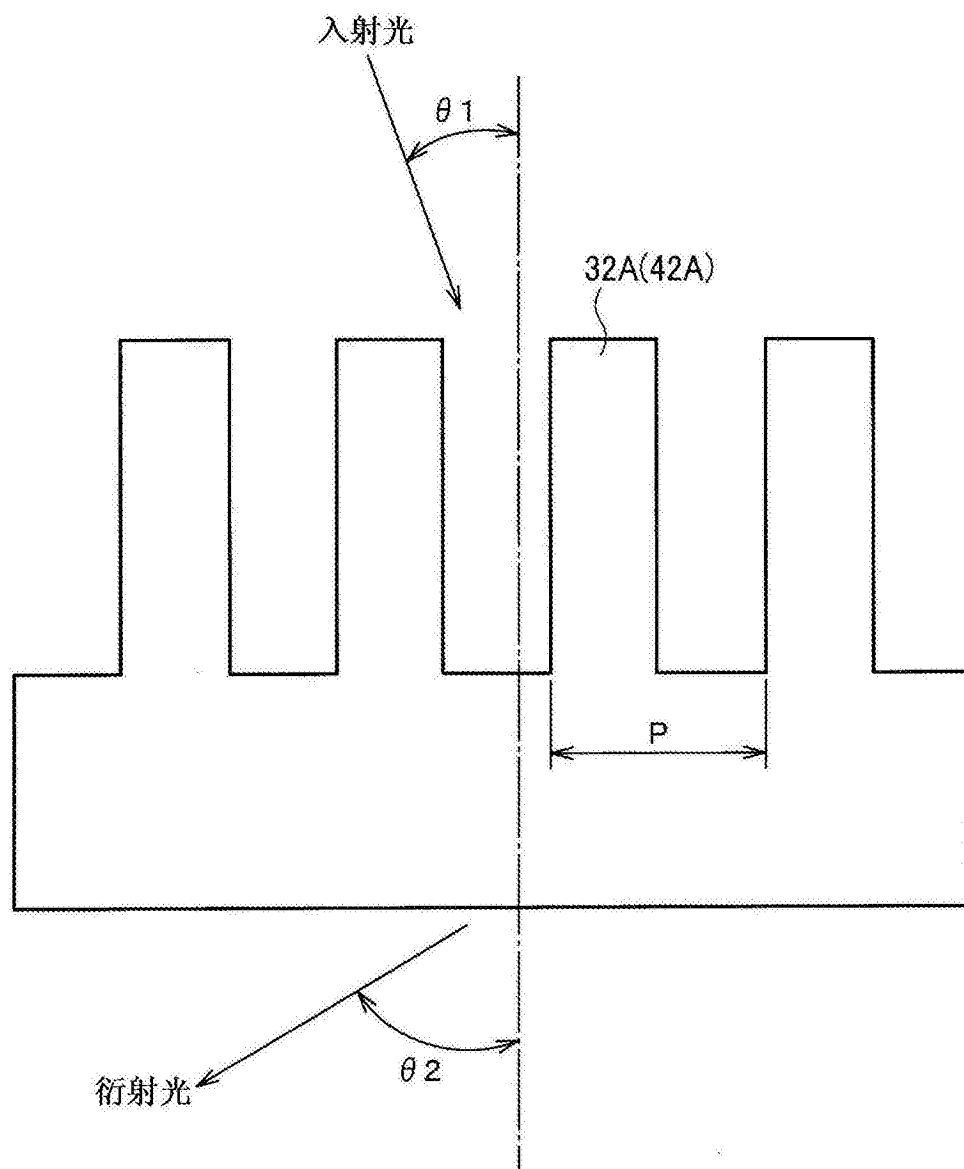


图6

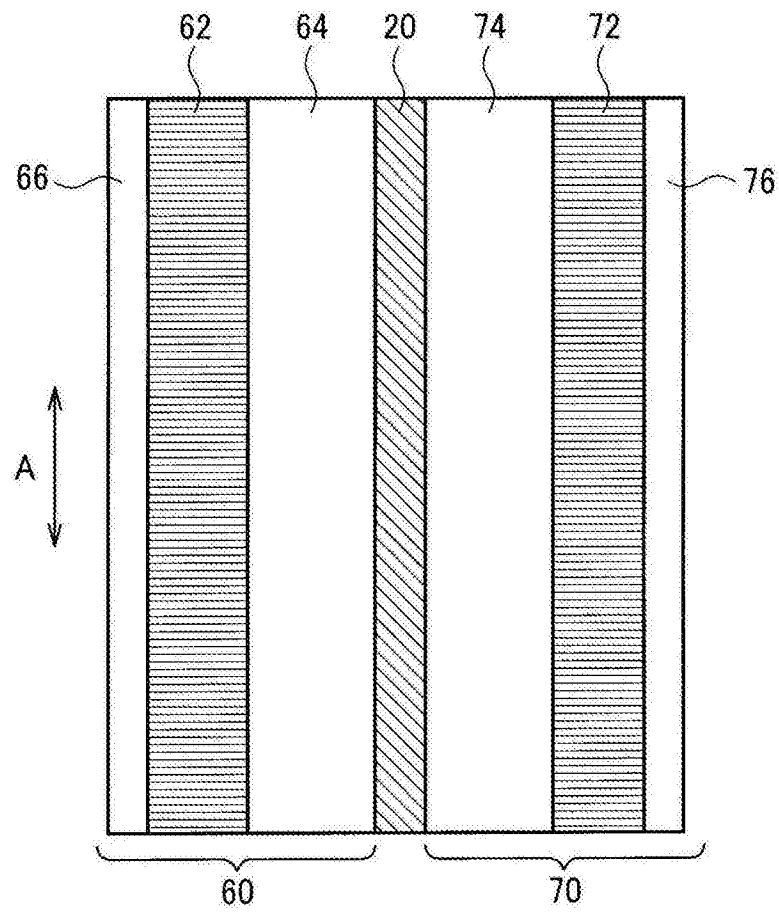


图7

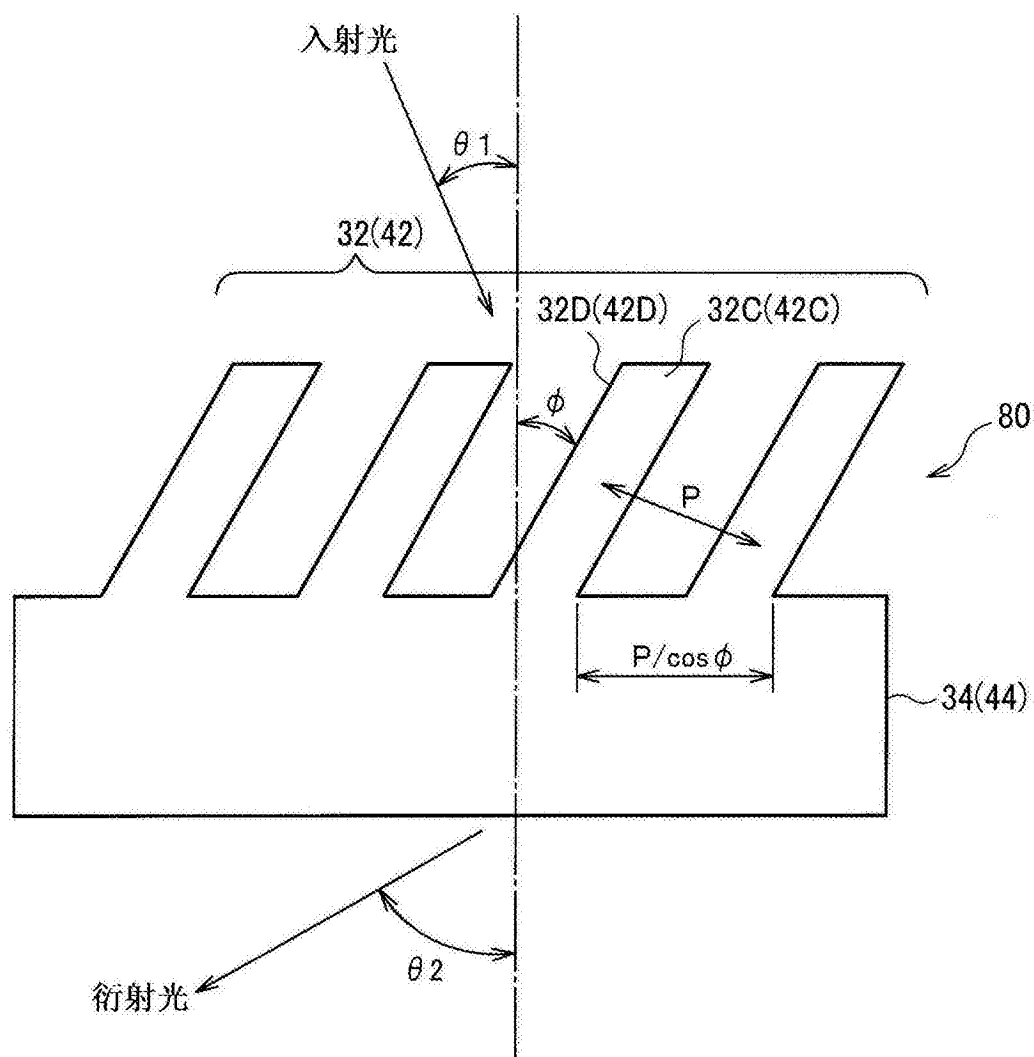


图8

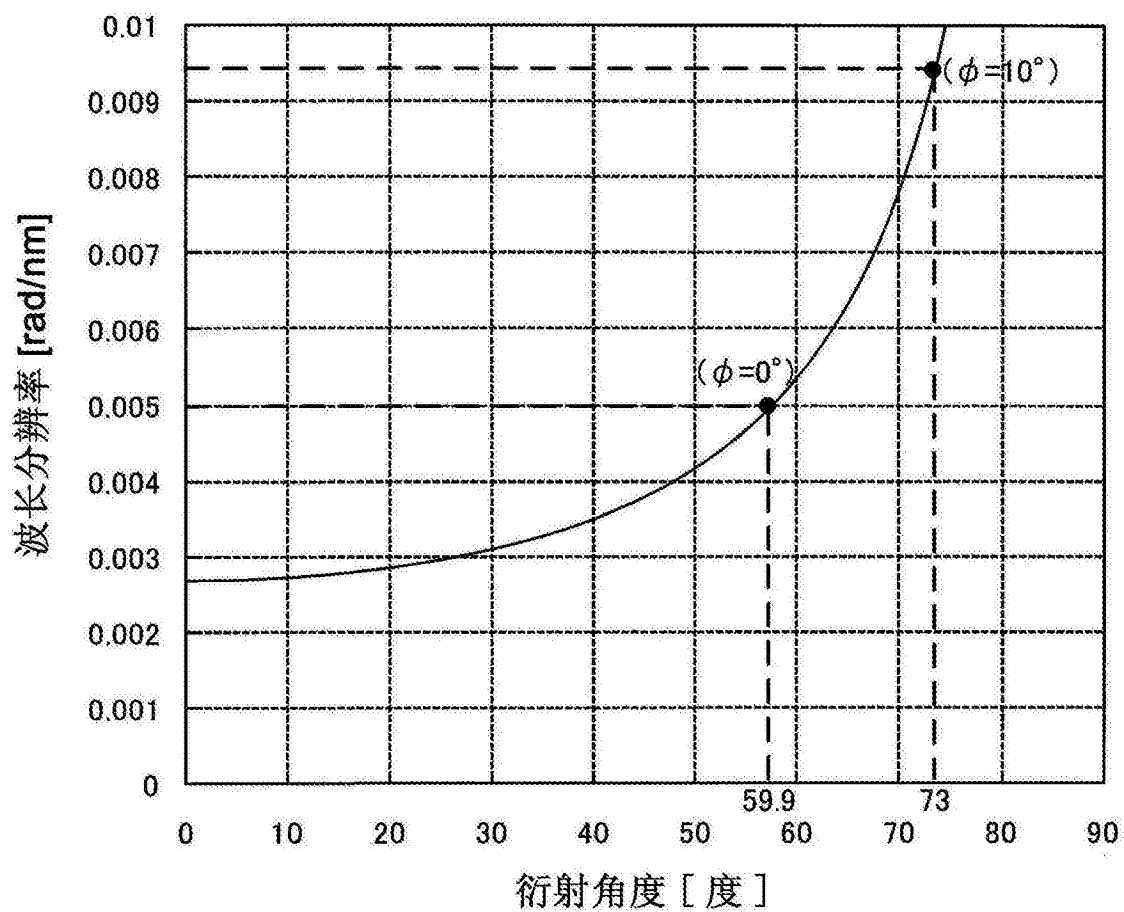
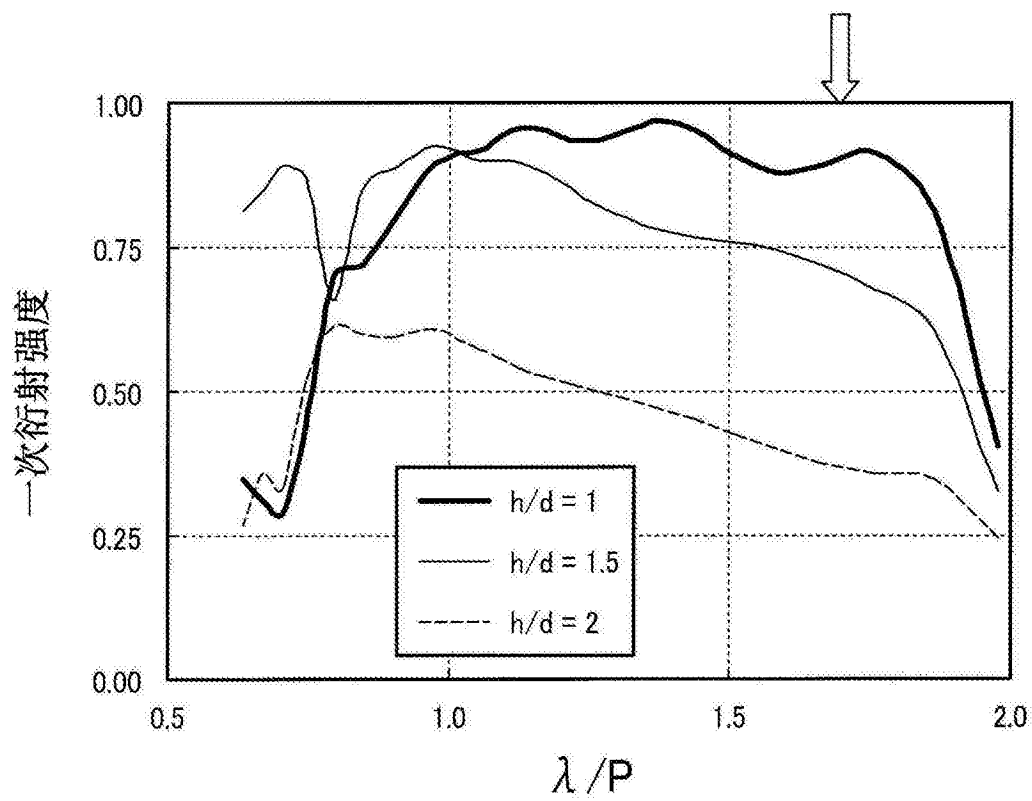


图9

(A)



(B)

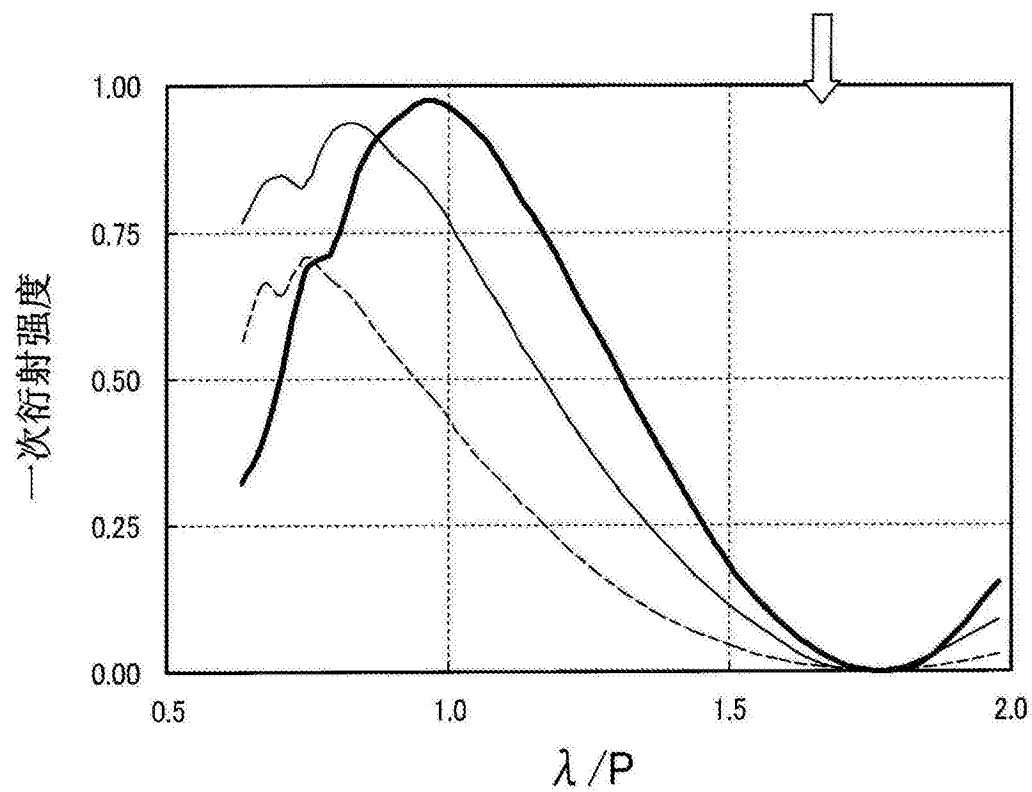
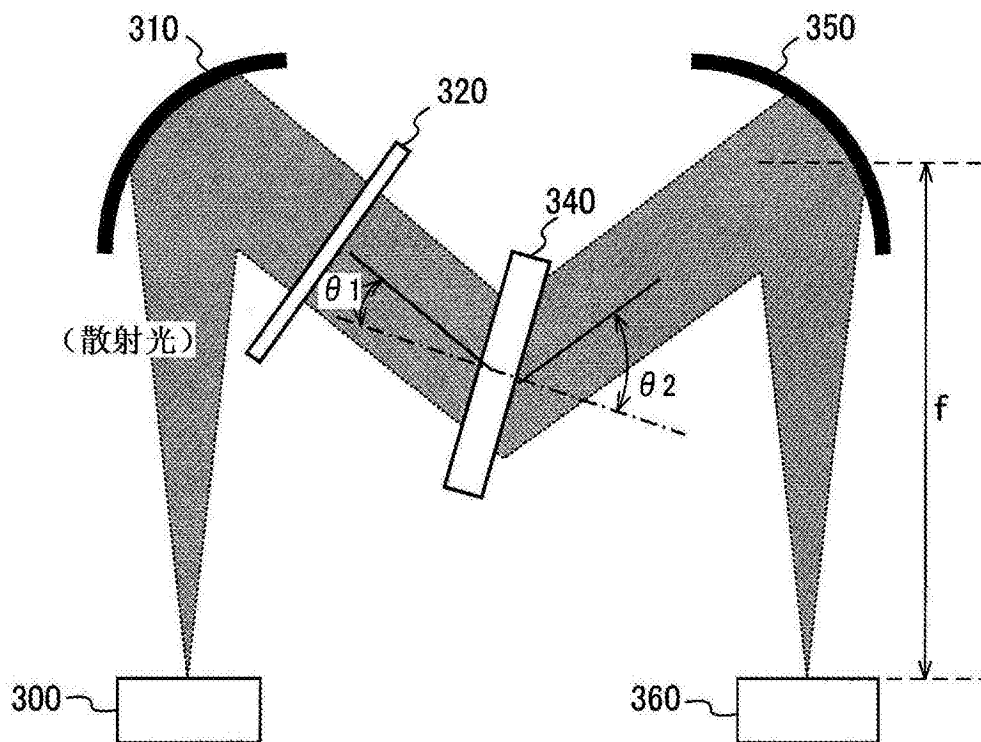


图10

(A)



(B)

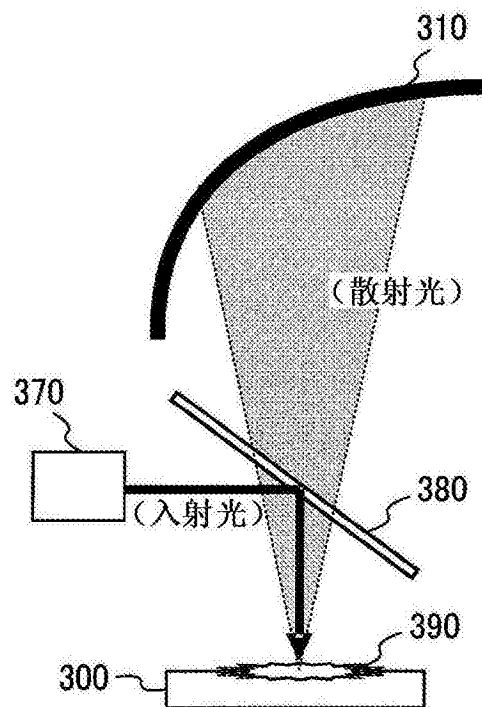


图11

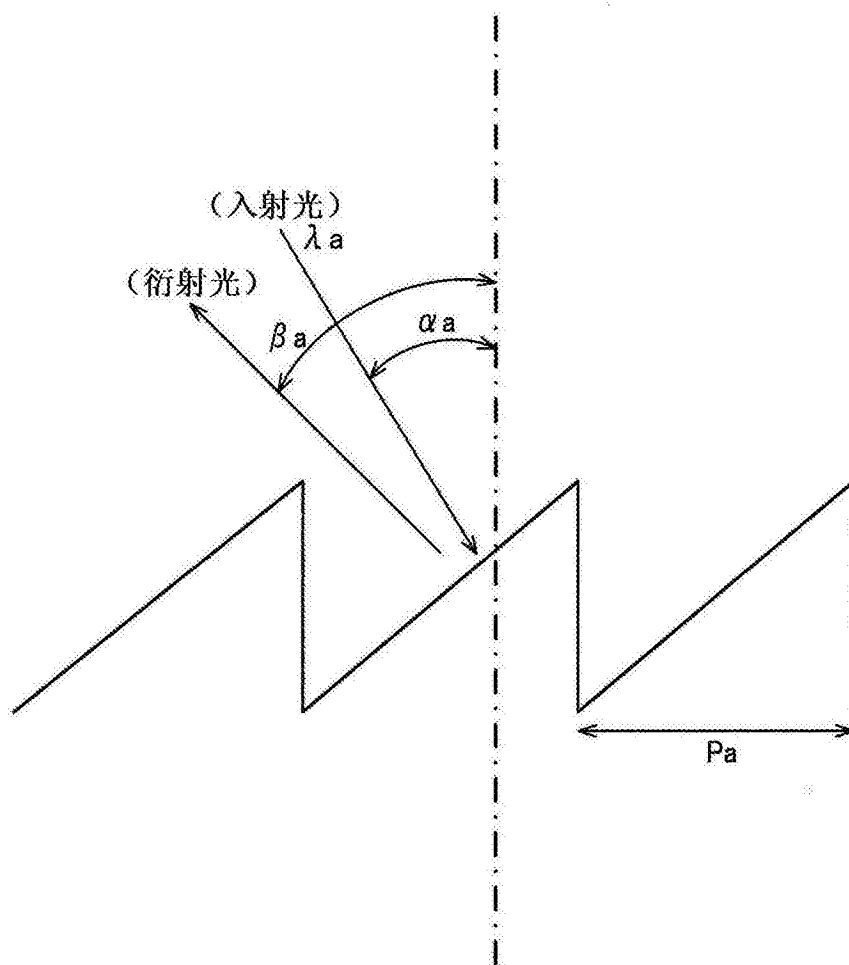


图12

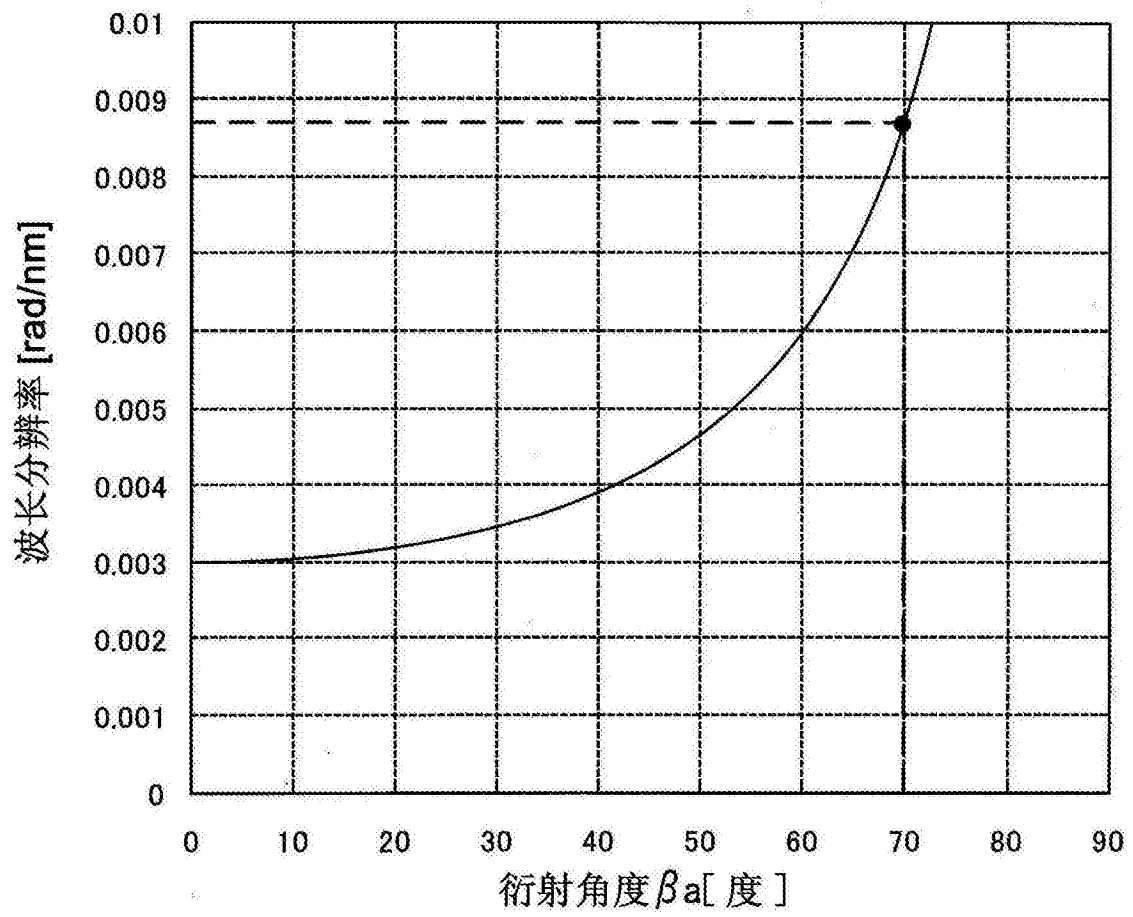


图13