



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105637411 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 01

(21) 申请号 201480055758. 3

代理人 程连贞

(22) 申请日 2014. 09. 24

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G02F 1/35(2006. 01)

2013-212295 2013. 10. 09 JP

G02F 1/365(2006. 01)

2014-182737 2014. 09. 08 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2016. 04. 08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/076232 2014. 09. 24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02015/053138 EN 2015. 04. 16

(71) 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 加治木康介

(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 11038

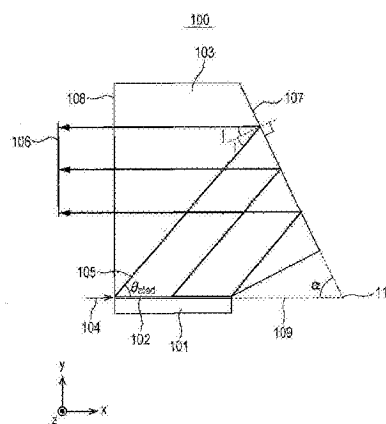
权利要求书2页 说明书16页 附图15页

(54) 发明名称

太赫兹波产生元件和太赫兹波检测元件

(57) 摘要

太赫兹波产生元件包括通过传播光产生太赫兹波的非线性光学晶体,以及传播所产生的太赫兹波的耦合部件。耦合部件包括反射面,所述反射面反射所产生的太赫兹波的至少一部分。在所产生的太赫兹波的传播方向上反射面是凸的。在反射面与光的传播方向之间的在耦合部件侧的角在包含光传播方向的平面处大于 $90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{\text{THz}})$ 但小于 90° , 其中 n_g 表示在该光的波长处非线性光学晶体的群折射率, n_{THz} 表示在所产生的太赫兹波的波长处所述耦合部件的折射率。反射面的曲率半径在反射所产生的太赫兹波的反射区域中在光传播方向的越下游越小。



1. 一种太赫兹波产生元件,其特征在于,包括:

非线性光学晶体,被配置成通过传播通过该非线性光学晶体的光产生太赫兹波;以及耦合部件,由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波传播通过该耦合部件;

其中,所述耦合部件包括反射面,所述反射面被配置成反射由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的至少一部分;

其中,在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的传播方向上,所述反射面为凸的;

其中,在所述反射面与光的传播方向之间的在耦合部件侧的角在包含光的传播方向的平面处大于 $90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{THz})$ 但小于 90° ,其中, n_g 表示在所述光的波长处所述非线性光学晶体的群折射率, n_{THz} 表示在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长处所述耦合部件的折射率;以及

其中,所述反射面的曲率半径在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波被反射的反射区域中在所述光的传播方向的越下游越小。

2. 根据权利要求1所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述角不小于 $\sin^{-1}(n_e/n_{THz}) + 90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{THz})$,其中, n_e 表示在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长处所述耦合部件的外部物质的折射率。

3. 根据权利要求1或2所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述角为 $90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{THz})/2 \pm \lambda/8$,其中 λ 表示由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长。

4. 根据权利要求1~3中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波在所述反射面处被全反射。

5. 根据权利要求1~4中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述反射面包括通过以所述光的传播方向为旋转轴来旋转直线或曲线所形成的曲线的一部分。

6. 根据权利要求1~5中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述反射面包括圆锥面的一部分,所述圆锥面的轴是所述光的传播方向。

7. 根据权利要求1~6中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中在与通过所述耦合部件的所述光的传播方向正交的平面处所述反射面的截面的至少一部分是圆或椭圆的一部分。

8. 根据权利要求1~7中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,包含所述光的所述传播方向的所述平面与所述非线性光学晶体的表面垂直。

9. 根据权利要求1~8中的任一项所述的太赫兹波产生元件,还包括:

波导;

其中,所述波导包含所述非线性光学晶体,以及包覆层,所述包覆层被设置于所述非线性光学晶体与所述耦合部件之间,并且所述包覆层具有比所述非线性光学晶体在所述光的波长处的折射率小的折射率。

10. 根据权利要求1~9中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述非线性光学晶体的宽度小于由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长。

11. 根据权利要求1~10中的任一项所述的太赫兹波产生元件,

其中,所述非线性光学晶体被配置成使得,由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波被再次输入,由此与所述光不同的光的传播状态改变,从而利用传播状态已改变的光来检测由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波。

12.一种太赫兹波检测元件,其特征在于,包括:

非线性光学晶体,被配置成通过输入太赫兹波而改变光的传播状态;以及

耦合部件,被配置成引导所述太赫兹波到所述非线性光学晶体;

其中,所述耦合部件包括反射面,所述反射面被配置成反射输入到所述非线性光学晶体的太赫兹波的至少一部分;

其中,在与输入到所述非线性光学晶体的太赫兹波的传播方向相反的方向上,所述反射面为凸的;

其中,在所述反射面与光的传播方向之间的在耦合部件侧的角在包含光的传播方向的平面处大于 $90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{THz})$ 但小于 90° ,其中, n_g 表示在所述光的波长处所述非线性光学晶体的群折射率, n_{THz} 表示在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长处所述耦合部件的折射率;以及

其中,所述反射面的曲率半径在由所述非线性光学晶体产生的太赫兹波被反射的反射区域中在所述光的传播方向的越下游越大。

13.一种信息获取设备,被配置成用太赫兹波照射样本并获取所述样本的信息,其特征在于,所述设备包括:

产生单元,被配置成产生太赫兹波;以及

检测单元,被配置成检测已透过所述样本或在所述样本处被反射的太赫兹波;

其中,所述产生单元包括根据权利要求1~11中的任一项所述的太赫兹波产生元件。

14.根据权利要求13所述的信息获取设备,

其中,所述产生单元和检测单元被集成地配置,其中所述太赫兹波产生元件用作所述产生单元和所述检测单元。

15.一种信息获取设备,被配置成用太赫兹波照射样本并获取所述样本的信息,所述设备包括:

产生单元,被配置成产生太赫兹波;以及

检测单元,被配置成检测来自所述样本的所述太赫兹波;

其中,所述检测单元包括根据权利要求12所述的太赫兹波检测元件。

太赫兹波产生元件和太赫兹波检测元件

技术领域

[0001] 本发明涉及产生太赫兹波的太赫兹波产生元件,以及检测太赫兹波的太赫兹波检测元件。

背景技术

[0002] 太赫兹波是电磁波,具有在0.03THz与30THz之间的任何频率的频带成分。存在多种利用二次非线性现象通过非线性光学晶体产生太赫兹波的方法。在这些方法中,使用电-光契连科夫(Cherenkov)辐射现象(下文中称为“契连科夫辐射”)的技术能够产生强而相对宽的带宽的太赫兹波,这在PTL 1中有描述。

[0003] 契连科夫辐射是这样一种现象,其中所产生的太赫兹波1302像冲击波一样呈圆锥状发射,如图13所示。契连科夫辐射在以下情况下发生:光1301传播通过非线性光学晶体的传播群速度比太赫兹波1302的传播相速度快。现在,所产生的太赫兹波1302的传播方向与光1301传播通过非线性光学晶体的传播方向之间的角 θ_c (下文中称为“契连科夫角”)可以被表示为

$$[0004] \quad \cos\theta_c = n_g/n_{THz} \quad (1)$$

[0005] 其中, n_g 是非线性光学晶体关于光的群折射率, n_{THz} 是太赫兹波传播通过的介质关于太赫兹波的折射率。

[0006] 在使用这样的应用契连科夫辐射的太赫兹波产生元件作为信息获取设备中的太赫兹波产生源以使用太赫兹波获取关于样本的信息等的情况下,可能需要波前整形。PTL 2公开了一种用于传播通过非线性光学晶体的光的二次谐波产生并利用准直仪整形和从外部提取所产生的二次谐波的方法,如图14所示。

[0007] 由传播通过非线性光学晶体1402的光1404产生的二次谐波1405是以圆锥形式发射的,并且在耦合部件1403的反射面1406被反射。此时,反射的二次谐波1405的波前1408被准直为高水平的平面度。这种配置将二次谐波1405的波前1408整形为平面的,使得更容易处理二次谐波1405。

[0008] 引用列表

[0009] 专利文献

[0010] PTL 1日本专利公报No.2010-204488

[0011] PTL 2日本专利公报No.02-081035

[0012] 在将根据PTL 2的配置应用于太赫兹波产生元件的情况下,可以实现所产生的太赫兹波的整形,但在某些情况下,在波前1408处的太赫兹波的功率分布中的失真可能增大。功率分布中的失真增大导致即使太赫兹波被会聚,有效的射束直径也很小,所以这不适合于传输或测量。

发明内容

[0013] 问题的解决方案

[0014] 一种太赫兹波产生元件包括：非线性光学晶体，被配置成由传播通过该非线性光学晶体的光产生太赫兹波；以及耦合部件，由非线性光学晶体产生的太赫兹波传播通过该耦合部件。耦合部件包括反射面，该反射面被配置成反射由非线性光学晶体产生的太赫兹波的至少一部分。在由非线性光学晶体产生的太赫兹波的传播方向上反射面是凸的。反射面与光的传播方向之间的在耦合部件侧的角在包含光的传播方向的平面处大于 $90^\circ - \cos^{-1}(n_g/n_{THz})$ 但小于 90° ，其中 n_g 表示在该光的波长处非线性光学晶体的群折射率， n_{THz} 表示在由非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长处耦合部件的折射率。反射面的曲率半径在由非线性光学晶体产生的太赫兹波被反射的反射区域中在光的传播方向的越下游越小。

[0015] 根据以下参考附图对示例性实施例的描述，本发明的更多方面将变得清晰。

附图说明

[0016] 图1是描述根据第一实施例的太赫兹波产生元件的配置的图。

[0017] 图2是描述根据第一实施例的太赫兹波产生元件的波导的配置的图。

[0018] 图3A~3D是在根据第一实施例的太赫兹波产生元件中，沿与光的传播方向正交的平面取的截面图。

[0019] 图4A和4B是示意在平行光截面上太赫兹波功率分布的图。

[0020] 图5是示意波导上的太赫兹波功率分布的图。

[0021] 图6是描述根据第二实施例的太赫兹波产生元件的配置的图。

[0022] 图7A和7B是描述根据第三实施例的太赫兹波产生元件的配置的图。

[0023] 图8是描述根据第四实施例的太赫兹波检测元件的配置的图。

[0024] 图9A和9B是描述根据第四实施例的太赫兹波检测元件的另一配置的图。

[0025] 图10A和10B是描述根据第五实施例的太赫兹波检测元件的配置的图。

[0026] 图11是描述根据第六实施例的太赫兹波检测元件的配置的图。

[0027] 图12A和12B是描述根据第七实施例的信息获取设备的配置的图。

[0028] 图13是描述电-光契连科夫辐射现象的图。

[0029] 图14是描述根据相关技术的二次谐波产生元件的配置的图。

具体实施方式

[0030] 第一实施例

[0031] 将参考图1描述根据第一实施例的太赫兹波产生元件100(下文中也称为“元件100”)的配置。图1是元件100关于包含光104的传播方向的平面(第一平面)的截面图。具体而言，图1是包含光104的传播方向且又垂直于非线性光学晶体的表面的面处的截面图。注意，在本说明书中使用的“光104的传播方向”指的是非线性光学晶体的入射光104实质上传播的方向，被定义为连接非线性光学晶体的入射面的重心与出射面的重心的直线。

[0032] 元件100包括基板101、非线性光学晶体102(下文中也称为“晶体102”)、以及耦合部件103。基板101包括Y-切割(Y-cut)铌酸锂(LiNbO_3 ，下文中称为“LN晶体”)。

[0033] 包含晶体102的波导201在基板101上形成。当光104被入射到晶体102时产生太赫兹波。脉宽在1飞秒到100飞秒范围内的超短脉冲激光被用作入射到晶体102的光104。更具体而言，飞秒激光被入射到晶体102。注意，在本说明书中使用的术语“飞秒激光”是脉宽在1

飞秒到100飞秒范围内的超短脉冲激光。

[0034] 光104的波长优选包含在 $0.2\mu\text{m}$ 到 $10\mu\text{m}$ 的范围内。波长短于 $0.2\mu\text{m}$ 的光是真空紫外光,不适合用于大气条件。 $10\mu\text{m}$ 是用普通二氧化碳激光获取的光的波长。之后将详细描述波导201的配置。

[0035] 耦合部件103是用于从元件100外部地提取所产生的太赫兹波105的部件,包括反射面107。之后将描述耦合部件103的配置的细节。

[0036] 根据本实施例的元件100通过从晶体102的边面(edge face)入射光104并传播光104而产生太赫兹波105。所产生的太赫兹波105通过契连科夫辐射(电-光契连科夫辐射现象)而呈圆锥状发射,传播通过耦合部件103,并被外部地提取。虽然从晶体102发射的太赫兹波以直线绘制,但事实上,在从波导201进入耦合部件103时太赫兹波105被折射。

[0037] 现在参考图2描述波导201的配置。图2是描述根据本实施例的波导201的配置的图,并且是围绕图1中的晶体102的放大图。波导201包括用作芯层的晶体102,在芯层102上形成的上包覆层202,以及在芯层102下形成的下包覆层203。注意,在本说明书中,芯层102的上侧是其朝向耦合部件103的侧,而芯层102的下侧是其朝向基板101的侧。

[0038] 芯层102是产生太赫兹波的部分,包括是非线性光学晶体的LN晶体。非线性光学晶体的类型并不局限于LN晶体,而是可以使用各种各样的非线性光学晶体,包括 LiTaO_x , NbTaO_x , KTP, DAST, ZnTe, GaSe, GaAs等等。芯层102的厚度优选为,在芯层102处,从外部发射的最高频太赫兹波105的等效波长的一半或更小。

[0039] 芯层102的LN晶体的x轴被配置成对应于光104的传播方向,y轴对应于与非线性光学晶体垂直的方向。光104具有与x轴和y轴正交的z轴方向线性偏振波。

[0040] 这种配置通过二次非线性现象改善太赫兹波的产生,并且改善契连科夫辐射的效率。也就是说,LN晶体的晶轴设置被选择使得在光104和太赫兹波105之间实现相位匹配,并且对于光104和太赫兹波105的波向量满足相位匹配条件。

[0041] 上包覆层202和下包覆层203是折射率低于芯层102的层。芯层102的入射光104被陷入上包覆层202和下包覆层203之间的芯层102内。因此,光104传播通过芯层102而不离开波导201。

[0042] 基板101与用作芯层102的掺杂MgO的LN晶体通过粘合剂结合,使得粘合剂用作本实施例中的下包覆层203。上包覆层202是用于将芯层102与耦合部件103结合的粘合剂。注意,波导201的配置并不局限于这种配置,而是也可以通过与折射率低于芯层102的其他材料而非例如粘合剂结合,在芯层102周围提供包覆层。

[0043] 上包覆层202适合于由以下折射率低于LN晶体的材料形成:诸如 SiO_x 或 SiN_x 等的派生物的薄膜,或诸如聚乙烯对苯二甲酸酯(PET)的树脂的薄膜,等等。上包覆层202优选足够厚以用作包覆层,但足够薄到当从耦合部件103外部地提取太赫兹波时多次反射和损失的影响可以忽略不计的程度。

[0044] 具体而言,在传播通过芯层102的光104的一部分被泄露到上包覆层202的情况下,在上包覆层202与耦合部件103的界面处的光强度为芯层102处的光强度的 $1/e^2$ 或更小就足够了。上包覆层202的厚度优选为在上包覆层202处外部地发射的最高频太赫兹波105的等效波长的大约 $1/10$ 或更小。原因在于一般而言,如果该结构的厚度是电磁波的波长的 $1/10$ 或更小,反射、散射、折射等的效果对于电磁波而言可认为是忽略不计的。

[0045] 也就是说,上包覆层202的厚度 d 优选满足 $a < d < \lambda_{eq}/10$,其中 a 表示上包覆层202与耦合部件103的界面处的光强度为芯层102处的光强度的 $1/e^2$ 或更小的厚度, λ_{eq} 表示等效于上包覆层202处太赫兹波105的最大频率的波长的等效波长。然而,应注意的是,可以利用不同于上述的厚度产生太赫兹波。

[0046] 此外,对于下包覆层203优选满足 $a < d$,使得下包覆层203用作关于光104的包覆层。在太赫兹波105被发射到芯层102的下部的配置的情况下,下包覆层203的厚度也优选以与上包覆层202相同的方式满足条件 $a < d < \lambda_{eq}/10$ 。

[0047] 波导201可通过在芯层102上方和下方形成的、折射率低于芯层102的区域来形成,并且用于形成波导201和其配置的技术并不被特别限制。也就是说,该技术并不局限于使用粘合剂将具有不同折射率的部件结合在一起,而是例如可以使用以下技术:该技术用于使用LN晶体通过在基板101的一部分上扩散等形成波导201。

[0048] 考虑通过非线性效应产生太赫兹波,芯层102在横向(z 轴方向)上的宽度优选小。原因是,理论上,所产生的太赫兹波105的功率密度与光104的功率密度(光为脉冲激光情况下的峰值功率密度)的平方成比例。

[0049] 根据本实施例的波导201是脊形波导,其中芯层102的横向宽度小于要产生的太赫兹波的波长,该波导通过以下方法形成:要用作芯层102的部分被赋予高折射率以便与周围区域具有折射率的差异的方法,或者树脂等被嵌入在芯层102的周围的方法,等等。此外,可以进行以下布置,其中不像在本实施例中那样在芯层102周围提供不同的包覆层,而是可以作为一体化配置在上方、下方及各侧形成包覆层。

[0050] 如果芯层102的宽度太小,这可能导致在光104进入芯层102时耦合效率降低,波导损耗增大,等等。因此,芯层102的宽度优选不小于光104的中心波长且不大于其10倍。注意,术语“中心波长”意思是光104的频谱中强度(幅度)为最大的波长。

[0051] 芯层102的宽度也优选为输入光104可以按单模式传播通过芯层102的宽度。原因是,如果光104以多模式传播通过芯层102,则由于随着传播的进行导致的模色散,光104的峰值强度降低,导致到太赫兹波105的转换效率较低。此外,依赖于光104的输出,诸如光学损伤等的现象可能在LN晶体处发生,所以芯层102的宽度不得不也考虑这一点来确定。

[0052] 如果由于光104的输出强而在晶体102处发生光学损伤,可以提供多个波导以便以分割方式输入光104。也可以进行以下布置:提供不同结构和材料的多个波导,并且光104被入射到数个波导以便产生具有想要性能的太赫兹波105。

[0053] 此外,从多个波导产生的太赫兹波之间可能引起干扰,以便调整太赫兹波的波束形式和波束方向。应当进行这种配置使得要提取的太赫兹波不会因干扰而相互抵消。多个波导排列的方式并不特别限制;多个波导可以沿 z 方向或 y 方向排列,或以不平行的方式排列。此外,可以应用平板(slab)波导,其中芯层102以均匀的方式横向地延伸。

[0054] 接着将描述耦合部件103的配置。用于耦合部件103的材料是在波导201与耦合部件103的界面处太赫兹波105不被全反射,而是在耦合部件103内可被提取作为行波(traveling wave)的材料,以及太赫兹波105的损耗小的材料。满足这些条件的材料的例子是高阻抗硅(Si)。

[0055] 耦合部件103具有在从晶体102产生的太赫兹波105的传播方向上为凸的形状,并且具有反射和收集所产生的太赫兹波的至少一部分的反射面107。“收集”太赫兹波的表述

被定义为与反射之前相比,抑制太赫兹波的分散,诸如除了会聚太赫兹波,还使分散的太赫兹波平行,等等。

[0056] 反射面107被布置成使得,在包含光104的传播方向的平面处耦合部件103的反射面107与光104的传播方向之间的角,也就是说,反射面107关于光104的传播方向的倾斜度 α 的大小,满足

$$[0057] \quad 90^\circ - \theta_{\text{clad}} < \alpha < 90^\circ \quad (2)$$

[0058] 其中, θ_{clad} 是耦合部件103处的契连科夫角,由表达式(1), $\theta_{\text{clad}} = \cos^{-1}(n_g/n_{\text{THz}})$ 。同样, n_g 是晶体102关于光的群折射率, n_{THz} 是晶体102关于太赫兹波的折射率。

[0059] 注意,虽然在本实施例中,第一平面包含光104的传播方向并且垂直于晶体102的表面,但是本发明并不局限于此,所以第一平面包含光104的传播方向就足够了,关于基板101或波导201的倾斜度并不特别限制。这种配置导致太赫兹波105在反射面107反射并且从透射面108发射。

[0060] 此外,在反射面107被提供为满足表达式(3)的情况下,太赫兹波105不透过反射面107而是被全反射。尤其,在反射面107满足表达式(4)的情况下,在反射面107处被反射的太赫兹波105的波前106可以整形为平面的。

$$[0061] \quad \alpha \geq \sin^{-1}(n_e/n_{\text{THz}}) + 90^\circ - \theta_{\text{clad}} \quad (3)$$

$$[0062] \quad \alpha = 90^\circ - \theta_{\text{clad}}/2 \pm \lambda/8 \quad (4)$$

[0063] 其中 n_e 是耦合部件103的外部折射率, λ 是从非线性光学晶体产生的太赫兹波的波长。

[0064] 在此情况下,太赫兹波105对反射面107的入射角 i 、以及反射时的反射角 j 满足表达式(5)。注意,在本说明书中太赫兹波的入射角是入射到反射面的所产生的太赫兹波与反射面的垂线之间的角。反射角是在反射面反射的太赫兹波与反射面的垂线之间的角。

$$[0065] \quad i = j = \theta_{\text{clad}}/2 \quad (5)$$

[0066] 在本实施例中,LN晶体被用于晶体(芯层)102,高阻抗硅(Si)被用于耦合部件103,所以根据表达式(1),在波导201处的契连科夫角大约为65度。太赫兹波105在从波导201入射到耦合部件103时折射,并且耦合部件103处的契连科夫角 θ_{clad} 大约为50度。元件100被配置使得在第一平面处光104的传播方向与反射面107之间的角 α 为65度,这满足表达式(4)。

[0067] 图3A~3D为根据本实施例的太赫兹波产生元件100中,与光104的传播方向正交的面(第二平面)处的截面图的实例。在第二平面处耦合部件103的反射面107的截面的至少一部分包括在晶体102侧为凹的曲线,即,朝向太赫兹波105的传播方向为凸的曲线,曲线的中心在光104的传播方向上。

[0068] 耦合部件103的反射面107被配置使得,在太赫兹波105被反射的反射区域内,在与光104的传播方向正交的截面处其长度在光104的传播方向的越下游越长。换言之,在太赫兹波105被反射的反射区域中反射面107的曲率半径在光104的传播方向的越下游越小。

[0069] 具体而言,在太赫兹波105被反射的反射区域中,在通过第一位置且与光104的传播方向正交的截面处的曲率半径长于在通过第二位置且与光104的传播方向正交的截面处的曲率半径。因此,在通过光104的传播方向上的第一位置且与光104的传播方向正交的截面处反射面107的长度长于在通过光104的传播方向上的第一位置的下流的第二位置且与光104的传播方向正交的截面处反射面107的长度。

[0070] 也就是说,反射面107被配置使得,反射在光104的传播方向上的下游所产生的太赫兹波的反射区域处的光功率大于反射在光104的传播方向上的上游所产生的太赫兹波的反射区域处的光功率。这种配置使得在晶体102处产生的太赫兹波105的功率分布中的失真能够减小。

[0071] 一个例子是如下的配置:如图3A所示,在第二平面处的截面具有诸如弧形等的曲线。在此情况下,发射到耦合部件103的太赫兹波105的波前以第一平面301作为对称平面而呈圆锥状发射,太赫兹波105可以通过在反射面107处的发射来整形。

[0072] 本发明并不局限于上一例子,而是也可以应用诸如如图3B和3C所示的部分弧线(它是曲线)缺失的配置,等等。在此情况下,进行如下布置:所产生的太赫兹波105的功率小的区域对应于缺失部分,由此可以形成并提取具有基本上较大功率的太赫兹波。此外,包括诸如如图3D所示的椭圆的配置使得能够形成在晶体102的Z轴方向会聚的波束。也可以作出这些以及各种其他形式。

[0073] 注意,在与光104的传播方向正交的平面处的截面中,反射面107可以是对称的,以第一平面301作为对称平面,或者也可以如图3C所示不对称。

[0074] 根据本实施例的反射面107为包含圆锥面的一部分的形状,该圆锥面以光104的传播方向为轴。光104的传播方向与圆锥面的轴优选以太赫兹波105的等效波长的精度或更好的精度匹配。但是本发明并不局限于这种布置,而是可以应用包含部分曲面的形状等等,其中该曲面是通过旋转在作为轴的光104的传播方向上的任何直线或者曲线所获得的。

[0075] 在反射面107处反射的太赫兹波105透过耦合部件103的透射面108,并向外发射。虽然本实施例将太赫兹波105描述为垂直进入透射面108,但这不是限制性的。例如,通过使太赫兹波105以布儒斯特(Brewster)角(在耦合部件103由硅形成的情况下是16.3度)透过透射面108,可以减小由于反射导致的菲涅尔损失。耦合部件103可进一步包括与反射面107分离的其他反射面。

[0076] 下面将描述利用元件100产生的太赫兹波105的功率分布。为比较起见,描述使用根据PTL 2的准直仪作为耦合部件103的太赫兹波产生元件1400(下文中简称为“元件1400”)中的功率分布。

[0077] 图14示意了已经应用了PTL 2的元件1400的配置。注意,虽然PTL 2从进入非线性光学晶体1402(下文中称为“晶体1402”)的光1404产生二次谐波,在以下的说明中,这可以用根据本实施例产生太赫兹波的配置来替代。虽然非线性光学晶体中的二次谐波和太赫兹波的产生原理如此不同,但就通过契连科夫相位匹配从波导中排除了电磁波的事实而言,它们是相同的。

[0078] 已经应用了相关技术的元件1400包括具有晶体1402的基板1401、以及耦合部件1403,并且耦合部件1403具有反射面1406。用作包覆层的部件介于晶体1402和耦合部件1403之间。反射从晶体1402产生的太赫兹波1405的反射面1406的主要部分的至少一部分包括圆锥面,该圆锥面的轴与传播通过晶体1402的光1404的传播方向匹配。

[0079] 设置契连科夫角 θ_{clad} 为50度以及在太赫兹波1405的波长处耦合部件1403的折射率为3.42,根据PTL 2中描述的表达式($r=i=j=\theta_{\text{clad}}/2$),圆锥面的半顶角 α 为25度。太赫兹波1405到反射面1406的入射角 i 为25度,反射角 j 为25度。

[0080] 在光1404进入晶体1402时,从晶体1402产生的太赫兹波1405在耦合部件1403的反

射面1406处被反射并被整形,并且以与光1404通过晶体1402的传播方向相同的方向行进。在反射面1406反射的太赫兹波1405接着通过垂直透过透射面1407从耦合部件1403向外发射。圆锥状发射的太赫兹波1405的波前1408被整形为平面并且通过这种配置向外发射。

[0081] 将参考图4A和4B描述太赫兹波的功率分布。图4B是从光104和1404的传播方向的上游侧,观察从两个元件100和1400的各自耦合部件103和1403发射的太赫兹波的波前106和1408的图。图4A是在图4B中A1-A2截面上的各个位置处的太赫兹波的功率分布图。来自元件100的太赫兹波105的功率用圆圈来表示,来自元件1400的太赫兹波1405的功率用三角形表示。图4A中的横轴表示A1-A2截面上的位置,其中朝向A1侧的值较小而朝向A2侧的值较大。

[0082] 从图4A可以看出,在元件1400处产生的太赫兹波1405的功率分布是这样的:太赫兹波的功率朝向A1-A2截面的A2侧明显劣化。相比之下,在由根据本实施例的元件100产生的太赫兹波105的功率分布中,任何位置处的功率都没有多少差别,所以可以看出,功率分布中的失真减小。

[0083] 当光被输入到包含非线性光学晶体的波导时,波导上的光的功率距离波导的输入端越远就越小。这是因为光的脉宽随着光在波导上传播而被扩展。已知其它变化因素包括,由材料引起的分散、波导损失、晶体的不均匀性、输入到波导的光的相位特性,等等。

[0084] 随着光的功率变弱,从非线性光学晶体产生的太赫兹波的功率随着光传播通过波导也变弱。也就是说,太赫兹波的功率朝向光的传播方向的下游侧变小,呈现出如图5所示的功率分布。

[0085] 另一方面,反射面107和1406均为圆锥面的一部分,所以在与光的传播方向正交的截面处的反射面的长度(下文中可简称为“反射面的长度”)可能因太赫兹波被反射的位置而异。如果具有均匀功率的太赫兹波被输入到反射面的所有位置,那么在反射面的长度较长的位置处反射的太赫兹波将被分散,并且功率将变低。另一方面,在反射面的长度较短的位置处反射的太赫兹波将具有较高密度,并且功率比在反射面的长度较长的位置处反射的太赫兹波要大。

[0086] 就已经应用了PTL 2的元件1400而言,越靠近入射光1404的晶体1402的入射端侧(光的传播方向的上游侧)产生太赫兹波1405,这些太赫兹波1405的功率越大,并且这些太赫兹波1405在反射面1406的较短长度部分处被反射。在光1404的传播方向上的越下游产生太赫兹波1405,这些太赫兹波1405的功率越弱,并且这些太赫兹波1405在反射面1406的较长长度部分处被反射。也就是说,太赫兹波1405的功率越弱,在反射面1406的分散和功率密度的劣化就越大,所以,在A1-A2截面处的功率分布的失真越大。

[0087] 另一方面,根据本实施例的元件100被配置使得,功率较弱的太赫兹波105在反射面107的长度短的部分处被反射,功率较大的太赫兹波105在反射面107的长度长的部分处被反射。也就是说,传播通过晶体102的光104的功率变化对于太赫兹波105的功率分布所具有的影响、以及反射面107的长度对于太赫兹波105的功率分布所具有的影响是相反的。因此,可以降低所产生的太赫兹波105的功率分布中的失真。

[0088] 第二实施例

[0089] 将参考图6描述根据第二实施例的太赫兹波产生元件600(下文中称为“元件600”)。虽然在第一实施例中,太赫兹波105的全反射是在耦合部件103的反射面107处执行

的,但本实施例的耦合部件601的反射面606透过所产生的太赫兹波603的一部分。

[0090] 元件600包括基板101,具有晶体(芯层)102的波导201,以及耦合部件601。基板101和波导201具有与第一实施例相同的配置。光602传播通过晶体102以产生太赫兹波603。

[0091] 金刚石材料被用于耦合部件601。假设金刚石对频率约为1THz的太赫兹波的折射率为2.38,根据表达式(1),在所产生的太赫兹波605在耦合部件603处被发射的情况下,契连科夫角 θ_{clad} 为24度。

[0092] 通过设置反射面606与光的传播方向之间的角 α 以满足表达式(4),从表达式(5)得到太赫兹波603对于反射面606的入射角 i 为12度、反射角 j 为12度。透过反射面606的太赫兹波603与反射面606的垂线之间的角 k (出射角)为29度。

[0093] 从金刚石向大气发射的全反射角为25度,所以不会发生反射面606处太赫兹波603的全反射,而是一部分被透射。通过用菲涅尔方程式计算,将太赫兹波603偏振为 z 方向上的线性偏振光,得到太赫兹波603在反射面606处的功率透射率为79%。通过用树脂等涂敷反射面606可以任选地调整该透射率。

[0094] 在通过光602的传播方向上的第一位置并且与光602的传播方向正交的截面处反射面606的长度长于在通过光602的传播方向上的第一位置下游的第二位置并且与光602的传播方向正交的截面处反射面606的长度。在从晶体102产生的太赫兹波603被反射的反射区域处满足该条件就足够了。也就是说,在从晶体102产生的太赫兹波603被反射的反射区域处反射面606的曲率半径朝向光602的传播方向的下游侧减小。

[0095] 在反射面606处已经被反射或透过反射面606的太赫兹波603均被向外发射,其中功率分布的失真已经被减小。根据本实施例的元件600的配置(其中耦合部件被配置使得产生的太赫兹波603的一部分被透射)允许已经被整形并且功率分布中的失真已经被减小的太赫兹波603被分支为二。

[0096] 本实施例中,光602的传播方向与耦合部件601的反射面606之间的角 α 被配置成满足上述的表达式(4)。因此,在反射面606处被反射的太赫兹波603被整形使得波前605为平面的并且向外发射。已经透过反射面606的太赫兹波603也被整形,使得波前604为平面的并且向外发射。因此,根据本实施例,可以获得已经被整形并且功率分布失真被减小的太赫兹波的多个输出。

[0097] 可以单独使用在反射面606处被一分为二的太赫兹波603,或者太赫兹波603的两个输出可以在各自从耦合部件601被发射后再次被同轴接合,经受干扰并且用于检测。这可用于各种类型的已知干扰计,例如麦克逊(Michelson)干涉仪。

[0098] 第三实施例

[0099] 现在将描述第三实施例。在第一和第二实施例中,从晶体102产生的太赫兹波105已经被描述为通过耦合部件103从外部提取。在使用太赫兹波的信息获取设备中用作太赫兹波产生源的情况下,所提取的太赫兹波被光学系统引导至样本并且执行测量。相比之下,在本实施例中,样本701被放置在元件100的耦合部件103的任选面处,并且测量样本701。图7A示例性地示意了样本701被置于反射面107上的配置,图7B示例性地示意了样本701被置于透射面108上的配置。

[0100] 根据本实施例的太赫兹波产生元件具有与根据第一实施例的元件100相同的配置。也就是说,元件100具有基板101,晶体102,以及耦合部件103,光104传播通过晶体102以

产生太赫兹波105,这些太赫兹波105被发射至耦合部件103。所发射的太赫兹波105在耦合部件103的反射面107处被反射。

[0101] 所产生的太赫兹波105在置于反射面107上的样本701与耦合部件103的界面处被反射,并且向外发射,如图7A所示。可替代地,可以进行图7B所示的配置,其中样本701置于透射面108上,使得太赫兹波105在反射面107处被反射,然后透过透射面108和样本701以向外发射。因此,向外发射的太赫兹波105受样本701的光学特性等影响,其可以被检测和研究以获得关于样本701的信息。

[0102] 根据本实施例,可以利用太赫兹波以功率分布中几乎没有失真地测量样本。这种配置也无需提供外部光学系统和空间来用太赫兹波照射样本,这对减小信息获取设备的尺寸有贡献。

[0103] 第四实施例

[0104] 现在将参考图8描述根据第四实施例的太赫兹波产生元件800(下文中称为“元件800”)。图8是描述元件800的配置的图。元件800具有与根据第一实施例的元件100相同的配置。也就是说,元件800具有基板101,晶体(芯层)102,以及耦合部件103。不过上述的实施例是关于太赫兹波产生元件的,而根据本实施例的元件800检测已经穿过耦合部件103并且到达晶体102的太赫兹波802。

[0105] 线性偏振光801以其在从晶体102的z轴方向朝向y轴方向的任选倾斜角(例如45度)的偏振被入射到晶体102。此时,光801从第一至第三实施例中用于入射光104的面所面对的面被入射到晶体102。

[0106] 由于晶体102的双折射特性,在传播通过晶体102并发射的光801的电场中的z轴分量和y轴分量之间出现相位差,所以,光801被椭圆偏振。由于双折射导致的这种相位差因以下因素而异:用作晶体102的非线性光学晶体的类型,入射偏振的方向,波导201的长度,等等。依赖于配置,该相位差可以消除为零。

[0107] 在波前803为平面的状态下,太赫兹波802从耦合部件103的透射面108入射,在反射面107处被反射,然后在晶体102处被收集。光801传播通过晶体102,根据与产生太赫兹波802的过程相反的过程,在晶体102内出现太赫兹波802与光801之间的交互作用。

[0108] 注意,光801是从元件100的晶体102中与入射光104的面所面对的面入射的,所以,沿光的传播方向的上游侧和下游侧与第一至第三实施例中的相反。在与入射到非线性光学晶体的太赫兹波802的传播方向相反的方向上,反射面是凸的。在穿过光801的传播方向上的第一位置并且与光801的传播方向正交的截面处的反射面107的长度长于在穿过光801的传播方向上的第一位置上游的第二位置并且与光801的传播方向正交的截面处的反射面107的长度。在从晶体102所产生的太赫兹波802被反射的反射区域处构建这种配置就足够了。也就是说,在从透射面108进入的太赫兹波802被反射的反射区域处反射面107的曲率半径朝向光801的传播方向的下游侧变大。

[0109] 在光801传播通过晶体102的同时入射太赫兹波802时,由于太赫兹波802的电场而在晶体102处发生线性电-光效应(普克尔效应(Pockel effect),一种二次非线性过程)。因此,晶体102的z轴的折射率改变,并且光801的偏振状态也改变。

[0110] 结果,除了由于晶体102的双折射特性出现的相位差,在太赫兹波802的电场的影响下,关于光801的z轴分量也产生相位差。另一方面,关于光801的电场的y轴分量所出现的

相位差仅仅是由于晶体102的双折射特性所导致的相位差。关于光801的z轴分量所出现的相位差与关于y轴分量所出现的相位差不同,所以从晶体102中忽略的光801的传播状态(诸如椭圆偏振的椭圆率,主轴的方向等等)改变。如果该改变可以通过外部偏振元件(省略未示出)以及光检测器(省略未示出)等等来检测,则可以检测太赫兹波802的磁场的强度。

[0111] 从晶体102发射的光801可以通过利用沃拉斯顿棱镜(Wollaston prism)分成两个偏振光束并且通过两个光检测器(省略未示出)的差分放大改善信噪比(S/N ratio)来检测。这种通过差分放大改善信噪比不是必要的,所以通过使用偏振板可以只利用一个光检测器。为补偿所诱发的双折射,在晶体102的输出端与省略未示出的偏振器之间可以加入相位补偿板(例如,1/4波板)。

[0112] 虽然,在第一至第三实施例中用于入射光104的面所面对的面在本实施例中被用于入射光到晶体102,但是可以从同一面(端)入射光801。在此情况下,匹配长度更短所以信号强度更弱。

[0113] 此外,本实施例通过利用光801的偏振状态被太赫兹波802通过线性电-光效应改变的现象来调研太赫兹波802的影响,但本发明并不局限于此。可以使用其他方法,诸如检测传播通过晶体102的光801的相位变化,或者检测传播通过晶体102的光801的频率与太赫兹波802的频率之间的差频的光信号,即检测光的差拍信号,等等。

[0114] 太赫兹波802的检测灵敏度依赖于光801的状态以及太赫兹波802的强度。即使功率分布中几乎没有失真的太赫兹波802被入射到元件800的耦合部件103,功率分布中的失真也通过太赫兹波802反射出反射面107而增大。因此,可以通过调整光801的传播状态使得光801在太赫兹波802的功率大的位置处仍处于适合检测状态,改善检测灵敏度。

[0115] 在本实施例中,已经透过样本或者在样本处被反射的太赫兹波802被引导至元件800的耦合部件103,并经由反射面107被入射到晶体102。然而,这种布置不是限制性的,可以进行以下布置:样本901位于元件800的耦合部件103的任一面上,如图9A和9B所示。

[0116] 在图9A所示的布置中,已经从外部透过透射面108并且进入耦合部件103的太赫兹波802在位于反射面107处的样本901与耦合部件103的界面处被反射,然后进入晶体102。在图9B所示的布置中,已经从外部透过样本901和透射面108并且进入耦合部件103的太赫兹波802在反射面107处被反射并进入晶体102。这些配置无需提供外部光学系统和空间来引导在样本处被反射或透过样本的太赫兹波到检测器,这对减小信息获取设备的尺寸有贡献。

[0117] 第五实施例

[0118] 将参考图10A描述第五实施例。图10A示意了根据本实施例的太赫兹波产生/检测元件1000(下文中称为“元件1000”)的配置的例子。第一至第三实施例中的元件100已经被描述为具有产生太赫兹波的功能,而第四实施例中的元件800已经被描述为具有检测在分离的产生元件处产生的太赫兹波的功能。另一方面,根据本实施例的元件1000以单个元件既产生又检测太赫兹波。

[0119] 元件1000具有基板101,晶体102,以及耦合部件1001。基板101和包含晶体102的波导201具有与第一实施例相同的配置。耦合部件1001就材料和形状而言与根据第一实施例的耦合部件103相同,但耦合部件1001具有两个反射面1005和1006,而耦合部件103具有反射面107和透射面108。

[0120] 更详细地描述元件1000,通过产生传播通过晶体102的光1002而产生太赫兹波1004。所产生的太赫兹波1004传播通过耦合部件1001,并在反射面1006反射,由此被整形。

[0121] 之后,太赫兹波1004在反射面1005处被反射,再在反射面1006处被反射,并入射到晶体102。用于检测太赫兹波1004的检测光1003从已经入射了晶体102的光1002的面所面对的面被入射,所以太赫兹波1004可以用与第四实施例相同的方式来检测。

[0122] 在此情况下,如图10A所示的那样将样本1007放置于反射面1006处使得通过检测在样本1007处被反射的太赫兹波1004能够获得样本1007的信息。可替代地,样本1007可以位于反射面1005上,如图10B所示。

[0123] 虽然本实施例的配置涉及提供包含晶体102的一个波导201,但是可以提供分离的波导,使得产生光1002和检测光1003各自从不同的波导输入。产生光1002和检测光1003的光源可以相同或不同。在使用相同光源的情况下,来自光源的光在被入射到晶体102之前先被分束器等一分为二,接着,这二者被入射到晶体102。此外,从晶体102发射的没有被转换成太赫兹波的产生光1002可被用作检测光1003。

[0124] 根据本实施例的元件1000可以在所产生的太赫兹波的功率分布中的失真减小的情况下测量样本1007。所检测的太赫兹波1004在功率分布中有失真,所以可以通过调整使得在入射到晶体102的太赫兹波1004的功率强的位置处检测光1003仍处于适合检测状态,来改善检测灵敏度。

[0125] 此外,无需从外部提供外围光学系统以处理太赫兹波1004,所以可以提供小尺寸的产生/检测元件。这种太赫兹波产生/检测元件可应用于诸如内窥镜(endoscope)等的小尺寸的探测器,等等。

[0126] 第六实施例

[0127] 参考图11,在第六实施例中描述根据第五实施例的太赫兹波产生元件的变型。图11是描述太赫兹波产生/检测元件1100(下文中称为“元件1100”)的配置的图。元件1100是向根据第一实施例的元件100的配置中还加入了三角形棱镜1101的配置。

[0128] 三角形棱镜1101被设置成与耦合部件103的透射面108接触,样本1106被设置在三角形棱镜1101的全反射面1103上。三角形棱镜1101是包含硅的棱镜,面1104用良好地反射太赫兹波的诸如金属等的导电材料涂敷。

[0129] 三角形棱镜1101的全反射面1103是全反射太赫兹波1102的面。如果样本1106的折射率被假定为2,则在太赫兹波1102从三角形棱镜1101被入射到样本1106的情况下全反射角为36度。样本1106的折射率在本实施例中被假定为2,太赫兹波1102对全反射面1103的入射角被设置为45度,由此作出在全反射面1103处存在太赫兹波1102的全反射的配置。注意,在耦合部件103与三角形棱镜1101之间的界面处太赫兹波1102的反射优选尽可能接近0。

[0130] 元件1100在产生光1107被入射到晶体102时产生太赫兹波1102。所产生的太赫兹波1102在反射面107处被反射,由此减小了太赫兹波1102的功率分布失真。之后,太赫兹波1102透过透射面108并入射到三角形棱镜1101。

[0131] 太赫兹波1102传播通过三角形棱镜1101,在全反射面1103与样本1106的界面处被全反射,在面1104处被垂直反射,并且沿其路径折回以入射到晶体102。分析从晶体102发射的检测光1108能够以与第四实施例相同的方式检测太赫兹波和获得样本1106的信息。

[0132] 虽然,耦合部件103的透射面108和三角形棱镜1101在本实施例中是相邻地设置,

但是,这不是限制性的,耦合部件103和三角形棱镜1101可以一体化。此外,在本实施例中所使用的三角形棱镜1101的形式并不被特别限制,只要配置使得在样本1106所位于的全反射面1103处存在太赫兹波1102的全反射,并且全反射的太赫兹波1102被入射到晶体102。

[0133] 根据本实施例的元件1100,可以减小所产生的太赫兹波的功率分布中的失真。也可以利用太赫兹波以减小的功率分布失真来执行样本测量。此外,无需在外部提供外围光学系统来处理太赫兹波,所以能提供小尺寸的产生/检测元件。

[0134] 第七实施例

[0135] 作为第七实施例,将描述产生单频太赫兹波。在本实施例中,利用根据第一实施例的元件100产生单频太赫兹波。第一实施例使用超短脉冲激光用于入射到晶体102的光。相反,根据本实施例的太赫兹波产生元件通过将具有不同振荡频率的两支光入射到晶体102产生单频太赫兹波。

[0136] 输出具有两个不同振荡频率的光的光源的例子包括,掺杂钕的钇铝石榴石(Nd:YAG)-激发的磷酸氧钛钾光学参数振荡器(KTP-OP0),两波长可变的激光二极管等等。下文中将这两个光振荡频率称为 ν_1 和 ν_2 。

[0137] 在具有两个不同振荡频率 ν_1 和 ν_2 的光被入射到晶体102之后,产生单频太赫兹波105,相当于振荡频率 ν_1 和振荡频率 ν_2 之间的差波。所产生的太赫兹波105以与上述实施例相同的方式在反射面107处被反射,由此减小其功率分布中的失真。

[0138] 这种单频太赫兹波产生方法可应用于利用特定频率的太赫兹波执行测试或成像的情况,诸如通过将该频率与医药品中的特定物质的吸收谱相匹配来测试该特定物质的含有量。

[0139] 用于产生单频太赫兹波的方法并不局限于应用于第一实施例,而是可以应用于根据第二至第六实施例的太赫兹波产生装置、检测装置、以及产生/检测装置。在具有两个不同振荡频率的光被入射到太赫兹波检测元件或太赫兹波产生/检测元件的非线性光学晶体的情况下,可以检测单频太赫兹波,相当于振荡频率 ν_1 和 ν_2 之间的差波。改变两支光的频率差使得能够检测期望频率处的太赫兹波的幅度。

[0140] 第八实施例

[0141] 在第八实施例中描述使用太赫兹波的信息获取设备1200(下文中称为“设备1200”)。设备1200是利用太赫兹时域光谱学(THz-TDS)原理来获取太赫兹波的时间波形的THz-TDS设备。设备1200获取在样本1216处反射的太赫兹波1230的时间波形,作为样本1216的信息。利用所获取的时间波形可以获取样本1216的光学特性、形状以及其它这样的信息。也可以进行以下布置:基于所获取的样本1216的信息形成图像。

[0142] 图12A是设备1200的配置图。设备1200包括光源1201、分支单元1202、产生单元1204、抛物面镜1205a-1205d、分束器1206、检测单元1207、光学延迟部1209、放大单元1212、调制单元1213、信号获取单元1214以及处理单元1215。

[0143] 光源1201产生光并包含光纤。根据本实施例的光源1201输出飞秒激光(下文中称为“激光”)。

[0144] 从光源1201输出的激光在分支单元1202处被分为两支,其中一个输出穿过光纤1203并被输入到产生单元1204,而另一输出穿过光纤1208并到达检测单元1207。注意,光纤1203和1208可包含用于执行较高孤立子(soliton)压缩的高度非线性光纤,用于预线性调

频(pre-chirping)以减小从产生单元1204到检测单元1207的激光分散的影响的分散光纤,等等。优选地还有偏振保持光纤。

[0145] 产生单元1204是产生太赫兹波的单元,包含根据第一实施例的元件100。太赫兹波1230通过激光穿过光纤1203并进入用作产生单元1204的元件100的晶体102而产生。所产生的太赫兹波1203传播通过耦合部件103并从外部提取。

[0146] 光纤1203优选被配置成使得激光的输出不大于晶体102的数值孔径(NA)。这可通过将光纤1203的尖端形成为尾线(pigtail)的方法或其他方法来实现。这将提升从光纤1203到晶体102的入射激光的耦合效率。也可以利用透镜来执行空间耦合。在这些情形中,将非反射涂层施加于晶体102和光纤1203的末端使得能够降低菲涅尔损失和不必要的干扰噪声。通过与NA直接耦合(对接耦合(butt-coupling))以及模场(mode field)直径被设计成接近NA和晶体102的模场直径,光纤1203可与晶体102结合。在此情况下通过选择适当的粘合剂可减小反射。

[0147] 注意,在非偏振保持光纤被包含于光纤1203、光源1201等中的情况下,输入到产生单元1204的激光的偏振优选通过内联偏振(inline polarization)控制器来稳固。

[0148] 样本1216由来自产生单元1204的太赫兹波1230照射,该太赫兹波1230穿过包含抛物面镜1205a和1205b、分束器1206和抛物面镜1205c的光学系统。已经在样本1216处被反射的太赫兹波1230在抛物面镜1205d被收集并被输入到检测单元1207。

[0149] 另一方面,穿过光纤1208的激光穿过光学延迟部1209和透镜1210并从与样本1216处被反射的太赫兹波1230的相反侧被输入到检测单元1207。之后在本说明书中将进入检测单元1207的激光将被称为“探测光”。

[0150] 光学延迟部1209是通过适当地改变光学路径的长度上的差异来调整太赫兹波1230的检测定时的部分,其中太赫兹波1230和探测光在这些光学路径上行进以进入检测单元1207。用于探测光回环(loopback)的回环光学系统以及移动回环光学系统的可移动部分在本实施例中用于改变光学路径的长度,其中探测光在该光学路径上行进以被输入到检测单元1207。

[0151] 光学延迟部1209并不局限于上述配置。可以将旋转系统应用于移动部分。可替换地,也可以应用调整沿探测光的传播路径的折射率以改变光学路径长度的方法,等等。另一方面,利用诸如上述的方法,可以改变激光从光源1201行进到产生单元1204的光学路径的长度,而不是探测光行进的光学路径。

[0152] 检测单元1207是检测太赫兹波1230的部件,使用光电导元件,该光电导元件是通过在低温生长的砷化镓(GaAs)上形成偶极子天线来制造的。在从光源1201输出的激光的波长为 $1.55\mu\text{m}$ 的情况下,二次谐波产生(SHG)晶体(省略未示出)可设置在探测光的传播路径上。使用SHG晶体产生二次谐波使得能够获得适合于GaAs激发的探测光,从而能够实现高精度检测。

[0153] 优选使用的SHG晶体是周期性极性反转(poled)的铌酸锂(PPLN)的晶体,大约0.1毫米厚,以维持激光的脉冲形式。注意,在脉宽足够小的情况下,如同本实施例的情况,基波可照样用作探测光。

[0154] 在检测单元1207处检测的信号经受相位敏感检测,并且其输出信号在放大单元1212被放大并被转发到信号获取单元1214。光学斩波器1211是调制探测光以便执行相位敏

感检测的部件,由调制单元1213控制。

[0155] 信号获取单元1214是从检测单元1207获取输出信号的部件。处理单元基于信号获取单元1214所获取的输出信号获取时间波形,并且检查该时间波形,从而获取关于样本1216的信息。样本1216的内部结构的图像也可以基于所获取的样本1216的信息来获得。

[0156] 如果样本1216内存在折射率不同的部分(界面),在这些界面处反射的太赫兹波的时间波形依赖于界面的深度而在样本1216的内部结构的成像中出现在时间波形上的不同位置。因此,样本1216的一维扫描使得能够获得层析图像,而样本1216的二维扫描使得能够获得三维图像。

[0157] 注意,在抛物面镜1205c处所收集的太赫兹波1230(样本1216被它照射)以及在样本1216处被反射并朝向抛物面镜1205c行进的太赫兹波1230通常是同轴的。因此,由于两个太赫兹波1230在分束器1206被分支,因此,太赫兹波1230的功率降低。由此,可以进行诸如图12B所示的布置,其中另外提供一个或多个抛物面镜1205e以形成非同轴配置。在此情况下,照射样本1216的太赫兹波1230的入射角不是90度,但是所检测的太赫兹波1230的输出可以增大。

[0158] 虽然根据第一实施例的元件100在本实施例中已被用作产生单元1204,但是也可以使用第一至第三实施例中的太赫兹波产生元件等中的任一个。在使用根据第三实施例的元件的情况下,不需要提供光学系统来引导太赫兹波1230从产生单元1204到达样本1216。

[0159] 虽然本实施例中检测单元1207被用作光电导体,这可以由根据第四和第五实施例的太赫兹波检测元件或另一太赫兹波检测元件来取代。在使用根据第四和第五实施例的太赫兹波检测元件作为检测单元1207的情况下,产生单元1204的配置不作限制,可以使用根据上述实施例的太赫兹波检测元件,或者可以使用诸如光电导体的已知太赫兹波产生元件。在使用根据第五实施例的元件1000的情况下,可以省略引导在样本1216处被反射的太赫兹波1230到检测单元1207的光学系统。

[0160] 产生单元1204和检测单元1207也可以由诸如第五和第六实施例中所述的产生/检测元件来取代,以便具有单个产生/检测单元。在此情况下,可以省略引导太赫兹波1230从产生单元1204到达样本1216的光学系统,以及引导太赫兹波1230从样本1216到达检测单元1207的光学系统。此外,虽然设备1200已经被描述为检测在样本1216处反射的太赫兹波1230,却也可以检测透过样本1216的太赫兹波1230。

[0161] 此外,根据第一至第七实施例的太赫兹波产生元件、太赫兹波检测元件以及太赫兹波产生/检测元件的应用并不局限于根据本实施例的THz-TDS设备,而是也可以应用于其他信息获取设备。

[0162] 使用元件100作为产生单元1204使得根据本实施例的设备1200能够利用功率分布失真减小的太赫兹波测量样本1216,这能够实现高分辨率测量。功率分布失真的减小意味着照射样本1216的太赫兹波的功率更大,所以可以预期改善的信噪比。此外,在本实施例中利用光纤配置光学系统,所以可以预期设备1200的尺寸的减小。

[0163] 第一示例性实施例

[0164] 现在将描述根据第一实施例的元件100的更为详细的配置实例作为第一示例性实施例。波导201的长度为10mm。波导201中所包含的芯层102由掺杂MgO的LN晶体层形成,该LN晶体层5 μ m宽,3.8 μ m厚。在芯层102上形成5 μ m宽2 μ m厚的上包覆层202。上包覆层202是光学

粘合剂,用于将芯层102与耦合部件103结合在一起。

[0165] 由所产生的太赫兹波105的波长确定上包覆层202的厚度。在太赫兹波105的最大频率为7THz的情况下,在自由空间中太赫兹波105的波长为大约 $43\mu\text{m}$ 。如上所述,上包覆层202的厚度优选为 $\lambda_{\text{eq}}/10$ 或更小。在缓冲层的折射率为1.5的情况下, $\lambda_{\text{eq}}/10=2.85$,所以上包覆层202的厚度被设置为 $2\mu\text{m}$ 以便处于该厚度范围之内。

[0166] 高阻抗硅被用于耦合部件103。耦合部件103的反射面107具有类似圆锥面的形状,一部分圆锥面被切除,并且被配置使得圆锥面的轴109和光104的传播方向一致。此时,光104的传播方向与反射面107之间形成的角 α 为65度。耦合部件103的从波导201的入射端到圆锥面的顶点110的尺寸为18mm。

[0167] 本实施例中的契连科夫角 θ_{clad} 为50度。在太赫兹波105被入射到反射面107的情况下,太赫兹波105与反射面107的垂线之间的角 i (入射角)为25度,在反射面107处被反射的太赫兹波105与反射面107的垂线之间的角 j (反射角)也为25度。

[0168] 晶体102的入射光104是超短脉冲激光,其峰值波长为 $1.6\mu\text{m}$,脉宽为20飞秒,平均功率为60毫瓦,波束直径(不低于最大强度的 $1/e^2$ 的强度部分的直径)为 $6\mu\text{m}$ 。在从晶体102的末端入射的光104以单模式传播通过晶体102时,通过契连科夫辐射圆锥状发射来产生太赫兹波105。

[0169] 所发射的太赫兹波105传播通过耦合部件103,并在反射面107处被反射。在组成耦合部件103的高阻抗硅与空气的界面处的全反射角为大约17度,所以太赫兹波105在反射面107被全反射。在反射面107处被反射的太赫兹波105透过透射面108,并被发射到耦合部件103外部的空间。

[0170] 根据本实施例的元件100,可以获得功率分布几乎没有失真的太赫兹波,同时将太赫兹波的波形整形为几乎平面的。

[0171] 虽然参考示例性实施例描述了本发明,应当理解的是,本发明并不局限于所公开的示例性实施例。所附权利要求的范围要给予最广义的解释以便包含所有这些修正以及等效结构和功能。

[0172] 例如,已经在上述实施例中就非线性光学晶体102的宽度小到可以被认为是没有宽度的点光源的情形作了说明。然而,本发明并不局限于此,而是本发明也可以应用于非线性光学晶体102具有实质宽度的情形。

[0173] 在此情况下,在与光的传播方向正交的截面处耦合部件103的反射面107的形状优选根据与光的传播方向正交的面处太赫兹波105的波前来改变。一个可想到的例子是诸如图3D所示的接近椭圆形状的形式。这种形状使得波前更接近于平面,同时减小在反射面107处被反射的太赫兹波的功率分布中的失真。

[0174] 此外,在上述实施例中就反射面的宽度在包含光的传播方向的平面中是直线的情形进行了说明,但也可以是曲线而非直线。在这种情况下,反射面与光的传播方向之间的角 α 应当被使得是组成反射面的曲线的切线(tangent)与光的传播方向之间的角。

[0175] 此外,在上述实施例中已经就LN被用作非线性光学晶体的情形作了说明,但本发明并不局限于于此,而是也可以使用其他非线性光学晶体。LN具有足够大的关于太赫兹波的折射率与关于激光的折射率之间的差异,所以可以提取非共线地产生的太赫兹波。

[0176] 然而,依赖于所使用的非线性光学晶体,该折射率差异可以如此小以致于所产生

的太赫兹波不容易被提取。这种情形可以通过以下来处理：提供波导201使得非线性光学晶体102与耦合部件103足够近，并且形成具有大于非线性光学晶体的折射率的材料耦合部件103。这种配置实现了用于所产生的电磁波的契连科夫辐射的条件($V_{\text{THz}} < V_g$)，使得可以从外部提取太赫兹波。

[0177] 太赫兹波产生元件的波导201的长度(x方向上的长度)可以被扩展以增大太赫兹波的输出。在此情况下，耦合部件103的尺寸被如此改变以匹配波导201的长度，使得可以使用更多产生的太赫兹波。

[0178] 基板101也不受限于上述实施例，而是可以进行各种变化。例如，基板101的尺寸可以在波导201能被融化的范围内减小。可以改变基板101的背面，它是形成波导201的面所相对的面。具体例子包括斜着切割，使得防止基板101的背面上反射的光变成杂散光，并且在太赫兹波也被照射到基板101的背面的情况下，也可以在此设置棱镜或透镜。可以使用各种材料，例如硅、树脂等等。此外，也可以进行不提供基板101的布置。

[0179] 本申请要求2013年10月9日提交的日本专利申请No. 2013-212295以及2014年9月8日提交的日本专利申请No. 2014-182737的权益，它们在此全文并入作为参考。

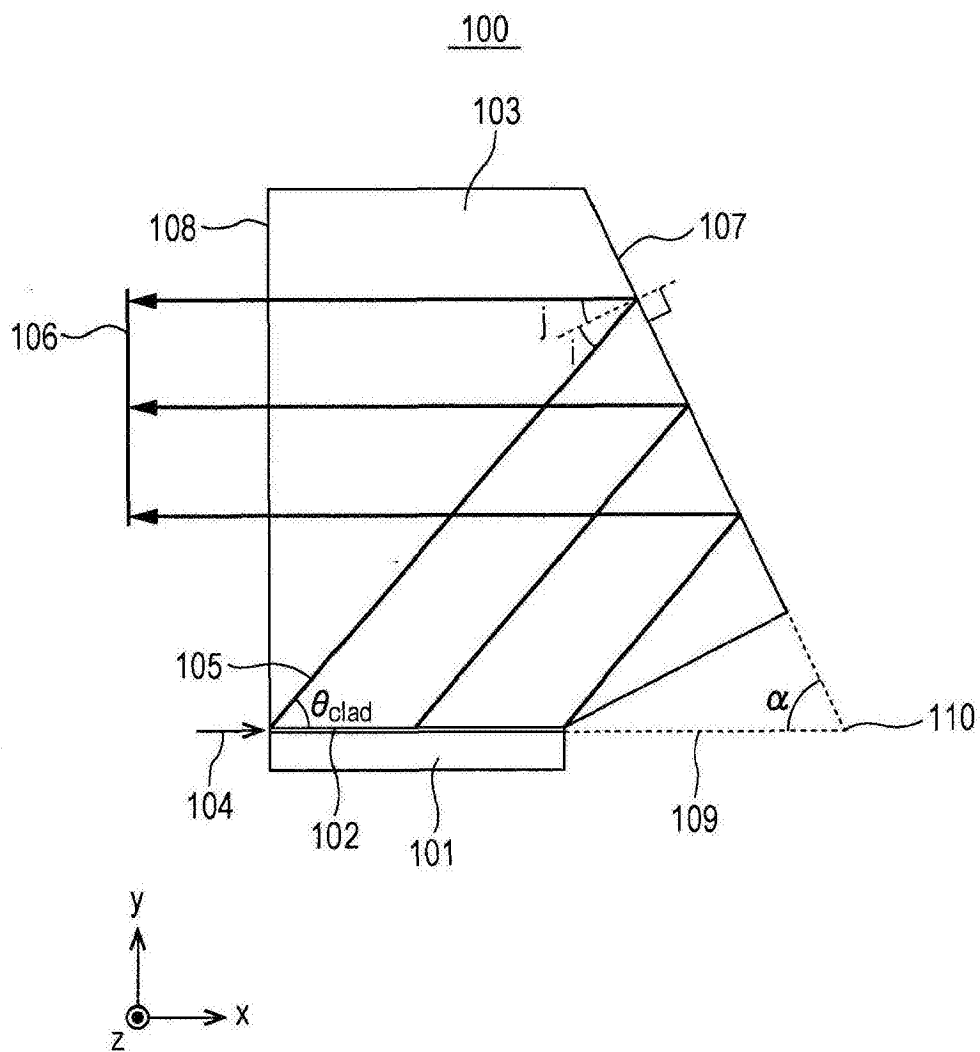


图1

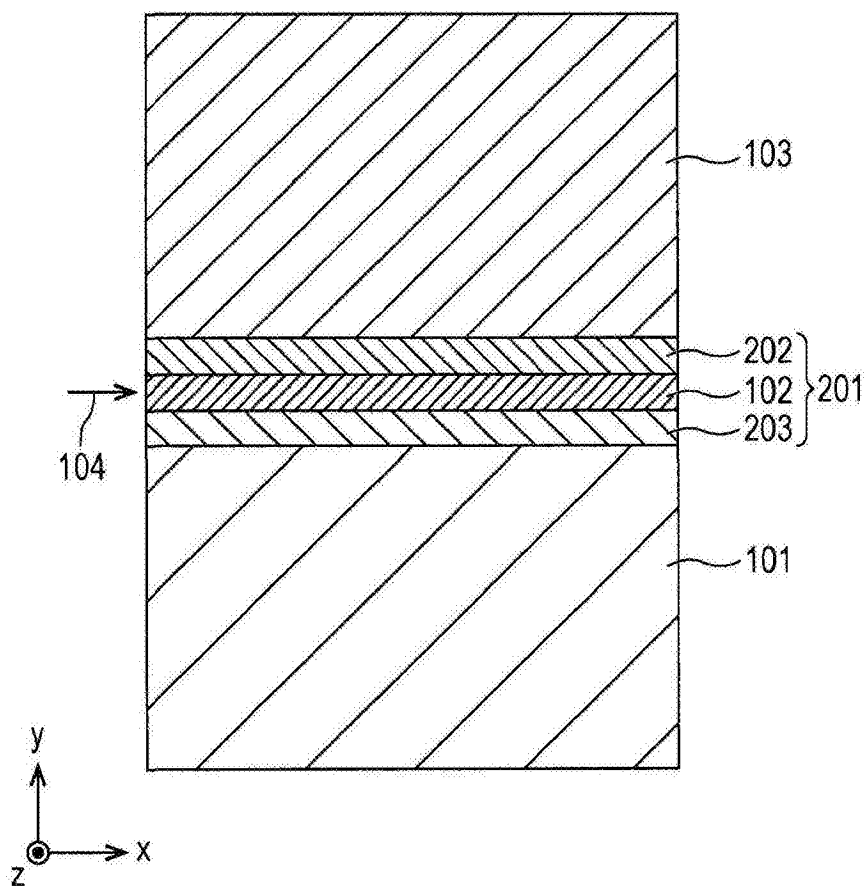


图2

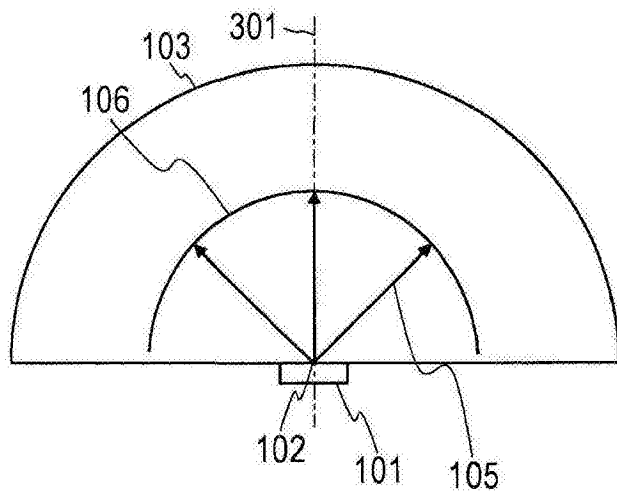


图3A

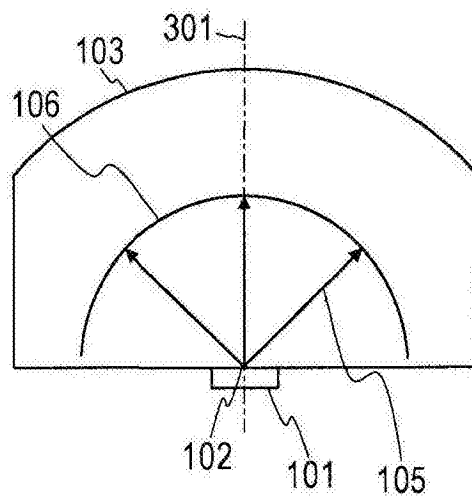


图3B

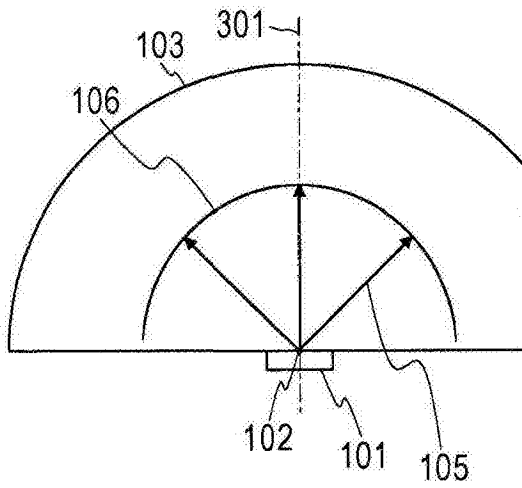


图3C

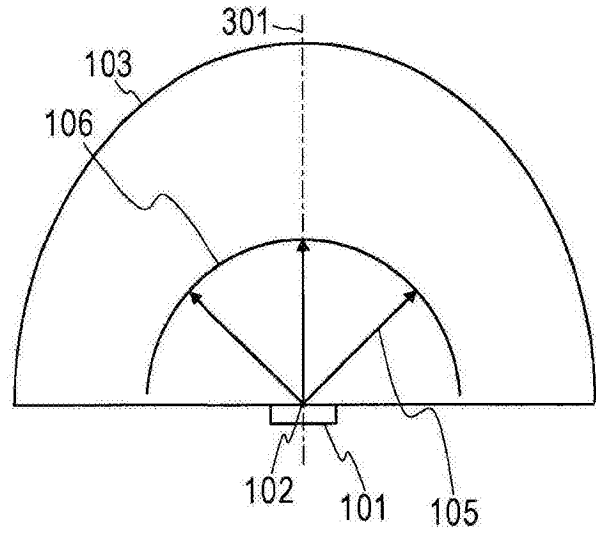


图3D

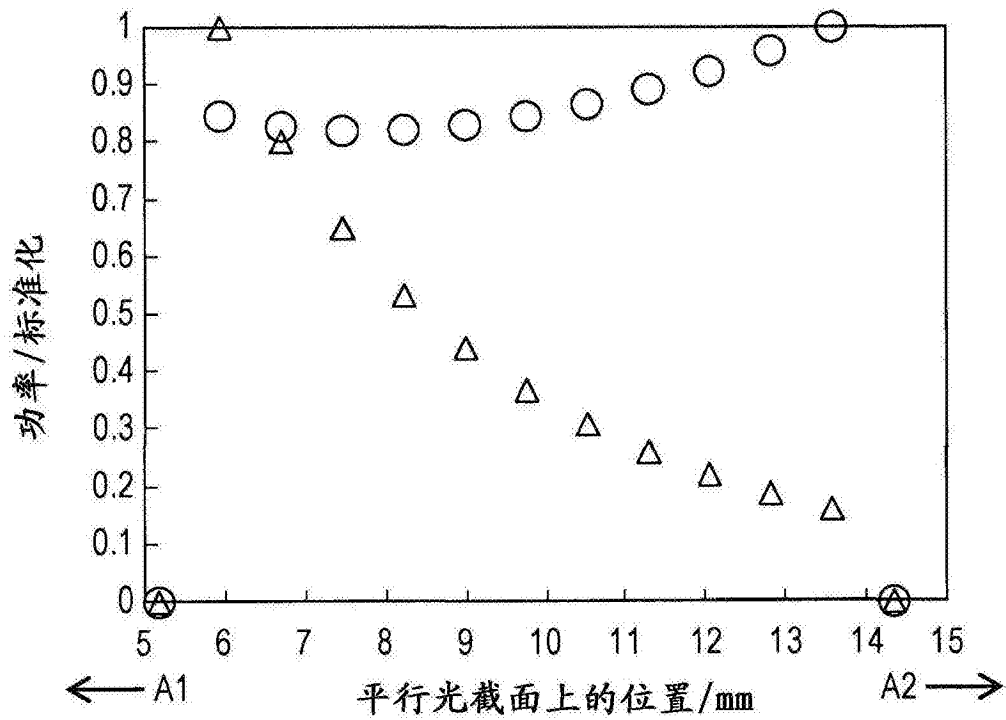


图4A

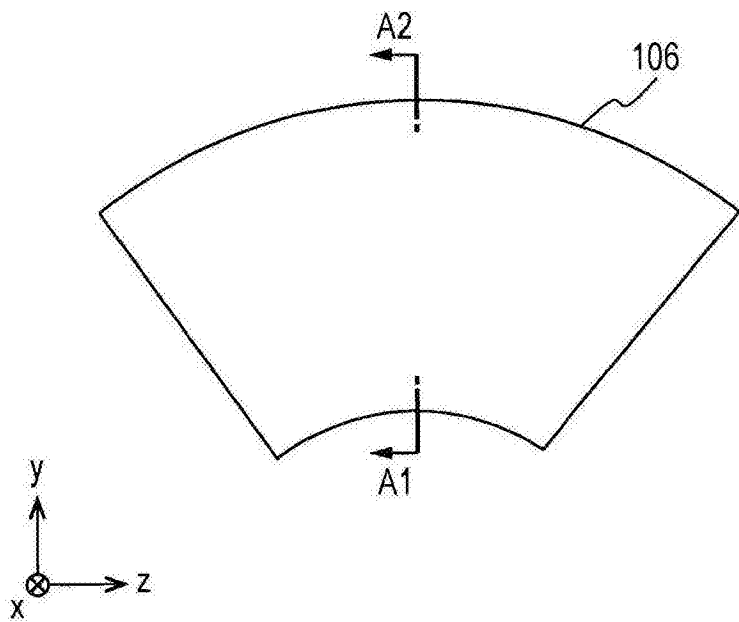


图4B

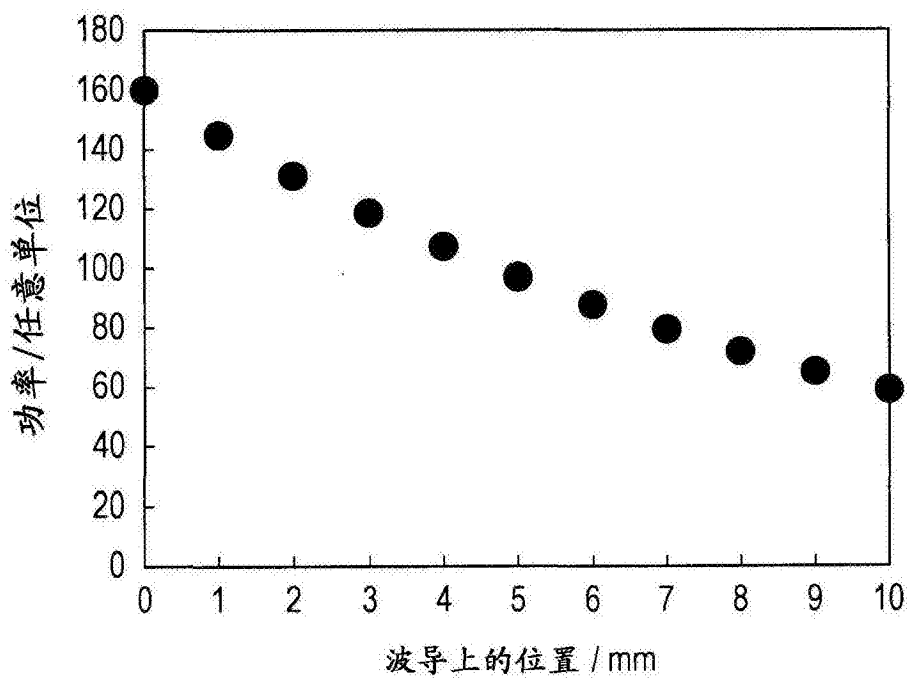


图5

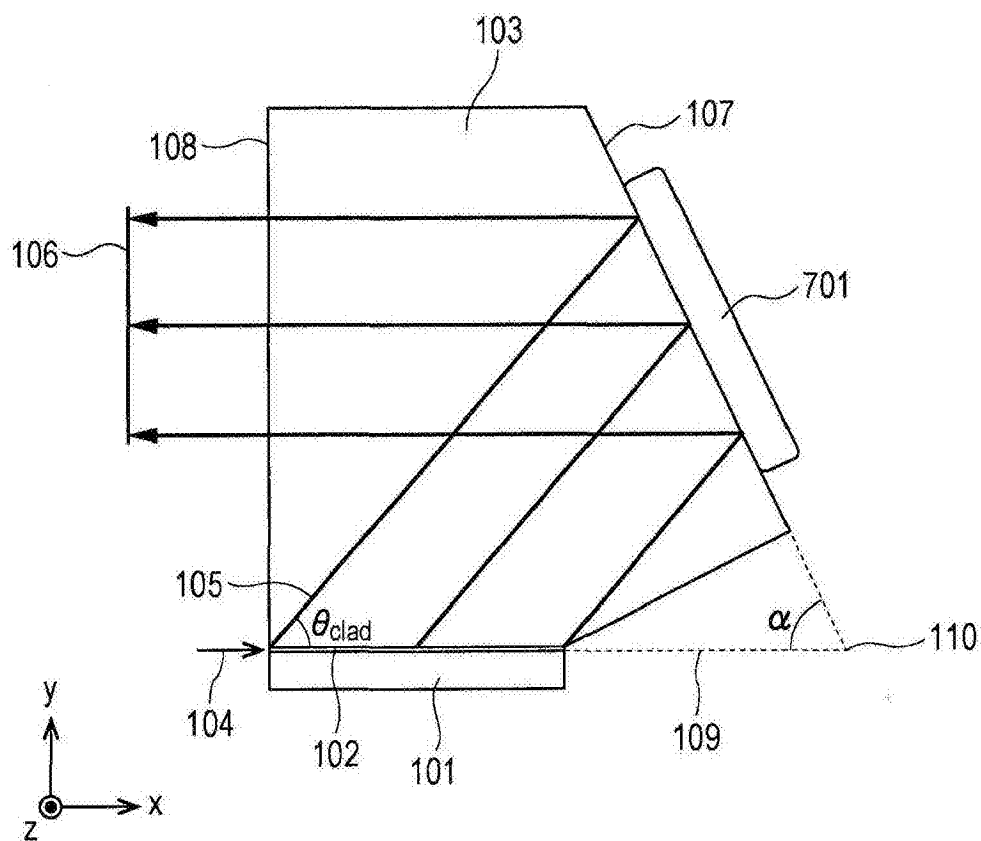


图7A

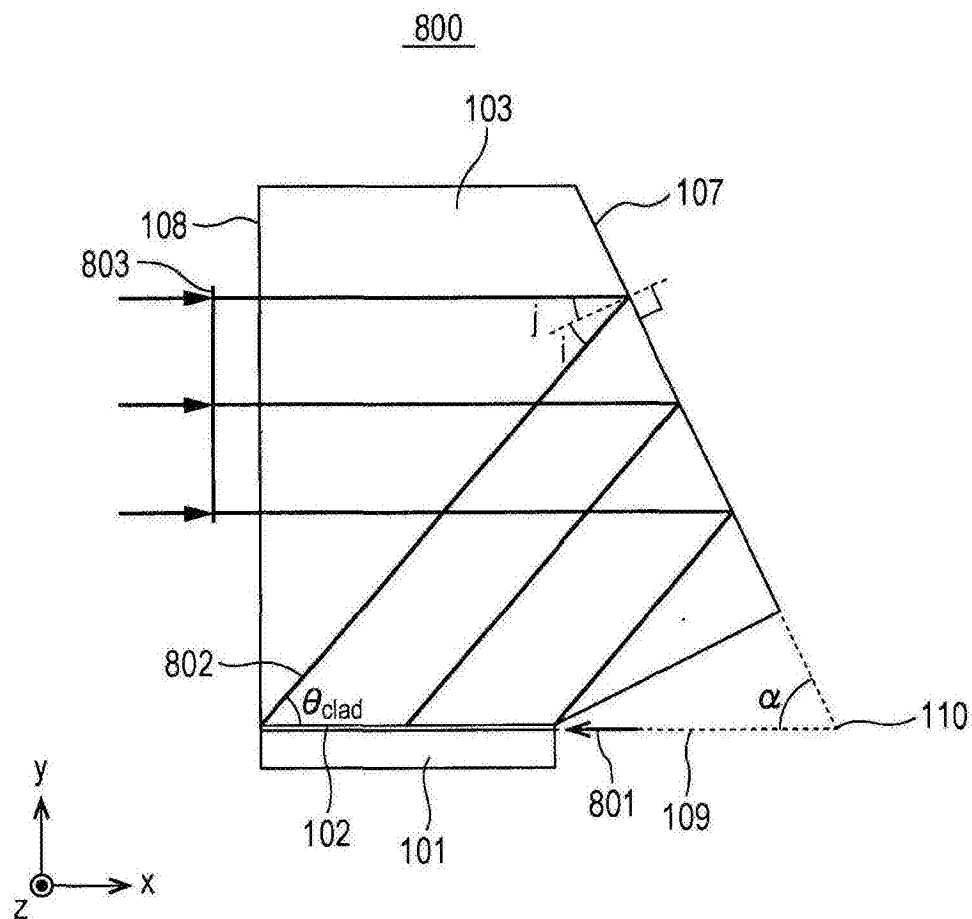


图8

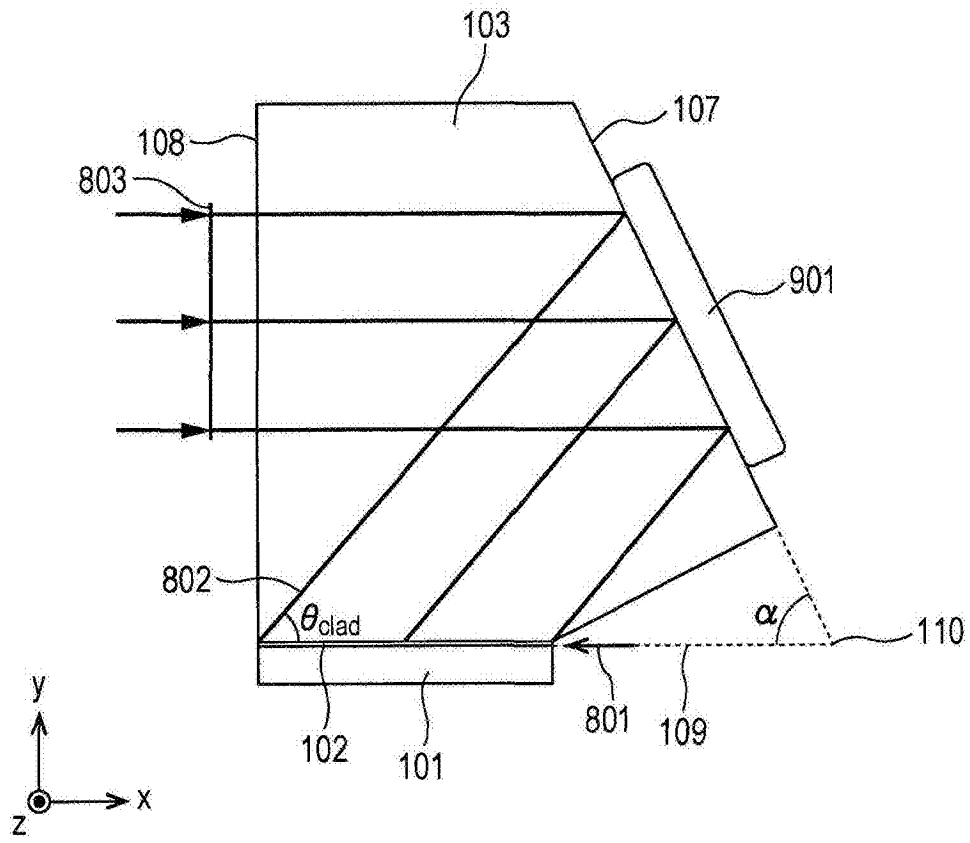


图9A

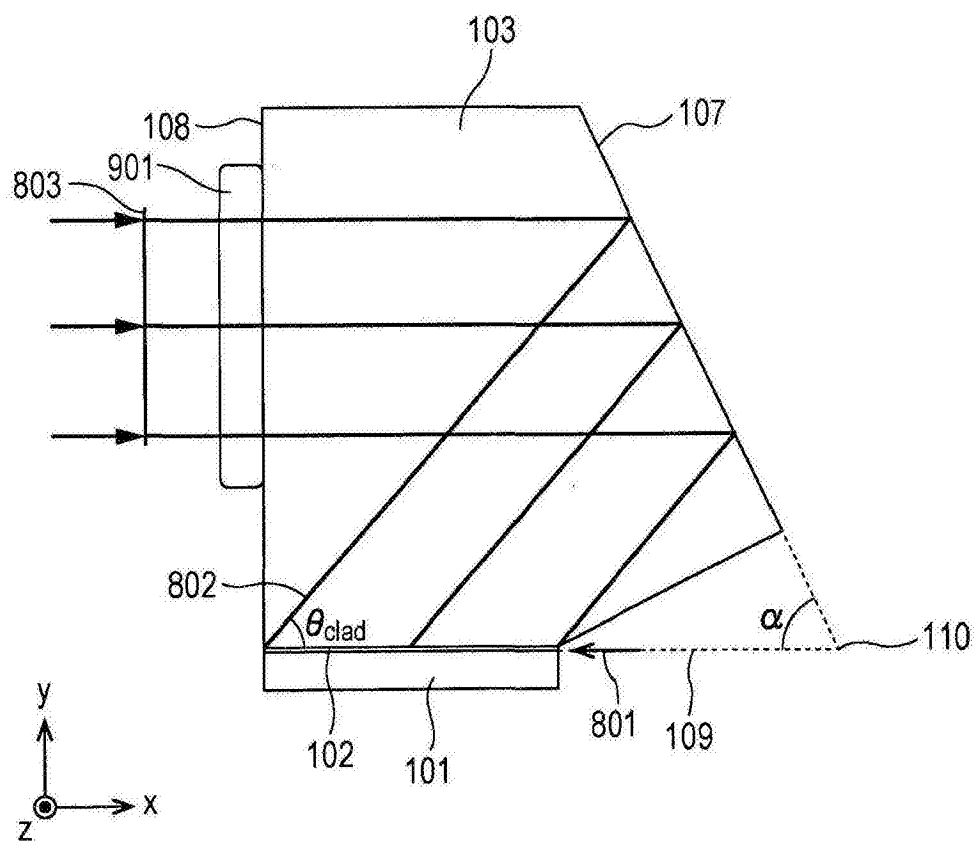


图9B

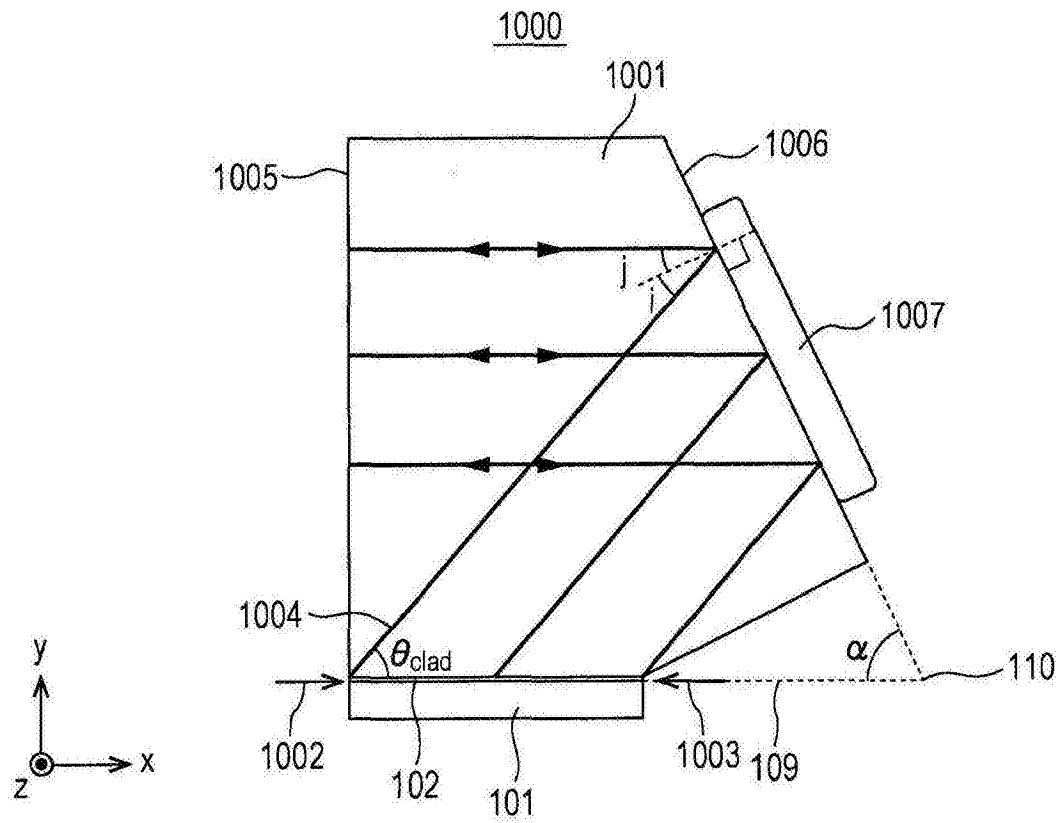


图10A

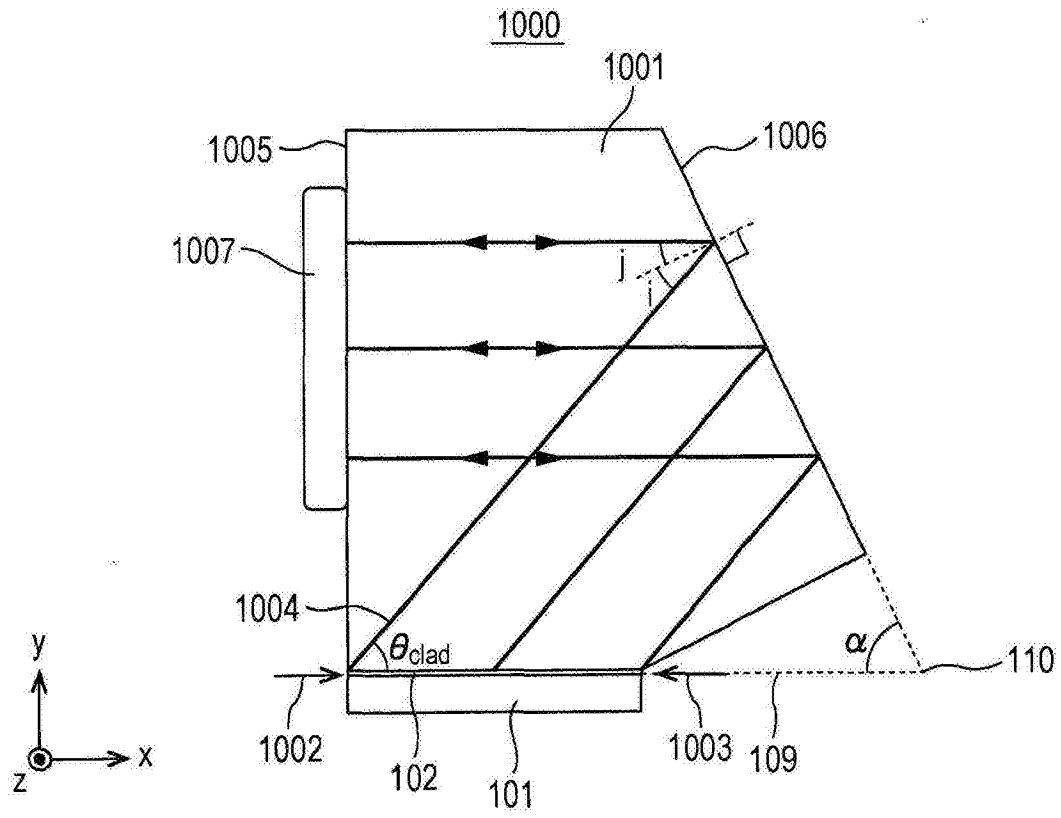


图10B

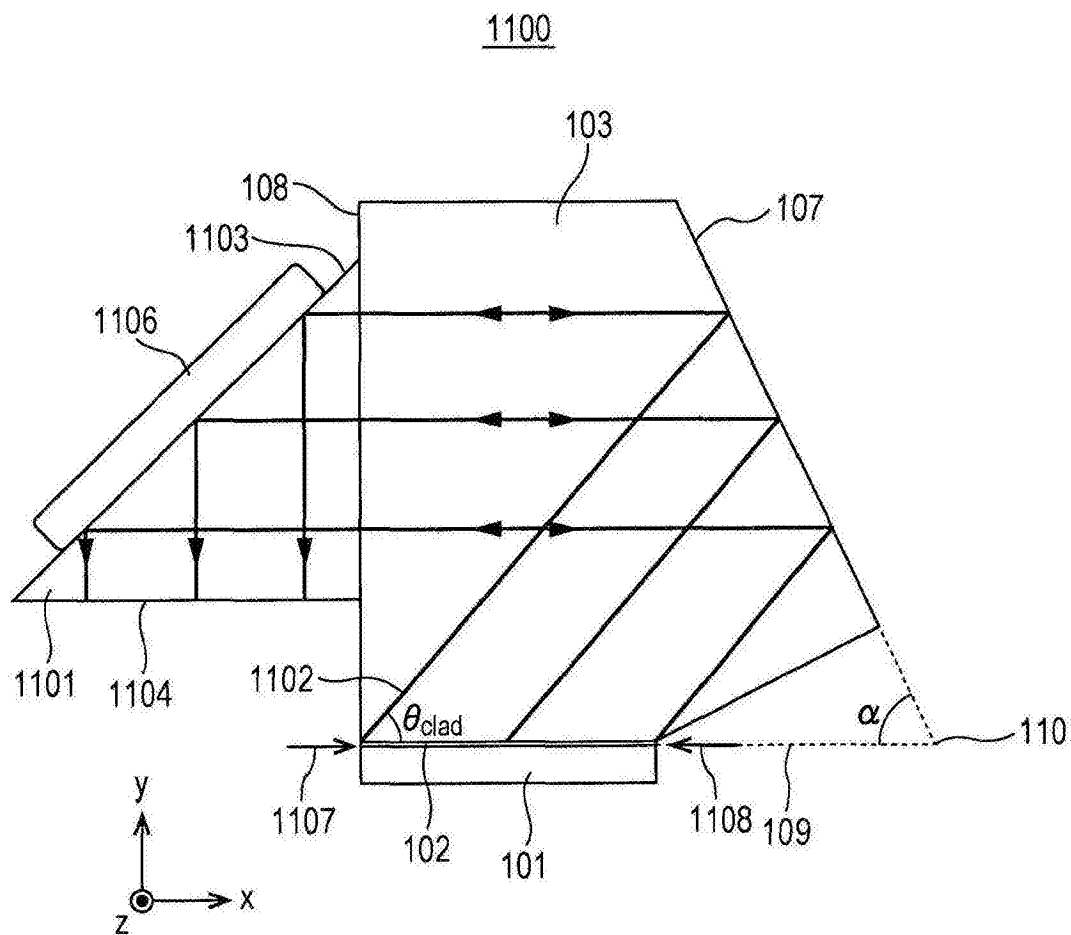


图11

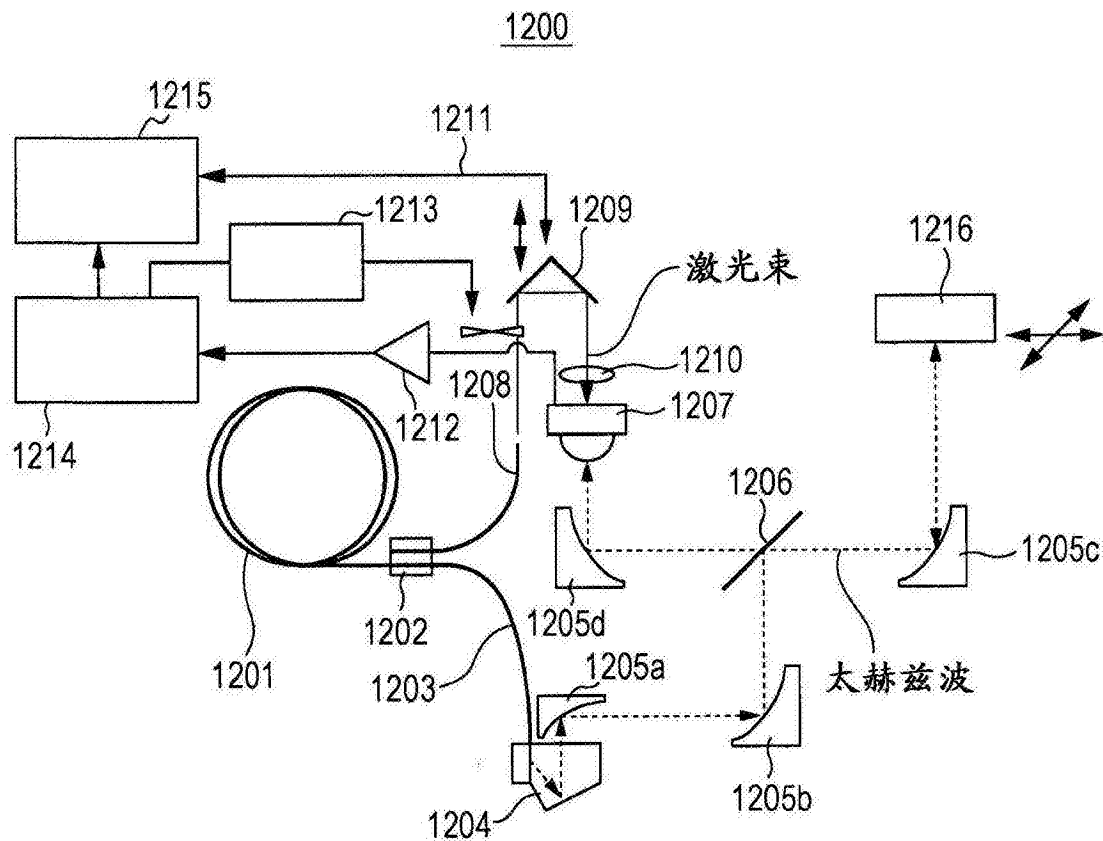


图12A

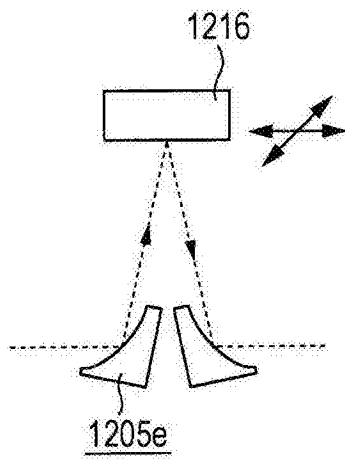


图12B

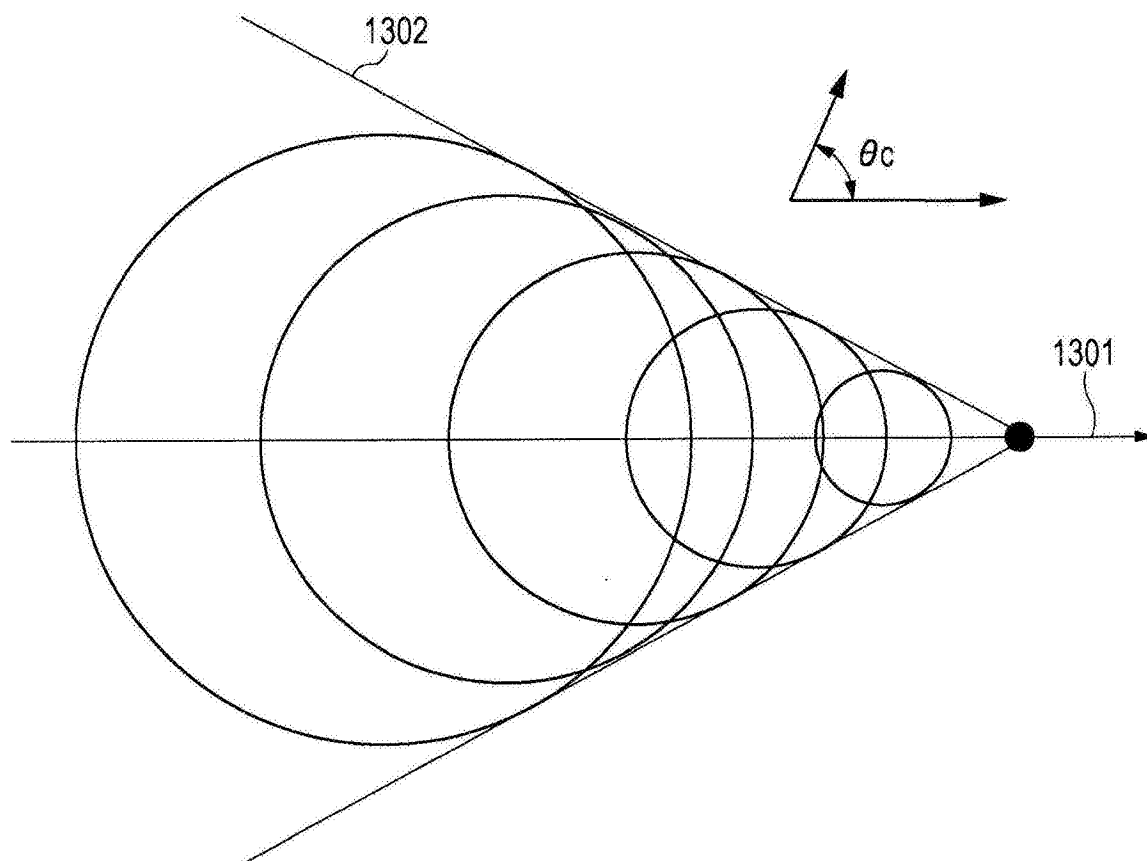


图13

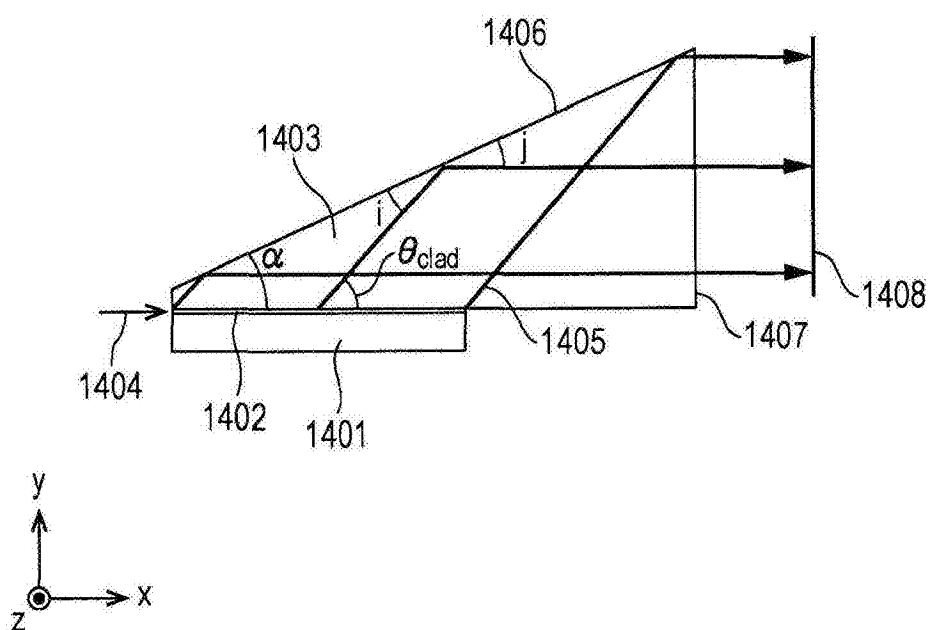
1400

图14