(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107209436 B
(45)授权公告日 2020.09.11

(21)申请号 201680008540.1

(22)申请日 2016.02.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107209436 A

(43)申请公布日 2017.09.26

(30)优先权数据
10-2015-0107515 2015.07.29 KR
62/111,583 2015.02.03 US
15/010,967 2016.01.29 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.08.03

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/016475 2016.02.03

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2016/126896 EN 2016.08.11

(73)专利权人 三星电子株式会社
地址 韩国京畿道
专利权人 加州理工学院

(72)发明人 韩承勋 黄耀纬 H.A.阿特沃特 李浩玮 R.索科彦 G.帕帕达基斯 K.特亚加拉詹

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 张波

(51)Int.Cl.
G02F 1/29(2006.01)
G02F 1/00(2006.01)
G02F 1/01(2006.01)
G02B 5/00(2006.01)
B82Y 20/00(2011.01)

(56)对比文件
US 2014185122 A1,2014.07.03
US 2014158198 A1,2014.06.12
US 2014085693 A1,2014.03.27
US 2011103742 A1,2011.05.05
WO 2014126789 A1,2014.08.21

审查员 全宇军

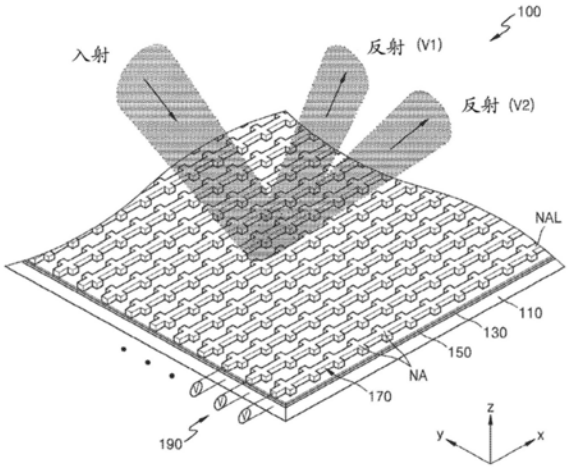
权利要求书2页 说明书9页 附图10页

(54)发明名称

具有栅结构的光学调制装置

(57)摘要

光学调制装置包括等离子体光子纳米天线层、面向等离子体光子纳米天线层的金属层，在等离子体光子纳米天线层与金属层之间的电容率变化层和介电材料层。根据外部信号形成在电容率变化层中的有源区域可以用作控制光学调制性能的光栅。



CN 107209436 B

1.一种光学调制装置，包括：

等离子体光子纳米天线层；

金属层；

电容率变化层，设置在所述等离子体光子纳米天线层与所述金属层之间，所述电容率变化层的电容率根据施加到其上的电信号而变化；

介电材料层，设置在所述等离子体光子纳米天线层和所述金属层之间；以及

信号施加器件，所述信号施加器件包括电源，所述电源配置为在所述等离子体光子纳米天线层和所述金属层之间施加电压，从而引起所述电容率变化层的电容率的变化，

其中，所述等离子体光子纳米天线层包括在第一方向上彼此间隔开的多个纳米天线线，并且其中，所述多个纳米天线线中的每一个包括在与所述第一方向不同的第二方向上彼此连接的多个纳米天线，

其中，所述电源配置为在所述多个纳米天线线中的每一个和所述金属层之间独立地施加电压。

2.根据权利要求1所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层包括电光材料，所述电光材料的电容率根据施加到其上的电信号而变化。

3.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层包括透明导电材料。

4.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层包括过渡金属氮化物。

5.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层包括有源区域，所述有源区域的载流子浓度根据施加在所述等离子体光子纳米天线层和所述金属层之间的电压而变化。

6.根据权利要求5所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层的有源区域与介电材料层相邻。

7.根据权利要求5所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层的介电常数的实部在预定波长带中等于0。

8.根据权利要求7所述的光学调制装置，其中，所述预定波长带根据所述有源区域中的载流子浓度而不同。

9.根据权利要求7所述的光学调制装置，其中，通过所述电源施加在所述等离子体光子纳米天线层和所述金属层之间的电压位于包括一电压值的范围内，在所述电压值处所述等离子体光子纳米天线层的共振波长带和所述预定波长带相同。

10.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，所述多个纳米天线中的每一个可以具有十字形状，其中在所述第一方向上具有长度的纳米棒和在所述第二方向上具有长度的纳米棒彼此交叉。

11.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，所述多个纳米天线中的每一个是圆形、椭圆形、多边形、X形和星形中的一个。

12.根据权利要求2所述的光学调制装置，其中，施加在所述金属层和所述多个纳米天线线中的每一个之间的电压值在第一方向上具有预定的规则性。

13.根据权利要求1所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层设置在所述金属层上，并且所述介电材料层设置在电容率变化层上。

14.根据权利要求1所述的光学调制装置，其中，所述介电材料层设置在所述金属层上，并且所述电容率变化层设置在介电材料层上。

15.根据权利要求14所述的光学调制装置，其中，所述电容率变化层被图案化成与所述等离子体光子纳米天线层相同的形状。

16.根据权利要求1所述的光学调制装置，其中，所述等离子体光子纳米天线层包括金属材料和形成在所述金属材料中的多个通孔的纳米图案。

17.一种光学设备，包括根据权利要求1所述的光学调制装置。

具有栅结构的光学调制装置

技术领域

[0001] 与示例性实施例一致的设备涉及调制光的光学装置。

背景技术

[0002] 在各种光学设备中使用改变入射光的透射率、反射、偏振、相位、强度、路径等的光学装置。在光学系统中使用的光学调制器具有用于以期望的方式控制这些性质的各种结构。

[0003] 作为示例，使用微机械运动来阻挡光或控制反射元件以及其它元件的各向异性液晶和微机电系统(MEMS)结构广泛用于典型的光学调制器中。然而，这种光学调制器的操作响应时间是缓慢的，并且可以根据已知的驱动光学调制器的方法达到若干μs。

[0004] 期望将纳米天线与光学调制器结合利用，纳米天线利用发生在金属层和介电层之间的边界处的表面等离子体共振现象。

发明内容

[0005] 技术方案

[0006] 一个或多个示例性实施例可以提供调制光的光学装置。

[0007] 另外的示例性方面将部分地在下面的描述中阐述，并且部分地从描述中将是显而易见的，或者可以通过实践本示例性实施例来了解。

[0008] 发明的有益效果

[0009] 上述光学调制装置可以包括等离子体光子纳米天线层和电容率变化层，并且可以通过利用载流子浓度变化的电容率变化层的区域作为光栅来调制各种形状的入射光。

[0010] 上述光学调制装置可以制造成具有小尺寸并且可以实现快速驱动。因此，光学调制装置可以用于各种光学设备中的任一种，从而提高其性能。

附图说明

[0011] 结合附图，从示例性实施例的以下描述，这些和/或其他示例性方面和优点将变得显而易见并且更容易理解，在附图中：

[0012] 图1是根据示例性实施例的光学调制装置的结构的示意性透视图；

[0013] 图2是图1的光学调制装置的单元块的详细透视图；

[0014] 图3是在图1的光学调制装置的单元块中形成的栅结构的剖视图；

[0015] 图4是电容率变化相对于在图1的光学调制装置中采用的电容率变化层的有源区域中形成的载流子浓度的曲线图；

[0016] 图5是图4的突出部分的放大曲线图；

[0017] 图6是反射率相对于在图1的光学调制装置中采用的电容率变化层的有源区域中形成的载流子浓度的曲线图；

[0018] 图7是相移相对于在图1的光学调制装置中采用的电容率变化层的有源区域中形

成的载流子浓度的曲线图；

[0019] 图8是根据另一示例性实施例的用于计算机模拟的样本结构的透视图，其中光学调制装置用作动态相位光栅；

[0020] 图9是图8的样本结构的单位块的详细值的透视图；

[0021] 图10是施加到图8的样本结构的电压的形状的示例以及入射光的相移相对于第1阶衍射光的方向和电压形状的曲线图；

[0022] 图11是当图10所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图；

[0023] 图12是施加到图8的样本结构的电压的形状的其它示例以及入射光的相移相对于第1阶衍射光的方向和电压形式的曲线图；

[0024] 图13是当图12所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图；

[0025] 图14是施加到图8的样本结构的电压的形状的其它示例以及入射光的相移相对于第1阶衍射光的方向和电压形状的曲线图；

[0026] 图15是当图14所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图；

[0027] 图16是根据另一示例性实施例的光学调制装置的单元块的透视图；

[0028] 图17A至17D示出了根据示例性实施例的可以用于光学调制装置的单元块中的纳米天线的示例性形状；

[0029] 图18是根据另一示例性实施例的光学调制装置的单元块的剖视图；以及

[0030] 图19是根据另一示例性实施例的光学调制装置的单元块的剖视图。

具体实施方式

[0031] 一个或多个示例性实施例可以提供调制光的光学装置。

[0032] 另外的示例性方面将部分地在下面的描述中阐述，并且部分地从描述中将是显而易见的，或者可以通过实践本示例性实施例来了解。

[0033] 根据示例性实施例的一方面，光学调制装置包括等离子体光子纳米天线层；面向等离子体光子纳米天线层的金属层；在等离子体光子纳米天线层和金属层之间的电容率变化层，所述电容率变化层具有根据施加于其上的信号而变化的电容率；以及在等离子体光子纳米天线层和金属层之间的介电材料层。

[0034] 光学调制装置还可以包括：信号施加器件，配置为向电容率变化层施加信号，从而引起电容率变化层的电容率的变化。

[0035] 信号施加器件可以是配置为在等离子体光子纳米天线层和金属层之间施加电压的电源。

[0036] 电容率变化层可以包括电容率根据施加到其上的电信号而变化的电光材料。

[0037] 电容率变化层可以包括透明导电材料。

[0038] 电容率变化层可以包括过渡金属氮化物。

[0039] 电容率变化层可以包括载流子浓度根据施加在等离子体光子纳米天线层和金属层之间的电压而变化的有源区域。

[0040] 电容率变化层可以包括重掺杂半导体。

[0041] 电容率变化层的有源区域可以与介电材料层相邻。

[0042] 电容率变化层的介电常数的实部在预定波长带中可以等于0。

[0043] 预定波长带可以根据有源区域中的载流子浓度而不同。

[0044] 通过电源施加在等离子体光子纳米天线层和金属层之间的电压可以在包括一电压值的范围内，该电压值处等离子体光子纳米天线层的共振波长带和预定波长带相同。

[0045] 等离子体光子纳米天线层可以包括在第一方向上彼此间隔开的多个纳米天线线(nano-antenna line)，并且多个纳米天线线中的每一个可以包括在与第一方向不同的第二方向上彼此连接的多个纳米天线。

[0046] 多个纳米天线中的每一个可以具有十字形状，其中在第一方向上具有长度的纳米棒和在第二方向上具有长度的纳米棒彼此交叉。

[0047] 多个纳米天线中的每一个可以是圆形、椭圆形、多边形、X形和星形中的一个。

[0048] 电源可以配置为在多个纳米天线线中的每一个和金属层之间独立地施加电压。

[0049] 施加在金属层和多个纳米天线线中的每一个之间的电压值可以在第一方向上具有预定的规则性。

[0050] 电容率变化层可以设置在金属层上，并且介电材料层设置在电容率变化层上。

[0051] 介电材料层可以设置在金属层上，并且电容率变化层设置在介电材料层上。

[0052] 电容率变化层可以被图案化为与等离子体光子纳米天线层相同的形状。

[0053] 等离子体光子纳米天线层可以包括金属材料和形成在金属材料中的多个通孔的纳米图案。

[0054] 根据示例性实施例的一方面，光学设备包括光学调制装置。

[0055] 本发明的模式

[0056] 现在将参照附图更全面地描述示例性实施例。附图中相同的附图标记表示相同的元件，并且在附图中，为了清楚和便于说明，元件的尺寸可能被夸大。在这方面，示例性实施例可以具有不同的形式，并且不应被解释为限于本文所阐述的描述。应当理解，当层被称为在另一层或基底“上”时，其可以直接在另一层或基底上，或者也可以存在中间层。在元件列表之前的诸如“至少一个”的表达修饰整个元件列表，并且不修饰列表的单独元件。

[0057] 图1是根据示例性实施例的光学调制装置100的结构的示意性透视图。图2是图1的光学调制装置100的单元块的详细透视图。图3是在图1的光学调制装置100的单元块中形成的栅结构的剖视图。

[0058] 参考图1至3，光学调制装置100可以包括等离子体光子纳米天线层170和面向等离子体光子纳米天线层170的金属层110。电容率变化层130设置在等离子体光子纳米天线层170和金属层110之间，并且其电容率根据外部信号而变化。介电材料层150设置在等离子体光子纳米天线层170和金属层110之间。

[0059] 为了改变电容率变化层130的电容率，光学调制装置100还可以包括将外部信号施加到电容率变化层130的信号施加器件。信号施加器件可以是例如在等离子体光子纳米天线层170和金属层110之间施加电压以在电容率变化层130中形成电场的电压源190，但是信号施加器件不限于此。

[0060] 尽管在图1至图3中电容率变化层130和介电材料层150依次设置金属层110上，但

是可以调换电容率变化层130和介电材料层150的布置顺序。

[0061] 等离子体光子纳米天线层170可以包括由导电材料形成的多个纳米天线NA。纳米天线NA是人造结构，每个具有亚波长尺寸的形状。纳米天线NA用于强烈地收集预定波长带中的光。在这方面，术语“亚波长”是指小于纳米天线NA的工作波长(即预定波长带)的尺寸。纳米天线NA的形状的尺寸(亚波长)例如是纳米天线NA的厚度、宽度和高度，以及纳米天线NA之间的间隔中的至少一个。

[0062] 通过在金属材料和电容率材料之间的边界处发生的表面等离子体共振来执行纳米天线NA的功能。共振波长根据纳米天线NA的详细形状而变化。

[0063] 如图所示，等离子体光子纳米天线层170可以包括在第一方向(例如，y方向)上彼此间隔开的多个纳米天线线NAL，如图1所示。多个纳米天线线NAL中的每一个可以包括在第二方向(例如x方向)上彼此连接的多个纳米天线NA，如图1所示。第一方向和第二方向在图1至图3中彼此正交，但不限于此。第一方向和第二方向可以是彼此不平行的任何方向。

[0064] 作为形成纳米天线NA的导电材料，可以采用其中可能发生表面等离子体激发的具有高导电性的金属材料。例如，可以采用选自Cu、Al、Ni、Fe、Co、Zn、Ti、钌(Ru)、铑(Rh)、钯(Pd)、铂(Pt)、银(Ag)、铱(Ir)和金(Au)中的至少一个，并且可以采用包括这些金属之一的合金。还可以使用具有良好导电性的二次材料，例如石墨烯或导电氧化物。

[0065] 电容率变化层130可以由光学特性根据外部信号而变化的材料形成。外部信号可以是电信号。电容率变化层130可以例如由透明导电氧化物(TCO)形成，例如ITO(氧化铟锡)、IZO(铟锌氧化物)、AZO(氧化铝锌)或GZO(镓锌氧化物)或其某些组合。也可以使用过渡金属氮化物，例如TiN，ZrN，HfN和TaN。此外，可以使用电光材料，例如$LiNbO_3$，$LiTaO_3$，KTN(钽酸铌酸钾)和PZT(锆钛酸铅)，如果施加电信号，电光材料的有效电容率变化。可以使用具有电光特性的各种聚合物材料。掺杂$10^{13}/cm^3 \backsim 10^{15}/cm^3$的任何重掺杂半导体也可用于红外波长的电容率变化层。Si、InGaAs、InAs、InSb、Ge、InGaSb、GaSb是一些示例。

[0066] 外部信号不限于电信号。可以使用电容率由于施加热而在预定温度或更高温度下发生相变而变化的材料，例如，VO_2，VO_2O_3，EuO，MnO，CoO，CoO_2，$LiCoO_2$或Ca_2RuO_4可以用作电容率变化层130。

[0067] 金属层110可以在金属层110和等离子体光子纳米天线层170之间施加电压并用作反射光的镜面层。金属层110的材料可以包括选自可以执行这样的功能的各种金属材料中的至少一种，例如Cu，Al，Ni，Fe，Co，Zn，Ti，钌(Ru)，铑(Rh)，钯(Pd)，铂(Pt)，银(Ag)，锇(Os)，铱(Ir)和金(Au)。

[0068] 电压施加器件110可以配置为在金属层110和多个纳米天线线NAL中的每一个之间独立地施加电压。

[0069] 参考图3，电容率变化层130可以包括载流子浓度根据是否在金属层110和等离子体光子纳米天线层170之间施加电压而变化的有源区域135。有源区域135可以形成在与介电材料层150相邻的电容率变化层130的区域中，并且具有根据所施加的电压而变化的载流子浓度。入射到光学调制装置100上的光的光调制的类型或程度基于有源区域135中的载流子浓度而变化。在这方面，有源区域135可以是调整和控制纳米天线NA的光调制性能的栅。

[0070] 如上所述，纳米天线NA可以根据其形状的尺寸强烈地收集特定波长带的光。光学调制装置100可以包括纳米天线NA和作为反射镜的金属层110。由于金属层110和纳米天线

NA，形成磁共振模式，使得形成有源区域135的接近零(ENZ)特性的ε，从而可以调整来自入射光中的特定波长带的光的反射和衍射。在这方面，根据在金属层110和纳米天线NA之间是否施加电压，有源区域135的载流子浓度可以变化，因此入射光的反射和衍射可以变化。

[0071] 电容率变化层130的电容率可以针对不同波长而不同。相对于真空电容率的相对电容率ετ，ε0被定义为介电常数。电容率变化层130的介电常数的实部在预定波长带中等于0。将介电常数的实部等于或近似等于0的波长带称为ENZ波长带。大多数材料的介电常数可以是波长的函数，并且表示为复数。真空的介电常数为1，介电材料的介电常数的实部通常为大于1的正数。在金属的情况下，介电常数的实部可以是负数。大多数材料的介电常数在大多数波长带中具有大于1的值，而在特定波长中介电常数的实部可以等于0。

[0072] 当介电常数的实部等于或近似等于0时，介电材料表现出特殊的光学特性。当前实施例的光学调制装置100将工作波长带设置为包括电容率变化层130的ENZ波长区域的区域。也就是说，可以将纳米天线NA的共振波长带和电容率变化层130的ENZ波长带设置为彼此相似，从而进一步增加可根据施加电压调节的光学调制性能的范围。

[0073] 电容率变化层130的ENZ波长区域根据在有源区域135中形成的载流子浓度而变化。为了利用电容率变化层130的ENZ波长带，由电压施加器件190在金属层110和等离子体光子纳米天线层170之间施加的电压可以在包括一电压值的范围中，在该电压值中，等离子体光子纳米天线层170的共振波长和表示电容率变化层130的ENZ特性的波长彼此相同。

[0074] 图4是电容率变化相对于在图1的光学调制装置100中采用的电容率变化层130的有源区域135中形成的载流子浓度的曲线图。图5是图4的圆形部分的放大曲线图。

[0075] 曲线图的横轴表示波长，纵轴表示相对电容率ετ(即介电常数)的实部。

[0076] 参考曲线图，介电常数相对于波长的变化的曲线根据载流子浓度而变化。例如，当载流子浓度为$1\times10^{21}cm^3$时，其介电常数的实部的值在1与-1之间的ENZ波长带在约1060nm与约1400nm之间的范围内。如果载流子浓度低于$1\times10^{21}cm^3$，则ENZ波长带倾向于稍微移动到长波长带。

[0077] 形成在电容率变化层130的有源区域135中的载流子浓度可以根据所施加的电压来确定，因此考虑到纳米天线NA的共振波长带和曲线图，要施加到光学调制装置100的电压范围可以根据期望的光学调制范围来设置。

[0078] 图6是反射率相对于在图1的光学调制装置100中采用的电容率变化层130的有源区域135中形成的载流子浓度的曲线图。图7是相移相对于在图1的光学调制装置100中采用的电容率变化层130的有源区域135中形成的载流子浓度的曲线图。

[0079] 根据图6，光学调制装置100能够相对于1265nm波长的光进行4级相移。也就是说，当1264nm波长的光入射到光学调制装置100上时，通过改变载流子浓度，即改变施加在金属层110和纳米天线NA之间的电压，可以发生0，90°，180°和270°的相移。

[0080] 施加在金属层110和多个纳米天线NA之间的电压值可以具有预定的规则性，因此光学调制装置100可用作相位光栅。

[0081] 光学调制装置100可以用作根据下面参考图8至15描述的示例性实施例的动态相位光栅。

[0082] 图8是根据示例性实施例的用于计算机模拟的样本结构的透视图，其中光学调制装置100用作动态相位光栅。图9是图8的样本结构的单位块的详细尺寸的透视图。

[0083] 参考图8，用于计算机模拟的样本结构可以包括沿y方向布置的64个单位块。单位块的尺寸可以与图9所示的相同，并且具有nm的单位。可以在计算机模拟期间应用定义单位块在x方向上重复连续的边界条件。L等于180nm，即能够调制1250nm波长的光的长度。可以通过调整L来改变装置的工作波长。在计算机模拟中，给出金属层110和纳米天线NA由Au制成，电容率变化层130由ITO制成，电容率介电材料层150由Al_2O_3制成。

[0084] 图10是施加到图8的样本结构的电压的图案的示例以及入射光的相移相对于第1阶衍射光的方向和电压图案的曲线图。

[0085] 图10所示的电压V1在图8的样品结构中以2μm的规则周期Λ施加在金属层110和纳米天线NA之间。也就是说，电压V1可以在y方向上的四个单位块中施加在金属层110和每个纳米天线NA之间，并且在接下来的四个单位块中不施加电压到金属层110和每个纳米天线NA之间。电压可以以这个规则周期施加到64个单位块。可以确定电压V1，使得相移为π，即180°。

[0086] 由于电压被规则性地施加，所以相移为180°的区域和无相移的区域在与沿着光学调制装置100的表面的2μm的电压施加周期Λ相同的周期重复。如果光入射到这种相位光栅上，根据计算机模拟结果，可以发生与在2μm周期从0°到180°的相移的形状对应的第1阶和第-1阶衍射光。

[0087] 图11是当图10所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图。

[0088] 参考图11，由于相位光栅的对称性，在衍射角40°和-40°处出现强度峰值。也就是说，如图10的曲线图所示，第1阶衍射光和第-1阶衍射光可以朝向入射光的方向。

[0089] 图12是施加到图8的样本结构的电压的形状的另一示例以及入射光的结果相移相对于第1阶衍射光的方向和电压形状的曲线图。

[0090] 参考图12的曲线图，可以以规则周期施加电压V1、V2和V3，从而可以形成不具有对称性的相位光栅。

[0091] 可以在金属层110和纳米天线NA之间以2μm的周期Λ施加可能导致270°，180°和90°的相移的三个值V1，V2，V3和不施加电压的电压图案。也就是说，电压V1可以在y方向上的两个单元块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，电压V2可以在接下来的两个单元块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，电压V3可以在接下来的两个单位块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，并且在接下来的两个单元块中可以没有电压施加在在每个纳米天线NA和金属层110之间。这样的规则周期可以重复地施加到64个单位块。

[0092] 由于以规则周期施加电压，所以相移为270°的区域、相移为180°的区域、相移为90°的区域和不具有相移的区域以与沿着光学调制装置100的表面的2μm的电压施加周期Λ相同的周期重复。如果光入射到这种相位光栅上，如图所示，确定与相位在2μm周期从270°逐渐移位到0°的形状对应的第1阶衍射光。

[0093] 图13是当图12所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图。

[0094] 参考图13，当衍射角为40°时，出现强度峰。与图11的曲线图相比，强度峰出现在40°的衍射角，并且不出现在-40°的衍射角。峰值为图11的峰值的约2倍。这样的差异是由于与图10的相位光栅的对称性相比，图12的相位光栅没有对称性。

[0095] 图14是施加到图8的样本结构的电压的形状以及入射光的相移相对于第1阶衍射光的方向和电压形状的另一示例的曲线图。

[0096] 与图12相比，图14的电压施加图案具有周期Λ增加到4μm的形状。可以在金属层110和纳米天线NA之间以4μm的周期Λ施加可能导致270°，180°和90°的相移的三个值V1，V2，V3和不施加电压的电压图案。也就是说，电压V1可以在y方向上的四个单元块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，电压V2可以在接下来的四个单元块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，电压V3可以在接下来的四个单位块中施加在每个纳米天线NA和金属层110之间，并且在接下来的四个单元块中可以没有电压施加在在每个纳米天线NA和金属层110之间。这样的规则周期可以重复地施加到64个单位块。

[0097] 由于周期性地施加电压，所以相移为270°的区域、相移为180°的区域、相移为90°的区域和不具有相移的区域以与沿着光学调制装置100的表面的4μm的电压施加周期Λ相同的周期重复。如果光入射到这种相位光栅，如图所示，确定与相位在4μm周期从270°逐渐移位到0°的形状对应的第1阶衍射光。

[0098] 图15是当图14所示的电压图案施加到图8的样品结构时，光强度相对于衍射角的曲线图。

[0099] 如参考图8至15所描述的，光学调制装置100可以根据几个施加电压的形状用作相位光栅。根据上述结果，可以看出，通过使用ITO形成电容率变化层130，相对于接近IR波长的光，2π的相移控制是可能的。因此，可以通过利用用于电容率变化层130的不同材料和/或使用具有不同尺寸的形状的纳米天线NA来控制不同波长带的光。

[0100] 本文所示的施加电压图案是示例。施加的电压图案的规则周期可以变化，从而实现各种光调制结果。相移可以具有包括2或4的各种级别。这可以用于执行光调制功能，例如光束成形或光束转向。

[0101] 图16是根据另一示例性实施例的光学调制装置100’的单元块的透视图。

[0102] 光学调制装置100’可以包括金属层110，电容率变化层130和纳米天线NA’。纳米天线NA’可以具有包括雕刻在金属材料M中的纳米图案的形状，不同于图2的纳米天线NA的压花形状。也就是说，纳米天线NA’可以具有与图2的纳米天线NA的形状相反的形状。可以在金属材料M中雕刻基本上十字形的通孔NH。

[0103] 虽然纳米天线NA和NA’的横截面形状示出为基本上十字形，这仅仅是示例性的。纳米天线NA和NA’可以具有任何各种形状。

[0104] 图17A至17D示出了根据示例性实施例的可以用于光学调制装置的单元块中的纳米天线的示例性形状。

[0105] 参考图17A，纳米天线NA的横截面形状可以是圆形的。具有这种形状的纳米天线NA可以用于图1的光学调制装置100。多个圆形纳米天线NA可以布置成在一个方向上彼此连接，以形成纳米天线线NAL。

[0106] 参考图17B，纳米天线NA的横截面形状可以是椭圆形的。具有这种形状的纳米天线NA可以用于图1的光学调制装置100。多个椭圆形纳米天线NA可以布置成在一个方向上，例如沿着长轴，彼此连接，以形成纳米天线线NAL。多个椭圆形纳米天线NA可以布置成从长轴在不同方向上，例如沿着短轴或另一方向，彼此连接，以形成纳米天线线NAL。

[0107] 参考图17C，纳米天线NA可以具有星形(*)形状，其中三个纳米棒相交。多个星形纳

米天线NA可以在一个方向上，例如三个纳米棒中的一个的长度方向，彼此连接，以形成图1的光学调制装置100的纳米天线线NAL。

[0108] 图17D的纳米天线NA可以具有多个纳米图案通孔NH形成在金属材料M中的形状。多个这样形状的纳米天线NA可以例如在x方向上彼此连接，以形成图1的纳米天线线NAL。

[0109] 图17A至图17D的形状是示例性的。另外，纳米天线NA可以具有任何各种形状，例如，多边形，纳米棒等。

[0110] 图18是根据另一示例性实施例的光学调制装置200的单元块的剖视图。

[0111] 光学调制装置200可以包括金属层210，介电材料层250，电容率变化层230和纳米天线NA。

[0112] 本实施例的光学调制装置200与图2的光学调制装置100的不同在于介电材料层250和电容率变化层230的布置。也就是说，介电材料层250可以设置在金属层210上，电容率变化层230可以设置在介电材料层250上，并且纳米天线NA可以设置在电容率变化层230上。多个纳米天线NA可以布置成在x方向上彼此连接，以形成纳米天线线NAL。电容率变化层230可以被图案化为与纳米天线NA相同的形状。

[0113] 如果在金属层210和纳米天线NA之间施加电压，则可以在电容率变化层230中形成有源区域235。有源区域235可以形成在电容率变化层230的与介电材料层250相邻的区域中，可以具有根据施加电压的变化而变化的载流子浓度，并且因此可以用作调整和控制光学调制性能的光栅。

[0114] 图19是根据另一示例性实施例的光学调制装置300的单元块的剖视图。

[0115] 光学调制装置300可以包括金属层310，介电材料层350，电容率变化层330和纳米天线NA。

[0116] 本示例性实施例的光学调制装置300与图18的光学调制装置200的不同在于电容率变化层330不被图案化为与纳米天线NA相同的形状。也就是说，可以在金属层310的整个表面上形成介电材料层350和电容率变化层330，并且可以在电容率变化层330上以预定图案形成纳米天线NA。多个纳米天线NA可以布置成在x方向上彼此连接，以形成纳米天线线NAL。

[0117] 如果在金属层310和纳米天线NA之间施加电压，则可以在电容率变化层330中形成有源区域335。有源区域335可以形成在电容率变化层330的与介电材料层350相邻的区域中，可以具有根据施加电压的变化而变化的载流子浓度，并且因此可以用作调整和控制光学调制性能的光栅。

[0118] 在上述光学调制装置中，电容率变化层的材料、纳米天线的形状和/或尺寸、以及施加电压的形式可以以各种方式变化，从而以期望波长带提供各种光学调制性能。例如，在图1的结构中，多个纳米天线可以布置成矩阵形状，以形成等离子体光子纳米天线层，并且电压施加器件可以配置为单独地控制每个纳米天线和金属层之间的电压。包括在本文所示的等离子体光子纳米天线层中的纳米天线具有相同的形状，但这仅仅是示例性的。相同等离子体光子纳米天线层内的纳米天线可能具有不同的形状。可替代地，相同等离子体光子纳米天线层中的纳米天线可以具有相同的形状，但是具有不同的尺寸，使得每个区域中的共振波长带可以不同。

[0119] 上述光学调制装置可以包括等离子体光子纳米天线层和电容率变化层，并且可以

通过利用载流子浓度变化的电容率变化层的区域作为光栅来调制各种形状的入射光。

[0120] 上述光学调制装置可以制造成具有小尺寸并且可以实现快速驱动。因此，光学调制装置可以用于各种光学设备中的任一种，从而提高其性能。

[0121] 应当理解，本文描述的示例性实施例应仅在描述性意义上被考虑，而不是为了限制的目的。在其他示例性实施例中，每个示例性实施例中的特征或方面的描述通常被认为可用于其它类似特征或方面。

[0122] 虽然已经参考附图描述了一个或多个示例性实施例，但是本领域普通技术人员将会理解，在不脱离由权利要求所定义的精神和范围的情况下，可以在形式和细节上进行各种改变。

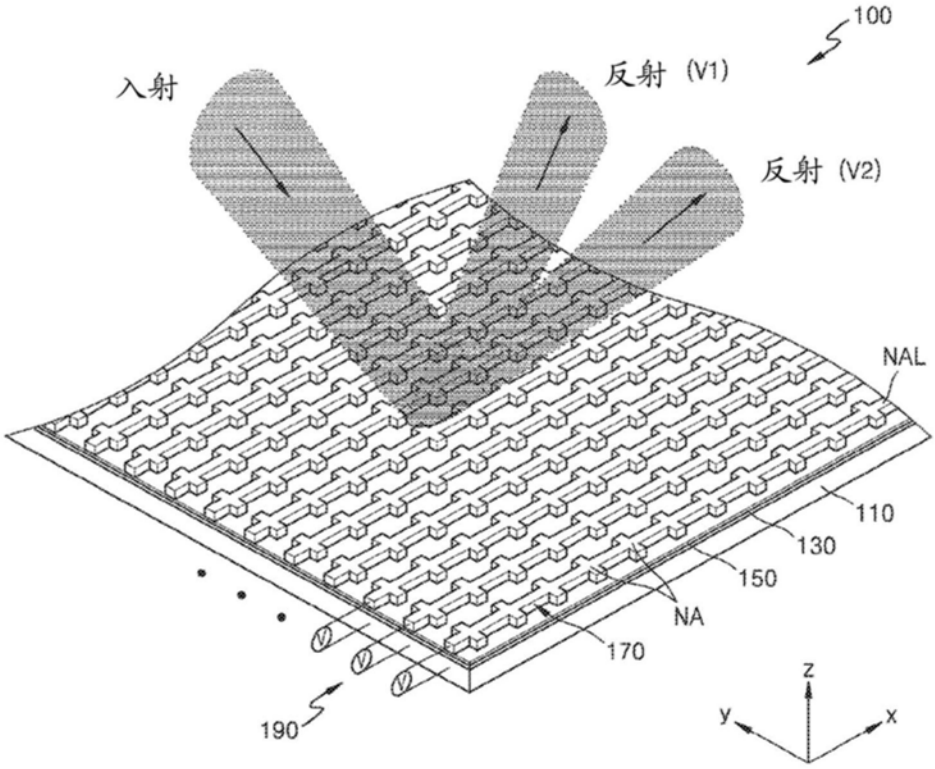

100
入射
反射 (V1)
反射 (V2)
NAL
110
130
150
NA
170
190
z
y
x

图1

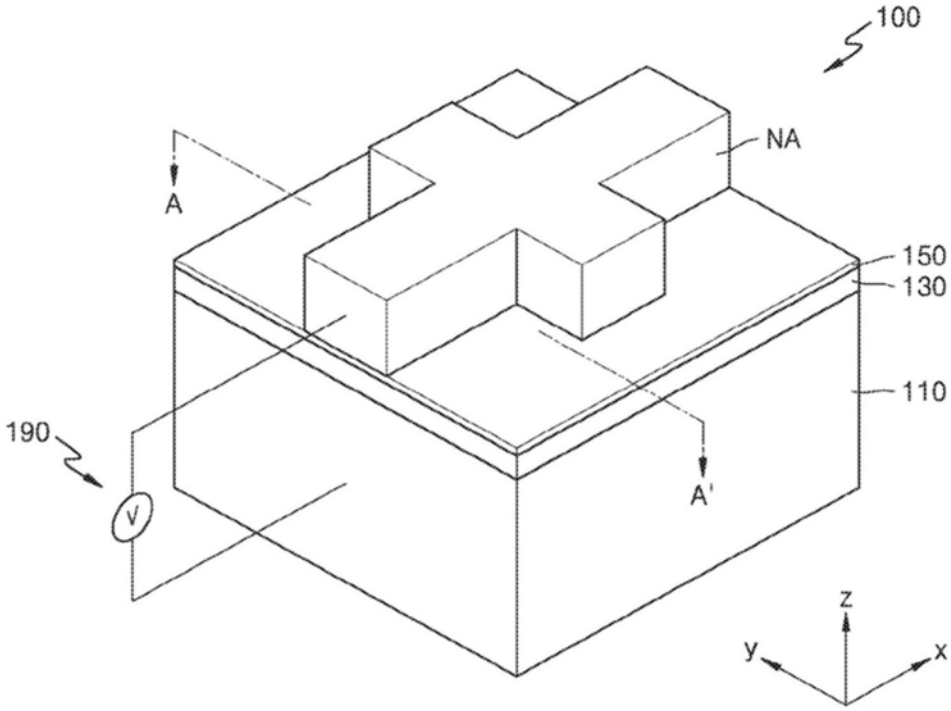

100
NA
A
150
130
110
190
V
A'
z
y
x

图2

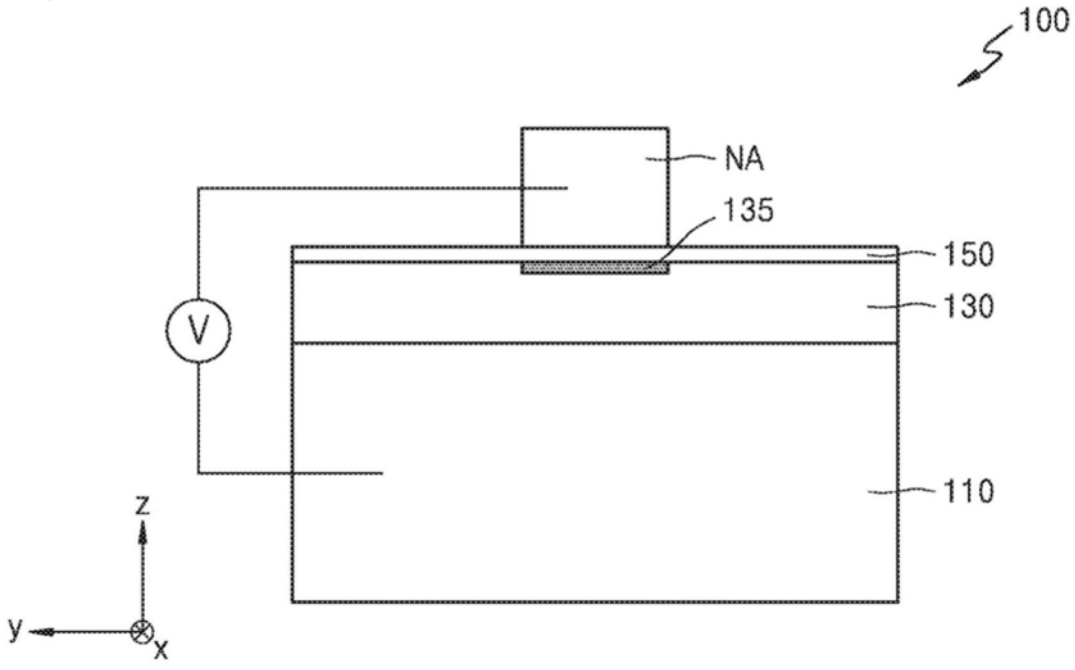

100
NA
135
150
130
110
V
z
y
x

图3

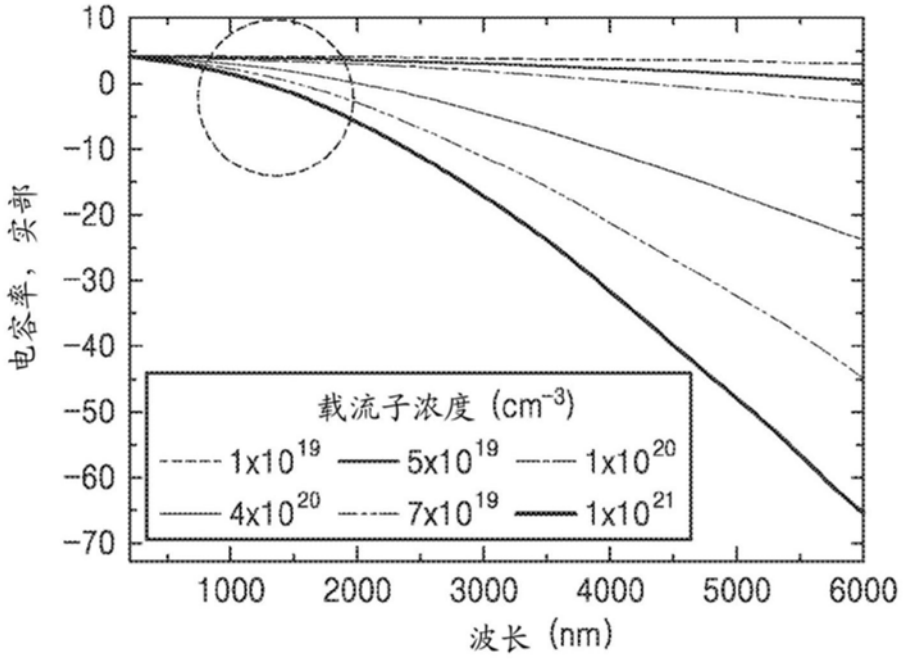

10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−70
电容率，实部
1000
2000
3000
4000
5000
6000
波长 (nm)
载流子浓度 (cm⁻³)
1x10¹⁹
5x10¹⁹
1x10²⁰
4x10²⁰
7x10¹⁹
1x10²¹

图4

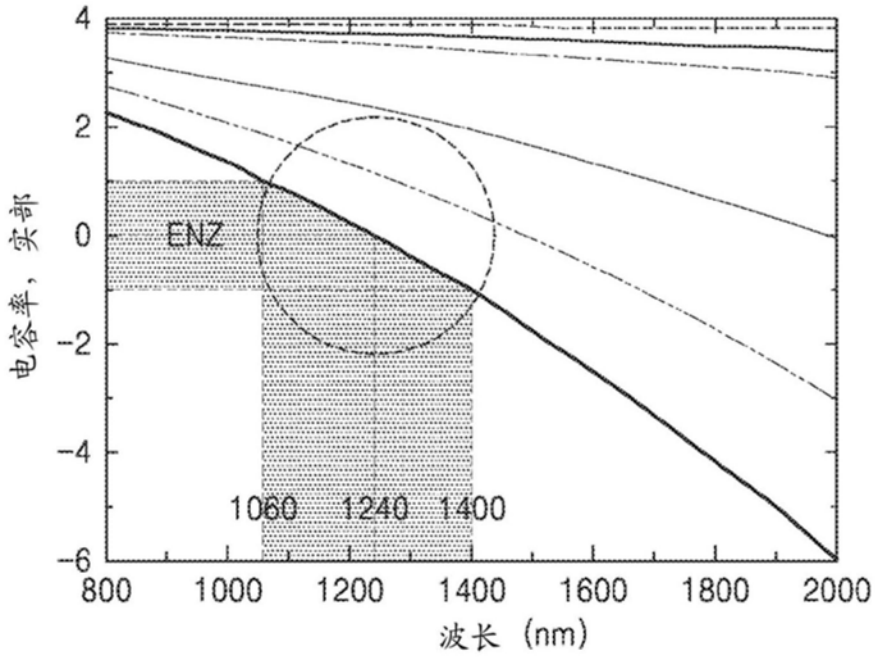

4
2
0
−2
−4
−6
电容率，实部
ENZ
1060
1240
1400
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
波长 (nm)

图5

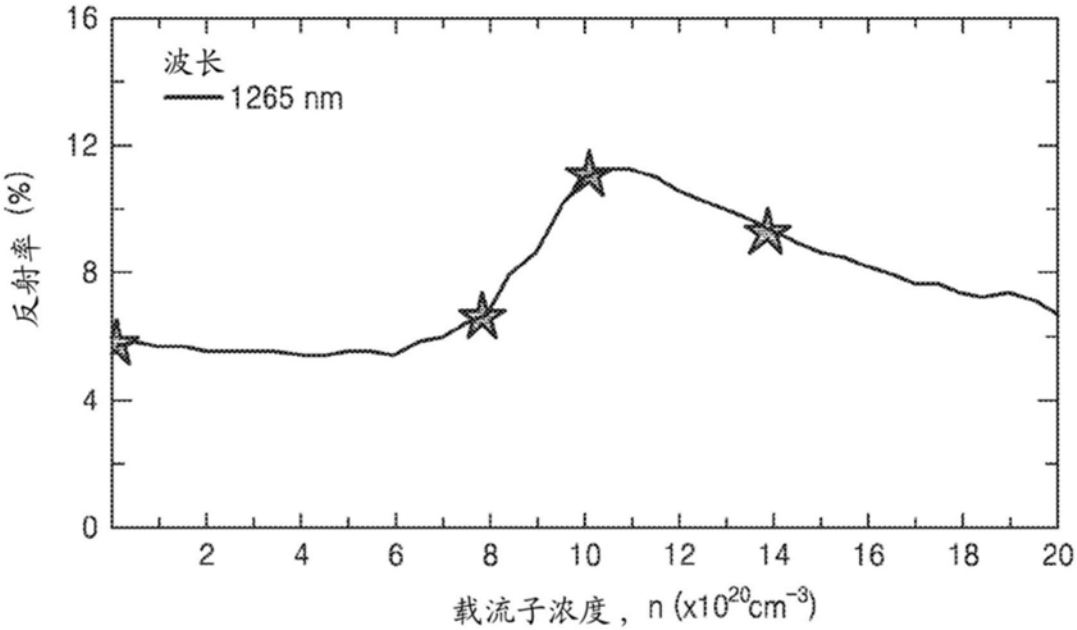

16
12
8
4
0
反射率 (%)
波长
1265 nm
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
载流子浓度，n (x10^20cm^-3)

图6

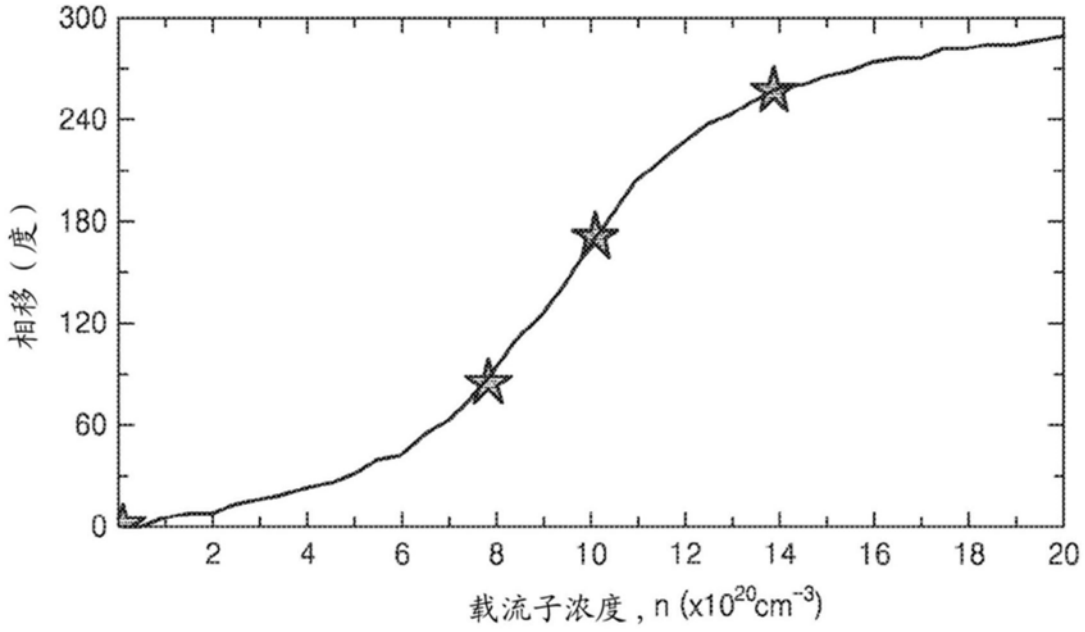

300
240
180
120
60
0
相移（度）
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
载流子浓度，n (x10^20cm^-3)

图7

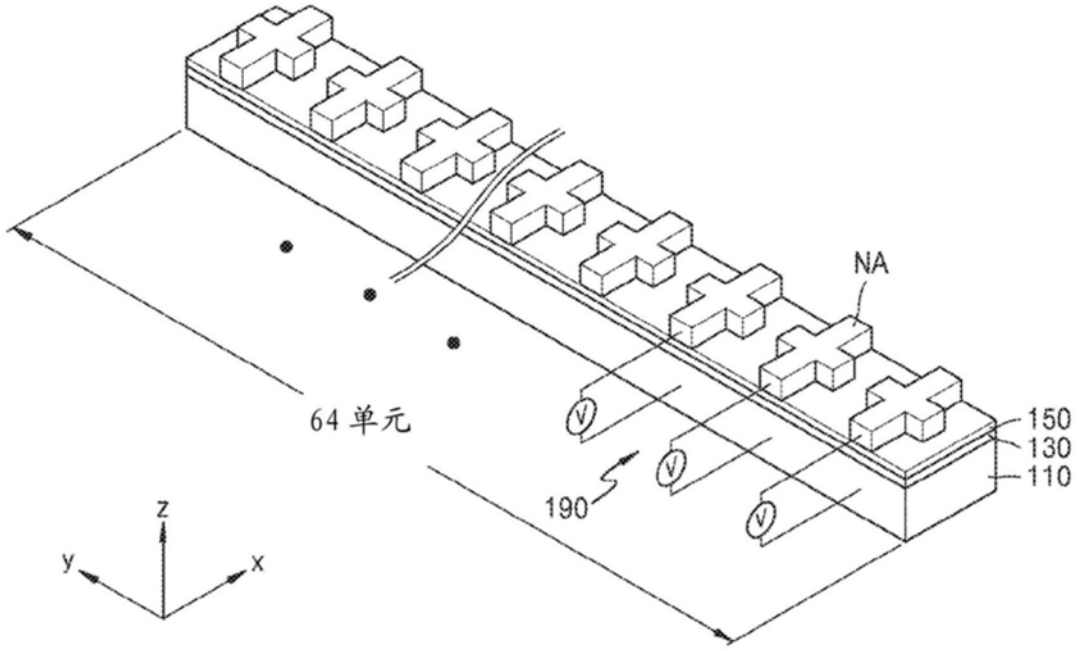

NA
64 单元
150
130
110
190
z
y
x

图8

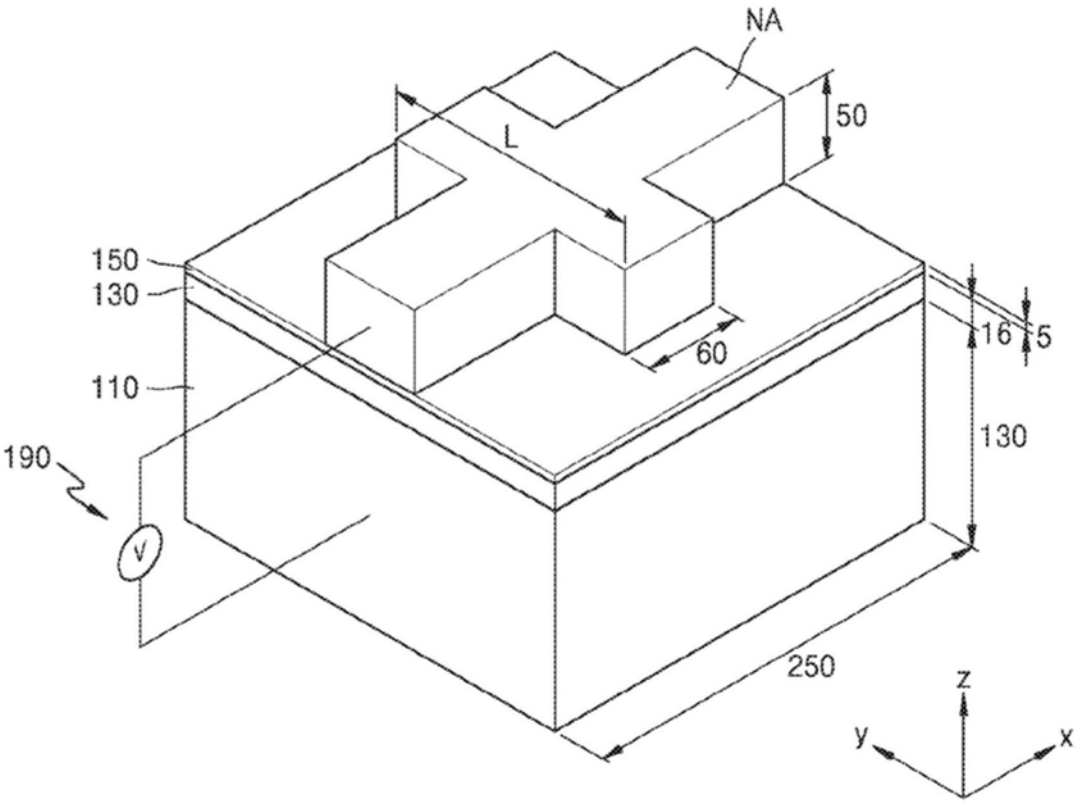

NA
50
L
150
130
110
190
V
60
16
5
130
250
z
y
x

图9

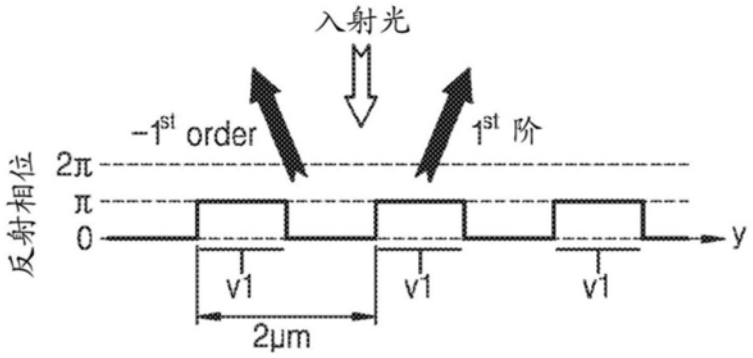

入射光
-1st order
1st 阶
反射相位
2π
π
0
y
v1
v1
v1
2μm

图10

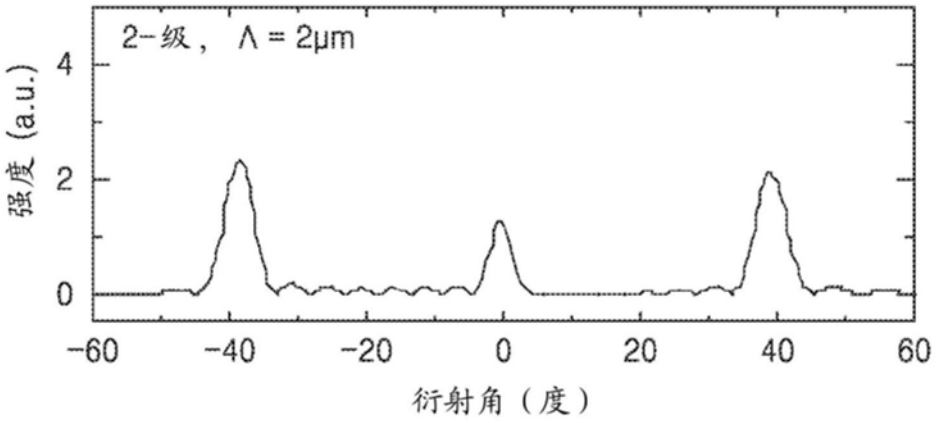

2-级， Λ = 2μm
强度 (a.u.)
4
2
0
-60
-40
-20
0
20
40
60
衍射角（度）

图11

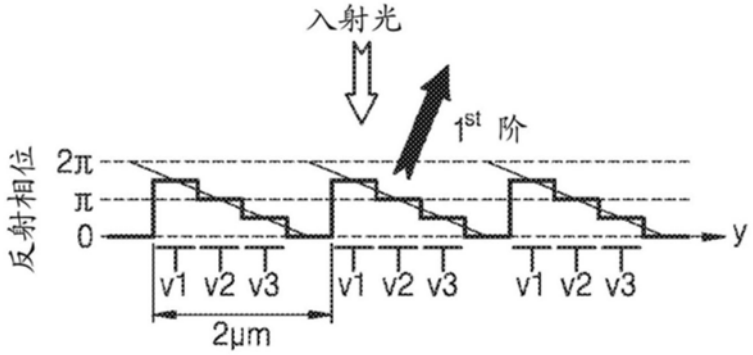

入射光
1st 阶
反射相位
2π
π
0
y
v1 v2 v3
v1 v2 v3
v1 v2 v3
2μm

图12

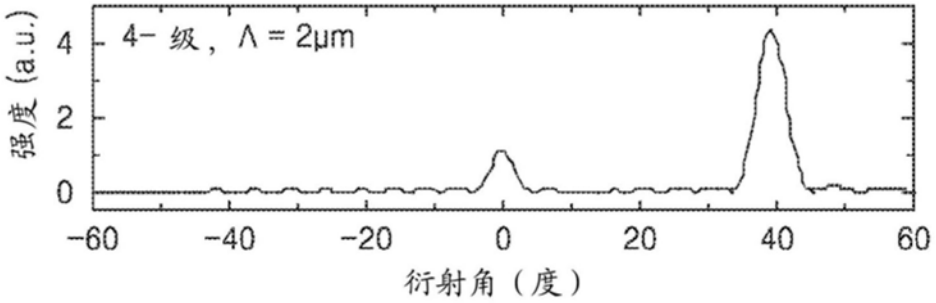

4- 级， Λ = 2μm
强度 (a.u.)
4
2
0
-60
-40
-20
0
20
40
60
衍射角（度）

图13

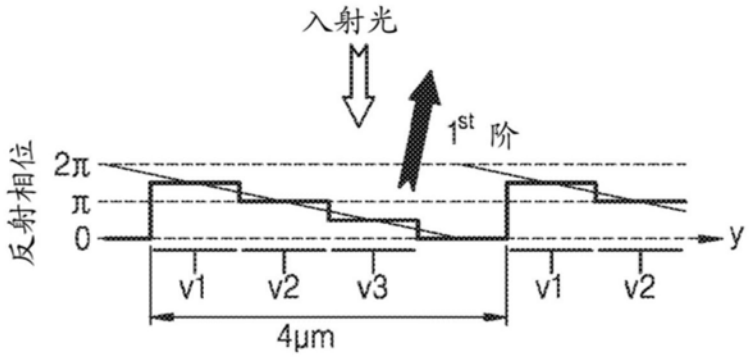

入射光
1st 阶
反射相位
2π
π
0
y
v1
v2
v3
v1
v2
4μm

图14

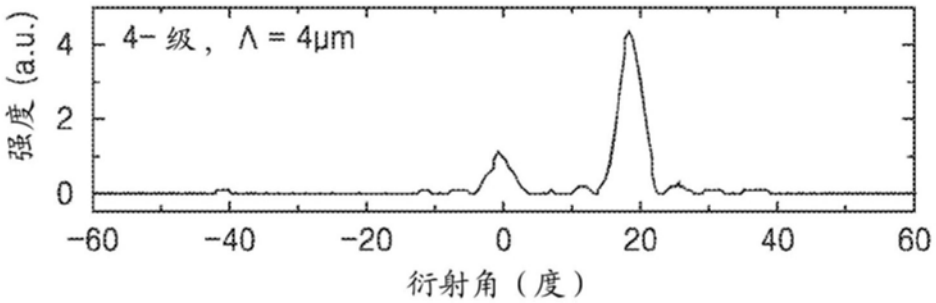

4- 级， Λ = 4μm
强度 (a.u.)
4
2
0
−60
−40
−20
0
20
40
60
衍射角（度）

图15

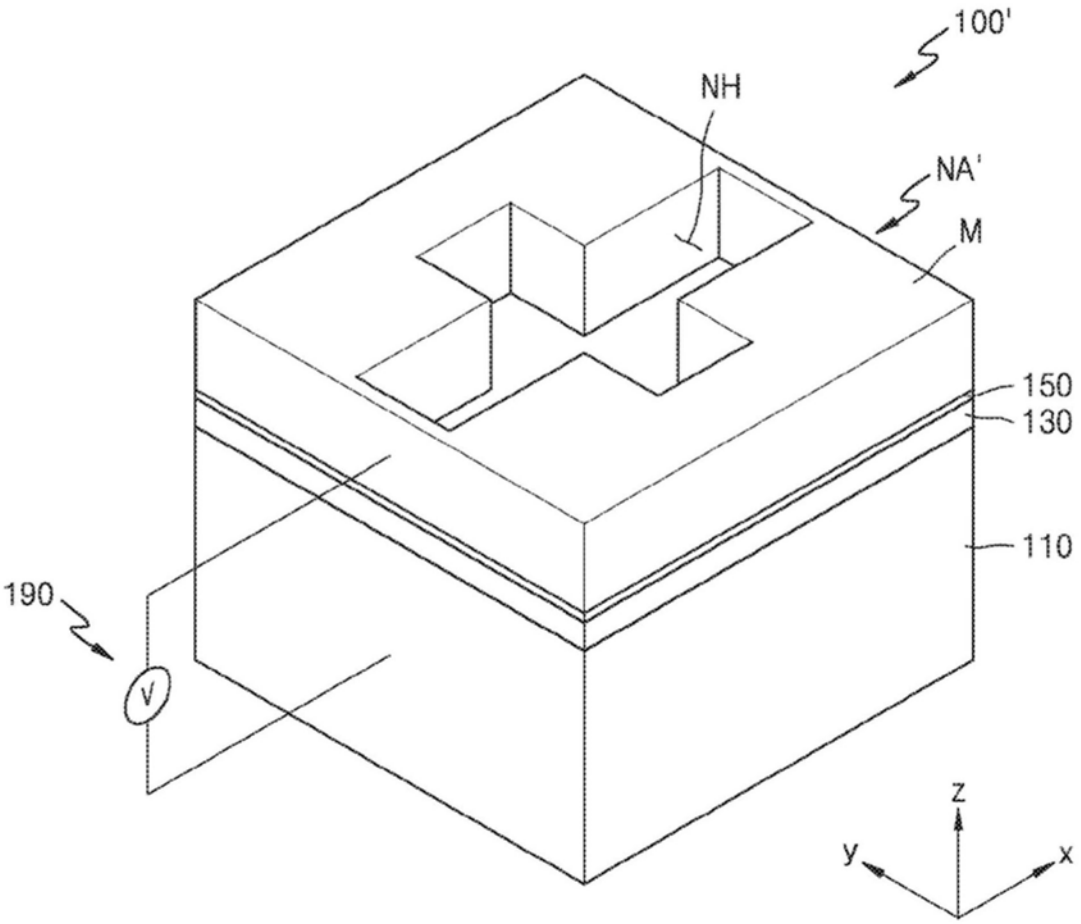


图16

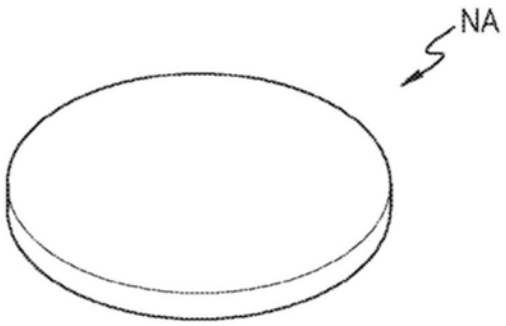


图17a

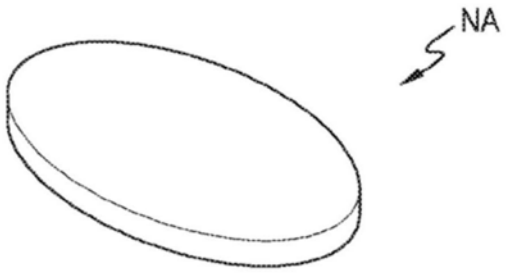


图17b

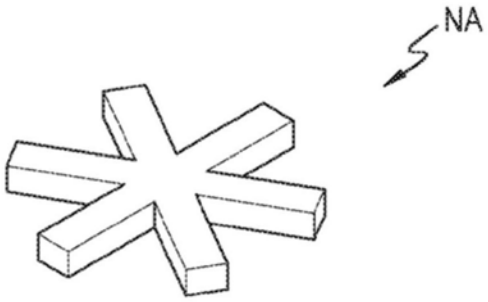


图17c

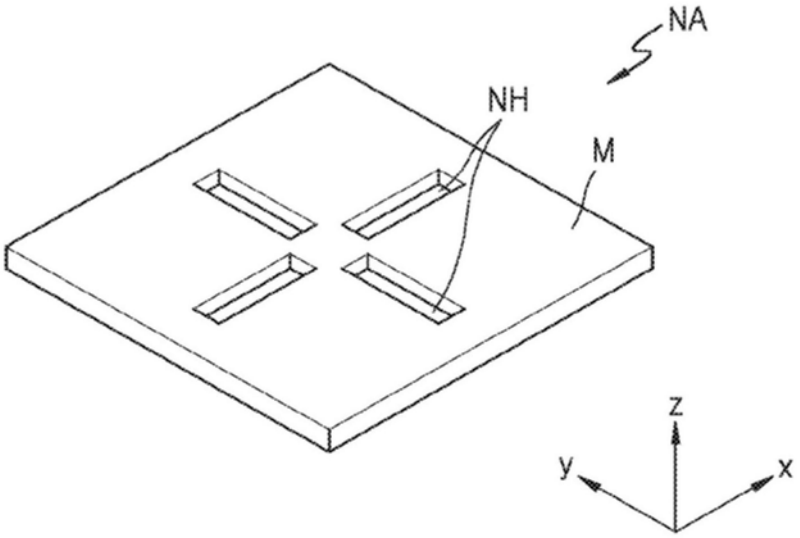


图17d

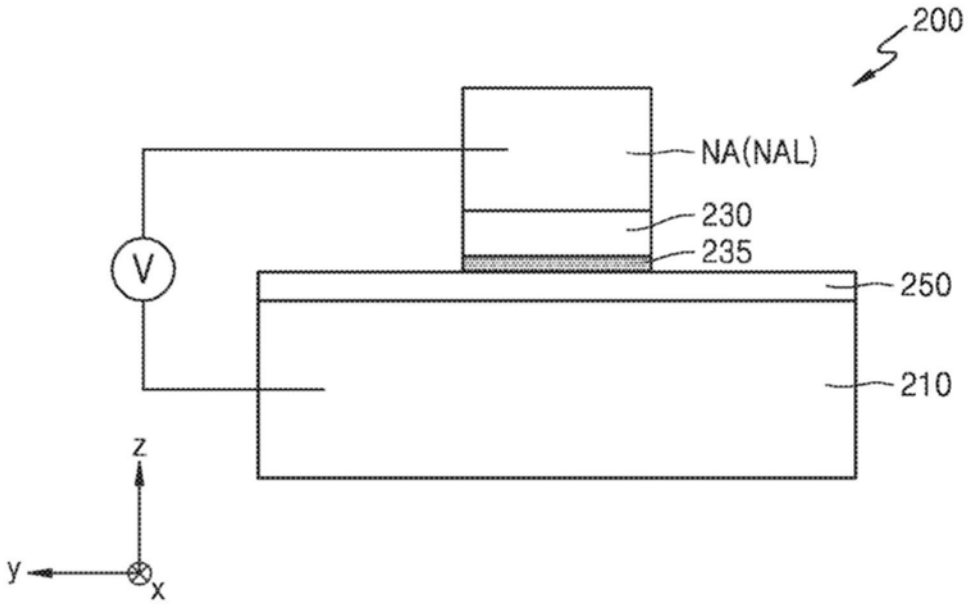


图18

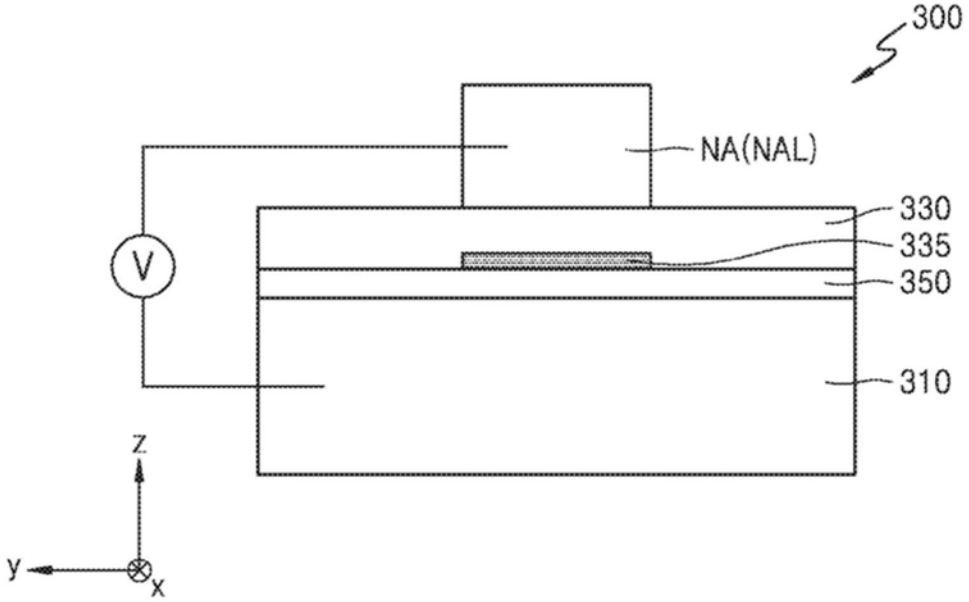


图19