(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 1791987 B
(45)授权公告日 2011.06.15

(21)申请号 200480013692.8

(22)申请日 2004.05.13

(30)优先权数据
03101399.8 2003.05.19 EP

(85)PCT申请进入国家阶段日
2005.11.18

(86)PCT申请的申请数据
PCT/IB2004/050671 2004.05.13

(87)PCT申请的公布数据
WO2004/102684 EN 2004.11.25

(73)专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 E·P·A·M·巴克斯
S·P·格拉博斯基

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 王岳 王忠忠

(51)Int.Cl.
*H01L 33/00*(2006.01)

(56)对比文件
US 5920078 A,1999.07.06, 说明书3－4栏及附图1－5.
US 2002/0175408 A1,2002.11.28, 说明书【0071】,【0171】及附图2,32.

审查员 梁素平

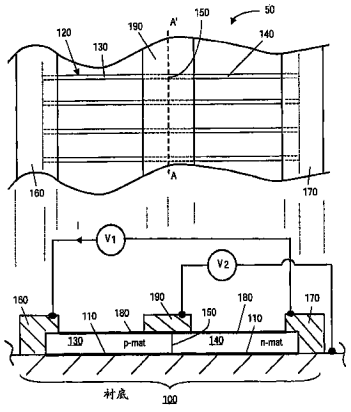
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 5 页

(54)发明名称

可调发光半导体器件

(57)摘要

一种可调发光半导体器件(50),其包括至少一个纳米线(120),该纳米线至少部分由一种或多种展示包括其能量对应于发光的光子能量的一个或多个能量跃迁的带隙特性半导体材料制造。由此该至少一种结构(120)工作时以响应流经其的电流而发光。此外,将该至少一个纳米线(120)制造的足够窄以产生与电流相关的电荷载流子的量子限制。而且,该至少一个纳米线(120)还包括电极排列(190),该电极布置用于将电场施加到至少一个纳米线(120),用于引起其带隙特性的弯曲,用于响应流过其的电流来调整运行中从至少一个结构(120)发出的光的波长。




CN 1791987 B

1. 一种可调发光半导体器件 (50)，其包括至少一个纳米线 (120)，该至少一个纳米线至少部分由至少两种半导体材料制造，该至少两种半导体材料展示包括其能量对应于发光的光子能量的一个或多个能量跃迁的带隙特性，由此该至少一种纳米线 (120) 工作时响应流经其的电流而发光，

该至少一个纳米线 (120) 对于和其中将产生的电流相关的电荷载流子的量子限制是足够窄的，

该至少一个纳米线 (120) 还包括电极排列 (190，190a，190b)，该电极排列 (190，190a，190b) 用于将电场施加到所述至少一个纳米线 (120)，用于引起其带隙特性的弯曲，用于响应于流过其的电流调整运行中从至少一个纳米线 (120) 发出的光的波长，

该至少一个纳米线 (120) 包括多个相互不同组分的区域 (130，140)，所述多个区域 (130，140) 限定了至少一个半导体结 (150)，所述电极排列 (190，190a，190b) 包括中心电极 (190)，在中心电极和衬底之间施加电势以沿着至少一个纳米线 (120) 在垂直于电流方向的方向上产生电场。

2. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中用绝缘材料 (110，180) 将至少一个纳米线 (120) 至少密封在其中央区域中，所述电极排列 (190，100) 工作时通过经绝缘材料 (110，180) 形成电场而引起该至少一个纳米线 (120) 的带隙结构弯曲。

3. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中至少一个纳米线 (120) 包括多个相互不同组分的区域 (130，140)，所述多个区域 (130，140) 限定了至少一个半导体结 (150)，工作时在此产生与电流相关的载流子复合，所述复合产生从器件 (50) 中发出的光。

4. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中至少一个纳米线 (120) 包括插入在 n 型区 (140) 与 p 型区 (130) 之间的本征半导体区域 (200)，该本征半导体区域 (200) 代替所述至少一个半导体结 (150) 并且工作时支持其中的载流子复合。

5. 根据权利要求 3 的器件 (50)，其中布置所述电极排列 (190，100) 以覆盖至少一个半导体结 (150) 位于的区域。

6. 根据权利要求 3 的器件，其中布置所述电极排列 (190a，190b) 以接近至少一个半导体结 (150) 位于的区域 (150)。

7. 根据权利要求 3 的器件，其中对于至少一个纳米线 (120) 的每一个来说，所述电极排列 (190a，190b) 提供多个电极用于差别地将电场施加到多个区域 (130，140)，用于引起其中相互不同的能带弯曲。

8. 根据权利要求 1 的器件，其中布置所述电极排列 (190，190A，190B) 以沿着至少一个纳米线 (120) 基本上在垂直于电流方向的方向上产生电场。

9. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中至少一个纳米线 (120) 具有范围在 5nm 至 50nm 之间的有效额定直径。

10. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中至少一个纳米线 (120) 具有不超过 1 ： 2 的截面纵横比。

11. 根据权利要求 1 的器件 (50)，其中至少一个纳米线 (120) 由 III-V 族或 II-VI 族化合物、或者三元或四元半导体材料形成。

12. 根据权利要求 1 的器件，所述器件包括如用于提供图象显示的二维像素阵列那样布置的多个纳米线。

13. 一种制造可调发光半导体器件 (50) 的方法，该方法包括如下步骤：

(a) 提供平坦的衬底 (100)；

(b) 在衬底 (100) 的至少一个区域上形成绝缘材料的第一层 (110)；

(c) 形成至少一个纳米线 (120)，该纳米线包括在远离衬底 (100) 的第一层 (110) 的暴露表面上的至少一个半导体结 (150)，该至少一个纳米线 (120) 的截面充分小以提供其中电荷载流子的量子限制和为其中的电荷载流子复合提供地点，上述地点展示对应于与发光有关的量子能量的能带分布，至少一个纳米线 (120) 能够沿其长度方向传导相关电流；

(d) 形成至少部分覆盖至少一个纳米线 (120) 的绝缘材料的第二层 (180)；和

(e) 在绝缘材料的第二层 (180) 的上暴露表面上形成电极排列 (190)，布置所述电极排列 (190) 以便当在工作中偏置时能够在至少一个纳米线 (120) 中引起能带弯曲用于调整从其中发出的光的波长，

其中该至少一个纳米线 (120) 包括多个相互不同组分的区域 (130，140)，所述多个区域 (130，140) 限定了至少一个半导体结 (150)，所述电极排列 (190，190a，190b) 包括中心电极 (190)，在中心电极和衬底之间施加电势以沿着至少一个纳米线 (120) 在垂直于电流方向的方向上产生电场。

14. 根据权利要求 13 的方法，其中布置所述电极排列 (190) 以覆盖至少一个半导体结位于的区域。

15. 根据权利要求 13 的方法，其中布置所述电极排列 (190a，190b) 以接近至少一个半导体结位于的区域。

16. 根据权利要求 15 的方法，其中对于至少一个纳米线 (120) 的每一个来说，所述电极排列 (190a，190b) 提供多个电极 (190a，190b) 用于差别地将电场施加到多个区域，用于引起其中相互不同的能带弯曲。

# 可调发光半导体器件

## 技术领域

[0001] 本发明涉及可调发光半导体器件，特别地，而不是唯一地，本发明涉及一种可调发光二极管 (LED)。此外，本发明还涉及一种制造上述可调 LED 的方法。

## 背景技术

[0002] 在本发明的范围内，认为发光是包括可见光、红外 (IR) 光以及紫外 (uv) 光的电磁辐射，红外光具有约为 1μm 的自由空间波长。

[0003] 发光固态器件例如发光二极管 (LED) 和固态激光是已知的。上述器件依靠具有对应于在运行中从器件射出的发光光子的量子能量的关联带隙能量的半导体电子跃迁。固态激光装备有光学共振腔，也称为光学校准器，以相对小的立体角集中它们发射的光。

[0004] 运行体无机发光器件，例如由 III-V 半导体制造的发光二极管 (LED)，以放射其波长由关联的半导体材料的带隙决定的光。因而，为了从单一固态部件获得多个实质上不同波长的光，往往需要部件包括多个由相互不同的体材料 (bulk material) 制造的发光器件。上述部件在应用中展现这样的特性 :其输出辐射在波长的范围内不是连续可调但根据包含在部件内不同的器件的数目在波长中易于逐步可调。此外，上述部件不易于较快地动态转换其输出光波长，例如 10sGHz 频率，如在现行和将来展望的电信系统中所希望的。

[0005] 根据公布美国专利申请 no.US2002/0175408 得知可以制造具有小于大约 200nm 的统一直径的空间半导体纳米结构 ;上述纳米结构亦称″纳米线″。该纳米线易于如单晶同质结构那样被制造，也如包括至少两个具有相互不同的化学成分的单晶材料的异质结构那样被制造。由于上述异质结构包括单晶材料，因此可以制造单晶异质结构。上述纳米线易于具有在径向或者纵向上受控制的掺杂和成分，由此导致纳米线包括不同的材料。根据美国专利中描述的方法制造的单晶纳米线能够以单一纳米线 LED 方式发光。因而，具有相互不同的成分的单晶纳米线阵列易于应用于通常的发光，其波长通过在阵列中有选择地激励一种或多种纳米线在发光波长的范围内是电离散变换的。

[0006] 发明人理解载流子的量子限制存在于例如纳米线、量子阱器件和纳米晶体的结构中。此外，发明人理解施加于上述结构上的载流子限制的程度能够引起向这些结构的能带中弯曲。能带对应于光子能量，发光易于发出。因而，发明人理解，通过布置成出现弯曲这样的能带，例如通过来自相关联的所施加电场的影响，可以改变从纳米结构射出的光的波长，该纳米结构的能带的能量对应于这样的发光的光子能量。

## 发明内容

[0007] 本发明的第一目的是提供可替换的固态光辐射源。

[0008] 本发明的第二目的是提供连续可调的上述的固态光辐射源。

[0009] 本发明的第三目的是提供部件，例如显示设备，光学询问器件和包括连续可调的固态光辐射源的光通信系统部件。

[0010] 根据本发明的第一方面，提供一种可调发光半导体器件，其包括至少一个纳米线，

其至少部分由一种或多种展示包括其能量对应于发光的光子能的一个或多个能量跃迁的带隙特性的半导体材料制造，运行该至少一种结构以响应流经其的电流而发光，

[0011] 该至少一个纳米线对于和其中将产生的电流相关的电荷载流子的量子限制是足够窄的，

[0012] 该至少一个纳米线还包括电极排列，该电极布置用于将电场施加到至少一个纳米线，用于引起其带隙特性的弯曲以响应于流过的电流调整运行中从至少一个结构发出的光的波长。

[0013] 本发明的优点在于能够提供微结构可调光源。

[0014] 优选地，用绝缘材料将至少一个纳米线至少密封在其中央区域中，运行电极排列以通过经绝缘材料形成电场而引起该至少一个纳米线的带隙结构弯曲。使用用于至少部分封装至少一个纳米线的上述绝缘材料的优势在于器件的可调电极排列易于至少部分与引起电流流经器件的偏置排列电绝缘。

[0015] 优选地，至少一个纳米线包括多个相互不同组分的区域，多个区域限定了至少一个半导体结，运行中在此产生与电流相关的载流子复合，运行所述的复合以产生从器件中发出的光。在半导体区域的载流子复合是用于产生其量子能量对应于在上述结处的电子能量跃迁的光子的适宜布置。

[0016] 优选地，为了提供更宽阔的发光区并同时提供具有更电流流过的适宜的导电特性的至少一个纳米线，至少一个纳米线包括插入在 n 型区与 p 型区之间的实质本征半导体区，运行本征区以支持其中的载流子复合。

[0017] 优选地，布置电极排列以覆盖至少一个半导体结基本位于的区域。上述排列对确保电极排列有效地确定能够调整从至少一个半导体结发出的光的波长的电场是有效地。

[0018] 可替换地，或另外地，优选布置电极排列以接近至少一个半导体结基本位于的区域。上述排列确保当光从器件的一个或多个半导体结发出时，光很少被削弱。

[0019] 优选地，对于至少一个纳米线的每一个来说，电极排列提供多个电极用于差别地将电场施加到多个区域，用于引起其中相互不同的能带弯曲。上述排列能够使器件发出的光具有较窄的光谱带宽。

[0020] 优选地，配置电极排列以沿着至少一个纳米线基本上在垂直于电流方向的方向上产生电场。上述配置能够使器件便于制造和有效地调整从运行的器件发出的光的波长。

[0021] 优选地，为了获得满意的电子限制以使器件易于操作，至少一个纳米线具有范围从 5nm 至 50nm 的有效额定直径。更优选地，为了获得改善的光波长控制，至少一个纳米线具有范围从 20nm 至 40nm 的有效额定直径。最优选地，至少一个纳米线具有基本上为 30nm 有效额定直径。另外，至少一个纳米线具有使得在操作中提高其中载流子的量子限制的截面尺寸。

[0022] 优选地，为了使器件更易于制造和更有效地将电能转换为对应的光能，至少一个纳米线具有范围从 100nm 至 50μm 的长度。更优选地，至少一个纳米线具有范围从 200nm 至 10μm 的长度。

[0023] 优选地，为了在二维空间中获得足够的电子限制，至少一个纳米线具有不超过 1 ： 2 的截面纵横比。

[0024] 优选地，当制造器件时，至少一个纳米线由 III-V 族或 II-VI 族化合物、或者三元

或者四元半导体材料形成。更优选地，上述化合物或者材料包括磷化铟、砷化镓、氮化铟、硫化镉、硒化镉、硒化锌、砷化铟和氮化镓中的至少一种。这样的材料易于被光电激发和与半导体微制造工艺兼容。

[0025] 优选地，为了获得空间紧凑器件，该器件包括所述纳米线阵列，布置所述纳米线以便它们的细长轴相互平行。

[0026] 优选地，为了在一个或多个家用、工业和电信类型的设备中提供来自实际使用的器件的有用的全通量的光，该器件包括多个纳米线，所述纳米线用于共同发射它们的光以提供从器件输出的总光。

[0027] 优选地，如用于提供图像显示的二维象素那样布置包括多个纳米线的器件。优选地，例如，该器件适合用于至少一个压缩光盘 (CD) 驱动器、DVD 驱动器、象素显示器和在光通信系统中使用的光学元件。

[0028] 根据本发明的第二方面，提供一种制造可调发光半导体器件的方法，该方法包括如下步骤：

[0029] (a) 提供基本平坦的衬底；

[0030] (b) 在衬底的至少一个区域上形成绝缘材料的第一层；

[0031] (c) 形成至少一个纳米线，该结构包括在远离衬底的第一层的暴露表面上的至少一个半导体结，至少一个结构的截面充分小以提供其中电荷载流子的量子限制和为其中的电荷载流子复合提供地点，上述地点展示对应于与发光有关的量子能量的能带分布，至少一个纳米线能够沿其传导相关电流；

[0032] (d) 形成至少部分覆盖至少一个纳米线的绝缘材料的第二层；和

[0033] (e) 在绝缘材料的第二层的上暴露表面上形成电极排列，配置电极排列以便当在操作中偏置时能够在至少一个纳米线中引起能带弯曲用于调整发光的波长。

[0034] 该方法提供了一种制造根据本发明的第一方面的器件的常规方法。

[0035] 优选地，布置电极排列以覆盖至少一个半导体结基本位于的区域。可替换地，其中布置电极排列以接近至少一个半导体结基本位于的区域。

[0036] 优选地，对于制造具有更窄的输出光谱带宽的器件，该方法为至少一个纳米线的每一个提供电极排列，该电极排列包括用于将电场差别地施加到多个区域以引起其相互不同能带弯曲的多个电极。

[0037] 优选地，配置电极排列以在与沿着至少一个纳米线流动的电流的方向垂直的方向上产生电场。

[0038] 优选地，至少一个纳米线具有范围在 5nm 至 50nm 之间的有效额定直径。更优选地，该至少一个纳米线具有范围在 20nm 至 40nm 之间的有效额定直径。最优选地，该至少一个纳米线具有基本上为 30nm 的有效额定直径。

[0039] 优选地，当使用该方法时，该至少一个纳米线具有在操作中能够出现载流子的量子限制的截面尺寸。

[0040] 优选地，该至少一个纳米线具有范围从 200nm 到 10μm 的长度。更优选地，该至少一个纳米线具有范围从 200nm 到 10μm 的长度。

[0041] 优选地，该至少一个纳米线具有不超过 1 ： 2 的截面纵横比。

[0042] 当使用该方法时，优选使用 III-V 族或 II-VI 族化合物、或者三元或者四元半导体

材料制造该至少一个纳米线。更优选地，上述化合物或者材料包括磷化铟、砷化镓、氮化铟、硫化镉、硒化镉、硒化锌、砷化铟和氮化镓中的至少一种。上述材料适合用于使该器件能够在不同的光谱区发光。

[0043] 优选地，使用该方法以制造包括所述纳米线的阵列的器件，布置所述纳米线以便其细长轴基本上相互平行。

[0044] 优选地，使用该方法以制造包括多个纳米线的阵列的器件，所述纳米线用于共同发射它们的光以提供从器件输出的总光。

[0045] 优选地，使用该方法以制造包括如用于提供图象显示的二维像素阵列那样配置的多个纳米线的器件。

[0046] 可以理解在不脱离本发明的范围的情况下采用任意组合方式来组合本发明。

## 附图说明

[0047] 现在参照附图，仅通过实例说明本发明的实施例，其中：

[0048] 图 1 是包括分别对应于纳米线直径和对应于光致发光最大能 (eV) 的横坐标轴和纵坐标轴的图表；

[0049] 图 2 是根据本发明的第一可调发光半导体器件的示意图；

[0050] 图 3 是根据本发明的第二可调发光半导体器件的示意图；

[0051] 图 4 是根据本发明的第三可调发光半导体器件的示意图；

[0052] 图 5 是制造在衬底上的纳米线的截面说明性实例，其中施加到纳米线上的电场能够在纳米线内部调整导电区，由此有意地弯曲由纳米线展示的能带。

## 具体实施方式

[0053] 在下文中，将描述根据本发明的发光二极管 (LED)。然而，可以理解器件的其他分类可以利用使用在上述 LED 中的电光结构，例如可调固态激光器和可调光学探测器。另外，可以理解上述 LED 易于制造成用于生产可视显示器件的二维阵列，例如像素显示器件。

[0054] 从标准体 LED 发出的光由并入其中的一种或者多种材料的带隙决定。因而，在标准体 LED 中，为了从其中产生不同波长的光必须改变其材料和 / 或结构；例如，相互不同波长的光易于由 III-V 半导体材料例如磷化镓铝 (GaAlP) 和磷化铟镓铝 (InGaAlP) 产生。然而，最近，已经将注意力集中在能够发射蓝 / 紫外光波长的光的氮化铟镓 (InGaN)；上述蓝 / 紫外光能够激发荧光体，例如 YAG 荧光体，以生成相互不同颜色光线的范围。

[0055] 提供能够提供不同波长光输出的固态半导体器件的另一方法是利用在量子阱、纳米晶体和纳米线中生成的量子限制。发明人已经意识到易于通过使用上述量子阱、纳米晶体和纳米线制造可调半导体光源。例如，发明人确定的由 Guzelian 等人在 Applied Physics Letters69(1996)pp.1432 的公开揭示了能够通过减小量子阱的宽度，例如通过减小其相关纳米晶体的颗粒尺寸来减小从量子阱发射的光的波长。特别地，在 Gudiksen 等人在 Journal of Physical Chemistry B106(2002)pp.4036 中描述的的纳米线的情况下，发明人意识到磷化铟 (InP) 的光致发光的最大值是上述纳米线的直径的函数；这种结果已引起发明人意识到，由于纳米线能够发射光线，所以易于通过改变上述纳米线的有效直径来调整上述光的波长。图 1 中提供了纳米线直径与从其中发出的光线的波长之间的上述关系

的实例，其中，由“WD”标识的横坐标轴涉及纳米线直径，由“PL max”标识的纵坐标轴表示最大光致发光能量；众所周知，光致发光能和由 Plank 常数 h 输出的光线相关。可以理解当纳米线具有小于约 20nm 直径时，由纳米线产生的光的波长相对于其直径变化很大。然而，在实际中难于制造上述纳米线，尤其当它们的直径基本上小于 50nm 时。现行半导体集成电路制造设备能够光刻限定半导体器件，例如使用结合高对比度抗蚀剂和干法蚀刻工序的深 -UV 光刻法，实现 150nm 左右的最小特征尺寸，因此不能便利地使用目前使用的半导体制造设备来制造如图 1 提供的接近 10nm 的线直径。

[0056] 然而发明人已经意识到施加电场以将纳米线的有效直径减小到使用上述场调整从上述纳米线发出的光能的波长的程度。

[0057] 因此发明人设计了一种发光二极管 (LED)，以一种或多种与用于将可控电场施加到一个或多个纳米线的电极布置空间相关的纳米线的形式布置其半导体材料。

[0058] 为了实现该功能，每个纳米线包括 pn 结和围绕它的电绝缘氧化层。另外，例如为了冷却目的，在衬底上制造每个纳米线。当有多个纳米线时，它们优选布置在具有基本上相互平行的长轴的衬底上。通过真空蒸发或溅射金属末端电极，经氧化层暴露一个或多个纳米线的末端以使其电接触。因而，施加到末端电极的电势差导致电流流经它们的一个或多个纳米线，并引起它们发光。

[0059] 金属控制电极包含在空间上与一个或多个纳米线结邻近的区域中的氧化层上。布置控制电极以便操作施加在控制电极和衬底之间的电势差以基本上在引起耗尽的一个或多个纳米线结处产生标定的横向电场，并由此在该处导致高效更小的有源导电直径；由此由于在传统场效应晶体管中发生能带弯曲的结果，影响在一个或多个结处的电荷传输和载流子复合。如果一个或多个纳米线的有效直径在其中发生载流子的量子限制的范围内，则上述限制对从一个或多个纳米线发出的光的波长有显著的影响。因而，通过调整施加在控制电极和衬底之间的电势差，易于调整操作中从一个或多个结发出的光的波长。

[0060] 在图 1 中，响应增加控制电极和衬底之间的电势差，增加一个或多个纳米线的耗尽导致一个或多个纳米线的有效直径 WD 减小。上述有效直径 WD 的减小对应于其中一个或多个线发光逐步朝向电磁光谱的蓝光末端的光致发光漂移。因而，易于使用一个或多个半导体纳米线制造其输出光是其响应施加在控制电极和衬底之间电势差而连续变化的波长的固态光源。

[0061] 为了进一步描述本发明，将参照图 2 至 4 说明可调发光半导体器件的实例。

[0062] 在图 2 中，展示了根据本发明的可调发光半导体器件的第一实施例。通常用 50 标识器件，该器件包括其上沉积或生长下氧化层 110 的衬底 (SUB)100。在远离衬底 100 的氧化层 110 上沉积纳米线阵列，例如由 120 标识的纳米线。优选地，纳米线 120 是在下氧化层 110 上的一个或多个基本平行和基本相互等距放置的纳米线。纳米线 120 相互基本相同，每个纳米线 120 包括第一纳米线段 130 和第二纳米线段 140，如图所示。段 130、140 分别由 p 型和 n 型半导体材料制造。优选地，操作器件 50 以发射在人眼可视的电磁光谱的一部分内的光，使用直接带隙半导体制造纳米线 120；上述直接带隙半导体包括但不限于此磷化铟 (InP)、砷化镓 (GaAs)、氮化铟 (InN)、硫化镉 (CdS)、硒化镉 (CdSe) 和硒化锌 (ZnSe) 中的至少一种。另外，易于通过一种或多种化学气相沉积、分子束外延和相关类型的工艺来制造纳米线 120，更优选地，通过使用气液固 (VLS) 生长工艺制造纳米线 120。运行器件 50 发射基

本上位于电磁光谱的红外线部分和紫外线区域下的电磁辐射，纳米线 120 优选分别由砷化铟 (InAs) 和氮化镓 (GaN) 制造。使用选择掺杂以限定段 130，140，例如通过用于制造器件 50 的气相沉积工艺的离子注入和 / 或控制。纳米线 120 优选具有范围从 10nm 至 50nm 的额定直径，更优选在从 20nm 至 40nm 的范围，最优选为大约 30nm。而且，纳米线 120 优选具有范围从 100nm 至 50μm 的长度，更优选在 200nm 至 10μm 的范围内。另外，优选将纳米线 120 制造成具有不超过 1 ： 2 的截面纵横比。纳米线 120 的截面尺寸优选地使量子限制能够在运行中发生。

[0063] 在中心轴 A-A’处，每个纳米线 120 的纳米线段 130，140 满足提供相关的半导体结 150。暴露远离中心轴 A-A’的纳米线段 130，140 的末端，例如通过经氧化层 180 蚀刻，用于如图所示分别通过末端金属电极 160，170 使其在该处电接触。在纳米线 120 上沉积是空间布置的上氧化层 180，结合下氧化层 110，密封纳米线 120，除了段 130，140 分别与末端金属电极 160，170 进行欧姆接触之外；图 5 示意性展示了上述布置。接着，在结 150 和衬底 100 上方的上氧化层 180 上例如通过金属的真空蒸发来沉积中心金属电极 190 以便从那里电绝缘。优选地，延长和布置中心电极 190 以使得其细长轴基本上平行于末端金属电极 160，170 排列，如图所示；更优选地，中心电极的细长轴基本上垂直于纳米线 120 的纵轴。在平面图中，布置中心电极 190 以基本上与纳米线 120 的结 150 对称交叠。

[0064] 现在总体描述器件 50 的运行。

[0065] 在运行中，横跨电极 160，170 施加第一偏置电势 $V_1$ 以引起电流 I 流经纳米线 120。在中心电极 190 和衬底 100 之间施加第二偏置电势 $V_2$ 以感应在上氧化层 180 和纳米线 120 之间的界面处的界面电荷，以相似的方式使上述感应的界面电荷上升到场效应晶体管 (FET) 中的栅电荷。感应的电荷能够引起纳米线 120 中的能带弯曲。弯曲量是电势 $V_2$ 的幅度和极性的函数。电势 $V_2$ 有利地是其极性使得在界面处形成耗尽层；耗尽层易于耗尽移动载流子，因而，发生电荷传输和复合处的纳米线 120 的有源导电区能够减小尺寸。因此电势 $V_2$ 用于调整纳米线 120 的有效直径和由此从其中发射光的波长。

[0066] 因而，操作结 150 以响应流经其的电流 I 来发射光线。而且电势 $V_2$ 能够调整以连续变化的方式从结 150 发出的光的波长。结果，器件 50 能够提供调频光线，例如用在波长分割多路转换 (WDM) 的光学通信装置中。

[0067] 现在进一步更详细的描述器件 50 的运行。

[0068] 实际上，电势 $V_2$ 在纳米线 120 的不同掺杂部分引起能带弯曲的差异度。例如，当使电势 $V_2$ 相对衬底 100 为正时，在纳米线 120 和上氧化层 180 之间的界面的氧化物一侧上感应正电荷。为了保持电荷的中性，在纳米线 120 处需要负电荷。在交叠第一纳米线段 130 的上氧化层 180 的区域中的界面处，将发生向上能带弯曲，即出现在此产生负空间电荷的耗尽或反型层。相反地，在覆盖第二纳米线段 140 的上氧化层 180 的区域中的界面处，发生导致形成积累层的向下能带弯曲。在第二纳米线段 140 的附近发生的能带弯曲比在第一段 130 的附近发生的弯曲更小。

[0069] 因而，在第二段 140 的 n 型半导体材料中，补偿由施加到中心电极 190 的信号感应的正电荷所需要的负电荷的量小于已经存在于 n 型区域中的负电荷载流子的量，因而，实际中出现小程度的能带弯曲。然而，在第一段 130 的 p 型半导体材料中，相对于普通量感应了相对大量的负电荷，例如由于掺杂杂质的结果，因此，相对较大的能带弯曲发生在第一段

130。出现在两段 130,140 中的能带弯曲的上述相对差异暗示纳米线 120 内的有源区的不同直径,由此引起从纳米线 120 发出的光线的波长范围。

[0070] 实际中,发生在第一和第二线段 130,140 中的相对能带弯曲量的差异实际上对纳米线 120 中的电子和空穴的不同迁移率的量有较小的影响。纳米线 120 中的电子具有比其中的空穴更高的迁移率,因此电子穿入第一线段 130 比空穴穿入第二线段 140 更深。因而,复合初始发生在由 p 型材料制造的第一线部 130,结果,能带弯曲,因此相对于衬底 100 易于通过将正电压施加到中心电极 190 实际调整从器件 50 发出的光的波长。

[0071] 从图 2 可以理解,操作中心电极 190 以至少部分使结 150 被遮蔽,由此削弱和散射该处生成的光。而且,如前面所述,希望将两个相互不同的耗尽电势施加到第一和第二线段 130,140 以便获得相似的能带弯度并因此使从器件 50 发出的光谱变得更窄。易于通过布置基本邻近结 150 的电极 190 如两个电极 190a,190b 但如图 3 所示不遮蔽它们来减少上述的光谱变宽、削弱和散射。易于使图 3 的器件具有施加到它们两个电极 190a,190b 的相互不同的偏置电压以便在第一和第二纳米线段 130,140 中提供基本相似的能带弯曲。优选地,电极 190a,190b 之间的间隙“w”在所示的上氧化层 180 和段 130,140 的组合厚度“t”的 0.5 至 10 倍的范围内。更优选地,间隙“w”在厚度“t”的 1 至 3 倍的范围内。

[0072] 为了使图 3 中的器件能够提供从结 150 发出的光的更快频率调整,电极 190a,190b 优选没有横向朝着末端电极 160,170 显著扩展,这是因为在很少发生载流子复合的区域中电极 190a,190b 对调整光线相对无效。

[0073] 在单个中心电极 190 是更理想的和器件制造变得很直接的情况下,段 130,140 本身很容易制造,其具有图 4 所示的其间的本征区域。在图 4 中,该器件包括在每个纳米线 120 的第一和第二段 130,140 之间的本征区域 200。上述本征区域 200 有效地空间延伸到发生电子复合的程度,其能量对应于从纳米线 120 发出的可见光的光子。如图所示,中心电极 190 优选基本上空间横跨本征区域 200。本征区域 200 的结合也易于增加在一些使用电压源以激励器件的应用中有优势的纳米线 120 的电阻。

[0074] 可以理解,从单个纳米线 120 发出的光对一些实际 LED 应用例如希望人眼可见来说是不足的。结果,图 2 至 4 中的器件包括多个纳米线 120,例如纳米线 120 的多行的二维阵列。易于使用 Huang 等人的 Science291(2001)pp.630 的公开中描述的流程和 / 或 Duan 等人 Nature409(2001)pp.66 的公开中描述的静电组件来制造上述阵列,这两个公开揭露了作为参考并入的主题。

[0075] 因此,在上文中,描述了运行可以发射其波长易于受电压控制的光的 LED。该 LED 包括由直接带隙半导体材料制造的纳米线 120 的阵列。每个纳米线 120 并入内部 pn 结和围绕它的绝缘氧化层。在运行中易于发光的每个纳米线 120 的区域中蒸发或另外沉积至少一个栅电极。通过将电压差施加到至少一个栅电及上,获得在接近至少一个电极的区域中产生调整电荷传输和载流子复合的纳米线 120 的能带弯曲。由于发光的波长依靠纳米线 120 的有源区的直径,响应电压差的变化来引起波长的变化。

[0076] 可以理解,图 2 中的器件和其在图 3 和 4 中的变形易于用于电光产品的广阔范围,例如压缩光盘 (CD) 驱动器、DVD 驱动器、象素显示器和使用光纤信号传输的波长分割多路转换 (WDM) 的多通道光学通信系统。

[0077] 可以理解在不脱离本发明范围的情况下易于修改前面所述的本发明的实施例。

[0078] 例如，在前面所述，描述了运行发光的 LED 的制造和结构，其中相对于相关平面衬底的主表面平面基本平行地布置 LED 的元件部分。LED 可替换用在平面衬底的主表面上在非平行，更优选基本垂直的方向上布置的元件部分来制造。从流行的 scientific publication(JAP 77(2)，pp.447，1995) 得知，易于在 GaAs 衬底的主 [111] 向的晶面表面上在垂直方向上外延生长 GaAs 纳米线。在上述垂直外延生长过程中，包括 p-n 结。而且，通过在栅材料中嵌入发光纳米线阵列来共同制造栅电极。栅极材料优选是透明材料例如氧化铟锡 (ITO)，尽管可替换使用基本透明的有机聚合物例如聚噻吩衍生物 (PEDOT) 材料。在上述远离衬底的栅材料的顶端上，沉积氧化物绝缘材料，其后提供连接到纳米线的顶电极以制造并入易于发光的“垂直”生长纳米线的可调波长 LED。

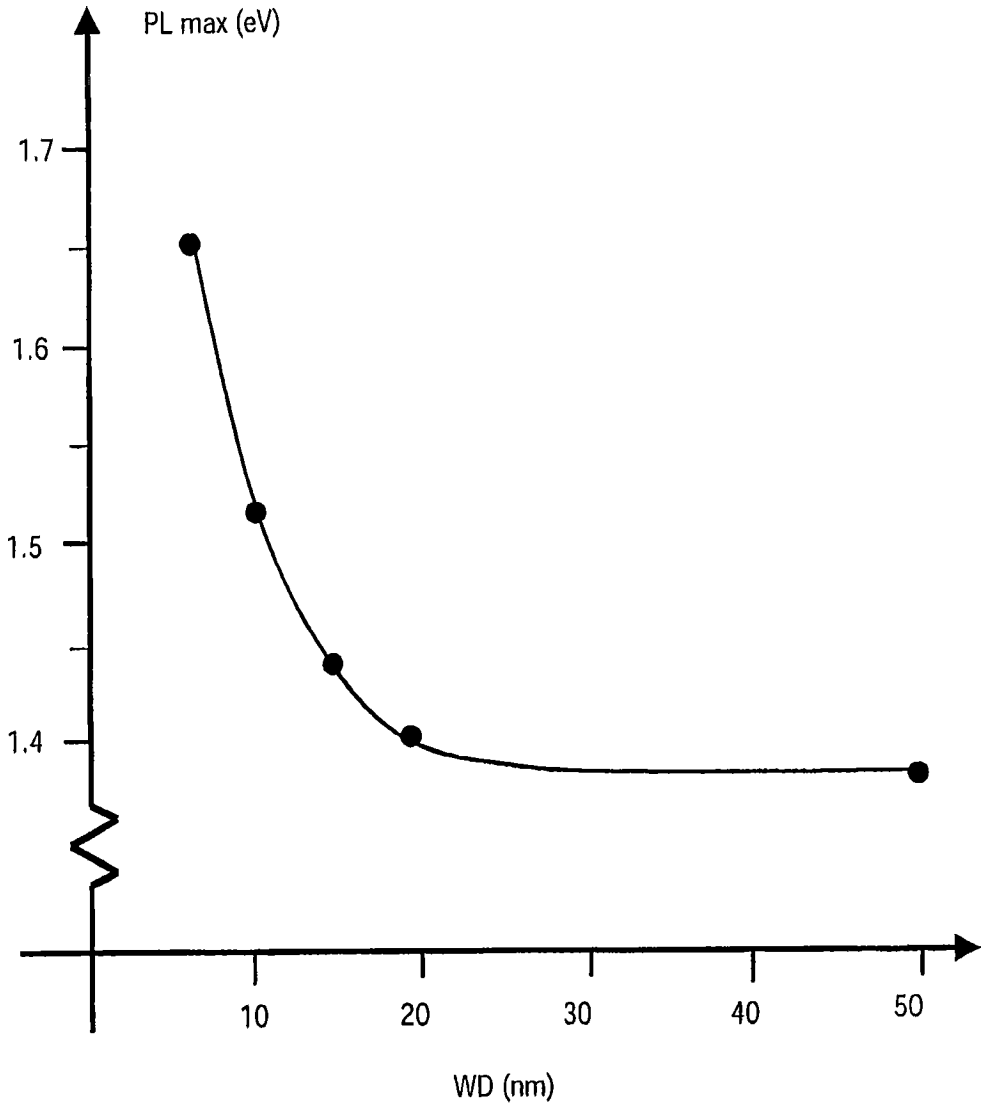



图 1

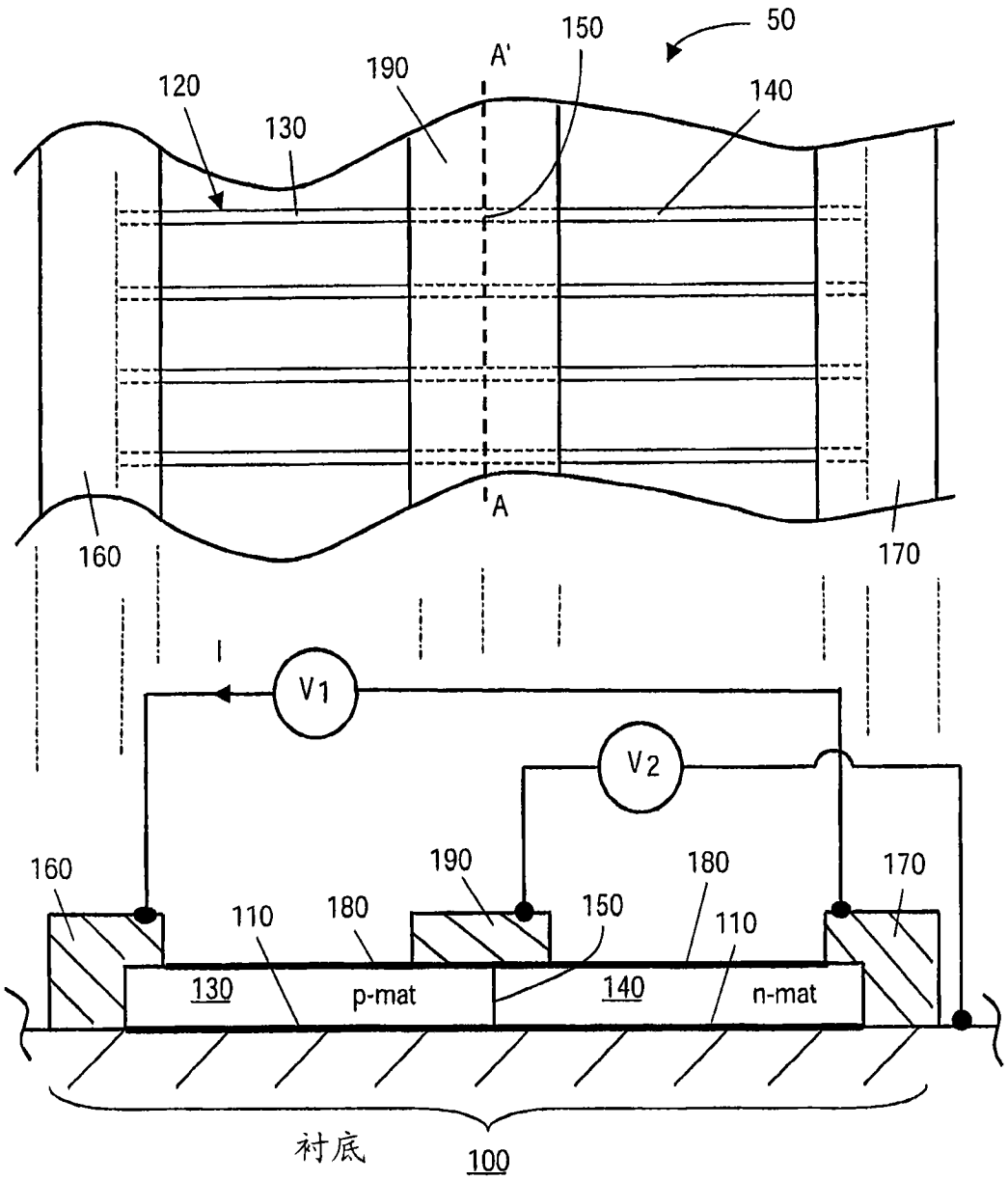

50
150
A'
190
120
130
140
A
160
170
I
V1
V2
160
190
180
170
110
180
150
110
130
p-mat
140
n-mat
衬底
100

图 2

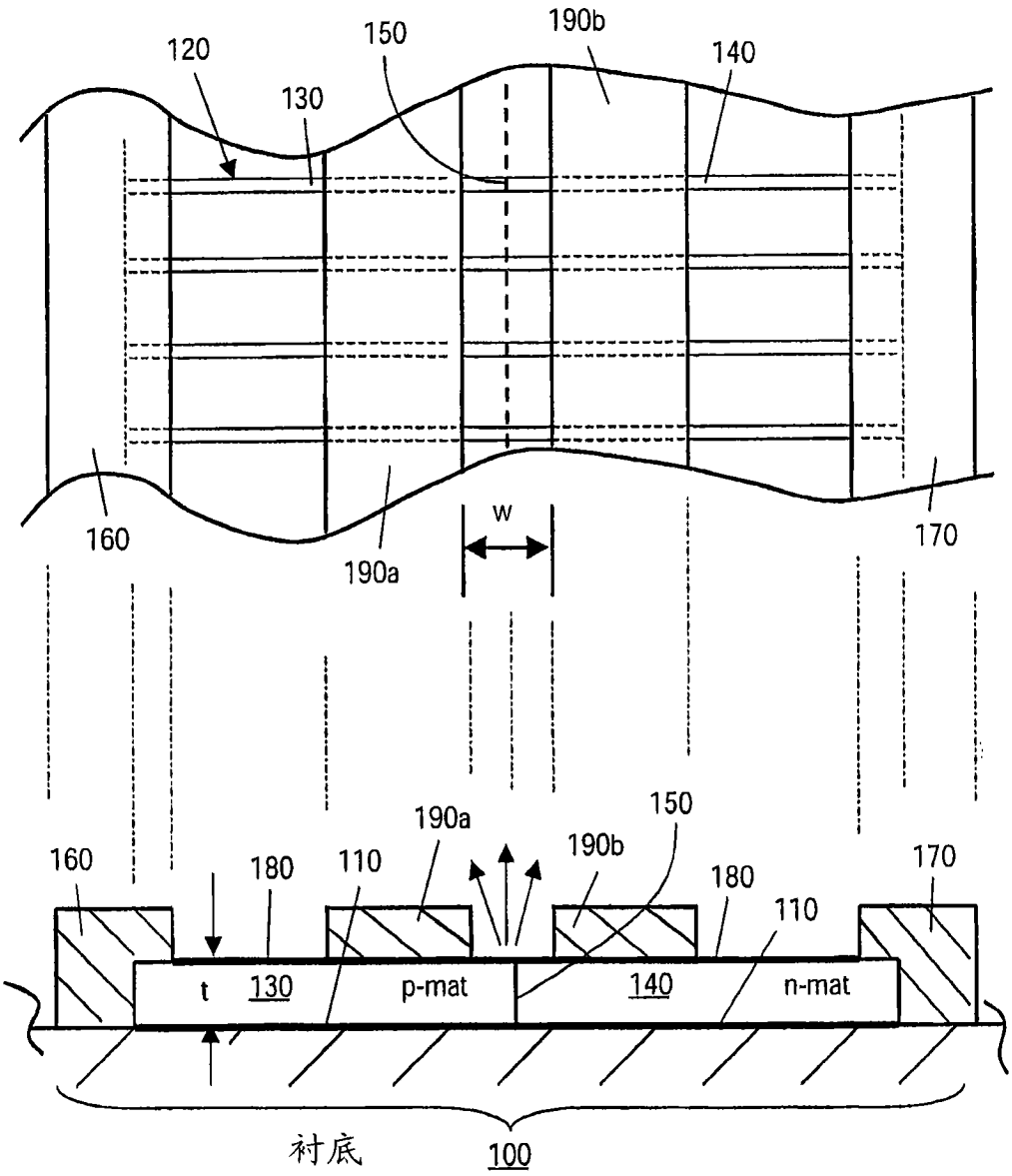

120
150
190b
140
130
160
190a
w
170
160
180
110
190a
190b
150
180
110
170
t
130
p-mat
140
n-mat
衬底
100

图 3

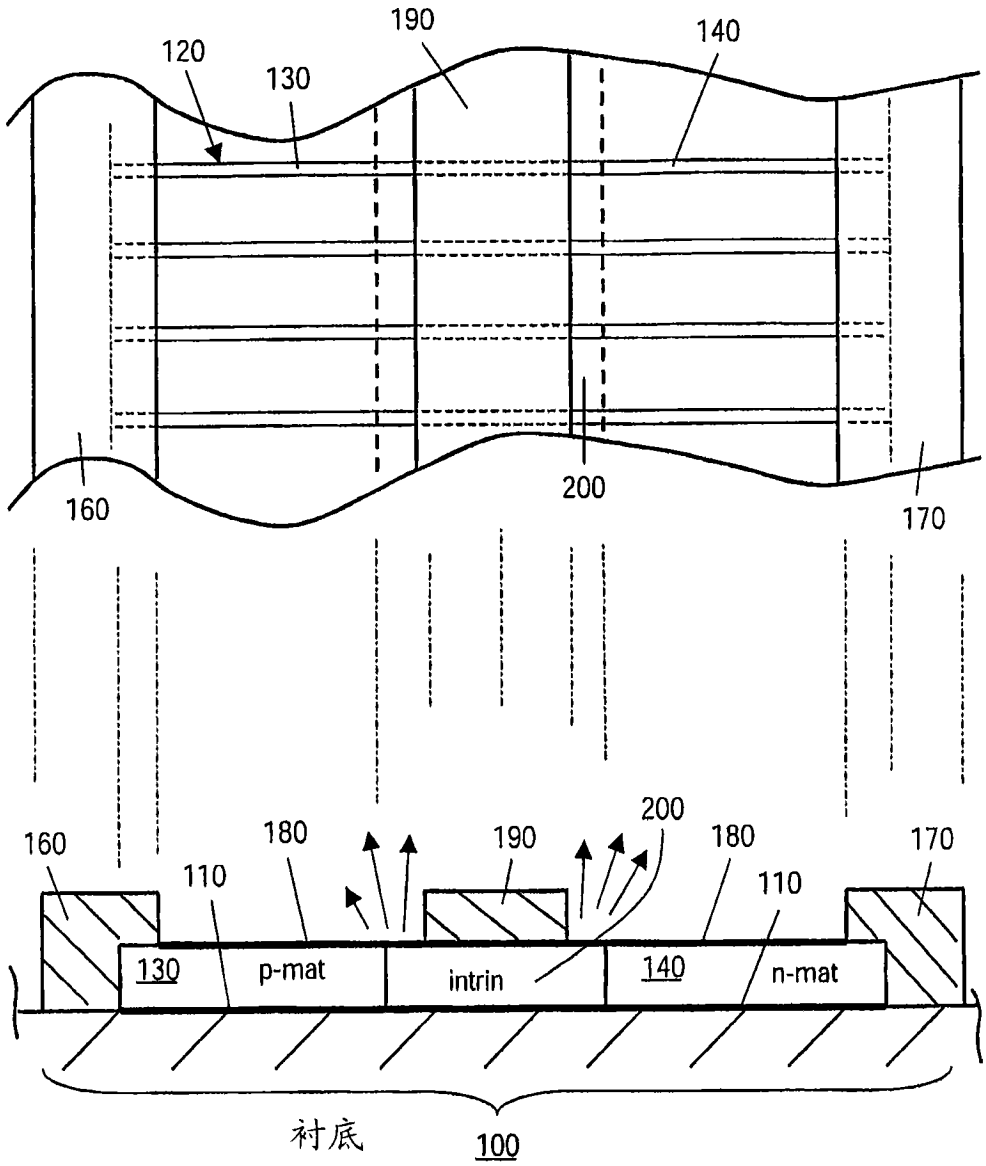

190
120
130
140
160
200
170
160
180
190
200
180
170
110
110
130
p-mat
intrin
140
n-mat
衬底
100

图 4

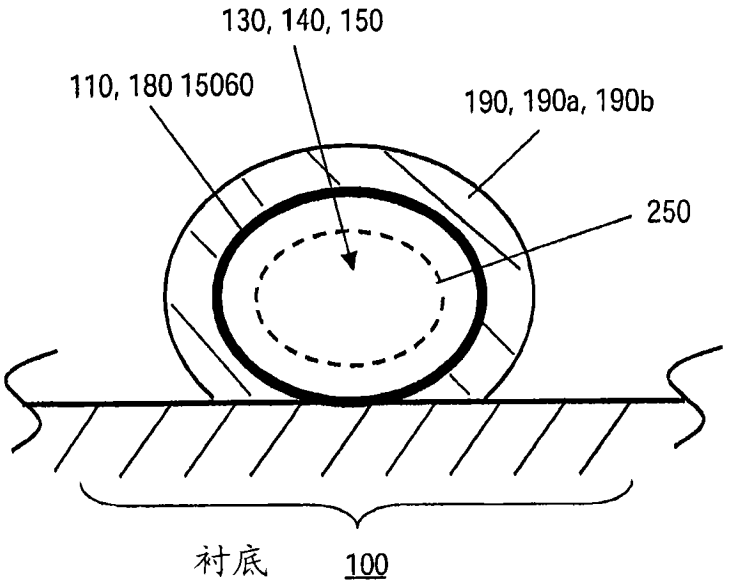



图 5