

发明名称：半导体激光器及其制备方法

[0001] 本申请要求于2022年5月10日提交中国专利局、申请号为202210501840.0、发明名称为“半导体激光器及其制备方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0002] 本公开涉及光通信领域，特别是涉及一种半导体激光器及其制备方法。

背景技术

[0003] 相比于外调式激光器，直调式半导体激光器的出光功率更高、生产成本更低且功耗更小。因此，大带宽、低啁啾的直调式半导体激光器一直都是光通信的研究热点之一。

[0004] 传统的半导体激光器的带宽受限于器件的RC常数和载流子-光子的弛豫震荡频率，其最大带宽只能做到30GHz左右。为了进一步提升直调式半导体激光器的调制带宽，相关技术中在考虑采用更短的短腔长和更大的光场限制因子，或者利用光子-光子共振（Photon-Photon Resonance）、负载失谐和调幅（Amplitude Modulation, AM）- 调频（Frequency Modulation, FM）转换等物理效应。然而，如何在有效提升直调式半导体激光器调制带宽的同时实现较高的良品率，是亟需解决的问题。

发明概述

技术问题

[0005] 基于此，有必要提供一种直调式半导体激光器，在有效提升直调式半导体激光器调制带宽的同时实现较高的良品率，并且避免因激光器前后端面的反射而形成FP腔，导致激光器在高温或低温下产生多纵模振荡。

技术解决方案

[0006] 根据本公开实施例的一个方面，提供一种半导体激光器。半导体激光器包括光波导以及设置于光波导一侧的光栅。光栅包括并排设置的第一光栅部分和第二

光栅部分。

- [0007] 本公开实施例中，在光波导的一侧设置由第一光栅部分和第二光栅部分共同构成的光栅，可以利用该第一光栅部分和第二光栅部分共同决定半导体激光器的激射波长及光子-光子共振频率，以很好的控制半导体激光器的激射波长在第一光栅反射谱的长波长边缘，同时将光子-光子共振频率较精准的控制在一个较小范围内。其中，第二光栅部分能够对该半导体激光器的激射波长起到主要决定作用，而利用第一光栅部分，可以使得该半导体激光器的激射波长在位于第一光栅部分反射谱的长波长边缘时产生负载失谐效应，以通过负载失谐效应有效提升直调式半导体激光器的带宽。同时，本公开实施例还可以通过对光子-光子共振频率的精准控制，有效提升直调式半导体激光器的带宽。
- [0008] 并且，本公开实施例中，并排设置的第一光栅部分和第二光栅部分具有不同的耦合系数，通过在厚度均匀的光栅材料层上一次刻蚀形成。
- [0009] 由上，本公开实施例通过设计光栅的结构和简化光栅刻蚀工艺，可以在有效提升半导体激光器调制带宽的同时避免对半导体激光器做其他复杂工艺处理，并且精准控制半导体激光器的激射波长和光子-光子共振频率，从而实现较高的良品率。
- [0010] 在一些实施例中，第一光栅部分的长度小于第二光栅部分的长度。如此，第二光栅部分能够对该半导体激光器的激射波长起到主要决定作用，而第一光栅部分主要用于使得该半导体激光器的激射波长在位于第一光栅部分反射谱的长波长边缘时产生负载失谐效应。
- [0011] 在一些实施例中，第一光栅部分的耦合系数大于第二光栅部分的耦合系数。
- [0012] 在一些实施例中，第一光栅部分的周期小于第二光栅部分的周期。
- [0013] 可选地，第一光栅部分的周期较小，满足一阶布拉格反射条件，而第二光栅部分的周期较大，满足二阶或者更高阶的布拉格反射条件；在光栅材料层厚度相同的情况下，通过一次刻蚀，使得第一光栅部分的耦合系数不同于第二光栅部分的耦合系数。
- [0014] 在一些实施例中，半导体激光器具有相对设置的光输出端和光反射端。半导体激光器还包括设置于光输出端端面上的增透膜，以及设置于光反射端端面上的

反射膜。光波导的两端分别与增透膜和反射膜耦接。其中，第一光栅部分位于第二光栅部分靠近反射膜的一侧；或，第一光栅部分位于第二光栅部分靠近增透膜的一侧。

- [0015] 本公开实施例中，对于半导体激光器光输出端的端面没有反射率的要求，也即，该半导体激光器无需利用光输出端的端面进行光反馈。如此，本公开实施例可以在光输出端面设置增透膜。这样即便增透膜的光反射为零，半导体激光器通过前述光栅的结构仍然能够产生光子-光子共振。从而能够避免因半导体激光器光输出端面端面和光反射端面端面的光反射而形成FP腔，导致半导体激光器在高温或低温下产生多纵模振荡。本公开实施例提供的半导体激光器，能够有效实现单纵模工作。
- [0016] 在一些实施例中，第一光栅部分和第二光栅部分之间具有间隔。光波导包括相移区。相移区所在区域与所述间隔在光波导上的正投影重叠。
- [0017] 可选地，相移区包括无源光波导部。
- [0018] 本公开实施例中，在光波导内设置相移区，可以使得光波导所传输的光信号在通过相移区之后，可以被控制产生一定相位的偏移，例如产生 $2k\pi + \pi/2$ 的相位差或其他固定相位值的相位差；相移区可以更有效地控制激光器的工作波长。
- [0019] 在一些实施例中，光波导包括相耦接的有源光波导部和无源光波导部。第一光栅部分和第二光栅部分之间的间隔和第二光栅部分在光波导上的正投影位于无源光波导部所在区域内。
- [0020] 在一些实施例中，半导体激光器还包括：相对设置的第一型电极层和第二型电极层；其中，第一型电极层和第二型电极层中的一者位于光栅背离光波导的一侧，另一者位于光波导背离光栅的一侧。
- [0021] 本公开实施例中，通过第一型电极层和第二型电极层，可以向光栅中的第一光栅部分及第二光栅部分注入电流，以产生光增益，从而提升半导体激光器的出光效率。
- [0022] 可选地，第一型电极层为P型电极层。P型电极层包括：绝缘设置的第一电极和第二电极；其中，第一电极在光波导上的正投影与第一光栅部分在光波导上的正投影至少部分重叠。第二电极在光波导上的正投影与第二光栅部分在光波导

上的正投影至少部分重叠。

[0023] 本公开实施例中，光栅的第一光栅部分及第二光栅部分可以共用第二型电极层。并且，本公开实施例将第一型电极层（即P型电极层）设置为相对独立的第一电极和第二电极，可以利用第一电极控制注入第一光栅部分的电流大小，利用第二电极控制注入第二光栅部分的电流大小。这样通过对第一光栅部分和第二光栅部分进行独立的电流注入控制，可以分别控制第一光栅部分和第二光栅部分产生所需的光增益。

[0024] 可选地，第一光栅部分和第二光栅部分之间具有间隔。P型电极层还包括与第一电极、第二电极分别绝缘的第三电极；第三电极在光波导上的正投影与所述间隔在光波导上的正投影至少部分重叠。如此，可以利用第三电极控制光波导所传输的光信号在通过前述间隔对应的区域之后产生一定相位的偏移。

[0025] 在一些实施例中，光波导包括相位调制部。第三电极在光波导上的正投影与相位调制部在光波导上的正投影重叠。如此，可以利用第三电极控制注入相位调制部的电流大小，以控制光波导所传输的光信号在通过相位调制部之后产生一定相位的偏移。

[0026] 在一些实施例中，光波导包括无源光波导部。第一光栅部分和第二光栅部分之间的间隔和第二光栅部分在光波导上的正投影位于无源光波导部所在区域内。第三电极和第二电极在光波导上的正投影位于无源光波导部所在区域内。

[0027] 根据本公开实施例的另一个方面，提供一种半导体激光器的制备方法。该制备方法包括：在光波导的一侧形成厚度均匀的光栅材料层，并通过一次刻蚀工艺形成并排设置的第一光栅部分和第二光栅部分，第一光栅部分和第二光栅部分共同构成光栅，第一光栅部分的耦合系数大于第二光栅部分的耦合系数。

[0028] 可选地，第一光栅部分刻蚀的周期小于第二光栅部分刻蚀的周期。

[0029] 可选地，第一光栅部分刻蚀的占空比不同于第二光栅部分刻蚀的占空比。

[0030] 可选地，第一光栅部分刻蚀的深度大于第二光栅部分刻蚀的深度。

有益效果

[0031] 本公开实施例中，利用一次刻蚀工艺可以制成两个具有不同长度、不同耦合系数以及不同周期等特性的第一光栅部分和第二光栅部分。并且，该制备方法可

以严格控制第一光栅部分和第二光栅部分之间的相移，从而解决相关技术中因不同性能光栅需要采用不同刻蚀工艺而产生不可控相移误差的问题，以利于提高半导体激光器的良品。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本公开实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0033] 图1为相关技术中提供一种半导体激光器中激射波长与光栅相位对应变化的示意图；

[0034] 图2为相关技术中提供一种半导体激光器中光子-光子共振频率与光栅相位对应变化的示意图；

[0035] 图3为一实施例中提供一种半导体激光器的结构示意图；

[0036] 图4为一实施例中提供的多种材料厚度下对应一阶光栅和三阶光栅的耦合系数示意图；

[0037] 图5为一实施例中提供的另一种半导体激光器的结构示意图；

[0038] 图6为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0039] 图7为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0040] 图8为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0041] 图9为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0042] 图10为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0043] 图11为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0044] 图12为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0045] 图13为一实施例中提供的又一种半导体激光器的结构示意图；

[0046] 图14为一实施例中提供一种半导体激光器中第一光栅部分和第二光栅部分的反射谱图；

[0047] 图15~图30为一些实施例中提供一种半导体激光器在多种不同光栅相位下的光栅反射谱图；

[0048] 图31为一实施例中提供的一种半导体激光器中激射波长与光栅相位对应变化的示意图；

[0049] 图32为一实施例中提供的一种半导体激光器中光子-光子共振频率与光栅相位对应变化的示意图。

[0050] 附图标记说明：

[0051] 1-光波导，PS-相移区，11-无源光波导部，12-有源光波导部，

[0052] 110-光传输层，111-第一型限制层，112-第二型限制层，

[0053] 2-光栅，21-第一光栅部分，22-第二光栅部分，23-间隔，

[0054] 31-增透膜，32-反射膜，

[0055] 41-第一型电极（P型电极），411-第一电极，412-第二电极，413-第三电极，

[0056] 42-第二型电极（N型电极），51-第一型包覆层，52-第二型包覆层。

本发明的实施方式

[0057] 为了便于理解本公开，下面将参照相关附图对本公开进行更全面的描述。附图中给出了本公开的实施例。但是，本公开可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使本公开的公开内容更加透彻全面。

[0058] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本公开的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本公开的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本公开。

[0059] 应当明白，当元件被称为与其它元件“连接”或“耦接”时，其可以直接地连接或耦接到其它元件，或者可以存在居间的元件。相反，当元件被称为“直接连接到”或“直接耦接到”其它元件时，则不存在居间的元件。

[0060] 应当明白，尽管可使用术语第一、第二、第三等描述各种元件、部件、区、层和/或部分，但这些元件、部件、区、层和/或部分不应当被这些术语限制。这些术语仅仅用来区分一个元件、部件、区、层或部分与另一个元件、部件、区、层或部分。因此，在不脱离本公开教导之下，下面讨论的第一元件、部件、区、层或部分可表示为第二元件、部件、区、层或部分。

[0061] 在此使用时，单数形式的“一”、“一个”和“所述/该”也可以包括复数形

式，除非上下文清楚指出另外的方式。还应当理解的是，术语“包括/包含”或“具有”等指定所陈述的特征、整体、步骤、操作、组件、部分或它们的组合的存在，但是不排除存在或添加一个或更多个其他特征、整体、步骤、操作、组件、部分或它们的组合的可能性。同时，在本说明书中，术语“和/或”包括相关所列项目的任何及所有组合。

- [0062] 近几年来，受网络流量的爆发性增长和云存储、分布式计算等应用的驱动，数据中心传输速率未来几年将从单波长100G向400G甚至800G升级，因此，大带宽的光调制器成为数据中心光互连的关键技术。目前，铌酸锂和硅基等外调制器都已经达到50Gbaud甚至100Gbaud的调制速率，但是外调制激光器相比于直调的半导体激光器，出光功率低，成本高，功耗大，所以大带宽、低啁啾的直调半导体激光器一直都是光通信的研究热点之一。
- [0063] 传统半导体激光器的带宽受限于器件的RC常数和载流子-光子的弛豫振荡频率，最大带宽只能做到30GHz左右。为了进一步提升直调半导体激光器的调制带宽，可以采用更短的短腔长和更大的光场限制因子，或者利用光子-光子共振、负载失谐和调幅-调频转换等物理效应。
- [0064] 在一些示例中，将50 μm 长度的分布式反馈直调激光器（Distributed Feedback Laser, DFB）晶圆键合到SiC上，显著提升了光场限制因子，实现了40GHz的弛豫振荡频率，光子-光子共振频率为95GHz，调制带宽达到了108GHz。
- [0065] 在一些示例中，直调激光器采用DFB+反射器（Reflector, R）结构，可以利用光子-光子共振（Photon-Photon Resonance）、负载失谐和调幅（Amplitude Modulation, AM）- 调频（Frequency Modulation, FM），使调制带宽达到65GHz - 75GHz。
- [0066] 然而，将DFB晶圆键合到SiC晶圆上的工艺非常复杂，容易导致激光器的出光功率较低。而采用DFB+R结构的直调激光器则需要严格控制激射波长和光子-光子共振频率，这容易使得实际器件的良品率受到影响。
- [0067] 并且，对于采用DFB+R结构的直调激光器，为了实现光子-光子共振频率的带宽提升效果，光子-光子共振频率必须严格控制在一定范围内。因为太大或者太小

的光子-光子共振频率都无法实现带宽提升。而负载失谐效应则需要激光器的激射波长位于光栅反射谱的长波长边缘，因此，需要严格控制激射波长。但是，在单纵模半导体激光器的实际应用中，需要在后端面设置HR（High Reflectivity）膜，这使得激光器的激射波长随着光栅端面相位（特别是光栅在HR端面的相位）的变化而变化，因此无法保证负载失谐效应。例如，当激射波长大于反射谱中心波长时，激射波长位于光栅反射谱的长波长边缘，这样就可以产生负载失谐效应。而当激射波长小于反射谱中心波长时则无法产生负载失谐效应。

[0068] 图1示出了一种半导体激光器中激射波长与光栅相位对应变化的示意图。从图1中可以看出，激射波长随光栅端面相位的变化容易产生较大的变化。同时，光栅在端面的相位也会影响光子-光子共振频率，不同的光栅相位导致光子-光子共振频率有较大的改变。图2示出了一种半导体激光器中光子-光子共振频率与光栅相位对应变化的示意图。从图2中可以看出，实心点●和空心点○所表示的激射波长对应侧边模相对于激射波长存在频偏，其光子-光子共振频率随光栅相位的变化会产生较大地变化。

[0069] 在半导体激光器的制造过程中，端面可以通过划片解理得到。由于端面解理的位置通常无法精准控制，且光栅的周期很短（约200nm），这导致光栅在端面的相位在实际器件中是不可控的。所以，在实际采用DFB+R结构的半导体激光器中，HR端面的光栅相位是随机的，这使得采用DFB+R结构的半导体激光器的激射波长和光子-光子共振频率也是不可控的。由此容易带来严重的良品率问题。

[0070] 另外，由于采用DFB+R结构的半导体激光器需要一定的腔内反馈，因此前端面需要有一定的反射率（比如需要3%的反射率），这样前端面与后端面的HR之间将形成一个Fabry-Perot（FP）腔。在常温下，半导体激光器的增益峰位于光栅反射谱附近，激射波长主要由光栅决定。但是在高温或者低温下，半导体激光器的增益峰会漂移而远离光栅反射谱的中心波长。此时，由半导体激光器端面所形成的FP模的增益可能会大于腔内其他模式，容易使得半导体激光器发生FP模式激射，导致产生多纵模振荡。

[0071] 由上，如何在有效提升直调式半导体激光器调制带宽的同时实现较高的良品率

，以及避免因激光器前后端面的反射而形成FP腔，导致激光器在高温或低温下产生多纵模振荡，是亟需解决的问题。

[0072] 基于此，请参阅图3，本公开实施例提供了一种半导体激光器。半导体激光器包括光波导1以及设置于光波导1一侧的光栅2。光栅2包括并排设置的第一光栅部分21和第二光栅部分22，其中，第一光栅部分21和第二光栅部分22共同作用，产生光子-光子共振和负载失谐效应。

[0073] 上述光波导1用于传导光波，例如可以采用脊波导或掩埋异质结波导等。本公开实施例对此不做限定。

[0074] 上述第一光栅部分21和第二光栅部分22并排设置，是指：第一光栅部分21和第二光栅部分22同层设置，二者可以在同一材料层上进行一次刻蚀形成。可选地，第一光栅部分21和第二光栅部分22之间直接相连。或者，第一光栅部分21和第二光栅部分22之间具有间隔。第一光栅部分21和第二光栅部分22之间例如可以通过一段无光栅图案的材料相连。

[0075] 本公开实施例中，在光波导1的一侧设置由第一光栅部分21和第二光栅部分22共同构成的光栅2，可以利用该第一光栅部分21和第二光栅部分22共同决定半导体激光器的激射波长及光子-光子共振频率，以很好地控制半导体激光器的激射波长在光栅反射谱的长波长边缘，同时将光子-光子共振频率较精准的控制在一个较小范围内。其中，第二光栅部分22对该半导体激光器的激射波长起到主要决定作用，而在第一光栅部分21和第二光栅部分22共同作用下，可以使得该半导体激光器的激射波长在位于第一光栅部分21反射谱的长波长边缘时产生负载失谐效应，有效提升直调式半导体激光器的带宽。此外，本公开实施例还可以通过对光子-光子共振频率的精准控制，有效提升直调式半导体激光器的带宽。

[0076] 并且，本公开实施例中，光栅2包括并排设置的第一光栅部分21和第二光栅部分22，可以通过一次刻蚀形成。虽然第一光栅部分21和第二光栅部分22的厚度是相同的，但是通过刻蚀不同的光栅占空比，或者采用不同的光栅周期，不同的光栅周期对应于不同的光栅阶数（如短周期的一阶光栅和长周期的三阶光栅），可以实现不同的光栅耦合系数。

[0077] 由上，本公开实施例通过设计光栅2的结构，可以在有效提升半导体激光器调

制带宽的同时避免对半导体激光器做其他复杂工艺处理，以及精准控制半导体激光器的激射波长和光子-光子共振频率，从而实现较高的良品率。

[0078] 上述第一光栅部分21和第二光栅部分22的结构可以根据其功能匹配设计。

[0079] 示例地，第一光栅部分21和第二光栅部分22可以分别为一阶光栅。或者，第一光栅部分21和第二光栅部分22可以分别为高阶光栅。又或者，第一光栅部分21可以为一阶光栅，第二光栅部分22可以为高阶光栅。又或者，第一光栅部分21可以为高阶光栅，第二光栅部分22可以为一阶光栅。

[0080] 在一个示例中，第一光栅部分21为一阶光栅，第二光栅部分22为高阶光栅。

[0081] 示例地，第一光栅部分21的长度和第二光栅部分22的长度不同。例如，第一光栅部分21的长度小于第二光栅部分22的长度。如此，第二光栅部分22能够对该半导体激光器的激射波长起到主要决定作用，而第一光栅部分21主要用于使得该半导体激光器的激射波长在位于第一光栅部分21反射谱的长波长边缘时产生负载失谐效应。

[0082] 示例地，第一光栅部分21的耦合系数和第二光栅部分22的耦合系数不同。例如，第一光栅部分21的耦合系数大于第二光栅部分22的耦合系数。

[0083] 此处，第一光栅部分21和第二光栅部分22的耦合系数，可以通过设计其占空比的大小和/或刻蚀深度进行设置，例如第二光栅部分22每个周期的刻蚀部分宽度较小，因而刻蚀深度较小。

[0084] 可选地，第一光栅部分21的占空比为50%，第二光栅部分22的占空比小于第一光栅部分21的占空比。如此，将第一光栅部分21采用50%的占空比，可以确保第一光栅部分21具有较大的耦合系数。将第二光栅部分22的占空比控制得小于50%，例如为40%或30%，可以相较于第一光栅部分21降低第二光栅部分22的耦合系数。

[0085] 可选地，第一光栅部分21的刻蚀深度小于第二光栅部分22的刻蚀深度。如此，可以确保第一光栅部分21具有较大的耦合系数，且相较于第一光栅部分21降低第二光栅部分22的耦合系数。

[0086] 可以理解，在一些示例中，第一光栅部分21长度和其耦合系数的乘积，与第二光栅部分22长度与其耦合系数的乘积相同。例如，第一光栅部分21长度和其耦

合系数的乘积满足： $k_1 L_1 = 1$ ，其中， k_1 为第一光栅部分21的耦合系数， L_1 为第一光栅部分21的长度。第二光栅部分22长度和其耦合系数的乘积满足： $k_2 L_2 = 1$ ，其中， k_2 为第二光栅部分22的耦合系数， L_2 为第二光栅部分22的长度。

[0087] 示例地，第一光栅部分21的周期和第二光栅部分22的周期不同。例如，第一光栅部分21的周期略小于第二光栅部分22的周期。

[0088] 在一些实施例中，第一光栅部分21采用一阶光栅，其光栅周期满足： $2 n_{eff} L_1 = \lambda_1$ ；其中， n_{eff} 为光波导1的有效折射率， L_1 为第一光栅部分21的周期， λ_1 为一阶光栅反射谱的中心波长。第二光栅部分22采用三阶光栅，其光栅周期满足： $2 n_{eff} L_2 = 3 \lambda_2$ ；其中， n_{eff} 为光波导1的有效折射率， L_2 为第二光栅部分22的周期， λ_2 为三阶光栅反射谱的中心波长且 $\lambda_2 > \lambda_1$ 。

[0089] 基于此，请结合图4理解，图4示出了不同光栅厚度下对应一阶光栅和三阶光栅的耦合系数。在采用相同厚度材料层形成第一光栅部分21（一阶光栅）和第二光栅部分22（三阶光栅）的示例中，第一光栅部分21采用占空比为50%的一阶光栅，可以具有较大的耦合系数。第二光栅部分22采用三阶光栅，第二光栅部分22的耦合系数可以随着占空比的变化而变化。因此，对于采用相同厚度光栅材料层形成的第一光栅部分21和第二光栅部分22，第一光栅部分21可以采用一阶光栅和50%的占空比以实现较大的耦合系数，而第二光栅部分22可以采用高阶光栅降低耦合系数，并且通过调整占空比可以进一步调整其耦合系数。

[0090] 由上，本公开实施例对于第一光栅部分22和第二光栅部分22的阶数或其具体结构（包括设置位置）不做限定，以通过设计合适的光栅参数，确保第一光栅部分22和第二光栅部分22能够实现准确的激射波长和光子-光子共振频率的控制即可。

[0091] 请结合图3和图5理解，在一些实施例中，半导体激光器具有相对设置的光输出端和光反射端。光输出端的端面例如为半导体激光器的前端面，用于使调制后的激光输出。光反射端的端面例如为半导体激光器的后端面，用于对进入至半导体激光器腔内的光信号进行反射。半导体激光器还包括设置于光输出端端面上的增透（Anti-Reflection，简称AR）膜31，以及设置于光反射端端面上的反射（High Reflectivity，简称FR）膜32。光波导1的两端分别与增透膜31和反

射膜32耦接。其中，第一光栅部分21位于第二光栅部分22靠近反射膜32的一侧；或，第一光栅部分21位于第二光栅部分22靠近增透膜31的一侧。也即，增透膜31和反射膜32的设置位置是相对的，第一光栅部分21和第二光栅部分22任一靠近增透膜31均可。

[0092] 可选地，增透膜31和反射膜32可以通过涂覆、溅射或电镀等工艺形成。

[0093] 本公开实施例中，对于半导体激光器光输出端的端面没有反射率的要求，也即，该半导体激光器无需利用光输出端的端面进行光反馈。如此，本公开实施例可以在光输出端端面设置增透膜31。这样即便增透膜31的光反射为零，半导体激光器通过前述光栅的结构仍然能够产生光子-光子共振。从而能够避免因半导体激光器前后端面的光反射而形成FP腔，导致半导体激光器在高温或低温下产生多纵模振荡。本公开实施例提供的半导体激光器，能够有效实现单纵模工作。

[0094] 需要说明的是，请结合图5和图6理解，半导体激光器还包括相对设置的第一型电极层41和第二型电极层42；其中，第一型电极层41和第二型电极层42中的一者位于光栅2背离光波导1的一侧，另一者位于光波导1背离光栅2的一侧。也即，在本公开实施例中，光栅2可以位于光波导1上下两侧中的任一侧，或者说，光栅2可以位于光波导1靠近第一型电极层41的一侧，也可以位于光波导1靠近第二型电极层42的一侧。本公开实施例对此不作限定。

[0095] 本公开实施例中，通过第一型电极层41和第二型电极层42可以向光栅2中的第一光栅部分21及第二光栅部分22注入电流，以产生光增益，从而提升半导体激光器的出光效率。

[0096] 可选地，请结合图5和图6理解，半导体激光器还包括相对设置的第一型包覆层51和第二型包覆层52；其中，第一型包覆层51位于第一型电极层41靠近光波导1的一侧，第二型包覆层52位于第二型电极层42靠近光波导1的一侧。根据光栅2设置位置的不同，光栅2可以对应位于光波导1与第一型包覆层51之间，或位于光波导1与第二型包覆层52之间。

[0097] 可以理解，光波导1通常包括光传输层110以及分别位于光传输层110相对两侧的第一型限制层111和第二型限制层112；其中，第一型限制层111位于光传输层

110靠近第一型电极层41的一侧，第二型限制层112位于光传输层110靠近第二型电极层42的一侧。光栅2对应位于第一型限制层111或第二型限制层112背离光传输层110的一侧。

[0098] 此处，光传输层110例如为有源或无源的多量子阱层。第一型限制层111和第二型限制层112例如为对应型的分离限制异质结构（separate confinement heterostructure，简称SCH）层。

[0099] 请参阅图7，在一些实施例中，第一光栅部分21和第二光栅部分22之间具有间隔23。光波导1包括相移区PS。相移区PS所在区域与前述第一光栅部分21和第二光栅部分22之间的间隔23在光波导1上的正投影重叠。如此，光波导1所传输的光信号在通过相移区PS之后，可以被控制产生一定相位的偏移，例如产生 $2k\pi + \pi/2$ 的相位差或其他固定相位值的相位差。

[0100] 请参阅图8和图9，在一些实施例中，光波导1包括相耦合的无源光波导部11和有源光波导部12。无源光波导部11与有源光波导部12的区别在于：能否对其所传输的光信号产生光增益。其中，有源光波导部12可以对所传输的光信号产生光增益，而无源光波导部11则不能。

[0101] 可选地，请参阅图8，相移区PS包括无源光波导部11。也即，相移区PS可以利用光波导1中的无源光波导部11复用构成。

[0102] 可选地，请参阅图9，第一光栅部分21和第二光栅部分22之间的间隔23和第二光栅部分22在光波导1上的正投影位于无源光波导部11所在区域内。

[0103] 值得一提的是，在一些实施例中，第一型电极层41例如为P型电极层，第二型电极层42例如为N型电极层。相应的，第一型包覆层51可以为P型半导体层，例如为P-InP（砷磷）或者P-InGaAsP层。第二型包覆层52可以为N型半导体层，例如为N-InP（砷磷）或者P-InGaAsP层。光波导1中的第一型限制层111可以为P型限制层，第二型限制层112可以为N型限制层。

[0104] 为了方便描述，以下一些实施例中均以第一型电极层41为P型电极层，光栅2位于光波导1与第一型包覆层51之间为例进行说明。而光栅2位于光波导1与第二型包覆层52之间的一些实施例可以根据以下实施例适应性地理解。

[0105] 请参阅图10，在一些实施例中，P型电极层包括：绝缘设置的第一电极411和第

二电极412；其中，第一电极411在光波导1上的正投影与第一光栅部分21在光波导1上的正投影至少部分重叠。第二电极412在光波导1上的正投影与第二光栅部分22在光波导1上的正投影至少部分重叠。

[0106] 可选地，第一电极411在光波导1上的正投影与第一光栅部分21在光波导1上的正投影重叠。第二电极412在光波导1上的正投影与第二光栅部分22在光波导1上的正投影重叠。

[0107] 由上，本公开实施例中，光栅2的第一光栅部分21及第二光栅部分22可以共用第二型电极层42（即N型电极层）。并且，本公开实施例将第一型电极层41（即P型电极层）设置为相对独立的第一电极411和第二电极412，可以利用第一电极411控制注入第一光栅部分21的电流大小，利用第二电极412控制注入第二光栅部分22的电流大小。这样通过对第一光栅部分21和第二光栅部分22进行独立的电流注入控制，可以分别控制第一光栅部分21和第二光栅部分22对光信号产生所需的光增益。

[0108] 请参阅图11，在一些实施例中，第一光栅部分21和第二光栅部分22之间具有间隔23。P型电极层还包括与第一电极411、第二电极412分别绝缘的第三电极413；第三电极413在光波导1上的正投影与所述间隔23在光波导1上的正投影至少部分重叠。

[0109] 可选地，第三电极413在光波导1上的正投影与前述间隔23在光波导1上的正投影重叠。

[0110] 本公开实施例中，可以利用第三电极413控制光波导1所传输的光信号在通过前述间隔23对应的区域之后产生一定相位的偏移。

[0111] 可选地，请参阅图12，光波导1包括相移区PS。第三电极413在光波导1上的正投影与相移区PS在光波导1上的正投影重叠。如此，可以利用第三电极413控制注入相移区PS的电流大小，以控制光波导1所传输的光信号在通过相移区PS之后产生一定相位的偏移。

[0112] 可选地，请参阅图13，光波导1包括无源光波导部11。第一光栅部分21和第二光栅部分22之间的间隔23和第二光栅部分22在光波导1上的正投影位于无源光波导部11所在区域内。第三电极413和第二电极412在光波导1上的正投影位于无源

光波导部11所在区域内。

[0113] 由上，本公开实施例提供的半导体激光器如前述一些实施例中所述，可以获得其光栅2中第一光栅部分21和第二光栅部分22的反射谱如图14中所示。图14中的虚线表示第一光栅部分21的反射谱，实线表示第二光栅部分22的反射谱。从图14中可以看出，第一光栅部分21的反射谱比第二光栅部分22的反射谱更宽。并且，第一光栅部分21对应反射谱的中心波长为1310nm，第二光栅部分22对应反射谱的中心波长为1311nm，即第一光栅部分21的中心波长小于第二光栅部分22的中心波长。由此，利用光栅2中两个不同光栅部分（第一光栅部分21和第二光栅部分22）的分布反馈作用，可以使得激射波长位于第二光栅部分22对应反射谱的中心波长附近，也就是位于第一光栅部分21的长波长边缘，从而实现负载失谐效应。

[0114] 此外，对于相关技术中的DFB激光器，一个普遍存在的问题是激射波长会随着光栅在端面处相位的变化而变化。然而，本公开实施例提供的半导体激光器，将光栅2设置为并列排布的第一光栅部分21和第二光栅部分22，可以显著降低激射波长随光栅端面相位变化的影响。

[0115] 示例的，图15~图30示出了光反射端（即HR端）对应光栅相位从0°到360°变化时，半导体激光器激射波长的变化。其中，虚线为第一光栅部分21的反射谱。实线为第二光栅部分22的反射谱。空心圆○表示腔内模式。实心圆●表示激射波长的位置。结合图15~图30可以看出，随着光反射端（即HR端）对应光栅相位从0°到360°的变化，半导体激光器的激射波长虽然有所变化，但在绝大多数情况下，该激射波长均可以位于第一光栅部分21对应反射谱的长波长边缘。这也就是说，本公开实施例提供的半导体激光器可以确保在腔内产生负载失谐效应。

[0116] 图31示出了本公开实施例中半导体激光器激射波长与光栅相位对应变化的示意图，其中，横坐标为光反射端（即HR端）对应的光栅相位，纵坐标为激射波长相对于第一光栅部分21反射谱中心波长的偏移量。从图31可以直观看出，当光栅相位在0°到360°变化时，纵坐标显示了激射波长相对于第一光栅部分21反射谱的中心波长的位置，正值则表示激射波长大于第一光栅部分21反射谱的中

心波长，也就是说激射波长在第一光栅部分21反射谱的长波长边缘。

- [0117] 图32示出了本公开实施例中半导体激光器中光子-光子共振频率与光栅相位对应变化的示意图，其中，实心圆●所在曲线表示位于激射波长短波长侧的边模相对于激射波长的频偏，空心圆○所在曲线表示位于激射波长长波长侧的边模相对于激射波长的频偏。从图32中可以看出，位于激射波长短波长侧的边模相对于激射波长的频偏在多数情况下可以稳定在40GHz左右。这也就是说，本公开实施例提供的半导体激光器可以比较稳定地控制光子-光子共振频率。
- [0118] 本公开实施例还提供了一种半导体激光器的制备方法，用于制备上述一些实施例中的半导体激光器。该制备方法包括步骤如下。
- [0119] 在光波导的一侧形成厚度均匀的光栅材料层，并通过一次刻蚀工艺形成并排设置的第一光栅部分和第二光栅部分。第一光栅部分和第二光栅部分共同构成光栅，第一光栅部分的耦合系数大于第二光栅部分的耦合系数。
- [0120] 可选地，第一光栅部分刻蚀的周期小于第二光栅部分刻蚀的周期。
- [0121] 可选地，第一光栅部分刻蚀的占空比不同于第二光栅部分刻蚀的占空比。
- [0122] 可选地，第一光栅部分刻蚀的深度大于第二光栅部分刻蚀的深度。
- [0123] 其中第一光栅部分刻蚀的周期、占空比或者刻蚀深度不同于第二光栅部分刻蚀的周期、占空比或者刻蚀深度，因此第一光栅部分的光栅耦合系数不同于第二光栅部分的光栅耦合系数。
- [0124] 本公开实施例中，可以在一层光栅外延层上利用一次刻蚀工艺制成具有不同长度、不同耦合系数以及不同周期等特性的第一光栅部分和第二光栅部分（即两个不同光栅）。并且，该制备方法可以严格控制第一光栅部分和第二光栅部分之间的相移，从而解决相关技术中因不同性能光栅需要采用不同刻蚀工艺而产生不可控相移误差的问题，以利于提高半导体激光器的良品率。
- [0125] 可以理解，光栅的制作方法通常是：在外延片上涂覆光刻胶后，用全息或者电子束曝光或者纳米压印获得光栅图形，然后利用湿法腐蚀（例如溴酸）或者干法刻蚀（例如RIE或者ICP）将图形转移到光栅材料层上，以形成光栅。因此，影响光栅耦合系数的主要参数是深度和占空比。
- [0126] 本公开实施例中，光栅包括第一光栅部分和第二光栅部分，且第一光栅部分和

第二光栅部分的耦合系数不同，则其所需要的刻蚀深度或者占空比就不同。本公开实施例采用一次刻蚀工艺形成第一光栅部分和第二光栅部分，可以避免因传统刻蚀工艺的精度控制问题而导致第一光栅部分和第二光栅部分之间出现拼接误差，也即使第一光栅部分和第二光栅部分之间出现不可控的相移误差。

[0127] 在本说明书的描述中，上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0128] 以上所述实施例仅表达了本公开的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对申请专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本公开构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本公开的保护范围。因此，本公开专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种半导体激光器，其特征在于，包括：光波导以及设置于所述光波导一侧的光栅；所述光栅包括并排设置的第一光栅部分和第二光栅部分。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一光栅部分的长度小于所述第二光栅部分的长度。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一光栅部分的耦合系数大于所述第二光栅部分的耦合系数。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一光栅部分的周期小于所述第二光栅部分的周期。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述半导体激光器具有相对设置的光输出端和光反射端，所述半导体激光器还包括设置于所述光输出端端面上的增透膜，以及设置于所述光反射端端面上的反射膜；所述光波导的两端分别与所述增透膜和所述反射膜耦接；其中，
所述第一光栅部分位于所述第二光栅部分靠近所述反射膜的一侧；
或，所述第一光栅部分位于所述第二光栅部分靠近所述增透膜的一侧。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一光栅部分和所述第二光栅部分之间具有间隔；
所述光波导包括相移区；所述相移区所在区域与所述间隔在所述光波导上的正投影重叠。
- [权利要求 7] 根据权利要求6所述的半导体激光器，其特征在于，所述相移区包括无源光波导部。
- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述光波导包括相耦接的有源光波导部和无源光波导部；
所述间隔和所述第二光栅部分在所述光波导上的正投影位于所述无源光波导部所在区域内。

- [权利要求 9] 根据权利要求1所述的半导体激光器，其特征在于，所述半导体激光器还包括：相对设置的第一型电极层和第二型电极层；其中，所述第一型电极层和所述第二型电极层中的一者位于所述光栅背离所述光波导的一侧，另一者位于所述光波导背离所述光栅的一侧。
- [权利要求 10] 根据权利要求9所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一型电极层为P型电极层；所述P型电极层包括：绝缘设置的第一电极和第二电极；其中，所述第一电极在所述光波导上的正投影与所述第一光栅部分在所述光波导上的正投影至少部分重叠；所述第二电极在所述光波导上的正投影与所述第二光栅部分在所述光波导上的正投影至少部分重叠。
- [权利要求 11] 根据权利要求10所述的半导体激光器，其特征在于，所述第一光栅部分和所述第二光栅部分之间具有间隔；所述P型电极层还包括与所述第一电极、所述第二电极分别绝缘的第三电极；所述第三电极在所述光波导上的正投影与所述间隔在所述光波导上的正投影至少部分重叠。
- [权利要求 12] 根据权利要求11所述的半导体激光器，其特征在于，所述光波导包括相位调制部；所述第三电极在所述光波导上的正投影与所述相位调制部在所述光波导上的正投影重叠。
- [权利要求 13] 根据权利要求11所述的半导体激光器，其特征在于，所述光波导包括无源光波导部；所述间隔和所述第二光栅部分在所述光波导上的正投影位于所述无源光波导部所在区域内；所述第三电极和所述第二电极在所述光波导上的正投影位于所述无源光波导部所在区域内。
- [权利要求 14] 一种半导体激光器的制备方法，其特征在于，包括：在光波导的一侧形成光栅材料层，所述光栅材料层厚度均匀，通过一次刻蚀工艺形成并排设置的第一光栅部分和第二光栅部分，所述第一光栅部分和所述第二光栅部分共同构成光栅；所述第一光栅部分的耦合系数大于所述

第二光栅部分的耦合系数。

- [权利要求 15] 根据权利要求14所述的半导体激光器制备方法，所述第一光栅部分刻蚀的周期小于所述第二光栅部分刻蚀的周期。
- [权利要求 16] 根据权利要求14所述的半导体激光器制备方法，所述第一光栅部分刻蚀的占空比不同于所述第二光栅部分刻蚀的占空比。
- [权利要求 17] 根据权利要求14所述的半导体激光器制备方法，所述第一光栅部分刻蚀的深度大于所述第二光栅部分刻蚀的深度。