



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02805997.2

[43] 公开日 2004 年 11 月 17 日

[11] 公开号 CN 1547791A

[22] 申请日 2002. 1. 18 [21] 申请号 02805997.2

[30] 优先权

[32] 2001. 1. 19 [33] US [31] 60/262,863

[32] 2001. 6. 26 [33] US [31] 09/891,639

[86] 国际申请 PCT/US2002/001348 2002. 1. 18

[87] 国际公布 WO2002/058251 英 2002. 7. 25

[85] 进入国家阶段日期 2003. 9. 5

[71] 申请人 普林斯顿大学理事会

地址 美国新泽西州

[72] 发明人 斯蒂芬·R·福里斯特

米德林·R·戈卡莱

帕维尔·V·斯图德尼科夫

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

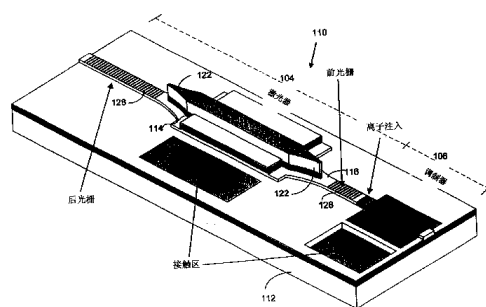
代理人 张天舒 谢丽娜

权利要求书 6 页 说明书 16 页 附图 14 页

[54] 发明名称 非对称波导电吸收调制激光器

[57] 摘要

提供了一种包括至少两个垂直堆叠的非对称波导(114, 116)的调制激光器设备(110)。该激光器设备(110)包括具有在其中形成的增益区域的第一波导(114), 用于至少放大第一光模式; 和垂直地耦合到第一波导(114)并且具有在其中形成的调制器(106)的第二波导(116), 用于调制其有效折射率与第一模式不同的第二光模式。通过第一波导(114)的横向锥形将在第一波导(114)中传播的光传送进入第二波导(116)。激光器设备(110)可进一步包括位于第一(114)和第二波导(116)之间的第三波导, 用于提供增益区域(104)和调制器(106)之间的隔离。可在设备上使用分布式布拉格反射器(DBR)和分布式反馈(DFB)激光器设计。



1. 一种调制激光器设备，其包括：

5 第一波导，具有在其中形成的一个增益区域，用于至少放大第一光模式；

 第二波导，具有在其中形成的一个调制器，用于调制主要在所述第二波导内传播的第二光模式，所述第二波导相对所述第一波导垂直定位，其中所述第一波导具有在其中形成的一个横向锥形，用于在所述第一波导和所述第二波导之间传送所述第一光模式，并且其中所述
10 第一光模式具有与所述第二光模式不同的有效折射率。

 2. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述第二光模式具有比所述第一光模式小的有效折射率。

15 3. 根据权利要求 2 所述的激光器设备，其中所述第一波导垂直地位于所述第二波导的上方。

 4. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述增益区域包括多量子势阱区域。
20

 5. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述调制器是电吸收调制器。

25 6. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述第二波导包括多量子势阱区域。

 7. 根据权利要求 6 所述的激光器设备，其中在所述多量子势阱区域上的反偏压引起所述第二光模式被调制。

30 8. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述第二波导进一

步包括光栅，主要用来反射光的一个频率。

5 9. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述第一波导包括 p 掺杂区域、n 掺杂区域和位于所述 p 掺杂区域与所述 n 掺杂区域之间的多量子势阱。

10 10. 根据权利要求 9 所述的激光器设备，其进一步包括 p+掺杂衬底，其中所述第二波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域，所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第二波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

11. 根据权利要求 9 所述的激光器设备，其进一步包括 n+掺杂衬底，其中所述第二波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域，所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第二波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

15 12. 根据权利要求 11 所述的激光器设备，其中所述第二波导的所述 n 掺杂区域具有在其中形成的 p 型掺杂区，用于生成调制所述调制器的 p-n 结。

20 13. 根据权利要求 1 所述的激光器设备，其中所述第一波导包括分布式反馈（DFB）激光器。

14. 一种激光器设备，其包括：

第一波导，具有在其中形成的一个增益区域，用于至少放大第一光模式；

25 第二波导，主要用于引导第二光模式，所述第二波导相对所述第一波导垂直定位，其中所述第一波导具有在其中形成的一个横向锥形，用于在所述第一波导和所述第二波导之间传送所述第一光模式，并且其中所述第一光模式具有与所述第二光模式不同的有效折射率；
和

30 第三波导，具有在其中形成的调制器，用于调制主要在所述第三

波导中传播的第三光模式，所述第三波导相对所述第二波导垂直定位，其中所述第二波导具有在其中形成的一个横向锥形，用于在所述第二波导和所述第三波导之间传送所述第二光模式，并且其中所述第二光模式具有与所述第三光模式不同的有效折射率。

5

15. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述第二光模式具有比所述第一光模式小的有效折射率。

10 16. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述第三光模式具有比所述第二光模式小的有效折射率。

17. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述第一波导垂直地位于所述第二波导的上方，所述第二波导垂直地位于所述第三波导的上方。

15

18. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述增益区域包括多量子势阱区域。

20 19. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述调制器是电吸收调制器。

20. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述第三波导包括多量子势阱区域。

25 21. 根据权利要求 20 所述的激光器设备，其中在所述多量子势阱区域上的反偏压引起所述第三光模式被调制。

22. 根据权利要求 14 所述的激光器设备，其中所述第二波导包括一个光栅，主要用来反射光的一个频率。

30

23. 根据权利要求 14 所述的激光器设备, 其中所述第一波导包括 p 掺杂区域、n 掺杂区域和位于所述 p 掺杂区域与所述 n 掺杂区域之间的多量子势阱。

5 24. 根据权利要求 23 所述的激光器设备, 其进一步包括 p+掺杂衬底, 其中所述第三波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域, 所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第三波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

10 25. 根据权利要求 23 所述的激光器设备, 其进一步包括 n+掺杂衬底, 其中所述第三波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域, 所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第二波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

15 26. 根据权利要求 25 所述的激光器设备, 其中所述第二波导的所述 n 掺杂区域具有在其中形成的 p 型掺杂区, 用于生成调制所述调制器的 p-n 结。

27. 根据权利要求 14 所述的激光器设备, 其中所述第一波导包括分布式反馈 (DFB) 激光器。

20 28. 一种调制激光器设备, 其包括:

 第一波导, 包括增益区域, 用于至少放大第一光模式; 和光栅区域, 主要用于反射光的一个频率; 和第二波导, 具有在其中形成的调制器, 用于调制主要在所述第二波导内传播的第二光模式, 所述第二波导相对所述第一波导垂直定位, 其中所述第一波导具有在其中形成的一个横向锥形, 用于在所述第一波导和所述第二波导之间传送所述
25 第一光模式, 并且其中所述第一光模式具有与所述第二光模式不同的有效折射率。

29. 根据权利要求 28 所述的激光器设备, 其中所述第二光模式
30 具有比所述第一光模式小的有效折射率。

30. 根据权利要求 29 所述的激光器设备，其中所述第一波导垂直地位于所述第二波导的上方。

5 31. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其中所述增益区域包括多量子势阱区域。

32. 根据权利要求 27 所述的激光器设备，其中所述调制器是电吸收调制器。

10

33. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其中所述第二波导包括多量子势阱区域。

15

34. 根据权利要求 33 所述的激光器设备，其中在多量子势阱区域上的反偏压引起所述第二光模式被调制。

35. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其中所述第一波导包括 p 掺杂区域、n 掺杂区域和位于所述 p 掺杂区域与所述 n 掺杂区域之间的多量子势阱。

20

36. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其进一步包括 p+掺杂衬底，其中所述第二波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域，所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第二波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

25

37. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其进一步包括 n+掺杂衬底，其中所述第二波导包括多量子势阱和 n 掺杂区域，所述第一波导内的所述 n 掺杂区域与所述第二波导内的所述 n 掺杂区域相邻。

30

38. 根据权利要求 37 所述的激光器设备，其中所述第二波导的所述 n 掺杂区域具有在其中形成的 p 型掺杂区，用于生成调制所述调

制器的 p-n 结。

39. 根据权利要求 28 所述的激光器设备，其中所述第一波导包括分布式反馈（DFB）激光器。

5

非对称波导电吸收调制激光器

5 相关申请

本申请涉及美国临时专利申请序列号 60/262,863 的主题内容并主张其优先权，该申请于 2001 年 1 月 19 日申请，题目为“**Asymmetric Waveguide Electroabsorption-Modulated Laser**”，在这里将其全文内容作为引用结合进来。

10

技术领域

本发明总的来说涉及光通信设备领域，更具体涉及激光器。

背景技术

15

光子集成电路（PIC）提供了一个集成技术平台，该平台逐渐被用作形成复杂的光电路。PIC 技术允许多个光设备（无论是有源的还是无源的）被集成到一个单一衬底上。例如，PIC 可包括集成的激光器、集成的接收机、波导、检测器、半导体光放大器（SOA）、光栅和其它有源和无源的半导体光设备。将有源和无源设备单片集成到 PIC

20

25

提供了一个平台技术，通过该技术各种不同的 PIC（每种具有不同的布线和元件）都可以从同一基本晶片装配而成。当取消外延再生长的需要时，由后生长成形来限定集成元件。另外，使用后生长处理步骤来决定 PIC 上的设备位置和类型时，在基于 TG 的 PIC 上的有源和无源元件最好是可分离的。

30

但是，由于光学模式之间的相互作用，现有的 TG 结构具有波导耦合极大地依赖于设备长度的缺点。对于如激光器等 PIC 设备，由于其对设备结构本身的变化很敏感，光学模式之间的相互作用将导致不能控制产生激光的阈值电流和到无源波导的耦合。对变化的敏感是由现有的 TG 结构中传播的不同光学模式之间的相互作用引起的。该相互作用导致激光腔中构造性和破坏性的干涉，该干涉影响设备的阈值电流、模态增益、耦合效率和输出耦合参数。现有的 TG 结构由于设备长度、奇/偶模式相互作用和层叠结构的变化，具有性能特性的敏感性不稳定的缺点。

10

在序列号为 09,337,785, 于 1999 年 6 月 22 日申请, 题目为“Twin Waveguide Based Design for Photonic Integrated Circuits”的美国专利申请中, 申请人公开了一个修正后的 TG 结构, 该结构被称为非对称双波导 (ATG), 该 TG 结构致力于解决传统 TG 结构的一些性能问题, 在这里通过引用其全文内容将其结合进来。该 ATG 结构通过将不同模式的光限制在不同的波导中传播而显著地降低了模态干涉。这是通过设计包含在双波导中的每个单一模式波导, 使在两个波导中的每一个中传播的光模式都具有不同的有效折射率来实现的。可通过在第一和第二波导之间的共振的和隔热的光能量耦合来使该非对称波导横向上逐渐变细, 以减少耦合损耗。该非对称波导设计显著地降低了光模式之间的相互作用, 因此, 代表了传统 TG 设备的巨大改进。

15

20

由于该 ATG 希望成为一个通用平台, 申请人认识到需要提供经常被推荐、但从没有由 PIC 技术实现的光设备。因此, 在专利申请序列号为 09/717,851, 于 2000 年 11 月 21 日申请, 题目为“Photonic Intergrated Detector Having a Plurality of Asymmetric Waveguides”的美国专利申请中, 申请人公开了一种基于非对称波导设计的光检测器设备, 在这里通过引用其全文内容将其结合进来。光检测器 PIC 的一个实施例包括多于两个的非对称波导。该非对称波导光检测器在很高的频率上具有高度的响应度和可操作性。

25

30

非对称波导光检测器设备的发展表明了非对称波导 PIC 的巨大希望。但是，仍然需要发展其它类型的 PIC 设备。尤其是，需要改善诸如电吸收调制激光器（EML）等的激光器设备。EML 通常被用作光纤通信系统的发射机。典型地，一个 EML 设备包括一个与在激光器输出的电吸收调制器集成在一起的激光器。例如，该激光器可以是分布式反馈（DFB）或者分布式布拉格反射器（DBR）设备，这些设备持续操作以确保输出功率和波长的稳定性。电吸收（EA）调制器被光耦合到激光器输出并且对由激光器生成的信号进行调制。

10

有很多困难是与生成单片集成的高速 EML 有关的。首先，典型地，激光器和调制器的有源区域需要以不同波长发射的量子势阱。通过设计具有不同厚度和/或不同材料的激光器和调制器来实现该设计约束。另外，在激光器和调制器之间需要有效的光耦合，同样，在 DBR 激光器的情况下，在激光器的有源区域和光栅之间也需要有效的光耦合。更进一步，在激光器和调制器的有源设备之间需要有效的电隔离以避免两个设备之间的交扰。

15

典型地，装配单片 EML 设备的现有方法包括多个半导体再生步骤以分离地装配激光器和 EA 调制器，或者在一个特别准备好的衬底上的单一生长，其中，介电掩膜在晶片的邻近区域生成不同的能带隙。这两种方法中的任一种都很复杂，并且典型地，会导致低产量，因此完成的产品具有很高的成本。

20

因此，在本领域需要一个提供有效耦合和有效隔离的改进 EML，并且可以相对便宜地制造该 EML。

25

发明内容

简单的说，本发明满足了本领域内的这些和其它需要。

30

根据本发明的第一方面，提供了一种基于单片非对称双波导的电吸收调制激光器设备。该激光器设备包括具有诸如多量子势阱区域的增益区域的第一波导，主要用于放大第一光模式；和具有在其中形成的调制器的第二波导，用于调制在第二波导中传播的第二光模式，并且具有与第一光模式不同的有效折射率。第一波导垂直地位于第二波导上部，并且具有在其中形成的横向锥形，用于在第一波导和第二波导之间移动光。根据本发明的第一方面，第一光模式在第一波导中被放大后，通过横向锥形被传送到第二波导中。在第二波导的末端，光遇到调制器，该调制器使调制后的光信号从设备中射出。

10

根据本发明的另一方面，公开了包含多于两个垂直集成的非对称波导的电吸收调制激光器设备。该激光器设备包括具有诸如多量子势阱区域的增益区域的第一波导，主要用于放大第一光模式；在其中具有分布式布拉格反射器的第二波导，主要用来引导与第一光模式的折射率不同的第二光模式；和具有在其中形成调制器的第三波导，用来调制在第三波导中传播的第三光模式并且其有效折射率与第二光模式不同。第一波导垂直地位于第二波导上部，第二波导垂直地位于第三波导上部。第一波导具有在其中形成的横向锥形，用于在第一波导和第二波导之间传送光，第二波导具有在其中形成的横向锥形，用于将光从第二波导传送到第三波导。第一光模式在第一波导中被放大后通过横向锥形被传送到第二波导。光在第二波导中以第二光模式传播，并通过横向锥形被传送到第三波导。第三波导中的调制器使信号在设备的输出端被调制。

15

20

仍根据本发明的另一方面，公开了一个使用了分布式反馈（DFB）激光器的电吸收调制激光器设备。该 DFB 调制激光器设备包括第一波导和第二波导。第一波导具有一个增益区和在其中的光栅，以形成一个 DFB 激光器。从 DFB 激光器输出的信号通过横向锥形被传送到第二波导，在第二波导管中调制信号。在第一波导中传播的光的有效折射率与在第二波导中传播的光模式不同。

25

30

根据本发明的调制激光器提供了在激光器和调制器之间的有效的光耦合，同时，提供了在激光器和调制器设备之间的有效电隔离。进一步，根据本发明的调制激光器可通过仅需要一个单一外延生长步骤的处理来制造。后生长处理步骤决定激光器和调制器的位置。其简化了制造过程，且容许了产量高、成本相对较低的集成方法。

本发明的其它方面将在下面进行详述。

附图说明

从下面的结合附图的本发明的优选示例实施例的详细描述中，可更清楚地了解本发明的其它特征。图 1 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的透视图；图 2 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的局部透视图；图 3 是根据本发明的非对称双波导电吸收调制激光器的截面图；图 4 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的另一实施例的截面图；图 5A 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的制造步骤流程图；图 5B 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的另一个实施例的制造步骤流程图；图 6 提供了根据本发明的激光器和调制器的光致发光（photoluminescence）频谱强度与光致发光波长的关系曲线；图 7A 提供了根据本发明的非对称双波导电吸收调制激光器设备的通过调制器的输出功率与电流的关系曲线；图 7B 提供了根据本发明的非对称双波导电吸收调制激光器的输出功率的消光系数与施加的调制器电压的关系曲线；图 8 是根据本发明的非对称波导电吸收调制激光器的局部透视图；图 9 是根据本发明的非对称波导电吸收调制激光器的截面图；图 10 是根据本发明的一个方面的非对称波导电吸收调制激光器的制造步骤流程图；图 11 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的局部透视图；图 12A 是根据本发明的非对称双波导电吸收调制激光器的截面图；图 12B 是根据本发明的一个方面的非对称双波导电吸收调制激光器的另

一个实施例的截面图。

具体实施方式

5 将参照图 1 到 12B 在下面描述根据本发明优选示例实施例、具有上述优点的系统和方法。本领域的普通技术人员将能认识到，根据这些附图在这里所给出的描述只是为了表明发明目的而不是为了以任何方式限制发明的范围。有关发明的范围的所有问题都可以通过参考所附的权利要求来解决。

10 总的来说，本申请主要针对单片集成非对称波导结构。在同样未决的、专利申请序列号为 09/337,785、于 1999 年 6 月 22 日申请、题目为 “Twin Waveguide Based Design for Photonic Integrated Circuits” 的美国专利申请中，公开了一种非对称双波导(ATG)设计，在这里通过引用该申请的全文内容将其结合进来。总的来说，ATG 设计使用了
15 两个波导，其中设计每一波导从而主要引导一种模式光，每一模式具有不同的有效折射率。波导之一中的横向锥形引起波导间的光耦合。横向锥形操作地将在第一波导中传播的光模式的有效折射率改变到主要在第二波导中传播的第二模式。这个转变发生在锥形长度方向上。因而，具有第一折射率的光模式可在锥形的起点开始在第二波导中传播，并通过锥形区域末端转变为具有更低有效折射率的第二光模式，
20 其产生了基本上被锁定在第二波导中传播的模式。

本发明主要针对具有在其中形成的横向锥形的多个垂直集成非对称波导的激光器 PIC 设备。根据发明的第一方面，提供了具有双非对
25 称波导设计的电吸收调制激光器设备。光在第一波导长度上被放大并通过横向锥形被耦合到第二波导。调制器操作地调制在第二波导中传播的光。这样，在第一非对称波导中生成和放大的光将通过第二非对称波导中的调制器来调制。

30 图 1 提供了根据本发明的一个方面的示例非对称双波导电吸收调

制激光器的透视图。如所示出的，电吸收调制激光器设备 110 包括一个激光器区域 104 和一个调制器区域 106。由激光器区域 104 生成的信号通过调制器 106 来调制。

5 总的来说，设备 110 包括位于衬底 112 上的第一波导 114 和第二波导 116。通过参考图 2 和 3 在下面的详细描述，波导 114 具有一个在其上形成的增益区域，用于放大在波导中传播的光。通过在波导 114 上形成的横向锥形 122 将在波导 114 中传播的光传送到波导 116。波导 116 具有在其中形成的光栅部分 128。光栅部分 128 与波导 114 中的增益部分一起操作地形成分布式布拉格反射器（DBR）激光器。这样，激光器区域 104 包括光栅 128 之间的波导 114 和波导 116 的一部分。由 DBR 激光器区域 104 发射的光进入波导 116 的调制器区域 106。调制器区域 106 操作地调制输出激光器的信号。

15 图 2 提供了根据本发明的一个方面的示例的非对称双波导电吸收调制激光器的局部透视图。如所示出的，单片集成双波导调制激光器设备 110 位于衬底 112 上并且包括第一波导 114 和第二波导 116。波导 114 具有在其中形成的多量子势阱区域 118，用于放大在波导 114 中传播的光。在一个实施例中，量子势阱区域 118 包括五个量子势阱。激光器电接触区域 120 用于在多量子势阱区域 118 施加电压从而生成激光信号。在示例的实施例中，选择包括波导 114 的材料和这些材料的相对厚度以主要在波导 114 中传播单一光模式。在示例的实施例中，单一光模式具有 3.24 左右的有效折射率。

25 波导 114 具有在其中形成的横向锥形 122，用于将光传送到波导 116。波导 116 的逐渐变细的末端宽度（在这里称为 W_{TAPEND} ）是 $1\ \mu\text{m}$ 。在示例的实施例中是锥形的最宽点的一点的锥形宽度（在这里被称为 W_{TAP} ）约在 1.8 和 $2.2\ \mu\text{m}$ 之间。从其末端到对应于 W_{TAP} 的点的锥形长度（在这里被称为 L_{TAP} ）约在 100 和 $1250\ \mu\text{m}$ 之间。上述的 W_{TAPEND} ， W_{TAP} 和 L_{TAP} 值导致了约在 0.09 和 0.23 度之间的横向锥形角 θ 。

30

波导 116 位于波导 114 之下并且与之整体形成。设计波导 116 以主要引导一种光模式，其中该光模式具有比在波导 114 中传播的光模式更低的有效折射率。在示例的实施例中，在波导 116 中传播的光模式的有效折射率大约在 3.2 和 3.21 之间。

波导 116 包括多量子势阱区域 124，在一个实施例中，该区域包括十个量子势阱。电接触 126 被用来在量子势阱区域 124 上引入反偏压，以引入能带隙的移动和吸收。反偏压引起从波导 126 中输出的信号的调制。

总的来说，由于能量隙失谐（detuning），多量子势阱区域 124 对于激光发射波长是透明的。因此，分布式布拉格光栅反射器 128 被蚀刻到波导 116 中。结果是得到一个频率稳定的分布式布拉格反射器（DBR）激光器 104，它的一个频率光输出直接沿着波导 116。

如上所述，电吸收调制激光器的重要的设计考虑是在激光器和调制器之间具有有效的电隔离。电隔离允许了两个设备的独立偏压。图 3 提供了图 2 所示的非对称双波导激光器的截面图。如所示出的，波导 114 包括一个 p 掺杂区域 210，多量子势阱区域 118 和 n 掺杂区域 212。波导 116 位于 n+掺杂衬底 112 上部并包括量子势阱区域 124 和 n+掺杂区域 214。n 掺杂区域 214 与波导 114 的 n 掺杂区域 212 相邻。

位于接触区 126 下部的波导 116 的上覆盖层 214 的一部分使用受体扩散局部地变为 p 型区域 220。该扩散在接触区 126 下的区域生成 p-n 结。通过在接触区 120 和衬底 112 上施加电压或者在接触区 120 和层 214 的侧接触区施加电压，来将正偏压施加到设备的激光器部分。在调制器接触区 126 和衬底 112 之间施加负电压从而在量子势阱区域 124 上生成反偏压。在区域 220 和覆盖层 214 的连接处形成反偏压的 p-n 结，从而在调制器和激光器之间提供电隔离。这样，波导组合操

作地提供激光器和调制器之间的电隔离。

在图 4 中描述了将电隔离提供给非对称双波导激光器的另一个实施例。如所示出的，波导 114 包括一个 p 掺杂区域 310，n 掺杂区域 312 和量子势阱区域 118。波导 116 位于衬底 112 上、波导 114 下。波导 116 包括 n 掺杂覆盖层 314，量子势阱区域 124 和高 n+掺杂接触层 316。

在激光器接触区 120 和 n+层 316 上施加对激光器的正偏压。在 n+接触层 316 和衬底 112 之间施加对调制器的反偏压。这样，在图 4 的实施例中，激光器和调制器共用接触层 316 作为共同的地。为了更有效地将激光器与调制器隔离，在 n+层 312、接触层 316 和 n+层 314 中形成离子注入区域 320。离子注入区域在激光器和调制器之间产生了数百千欧的电阻。该加入的电阻使两个设备之间的交扰最小化。

如上面提到的，非对称波导技术的一个很大的优点是其有助于使用单一生长步骤来生成设备。用来生成如上述参考图 1 到图 4 的基于非对称波导的调制激光器的晶片将如下述这样生长。首先，在 (100) p 掺杂 InP 衬底 112 上生长一个 0.5 μm 厚的 InP 缓冲层。接着生长调制器 MQW 区域 124。MQW 区域 124 包括十个发射波长约为 $\lambda = 1.50 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 量子势阱，这些量子势阱由九个能量隙波长约为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 势垒 (barrier) 分隔。这些层夹在两个 InGaAsP (能量隙波长 $\lambda_g = 1.05 \mu\text{m}$) 分离限制异构 (SCH) 层之间，每一异构层厚度约为 0.05 μm 。接着调制器的是 0.35 μm 厚的 InP 层，0.05 μm 厚的 n+掺杂 InGaAsP 层和另一 0.35 μm 厚的 InP 层。激光器 MQW 区域 118 生长在其上面。激光器波导 MQW 区域 118 包括五个具有发射波长约为 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 量子势阱，这些量子势阱被能量隙波长约为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ 的四个 InGaAsP 势垒分隔。这些层被夹在两个厚度约为 0.15 μm 的 InGaAsP (能量隙波长 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$) SCH 层之间。在激光器上部生长 0.1 μm 的 InP 层，接着是 0.02 μm 的 InGaAsP 蚀刻停止层和 1 μm 厚的上覆盖层。最后，在覆盖层上生长 P+掺杂

InGaAsP 层（能量隙波长为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ ）。

图 5A 是如图 3 所述的非对称双波导电吸收调制激光器的制造步骤流程图。该调制激光器通过一系列光刻掩蔽和蚀刻步骤来制造。如所示出的，在步骤 410，通过分子束外延（MBE）或金属有机物化学汽相淀积（MOCVD）（例如在 n+掺杂衬底 112 上的单一外延步骤），生长包括如上所述层的单片结构。在步骤 412，通过光刻掩蔽以及远离波导 116 上部蚀刻的外围层来限定在其中形成横向锥形 122 的波导 114 的轮廓。在步骤 414，通过光刻掩蔽以及远离衬底 112 上部蚀刻的外围层来限定波导 116。在步骤 416，通过干涉测量（interferometric）方法或者电子束光刻技术在波导 116 上形成光栅 128。在步骤 418，使用受体杂质扩散技术在波导 116 上形成 p+区域 220。在步骤 420，分别在波导 114 和波导 116 上形成接触区 120 和 126。

图 5B 是如图 4 所描述的非对称双波导电吸收调制激光器的制造步骤流程图。如所示出的，在步骤 450，通过 MBE 或 MOCVD（例如在 p+掺杂衬底 112 上的单一外延步骤），生成包括如上所述层的单片结构。在步骤 452，通过光刻掩蔽以及远离波导 116 上部蚀刻的外围层来限定其中形成横向锥形 122 的波导 114 的轮廓。在步骤 454，通过掩膜以及远离衬底 112 上部蚀刻的外围层来限定波导 116。在步骤 456，通过干涉测量方法或者电子束光刻技术在波导 116 上形成光栅 128。在步骤 458，使用标准离子注入技术在波导 116 内形成电隔离区域 320。在步骤 460，分别在波导 114 和波导 116 上形成接触区 120 和 126。

图 6 提供了图 4 所述的设备中每个激光器（由线 512 表示）和调制器（由线 510 表示）的光致发光频谱强度与光致发光波长的关系曲线。如所示出的，激光器和调制器之间在光致发光波长上有 33 nm 的移动。实际发出的激光波长是 1540 nm，其从调制器光致发光峰值开始失谐了 52 nm。

图 7A 和 7B 是如图 4 所示出的从非对称双波导电吸收调制激光器设备输出的曲线。图 7A 提供了通过调制器的输出功率与激光器驱动电流的关系曲线。图 7B 是输出功率的消光系数与施加的调制器电压的关系曲线。

申请人注意到接近于量子势阱 124、典型地由金属组成的位置接触区 126 可引起量子势阱 124 内传播的信号光损耗。因此，需要最大化调制器接触区 126 和量子势阱 124 之间的距离。在图 1 到图 4 的调制激光器中，在波导 714 和 716 的连接处的覆盖层提供了接触区 126 和量子势阱 124 之间的隔离。为了得到调制器的最优操作，覆盖层的厚度应相对较大，例如，约在 1 微米范围内。将覆盖层厚度减少为 1 微米以下将导致调制器部分的波导损耗显著增加。

申请人同样发现，波导 114 和 116 之间的覆盖层厚度约为 0.5 微米时，设备 110 的激光器区域 104 操作地最佳。当覆盖层约为 0.5 微米时，相对短的锥形 122 在波导 114 和 116 之间提供了非常低的耦合损耗。增大覆盖厚度到 0.8 到 1 微米之间需要增大锥形长度，以保持低耦合损耗。但是，增大锥形长度使锥形对处理变化很敏感。另外，由于通过量子势阱区域蚀刻引起了锥形内的相对大的非辐射重组，所以长有源锥形可导致高阈值电流。

因此，对调制器区域 106 和激光器区域 104 的性能的最优化表明了相矛盾的设计考虑：当接触区 126 和量子势阱 124 之间的覆盖厚时，调制器工作得最好，而当最小化覆盖时，激光器工作最佳。为了满足两种设计考虑，申请人开发了具有多于两种非对称波导的调制激光器设计。引入第三波导使得激光器和调制器元件独立地达到最优化。

因此，提供了具有多于两个非对称波导的电吸收调制激光设备。光在第一波导长度上被放大并通过横向锥形被耦合到第二波导。第二

波导包括一个分布式布拉格反射器，以保证光信号内的功率和波长的稳定。通过第二横向锥形将通过反射器的光耦合到第三波导。第三波导内的调制器操作地调制光信号。

5 图 8 示出了包括多于两个非对称波导的示例的电吸收调制激光器设备 710 的透视图。如所示出的，设备 710 包括激光器波导 712、无源波导 714 和调制器波导 716，它们都位于衬底 718 上。选择包括波导 712、714 和 716 的材料及其相对厚度，以使具有不同有效折射率的不同光模式主要在每一波导中传播。波导 712 具有其中形成的横向
10 锥形 722，用于在波导 712 和波导 714 之间移动光。同样，波导 714 具有在其中形成的横向锥形 724，用于在波导 714 和波导 716 之间的移动光。

波导 712 包括多量子势阱区域 730，用于放大在波导 712 中传播
15 的光。激光器电接触区域 732 被用于在多量子势阱区域 730 上施加电压，其目的是为了放大波导中的信号。在示例的实施例中，选择包括波导 712 的材料及其相对厚度，以使单一光模式主要在波导 712 中传播。在示例的实施例中，单一光模式具有约为 3.26 的有效折射率。横向锥形 722 操作地将放大后的光引导到波导 714。在示例的实施例中，
20 锥形 722 约在 100 和 250 微米之间。

波导 714 位于波导 712 下面并与其集成地形成。波导 714 包括无源传播区域 733，用于将从波导 712 接收的光移动到光栅部分 734。光栅部分 714 形成了分布式布拉格反射器，其主要反射回光的一个频
25 率。

横向锥形 724 操作地将在波导 714 中传播的光传送到波导 716。波导 714 由在激光波长上具有很低损耗的高光学质量材料构成，例如匹配 InP 的 InGaAsp 栅格。另外，锥形 724 相对较长，例如，在大约
30 250 到 600 微米之间的范围内。高质量、低光损耗的材料和长锥形在

波导 714 和 716 之间提供了有效的耦合。设计波导 714 以主要引导一种光模式，其中该光模式具有比波导 712 中传播的光模式更低的有效折射率。在示例的实施例中，在波导 714 中传播的光模式的有效折射率大约在 3.23 和 3.24 之间。

5

波导 716 垂直地位于波导 714 之下并与之集成地形成。波导 716 包括多量子势阱区域 736，并且具有在其上形成的电接触区 740。接触区 740 用来在量子势阱区域 736 上引入反偏压，以引起波导中传播的信号的能量隙移动和吸收。反偏压提供了调制从波导 716 输出的信号的能力。设计波导 716 以主要引导一种光模式，其中该光模式具有比在波导 714 中传播的光模式更低的有效折射率。在示例的实施例中，在波导 716 中传播的光模式的有效折射率大约在 3.2 和 3.21 之间。

图 9 提供了调制激光器设备 710 的截面图。如所示出的，在示例的实施例中，波导 712 包括 p 掺杂覆盖层 742、多量子势阱区域 730 和 n 掺杂区域 744。波导 714 包括 n 掺杂区域 746、无源波导区域 733 和 n 掺杂区域 748。波导 716 包括 n 掺杂区域 750 和多量子势阱区域 736。p 掺杂区域 752 在 n 覆盖层 750 内生成并与上述参考图 3 描述相似地进行操作。

15

本领域内的普通技术人员将能认识到，在波导 712 和波导 716 之间引入波导 714 使得设备的激光器和调制器部分独立地进行最优化。对于设备的激光器部分，可最小化波导 712 和 714 的连接处的覆盖层 744 和 746 的厚度，以提供短锥形 722，例如，在一个实施例中，覆盖厚度约为 0.5 μm ，其允许大约 100 和 120 微米之间的锥形 722 的使用。薄覆盖和相关的短锥形在量子势阱区域 730 和光栅 734 之间提供了有效的耦合。另外，波导 714 由没有量子势阱并且具有很低光损耗的高光学质量材料构成。这些特性降低了光栅和激光器腔内的过度损耗。另外，相对薄的覆盖层提供了相对浅的光栅以形成布拉格光栅 734。

20

对于设备的调制器部分，可最大化波导 714 和 716 连接处的覆盖层 748 和 750 的厚度，以增大接触区 740 和量子势阱 736 之间的间隔。增大的覆盖厚度最小化接触区 740 与波导 716 中传播的信号干涉。

5

参考图 8 和 9，上述的用于生成基于非对称波导的调制激光器的晶片如下面这样生长而成。首先，在一个 (100) p 掺杂 InP 衬底 718 上生长 0.5 μm 厚的 InP 缓冲层。接着生长调制器 MQW 区域 736。MQW 区域 736 包括十个具有发射波长约为 $\lambda = 1.50 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 量子势阱，这些量子势阱由九个能量隙波长约为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 势垒分隔。这些层夹在两个 InGaAsP（能量隙波长为 $\lambda_g = 1.05 \mu\text{m}$ ）分离限制异构（SCH）层之间，每一个层厚度约为 0.05 μm 。接着调制器波导 716 的是将其与波导 714 分隔的 1 μm 厚的 InP 层。接着，生长无源波导 714，波导 714 包括一个 0.5 μm 厚的 InGaAsP（能量隙波长为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ ）。接着的是 0.22 μm 厚的 InP 层，0.05 μm 厚的 n+ 掺杂 InGaAsP 层和另一 0.22 μm 厚的 InP 层。在其上生长激光器 MQW 区域 712。激光器波导 712 包括五个发射波长约为 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 量子势阱，这些量子势阱被四个能量隙波长约为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ 的 InGaAsP 势垒分隔。这些层被夹在两个约 0.17 μm 厚的 InGaAsP（能量隙波长为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ ）SCH 层之间。在这些激光器上面，生长 0.1 μm 的 InP 层，接着是 0.02 μm 的 InGaAsP 蚀刻停止层和一个 1 μm 厚的 InP 上覆盖层。最后，在覆盖层上生长 0.2 μm 厚的 p+ 掺杂 InGaAsP 层（能量隙波长为 $\lambda_g = 1.2 \mu\text{m}$ ）。

图 10 是如图 8 和 9 所描述的非对称双波导电吸收调制激光器的制造步骤流程图。调制激光器通过一系列光刻掩蔽和蚀刻步骤来制造。如所示出的，在步骤 910，通过 MBE 或 MOCVD（例如在 n+ 掺杂衬底 718 上的单一外延步骤）生长如上所述的包括层的单片结构。在步骤 912，通过光刻掩蔽以及远离波导 714 上部蚀刻的外围层来限定具有在其中形成的横向锥形 722 的波导 712 的轮廓。在步骤 914，

通过光刻掩蔽以及远离波导 716 上部蚀刻的外围区域来限定具有在其中形成的横向锥形 724 的波导 714。在步骤 916, 通过掩膜以及远离衬底 718 上部蚀刻的外围层来限定波导 716 的轮廓。在步骤 918, 通过干涉测量方法或者电子束光刻技术在波导 714 内形成光栅反射器 734。在步骤 920, 使用受体杂质扩散技术在波导 716 内形成 p+区域 752。在步骤 922, 分别在波导 712 和波导 714 上形成接触区 120 和 126。

对于图 1 到 10 描述的设备使用一个 DBR 激光器设计。但是, 应注意, 根据发明的设备也可以使用分布式反馈 (DFB) 激光器。图 11 提供了根据包括 DFB 激光器的本发明的电吸收调制激光器设备的透视图。如所示出的, 图 11 的设备包括第一波导 1110 和第二波导 1112。波导 1110 包括增益区域 1116 和光栅区域 1118, 以形成一个 DFB 激光器。波导 1112 包括增益区域 1120 和调制器区域 1122。通过横向锥形 1124 将从 DFB 激光器输出的信号传送到在其中调制信号的波导 1114。与如上所述的实施例相反, 图 11 的设备的激光器部分全部包括在波导 1110 上部。因此, 在第二波导 1112 中没有光栅部分。

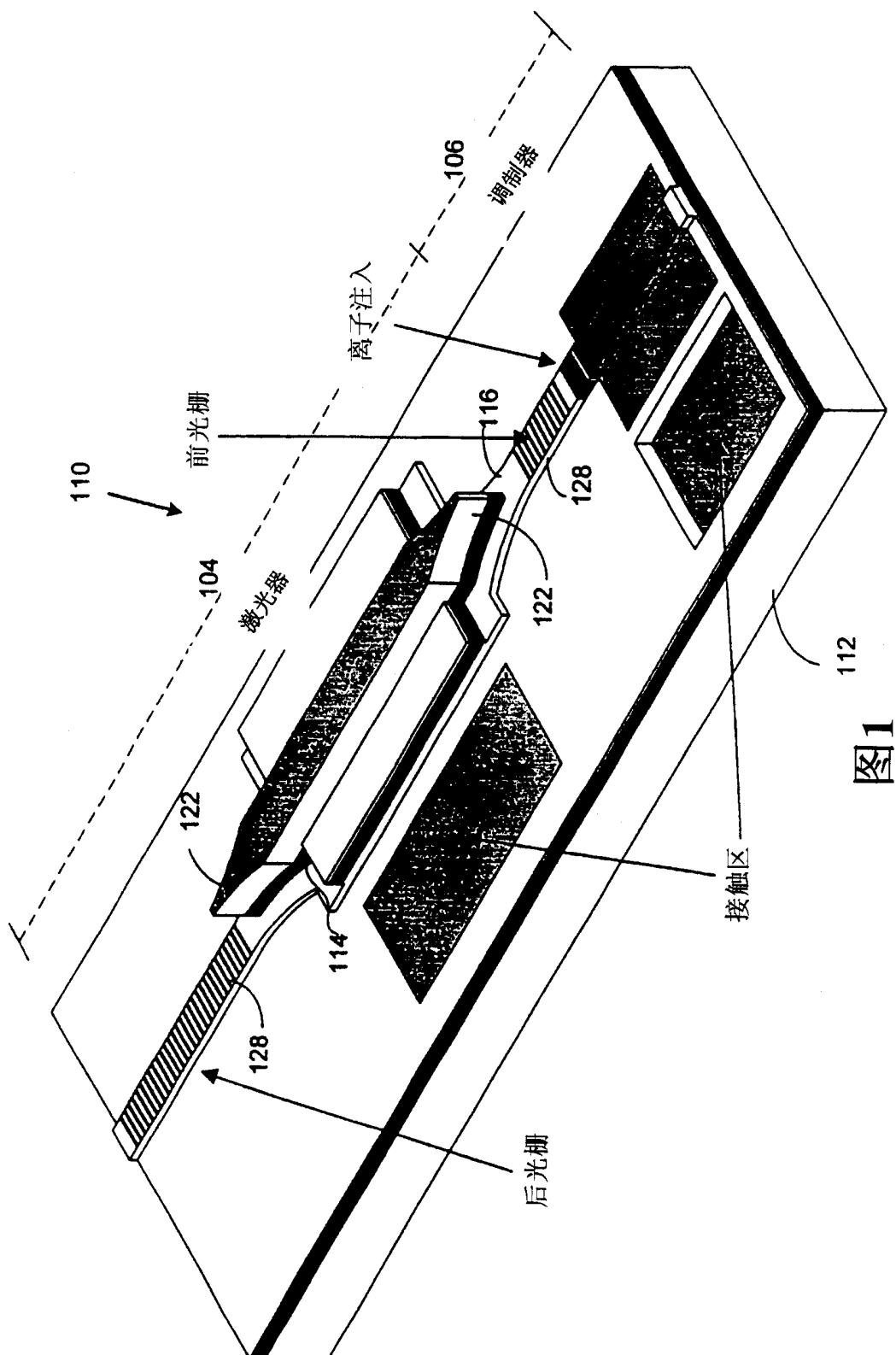
图 11 中描述的设备与上面设计的非对称设计相一致。因此, 在波导 1110 中传播的光与在波导 1112 中传播的光模式相比具有不同的有效折射率。

图 12A 和 12B 提供了图 11 的设备的两个可选实施例的截面图。如所示出的, 在图 12A 设备中, 使用与上述图 4 所描述的实施例进行相似操作的离子注入区域 1210 以在设备的激光器区域和设备的调制器区域之间提供隔离。使用上述的图 3 所述的实施例进行相似操作的扩散区域 1212 以在图 12B 的实施例中提供隔离。对于两个实施例, 在波导上部形成光栅区域 1118。

因此, 这里公开了改善的单片非对称波导电吸收调制激光器设备。根据本发明的一个方面, 提供了基于非对称双波导的电吸收调制

激光器 PIC。根据发明的另一方面，提供了具有多于两个非对称波导的电吸收调制激光器 PIC。改善的激光器设备的示例实施例在激光器和调制器之间提供了有效的光耦合，并在这些设备之间提供了有效的耦合。该设备可在至少高达 10 到 40 GHz 之间的速度上进行操作。该设备相对较为简单并且可低成本地进行制造。

虽然参照特定实施例描述和说明了发明，但是本领域普通技术人员将认识到，在不脱离如上所述以及在权利要求中提出的本发明的原则基础的前提下，可作出各种变更和改变。例如，根据本发明的非对称波导电吸收调制激光器可包括与上述描述不同的掺杂排列和材料。另外，本发明可用在广泛不同的各种设备中。例如，根据本发明的非对称波导电吸收调制激光器可用于制造光通信链路的高灵敏度 40 GHz 发射器。因此，需要参考附加的权利要求来表明本发明的范围。



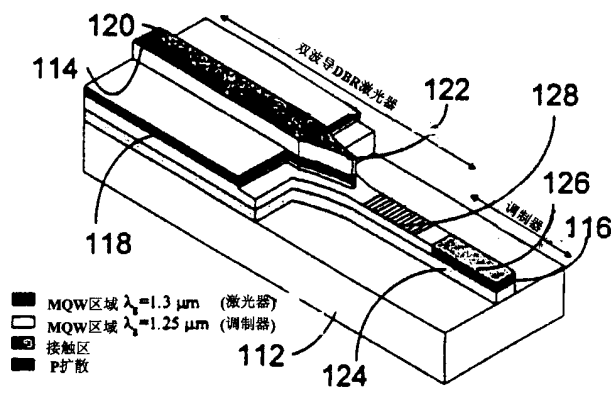


图2

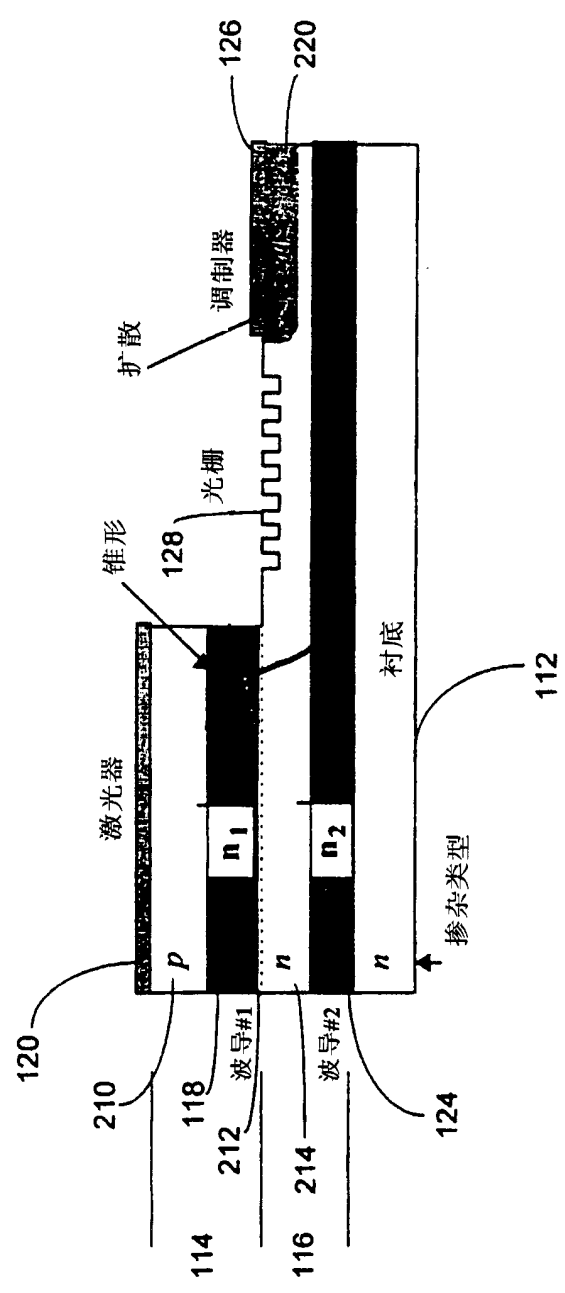


图3

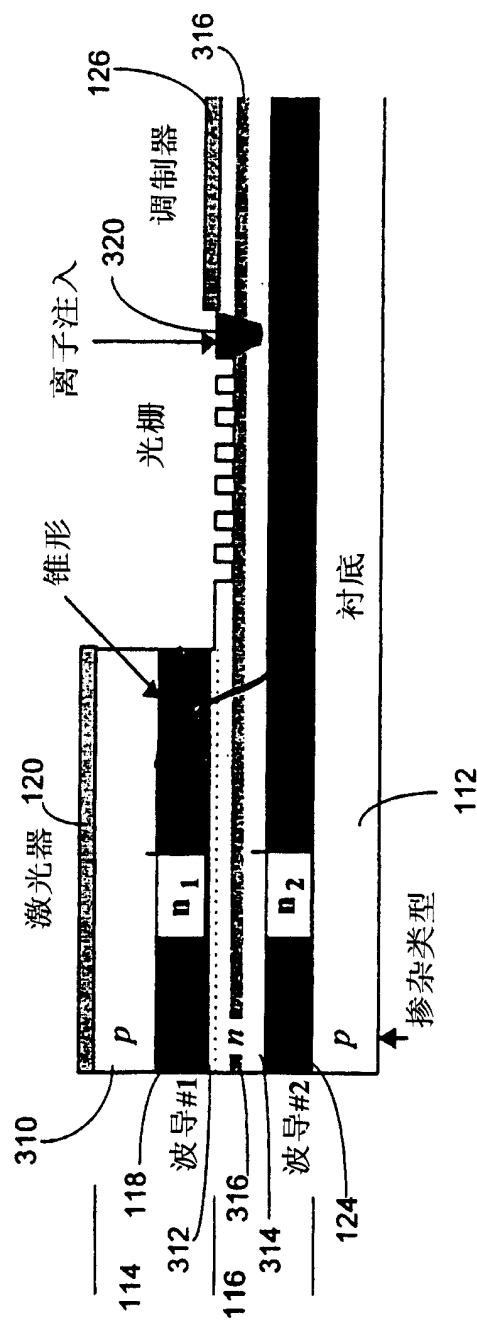


图4

图5A

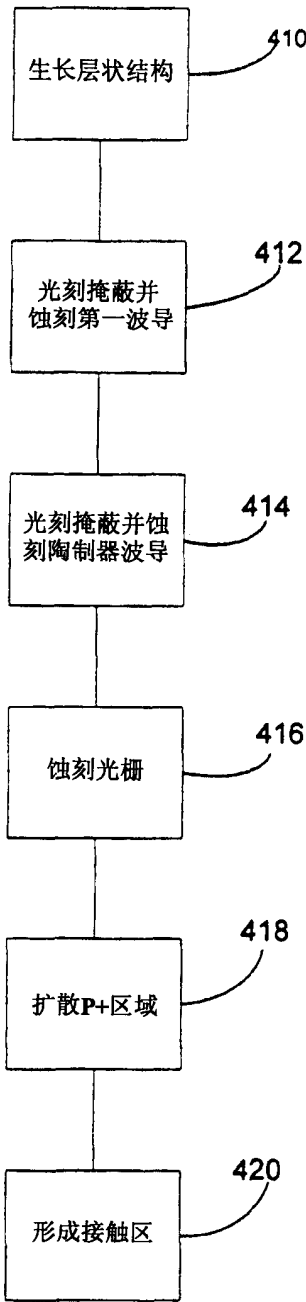
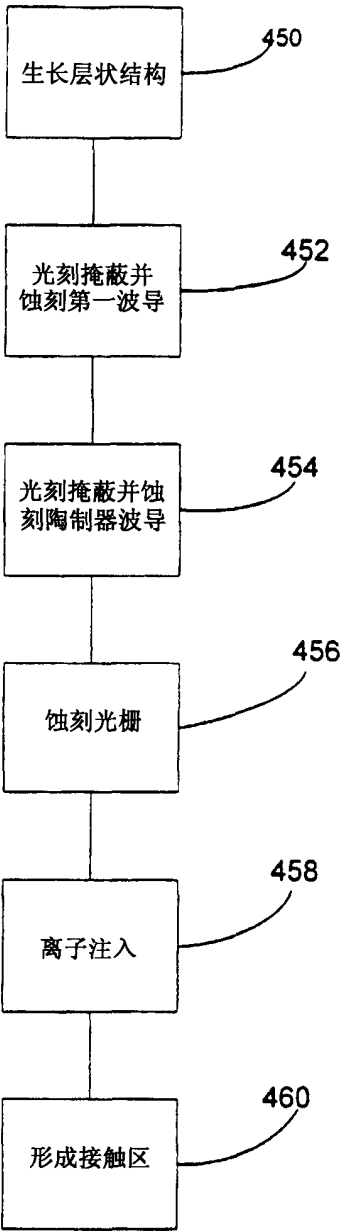


图5B



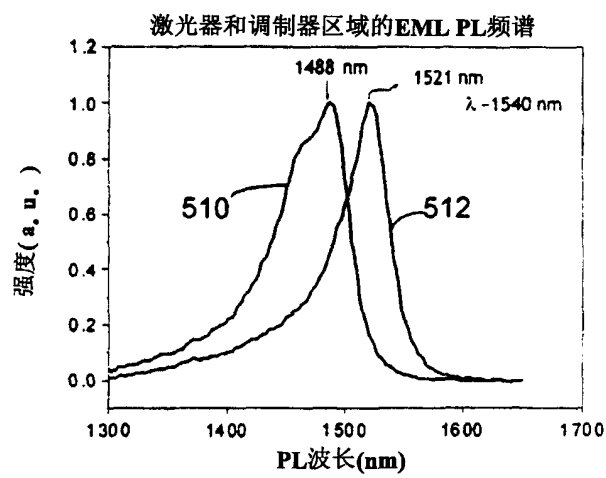


图6

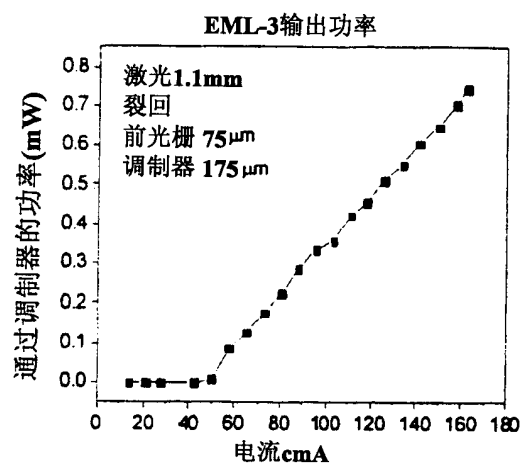


图7A

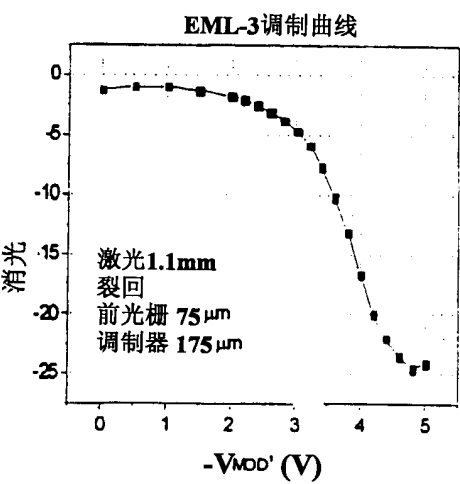


图7B

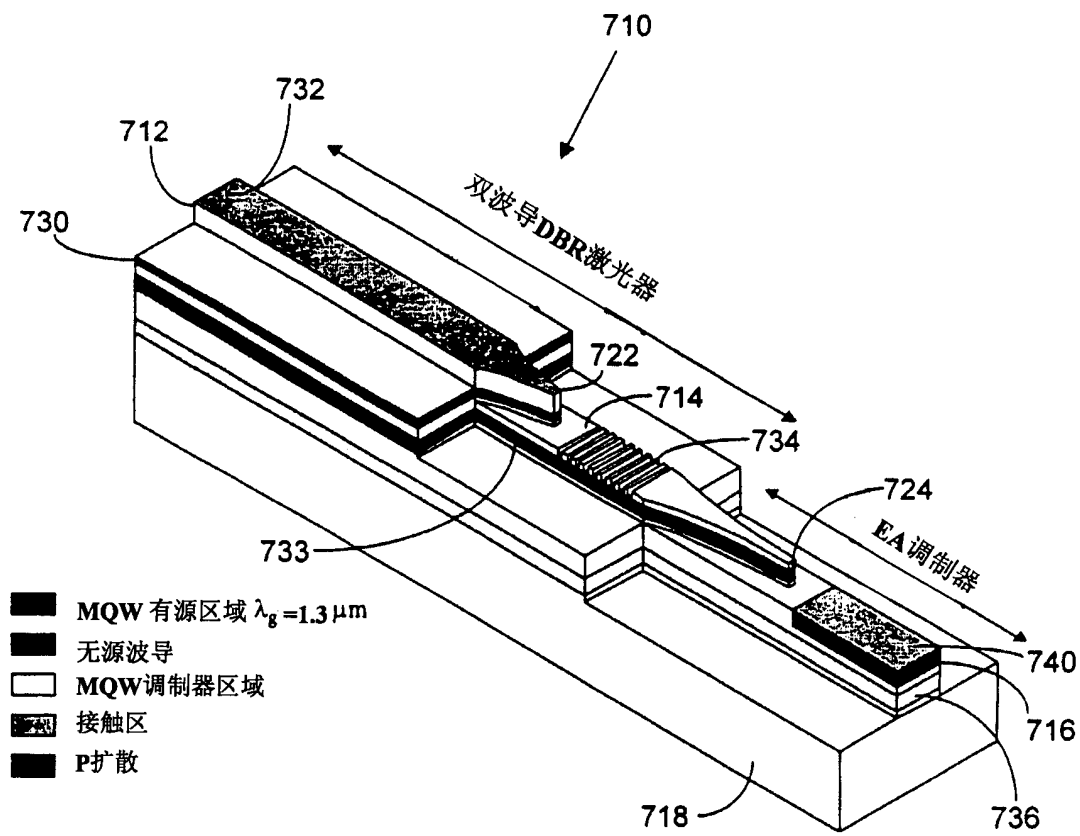
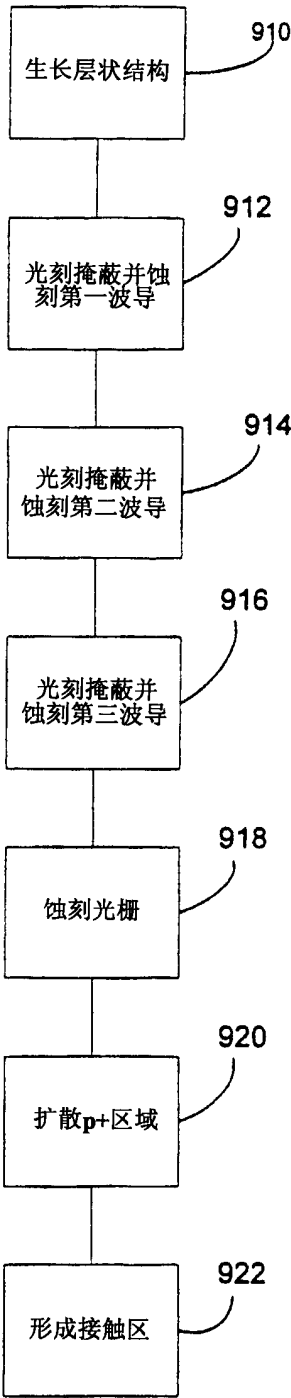


图8

图10



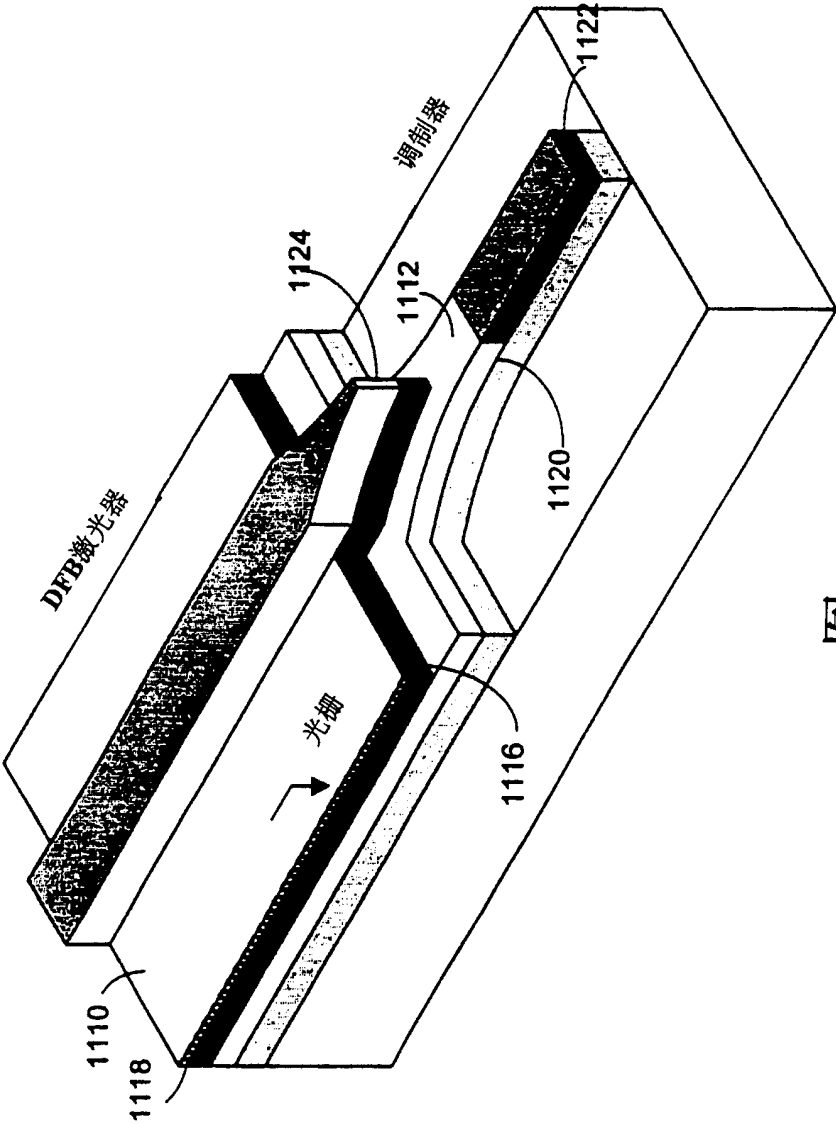


图11

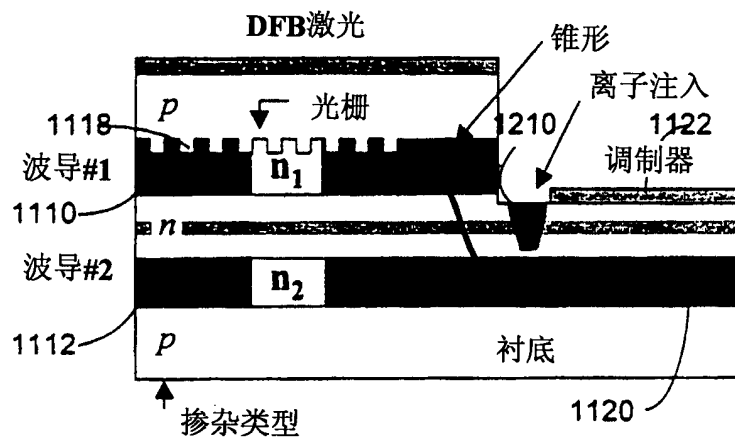


图12A

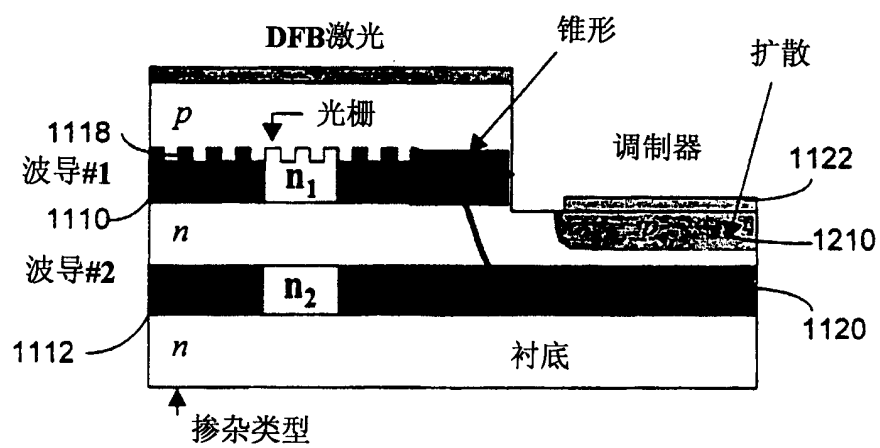


图12B