



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1503378 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 10

(21) 申请号 03150337. 3

US 6552362 B2, 2003. 04. 22, 第 3 栏第 55 至

(22) 申请日 2003. 07. 25

第 65 行, 图 1.

(30) 优先权数据

审查员 刘佳秋

10/303, 506 2002. 11. 25 US

(73) 专利权人 安华高科技光纤 IP (新加坡) 私人
有限公司

地址 新加坡新加坡市

(72) 发明人 格雷厄姆·麦克雷·弗劳尔

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 宋鹤

(51) Int. Cl.

H01L 31/028 (2006. 01)

H01L 31/10 (2006. 01)

H01L 27/14 (2006. 01)

G01J 1/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 3304431 A, 1967. 02. 14, 第 4 栏第 20 行
至第 8 栏第 25 行, 图 1 — 9.

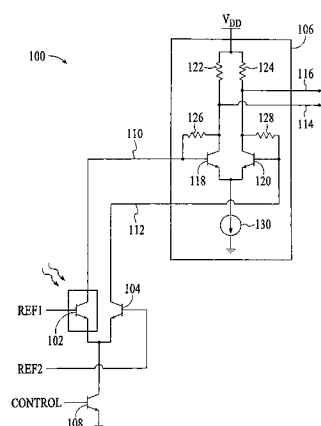
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于检测入射光的光检测器及方法

(57) 摘要

一种用于检测入射光的光检测器和方法利用了一对光敏器件, 在该一对光敏器件中, 一个光敏器件被有选择地暴露于入射光来产生能被用来测量入射光强度的差分电流信号。该光敏器件可以是具有能够将诸如 980nm 或 1300nm 的波长较长的光转换为电流的硅锗 (SiGe) 吸收区的光电晶体管。该 SiGe 光电晶体管可以被制作在硅衬底上。



1. 一种光检测器,包括:

第一光电晶体管,包含锗,被配置成响应入射光产生输出电流信号;

第二光电晶体管,与所述第一光电晶体管电耦合,所述第二光电晶体管被配置成产生参考电流信号;和

不透明层(402),位于所述第二光电晶体管上方,来阻止所述入射光到所述第二光电晶体管,因而所述参考电流信号不受所述入射光影响,所述输出电流信号和所述参考电流信号用于生成差分电流信号,从而提供对所述入射光的强度的检测。

2. 如权利要求1所述的光检测器,其中,所述第一光电晶体管包括包含所述锗的吸收区。

3. 如权利要求2所述的光检测器,其中,所述第一光电晶体管的所述吸收区包含硅锗合金。

4. 如权利要求3所述的光检测器,其中,所述第一光电晶体管的所述吸收区的厚度为0.1微米。

5. 如权利要求1所述的光检测器,还包括硅衬底,所述第一和第二光电晶体管被制作在所述硅衬底上。

6. 如权利要求1所述的光检测器,其中,所述第一和第二光电晶体管中的至少一个包括在第二导电区中的拉长的多个第一导电区和多个耦合到所述拉长的多个第一导电区的导电条,每个所述导电条的延伸长度短于对应的第一导电区长度的一半。

7. 如权利要求1所述的光检测器,其中,所述第一和第二光电晶体管中的至少一个包括在第二导电区中的拉长的多个第一导电区和至少一个有选择地耦合到所述第二导电区的导电条,从而由所述拉长的多个第一导电区确定的所述第二导电区的拉长部分中的一些没有耦合到所述至少一个导电条。

8. 如权利要求1所述的光检测器,还包括连接到所述第一和第二光电晶体管,用于提供高阻抗电压和差分跨导倒数增益的跨导倒数放大器。

9. 一种检测入射光的方法,包括:

在包含锗的第一光电晶体管接收所述入射光;和

由所述第一光电晶体管响应所述入射光产生第一信号;和

由第二光电晶体管产生第二信号,所述第二光电晶体管被屏蔽于所述入射光,从而所述参考电流信号不受所述入射光影响,所述第一和第二信号用于生成差分电流信号,从而提供对所述入射光的强度的检测。

10. 如权利要求9所述的方法,其中,所述第一信号的所述产生包括在所述第一光电晶体管的吸收区将所述入射光的一部分转换为电流,所述吸收区包含所述锗。

11. 如权利要求9所述的方法,其中,所述第一和第二光电晶体管中的至少一个被制作在硅衬底上。

12. 如权利要求9所述的方法,还包括使用包括所述第一和第二光电晶体管的差分放大器放大所述第一和第二信号。

13. 如权利要求12所述的方法,还包括提供足够的电压到所述第一和第二光电晶体管,从而所述第一和第二光电晶体管接近或进入雪崩区工作。

14. 如权利要求12所述的方法,还包括使用跨导倒数放大器放大所述第一和第二信

号。

15. 一种光检测器,包括:

硅基衬底;

制作在所述硅基衬底上的第一和第二光敏器件,所述第一和第二光敏器件被配置成产生差分电流信号,所述第一光敏器件包括包含锗的吸收区;和

不透明层,位于所述第二光敏器件上方,用于有选择地将所述第二光敏器件屏蔽于所述入射光,从而所述差分电流信号中的一个是由所述第一光敏器件响应所述入射光产生的,所述差分电流信号提供对所述入射光的检测。

16. 如权利要求 15 所述的光检测器,其中,所述吸收区包含硅锗合金。

17. 如权利要求 15 所述的光检测器,其中,所述第一和第二光敏器件中的至少一个包括光电晶体管。

18. 如权利要求 17 所述的光检测器,其中,所述光电晶体管包括在第二导电区中的拉长的多个第一导电区和耦合到所述拉长的多个第一导电区的多个导电条,每个所述导电条的延伸长度短于对应的第一导电区长度的一半。

19. 如权利要求 17 所述的光检测器,其中,所述光电晶体管包括在第二导电区中的拉长的多个第一导电区和至少一个有选择地耦合到所述第二导电区的导电条,从而由所述拉长的多个第一导电区确定的所述第二导电区的拉长部分中的一些没有耦合到所述至少一个导电条。

20. 如权利要求 17 所述的光检测器,还包括连接到所述光电晶体管来提供高阻抗电压和增益的跨导倒数放大器,从而所述光电晶体管能接近或进入雪崩区工作。

用于检测入射光的光检测器及方法

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及半导体器件,更确切地涉及用于检测入射光的光检测器。

背景技术

[0002] 使用硅 (Si) 来制造集成电路 (IC) 是很成熟的技术。自从 IC 发展的早期,硅就在电子学领域占据支配地位,成为制作和集成各种电子器件,尤其是诸如双极型和金属氧化物半导体 (MOS) 晶体管的固态晶体管的最广泛使用的材料。因此,与其他可选技术相比,硅技术已经显著地进步了。从而,Si 基 IC 比其他技术有很多优势。例如,Si 基 IC 能够相对容易地使用已经成熟的半导体工艺进行制造。此外,密度极高的电子器件能在 Si 基 IC 上制作。

[0003] 对 Si 基 IC 的偏好使得人们期望以这种材料制作例如光电二极管和光电晶体管的光敏器件,从而光敏器件和驱动这些器件的支持电路能够被集成。但是,由于 Si 的带隙,在 Si 上制作的光敏器件不能很好地工作来检测波长大于 850nm 的光,并且由于带隙的间接性质而效率略低。不幸的是,对于较长的距离,长于 850nm 的波长,例如 980nm 或 1300nm 对光纤器件有利,因为在这些较长的波长,衰减和色散效应较低。此外,较长的波长允许单模工作。

[0004] 在多篇美国专利中,描述了对波长大于 850nm 的光敏感的 Si 基光电二极管。这些 Si 基光电二极管器件使用锗 (Ge) 来吸收波长较长的光子,例如 1300nm 的光子。与带隙为 1.1eV 的 Si 不同,Ge 的带隙为 0.67eV。于是,Ge 能被用来更有效地吸收 1300nm 的光子。例如,被授权给 Sugiyama 等的美国专利 No. 6,075,253 描述了一种半导体光电检测器,该半导体光电检测器在 Si 衬底上形成的凹槽中,包括夹在 n 型 Ge 层和 p 型 Ge 层之间的光吸收 Ge 单晶层。所述的半导体光电检测器在凹槽中还包括在 p 型 Ge 层上的 p 型层。Sugiyama 等的半导体光电检测器被描述为对波长为 1000nm 或更长的光敏感。

[0005] 对传统的 Si 基 Ge 光电二极管所担心的是当它们被用于光检测器时,它们对较长波长的光的灵敏度也许对于某些应用是不够的。此外,传统的 Si 基 Ge 光电二极管也许需要比其他类型的光电二极管更复杂的制作工艺,这会转化为制造成本的增加。

[0006] 考虑到这些担心,需要一种利用 Si 基 Ge 光敏器件的用于检测入射光的光检测器和方法,其能够使用标准的 SiGe 制作工艺制作,并具有检测诸如 980nm 或 1300nm 的较长波长的光的高度灵敏度。

发明内容

[0007] 一种用于检测入射光的光检测器和方法利用了一对光敏器件,其中,光敏器件之一被有选择地暴露于入射光,以产生能被用来测量入射光强度的差分电流信号。该光敏器件可以是具有能够将诸如 980nm 或 1300nm 的较长波长的光转换为电流的硅锗 (SiGe) 吸收区的光电晶体管。该 SiGe 光电晶体管可以被制作在硅衬底上。因此,该 SiGe 光电晶体管和光检测器的其他电子元件能被集成到单一的半导体结构中。使用由光敏器件产生的差分电

流,该光检测器能以增加的灵敏度和低的噪声检测诸如 980nm 或 1300nm 的波长长于 850nm 的入射光。

[0008] 根据本发明,一种光检测器包括差分对光电晶体管,其中,一个光电晶体管被不透明层屏蔽于入射光。每个光电晶体管可以包括由硅锗合金形成的吸收区,该吸收区使得光电晶体管能对诸如 980nm 或 1300nm 的波长较长的光敏感。此外,该硅锗吸收区允许使用标准的硅锗制作工艺将光电晶体管制作在硅衬底上。该光检测器还包括能为光电晶体管提供高阻抗电压和差分跨导倒数增益的跨导倒数放大器。

[0009] 在入射光存在时,被暴露的光电晶体管响应入射光产生输出电流信号,而被屏蔽的光电晶体管产生参考电流信号。该输出和参考电流信号被跨导倒数放大器和作为差分放大器工作的光电晶体管放大。这些经过放大的信号然后能被用来检测入射光。

[0010] 结合附图,举例示出了本发明的原理,本发明的其他方面和优点将从下面详细的描述中变得清楚。

附图说明

[0011] 图 1 是根据本发明的示例性实施例的光检测器的示意图;

[0012] 图 2 是包括在图 1 的光检测器中、暴露于入射光的 SiGe 光电晶体管的平面版图;

[0013] 图 3 是图 2 的 SiGe 光电晶体管的横截面视图;

[0014] 图 4 是包括在图 1 的光检测器中的 SiGe 光电晶体管的横截面视图,该光电晶体管被不透明的金属层覆盖来将光电晶体管屏蔽于入射光。

[0015] 图 5 是根据本发明的示例性实施例的测量入射光的方法的流程图;

[0016] 图 6 是根据本发明示例性实施例的检测入射光的方法的流程图。

具体实施方式

[0017] 参考图 1,示出了根据本发明的示例性实施例的光检测器 100。该光检测器利用其中仅有一个光电晶体管暴露于入射光的差分对硅锗 (SiGe) 光电晶体管 102 和 104 来产生差分电流,该差分电流被放大两倍并转换为差分电压信号。差分电压信号能被用来测量入射光的强度。SiGe 光电晶体管能被制作在 Si 衬底上,从而该光电晶体管和光检测器的其他 Si 基电子元件能集成在单一的半导体结构中。使用差分对 SiGe 光电晶体管,光检测器能以增加的灵敏度和低的噪声对诸如 980nm 或 1300nm 的波长长于 850nm 的光进行检测。

[0018] 如图 1 所示,光检测器 100 包括跨导倒数放大器 106、偏置双极型晶体管 108 和差分对 SiGe 光电晶体管 102 和 104。该跨导倒数放大器工作来为 SiGe 光电晶体管提供高的阻抗电压。该跨导倒数放大器具有与 SiGe 光电晶体管电连接,用于提供高的电流增益和偏置的输入端 110 和 112。该跨导倒数放大器还具有输出端 114 和 116,用于输出源于 SiGe 光电晶体管 102 和 104 所产生的差分电流的差分电压信号。

[0019] 跨导倒数放大器 106 包括一对双极型晶体管 118 和 120、电阻 122、124、126 和 128 以及电流源 130。电阻 122 和 124 被分别连接到电源电压 VDD 和双极型晶体管 118 和 120。晶体管 118 的集电极被连接到电阻 122,而晶体管 118 的发射极被连接到电流源,该电流源接地。同样地,晶体管 120 的集电极被连接到电阻 124,而晶体管 120 的发射极被连接到电流源。晶体管 118 和 120 的基极分别被连接到输入端 110 和 112。晶体管 118 的基极也被

连接到电阻 126, 而电阻 126 以并联反馈结构连接到晶体管 118 的集电极。同样地, 晶体管 120 的基极被连接到电阻 128, 而电阻 128 被连接到晶体管 120 的集电极。

[0020] 跨导倒数放大器 106 的工作在电子学领域是熟知的, 因此在这里就不详细地描述了。该跨导倒数放大器工作来放大由 SiGe 光电晶体管 102 和 104 所产生的差分电流, 以在输出端 114 和 116 上生成差分电压信号。因此, 该跨导倒数放大器为 SiGe 光电晶体管 102 和 104 所产生的差分电流提供了差分跨导倒数增益。在输出端 114 上的差分电压信号对应于由 SiGe 光电晶体管 102 所产生的差分电流, 而输出端 116 上的差分电压信号对应于由 SiGe 光电晶体管 104 所产生的差分电流。

[0021] 如上所述, 光检测器 100 的 SiGe 光电晶体管 102 和 104 工作, 响应入射光来产生差分电流。构建光检测器以使仅有 SiGe 光电晶体管 102 暴露于入射光。另一个 SiGe 光电晶体管 104 则被屏蔽于入射光, 如下所述。因此, 只有 SiGe 光电晶体管 102 所产生的差分电流包括作为吸收入射光的结果而产生的电流, 即光生电流。由于 SiGe 光电晶体管 104 被屏蔽于入射光, 由 SiGe 光电晶体管 104 所产生的差分电流不包括任何光生电流, 因此能被用作测量由 SiGe 光电晶体管 102 所产生的差分电流中的光生部分的参考。由 SiGe 光电晶体管 102 所产生的差分电流在这里被称为光相关基极电流 (photo-related base current); 而由 SiGe 光电晶体管 104 所产生的差分电流在这里被称为参考基极电流, 这可以是标称值。由 SiGe 光电晶体管 102 和 104 所产生的两个差分电流之间的差异是对入射光强度的量度。

[0022] SiGe 光电晶体管 102 和 104 被配置为差分放大器。因此, 由 SiGe 光电晶体管产生的差分电流被该光电晶体管放大。SiGe 光电晶体管 102 和 104 的发射极都被连接到偏置晶体管 108, 而晶体管 108 接地。该偏置晶体管响应施加到其基极上的 CONTROL 信号, 为 SiGe 光电晶体管提供偏置电流。SiGe 光电晶体管 102 和 104 的基极被配置成接收 REF1 和 REF2 信号, 它们对由每个光电晶体管所传导的电流进行控制。在该示例性实施例中, REF1 和 REF2 信号是同样的, 从而由 SiGe 光电晶体管 102 所产生的光相关基极电流和由 SiGe 光电晶体管 104 所产生的参考基极电流之间的仅有的差值是由光电晶体管 102 上的入射光所造成的光生电流。SiGe 光电晶体管的集电极被连接到跨导倒数放大器 106 的输入端 110 和 112, 跨导倒数放大器 106 对经过放大的由 SiGe 光电晶体管 102 和 104 所产生的差分电流进一步放大, 并且在输出端 114 和 116 上产生差分电压信号。

[0023] 在这里将 SiGe 光电晶体管 102 和 104 图示和描述为双极型晶体管。但是, SiGe 光电晶体管可以是其他类型的光电晶体管, 例如光敏场效应管 (FET)。在结构上, 两个 SiGe 光电晶体管是相同的。因此, 仅有 SiGe 光电晶体管 102 在这里被详细地描述。图 2 示出了 SiGe 光电晶体管 102 的平面版图, 而图 3 示出了该 SiGe 光电晶体管的横截面视图。如图所示, SiGe 光电晶体管 102 包括 n 型集电极区 202, p 型基极区 204 和 n 型发射极区 206。虽然图示了五个 n 型发射极区, 该 SiGe 光电晶体管可以包括更少或更多个 n 型发射极区。如图 3 所示, 集电极区 202 形成在 Si 衬底 302 上。基极区 204 形成在集电极区中, 同样地, 发射极区 206 形成在基极区中。发射极区形成在基极区中, 从而发射极区确定了拉长的区域, 如图 2 所示。从而, 基极区包括对应的由基极区确定的、在基极区之间以及在最外面的基极区和集电极区之间的拉长部分。

[0024] 如图 3 所示, SiGe 光电晶体管 102 还包括 SiGe 合金层 304, 这被用作能吸收波长长于 850nm, 例如 1300nm 的光的光子吸收层。截止波长将是该 SiGe 层确切成分的函数。该

SiGe 层能由低温外延有选择地沉积在集电极区 202 上。例如,该 SiGe 层可以在大约 630 摄氏度下生长到大约 0.1 微米厚。该 SiGe 光电晶体管的其他部分可以使用传统的半导体制作工艺进行制作。

[0025] SiGe 光电晶体管 102 还包括集电极金属条 208,基极金属条 210 和发射极金属条 212,它们位于各自对应的区域上。这些金属条提供导电区来电气接触 SiGe 光电晶体管的各个区。但是,基极和发射极金属条阻止光到达光电晶体管的 SiGe 层 304,在 SiGe 层 304 吸收光,并且生成电荷载流子对来产生电流。为了增加能到达 SiGe 层的光的量,在该 SiGe 光电晶体管中由基极和发射极金属条占据的共同面积减少了。与传统的双极型晶体管不同,发射极金属条 212 并不沿着各自的发射极区 206 的整个长度延伸,如图 2 所示。发射极金属条的延伸短于各自的发射极区长度的一半。在示例性实施例中,发射极金属条的延伸短于各自的发射极区长度的四分之一。此外,该 SiGe 光电晶体管仅在最外面的发射极区和集电极区之间包括两个基极金属条 210。传统的双极型晶体管还包括在发射极区之间的基极金属条。因此,该 SiGe 光电晶体管 102 的由基极和发射极金属条占据的面积显著地减少,以增加能够到达 SiGe 层 304 用于光电转换的光的量。该结构将在基极和发射极接线端具有增大的寄生电阻。但是,由于速度并不是主要的关注之处,所以这是一个好的折衷方案。

[0026] 如上所述,SiGe 光电晶体管 104 在结构上与 SiGe 光电晶体管 102 相同。但是,如图 4 所示,该 SiGe 光电晶体管 104 由不透明的金属层 402 所覆盖,该不透明金属层 402 将该光电晶体管屏蔽于入射光。对该不透明的金属层加工图案,以便只有 SiGe 光电晶体管 102 被暴露。SiGe 光电晶体管 104 的各个金属条 208、210 和 212 由绝缘层 404 与不透明的金属层绝缘,该绝缘层 404 可以是 SiO_2 层。由于不透明的金属层,光检测器 100 上的任何入射光仅能到达 SiGe 光电晶体管 102。因此,由 SiGe 光电晶体管 104 产生的基极电流信号不受入射光影响。即,SiGe 光电晶体管 104 的基极电流信号不包括任何来自吸收入射光产生的电流的贡献。

[0027] 光检测器 100 可能不适合作为前端检测器,因为 SiGe 光电晶体管 102 的灵敏度对于这样的应用可能是不够的。但是,该光检测器能很好地起到用于测量光纤器件的激光器的连续性能的监测器件的功能。例如,这样的光检测器的阵列可以被制作在单一的硅芯片上,并被连接于激光器的阵列来一个一个单独地检测激光器的性能。将该光检测器用作监测器件使得得以对激光器老化的工作状况进行补偿,这将增加光纤器件的有用的工作寿命。

[0028] 参考图 5 的流程图描述光检测器 100 的工作。在方框 502,高阻抗电压通过跨导倒数放大器 106 被提供给差分对 SiGe 光电晶体管 102 和 104。高阻抗电压被施加到光电晶体管的集电极。此外,偏置电流由偏置双极型晶体管 108 提供给 SiGe 光电晶体管。接下来,在方框 504,入射光被光检测器所接收。由于 SiGe 光电晶体管 104 被不透明的金属层 402 所覆盖,入射光仅能被 SiGe 光电晶体管 102 接收。这样,在方框 506,差分基极电流由 SiGe 光电晶体管 102 和 104 产生。接下来,在方框 508,差分基极电流由起到差分放大器功能的 SiGe 光电晶体管 102 和 104 放大。在方框 510,经过放大的差分电流被跨导倒数放大器 106 进一步放大,并被转化为在输出端 114 和 116 上的差分电压信号。

[0029] 在示例性实施例中,由跨导倒数放大器 106 提供的高阻抗电压使得 SiGe 光电晶体管 102 和 104 的 V_{ce} 电压足够高,以使光电晶体管接近或进入雪崩区工作。因此,光相关基

极电流信号和参考基极电流信号之间的差值被最大化。此外,因为工作于雪崩或击穿状态的器件表现出较低的噪声,所以噪声降低了。

[0030] 参考图 6,描述根据本发明示例性实施例的检测入射光的方法。在步骤 602,在第一光电晶体管接收入射光。该入射光可以是波长长于 850nm 的光。在示例性实施例中,第一光电晶体管是具有 SiGe 合金的光子吸收层的 Si 基光电晶体管。接下来,在步骤 604,由第一光电晶体管响应入射光产生输出电流信号。在步骤 606,由第二光电晶体管产生参考电流信号,该第二光电晶体管被屏蔽于入射光,从而参考电流信号不受入射光影响。在示例性实施例中,第二光电晶体管在结构上与第一光电晶体管相同。输出电流信号和参考电流信号是提供入射光差分电流检测的差分信号。

[0031] 虽然对本发明的特定实施例进行了描述和图示,但是本发明并不局限于这样描述和图示的特定形式或配置。本发明的范围由这里所附的权利要求及它们的等同物所确定。

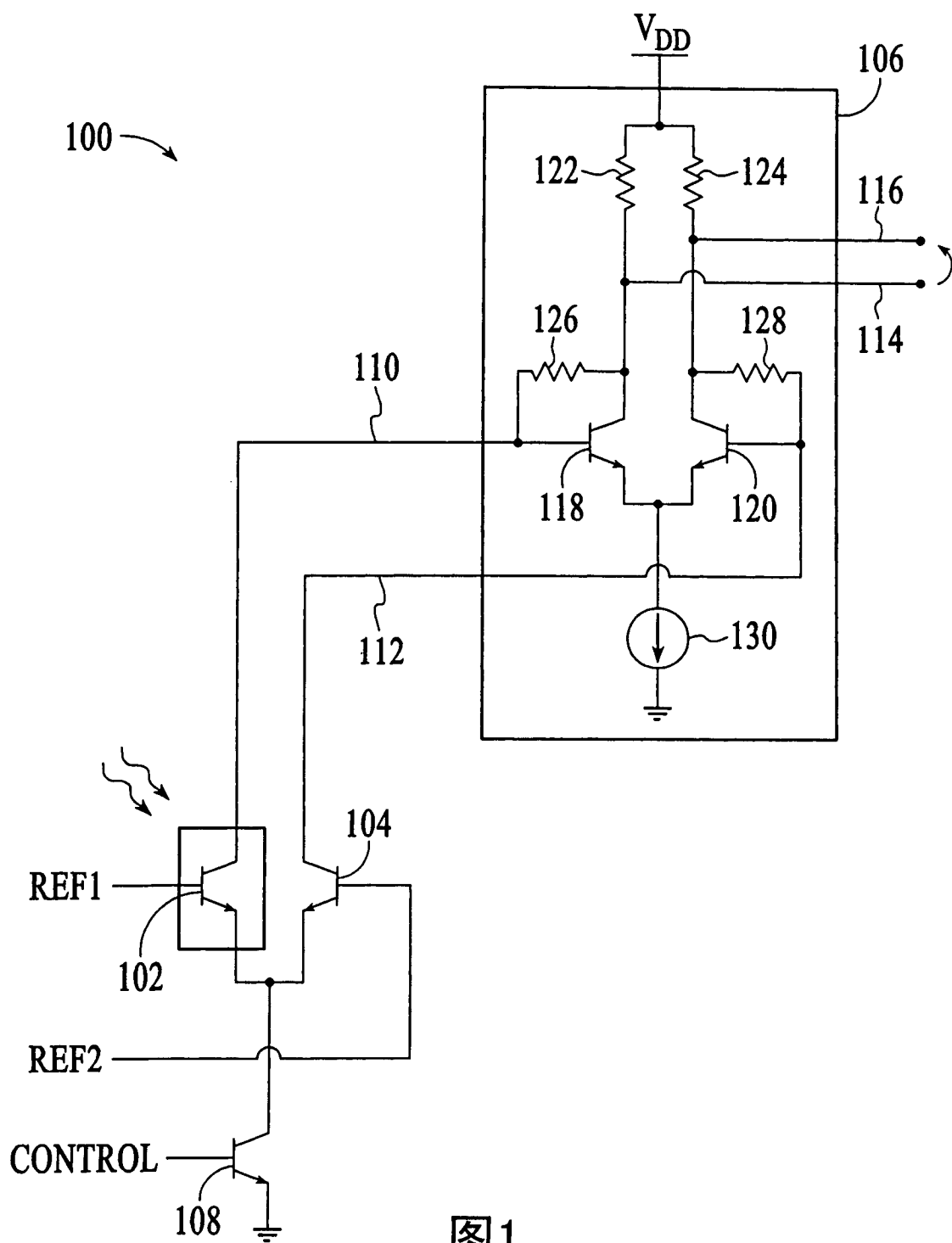


图1

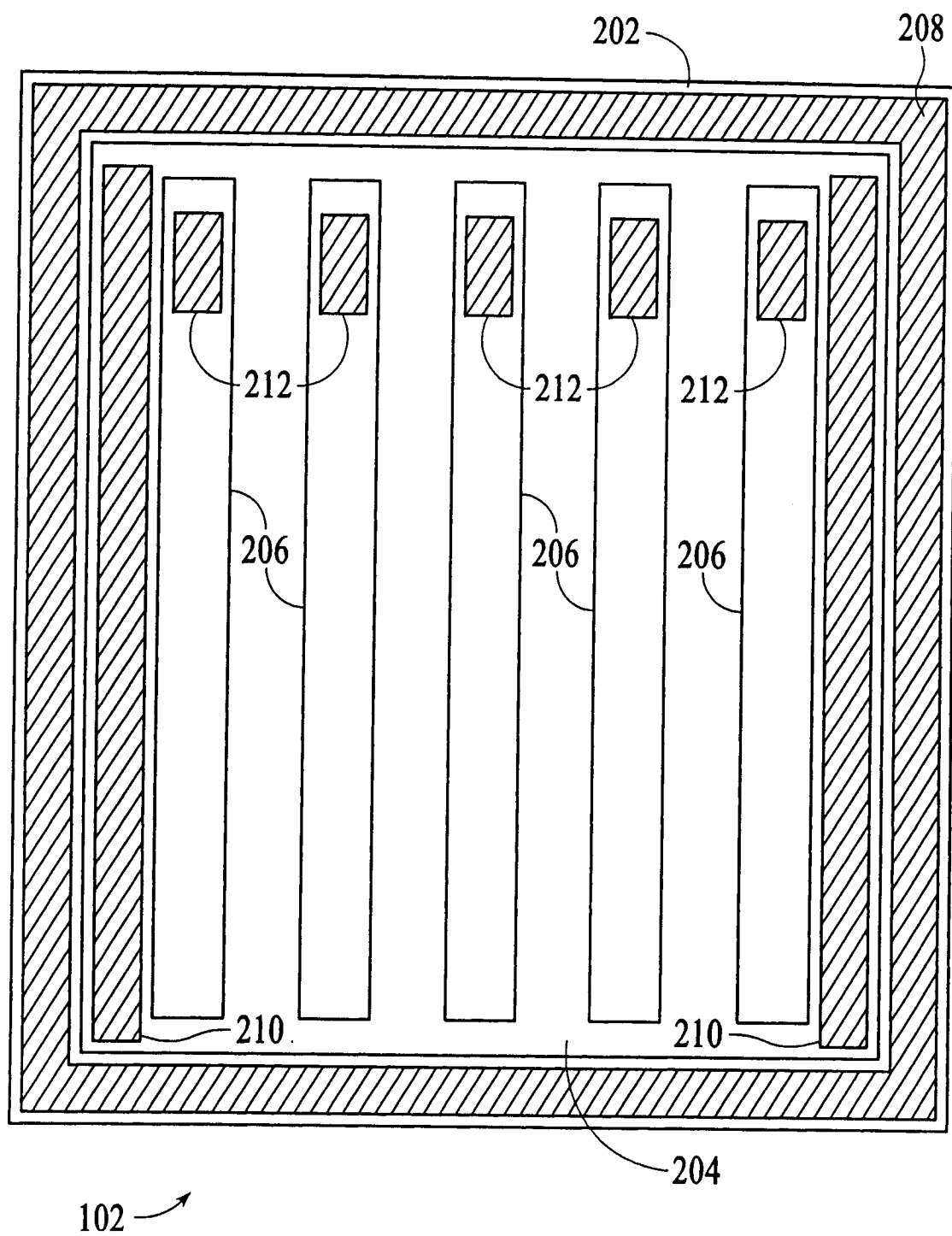


图 2

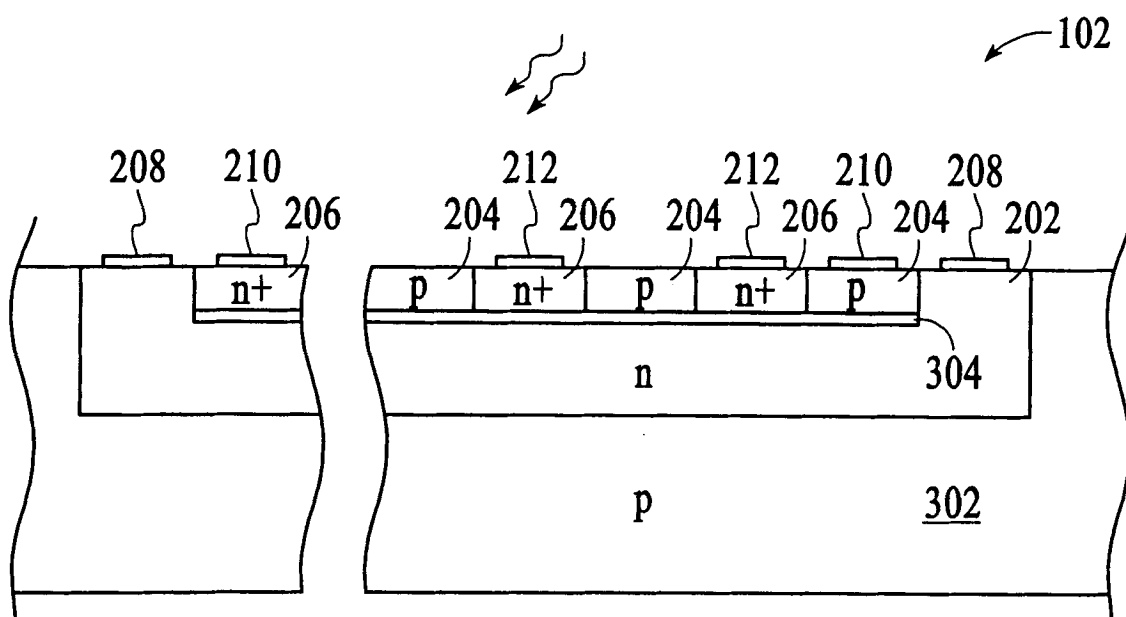


图 3

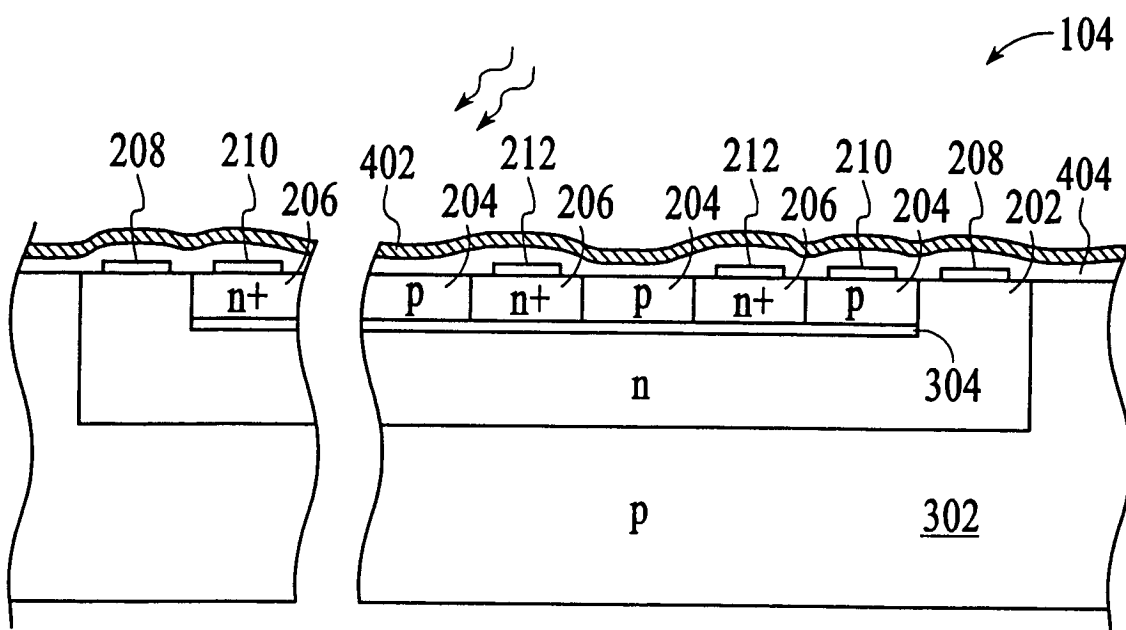


图 4

