

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

H01L 33/00 (2006.01)

H01L 27/15 (2006.01)

H01L 21/18 (2006.01)

专利号 ZL 01817506.6

[45] 授权公告日 2008年3月26日

[11] 授权公告号 CN 100377368C

[22] 申请日 2001.10.8 [21] 申请号 01817506.6

[30] 优先权

[32] 2000.10.17 [33] DE [31] 10051465.0

[86] 国际申请 PCT/DE2001/003851 2001.10.8

[87] 国际公布 WO2002/033760 德 2002.4.25

[85] 进入国家阶段日期 2003.4.17

[73] 专利权人 奥斯兰姆奥普托半导体有限责任公司

地址 德国雷根斯堡

[72] 发明人 S·巴德 D·埃泽尔特 B·哈恩
V·海勒

[56] 参考文献

US5786606A 1998.7.28

审查员 王志宇

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 苏娟 赵辛

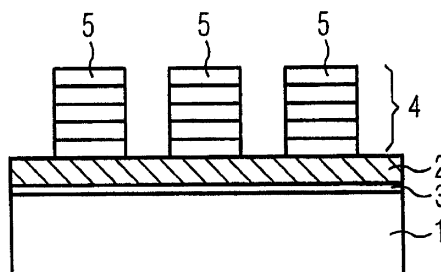
权利要求书4页 说明书7页 附图6页

[54] 发明名称

GaN 基的半导体元件的制造方法

[57] 摘要

本发明涉及一种具有多层 GaN 基层的半导体元件的制造方法，这种半导体元件最好用来产生辐射。其中多层的 GaN 基层(4)生长在一个复合衬底上，该复合衬底具有一个衬底本体(1)和一层中间层(2)，而且衬底本体(1)的热膨胀系数接近于或最好大于 GaN 基各层(4)的热膨胀系数，GaN 基各层(4)被淀积在中间层(2)上。该中间层和衬底本体最好通过晶片键合方法进行连接。



1. 具有 GaN 基若干层(4)的一种半导体元件的制造方法,其中, GaN 基各层(4)生长在一个复合衬底上,该复合衬底具有一个衬底本体(1)和一中间层(2),其中衬底本体(1)的热膨胀系数接近于或大于 GaN 基各层(4)的热膨胀系数,而 GaN 基各层(4)则淀积在中间层(2)上,其特征为,

a) GaN 基各层(4)在生长到该复合衬底上后,被结构化成单个的半导体叠层(5);接着

b1) 在半导体叠层(5)上设置一个载体(6),
和去掉该复合衬底;或者

b2) 在半导体叠层(5)上设置一个中间载体;
去掉该复合衬底;

在去掉了该复合衬底的半导体叠层(5)的一面上设置一个载体(6);

去掉该中间载体。

2. 按权利要求1的方法,其特征为,衬底本体(1)具有一种从由 SiC、Si、蓝宝石、GaN、AlN 组成的组中选出的材料。

3. 按权利要求1的方法,其特征为,衬底本体(1)具有一种从由多晶 SiC、多晶 Si 和多晶 GaN 组成的组中选出的材料。

4. 按权利要求1的方法,其特征为,中间层(2)材料选自由 SiC、Si、蓝宝石、MgO、GaN 或 AlGaN 组成的组中的一种。

5. 按权利要求1的方法,其特征为,中间层(2)至少在部分区域具有一个单晶表面。

6. 按权利要求1的方法,其特征为,衬底本体(1)是多晶 SiC,而中间层(2)则是单晶 SiC。

7. 按权利要求1的方法,其特征为,衬底本体(1)是多晶 Si,而中间层(2)则是单晶 Si。

8. 按权利要求1的方法,其特征为,衬底本体(1)是多晶 GaN,而中间层(2)则是单晶 GaN。

9. 按权利要求1的方法,其特征为,中间层(2)具有一个 Si 表面,在该表面上淀积 GaN 基各层(4)。

10. 按权利要求1的方法,其特征为,中间层(2)具有一个至少

在部分区域内为单晶的 SiC 表面, GaN 基各层(4)淀积在该单晶的 SiC 表面上。

11. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 中间层(2)用键合法生长在衬底本体(1)上。

12. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 在衬底本体(1)和中间层(2)之间形成了一层附着层(3)。

13. 按权利要求 12 的方法, 其特征为, 附着层(3)含有氧化硅。

14. 按权利要求 1 至 13 任一项的方法, 其特征为, 在该复合衬底上生长 GaN 基各层之前, 形成一层带外延窗口的掩膜层(7), 且在外延窗口内, 该复合衬底的外延表面没有被覆盖。

15. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 载体(6)由至少一种化合物或至少一种元素砷化镓、锗、硅、氧化锌、钼、铝、铜、铁、镍或钴构成。

16. 按权利要求 15 的方法, 其特征为, 该衬底本体由蓝宝石构成, 而载体(6)则由砷化镓、钼、钨或一种铁镍钴合金构成。

17. 按权利要求 15 的方法, 其特征为, 衬底本体(1)由 SiC 构成, 而载体(6)则由 Si 或 SiC 构成。

18. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 载体(6)的热膨胀系数与 GaN 基各层(4)的热膨胀系数匹配。

19. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 载体(6)的热膨胀系数与衬底本体(1)的热膨胀系数匹配。

20. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 载体(6)的热膨胀系数介于衬底本体(1)的热膨胀系数和 GaN 基各层(4)的热膨胀系数之间。

21. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 在 GaN 基各层(4)上或在半导体叠层(5)上形成了一层反射层(9)。

22. 按权利要求 21 的方法, 其特征为, 反射层(9)通过设置一金属层来形成。

23. 按权利要求 22 的方法, 其特征为, 该金属层含有银、铝或一种银合金或铝合金。

24. 按权利要求 21 至 23 任一项的方法, 其特征为, 反射层(9)同时作为接触面用。

25. 按权利要求 21 的方法, 其特征为, 反射层(9)通过一种电

介质的镜面化来构成。

26. 按权利要求 1 的方法, 其特征为, 半导体叠层 (5) 的表面至少部分地被打毛。

27. 按权利要求 26 的方法, 其特征为, 半导体叠层 (5) 的表面通过腐蚀进行打毛。

28. 按权利要求 26 的方法, 其特征为, 半导体叠层 (5) 的表面通过喷砂进行打毛。

29. 按权利要求 11 的方法, 其特征为, 中间层 (2) 用氧化键合法或晶片键合法生长在衬底本体 (1) 上。

30. 产生辐射的或者检测辐射的薄膜半导体元件, 包括产生辐射的二极管、发光二极管和半导体激光器, 其特征为, 该元件包括一具有多层 GaN 基层 (4) 的半导体叠层 (5), 该半导体叠层 (5) 设置在一载体 (6) 上, 在该载体 (6) 和半导体叠层 (5) 之间设置一金属反射层 (9), 该载体 (6) 不同于 GaN 基层的外延衬底, 该薄膜半导体元件没有 GaN 基层的外延衬底。

31. 按权利要求 30 的薄膜半导体元件, 其特征为, 该半导体叠层被设置在不同于该外延衬底的载体 (6) 上。

32. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 该载体 (6) 由至少一种化合物或至少一种元素砷化镓、锗、硅、氧化锌、钼、铝、铜、铁、镍或钴构成。

33. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 该衬底本体由蓝宝石构成, 而该载体 (6) 则由砷化镓、钼、钨或一种铁镍钴合金构成。

34. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 衬底本体 (1) 由 SiC 构成, 而载体 (6) 则由 Si 或 SiC 构成。

35. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 载体 (6) 的热膨胀系数与 GaN 基各层 (4) 的热膨胀系数匹配。

36. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 载体 (6) 的热膨胀系数与衬底本体 (1) 的热膨胀系数匹配。

37. 按权利要求 31 的薄膜半导体元件, 其特征为, 载体 (6) 的热膨胀系数介于衬底本体 (1) 的热膨胀系数和 GaN 基各层 (4) 的热膨胀系数之间。

38. 按权利要求 30 的薄膜半导体元件, 其特征为, 该金属反射层 (9) 含有银、铝或一种银合金或铝合金。

39. 按权利要求 30 的薄膜半导体元件, 其特征为, 该金属反射层 (9) 同时作为接触面用。

40. 按权利要求 30 的薄膜半导体元件, 其特征为, 半导体叠层 (5) 的表面至少部分地被打毛。

41. 一种复合衬底的应用, 其是用一个具有衬底本体 (1) 和中间层 (2) 的复合衬底来外延制造具有多层 GaN 基层 (4) 的半导体元件, 其中, 衬底本体 (1) 和中间层 (2) 通过键合法进行连接, 其特征为, 该复合衬底在外延制成 GaN 基各层后被除去。

42. 按权利要求 41 所述的复合衬底的应用, 其特征为, 衬底本体 (1) 和中间层 (2) 通过氧化键合法或晶片键合法进行连接。

GaN 基的半导体元件的制造方法

技术领域

本发明涉及 GaN 基的半导体元件的制造方法。

背景技术

GaN 基的半导体元件主要用来产生蓝绿光谱范围内的辐射并具有由一种 GaN 基材料制成的若干层。这类材料除了 GaN 本身外,还包括由 GaN 衍生的或与 GaN 同源的材料以及建立在其基础上的三元或四元混合晶体。其中,尤其是 AlN、InN、AlGa_xN (Al_{1-x}Ga_xN, 0≤x≤1)、InGa_xN (In_{1-x}Ga_xN, 0≤x≤1)、InAlN (In_{1-x}Al_xN, 0≤x≤1) 和 AlInGa_xN (Al_{1-x-y}In_xGa_yN, 0≤x≤1, 0≤y≤1) 属于此类材料。下面所谓的“GaN 基”材料除了涉及 GaN 本身外,还涉及上面列出的材料系统。

通常用外延法来制造 GaN 基的半导体元件。其中,外延衬底的选择既对制造过程又对元件的功能起决定性的作用。

一般采用蓝宝石衬底或 SiC 衬底,但这两种衬底都有一些缺点,例如蓝宝石相对于 GaN 基各层的晶格匹配缺陷是比较大的。

与蓝宝石比较,SiC 衬底与 GaN 基材料具有较好的晶格匹配。但具有足够晶体质量的 SiC 衬底的制备是与很高的费用联系在一起的。此外,GaN 基半导体元件的出产率是相当低的,因为受到 SiC 晶片直径尺寸的限制,典型地,该尺寸明显低于 150 毫米。

从专利文献 US 5 786 606 已知一种 GaN 基的产生辐射的半导体元件的制造方法。该方法首先在一个 SIMOX 衬底(氧化物注入隔离)或 SOI 衬底(绝缘体上的硅)上用外延法生长一 SiC 层,然后在这个 SiC 衬底上淀积若干 GaN 基的叠层。

但由于 SiC 层吸收了产生的辐射的一部分,所以通过 SiC 层降低了元件的辐射效率。此外,具有足够晶体质量的 SiC 层的外延生长要求高的制作费用。

发明内容

本发明的目的在于提出 GaN 基半导体元件的一种技术简单和费用

低廉的制造方法。此外，本发明的目的在于开发一种具有高辐射效率的半导体元件的制造方法。

按照本发明，本发明提出一种具有 GaN 基若干层的一种半导体元件的制造方法，其中，GaN 基各层生长在一个复合衬底上，该复合衬底具有一个衬底本体和一中间层，其中衬底本体的热膨胀系数接近于或最好大于 GaN 基各层的热膨胀系数，而 GaN 基各层则淀积在中间层上，该复合衬底在 GaN 基各层（4）的分离后被除去。

在用不同成分的若干 GaN 基层时，它们的热膨胀系数也有所差别。但这种差别一般是很小的，并相对于衬底本体的热膨胀系数而言，可忽略不计。其中，作为 GaN 基各层的热膨胀系数尤其是与该复合衬底邻接的一层的热膨胀系数起决定性的作用。此外，根据层序列的结构，也可用具有最大厚度的该 GaN 基层的热膨胀系数或必要时用具有相应层厚的热膨胀系数的平均值。

根据本发明，该衬底本体的热膨胀系数大于或接近于 GaN 基各层的热膨胀系数。在后一种情况中，该衬底本体的热膨胀系数最好与 GaN 基各层的热膨胀系数相差不大于 50%，特别是最好不大于 30%。

复合衬底可理解为这样一种衬底，它包括至少两个区域、衬底本体和中间层并作为外延法用的原衬底。特别是，该中间层不是外延生长的，而是最好用一种键合方法形成在该衬底本体上。

作为键合方法最好用一种氧化键合法或晶片键合法。在用氧化键合时，该衬底本体和中间层在形成一层氧化层例如一层氧化硅层的情况下作为附着层相互连接，而在晶片键合时，该衬底本体和中间层则直接连接。在很大程度上也可用别的键合方法，例如用低共熔键合法或形成一层非氧化附着层的键合法。

在上述那类复合衬底时，热性能主要由该衬底本体来决定，而中间层的外延表面及其晶格常数则在很大程度上与此无关。所以有利于该中间层最佳匹配要生长的各层的晶格常数。与此同时，由于使用一个具有足够高的热膨胀系数的衬底本体，防止了 GaN 基各层在生长后在冷却阶段产生翘曲并由此而在各层中形成裂纹。所以该中间层最好做得很薄，使整个复合衬底的热膨胀系数基本上相当于衬底本体的热膨胀系数。通常地，该衬底本体比该中间层至少厚 20 倍。

根据本发明的一个有利方案，衬底本体最好含有 SiC、Si 或 GaN、

尤其是多晶体（多晶 SiC、多晶 Si 或多晶 GaN）、蓝宝石或 AlN。SiC 的热膨胀系数接近于 GaN 基的材料的热膨胀系数，而上述其余材料则具有一个比 GaN 基材料大的热膨胀系数。这样就利于避免外延生长的各层在冷却阶段形成裂纹。

在本发明的一种优选方案中，中间层含有 SiC、Si、蓝宝石、MgO、GaN 或 AlGaN。这些材料特别适用于形成一个具有与 GaN 匹配的晶格常数的基本上是单晶的表面。作为外延表面则优先选用 Si(III) 表面或单晶的 SiC 表面，在该表面上生长 GaN 基各层。

在本发明的一种有利的方案中，GaN 基各层被淀积在一个复合衬底上，而中间层则通过一种键合方法例如晶片键合法或氧化键合法键合在该衬底本体上。在该衬底本体和中间层之间最好形成一层例如用氧化硅制成的附着层。

用键合法有利于组合多种材料系统，而不受到材料不相容性的限制，这种不相容性例如在衬底本体上外延生长一中间层时则需要考虑。

为了获得足够薄的中间层，可首先在该衬底本体上键合一层较厚的中间层，然后例如通过磨削或裂解减薄到需要的厚度。

在本发明的一种有利的方案中，在 GaN 基各层淀积到该复合衬底上之前形成一掩模层，这样只在没有被掩模覆盖的外延表面的区域上生长 GaN 基各层。从而有利于 GaN 基各层在层平面内中断，并由此达到附加地防止翘曲和伴随的裂纹形成。

本发明的另一个优选方案在于，在 GaN 基各层淀积到该复合衬底上以后，构成单个的半导体层叠，然后在这个 GaN 基半导体层叠上设置一个载体并去掉该复合衬底。所以该复合衬底可至少部分地被重复使用。这对制作费用很高的 SiC 衬底本体来说，是一个独特的优点。此外，可按这种方式方法制作薄膜元件。这里所谓的薄膜元件是指一个不含外延衬底的元件。

这样，在产生辐射的半导体元件的情况中，就可到达辐射效率的提高，因为避免了外延衬底例如尤其是在 SiC 衬底时产生的辐射被吸收。

适合作载体的材料例如有砷化镓 (GaAs)、锗、硅、氧化锌或金属，特别是钼、铝、铜、钨、铁、镍、钴或它们的合金。

载体材料最好这样选择，使其热膨胀系数与 GaN 基各层的热膨胀系数匹配并在必要时与衬底本体的热膨胀系数匹配。如果在设置该载体和去掉该复合衬底的 GaN 基各层之间使温度变化，则与衬底本体的热膨胀系数的匹配是特别适合的。热膨胀系数相差过大，势必导致载体与复合衬底的不同膨胀，并由于太大的机械应力而增加位于其间的 GaN 基各层的损坏危险。

为了使半导体制成后一方面在冷却过程中和另一方面在运行中（例如由于损耗功率引起加热）可能产生的机械应力保持很小，该载体和 GaN 基各层的热膨胀系数的匹配是有利的。

匹配的热膨胀系数具有这样的特征：它们的差别很小，所以在出现温度的范围内，由于热引起的机械应力基本上对 GaN 基各层不造成损坏。载体的热膨胀系数与复合衬底的热膨胀系数相差最好小于 50%，特别是最好小于 30%。

可能产生的温度变化例如是由于复合衬底的 GaN 基各层的去掉方法、制作时尤其是在设置该载体过程中控制的温度与设置的运行温度和/或由于运行条件预期的损耗功率所引起的。

载体材料最好选择成使该载体的热膨胀系数介于衬底本体的热膨胀系数和 GaN 基各层的热膨胀系数之间。特别是，该载体的热膨胀系数最好大于复合衬底和 GaN 基各层的热膨胀系数的算术平均值。

根据本发明，半导体叠层从复合衬底到一个载体上的上述的所谓再次键合（Umbonden）也可分两步进行：GaN 基半导体叠层首先被键合到一个中间载体上，然后键合到实际的载体上，这样该实际载体就最终代替了该复合衬底。其优点是，这样制成的半导体叠层具有一个按先有技术用外延衬底的 GaN 基半导体一致的层序列，所以，两种叠层都可用相同的后处理步骤，例如分割、连线和封装。

在 GaN 基板上产生辐射的半导体的制造方法的一个特别优选的方案中，在半导体叠层上形成了一层反射层来提高辐射效率。由于 GaN 基材料的高的折射率，GaN 基半导体元件的辐射效率绝大部分通过反射到半导体本体的界面上而受到了限制。在产生辐射的半导体本体没有吸收辐射的衬底时，通过一个反射层有利于反射到输出面上的辐射部分重新反射到输出面上，这样就进一步提高了辐射效率。

反射层最好为金属层，该金属层例如含有铝、银或相应的铝合金

或银合金。

这一金属层同时用作接触面是有利的。另一种解决办法是，也可通过多层电介质层形式的电介质的镜面化来构成反射层。

在本发明的一种有利方案中，半导体叠层的表面的至少一部分被打毛。这样就干扰了表面的全反射，并由此达到了辐射效率的提高。打毛最好通过腐蚀或喷砂方法来实现。

附图说明

本发明的其他特征、优点和适用性可从结合图 1 至 3 的三个实施例的下列说明中得知。

附图表示：

图 1 本发明制造方法的第一实施例的示意断面图。

图 2 本发明制造方法的第二实施例的示意断面图。

图 3 本发明制造方法的第三实施例的示意断面图。

具体实施方式

图中凡是相同或作用相同的部分都用相同的符号表示。

在图 1 所示的制造方法中，采用一个复合衬底，该复合衬底具有一个用多晶 SiC 制成的衬底本体 1，在该衬底本体上按公知的方式键合一层单晶的 SiC 中间层 2。为此，在衬底本体 1 和中间层 2 之间形成了一层例如用氧化硅制成的附着层 3（图 1a）。

在该复合衬底上，用外延法生长多层 GaN 基层 4（图 1b）。这个层序列的结构原则上不受任何限制。

为此，最好形成一层用来产生辐射的有源层，该有源层被一层或多层外层和/或波导层包围。这一有源层可由一个单量子阱结构或多量子阱结构形式的若干薄的单层构成。

此外，最好在中间层 2 上首先形成一层例如 AlGaIn 基的缓冲层，通过该缓冲层可达到其后各层的更好的晶格匹配和更高的浸润性。为了提高该缓冲层的导电率，可在该缓冲层中埋入一些例如 InGaIn 基的导电沟。

然后，GaN 基各层 4 通过侧面结构化、最好通过台面腐蚀分成单个的半导体叠层 5（图 1c）。

在下一个步骤中（图 1d），在这个半导体叠层 5 上设置一个载体 6，该载体例如用 GaAs 或一种能使所产生的辐射穿透的材料制成。

然后，该复合衬底包括中间层 2 脱离半导体叠层 5（图 1e）。这可例如通过一种腐蚀方法使中间层 2 或附着层 3 破坏来实现。在很大程度上，该复合衬底也可用激光烧蚀法进行去掉，在这种情况下，最好用一种激光辐射能穿透的衬底本体，例如蓝宝石衬底本体。激光辐射可通过该衬底本体辐射到中间层或附着层上。有利的是，衬底本体 1 可在下一个制作循环中重复使用。

如果在设置该载体和去掉该复合衬底之间使温度变化，则对该载体和衬底本体的热膨胀系数的匹配是特别有利的。例如含有砷化镓、钼、钨或铁镍钴合金的载体适合与蓝宝石衬底本体进行结合。为了设置一个金属的载体，例如可用低共熔方法。

含有单晶的或最好多晶的硅或 SiC 的材料作载体材料适合与 SiC 衬底本体结合。这时例如适合用氧化键合法来设置载体。

然后在这样形成的薄膜半导体本体 5 上设置接触面 10（图 1f）。接着将半导体叠层 5 进行分割（图 1g），并按一般的方式继续处理。

在图 2 所示的制造方法中，又是用一个复合衬底，该复合衬底主要由一个多晶 SiC 衬底本体 1 和一层 Si (III) 中间层 2 组成。中间层 2 用氧化键合法在形成一层氧化硅附着层 3 的情况下键合到衬底本体 1 上（图 2a）。另一种办法是，衬底本体 1 和中间层 2 也可通过另一种键合法例如晶片键合进行连接。

在这个复合衬底上又是生长 GaN 基各层（图 2b），然后在这些层上设置一层例如用铂制成的接触层 8（图 2c）。

然后通过腐蚀把 GaN 基各层 4 分成单个的半导体叠层 5（图 2d）。

在这样形成的半导体叠层 5 上设置一层用于保护的、最好是氮化硅基的钝化层 11（图 2e）。

然后在没有被该钝化层覆盖的接触层 8 的区域分别淀积焊剂 12，并在其上淀积一个由银合金或铝合金制成的反射器 9（图 2f）。

紧接着用低共熔键合法把带有反射器 9 的半导体叠层 5 再键合到一个载体 6 上（图 2g）。

在下一个步骤（图 2h）中，去掉衬底本体 1，从而可重复使用。

最后在单个半导体叠层上面设置接触面 10（图 2i）。随后这些半

导体叠层即可进行分割并在必要时进行封装（图中未示出）。

图3所示本发明制造方法的实施例是前述实施例的一个方案。

如前所述，又是用一个复合衬底作为外延衬底（图3a）。

在淀积GaN基各层4之前，在中间层2的外延表面上设置一层掩模层7（图3b），这样就只在那些没有被掩模层7覆盖的外延表面的区域生长GaN基各层4（图3c）。从而在层平面的方向内中断GaN基各层4。所以附加地避免了外延淀积各层在冷却阶段产生翘曲。

其后可象其他实施例那样继续进行这个制造方法。

当然，借助上述实施例所作的本发明的说明不应理解为对本发明的限制，而是包括采用本发明的原理所有实施方式。

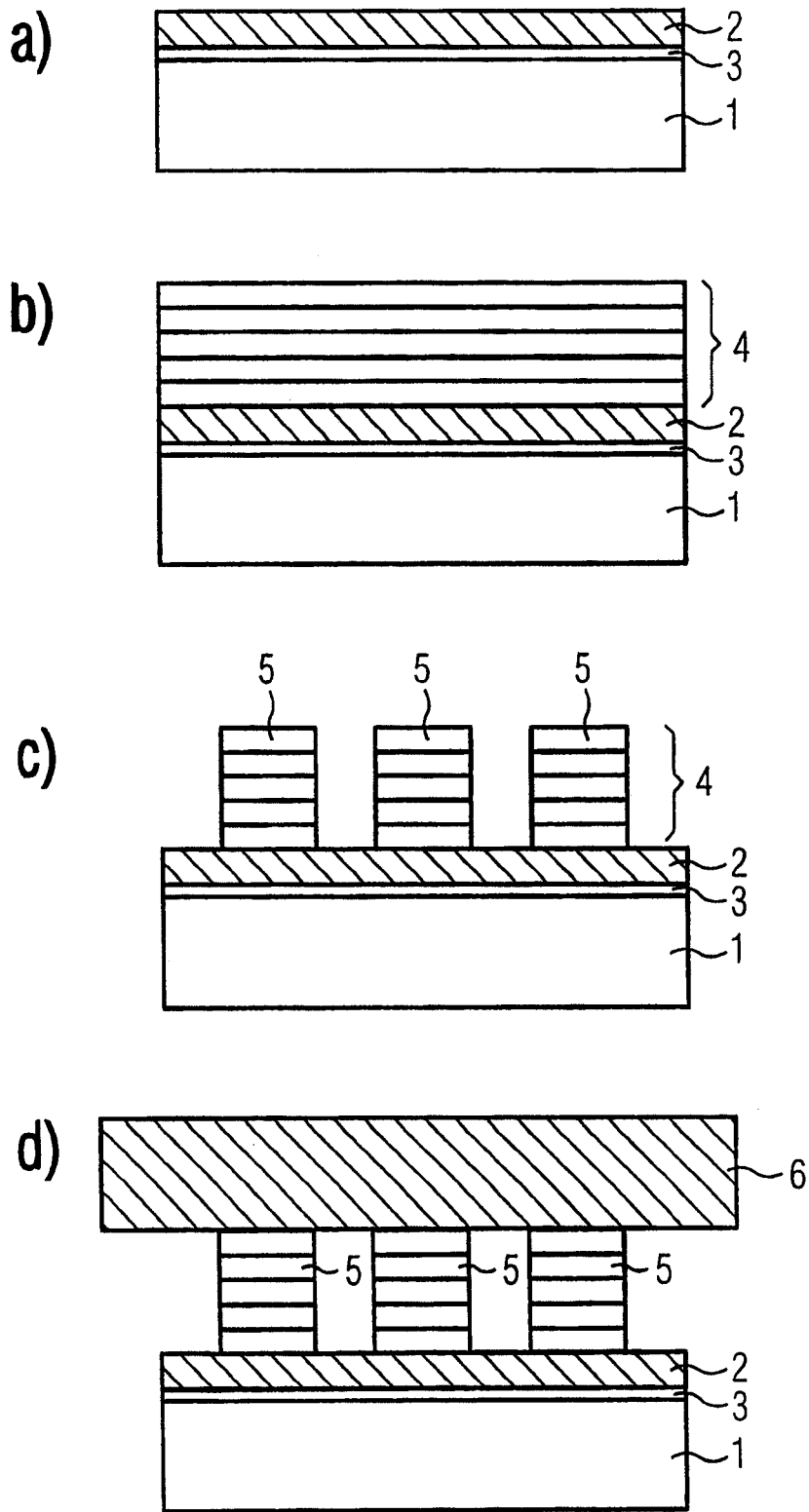


图 1

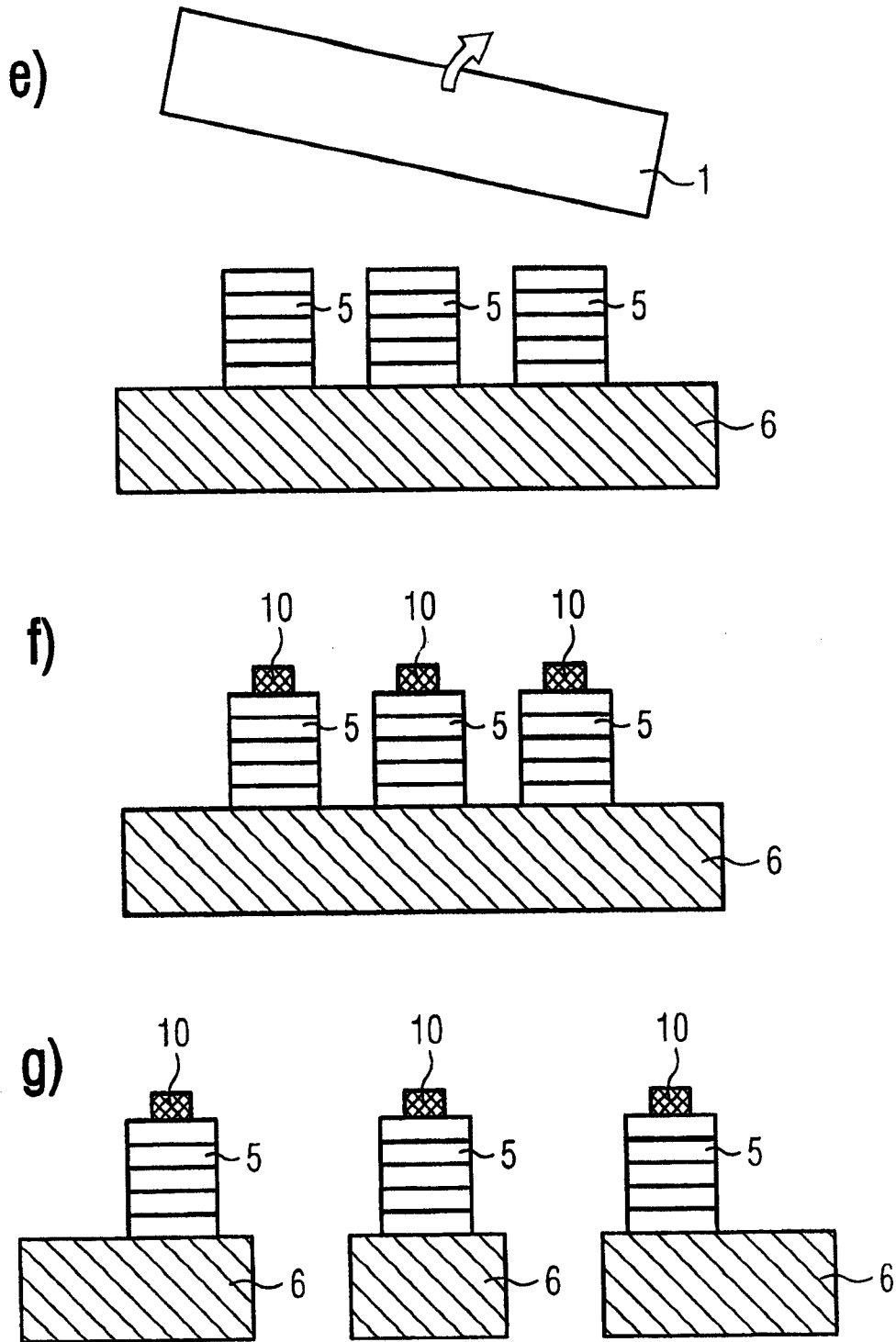


图 1

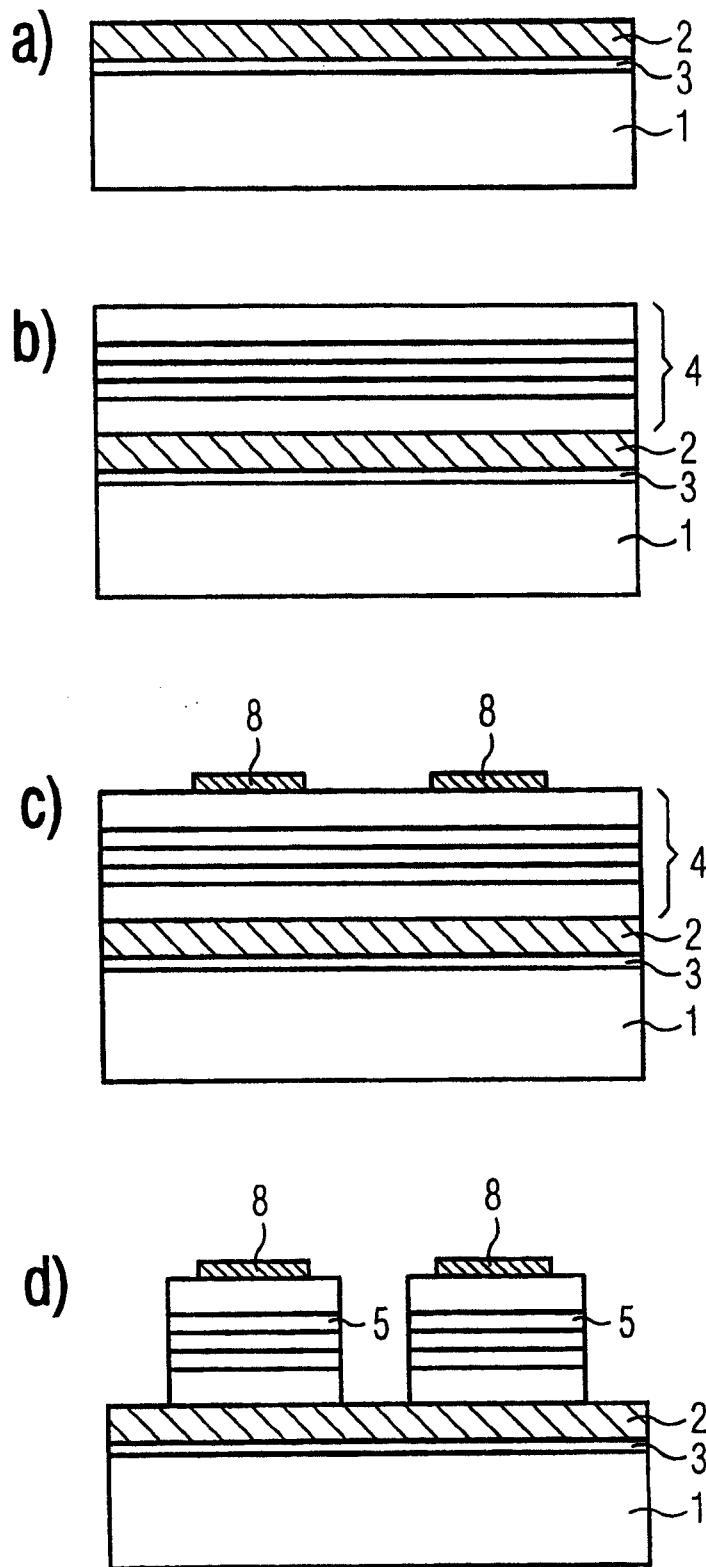


图 2

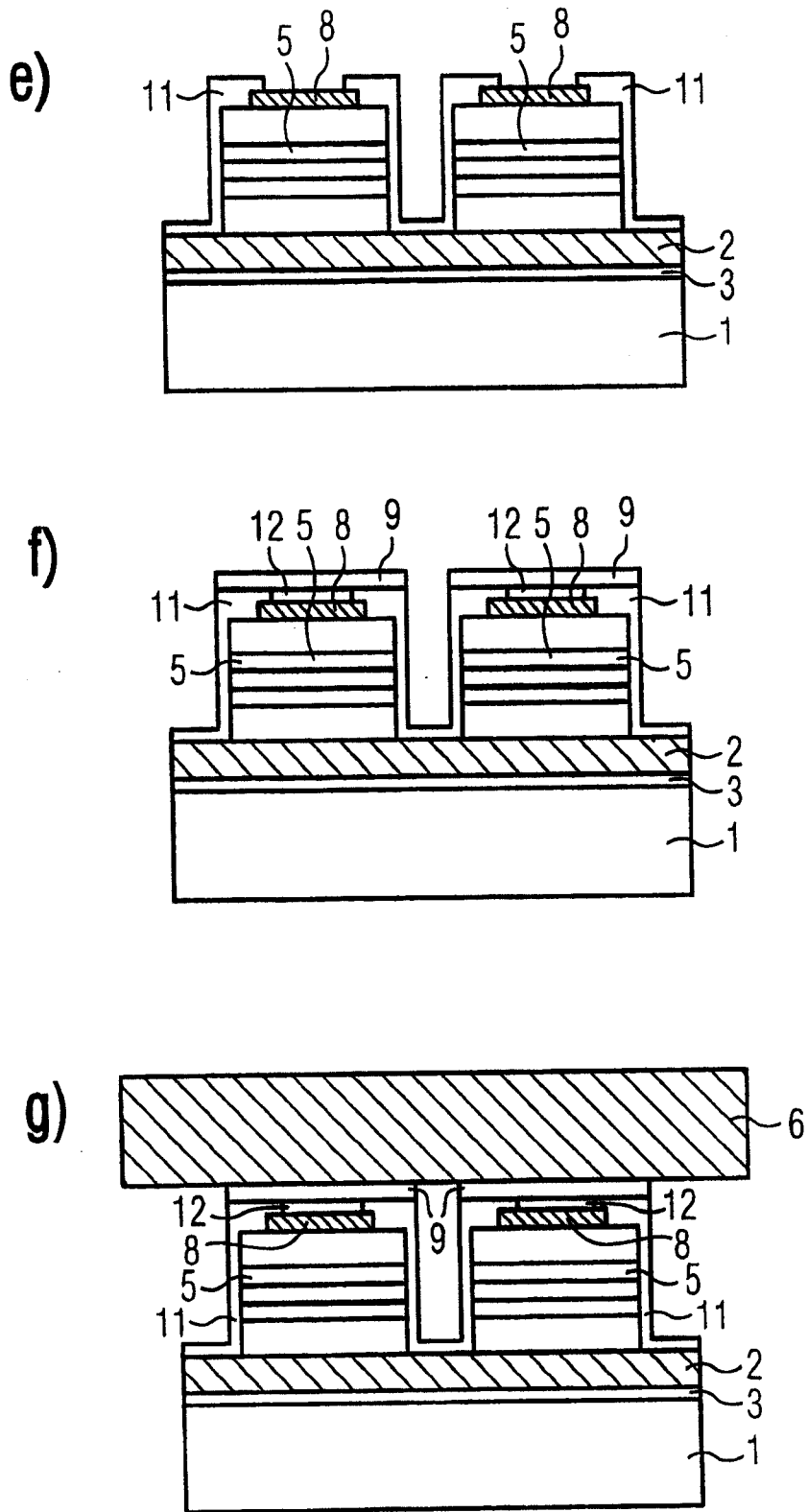


图 2

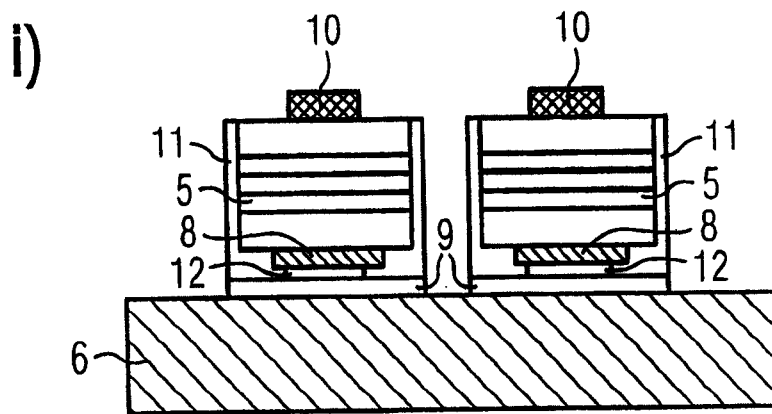
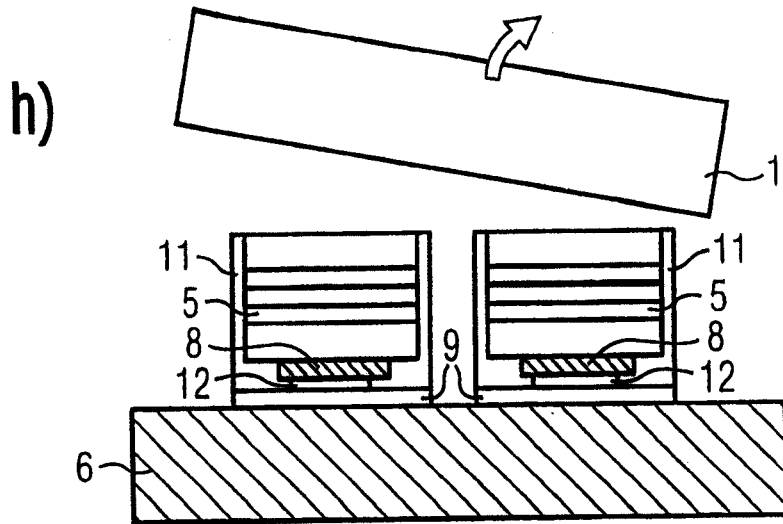


图 2

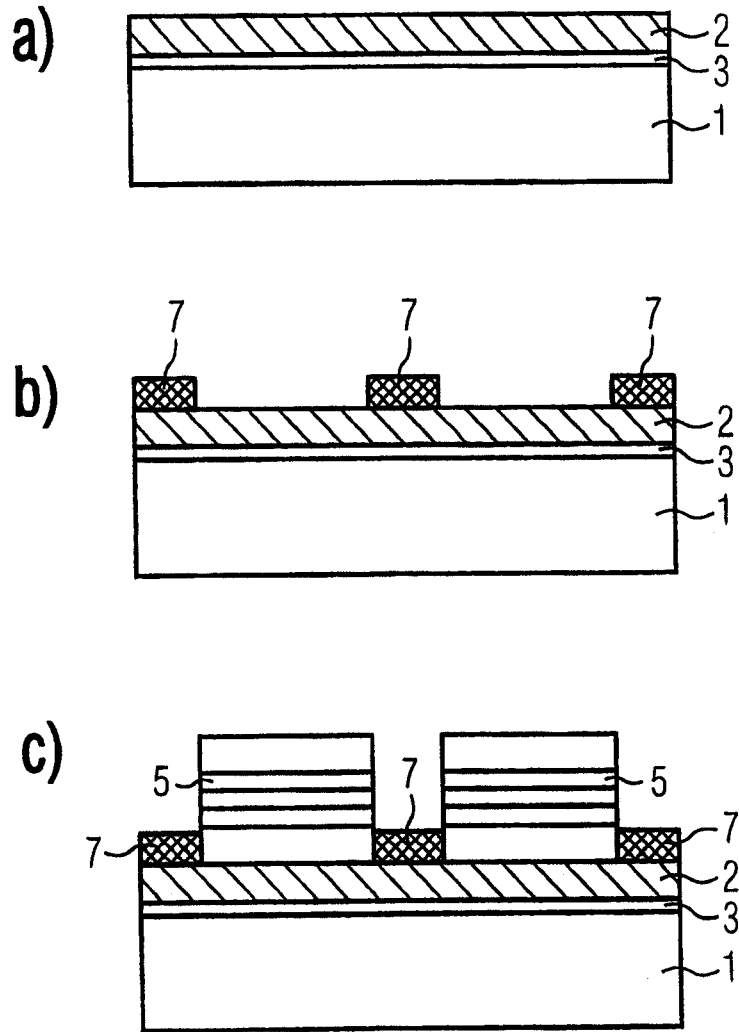


图 3