

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 33/00

H01S 5/323



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510026306.5

[43] 公开日 2005 年 11 月 9 日

[11] 公开号 CN 1694271A

[22] 申请日 2005.5.27

[21] 申请号 200510026306.5

[71] 申请人 南昌大学

地址 330047 江西省南昌市南京东路 235 号
南昌大学材料科研所

[72] 发明人 江风益 王立 熊传兵 方文卿
刘和初 周毛兴

[74] 专利代理机构 江西省专利事务所

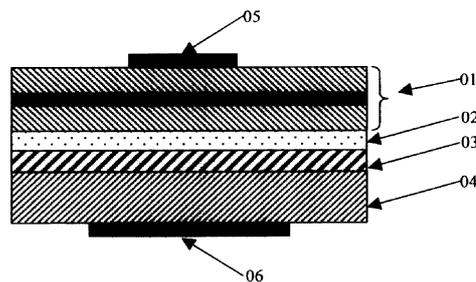
代理人 张文

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

[54] 发明名称 具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件及其制造方法

[57] 摘要

本发明提供一种具有上下电极结构的铟镓铝氮 ($\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$, $0 < x < 1$, $0 < y < 1$) 发光器件及其制造方法。该发光器件包括导电衬底, 特征是在导电衬底上依次具有一粘接金属叠层和一光反射层, 光反射层上为铟镓铝氮半导体叠层, 该铟镓铝氮半导体叠层中的最下层为 P 型层, 最上层为 N 型层, 且该叠层铟镓铝氮材料上表面为氮面, 在铟镓铝氮半导体叠层上和导电衬底背面各有一个欧姆电极。其中所述的光反射层至少包含一个铂层。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

- 1、一种具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件，包括一个具有主面和背面的导电衬底，其特征在于：在所述导电衬底主面上具有一粘接金属叠层，粘接金属叠层上为光反射层；在所述光反射层上具有至少包含一个P型层和一个N型层的铟镓铝氮半导体叠层，且P型铟镓铝氮半导体叠层与所述的光反射层直接接触；在所述的铟镓铝氮半导体叠层上和所述导电衬底背面分别具有一欧姆电极。
- 2、如权利要求1所述的发光器件，其特征在于：所述的铟镓铝氮半导体叠层具有如下晶体学取向关系：从铟镓铝氮半导体叠层指向所述导电衬底的方向为 $\langle 0001 \rangle$ 晶向，即镓面朝下，氮面朝上。
- 3、如权利要求1-2所述的发光器件，其特征在于：所述的光反射层至少包含一个铂层。
- 4、如权利要求1-3所述的发光器件，特征在于：所述在铟镓铝氮半导体叠层上的欧姆电极由金锗镍合金形成。
- 5、如权利要求1-4所述的发光器件，其特征在于：所述的导电衬底由硅、铜或可伐形成。
- 6、一种制备如权利要求1所述的发光器件的方法，包含以下步骤：
 - f) 在一个硅(111)生长衬底上形成至少包含一个N型层和一个P型层的铟镓铝氮半导体叠层，其中所述的铟镓铝氮半导体叠层中最外层为P型层；
 - g) 在所述的铟镓铝氮半导体叠层表面依次形成光反射层和粘接金属叠层；
 - h) 把一个导电的粘接衬底的主面与所述粘接金属叠层粘接；
 - i) 把所述的硅(111)生长衬底去除以暴露N型铟镓铝氮半导体叠层。
 - j) 在所述N型铟镓铝氮半导体叠层表面和所述的粘接衬底背面上分别形成一个欧姆电极。
- 7、如权利要求6所述的方法，其特征在于：在所述的硅(111)衬底上形成铟镓铝氮半导体叠层之前先在其生长表面形成沟槽和台面组成的图形结构。
- 8、如权利要求6-7所述的方法，其特征在于：在与铟镓铝氮薄膜上的粘接金属叠层粘接前，所述粘接衬底主面上先形成一粘接金属叠层。
- 9、如权利要求6-8所述的方法，其特征在于：去除所述硅(111)生长衬底的方法为用硝酸、氢氟酸和醋酸的混合溶液腐蚀。

具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件及其制造方法

技术领域

本发明涉及半导体材料，尤其是涉及一种具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件及其制造方法。

背景技术：

铟镓铝氮 ($\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 是制备短波长发光器件的优选材料体系之一。近年来，已经用铟镓铝氮材料制造出许多新颖的发光器件，如蓝色、绿色、紫外和白色发光二极管，紫色半导体激光器等等。在现有技术中，绝大部分铟镓铝氮发光器件产品都是使用蓝宝石衬底制备的。现在这种技术已经公开，例如日本专利 (JP2737053) 中给出了一种在蓝宝石衬底上制备氮化镓发光器件的方法。然而由于蓝宝石是绝缘材料，因此蓝宝石衬底上制备的铟镓铝氮发光器件的两个电极必须制作在芯片的同一侧，这样导致芯片制作工艺较为复杂，而且增加了封装难度，导致合格率下降，可靠性降低，成本增加。而且蓝宝石的热导率低，如果要制造大功率器件，则有散热困难的问题。一种解决方案是使用碳化硅衬底生长氮化镓材料，因为碳化硅可以导电，而且热导率高，因此从技术上讲，可以很好地解决上述问题。美国专利 (US5686738) 中公开了一种在碳化硅衬底上制备铟镓铝氮发光器件的方法。但是，碳化硅衬底非常昂贵，用于生长铟镓铝氮材料将使产品成本很高。因此从生产本来考虑，碳化硅衬底也难以推广使用。另一种解决方案是在硅衬底上生长铟镓铝氮材料。由于硅是成熟的半导体材料，其成本低廉，加工工艺成熟，热导率高，因此使用硅衬底制造铟镓铝氮发光器件不仅可以制成上下电极的结构，还可以使成本大大降低。但是由于硅的带隙很窄，对可见光强烈吸收，因此直接制作在硅衬底上的铟镓铝氮发光器件由于衬底的吸收而出光效率很低。现有技术中再一个解决方案是把蓝宝石上生长的铟镓铝氮材料粘接到一种导电衬底上，然后再去除蓝宝石衬底，这样就可以制成上下电极的芯片。然而由于蓝宝石非常坚硬，又极耐酸碱腐蚀，去除蓝宝石衬底非常困难。虽然发展出了激光剥离技术，但是目前合格率、生产效率都比较低，而且激光剥离过程对铟镓铝氮材料也有一定的破坏，因此该方法难以用于规模化生产。

发明内容：

本发明的第一个目的在于提供一种铟镓铝氮发光器件，这种器件具有上下电极结构，且具有成本低、发光效率高的优点。

本发明的第二个目的在于提供一种制造具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件的方法。该方法使用硅衬底进行铟镓铝氮半导体叠层生长，然后粘接到另外一个导电衬底上，由于硅衬底既可以实现高质量的铟镓铝氮材料生长，又很容易去除，而且价格便宜。因此本方法既可以实现规模化生产，又具有成本低的优点。

本发明的第一个目的是这样实现的：

该器件包括一个导电衬底，特征是在导电衬底上依次具有一粘接金属叠层和一光反射层，光反射层上为铟镓铝氮半导体叠层，该铟镓铝氮半导体叠层中的最下层为P型层，最上层为N型层，且该叠层铟镓铝氮材料上表面为氮面，在铟镓铝氮半导体叠层上和导电衬底背面各有一个欧姆电极。

所述的铟镓铝氮半导体叠层具有如下晶体学取向关系：从铟镓铝氮半导体叠层指向所述导电衬底的方向为 $\langle 0001 \rangle$ 晶向，即镓面朝下，氮面朝上。

所述的光反射层至少包含一个铂层。

所述在铟镓铝氮半导体叠层上的欧姆电极由金锗镍合金形成。

所述的导电衬底由硅、铜或可伐形成。

导电衬底材料可以是任何半导体或金属材料，但考虑到电导率、导热性能、加工工艺、成本等因素，一般优选硅等成熟的半导体和诸如铜、不锈钢、银、金、可伐等常见金属材料。由于铟镓铝氮材料与导电衬底难以直接粘接，因此在导电衬底和铟镓铝氮半导体叠层之间需要一个粘接金属叠层。该粘接金属叠层不仅需要有良好的黏附性，也需要能与衬底形成良好的欧姆接触，还需要在后续加工过程中不会被破坏或被损伤。

该粘接金属叠层可以为一层也可以为多层。由于导电衬底的载流子浓度很高，对于与其接触的粘接金属叠层金属的选择范围可以很宽，一般只要求黏附性、稳定性好。为了实现稳定可靠的粘接，粘接金属叠层应具有较低的熔点，可以选择如金、锌、铟、锡、钯等，以及它们的合金。考虑到粘接金属叠层之间相互扩散对欧姆接触的影响以及在加工过程中的稳定性，粘接金属优选为金和金的合金，如金锌、金锡等合金。由于镍、金等粘接金属反光性能较差，对铟镓铝氮半导体叠层发出的光反射效率较低，将导致器件出光效率下降，因此在粘接金属叠层和铟镓铝氮半导体叠层之间插入一光反射层。如前所述，本发明的器件铟镓铝氮半导体叠层中最下层为P型层，因此光反射层还必须能与P型铟镓铝氮材料形成良好的欧姆接触。在本发明中，该反射层为铂，因为铂不仅能与P型铟镓铝氮材料形成良好的欧姆接触，也对可见光有很高的反射率，同时还有稳定性好等优点。要实现电注入发光，铟镓铝氮半导体叠层中至少包含一个N型层和一个P型层。为了提高发光效率，在N型层和P型层之间一般需

要加入双异质结或多量子阱等微结构，或采用任何公开技术中铟镓铝氮薄膜的叠层结构。发光层中铟、镓、铝的组分分别可以在 0-1 之间改变，以调节器件发光波长。如前所述，本发明的器件中铟镓铝氮半导体叠层的上表面是氮面。氮面铟镓铝氮材料的一个特点是能够用化学腐蚀法来减薄，因此不必使用 ICP 刻蚀机等昂贵设备。此外也可以方便地对表面层进行粗化，以提高出光效率。铟镓铝氮半导体叠层上的欧姆电极可以选用钛、铝等小功函金属和金锗镍合金等。如果掺杂浓度足够高，则原则上选择任何金属都可以。本发明的优选方案使用金锗镍合金作为 N 型欧姆电极，因为该电极具有很好的稳定性，抗蚀性和抗氧化性。导电电极背面的电极则需要根据衬底材料相应选择，由于该导电衬底具有很高的载流子浓度，所以原则上可以是任何金属，一般优选常用的金、镍/金、钛/金等电极。

本发明的第二个目的是这样实现的：其制造方法为：

- a) 在一个硅 (111) 生长衬底上形成至少包含一个 N 型层和一个 P 型层的铟镓铝氮半导体叠层，其中所述的铟镓铝氮半导体叠层中最外层为 P 型层；
- b) 在所述的铟镓铝氮半导体叠层表面依次形成光反射层和粘接金属叠层；
- c) 把一个导电的粘接衬底的主面与上述粘接金属叠层粘接；
- d) 把所述的硅 (111) 生长衬底去除以暴露 N 型铟镓铝氮半导体叠层。
- e) 在所述 N 型铟镓铝氮半导体叠层表面和所述的粘接衬底背面上分别形成一个欧姆电极。

在所述的硅 (111) 衬底上形成铟镓铝氮半导体叠层之前先在其生长表面形成沟槽和台面组成的图形结构。

在与铟镓铝氮薄膜上的粘接金属叠层粘接前，所述粘接衬底主面上先形成一粘接金属叠层。

去除所述硅 (111) 生长衬底的方法为用硝酸、氢氟酸和醋酸的混合溶液腐蚀。

首先在一块硅 (111) 衬底上生长发光器件所需要的铟镓铝氮半导体叠层，生长方法可以是任何公开的铟镓铝氮材料生长技术，例如化学气相沉积、分子束外延等。铟镓铝氮半导体叠层的生长顺序可以是任意公开文献公布的方案。优选方案的生长顺序为：氮化铝缓冲层、未掺杂氮化镓层、掺硅氮化镓层 (N 型层)、氮化镓/铟镓氮多量子阱、掺镁氮化镓层 (P 型层)。为了释放硅衬底和铟镓铝氮材料之间由于晶格失配和热失配而导致的巨大应力，在生长前需要先在硅衬底表面刻出一些沟槽以增加自由面，防止铟镓铝氮薄膜出现裂纹。铟镓铝氮材料生长完成后，对其进行热退火，以激活 P 型杂质。然后在 P 型氮化镓层形成一层光反射层，同时该层也是欧姆接触层，该层材料优选为铂。为了改善

欧姆接触性能，该电极一般需要合金。接下来在光反射层上形成一层粘接金属叠层。该粘接金属叠层原则上可以是任何金属，但为了容易实现粘接，一般选择熔点不高的金属，优选为低熔点的金合金，如金-锌、金-锡等、金-铜等，当然也可以是纯金。粘接金属叠层可以是一层也可以是多层。反射层和粘接金属叠层也可以一次形成，然后再进行合金。与此同时，在另一块导电衬底上首先形成一欧姆接触层。例如选用硅衬底，则欧姆接触层可根据硅衬底的导电类型和导电率等情况选择镍、金、铂、钛等金属单层或多层。然后在欧姆接触层上形成粘接金属叠层，粘接金属叠层金属的选择条件同前述氮化镓上的粘接金属叠层。而如果导电衬底本身是熔点较低的金，则不需要再额外制作欧姆接触层和粘接金属叠层。如果欧姆接触层选择的是金等熔点不高的金属，则欧姆接触层也可以直接作为粘接金属叠层。上述粘接金属叠层的形成方法可以是电子束蒸发、磁控溅射，或任何常见的金属镀膜方法。粘接层制作完成后，通过一种方法使铟镓铝氮薄膜上的粘接金属叠层和导电衬底对接起来，优选的方法为在一定的温度下加压一段时间。粘接完成后，把生长铟镓铝氮薄膜的硅衬底去除。去除硅衬底的方法可以是机械磨片、干法刻蚀、化学腐蚀以及这些方法的组合。优选的方法为使用氢氟酸、硝酸和醋酸的混合溶液对其腐蚀。去除硅衬底以后，就得到暴露的铟镓铝氮材料，由于生长时一般需要生长氮化铝缓冲层和未掺杂的氮化镓层，这些层不利于欧姆接触，因此先要去除这些层，以暴露具有高载流子浓度的 N 型层，然后在上面形成欧姆接触。去除氮化铝缓冲层和未掺杂的氮化镓层的方法可以是反应离子刻蚀、ICP 刻蚀等干法刻蚀方法，也可以用浓磷酸或强碱腐蚀。接着在 N 型氮化镓层形成欧姆电极。然后在导电电极背面形成另一个欧姆电极，这样就得到本发明所述的具有上下电极的铟镓铝氮发光器件。

本发明的铟镓铝氮发光器件具有上下电极结构，并且具有成本低、发光效率高的优点。制造具有上下电极结构的铟镓铝氮发光器件的方法使用硅衬底进行铟镓铝氮半导体叠层生长，然后粘接到另外一个导电衬底上，由于硅衬底既可以实现高质量的铟镓铝氮材料生长，又很容易去除，而且价格便宜。因此本方法既可以实现规模化生产，又具有成本低的优点。

附图说明：

图 1 是本发明上下电极铟镓铝氮发光器件的剖面结构示意图。11 是导电衬底，12 是粘接层，13 是反射层，14 是铟镓铝氮半导体叠层，15、16 为电极。

图 2 是本发明中在硅 (111) 衬底上生长的铟镓铝氮半导体叠层及反射层和粘接层剖面结构示意图。21 是硅 (111) 衬底，22 是氮化铝缓冲层，23 是未掺杂的氮化镓层，24 是 N 型氮化镓层，25 是氮化镓/铟镓氮多量子阱，26 是 P 型

氮化镓层，27 是反射层，28 是粘接层。

图 3 是本发明中导电衬底及金属粘接层剖面结构示意图。31 是衬底，32 是欧姆接触层，33 是粘接层。

图 4 是图 2 中的铟镓铝氮外延片和图 3 中的导电衬底粘接后得到的基片剖面结构示意图。图中数字代表的层含义同图 2、图 3。

图 5 是图 4 所示的基片去除生长衬底并制作引线电极后得到的发光器件剖面结构示意图。图中数字代表的层含义同图 2、图 3。C1、C2 为电极。

具体实施方式：

下面用 3 个实施例对本发明的方法进行进一步的说明。

如图 1 所示，该器件包含一个导电衬底 11，在导电衬底上依次具有一粘接金属叠层 12 和一光反射层 13，光反射层 13 上为铟镓铝氮半导体叠层 14，该铟镓铝氮半导体叠层 14 中的最下层为 P 型层，最上层为 N 型层，且该叠层铟镓铝氮材料上表面为氮面，在铟镓铝氮半导体叠层 14 上和导电衬底 11 背面各有一个欧姆电极 15 和 16。

实施例 1：

如图 2 所示，在一块 2 英寸的硅 (111) 衬底 21 上，用化学气相沉积法依次生长氮化铝缓冲层 22、未掺杂氮化镓层 23、掺硅 N 型氮化镓层 24、5 个周期的氮化镓/铟镓氮多量子阱 25、掺镁 P 型氮化镓层 26。生长完成后，把外延片在 700℃ 氮气氛围下退火 30 分钟以激活镁杂质。接着用电子束蒸发法在 P 型层上依次蒸镀 50 纳米的铂 27、1000 纳米厚的金 28。然后，如图 3 所示，在另一块硅 (111) 衬底 31 上蒸镀 100 纳米的镍 32、1000 纳米的金 33。蒸发完成后把长有铟镓铝氮薄膜的外延片和只蒸有镍/金的硅 (111) 衬底对粘起来，并且在 300℃ 下加 600 公斤力，使之粘接牢固，这样就得到如图 4 所示的结构。然后再把粘接好的衬底放入硝酸/醋酸/氢氟酸的混合溶液中腐蚀，直到生长铟镓铝氮薄膜的硅衬底被完全去除。腐蚀前先要在衬底 31 背面做上一层镍/金保护膜。腐蚀后，铟镓铝氮薄膜暴露出来，最外层是氮化铝缓冲层 22，接着把该基片放入浓磷酸中腐蚀直到氮化铝缓冲层 22 和未掺杂氮化镓层 23 被完全去除。然后在 N 型氮化镓层 24 上蒸镀 100 纳米厚的金镍合金，并且把基片在 300℃ 氮气氛围下合金 3 分钟。然后在金镍合金电极上再蒸发 1000 纳米厚的金，经光刻形成直径为 100 微米的电极 C1。然后在衬底 31 后面光刻形成电极 C2。把基片切割成 1000 微米 × 1000 微米大小的芯片，再引线封装就得到本发明的发光器件。

实施例 2：

用一块 2 英寸的硅 (111) 衬底，先在表面用光刻和 ICP 刻蚀的方法形成纵横交错深度为 10 微米的沟槽，以使表面分割成许多边长为 350 微米 × 350 微米

的正方形台面。然后用化学气相沉积法在衬底上依次生长氮化铝缓冲层、未掺杂氮化镓层、掺硅 N 型氮化镓层、5 个周期的铝镓氮/铟镓氮多量子阱、掺镁 P 型氮化镓层。生长完成后，把外延片在 760℃ 氮气氛围下退火 20 分钟以激活镁杂质。接着用电子束蒸发法在 P 型层上依次蒸镀 100 纳米的铂、500 纳米厚的金、200 纳米厚的金锌合金。然后在一块硅 (100) 衬底正反两面上都蒸镀 50 纳米的铂、500 纳米的金、100 纳米厚的金铟合金。蒸发完成后把长有铟镓铝氮薄膜的外延片和只蒸有金属层的硅 (100) 衬底对粘起来，在 260℃ 下加 800 公斤力，使之粘接牢固。然后用 ICP 刻蚀把硅 (111) 衬底刻除直至铟镓铝氮薄膜暴露出来，此时最外层是氮化铝缓冲层。接着用 ICP 刻蚀方法把氮化铝缓冲层和未掺杂氮化镓层被完全刻除。然后在 N 型氮化镓层上蒸镀 50 纳米厚的钛、100 纳米厚的铝，并且把基片在 500℃ 氮气氛围合金 3 分钟。然后在钛/铝电极上再蒸发 10 纳米厚的钛和 1200 纳米厚的金，经光刻形成边长为 100 微米的正方形电极。沿着前述生长前预先形成的沟槽切开基片，就得到一颗颗独立的发光芯片，然后就可以进行引线封装并得到本发明所述的发光器件。

实施例 3:

在一块 2 英寸的硅 (111) 衬底上，用化学气相沉积法依次生长氮化铝缓冲层、未掺杂氮化镓层、掺硅 N 型氮化镓层、5 个周期的铟镓铝氮/铟镓氮多量子阱、掺镁 P 型氮化镓层。生长完成后，把外延片在 700℃ 氮气氛围下退火 30 分钟以激活镁杂质。接着用电子束蒸发法在 P 型层上依次蒸镀 5 纳米的铂、5 纳米厚的镍、10 纳米厚的金，并在 550℃ 氮氧混合气中合金 3 分钟。然后再蒸镀 500 纳米厚的金。在一块抛光好的铜衬底上蒸 500 纳米的金锡合金。蒸发完成后把外延片和镀有金锡的铜衬底对粘起来，并且在 300℃ 下加 500 公斤力，使之粘接牢固。然后用 ICP 刻蚀把硅衬底完全去除。接着把氮化铝缓冲层和未掺杂氮化镓层完全去除。然后在 N 型氮化镓层上蒸镀 100 纳米厚的金锗镍合金，并且把基片在 300℃ 氮气氛围下合金 3 分钟。然后在金锗镍电极上再蒸发 100 纳米厚的金，经光刻形成直径为 80 微米的电极。把基片切割成 200 微米 × 200 微米的芯片并引线封装就得到本发明的发光器件。

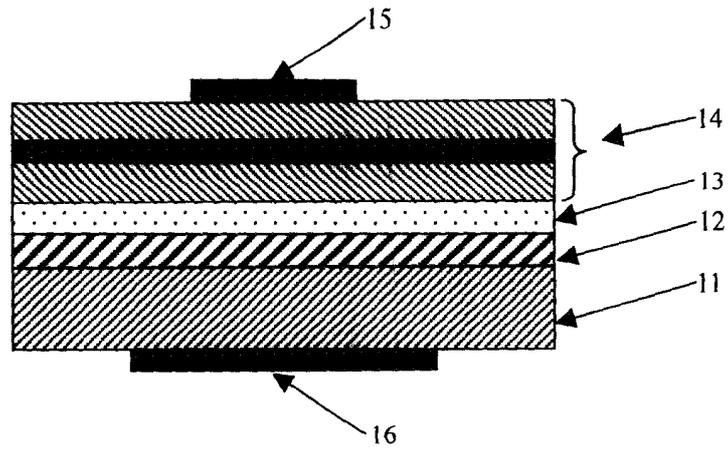


图 1

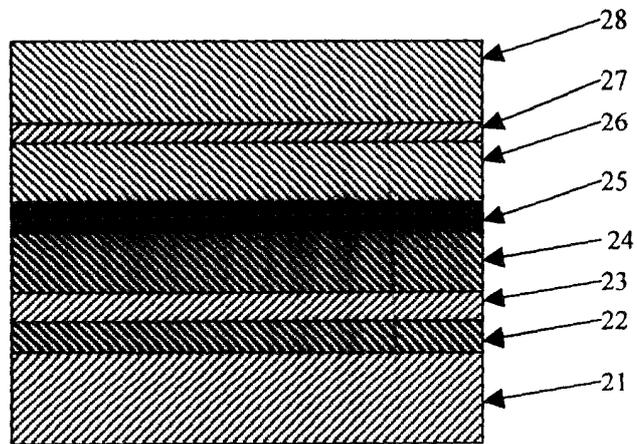


图 2

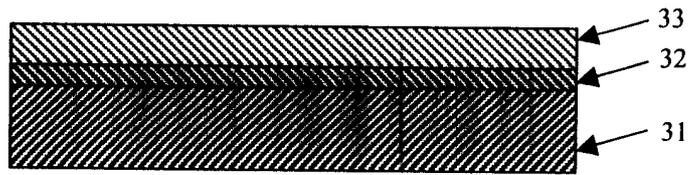


图 3

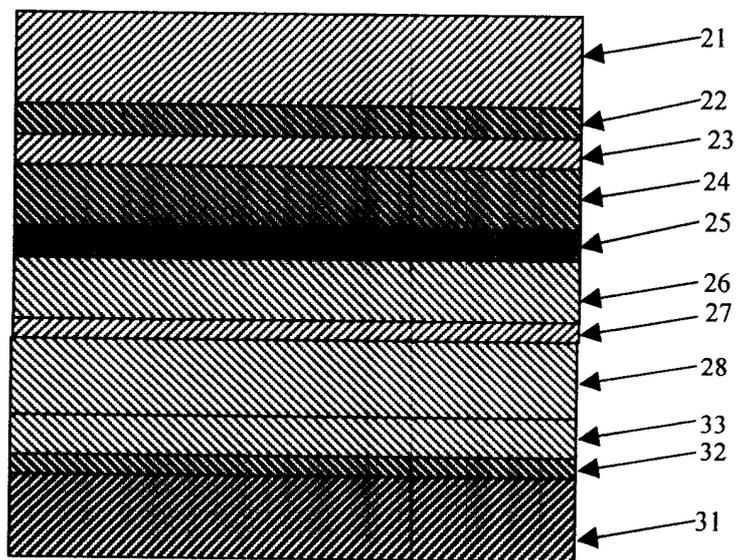


图 4

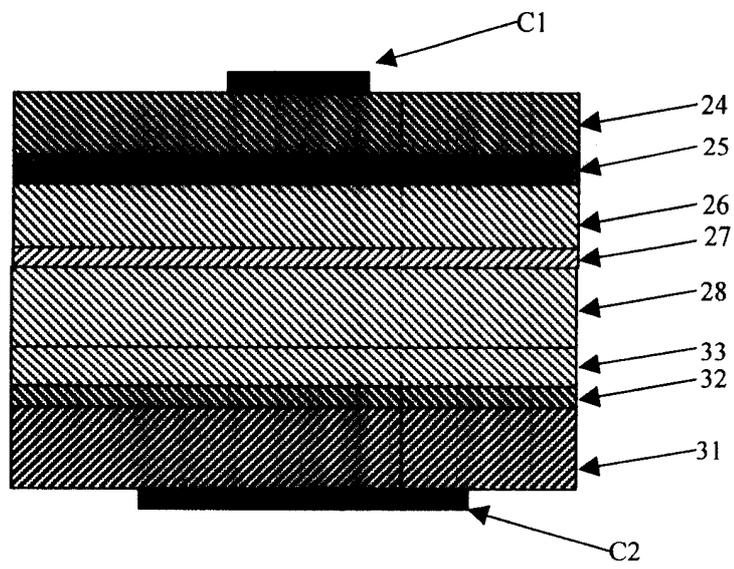


图 5