

[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

专利号 ZL 200710175248.1

H01S 5/183 (2006.01)

H01S 5/187 (2006.01)

H01S 5/34 (2006.01)

H01S 5/30 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年4月15日

[11] 授权公告号 CN 100479280C

[22] 申请日 2007.9.28

[21] 申请号 200710175248.1

[73] 专利权人 北京工业大学

地址 100022 北京市朝阳区平乐园100号

[72] 发明人 郭霞 关宝璐 沈光地

[56] 参考文献

US2003/0012231A1 2003.1.16

CN1263209C 2006.7.5

US5991310A 1999.11.23

US2003/0128733A1 2003.7.10

US5771253A 1998.6.23

US6154471A 2000.11.28

JP2002-252405A 2002.9.6

CN1509406A 2004.6.30

审查员 肖霞

[74] 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司

代理人 刘萍

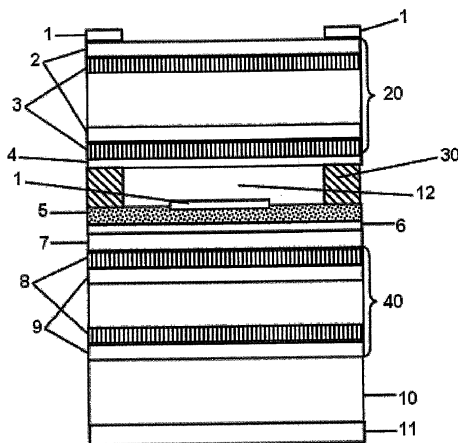
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

[54] 发明名称

悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构及制备方法

[57] 摘要

悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构及制备方法属于半导体光电子器件领域。WDM系统中激光器不能实现更多波长选择。该结构包括正电极层(1)、上分布反馈布拉格反射镜(20)、腐蚀停层(4)、p型欧姆接触(5)、铝砷化镓氧化电流限制层(6)、有源区(7)、下分布反馈布拉格反射镜(40)、n型砷化镓衬底(10)、衬底电极(11)，特征在于：上分布反馈布拉格反射镜(20)和p型欧姆接触层(5)之间设置中空牺牲层(30)；空气隙层(12)是中空牺牲层(30)的中空部分；上分布反馈布拉格反射镜(20)与空气隙层(12)共同组成悬臂梁式可动反射镜结构。本发明实现了微机械可动反射镜的波长可调谐垂直腔面发射激光器结构设计和器件制备。



1、悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，从上至下依次包括有正电极层（1）、上分布反馈布拉格反射镜（20）、腐蚀停层（4）、p型欧姆接触（5）、铝砷化镓氧化电流限制层（6）、有源区（7）、下分布反馈布拉格反射镜（40）、n型砷化镓衬底（10）、衬底电极（11），其特征在于：上分布反馈布拉格反射镜（20）和p型欧姆接触层（5）之间设置中空牺牲层（30）；所述的中空牺牲层（30）的中空部分是空气隙层（12），空气隙层（12）厚度是激光器激射波长四分之一长度的整数倍；由上分布反馈布拉格反射镜（20）与空气隙层（12）共同组成悬臂梁式可动反射镜结构。

2、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：上分布反馈布拉格反射镜（20）由砷化镓层（2）和铝砷化镓层（3）交替生长23对组成，或由SiO₂层和Si₃N₄层交替生长10对组成，下分布反馈布拉格反射镜（40）由n型铝砷化镓层（8）与n型砷化镓层（9）交替生长26对构成。

3、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：所述的牺牲层是AlGaAs材料，或是聚纤亚胺材料。

4、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：所述的腐蚀停层（4）材料为GaInP。

5、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：所述的悬臂式可动反射镜结构是单悬臂梁、双悬臂梁或四悬臂梁之一。

6、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：所述的有源区（7）为异质结量子阱结构，或为多有源区带间量子级联结构。

7、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，其特征在于：氧化限制层（6）为AlGaAs材料，氧化孔径是20μm。

8、根据权利要求1所述的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构的制备方法，包括以下步骤：

步骤1、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在n-砷化镓衬底（10）上依次外延生长26对n型铝砷化镓层（9）与n型砷化镓层（8），GaInAs/GaAs量子阱结构有源区（7），氧化限制层AlGaAs层（6），p型欧姆

接触层 (5);

步骤 2、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 p 型欧姆接触层 (5) 上一次外延生长 AlGaAs 牺牲层, 继续外延生长镓铟磷腐蚀停层 (4) 和由砷化镓层 (2) 和铝砷化镓层 (3) 交替生长 23 对得到上分布反馈布拉格反射镜 (20), 或采用光刻方法在 p 型欧姆接触层 (5) 上一次制备得到聚纤亚胺牺牲层, 然后用等离子体化学气相沉积法继续生长 10 对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 上分布反馈布拉格反射镜 (20);

步骤 3、利用光刻和选择性湿法腐蚀相结合的方法, 或利用光刻和等离子刻蚀结合的方法, 将上分布反馈布拉格反射镜 (20) 选择腐蚀, 制备出悬臂梁式可动反射镜结构的立体轮廓图形;

步骤 4、进行二次光刻, 腐蚀, 形成台面结构, 暴露出氧化限制层 (6) 侧壁;

步骤 5、利用氧化炉设备在 440°C 下, 氧化 30 分钟, 对氧化限制层 (6) 进行氧化, 形成注入电流限制孔径 $20\ \mu\text{m}$;

步骤 6、选择刻蚀腐蚀停层 (4) 和牺牲层, 暴露出 p 型欧姆接触层 (5);

步骤 7、分别在上分布反馈布拉格反射镜 (20)、p 型欧姆接触层 (5) 表面制备 TiAu 欧姆接触电极 (1);

步骤 8、n 型砷化镓衬底 (10) 下表面制备 AuGeNiAu 欧姆接触电极 (11), 合金;

步骤 9、腐蚀牺牲层得到中空牺牲层 (30), 中空牺牲层 (30) 的中空部分是空气隙层 (12), 上分布反馈布拉格反射镜 (20) 与空气隙层 (12) 组成悬臂梁式可动反射镜结构。

悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构及制备方法

技术领域

悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构及器件，属于半导体光电子器件领域，涉及一种波长可调谐面发射激光器的制备结构和方法。

背景技术

波长可调谐垂直腔面发射激光器是一种将电能直接转换为光能的半导体电致发光器件。特点是：发出的光具有单色性、相干性、方向性和高亮度的一定波长的激光，同时，波长在一定范围内可以任意调谐。波长可调谐垂直腔面发射在密集波分复用光网络、电子通信、计算机光互连中具有广泛应用前景。

可调谐垂直腔面发射激光器的基本物理结构是由可动分布反馈布拉格发射镜、牺牲层、p型欧姆接触层、氧化限制层、有源区、n型分布反馈布拉格反射镜和n型衬底欧姆接触层七部分构成。其核心部分是可动分布反馈布拉格发射镜、牺牲层、p型欧姆接触层、氧化限制层和有源区构成。由横行腐蚀牺牲层制备得到的空气隙作为激光器谐振腔的一部分，当可动布拉格反射镜发生位移，空气隙厚度发生变化进而使谐振波长发生位移。

目前，在WDM系统中激光器波长控制主要是通过分布反馈布拉格反射镜折射率的热调谐方式实现。这种系统通常具有很多缺点，如较低的调制速度 $<1\text{KHz}$ ，热电冷却中较高的功率损耗，波长调谐范围限制，只有几nm。从成本角度考虑，系统变得非常冗余，因为所有的激光器设备都需要有备份。器件热问题导致系统集成程度不足，并且调谐范围的限制使其不能实现更多波长选择。在WDM网络建设中，调制速率低是另一个显著的问题。

发明内容

本发明的目的是提供一种可以实现波长连续大范围（大于10nm）调谐的VCSEL。

具体为提供一种基于微机械加工技术的砷化镓基可调谐垂直腔面发射激光器器件结构和制备方法，即引入牺牲层技术，采用微机械加工方法制备具有机械特性的可动分布反馈布拉格反射镜，使其取代原有固定分布反馈布拉格反射镜结构反射镜。通过静电力操纵悬臂梁式可动分布反馈布拉格反射镜

与有源区中心间的空气隙厚度，在反射镜与 p 型电极之间加上偏压后，在产生的静电力作用下使可动反射镜向下移动，使空气隙减小，谐振波长发生蓝移，关断电压后，在弹性恢复力的作用下，悬臂回到其原来的位置状态，从而达到激射波长的动态、大范围可调。

本发明是采用以下技术方案实现的：

一种悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构，该激光器结构包括有从上至下依次包括正电极 1、上分布反馈布拉格反射镜 20、腐蚀停层 4、p 型欧姆接触 5、铝砷化镓氧化电流限制层 6、有源区 7、下分布反馈布拉格反射镜 40、n 型砷化镓衬底 10、衬底电极 11，其特征在于：上分布反馈布拉格反射镜 20 和 p 型欧姆接触层 5 之间设置中空牺牲层 30；所述的空气隙层 12 是中空牺牲层 30 的中空部分，空气隙层 12 厚度是激光器激射波长四分之一长度的整数倍（一般为 5—10 倍）；由上分布反馈布拉格反射镜 20 与空气隙层 12 共同组成悬臂梁式可动反射镜结构。

前述的上分布反馈布拉格反射镜 20 由砷化镓层 2 和铝砷化镓层 3 交替生长 23 对组成，或由 SiO_2 层和 Si_3N_4 层交替生长 10 对组成，下分布反馈布拉格反射镜 40 由 n 型铝砷化镓层 8 与 n 型砷化镓层 9 交替生长 26 对构成。

前述的牺牲层是 AlGaAs 材料，或是聚纤亚胺材料。

前述的腐蚀停层 4 材料为 GaInP。

前述的悬臂式可动反射镜结构是单悬臂梁、双悬臂梁或四悬臂梁之一。

前述的有源区 7 为异质结量子阱结构，或为多有源区带间量子级联结构。

前述的氧化限制层 6 为 AlGaAs 材料，氧化孔径是 20um。

一种悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构的制备方法，包括：

步骤 1、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 n-砷化镓衬底 10 上依次外延生长 26 对 n 型铝砷化镓层 9 与 n 型砷化镓层 8，GaInAs/GaAs 量子阱结构有源区 7，氧化限制层 AlGaAs 层 6，p 型欧姆接触层 5；

步骤 2、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 p 型欧姆接触层 5 上一次外延生长 AlGaAs 牺牲层，继续外延生长镓铟磷腐蚀停层 4 和由砷化镓层 2 和铝砷化镓层 3 交替生长 23 对得到上分布反馈布拉格反射镜 20，或采用光刻方法在 p 型欧姆接触层 5 上一次制备得到聚纤亚胺牺牲层，然后用

等离子体化学气相沉积法继续生长 10 对 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 上分布反馈布拉格反射镜 20；所述的分布反馈布拉格反射镜每对厚度均为激射波长的二分之一；

步骤 3、利用光刻和选择性湿法腐蚀相结合的方法，或利用光刻和等离子刻蚀结合的方法，将上分布反馈布拉格反射镜 20 反射镜选择腐蚀，制备出悬臂梁式可动反射镜结构的立体轮廓图形；

步骤 4、进行二次光刻，腐蚀，形成台面结构，暴露出氧化限制层 6 侧壁；

步骤 5、利用氧化炉设备在 440°C 下，氧化 30 分钟，对氧化限制层 6 进行氧化，形成注入电流限制孔径 $20\mu\text{m}$ ；

步骤 6、选择刻蚀腐蚀停层 4 和牺牲层，暴露出 p 型欧姆接触层 5；

步骤 7、分别在上分布反馈布拉格反射镜 20、p 型欧姆接触层表面 5 表面制备 TiAu 欧姆接触电极 1；

步骤 8、在 n-GaAs 衬底 10 下表面制备 AuGeNiAu 欧姆接触电极 11，合金；

步骤 9、腐蚀牺牲层得到中空牺牲层 30，中空牺牲层 30 的中空部分是空气隙层 12，上分布反馈布拉格反射镜 20 与空气隙层 12 组成悬臂梁式可动反射镜结构。

通过静电力操纵悬臂梁式可动分布反馈布拉格反射镜 20 与有源区 7 中心间的空气隙层 12 厚度。正电极 1 与 p 型欧姆接触层 5 之间加上偏压后，在产生的静电力作用下使悬臂梁式可动反射镜向下移动，使空气隙层 12 厚度减小，谐振波长发生蓝移，关断电压后，在弹性恢复力的作用下，悬臂梁式可动反射镜回到其原来的位置状态，从而达到激射波长可调。

与现有 VCSEL 相比，本发明的悬臂梁式可动反射镜结构设计和微机械技术制备的可调谐 VCSEL 能够实现连续、大范围的激射波长调谐，且能避免调谐范围小，制备成本高的缺点。

附图说明

图 1：本发明中提出的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构的器件层结构示意图；

图 2：单悬臂梁结构示意图；

图 3：双悬臂梁结构示意图；

图 4：四悬臂梁结构示意图；

具体实施方式

下面结合附图描述本发明的一实施方式中的悬臂梁式波长可调谐 VCSEL。

参阅图 1 所示，一种悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器结构和制备方法，该激光器结构包括有依次纵向正电极 1、上分布反馈布拉格反射镜 20、腐蚀停层 4、p 型欧姆接触 5、铝砷化镓氧化电流限制层 6、有源区 7、下分布反馈布拉格反射镜 40、n 型砷化镓衬底 10、衬底电极 11，其特征在于：上分布反馈布拉格反射镜 20 和 p 型欧姆接触层 5 之间设置中空牺牲层 30；所述的空气隙层 12 是中空牺牲层 30 的中空部分，空气隙层 12 厚度是激光器激光波长四分之一长度的整数倍（一般为 5—10 倍）；由上分布反馈布拉格反射镜 20 与空气隙层 12 共同组成悬臂梁式可动反射镜结构。

参阅图 2、图 3、图 4 所示，所述的悬臂梁结构可以是单悬臂梁、双悬臂梁和四悬臂梁结构，共同点是均由静电力驱动，产生机械位移，不同之处是工作时所需的工作电压和工作特性不同。例如单悬臂梁结构优点是制备工艺相对简单，容易实现大范围调谐，调谐电压低，缺点是由于材料本身应力原因，结构稳定性差，悬臂容易弯曲；四悬臂梁结构优点是结构稳定性好，受外界因素影响小，缺点是制备工艺难度加大，调谐效率受到影响；双悬臂梁结构介于两者之间，即降低了材料应力对可动顶镜位置的影响，同时工艺难度适中，波长调谐效率一般。

实施例 1：

步骤 1、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 n-砷化镓衬底 10 上依次外延生长 26 对 n 型铝砷化镓层 9 与 n 型砷化镓层 8，GaInAs/GaAs 量子阱结构有源区 7，氧化限制层 AlGaAs 层 6，p 型欧姆接触层 5；

步骤 2、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 p 型欧姆接触层 5 上一次外延生长牺牲层 AlGaAs 层，继续外延生长镓铟磷腐蚀停层 4 和 23 对砷化镓层 2 和铝砷化镓层 3 上分布反馈布拉格反射镜 20 反射镜；

步骤 3、利用光刻和选择性湿法腐蚀相结合的方法，将上分布反馈布拉格反射镜 20 反射镜选择腐蚀，制备出悬臂梁立体轮廓图形；

步骤 4、进行二次光刻，腐蚀，形成台面结构，暴露出氧化限制层 6 侧壁；
步骤 5、利用氧化炉设备在 440℃下，氧化 30 分钟，对氧化限制层 6 进行氧化，形成注入电流限制孔径 20um；

步骤 6、选择刻蚀腐蚀停层 4 和牺牲层，暴露出 p 型欧姆接触层 5；

步骤 7、分别在上分布反馈布拉格反射镜 20、p 型欧姆接触层表面 5 表面制备 TiAu 欧姆接触电极 1；

步骤 8、在 n-GaAs 衬底 10 下表面制备 AuGeNiAu 欧姆接触电极 11，合金。

步骤 9、腐蚀牺牲层得到中空牺牲层 30，中空牺牲层 30 的中空部分是空气隙层 12，上分布反馈布拉格反射镜 20 与空气隙层 12 组成悬臂梁式可动反射镜结构。空气隙层 12 厚度是激光器激射波长四分之一长度的 5 倍。

利用中国科学院海特公司生产的探针台在片光谱测试仪测量，在直流电流 20mA、偏置电压 0~9V 下，本发明结构的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器波长从 940nm 蓝移到 929nm 处，变化范围达到 11nm。

实施例 2：

步骤 1、采用金属有机化学汽相淀积或者分子束外延系统在 n-砷化镓衬底 10 上依次外延生长 26 对 n 型铝砷化镓层 9 与 n 型砷化镓层 8，GaInAs/GaAs 量子阱结构有源区 7，氧化限制层 AlGaAs 层 6，p 型欧姆接触层 5；

步骤 2、采用光刻方法在 p 型欧姆接触层 5 上一次制备得到聚纤亚胺薄膜，然后用等离子体化学气相沉积法继续生长 10 对 Si₃N₄/SiO₂ 上分布反馈布拉格反射镜反射镜，所述的分布反馈布拉格反射镜每对厚度均为激射波长的二分之一；

步骤 3、利用光刻和等离子刻蚀结合的方法，将上分布反馈布拉格反射镜 20 反射镜选择腐蚀，制备出悬臂梁立体轮廓图形；

步骤 4、进行二次光刻，腐蚀，形成台面结构，暴露出氧化限制层 6 侧壁；

步骤 5、利用氧化炉设备在 440℃下，氧化 30 分钟，对氧化限制层 6 进行氧化，形成注入电流限制孔径 20um；

步骤 6、选择刻蚀腐蚀停层 4 和牺牲层，暴露出 p 型欧姆接触层 5；

步骤 7、分别在上分布反馈布拉格反射镜 20、p 型欧姆接触层表面 5 表面制备 TiAu 欧姆接触电极 1；

步骤 8、在 n-GaAs 衬底 10 下表面制备 AuGeNiAu 欧姆接触电极 11，合金。

步骤 9、腐蚀牺牲层得到中空牺牲层 30，中空牺牲层 30 的中空部分是空气隙层 12，上分布反馈布拉格反射镜 20 与空气隙层 12 组成悬臂梁式可动反射镜结构。空气隙层 12 厚度是激光器激射波长四分之一长度的 5 倍。

利用中国科学院海特公司生产的探针台在片光谱测试仪测量，在直流电流 40mA、偏置电压 4V~22V 下，本发明结构的悬臂梁式波长可调谐垂直腔面发射激光器波长从 974.5nm 蓝移至 956.9nm，变化范围达到 17.6nm。

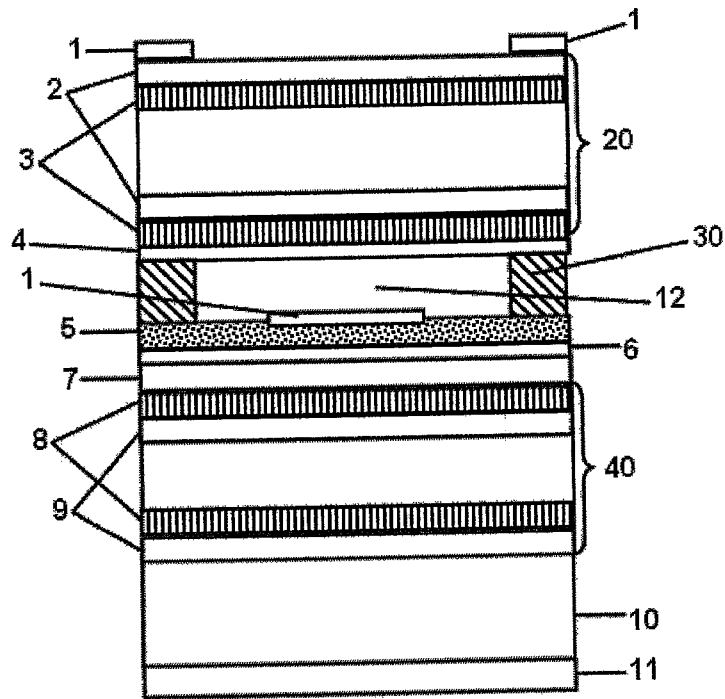


图 1

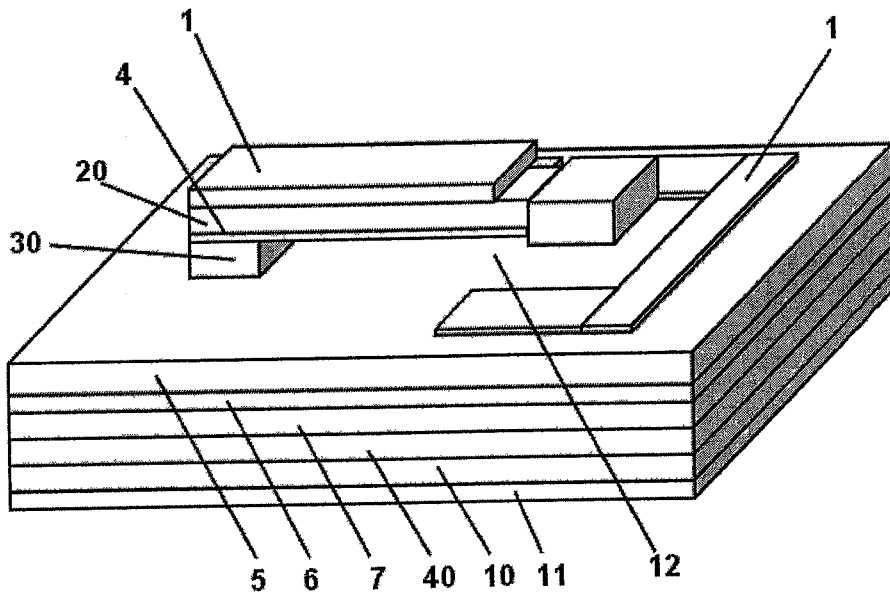


图 2

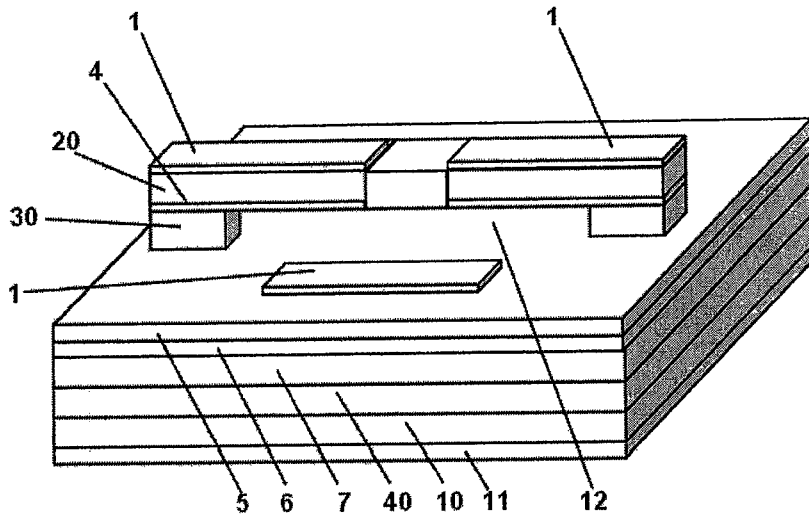


图 3

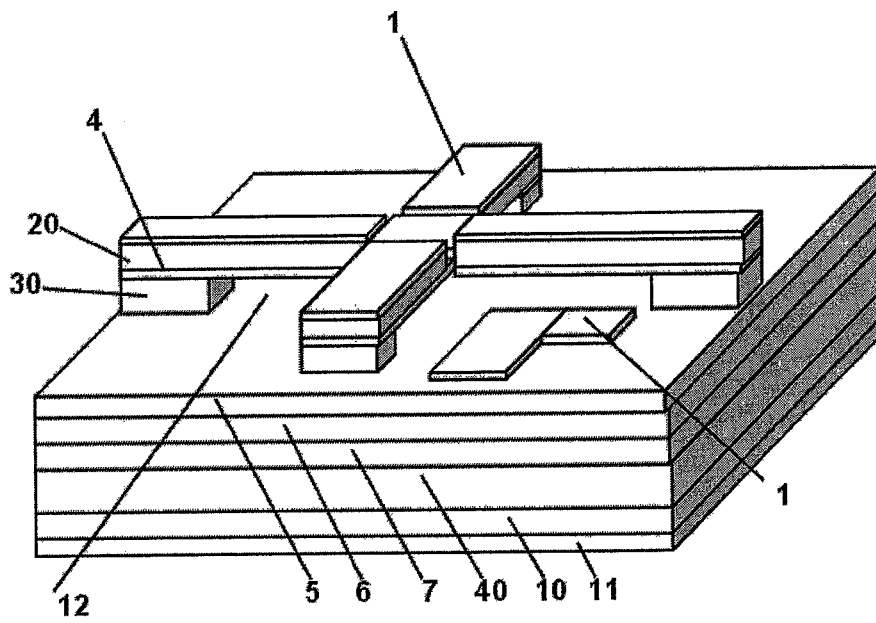


图 4