

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01J 1/308 (2006.01)

H01J 9/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02144399.8

[45] 授权公告日 2007 年 6 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1322528C

[22] 申请日 2002.10.14 [21] 申请号 02144399.8

[30] 优先权

[32] 2001.10.12 [33] US [31] 09/974818

[73] 专利权人 惠普公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 V·V·奥斯波夫

A·M·布拉特科夫斯基

H·比雷基

[56] 参考文献

US5945777A 1999.8.31

US5932962A 1999.8.3

US5285079A 1994.2.8

US5550435A 1996.8.27

US5838019A 1998.11.17

US6187603B1 2001.2.13

US5202571A 1993.4.13

审查员 陈超

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 张志醒

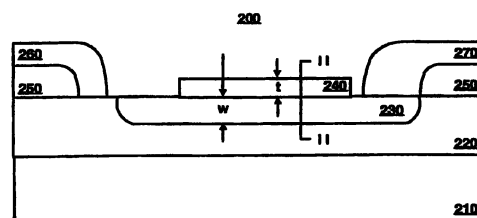
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称

具有负电子亲和性的注入冷发射极

[57] 摘要

冷电子发射极(200、200-1、200-2、200-3、20012、200-13)可以包括 n+ 重掺杂的宽带隙区(WBG)(220)、p 掺杂 WBG 区(230)、及低功函数金属层(240)(n+-p-M 结构)。此结构的改进包括 p 区(230)与 M 金属层(240)之间的 p+ 重掺杂区(235)(n+-p-p+-M 结构)。这些结构使得可兼有大电流发射和稳定耐久的工作。由于 p 掺杂区(230)或 p+ 重掺杂 WBG 区(235)在与低功函数金属接触时起负电子亲和性材料的作用,故有可能得到大电流密度。由于发射极利用了比较低的抽取电场,故具有 n+-p-M 和 n+-p-p+-M 结构的注入发射极是稳定的,且不受来自被加速离子的沾污和/或吸收的影响。这些结构可以用目前的现有技术工艺来制造。



1. 一种电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 它包含:

n+区 (220);

形成在所述 n+区 (220) 中或其上的 p 区 (230); 以及

形成在所述 p 区 (230) 上的金属层 (240),

其中所述 n+区 (220) 的电子浓度水平 n_n 大于所述 p 区 (230) 的空穴浓度水平 p_p 。

2. 根据权利要求 1 的电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 还包含:

所述 n+区 (220) 下方的衬底 (210)。

3. 根据权利要求 1 的电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 其中所述 n+区 (220) 由宽带隙半导体形成。

4. 根据权利要求 1 的电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 其中所述 p 区 (230) 的厚度小于所述 p 区 (230) 中非平衡电子的扩散长度。

5. 根据权利要求 1 的电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 其中真空能级位于所述 p 区 (230) 中的半导体的能隙中。

6. 根据权利要求 1 的电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13), 其中所述金属层 (240) 的厚度等于或小于电子能量的平均自由程。

7. 一种制造电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13) 的方法, 它包含:

形成 n+区并用它作为衬底 (220);

在所述 n+区 (220) 中或其上形成 p 区 (230); 以及

在所述 p 区 (230) 上形成金属层 (240),

其中所述 n+区 (220) 的电子浓度水平 n_n 大于所述 p 区 (230) 的空穴浓度水平 p_p 。

8. 根据权利要求 7 的制造电子发射极 (200、200-1、200-2、200-3、200-12、200-13) 的方法, 还包含:

形成所述 n+区 (220) 的衬底 (210)。

9. 根据权利要求 7 的制造电子发射极 (200-1、200-12、200-13) 的方法, 还包含:

在所述 p 区 (230) 中以及所述金属层 (240) 下方, 形成所述 p+ 区 (235)。

具有负电子亲和性的注入冷发射极

技术领域

本发明一般涉及到电子发射极。确切地说，本发明一般涉及到 p-n 阴极型冷电子发射极。

背景技术

以下列共同受让的申请与本发明有关并且可以包含某些共同的公开内容：

题为“模拟负电子亲和性发射机制的大电流雪崩隧穿和注入隧穿半导体-介质-金属稳定冷发射极”的美国专利申请 No. --/--, -- (文档号 No. 10007286-1)。其整个内容此处被列为参考。

目前，电子发射技术有许多形式。在诸如电视 (TV) 以及计算机监视器之类的许多显示器中，热阴极射线管 (CRT) 占据着优势，在这种 CRT 中，由于来自被电流加热的热阴极的热发射而产生电子。电子发射还在诸如 X 光机和电子显微镜之类的装置中起着关键的作用。小型的冷阴极可以被用于集成电路和平板显示单元。此外，大电流密度发射的电子可以被用来溅射或溶化某些材料。

通常存在着二种类型的电子发射极：“热”阴极发射极和“冷”阴极发射极。“热”阴极发射极是基于来自被电流加热的表面的热电子发射。冷阴极可以被分成二种不同的类型：类型 A 和类型 B。类型 A 的发射极是基于场发射效应 (场发射阴极)。类型 B 的发射极是利用由注入或雪崩电击穿过程产生的非平衡电子的发射的 p-n 阴极。

二种发射极都有一些缺点，因而使之实际上无法使用。类型 A 发射极 (场发射型) 的一个主要缺点是寿命很短。例如，类型 A 发射极仅仅能够工作几个小时，甚至短到几分钟。在冷场发射阴极 (类型 A) 中，电子被真空中的强电场从金属电极表面抽取出。在记录设备或其它应用中所需的大的发射电流下，场阴极的寿命短。

参照图 1A 来描述类型 A 发射极的工作。图 1A 示出了金属表面的典型能量图，说明了金属的功函数概念。如所示，左边是一种材料，此处为金属，而右边是真空区。 E_F 表示金属的费米能级。金属的功函数 Φ_M 是单个电子从金属中的费米能级进入真空所需的能量。

于是, 功函数 Φ_M 是 V_{AC} 与 E_F 之差。金属的功函数 Φ_M 典型为 4-5 电子伏 (eV)。

在非常强的外部电场中, 能量图发生改变, 并表现为三角形电子势垒 (图 1A 虚线)。当外部电场 F 增大时, 势垒宽度减小, 电子的隧穿几率急剧增大。这种势垒的透明度为

$$D = \exp \left[-\frac{4\Phi_M^{3/2} \sqrt{2m}}{3qhF} \right]$$

其中 F 是电场, q 和 m 是电子电荷和质量。透明度表示电子隧穿的几率。对于电流密度 $j=1-100\text{A}/\text{cm}^2$ (每平方厘米安培), 对应的电场可能为 $F>10^7\text{V}/\text{cm}^2$ 。

在这样的强电场中, 经常存在于实际器件真空区中的离子在大约 1 微米或更大的真空区中获得 10^3eV 以上的能量。具有如此高能量的离子与发射极表面碰撞, 导致离子吸收和发射极表面的侵蚀。离子吸收和侵蚀通常将类型 A 发射极的寿命限制到工作几个小时甚至几分钟。具有相似强度电场的系统中的阴极损伤已经被非常详细地研究了, 它是相当剧烈的。

类型 B 的发射极 (注入/雪崩型) 的一个主要缺点是效率非常低。换言之, 发射的电流对电路中总电流的比率非常小, 通常比 1% 小得多。类型 B 的阴极基于 p-n 结、或包括 TiO_2 或多孔 Si 的半导体-金属 (S-M) 结、或需要对 p-n 结或 S-M 结施加“内部”偏压的雪崩电击穿。

作为变通, 已经提议采用电击穿工艺来从 Si 制造冷发射极。这些类型的雪崩发射极是基于被雪崩区中非常强的电场加速的非常热的电子 (其能量约为几电子伏) 的发射。结果也具有发射的热电子的电流密度非常小的缺点。

已经试图借助于在半导体表面上淀积铯 (Cs) 以便利用负电子亲和性 (NEA) 效应来提高电流密度。图 1B 示出了 NEA 的概念。如所示, 左边是一种材料, 在此例子中是 p 型半导体, 而右边是真空区。 E_C 表示金属的导带。注意, NEA 效应相当于导带底 E_C 位于真空能级 V_{AC} 上方的情况。这种类型的一种早期的 p-n 阴极组合了硅或砷化镓雪崩区

与从中产生发射的铯金属层 (GaAs/Cs 或 GaP/Cs 结构)。但 Cs 是非常易起反应的和挥发性元素。具有 Cs 的 GaAs 和 GaP 发射极因而在大电流密度下是不稳定的。

简言之, 利用先前的设计, 不可能得到大电流发射和稳定性二者兼有的冷发射极。

发明内容

在一种情况下, 冷电子发射极的一个实施方案可以包括重掺杂的 n 型区 (n+区)。n+区可以由宽带隙半导体形成。电子发射极还可以包括 n+区下方的衬底。实际上, 可以借助于用富电子材料对衬底进行掺杂来形成 n+区。此外, 电子发射极可以包括形成在 n+区之中或上方的 p 区。可以借助于用贫电子材料对 n+区进行反掺杂来形成 p 区。而且, p 区中的空穴浓度水平最好低于 n+区中的电子浓度。电子发射极还可以包括形成在 p 区上方的金属层。金属层的功函数最好小于 p 区的能隙。此外, 金属层的厚度最好约为或小于电子能量的平均自由程。电子发射极还可以包括例如借助于对 p 区进行 Δ 掺杂而形成在 p 区内的重掺杂 p 区 (p+区)。电子发射极还可以包括 n 和 p 电极, 致使 n+-p 结可以被正向偏置, 以便用来控制从器件发射的电流量。电子发射极还可以进一步包括具有或不具有 p 电极的 M 电极。

在另一种情况下, 制造电子发射极方法的实施方案可以包括例如借助于用富电子材料对宽带隙衬底进行掺杂来形成 n+区。此方法还可以包括例如借助于用贫电子材料对 n+区进行反掺杂而在 n+区中形成 p 区。p 区的厚度最好小于电子在 p 区中的扩散长度。而且, p 区中的空穴浓度水平最好小于 n+区的电子浓度。此方法还可以包括在 p 区上形成金属层。金属层的功函数最好小于 p 区的能隙, 且金属层的厚度最好约为或小于电子能量的平均自由程。此方法还可以进一步包括例如借助于对 p 区进行 Δ 掺杂而形成 p+区。此方法还可以包括形成 n 和 p 电极, 使 n+-p 结可以被正向偏置而工作。此方法还可以进一步包括在形成或不形成 p 电极的情况下形成 M 电极, 以便控制从电流发射极发射的电流量。

上面公开的实施方案可能能够达到某些方面的目的。例如, 电子发射极可以产生高的发射电子流密度。而且, 发射极的寿命可以比较长。发射极还可以基于熟知的宽带隙材料及其制造方法, 从而几乎不

需要超过目前现有技术的投资。此外，由于器件不要求真空区中的强电场，故可以避免强真空电场的不利效应（阴极表面侵蚀、发射极表面处的离子吸收等），导致稳定的工作。于是可以在单个器件中兼有稳定性和大电流密度。在真空区中不需要强电场，可以明显地简化封装，可能不要求高真空。

总之，与现有技术不同，至少本发明的某些实施方案使耐用的冷发射极能够具有大的发射电流和高的效率。

附图的简要说明

对于本技术领域熟练人员来说，从参照附图的下列描述中，本发明的特点将变得显而易见，在这些附图中：

图 1A 是材料表面的典型能量图，说明了材料功函数概念；

图 1B 是能量图，说明了半导体材料的负电子亲和性概念；

图 2A-2F 示出了根据本发明一种情况的冷发射极各种实施方案的示例性剖面；

图 3A 示出了图 2A 所示冷发射极实施方案的跨越 II-II 线的平衡的示例性能带图；

图 3B 示出了图 2B 所示冷发射极实施方案的跨越 II'-II'线的平衡的示例性能带图；

图 4 示出了图 2A-2F 的冷发射极在偏压下的示例性能带图。

详细描述

为了简单和说明的目的，主要参照其示例性实施方案来描述本发明的原理。在下列描述中，为了提供对本发明的透彻理解，提出了大量具体的细节。但对于本技术领域的一般熟练人员来说，显然本发明的实施不局限于这些具体的细节。在其它的情况下，为了不致于使本发明难以理解而没有详细地描述那些众所周知的方法和结构。

图 2A 示出了根据本发明概念的冷发射极 200 的第一实施方案的示例性剖面。冷发射极 200 的一般特征可以是：由于存在 n+区 220、p 区 230、以及金属层 240，因而具有 n+-p-M 结构。如图 2A 所示，冷发射极 200 可以包括衬底 210 和形成在衬底 210 上的 n+区 220。N+区 220 可以由宽带隙 (WBG) 半导体形成，WBG 半导体的例子包括 GaP、GaN、AlGaN、诸如金刚石的碳、非晶 Si、AlN、BN、SiC、ZnO、InP 等。本技术领域一般熟练人员可以理解的是，其它的材料也可以被

用作适当的 WBG 半导体。N+区 220 中的电子浓度 n_n 最好高于每立方厘米 10^{17} ，也可以高于每立方厘米 10^{19} 。但可以根据应用的类型来调整浓度水平。

实际上，衬底 210 和 n+区 220 可以由同一种 WBG 半导体形成。然后可以借助于用富电子材料对 WBG 半导体进行掺杂而形成 n+区 220。富电子材料的例子包括氮 (N)、磷 (P)、砷 (As)、锑 (Sb)。本技术领域一般熟练人员可以理解的是，也可以使用其它的富电子材料。

冷发射极 200 还可以包括形成在 n+区 220 中或其上的 p 区 230。p 区 230 可以例如借助于用贫电子材料对 n+区 220 进行反掺杂而形成。这种材料的例子包括硼。一般熟练人员可以理解的是，其它的贫电子材料也可以被采用。p 区 230 还可以由完全区别于 n+区 220 的材料形成。n+区 220 最好由带隙比 p 区 230 宽的材料形成。

p 区 230 的空穴浓度 p_p 最好基本上为每立方厘米 10^{16} – 10^{18} ，可选浓度约为每立方厘米 10^{18} 。此范围可以根据应用的类型而变化。空穴浓度最好小于 n+区中的电子浓度，亦即 $p_p < n_n$ 。此比率也可以根据应用的类型而变化。而且，W 最好小于 L，其中如图 2A 所示，W 表示 p 区 230 的厚度，且如图 2A 所示，L 表示 p 区 230 中非平衡电子的扩散长度。扩散长度 L 典型为 0.3 微米。

冷发射极 200 还可以包括形成在 p 区 230 上的金属层 240。金属层 240 可以由像 Au、Pt、W 这样的标准电极材料形成，也可以由低功函数材料形成。低功函数材料的例子包括 LaB_6 、 CeB_6 、Au、Al、Gd、Eu、EuO、以及它们的合金。金属层 240 的厚度 t 约为或小于电子能量的平均自由程 l_g 。 l_g 通常为 2–5 毫微米 (nm)。这样，厚度应该为 $t < 2\text{--}5\text{nm}$ 。

金属层 240 材料的选择依赖于 n+区 220 与 p 区 230 之间的 n+-p 接触电压差。下面参照参照图 3A 来解释金属层 240 材料的选择判据，图 3A 示出了图 2A 的冷发射极 200 第一实施方案的示例性平衡能带图。如图 3A 所示，若 n+-p 接触电压差被表示为 V_{np} ，则结中的内建电势可以被表示为 $qV_{np} \approx E_g$ (见图 3A)，其中 $q > 0$ 表示基本电荷，而 E_g 表示 p 区 230 的导带能量 E_c 与价带能量 E_v 之间的能隙。

金属层 240 的功函数 Φ_M 最好使 $\Phi_M < qV_{np} \approx E_g$ 。例如，金刚石的 E_g

约为 5.47eV。于是，若金刚石被用作 p 区 230 的基础，则可以用金作为金属层 240，因为金的功函数 Φ_M 为 4.75eV。其它的材料（例如功函数基本上接近 2.5eV 的 LaB_6 和 CeB_6 ）具有甚至更低的 E_g 。一般熟练人员可以理解的是，其它材料也可以适合于作为金属层 240，且层 240 可以不严格地局限于金属。

回过来参照图 2A，电子冷发射极 200 还可以包括形成在 n+区 220 上的 n 电极 260 和 p 电极 270。n 电极 260 可以被电连接到 n+区 220，而 p 电极 270 可以被电连接到 p 区 230。n 电极 260 和 p 电极 270 可以由金属或其它导电材料形成。导电材料的例子包括 Au、Ag、Al、W、Pt、Ir、Pd 等、以及它们的合金。此外，电子发射极 200 可以包括介质 250，以便分别隔离 n 电极 260 和 p 电极 270。

图 3A 示出了图 2A 的冷发射极 200 第一实施方案的跨越 II-II 线平衡的示例性能带图。如所示，图 3A 的左侧对应于线 II-II 的底部（n+区 220），而右侧对应于顶部（真空）。

如上所述，金属层 240 的功函数 Φ_M 最好小于 p 区 230 的能隙，亦即 $E_g \approx qV_{np} > \Phi_M$ 。如图 3A 所示，在此条件下，p 区 230 结中的能级超过金属层 240 的功函数 Φ_M 。于是，由于 p 区中电子的能量高于真空能级 Vac，故冷发射极 200 表示为好象具有负电子亲和性 $\Phi < 0$ 。

以下参照图 2A、3A、以及 4 来描述冷发射极 200 的工作。在平衡状态下，不发生电子发射。如图 3A 所示，这是因为在 p 区没有平衡电子，从而在 p 区 230 与金属层 240 之间的 p-M 界面处形成了耗尽界面层。靠近 p-M 界面，亦即在耗尽界面层处，电子损失能量，从而不从金属层 240 发射进入真空。如图 3A 所示，这是由于靠近 p-M 界面处导带能量 E_c 的降低，致使在界面处，导带能量 E_c 低于真空的能级 Vac。

理想情况下，可能不存在耗尽界面层，靠近 p-M 界面的虚线示出了这一点。在 p-M 界面处没有耗尽界面层，冷发射极 200 具有 NEA 性质，意味着注入到 p 区 230 中的电子由于其在 p 区中的能量可能高于 Vac，故可以从冷发射极 200 发射出来。

当 n+区 220 与 p 区 230 之间界面处的 n+-p 结被正向偏置时，亦即 p 区 230 相对于 n+区 220 存在正电位时，冷发射极 200 就工作。可以分别经由 n 电极 260 和 p 电极 270 来施加偏置电位。当 n+-p 结被

正向偏置时,电子从富电子的 n+区 220 被注入到 p 区 230。当 p 区 230 的厚度 W 小于非平衡电子在 p 区 230 中的扩散长度 L 时,电子横过 p 区 230 并聚集在耗尽界面层中。

这类似晶体管效应,其中通过基极(固定于 p 区 230)的电流决定于注入的电子与空穴的复合速率。注入的电子聚集在空穴浓度非常低的耗尽层中,致使复合速率非常低。结果,如图 4 所示,电子聚集在耗尽界面层中,直至其局部准费米能级 E_F 上升到真空能级 V_{ac} 以上。因此,注入的电子的发射迅速增大。在此情况下,发射电流比基极中的复合电流大得多(相似于通常的半导体晶体管)。这使得能够发射非常大的电流。发射的电子被真空中的电场向着阳极(图中未示出)加速。

图 2B 示出了根据本发明一种情况的冷发射极 200-1 第二实施方案的示例性剖面。由于 p+区 235 存在于 p 区 230 与金属层 240 之间,故冷发射极 200-1 可以被描述为图 2A 的冷发射极 200 的变形,并通常可表示为 n+-p-p+-M 结构。如图 2B 所示,冷发射极 200-1 包括图 2A 所示冷发射极 200 的所有元件。为了简化的目的,将不详细地描述冷发射极 200 与 200-1 共有的元件。指出共有元件的行为和特性可以相似就足够了。

除了冷发射极 200 的一些元件之外,冷发射极 200-1 还可以包括形成在 p 区 230 中的 p+区 235。可以借助于对 p 区 230 进行 Δ 掺杂并进一步用贫电子材料来形成可能非常薄的高掺杂的 p+区 235。 Δ 掺杂在非常薄的层中产生高浓度的掺杂剂。p+区 235 中的空穴浓度水平在厚度小于 100nm 的层中最好约为每立方厘米 10^{20} - 10^{21} 。而且,厚度 W(此时是 p 区 330 和 p+区 335 的组合)最好小于非平衡电子的扩散长度。注意,除了 p 区 230 之外,p 电极 270 还可以电接触 p+区 235。

参照图 3B 来解释 p+区 235 的至少一个作用,图 3B 示出了图 3A 的冷发射极 200-1 的示例性平衡能带图。上面讨论了图 2A 所示的冷发射极 200(第一实施方案),耗尽界面层形成在 p 区 230 与金属层 240 之间的 p-M 界面,以及靠近 p-M 界面处电子损失能量。

p+区 235 的存在减小了界面处的能带弯曲,并使发射极 200-1 更接近具有 NEA 的理想发射极。如图 3B 所示,发射极 200-1 的导带能

级能量 E_c 的降低比发射极 200 的降低更小（与图 3A 比较）。由于能带弯曲的减小，故聚集在 p^+-M 界面附近的被注入的电子的准费米能级移动到更接近理想位置，这就改善了电子发射的条件。

如图 4 所示，冷发射极 200-1 的工作相似于冷发射极 200 的工作。换言之，当 n^+ 区 220 与 p 区 230（以及 p^+ 区 235）之间界面处的 n^+-p 结被正向偏置时，冷发射极 200-1 就工作。在此情况下，由于存在 p^+ 区 235 以及相应地缩小了平衡耗尽界面层，故要求较少的正向偏压。

图 2C 示出了根据本发明一种情况的冷发射极 200-2 第三实施方案的示例性剖面。冷发射极 200-2 也可以被描述为图 2A 冷发射极 200 的一个变形，且其特征一般也可以是像冷发射极 200 那样的 n^+-p-M 结构。

如图 2C 所示，除了冷发射极 200-2 可以不包括 p 电极 270，但可以包括形成在金属层 240 上并电接触金属层 240 的 M 电极 290 之外，冷发射极 200-2 可以包括图 2A 所示冷发射极 200 的所有元件。为了简化的目的，将不详细地描述冷发射极 200 与 200-2 共有的元件。指出共有元件的行为和特性可以相似就足够了。

M 电极 290 可以起的至少一个作用被解释如下。关于冷发射极 200（和 200-1），当 n^+-p 结成为正向偏置时，发射极就工作。通过分别对 n 电极 260 和 p 电极 270 施加适当的电位，来提供偏置（见图 2A 和 2B）。利用冷发射极 200-2，借助于分别对 n 电极 260 和 M 电极 290 施加适当的电位， n^+-p 结可以成为正向偏置。冷发射极 200-2 的一个优点是，当与例如冷发射极 200 进行比较时，可以更容易地制造器件。

冷发射极 200-2 的工作相似于冷发射极 200 和 200-1，因而无须详细描述。

图 2D 示出了根据本发明一种情况的冷发射极 200-3 第四实施方案的示例性剖面。像冷发射极 200-1 和 200-2 那样，冷发射极 200-3 可以被描述为图 2A 的冷发射极 200 的变形。冷发射极 200-3 的特征通常可以是 n^+-p-M 结构。如图 2D 所示，冷发射极 200-3 包括图 2A 所示冷发射极 200 的所有元件。为了简化的目的，将不详细地描述冷发射极 200 与 200-3 共有的元件。指出共有元件的行为和特性可以相似

就足够了。

除了冷发射极 200 的元件之外,冷发射极 200-3 还包括形成在金属层 240 上并电接触金属层 240 的 M 电极 290 以及隔离 M 电极 290 的第二绝缘层 280。在此情况下,可以如以前冷发射极 200 那样通过分别对 n 电极 260 和 p 电极 270 施加电位来提供 n+-p 结的正向偏压。

冷发射极 200-3 的一般工作相似于冷发射极 200 和 200-1,无须详细讨论。但 M 电极在冷发射极 200-3 的工作中增加了一个额外的控制能力。在此情况下,金属层 240 可以被用来控制发射极电流量。在要求具有分别控制的发射极的阵列的应用中,这是非常有利的。借助于通过 M 电极 290 偏置金属层 240 上的电位,能够控制发射电流。这就关闭和开通了来自冷发射极 200-3 的发射电流。

可以组合示为第二、第三、以及第四实施方案的各个变形(分别是冷发射极 200-1、200-2、以及 200-3),以便在一种器件中获得各个变形的好处。例如,图 2E、2F 示出了根据本发明其它情况的冷发射极 200-12 和 200-13 的第五和第六实施方案的示例性剖面。

图 2E 示出了冷发射极 200-1 与 200-2 (分别是第二和第三实施方案)组合的例子。如所示,像冷发射极 200-1 那样,冷发射极 200-12 包括 p+区 235,因而其特征可以是具有 n+-p-p+-M 结构。而且,像冷发射极 200-2 那样,冷发射极 200-12 缺少 p 电极 270,但包括 M 电极 290。

冷发射极 200-12 使电位能够经由金属层 240 被施加到 p 区 230。而且,由于存在 p+区 235,故可以要求比较小的正向偏压。

图 2F 示出了冷发射极 200-1 与 200-3 (分别是第二和第四实施方案)组合的例子。如所示,像冷发射极 200-1 那样,冷发射极 200-13 包括 p+区 235,因而其特征可以是具有 n+-p-p+-M 结构。而且,像冷发射极 200-3 那样,冷发射极 200-13 包括 M 电极 290 和第二绝缘体 280。

冷发射极 200-13 使电流量能够通过 M 电极 290 的适当偏置而被控制。而且,由于存在 p+区 235,故更容易满足 NEA 条件。

此处所述的是本发明及其一些变形的优选实施方案。此处提出的术语、描述、以及附图仅仅是为了说明的目的而不是意味着限制。本

技术领域的熟练人员可以理解的是，在下列权利要求及其等同物所定义的本发明的构思与范围内，各种变化都是可能的，其中除非另有说明，所有的术语表示的都是最广义而合理的意义。

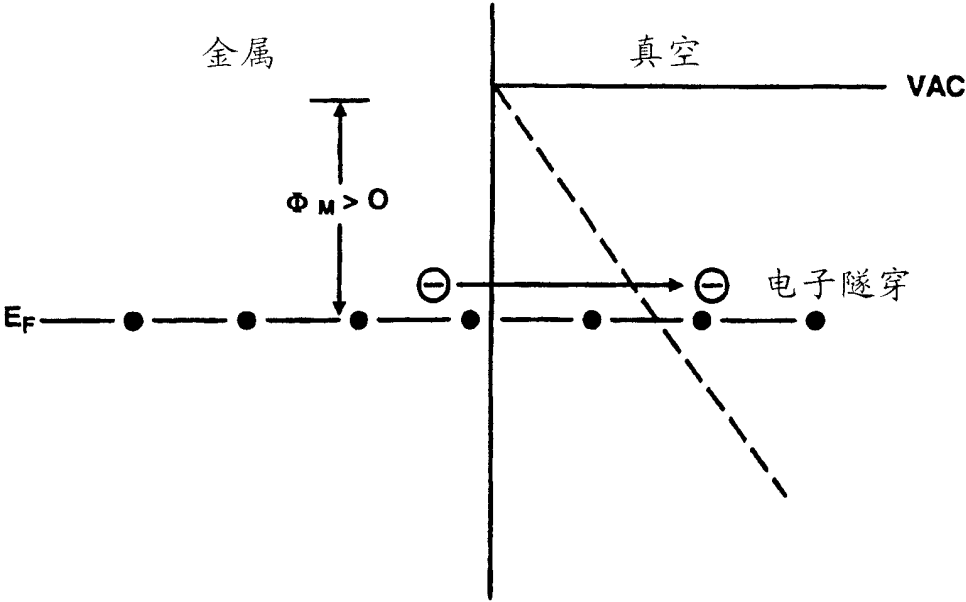


图 1A

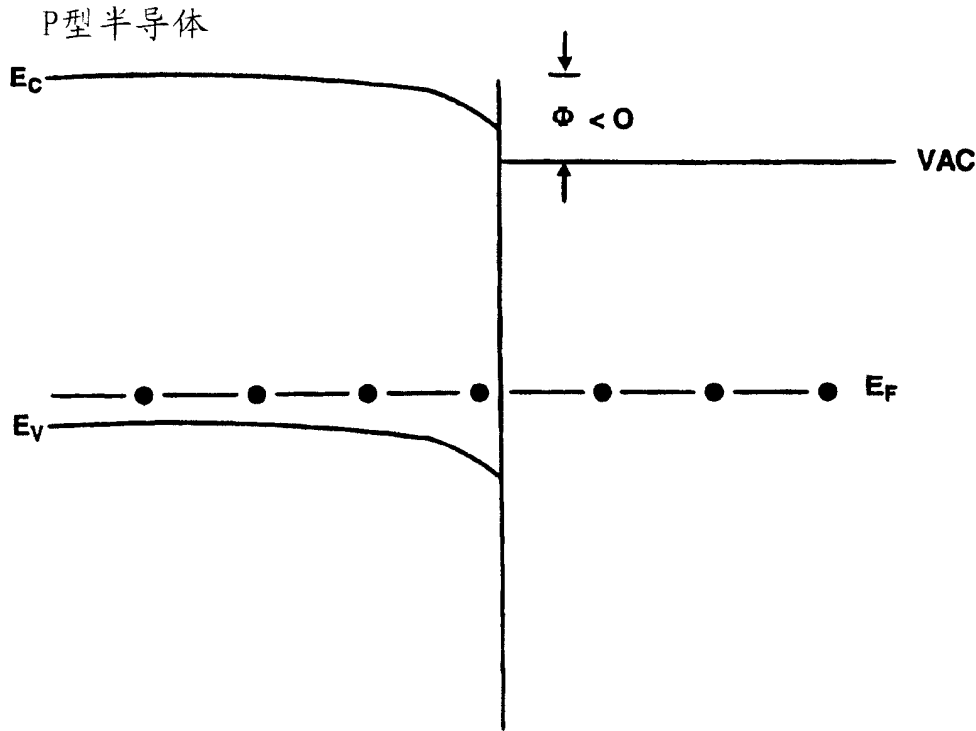


图 1B

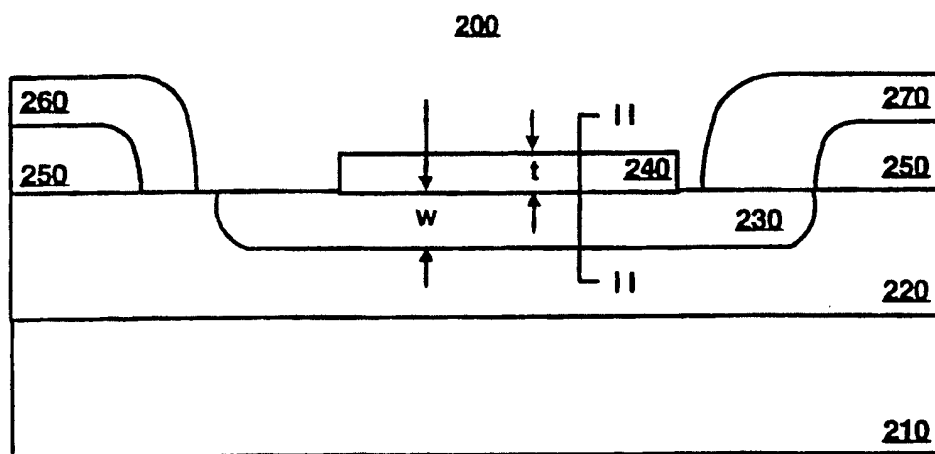


图 2A

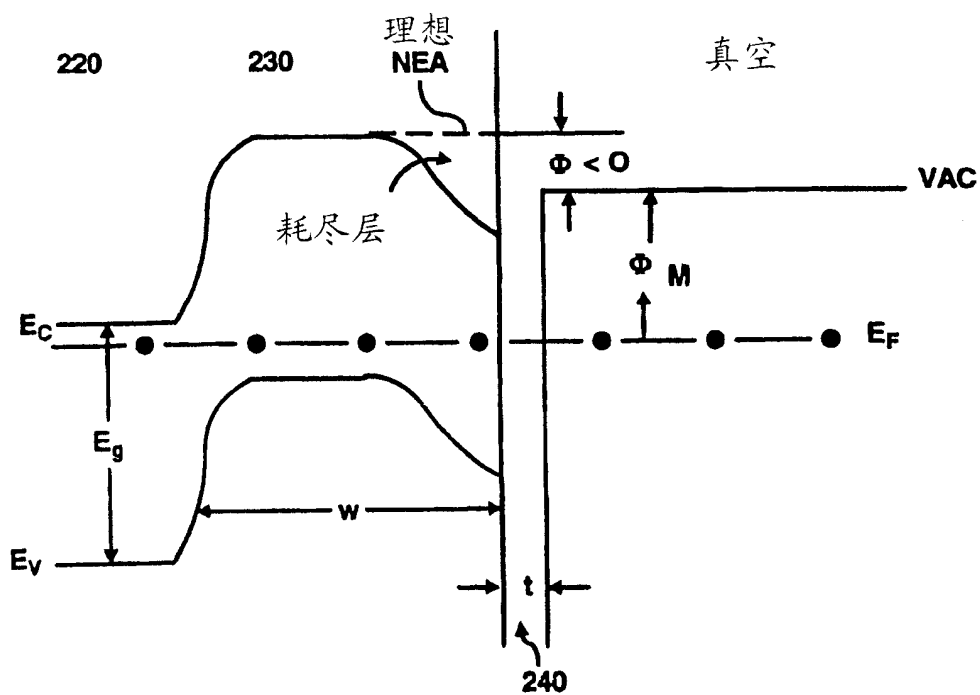


图 3A

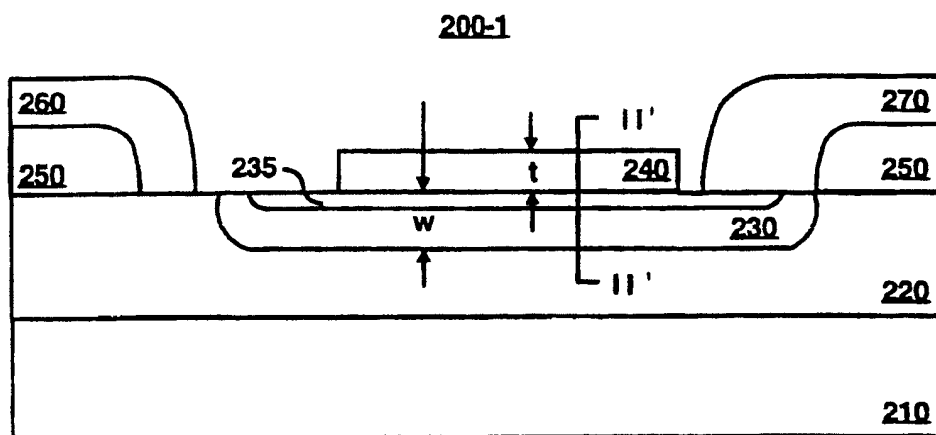


图 2B

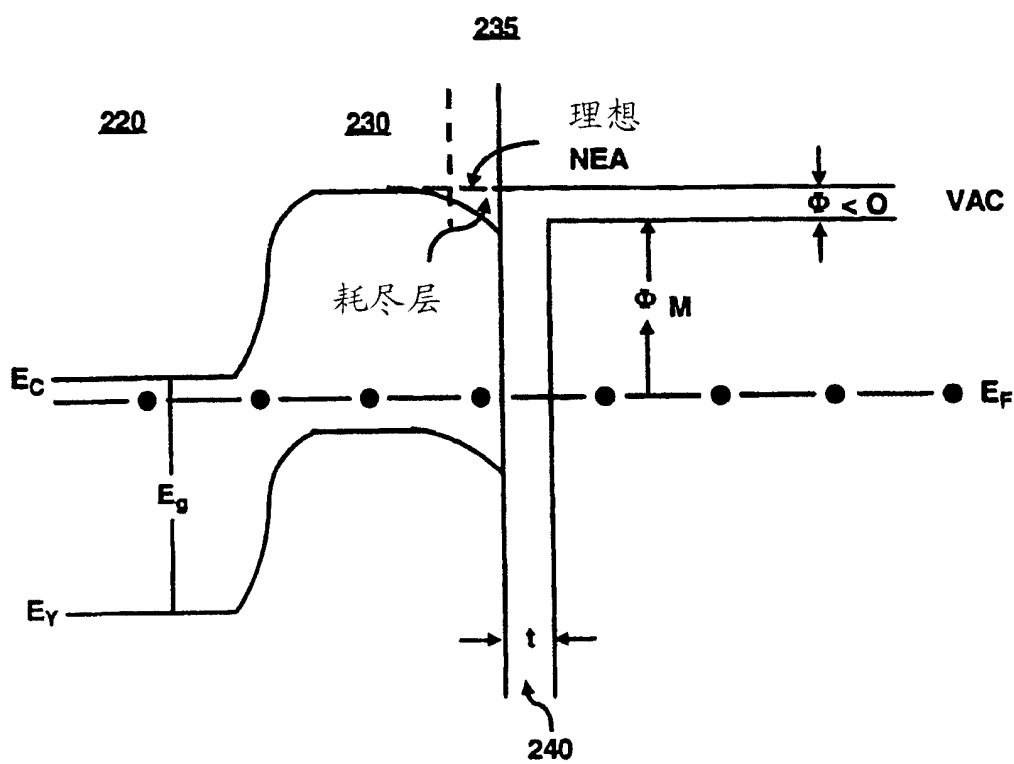


图 3B

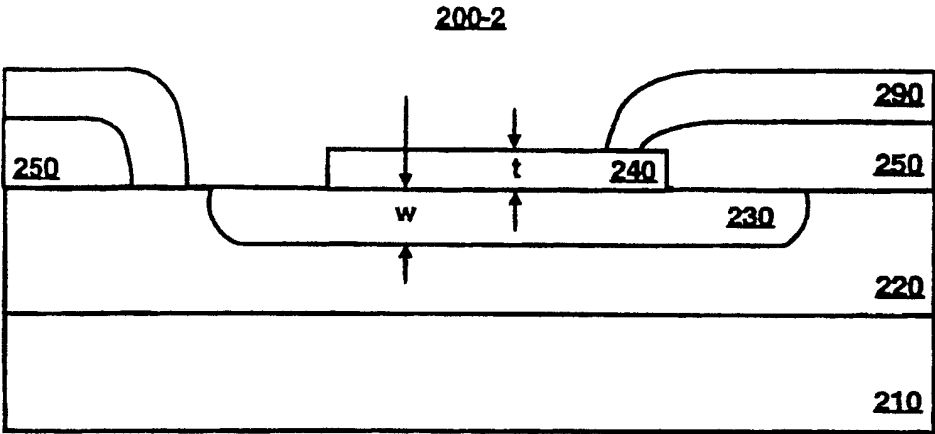


图 2C

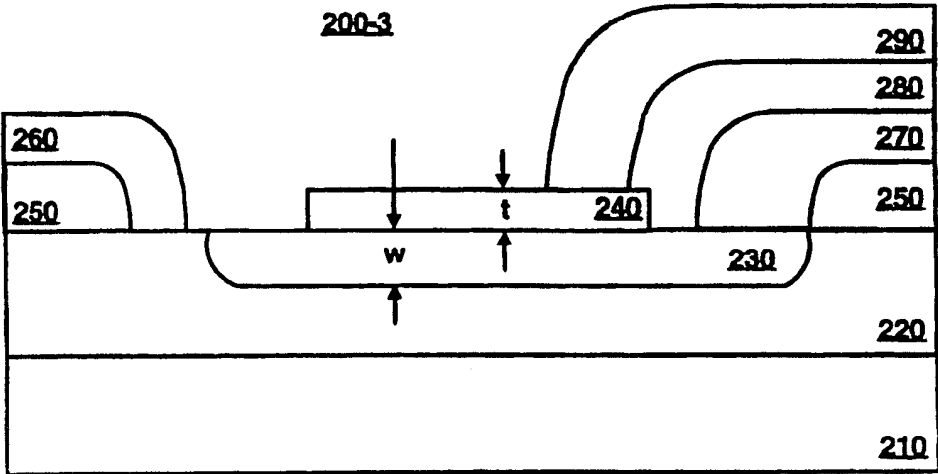


图 2D

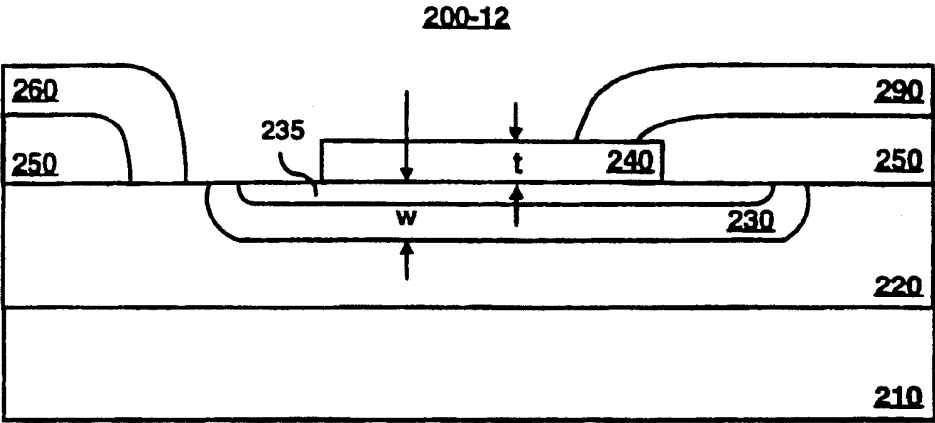


图 2E

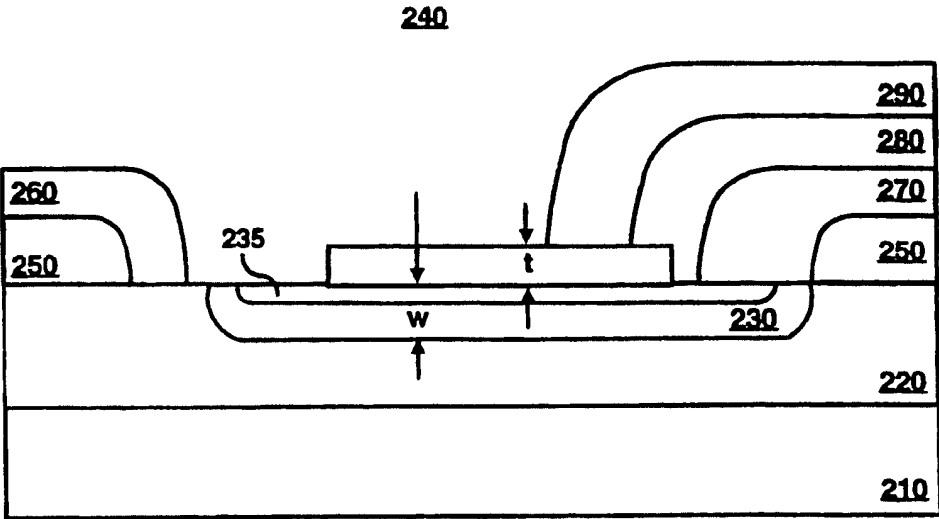


图 2F

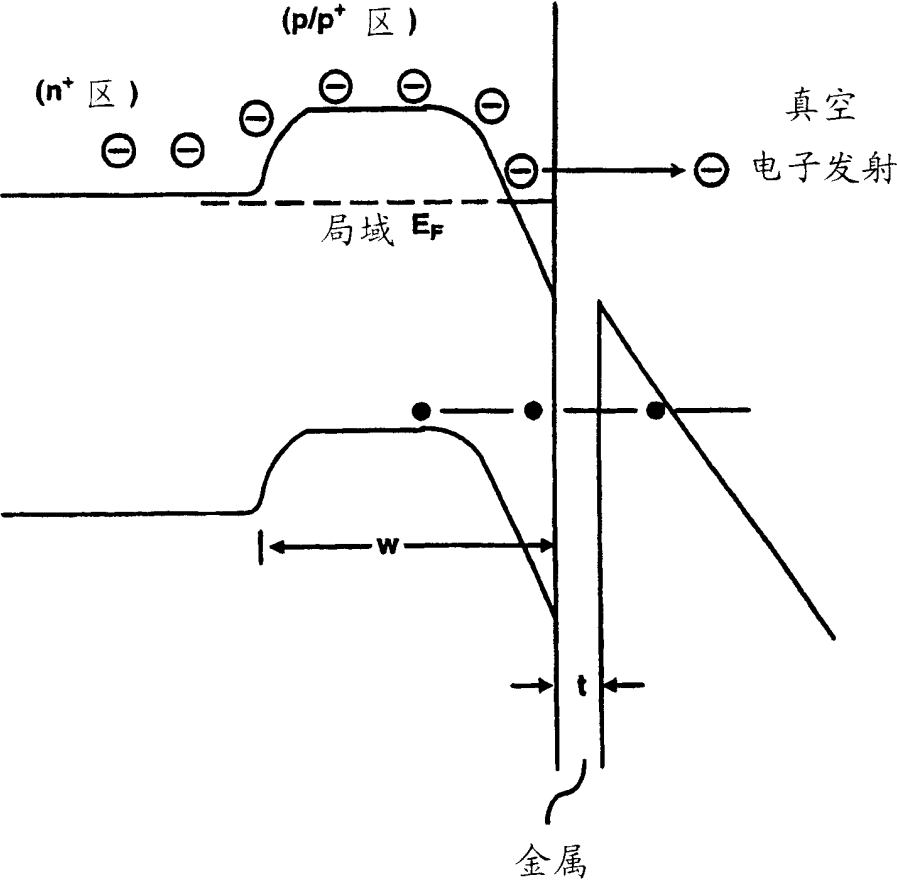


图 4