



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101127368 B

(45) 授权公告日 2010.08.25

(21) 申请号 200710142217.6

(22) 申请日 2002.07.08

(30) 优先权数据

09/911,155 2001.07.23 US

(62) 分案原申请数据

02817912.9 2002.07.08

(73) 专利权人 美商克立股份有限公司

地址 美国北卡罗莱纳州

(72) 发明人 P·帕里克 U·米施拉

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

司 31100

代理人 张政权

(51) Int. Cl.

H01L 29/88 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1109639 A, 1995.10.04, 全文.

CN 1283875 A, 2001.02.14, 全文.

Sugimura et al.. I-V Characteristics of Schottky Metal-Insulator-Semiconductor Diodes with Tunnel Thin Barriers. Jpn. J. Appl. Phys 39 7B. 2000, 39(7B), 4521-4522.

审查员 周忠堂

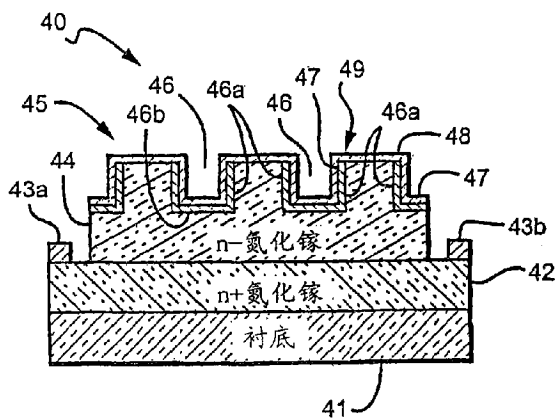
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

具有低正向电压及低反向电流操作的氮化镓基底的二极管

(57) 摘要

本发明揭示了具有低通态压 (V_f) 和可将反向电流 (I_{rev}) 维持在相对低的结构的创新的以 III 族为基的二极管。本发明的一实施例是由费米能级 (或表面电势) 不固定的氮化镓材料系统制成的肖特基势垒二极管 (10)。在金属-半导体接面的势垒电压 (33) 随所使用的金属 (16) 类型而改变, 而使用特定的金属会降低二极管的肖特基势垒电压 (33) 并使 V_f 落在 0.1-0.3 伏特的范围内。在另一实施例 (40) 中, 一沟槽结构 (45) 在肖特基二极管半导体材料 (44) 上形成以降低反向漏电流, 其含有多个在相邻沟槽之间具有平台区域 (49) 的互相平行、间距相等的沟槽 (46)。本发明的第三实施例提供一具有起因于电子隧穿过而非超越势垒电压 (81) 的低 V_f 的氮化镓隧道二极管。一实施例 (120) 也可以有一沟槽结构 (121) 来降低漏电流。



1. 一种隧道二极管,其包括:
 - n+ 掺杂层 (52);
 - 邻接于所述 n+ 掺杂层 (52) 的 n- 掺杂层 (53);
 - 位于所述 n- 掺杂层 (53) 上,与所述 n+ 层 (52) 相对的势垒层 (54);以及
 - 在所述势垒层 (54) 上与所述 n- 掺杂层 (53) 相对的金属层 (56),所述 n+ 掺杂层 (52)、n- 掺杂层 (53)、以及势垒层 (54) 由 III 族氮化物材料系统制成,所述 n- 掺杂层 (53) 与所述势垒层 (54) 形成一接面,该接面具有一势垒电压 (81),由于在正向偏压下通过所述势垒电压 (81) 的电子隧道效应的结果,使所述隧道二极管的通态压降低。
2. 如权利要求 1 所述的隧道二极管,其特征在于,所述势垒层 (54) 具有压电偶极,藉由增强电子隧道效应使该隧道二极管的通态压降低。
3. 如权利要求 2 所述的隧道二极管,其特征在于,所述压电偶极的数目随着所述势垒层厚度的增加而增加,同时仍然允许穿隧电流。
4. 如权利要求 1 所述的隧道二极管,其特征在于,所述 n+ 掺杂层 (52),n- 掺杂层 (53) 和势垒层 (54) 包括极性材料。
5. 如权利要求 1 所述的隧道二极管,其特征在于,所述 n+ 掺杂层 (52),n- 掺杂层 (53) 和势垒层 (54) 包括来自 AlGa_N-Ga_N 材料系统的材料。
6. 如权利要求 1 所述的隧道二极管,其特征在于,所述 n+ 掺杂层 (52) 包括 Ga_N,所述 n- 掺杂层 (53) 包括 Ga_N,所述势垒层 (54) 包括 AlGa_N。
7. 如权利要求 1 所述的隧道二极管,其特征在于,还包括在所述势垒层和所述所述 n- 掺杂层 (123、124) 内的沟槽结构 (121),所述沟槽结构 (121) 包括相互平行、间距相等的多个沟槽 (122),所述多个沟槽被蚀刻穿过所述势垒层和所述 n- 掺杂层,至所述 n+ 掺杂层,其中相邻沟槽 (122) 间有平台区域 (126),每一所述沟槽 (122) 有相对的侧壁和一底表面,所述侧壁和底表面覆盖有一层绝缘层 (127),金属层 (128) 覆盖每一沟槽 (122) 内的所述绝缘层 (127) 并覆盖每一所述平台区域 (126),所述隧道二极管在反向偏压下经受一反向漏电电流,所述沟槽结构 (121) 降低了所述反向漏电电流量。

具有低正向电压及低反向电流操作的氮化镓基底的二极管

[0001] 本发明专利申请是国际申请号为 PCT/US02/21702, 国际申请日为 2002 年 7 月 8 日, 进入中国国家阶段的申请号为 02817912.9, 名称为“具有低正向电压及低反向电流操作的氮化镓基底的二极管”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及二极管, 更明确地说, 本发明涉及显示出改善的正向电压和反向漏电流特性的氮化镓基底的二极管。

背景技术

[0003] 整流二极管是低电压转换、电源供应、电源转换器和相关的应用中最广为使用的器件之一。要达到最有效率的操作, 最好能使二极管有低通态压 (0.1-0.2 伏特或更低)、低反向漏电流、高电压阻断能力 (20-30 伏特) 和高转换速度。

[0004] 最常见的二极管是由具有引入不纯成分的硅 (Si), 在一控制的模式下来调整该二极管的操作特性所制成的 pn 接面二极管。二极管也可以由例如砷化镓 (GaAs) 和碳化硅 (SiC) 等其他半导体材料来形成。接面二极管的一个缺点是在正向传导期间, 二极管的电力损失在大电流量时会变得相当大。

[0005] 肖特基整流二极管是一种特别形式的整流二极管, 其由一可整流的金属-半导体势垒区域所构成, 而非一 pn 接面。当金属接触半导体, 一势垒区域会被形成在两者间的接面处。当被正确地制造时, 该势垒区域会将电荷储存效应降到最小并藉由缩短关闭 (turn-off) 时间来促进二极管的转换 [L. P. Hunter, 半导体器件第 1-10 页 (1970 年) 的半导体材料、器件、和电路物理]。常见的肖特基二极管具有比 pn 接面二极管低的开启电压 (约 0.5 伏特), 并且二极管中的能量损失会对系统造成显著冲击的应用上 (例如转换电源供应内的输出整流器) 是较希望被使用的。

[0006] 传统的肖特基二极管将通态压降至低于 0.5 伏特的方法之一是降低它们的表面势垒电压。但是, 这会导致反向漏电流的增加。此外, 降低的势垒位能差会降低高温操作的品质并且导致反向偏压操作下的软性崩溃特性 (soft breakdown characteristics)。

[0007] 并且, 肖特基二极管通常是由砷化镓所制成, 这种材料的一个缺点是其费米能级 (或表面电势) 是不变的或固定在约 0.7 伏特左右。因此, 开启状态正向电压 (V_f) 是固定的。无论用来接触半导体的金属是何种型式, 表面电势都无法降低至低于 V_f 。

[0008] 近来, 硅基底的肖特基整流二极管已被发展成具有较低的 V_f 。(IXYS 公司, 硅基底电源肖特基整流器, 零件编号 DSS 20-0015B; 国际整流器, 硅基底肖特基整流器, 零件编号 11DQ09)。这些装置的肖特基势垒表面电势约在 0.4 伏特, 且具有约在 0.3-0.4 伏特的较低极限的 V_f 。在实际的效用以上以正规的使用钛的金属化方法处理时最低可达到的肖特基势垒电压在 0.4 伏特左右。这导致电流密度在 100 安培/平方厘米的约在 0.25 伏特的 V_f 。

[0009] 其他具有操作电流密度在 100 安培/平方厘米的约 0.25 伏特的 V_f 的混合结构 (具有 0.58 伏特的势垒位能) 也有披露。(M. Mehrotra, B. J. Baliga, 「沟槽金氧半势垒肖特基

(TMBS) 整流器], 国际电子器件会议, 1993 年)。这样的一个设计是具有用来修饰电场以最小化反向漏电流的 pn 接面的接面势垒控制的肖特基整流器。另一种装置是沟槽金氧半势垒整流器, 其中沟槽和金氧半势垒的功能是用来调整电场量变 (profile)。此装置的一个缺点是由 pn 接面所导致的电容。并且, 在以 III 族氮化物为基的装置内制造 pn 接面是有点困难的。

[0010] 氮化镓 (GaN) 材料系统已被使用在例如高效蓝光和绿光发光二极管和雷射的光电装置内, 以及例如高功率微波晶体的电子装置内。氮化镓有 3.4 电子伏特 (eV) 宽的直接能隙, 高电子速度 (2×10^7 厘米/秒), 高崩溃场 (breakdown field) (2×10^6 伏特/厘米) 和异质结构的可得性。

发明内容

[0011] 本发明提供具有低 V_f 的创新的以 III 族氮化物为基的二极管。创新的二极管的实施例也包括用来保持相对低的反向电流 (I_{rev}) 的结构。

[0012] 创新的二极管较佳者是由氮化镓材料系统形成, 并且不像由例如砷化镓的材料所制造的传统二极管一般, 氮化镓的费米能级 (或表面电势) 并不固定在其表面能态。在氮化镓肖特基二极管中, 金属-半导体接面的势垒高度是依据使用的金属类型而定。使用特别的金属将会降低二极管的肖特基势垒高度并使 V_f 落在 0.1-0.3 伏特的范围内。

[0013] 创新的氮化镓肖特基二极管通常包含一 n+ 的氮化镓层在衬底上, 以及一 n- 的氮化镓层在该 n+ 的氮化镓层的相对于该衬底的一侧上。电阻金属接点是包含在该 n+ 氮化镓层上, 与该 n- 氮化镓层隔离, 并且一肖特基金属层是被包含在该 n- 氮化镓层上。要被整流的讯号通过该肖特基金属和电阻金属接点施加至该二极管。当该肖特基金属被沉积在该 n- 氮化镓层上时, 一势垒电压便在该 n- 氮化镓在两者之间的表面上形成。该肖特基金属层有一功函数, 其决定了该势垒电压的高度。

[0014] 使用可以降低肖特基势垒电压的金属会导致低的 V_f , 但也会导致 I_{rev} 不想要的增加。本发明的第二实施例藉由在该二极管的表面上包含一沟槽结构来降低 I_{rev} 。本结构防止了该创新的二极管在反向偏压下电场的增加。因此, 肖特基势垒电压降低了, 因而有助于降低 I_{rev} 。

[0015] 该沟槽结构较佳者是形成在该 n- 氮化镓层上, 而且含有一些在相邻沟槽之间具有平台区域的互相平行、间距相等的沟槽。每一个沟槽的侧壁和底表面上都有一绝缘层。一连续的肖特基金属层是在该沟槽结构上, 覆盖该绝缘层和沟槽之间的平台。或者, 每一个沟槽的侧壁和底表面可以用金属而非绝缘体来覆盖, 并且该金属与该肖特基金属是电隔离的。该平台区域选用的掺杂浓度和宽度可在该金属-半导体接点下产生想要的电场重新分配。

[0016] 本发明的第三实施例提供一具有因电子穿隧过 (而非越过) 该势垒电压而形成低 V_f 的氮化镓隧道二极管 (tunnel diode)。本实施例具有一衬底, 一 n+ 氮化镓层夹在该衬底和一 n- 氮化镓层之间。一氮化铝镓 (AlGaN) 势垒层被包含在与该 n+ 氮化镓层相对的该 n- 氮化镓层上。一电阻接点被包含在该 n+ 氮化镓层上, 并且一顶部接点是被包含在该氮化铝镓层上。待整流的讯号被施加在该电阻和顶部接点之间。

[0017] 在该势垒层不同的厚度和铝摩尔系数导致不同的正向和反向操作特性下, 该势垒

层的设计可将正向穿隧可能性最大化。在一特定的厚度和铝摩尔系数下,该二极管有低的 V_f 和低的 I_{rev} 。使用较厚的势垒层和 / 或增加铝克分子浓度则降低了 V_f 并增加了 I_{rev} 。当厚度或克分子比进一步增加,该创新的二极管会呈现电阻操作特性,或变成一传统的肖特基二极管。

[0018] 本发明的这些和其他进一步的特色和优点由如下的详细说明,与附随的图示一起,对那些熟知技艺者来说会变得显而易见,其中:

附图说明

[0019] 图 1 是本发明的一氮化镓肖特基二极管实施例的剖面图;

[0020] 图 2 是一图表,其显示一般金属的功函数与其原子序的关系;

[0021] 图 3 是图 1 中所示的二极管的能带图;

[0022] 图 4 是图 1 的氮化镓肖特基二极管的另一个实施例的剖面图,具有一沟槽结构以降低反向漏电电流;

[0023] 图 5 是本发明的一隧道二极管实施例的剖面图;

[0024] 图 6 是图 5 的隧道二极管具有一 22 埃厚度和 30% 铝摩尔系数的势垒层的能带图;

[0025] 图 7 是一图表,其显示具有图 6 的能带图的该创新的隧道二极管的电压 / 电流特性;

[0026] 图 8 是图 5 的隧道二极管具有一 30 埃厚度和 30% 铝摩尔系数的势垒层的能带图;

[0027] 图 9 是一图表,其显示具有图 8 的能带图的该创新的隧道二极管的电压 / 电流特性;

[0028] 图 10 是图 5 的隧道二极管具有一 38 埃厚度和 30% 铝摩尔系数的势垒层的能带图;

[0029] 图 11 是一图表,其显示具有图 10 的能带图的该创新的隧道二极管的电压 / 电流特性;及

[0030] 图 12 是本发明的一隧道二极管实施例的剖面图,具有一沟槽结构以降低反向漏电电流。

[0031] 较佳实施例的描述

[0032] 图 1 显示一根据本发明所制造的具有降低的金属至半导体势垒电压的肖特基二极管 10。该创新的二极管是由以 III 族氮化物为基的材料系统或其他费米能级不固定在其表面能态的材料系统所形成。III 族氮化物是指那些由氮和周期表的 III 族内的元素,通常是铝 (Al)、镓 (Ga) 和铟 (In) 所形成的半导体化合物。该词也指三元 (ternary) 和特 (tertiary) 化合物,例如氮化铝镓和氮化铝铟镓 (AlInGaN)。对于该创新的二极管来说较佳的材料是氮化镓和氮化铝镓。

[0033] 该创新的二极管 10 含有一衬底 11,其若不是蓝宝石 (Al_2O_3)、硅,就是碳化硅,且较佳的衬底是一 4H 多型结构 (polytype) 的碳化硅。其他多型结构的碳化硅也可以被使用,包含 3C、6H 和 15R 多型结构。一 $Al_xGa_{1-x}N$ 缓冲层 12 (其中 x 在 0 和 1 之间) 被包含在衬底 11 上,并在碳化硅衬底和二极管 10 的其他的结构之间提供一适当的晶格结构过渡。

[0034] 碳化硅对 III 族氮化物有比蓝宝石更为接近的晶格结构匹配并使 III 族氮化物薄膜具有较高的品质。碳化硅也有非常高的热传导性以至于在碳化硅上的 III 族氮化物元

件的总输出功率不会被衬底的散热所限制（如一些在蓝宝石上所形成的元件的情况）。并且，碳化硅衬底的实用性为元件隔离和降低的寄生电容提供了空间，使得元件商业化成为可能。碳化硅衬底可自北卡罗莱纳州（North Carolina）达拉谟（Durham）的克里研究公司（Cree Research, Inc.）取得，其制造方法在科学文摘（scientific literature）以及美国专利第 34,861,4,946,547 和 5,200,022 中被提到。

[0035] 该创新的二极管 10 在衬底 11 上有一 n+ 氮化镓层 12，以及一 n- 氮化镓层 13 在该 n+ 氮化镓层 12 相对衬底 11 的另一侧上。n+ 层 12 被高度掺杂至浓度为至少每立方厘米 (cm^3) 10^{18} ，而较佳浓度是这个数目的 5 至 10 倍。n- 层 13 有较低的掺杂浓度，但仍然是 n- 型并且杂质浓度最好是在每立方厘米 5×10^{14} 至 5×10^{17} 的范围内。n- 层 13 的厚度最好为 0.5 至 1 微米，且 n+ 层 12 的厚度为 0.1 至 1.5 微米，虽然其他厚度也可以使用。

[0036] n- 氮化镓层 13 的某些部分被蚀刻至 n+ 层的位置，并且电阻金属接点 14a 和 14b 是被包含在蚀刻区域内的 n+ 氮化镓层上，以使其与 n- 氮化镓层 13 电隔离。在另一个实施例中，一或多个电阻接点可以被包含在没有被 n+ 氮化镓层 12 所覆盖的衬底的表面上。该实施例对并非 n 型的衬底特别适用。一肖特基金属层 16 被包含在 n- 氮化镓层 13 相对 n+ 氮化镓层 12 的一侧上。

[0037] 金属的功函数是在一真空中自金属除去一电子所需要的能量，而材料的费米能级是有 50% 可能性找到带电载子的能级。半导体的电子亲和力是真空能级和导带能级之间的差异。

[0038] 如上所述，氮化镓的表面费米能级是不固定的，因此，有不同功函数的肖特基金属会导致不同的势垒电压。势垒电压由以下公式估计：

[0039] 势垒高度 = 功函数 - 半导体的电子亲和力

[0040] 图 2 是一图表 20，显示了真空内各种金属表面的金属功函数 21 与个别金属原子序 22 之间的关系。选择的金属应该具有低的肖特基势垒电压和低的 V_f ，但要高到足以使反向电流维持在低的程度。例如，若被选择的金属具有与半导体的电子亲和力相当的功函数，势垒电压则会接近零。这会导致 V_f 接近零，同时也增加了二极管的反向电流，使得该二极管在本质上成为电阻的并且无法提供整流的作用。

[0041] 可以使用许多不同的金属以达到低的势垒高度，较佳的金属包括钛（4.6 功函数）23、铬（4.7）24、铌（4.3）25、锡（4.4）26、钨（4.6）27 和钽（4.3）28。铬 24 导致可接受的势垒电压并且可藉由传统的方法轻易地沉积。

[0042] 图 3 显示了一从该创新的肖特基势垒二极管穿过的一垂直线上得到的典型的能带图 30。该图显示了肖特基金属 31、氮化镓半导体层 32 和肖特基势垒电压 33 的能级。

[0043] 在用肖特基金属接点氮化镓半导体材料之前，两者的费米能级是不同的。一旦发生接触且两种材料变成一单一热力系统后，该系统的单一的费米能级就会产生。这是藉由电子从具有较高的费米能级的半导体材料流动到具有较低的费米能级的肖特基金属所导致。半导体的电子藉由流动至金属来降低他们的能量。这使得半导体的离子化施体能级数稍微超过其自由电子数，因此该半导体会带净正电荷。自半导体流至金属内的电子致使该金属具有负静电荷。半导体的能级因此被降低，而金属的则提高了。此电子表面电荷的存在以及半导体的非中和的电荷离子化施体能级的存在产生形成势垒电压的偶极层。

[0044] 在操作上，待由该创新的肖特基二极管 10 整流的讯号通过肖特基金属层 16 和电

阻接点 14a 和 14b 被施加。讯号整流起因于 n- 氮化镓层 13 表面的势垒电压的存在,其抑制了半导体内电荷粒子的流动。当肖特基金属层 16 相对于半导体是正的时(正向偏压),势垒的半导体侧上的能量会提高。然后,导带上大量的自由电子于是可以流动至金属内。半导体侧的能量升得越高,势垒顶部上面的一能量处电子就越多,直到最后,在大的偏压电压下,半导体内自由电子的整个分布可以超越势垒。电压对电流的特性在本质上成为电阻。势垒越低,需要超越势垒的 V_f 就越低。

[0045] 但是,如上所讨论,降低势垒能级也会增加反向漏电电流。当半导体相对于金属是正的时(反向偏压),势垒的半导体侧相对于金属侧是低的,以至于电子能够自由流动通过势垒的顶部无阻碍地到达半导体。在势垒顶部上方的金属中存在的电子数量与半导体内的电子总数比较起来通常是非常少的。结果导致非常低的电流特性。当电压大到足够可以切断所有流动的电子时,电流会饱和。势垒电压越低,需要用来使电流饱和的反向偏压就越低。

[0046] 图 4 显示了该创新的氮化镓肖特基二极管 40 的另一个实施例,其利用降低势垒高度来处理反向电流增加的问题。二极管 40 与上面的实施例是相似的,具有一相似的衬底 41、n+ 氮化镓层 42、和电阻金属接点 43a 和 43b,它们也可以被包含在衬底的表面上。其也具有一 n- 氮化镓层 44,但是此层并非是平面的,其具有在 n- 氮化镓层内包含沟槽 46 的二维沟槽结构 45。较佳的沟槽结构 45 包含互相平行且间距相等并具有保留在相邻沟槽之间的平台区域 49 的沟槽 46。每一沟槽 46 都有一覆盖其侧壁 46a 和底表面 46b 的绝缘层 47。许多不同的绝缘材料可以被使用,较佳的材料是氮化硅 (SiN)。一肖特基金属层 48 被包含在整个沟槽结构 45 上方,将绝缘层夹在肖特基金属和沟槽侧壁及底表面之间,并覆盖住平台区域 49。该平台区域在肖特基金属和 n- 氮化镓层 44 之间提供直接接触区域。或者,每一个沟槽可以用金属代替绝缘体来覆盖。在此实施例中,肖特基金属应该是与沟槽金属绝缘和 / 或隔离开来。

[0047] 平台区域 49 具有被选择以在平台的金属 - 半导体接面下产生电场重新分配的掺杂浓度和宽度。这导致二极管电场的峰值被推移开肖特基势垒并且强度减少。这在减少势垒降低的同时增加了反向偏压电压,其帮助防止反向漏电电流急速增加。

[0048] 此重新分配的发生是因为在平台 49 内的电荷与在顶表面上的肖特基金属层 48 以及和在沟槽侧壁 46a 和底表面 46b 上的金属的耦合。然后,该损耗从顶表面(如在一传统的肖特基整流器内)和沟槽侧壁 46a 延伸,从侧壁损耗传导区域。该侧壁损耗降低了肖特基金属层 48 下的电场,并且也可以被想成是『去掉』了反向漏电电流。沟槽结构 45 将该反向漏电电流保持在相对低的程度,甚至包括低的势垒电压和低的 V_f 。

[0049] 较佳的沟槽结构 45 具有宽度为该肖特基势垒区域宽度的一至两倍的沟槽 46。因此,若势垒区域是 0.7 至 1.0 微米,沟槽宽度可以在 0.7 至 2 微米的范围内。

[0050] 上述的二极管 10 和 40 是利用已知技术来制造。它们的 n+ 和 n- 氮化镓层藉由已知的沉积技术沉积在衬底上,包括但不限于有机金属化学气相沉积 (MOCVD)。对于二极管 10, n- 氮化镓层 13 藉由已知的蚀刻技术蚀刻至 n+ 氮化镓层 12 的位置,例如化学、反应离子蚀刻 (RIE)、或离子研磨蚀刻 (ion mill etching)。肖特基金属层 16 和电阻金属层 14a 和 14b 是藉由标准金属化技术形成在该二极管 10 上。

[0051] 至于二极管 40,在 n+ 和 n- 层 42 和 44 被沉积在衬底上之后,n- 氮化镓层 44 藉由

化学或离子研磨蚀刻来蚀刻以形成沟槽 46。n- 氮化镓层 44 为了电阻金属 43a 和 43b 进一步被蚀刻至 n+ 氮化镓层 42 的位置。然后,氮化硅绝缘层 47 被沉积在整个沟槽结构 45 的上方,且将该氮化硅层在平台 49 的部分蚀刻掉。作为最后一个步骤,一连续的肖特基金属层 48 利用标准金属化技术被形成在沟槽结构 45 的上方,覆盖绝缘层 47 和暴露出来的沟槽平台 49。电阻金属也利用标准金属化技术被形成在 n+ 氮化镓层 42 上。在以金属覆盖沟槽的沟槽二极管的实施例中,该金属也可以利用标准金属化技术来沉积。

[0052] 隧道二极管

[0053] 图 5 显示了该创新的二极管的另一个实施例 50,其中 V_f 是低的,因为在正向偏压下电子穿隧通过势垒区域。藉由穿隧通过该势垒,电子不需要藉由传统热电子放射越过势垒的方式来通过该势垒。

[0054] 就像图 1 和图 4 中的实施例,该创新的隧道二极管 50 是由以 III 族氮化物为基的材料系统所形成,并且较佳者是由氮化镓、氮化铝镓、或氮化镓形成,但是其他的材料系统也可以使用。极性和非极性材料的组成物可以被使用,包括极性材料在极性材料上和极性材料在非极性材料上。这些材料的一些例子包括复合极性氧化物,例如钛酸锶、铈酸锂、钛酸铅锆,以及非复合 / 二元氧化物,例如氧化锌。材料可以被用在硅或任何硅 / 介电质堆叠,只要穿隧电流是许可的。

[0055] 该二极管 50 具有一个若不是由蓝宝石、碳化硅 (SiC),就是由硅所组成的衬底 51,其中基于上面所述的原因,碳化硅是较佳的衬底材料。该衬底上具有一 n+ 氮化镓层 52,在 n+ 氮化镓层 52 相对衬底 51 的一侧上具有一 n- 氮化镓层 53。一氮化铝镓势垒层 54 被包含在 n- 氮化镓层相对 n+ 氮化镓模板层 52 的一侧上。在二极管 50 的边缘上,势垒层 54 和 n- 氮化镓层 53 被向下蚀刻至 n+ 氮化镓层 52 处,并且电阻金属接点 55a 和 55b 被包含在 n+ 氮化镓层 52 上的蚀刻区域内。如前面的结构般,该电阻接点也可以被包含在衬底的表面上。一金属接点层 56 被包含在氮化铝镓势垒层 54 上相对 n- 氮化镓层 53 的一侧上。待整流的讯号通过该电阻接点 55a 和 55b 以及顶部金属接点 56 被施加。

[0056] 该氮化铝镓势垒层 54 起穿隧势垒的作用。通过势垒的隧道效应是一个量子力学的现象,并且可以使势垒层 54 的厚度和铝摩尔系数两者皆不同,使正向穿隧性能达到最大。氮化铝镓 - 氮化镓材料系统具有内嵌的压电应力,其导致压电偶极。通常压电应力和诱导电荷两者会随着势垒层的厚度而增加。在正向偏压时,来自该压电电荷的电子加强了穿隧,因为它们对传导来说是有助益的,以至于可以发生穿隧的能态数目增加了。因此,该创新的隧道二极管可以由其他显示此类型压电电荷的极性材料来制造。

[0057] 但是,在反向偏压下,压电电荷也容许反向漏电电流增加。势垒层的厚度越厚或增加的铝摩尔系数越多,会导致 V_f 降低,但是也导致 I_{rev} 增加。因此,该势垒层的一特定的铝摩尔系数具有一较佳的势垒层厚度,可以达到低 V_f 和相当低的 I_{rev} 的操作特性。

[0058] 图 6-11 显示该创新的二极管在具有 30% 的铝的三种不同的氮化铝镓势垒层厚度下的整流特性。每一个厚度都有一能带图和一相应的电压与电流的关系图。

[0059] 图 6 显示该隧道二极管 50 具有 22 埃厚的势垒层 54 的能带图 60。图中示出在势垒层 63 和 n- 氮化镓半导体层 62 之间的接面处的典型的势垒电压 61。顶部接点金属 64 是在势垒层 63 相对半导体层的一侧上。图 7 显示一图表 70,该图绘制出图 6 中的二极管相应的电流对电压特性。其具有一约在 0.1 伏特的 V_f 71 和低反向电流 (I_{rev}) 72。

[0060] 图 8 显示相同的隧道二极管具有 30 埃厚的势垒层的能带图 80。增加的势垒层厚度增加了势垒区域的压电电荷,从而增强穿透势垒的隧道效应。这使得在势垒层 82 和 n-氮化镓层 83 之间的接面处的势垒电压 81 变平。当施加正向偏压时电荷不需要克服该势垒,大幅地降低了二极管的 V_f 。但是,变平的势垒也容许了反向漏电电流 (I_{rev}) 的增加。图 9 是一图表 90,它显示 V_f 91 比图 7 中的 V_f 要低。并且, I_{rev} 92 与图 7 中的 I_{rev} 相较是增加的。

[0061] 图 10 显示相同的隧道二极管具有 38 埃厚的势垒层的能带图 100。再一次,增加的势垒层厚度增加了势垒区域的压电电荷。在此厚度下,在势垒层 102 和 n-氮化镓层 103 之间的势垒电压 101 缩小接近该势垒层和 n-氮化镓层之间接面处,这导致对于正向和反向偏压两者的电荷来说皆没有势垒。图 11 显示一相应的电流对电压特性的图表 110。二极管 100 在正向和反向偏压下经受了直接的正向和反向电流,使得该二极管本质上变为电阻。

[0062] 在势垒层中的铝克分子浓度不同的情况下,要达到图 6 至 11 中所示的特性时,该势垒层的厚度就会不同。

[0063] 图 12 显示具有一沟槽结构 121 以降低漏电电流的创新的隧道二极管 120。如上面的肖特基二极管 40,该沟槽结构包含一些互相平行、间距相等的沟槽 122,但是在这个隧道二极管中,它们被蚀刻穿过氮化铝镓势垒层 123 和 n-氮化镓层 124,至 n+ 氮化镓层 125 (AP 氮化镓模板)。在相邻的沟槽 122 之间有平台区域 126。沟槽侧壁和底表面具有一绝缘层 127,并有顶部肖特基金属层 128 覆盖住整个沟槽结构 121。该沟槽结构的作用方式与上述的实施例相同,降低了反向电流。这对具有一在正向一电压下会产生直接正向电流的势垒层厚度的隧道二极管来说是有用的。藉由使用沟槽结构,该二极管也可以有改善的反向漏电电流。也如同上述般,沟槽侧壁和底表面也可以被一金属覆盖,只要其与该肖特基金属层 128 隔离开来。

[0064] 虽然已参照特定的较佳实施样态对本发明作了相当详细的描述,其他的变型是可能的。因此,附加的权项的精神和范围不应该被限制在说明书内所描述的较佳实施样态。

[0065] 图中标号的简单说明

[0066]	10	肖特基二极管
[0067]	11, 41, 51	衬底
[0068]	12, 42, 52, 125	n+ 氧化镓层
[0069]	13, 44, 53, 62, 83, 103, 124	n- 氧化镓层
[0070]	14a, 14b, 43a, 43b, 55a, 55b	电阻金属接点
[0071]	16, 48, 128	肖特基金属层
[0072]	20, 70, 90, 110	图表
[0073]	21	金属功函数
[0074]	22	金属原子序
[0075]	23	钛
[0076]	24	铬
[0077]	25	铌
[0078]	26	锡
[0079]	27	钨
[0080]	28	钽

[0081]	30, 60, 80, 100	能带图
[0082]	31	肖特基金属
[0083]	32	氧化镓半导体层
[0084]	33, 61, 81, 101	肖特基势垒电压
[0085]	40	氧化镓肖特基二极管
[0086]	45, 121	沟槽结构
[0087]	46, 122	沟槽
[0088]	46a	侧壁
[0089]	46b	底表面
[0090]	47, 127	绝缘层
[0091]	49, 126	平台区域
[0092]	50, 120	隧道二极管
[0093]	54, 63, 82, 102, 123	势垒层
[0094]	56	金属接点层
[0095]	64	顶部接点金属
[0096]	71, 91	通态压
[0097]	72, 92	反向电流

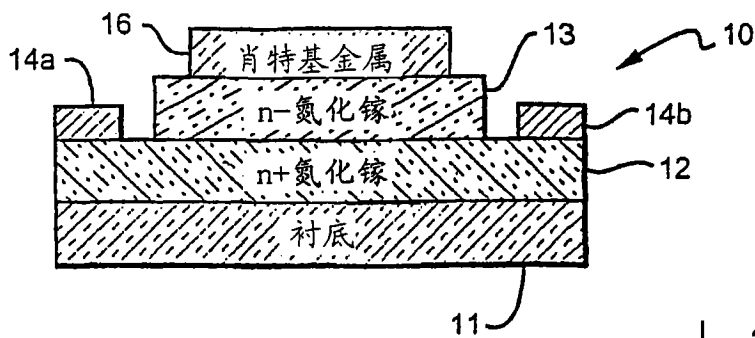


图 1

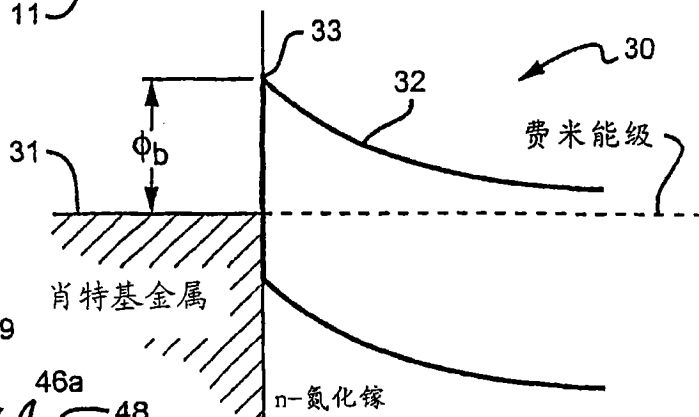


图 3

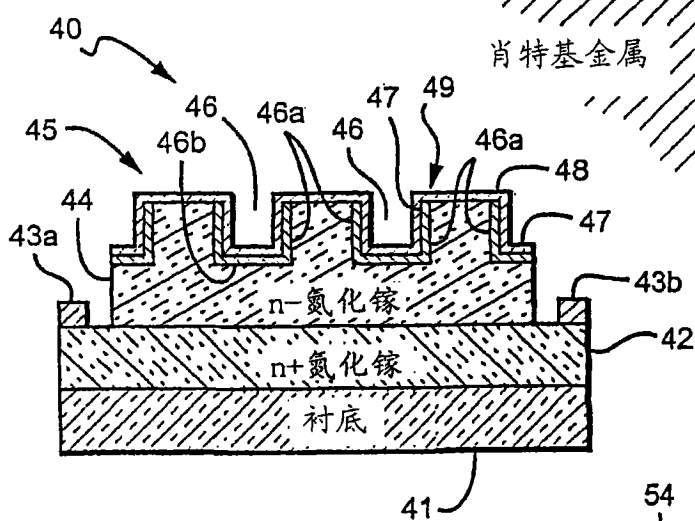


图 4

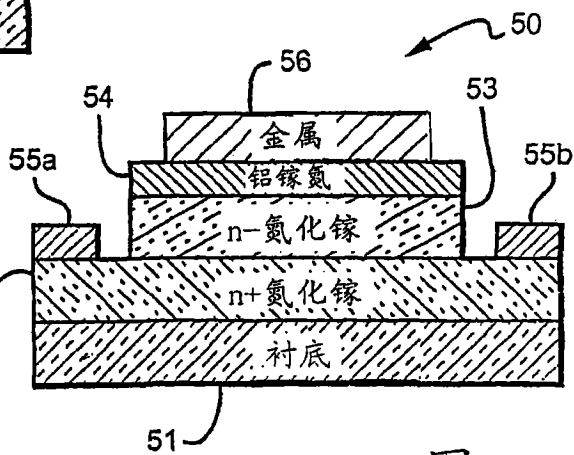


图 5

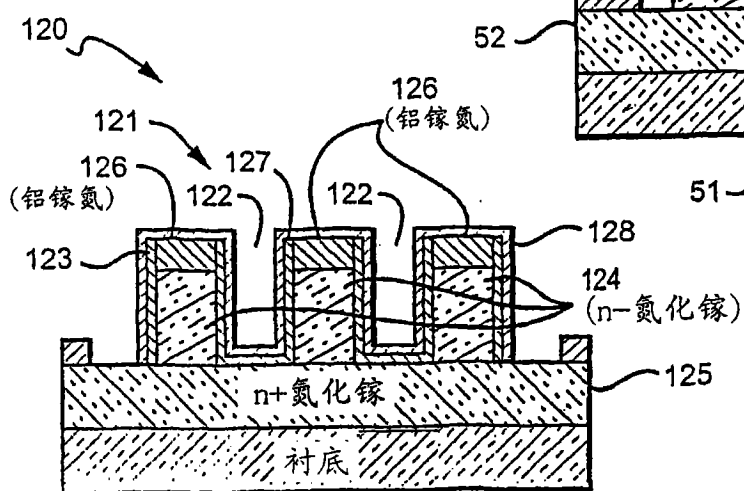


图 12

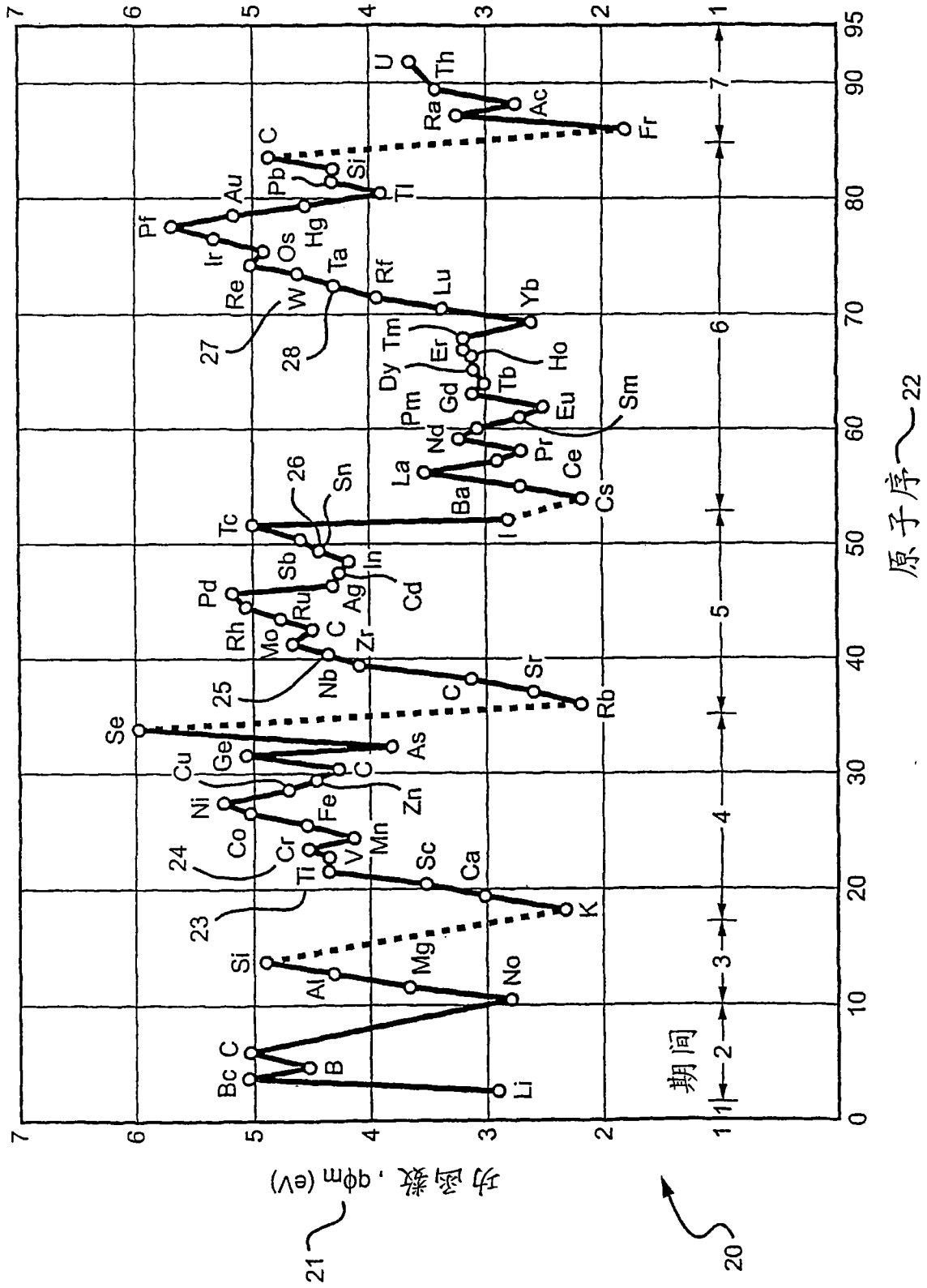


图 2

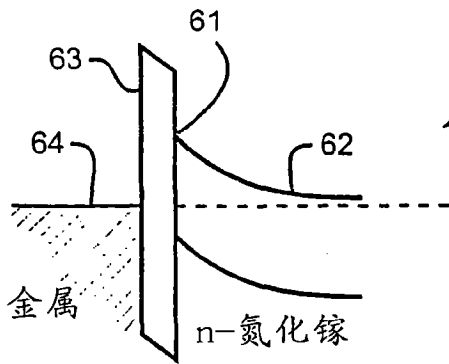


图 6

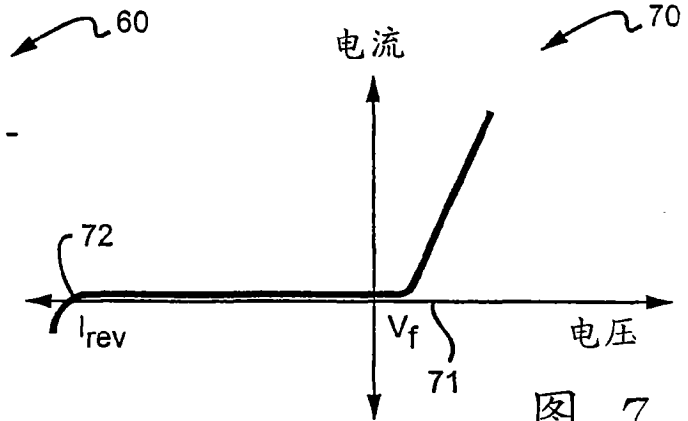


图 7

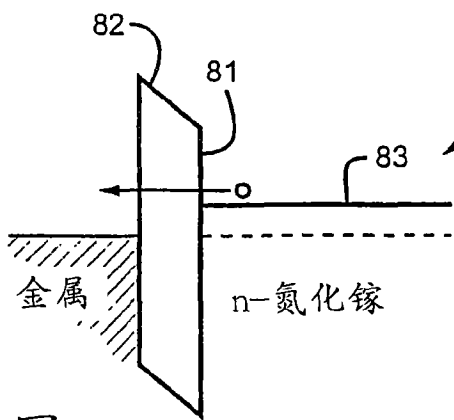


图 8

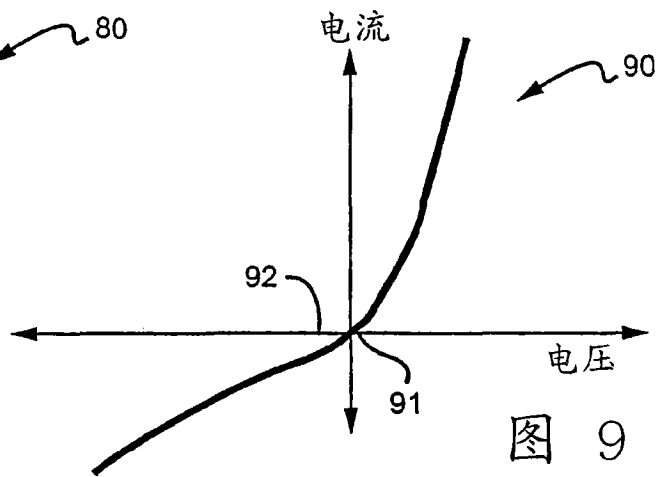


图 9

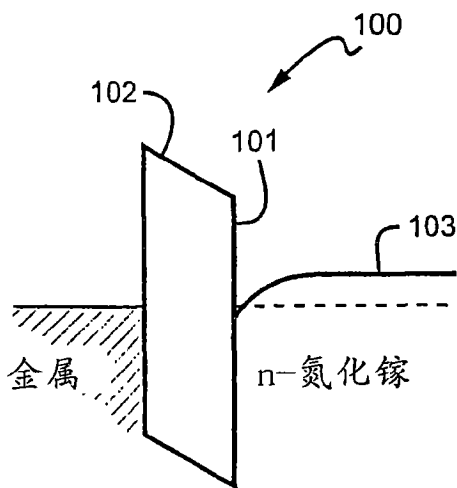


图 10

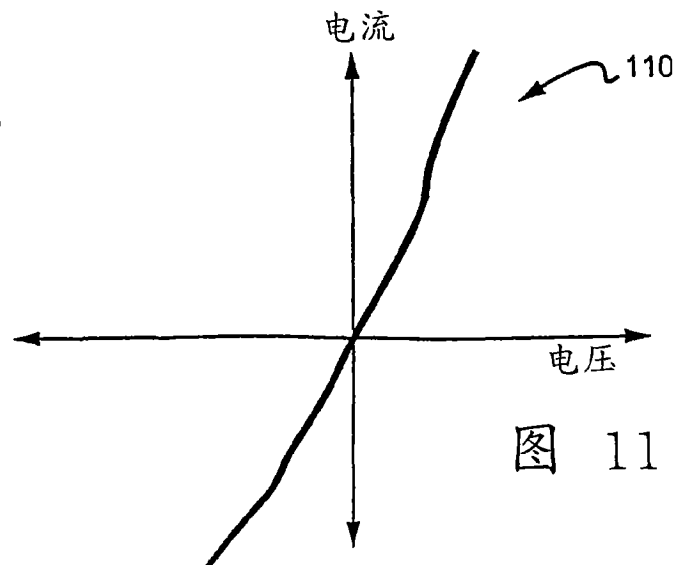


图 11