(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104051507 B
(45)授权公告日 2017.08.11

(21)申请号 201410046657.1

(22)申请日 2014.02.10

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104051507 A

(43)申请公布日 2014.09.17

(30)优先权数据
2013-048719 2013.03.12 JP

(73)专利权人 丰田合成株式会社
地址 日本爱知县

(72)发明人 小嵜正芳 藤井隆弘

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 顾晋伟 吴鹏章

(51)Int.Cl.
H01L 29/12(2006.01)
H01L 21/205(2006.01)

(56)对比文件
US 2007032046 A1,2007.02.08,
US 2012032215 A1,2012.02.09,
JP 特开2006-193348 A,2006.07.27,

审查员 颜庙青

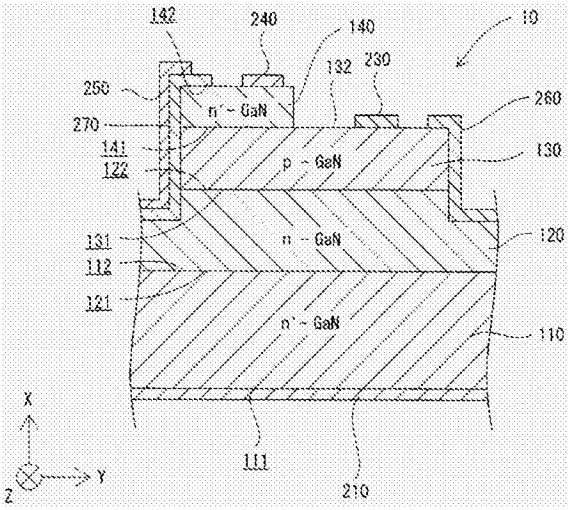
权利要求书1页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

半导体装置及其制造方法

(57)摘要

一种半导体装置，包括：直径为2英寸或更大的半导体衬底；以及堆叠在半导体衬底上的使用包含氮化镓(GaN)的材料的N型半导体层。在N型半导体层区域的面上的多个位置处，碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$。中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。



CN 104051507 B

1.一种半导体装置,包括:

直径为2英寸或更大的半导体衬底;以及

使用包含氮化镓(GaN)的材料堆叠在所述半导体衬底上的N型半导体层,

形成在所述N型半导体层上的P型半导体层;

其中在所述N型半导体层区域的面上的多个位置处,碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$,以及所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$,

其中所述N型半导体层包含硅作为施主,在所述N型半导体层区域的所述面上的多个位置处,所述硅的浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.4\times10^{16}cm^{-3}$,以及所述硅的浓度的多个测量值的中值与所述硅的浓度的其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$,并且

其中所述P型半导体层中碳的浓度是所述N型半导体层中碳的浓度的五倍或更多倍。

2.根据权利要求1所述的半导体装置,其中所述衬底和所述N型半导体层分别连接有电极。

3.根据权利要求1所述的半导体装置,还包括:

堆叠在所述P型半导体层上的附加N型半导体层;

其中所述衬底连接有漏电极,

所述附加N型半导体层连接有源电极,并且

所述P型半导体层上的绝缘层连接有栅电极。

4.一种制造根据权利要求1至3中任一项所述的半导体装置的方法,包括:

使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料通过晶体生长形成所述N型半导体层,并且

其中所述第V族原料与所述第III族原料的摩尔比V/III在2100至4000的范围内。

5.一种制造根据权利要求1至3中任一项所述的半导体装置的方法,所述半导体装置具有使用包含氮化镓(GaN)的材料堆叠在半导体衬底上的N型半导体层,所述方法包括:

第一步:将多个所述衬底布置在直径大于2英寸的区域中;以及

第二步:使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料,通过晶体生长形成所述N型半导体层,

其中将所述第二步调节为使得所述第V族原料与所述第III族原料的摩尔比V/III在2100至4000的范围内,而且还使得在所述N型半导体层区域的面上的多个位置处,碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$,并且所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

6.根据权利要求5所述的方法,其中将所述第二步调节为使得包含硅(Si)作为施主,而且还使得在所述N型半导体层区域的面上的多个位置处,所述施主的浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.4\times10^{16}cm^{-3}$,并且所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

半导体装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种半导体装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 作为用于控制电功率的半导体装置(半导体器件和半导体元件),氮化镓(GaN)基半导体装置是已知的,在该装置中,N型半导体层堆叠在半导体衬底上。N型半导体层包含作为主材料的氮化镓(GaN)和作为施主(掺杂剂或杂质)的硅(Si)。作为这样的N型半导体层,已知其中为了提高耐受电压的主要目的,n^--GaN层具有约$1\times10^{16}cm^{-3}$的低施主浓度(例如,参见专利文献1)。

[0003] 一般而言,这样的N型半导体层通过金属有机气相沉积(MOCVD)法制造。在MOCVD中,使用三甲基镓(TMGa:$(CH_3)_3Ga$)作为镓(Ga)源。使用氨(NH_3)作为氮源。使用氢作为载气。使用硅烷作为N型掺杂剂源。

[0004] [专利文献1]JP-A-2011-35066A

[0005] 当N型半导体层具有约$1\times10^{16}cm^{-3}$的低施主浓度时,N型半导体层可能容易受其他杂质的影响以导致施主浓度的非均匀分布,使得难以在衬底上实现均匀的电性能。施主浓度的所述变化影响与其他半导体层和电极的界面的耐受电压。特别是,当通过气相沉积在具有大于2英寸的大直径的半导体衬底上形成N型半导体层时,N型半导体层容易受杂质(例如,碳)影响。因此,存在如下问题:当从半导体晶片中切出多个芯片时,容易在各个芯片中造成产品质量的变化。

发明内容

[0006] 本发明旨在解决以上问题,因此,本发明可以以如下形式实施。

[0007] (1)根据本发明的一个方面,半导体装置包括:直径为2英寸或更大的半导体衬底;以及堆叠在所述半导体衬底上的使用包含氮化镓(GaN)的材料的N型半导体层。在所述N型半导体层区域的面上的多个位置处,碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$,并且所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

[0008] N型半导体层的碳(C)具有补偿和减少N型半导体层的施主的作用。根据以上形式的半导体装置,由于碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$,并且所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$,所以所述碳(C)的浓度使得N型半导体层区域中的施主浓度能够是均匀的,而不是通过碳(C)不均匀地补偿施主。因此,当从大于2英寸的衬底切出多个芯片以形成半导体装置时,在每个所得的半导体装置中施主的作用可以是稳定且均匀的。

[0009] (2)在(1)所述的构造中,所述N型半导体层包含硅作为施主,在N型半导体层区域的面上的多个位置处,施主浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.4\times10^{16}cm^{-3}$,并且所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

[0010] 如上所述,如果施主浓度较低,则施主可能容易受碳(C)浓度变化的影响。在本形

式中，由于碳(C)的浓度降低，所以可以降低施主作用的变化。

[0011] (3)在(1)或(2)所述的半导体装置中，所述衬底和所述N型半导体层分别连接有电极。

[0012] (4)在(1)或(2)所述的半导体装置中，还包括：堆叠在N型半导体层上的P型半导体层，以及堆叠在P型半导体层上的附加的N型半导体层。所述衬底连接有漏电极，所述附加的N型半导体层连接有源电极，并且所述P型半导体层上的绝缘层连接有栅电极。

[0013] 作为半导体装置的各方面，可以采用各种构造。

[0014] (5)根据本发明的另一方面，制造根据(1)至(4)中任一项所述的半导体装置的方法包括：使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料，通过晶体生长形成N型半导体层。所述第V族原料与所述第III族原料的摩尔比V/III在2100至4000的范围内。

[0015] 关于(5)的构造，N型半导体层通过使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料通过晶体生长形成。通过使用这样的V/III，碳(C)的浓度可以设置在如上所述的范围内。同时，在下面的描述中，V/III表示第V族原料与第III族原料的摩尔比。

[0016] (6)根据本发明的另一方面，一种制造具有堆叠在半导体衬底上的使用包含氮化镓(GaN)的材料的N型半导体层的半导体装置的方法包括：第一步，将多个衬底布置在直径大于2英寸的区域中；以及第二步，使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料通过晶体生长形成N型半导体层。将第二步调节为使得第V族原料与第III族原料的摩尔比V/III在2100至4000的范围内，并且还使得在N型半导体层区域的面上的多个位置处，碳(C)浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$，以及所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

[0017] (7)在(6)的构造中，将第二步调整为使得包含硅(Si)作为施主，而且还使得在N型半导体层区域的面上的多个位置处，施主浓度的多个测量值的中值等于或低于$1.4\times10^{16}cm^{-3}$，以及所述中值与其他测量值之差的最大值低于$5\times10^{15}cm^{-3}$。

[0018] 关于构造(7)，将多个衬底布置在大于2英寸的区域中，并且在该状态下，通过晶体生长在衬底上形成N型半导体层。在这种形式中，可以在大于2英寸的区域中在多个衬底上同时形成N型半导体层。

[0019] 在其中堆叠了添加有低浓度的施主的N型半导体层构造中，本发明使得施主的浓度在N型半导体层的面上的整个宽范围内可以是均匀地，即使在大于2英寸的大半导体衬底上也是如此。

附图说明

[0020] 图1为示意性示出半导体装置的构造的截面图。

[0021] 图2为示出半导体装置的制造方法的流程图。

[0022] 图3为说明在反应室中布置有多个衬底的状态的说明图。

[0023] 图4为说明第一N型半导体层的面上的碳(C)浓度与V/III的关系的图。

[0024] 图5为说明碳(C)浓度的中值与其他测量值之间的浓度差与V/III的关系的说明图。

[0025] 图6为说明第一N型半导体层的面上的施主浓度与V/III的关系的图。

[0026] 图7为说明施主浓度的中值与其他测量值之间的浓度差与V/III的关系的说明图。

[0027] 图8为说明P型半导体层的沟道迁移率μ与碳(C)浓度的关系的图。

[0028] 图9为说明碳(C)浓度与V/III的关系的图。

[0029] 图10为示出根据其他实施方案的半导体装置的截面图。

具体实施方式

[0030] A.实施方案

[0031] (1)半导体装置10的示意性构造

[0032] 图1为示意性示出半导体装置10的构造的截面图。半导体装置10为使用氮化镓形成的GaN基半导体装置。在本文中提到的半导体装置等同于包括根据实施方案的半导体晶片和外围部件的半导体装置。此外,图1是为了便于理解半导体装置10的技术特征而示出的图,而无意于精确描绘半导体装置10的每个部分的尺寸。在本实施方案中,使用半导体装置10来控制电功率,因此将半导体装置10称为功率器件,也就是所谓的垂直MOSFET(金属氧化物半导体场效应晶体管)。

[0033] 半导体装置10为包括衬底110、第一N型半导体层120、P型半导体层130和第二N型半导体层140的NPN型半导体装置,并且具有如下结构:其中利用金属有机化学气相沉积(MOCVD)法通过晶体生长来在衬底110上按此顺序堆叠第一N型半导体层120、P型半导体层130和第二N型半导体层140。

[0034] 在图1中,示出了彼此垂直的XYZ轴。图1中的XYZ轴中的X轴为沿着堆叠方向的轴,其中在衬底110上堆叠第一N型半导体层120。沿着X轴的X轴方向的+X轴方向为从衬底110指向第一N型半导体层120的方向,-X轴方向为与+X轴方向相反的方向。图1中XYZ轴中的Y轴和Z轴为垂直于X轴的轴,而且Y轴和Z轴彼此垂直。沿着Y轴的Y轴方向的+Y轴方向为在图1的纸平面中从左侧指向右侧的方向,-Y轴方向为与+Y轴方向相反的方向。沿着Z轴的Z轴方向的-Z轴方向为相对于图1的纸平面从背面指向正面的方向,+Z轴方向为与-Z轴方向相反的方向。

[0035] (2)半导体装置10的每个部分的构造

[0036] (2)-1衬底110

[0037] 衬底110具有沿着平行于Y轴和Z轴的平面延伸的板状。在本实施方案中,衬底110主要包含氮化镓(GaN),并且还以比第一N型半导体层120中的浓度更高的浓度包含硅(Si)作为施主。在本实施方案中,在衬底110的整个区域上硅(Si)的平均浓度等于或高于$1.0\times10^{18}cm^{-3}$。衬底110可以为配置为固定和支承半导体装置10的每个半导体层的部分,在其他实施方案中,还可以为主要包含例如硅(Si)的部分。

[0038] 衬底110具有界面111和界面112。衬底110的界面111为平行于Y轴和Z轴并且面向-X轴方向的表面。衬底110的界面112为平行于Y轴和Z轴并且面向+X轴方向的表面,并且界面112与界面111相反。界面112与第一N型半导体层120相邻。

[0039] 衬底110的厚度为在X轴方向上界面111与界面112之间的距离,并且在本实施方案中,衬底110的厚度为320μm(微米)。在其他实施方案中,衬底110的厚度可以为选自100μm至1mm(毫米)的范围内的任意值。

[0040] 在本实施方案中，在衬底110的界面111上形成有电极210，也称为漏电极。在实施方案中，电极210为具有其中在由钛(Ti)形成的层上堆叠有由铝(Al)形成的层的结构的电极。在其他实施方案中，除Ti和Al之外，电极210可以是由例如，铂(Pt)、钴(Co)、钯(Pd)、镍(Ni)和金(Au)的导电材料中的至少之一形成的电极。

[0041] (2)-2第一N型半导体层120

[0042] 第一N型半导体层120以堆叠状态形成在衬底110上，从而形成在平行于Y轴和Z轴的平面上延伸的层。第一N型半导体层120主要包含氮化镓(GaN)，并且以比在第二N型半导体层140中的浓度低的浓度包含硅(Si)作为施主。下面将描述硅(Si)浓度的范围。第一N型半导体层120也称为“n^--GaN”。

[0043] 第一N型半导体层120具有界面121和界面122。第一N型半导体层120的界面121为平行于Y轴和Z轴并且面向-X轴方向的表面。界面121与衬底110相邻。第一N型半导体层120的界面122为平行于Y轴和Z轴并且面向+X轴方向的表面，并且界面122与界面121相反。界面122与P型半导体层130相邻。

[0044] 第一N型半导体层120的厚度是在X轴方向上界面121与界面122之间的距离，并且在本实施方案中，第一N型半导体层120的厚度为10μm。在其他实施方案中，第一N型半导体层120的厚度可以为选自5μm至15μm的范围内的任意值。

[0045] (2)-3P型半导体层130

[0046] P型半导体层130以堆叠状态形成在第一N型半导体层120上，从而形成在平行于Y轴和Z轴的平面上延伸的层。P型半导体层130主要包含氮化镓(GaN)，并且包含镁(Mg)作为受主。在本实施方案中，在P型半导体层130的整个区域上的Mg的平均浓度为等于或高于$1.0\times10^{18}cm^{-3}$并且等于或小于$1.0\times10^{20}cm^{-3}$。P型半导体层130还称为“p-GaN”。

[0047] P型半导体层130具有界面131和界面132。P型半导体层130的界面131为平行于Y轴和Z轴并且面向-X轴方向的表面。界面131与第一N型半导体层120相邻。P型半导体层130的界面132为平行于Y轴和Z轴并且面向+X轴方向的表面，并且界面132与界面131相反。界面132与第二N型半导体层140和电极230相邻。

[0048] P型半导体层130的厚度是在X轴方向上界面131与界面132之间的距离，在本实施方案中，P型半导体层130的厚度为1μm。在其他实施方案中，P型半导体层130的厚度可以为选自0.3μm至2μm的范围内的任意值。

[0049] (2)-4第二N型半导体层140

[0050] 第二N型半导体层140以堆叠状态形成在P型半导体层130上，从而形成在平行于Y轴和Z轴的平面上延伸的层。第二N型半导体层140主要包含氮化镓(GaN)，并且以比在第一N型半导体层120中的浓度高的浓度包含硅(Si)作为施主。在本实施方案中，在第二N型半导体层140的整个区域上的硅(Si)的平均浓度为等于或低于$1.0\times10^{19}cm^{-3}$。第二N型半导体层140也称为“n^+-GaN”。

[0051] 第二N型半导体层140具有界面141和界面142。第二N型半导体层140的界面141为平行于Y轴和Z轴并且面向-X轴方向的表面。界面141与P型半导体层130相邻。第二N型半导体层140的界面142为平行于Y轴和Z轴并且面向+X轴方向的表面，并且界面142与界面141相反。界面142与电极240相邻。

[0052] 第二N型半导体层140的厚度是在X轴方向上界面141与界面142之间的距离，并且

在本实施方案中，第二N型半导体层140的厚度为0.2μm。在其他实施方案中，第二N型半导体层140的厚度可以为选自0.1μm至0.5μm的范围内的任意值。

[0053] (2)-5电极和绝缘层

[0054] 在衬底和每个层之上形成电极。即，电极230(也称为P体电极)形成在P型半导体层130的界面132上。电极230降低了P型半导体层130中生成的电子和正空穴，由此提高了耐受电压。电极240(也称为源电极)形成在第二N型半导体层140的界面142上。绝缘层260形成为从第一N型半导体层120的上表面延伸到P型半导体层130的侧表面(在附图的右侧)，并且绝缘层270形成为从第一N型半导体层120的上表面经由P型半导体层130的侧表面延伸到第二N型半导体层140的侧表面(在附图的左侧)。绝缘层260和绝缘层270为由氧化铝(Al_2O_3)或氧化硅(SiO_2)等形成的层。在绝缘层270上形成电极250(也称为栅电极)。

[0055] (3)半导体装置10的制造方法

[0056] 图2为示出半导体装置10的制造方法的流程图。在制造半导体装置10时，制造商首先准备用于实施金属有机化学气相沉积(MOCVD)法的MOCVD装置，然后在MOCVD装置的反应室中布置多个衬底110(步骤P122)。优选地，使用直径大于2英寸的衬底作为衬底110。在该步骤中，直径为2英寸或更小的衬底110可以使用多个衬底(例如，七个衬底)以密堆积的状态布置。衬底110的厚度为300μm至500μm并且掺杂有硅(Si)。硅的浓度为$1.0\times10^{18}cm^{-3}$。

[0057] 在随后步骤P124中，基于制造商的操作，MOCVD装置利用硅作为掺杂剂源通过晶体生长在衬底110上形成第一N型半导体层120。利用氢(H_2)作为载气将作为第III族原料的三甲基镓(TMGa)、作为第V族原料的氨(NH_3)以及作为N型掺杂剂源的硅通过MOCVD装置的管道供应到反应室。在这种情况下，第一N型半导体120形成为具有例如5μm至15μm的厚度。同时，下面将描述第V/III族的源、生长压力、硅(Si)浓度等。

[0058] 然后，在步骤P126中，基于制造商的操作，MOCVD装置利用CP2Mg(双(环戊二烯)镁)作为掺杂剂源通过晶体生长在第一N型半导体层上形成P型半导体层130。

[0059] 在随后的步骤P128中，基于制造商的操作，MOCVD装置利用硅(Si)作为掺杂剂源通过晶体生长在P型半导体层130上形成第二N型半导体层140。第二N型半导体层140中的硅(Si)浓度高于第一N型半导体层120中的硅(Si)浓度。作为步骤P128的条件，除硅(Si)浓度之外，关于源、压力等可以采用与步骤P124中的条件相同的条件。

[0060] 接下来，在步骤P130中，制造商将半导体装置10的中间产品取出MOCVD装置，并且在中间产品上分别形成电极210、230、240和250以及绝缘层260和270。由此，完成了半导体装置10。

[0061] (4)实施方案的操作/效果

[0062] (4)-1将描述在形成第一N型半导体层120的步骤(P124)中的碳(C)浓度和施主浓度。

[0063] 图3为说明在反应室中布置有多个衬底110的状态的说明图。在图3中，使用直径为2英寸的衬底作为衬底110，将七个衬底110布置在6英寸的区域内使其以密堆积的状态布置。即，六个衬底布置成围绕一个衬底110。这旨在使放置七个2英寸GaN衬底等同于以伪拟方式使用6英寸衬底，代替使用2英寸或更大的衬底(例如，6英寸)。然后，在多个衬底110上生长且堆叠第一N型半导体层120，并随后研究第一N型半导体层120的面上的碳(C)浓度和施主浓度。

[0064] 图4为说明第一N型半导体层120的面上的碳(C)浓度与V/III的关系的图，其中示出了在改变V/III时生长在衬底110上的第一N型半导体层120的碳(C)浓度的变化。V/III表示第V族原料与第III族原料的摩尔比。具体地，为了获得图4中的图，本发明人使用三甲基镓(TMGa)作为第III族原料，而且还使用氨(NH_3)作为第V族原料。采用三种V/III，即，1473(第一组)、2000(第二组)、以及2506(第三组)。然后，制造其中在每个2英寸的衬底上形成有N型半导体层的多个样品(七个衬底)，并且测量样品的碳(C)浓度。利用二次离子探针质谱仪(SIMS)测量碳(C)浓度。在这样的情况下，在七个衬底中的每个衬底的面上通过对碳(C)浓度进行采样获得每个测量值。图5为说明碳(C)浓度的中值与其他测量值之间的浓度差与V/III的关系的说明图。如图5所示，利用测量值的中值与测量值中的其他值之差研究碳(C)浓度。

[0065] 如图4和图5所示，在第一组(V/III:1473)中的碳(C)浓度的中值为$1.4\times10^{16}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$9.3\times10^{15}cm^{-3}$。在第二组(V/III:2000)中的碳(C)浓度的中值为$8.7\times10^{15}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$5.0\times10^{15}cm^{-3}$。在第三组(V/III:2506)中的碳(C)浓度的中值为$7.4\times10^{15}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$2.6\times10^{15}cm^{-3}$。如果比较第一组至第三组，可以发现，随着V/III增加，碳(C)浓度的中值从$1.4\times10^{16}cm^{-3}$降到$7.4\times10^{15}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值从$9.3\times10^{15}cm^{-3}$缩小到$2.6\times10^{15}cm^{-3}$，并因此降低了浓度的变化。

[0066] 图6为说明第一N型半导体层120的面上的施主浓度与V/III的关系的图。与图4相对应，在七个衬底上测量相对于V/III(第一组至第三组)的施主浓度。通过C-V测量获得施主浓度。在这种情况下，与图4中的碳(C)浓度类似，在七个衬底的每个衬底的面上通过对施主浓度进行采样获得测量值。图7为说明施主浓度的中值与其他测量值之间的浓度差与V/III的关系的说明图。如图7所示，利用测量值的中值与测量值中的其他值之差研究施主浓度。

[0067] 如图6和图7所示，在第一组(V/III:1473)中的施主浓度的中值为$3.0\times10^{16}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$7.0\times10^{15}cm^{-3}$。在第二组(V/III:2000)中的施主浓度的中值为$2.0\times10^{16}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$4.2\times10^{15}cm^{-3}$。在第三组(V/III:2506)中的施主浓度的中值为$7.3\times10^{15}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值为$2.6\times10^{15}cm^{-3}$。如果比较第一组至第三组，随着V/III增加，施主浓度的中值从$3.0\times10^{16}cm^{-3}$降到$7.3\times10^{15}cm^{-3}$，并且中值与其他测量值之差的最大值从7.0×10^{15}缩小到$2.6\times10^{15}cm^{-3}$。从而，可以发现施主浓度呈现出与碳(C)浓度相同的趋势。即，可以发现，硅(Si)浓度呈现出与碳(C)浓度相同的趋势。据此，设想施主与碳具有如下所述的关系。

[0068] 第一N型半导体层120的碳(C)补偿了第一N型半导体层120的施主，由此降低了施主的作用。因此，通过降低碳(C)浓度并且还降低碳(C)浓度的变化可以降低施主浓度的变化。通过降低施主浓度的变化，当从大于2英寸的衬底110切出多个芯片以形成半导体装置时，所获得的半导体装置中的每个半导体装置中的施主的作用可以是稳定且均匀的。

[0069] 施主浓度的变化越小，越是优选的，但是，例如当需要如下的技术参数时，其中作为产品受影响较小的范围，施主浓度的值等于或小于$1.4\times10^{16}cm^{-3}$并且施主浓度相对于中值的变化大于$5.0\times10^{15}cm^{-3}$，由于第一N型半导体层120中的碳(C)浓度的调整范围的限制，所以施主浓度调节为在这些值以下。

[0070] 使用包含三甲基镓(TMGa)的第III族原料和包含氨(NH_3)的第V族原料通过晶体生长形成第一N型半导体层120。于是,三甲基镓中的碳(C)夹带入第一N型半导体层120中。因此,当V/III增加时,N型半导体层中的碳(C)浓度可能降低,但是如果V/III高于4000时,则降低了晶体生长速率,由此降低了生产率。另一方面,如果V/III低于2100,则碳(C)浓度增加,由此增加了施主浓度的变化。因此,优选使用第V族原料与第III族原料的调整到2100至4000范围内的V/III。

[0071] 此外,V/III的范围更优选为从2500至3500,还更优选为从2500至3000。通过使用这样的V/III,可以降低碳(C)浓度,由此降低施主浓度的变化。

[0072] (4)-2对将在形成P型半导体层130的步骤(P126)中的碳(C)浓度设置为等于或高于$5.0\times10^{16}cm^{-3}$的原因进行描述。

[0073] 如果第一N型半导体层120和第二N型半导体层140中的碳浓度为等于或低于$1.0\times10^{16}cm^{-3}$,则P型半导体层130成为半导体装置10的电子迁移率中的限速因子。因此,为了增加半导体装置的导通电阻等,要求P型半导体层130与绝缘层270之间的沟道迁移率(即,薄层电导率σ[S])更高,例如,沟道的薄层电导率σ[S]为40μS或更高。在本文中,薄层导电率σ通过下式(1)表示。

[0074] $\sigma=\mu\cdot\varepsilon\cdot Em/2\cdots(1)$

[0075] μ:沟道迁移率[cm^2/Vs]

[0076] ε:绝缘层的介电常数[F/cm]

[0077] Em:击穿电压[V/cm]

[0078] 因为ε和Em通过材料性能确定,例如如果取$\varepsilon=3\times10^{-13}$并且$Em=5\times10^6$,则沟道迁移率μ必须等于或高于$50cm^2/Vs$。

[0079] 图8为说明沟道迁移率μ与碳(C)浓度的关系的图。纵轴表示沟道迁移率μ,横轴表示P型半导体层的碳(C)浓度。在图8中,可以发现,随着P型半导体层130中的碳(C)浓度的增加,沟道的电子迁移率增加。在此,可以发现,当沟道迁移率μ设置为等于或高于$50cm^2/Vs$时,优选P型半导体层130中的碳(C)浓度设置为等于或高于$5.0\times10^{16}cm^{-3}$。

[0080] 图9为说明碳(C)浓度与V/III的关系的图。为了设置碳(C)浓度为等于或高于$5.0\times10^{16}cm^{-3}$,在图2的步骤P126中可以采用以下方法。具体地,为了获得图9中的图,发明人使用三甲基镓(TMGa)作为第III族原料并且使用氨(NH_3)作为第V族原料,并且还使用$1.0\times10^{18}cm^{-3}$至$1.0\times10^{20}cm^{-3}$的掺杂源镁(Mg)。研究V/III在250至2500之间变化并且将压力设置为760托和200托的情况。制造均形成有P型半导体层的多个样品,并且测量样品的碳(C)浓度。利用二次离子探针质谱仪(SIMS)测量碳(C)浓度。

[0081] 从图9,发现P型半导体层130的碳(C)浓度随着V/III的降低而增加。为了设置碳(C)浓度等于或高于$5.0\times10^{16}cm^{-3}$,V/III必须处于由图9中的斜线表示的范围内,即500或更低。此外,V/III必须为1或更高以实现气相沉积。

[0082] 此外,尽管相对于200托至760托的情况研究了供应源气体的压力,但是在200托的情况下碳(C)可能增加。在本文中,压力优选在300托至500托的范围内,特别优选为400托至500托。

[0083] 这样碳(C)浓度可以容易地通过调节V/III和供应源气体的压力来设置。

[0084] P型半导体层130的碳(C)浓度优选等于或大于$5.0\times10^{16}cm^{-3}$,但是如果考虑半导

体装置10的电性能(例如耐受电压)的影响,则P型半导体层130的碳(C)浓度优选为$1\times10^{18}cm^{-3}$或更低。此外,P型半导体层130的碳(C)浓度优选为第一N型半导体层120和第二N型半导体层140的碳(C)浓度的五倍或更多倍,因此提高了电迁移率。特别优选地,P型半导体层130的碳(C)浓度为第一N型半导体层120和第二N型半导体层140的碳(C)浓度的七倍或更多倍。

[0085] B.其他实施方案:

[0086] 本发明不限于前述实施方案、实施例或其变化方案,而是可以在不背离本发明的范围和精神内实施为各种构造。例如,在"本发明的概述"部分中描述的结构中的每一个结构中的技术特征对应的实施方案、实施例及其变化方案的技术特征可以适当地修改并且结合以解决如上所述的技术问题的一些或全部,或者实现如上所述的效果的一些或全部。此外,除非在本文中所提到的技术特征是必须的,否则可以适当地省略技术特征。

[0087] 图10为示出根据另一实施方案的半导体装置的截面图。本实施方案是应用于肖特基势垒二极管的实施例。半导体装置300通过布置GaN衬底310的N型半导体层320、将欧姆电极330连接到衬底310的外表面、然后将肖特基电极340连接到N型半导体层320的外表面。因此,可以采用其中在衬底上形成有N型半导体层的各种构造作为可以应用本发明的半导体装置。

[0088] 除在其上调整半导体层的碳(C)浓度或施主浓度的半导体晶片之外,根据本发明的半导体装置包括各种部件(例如电极)作为半导体晶片的外围部件。例如,本发明可以以各种方式实施,例如具有前述类型的半导体装置的电子器件或用于制造前述类型的半导体装置的装置。

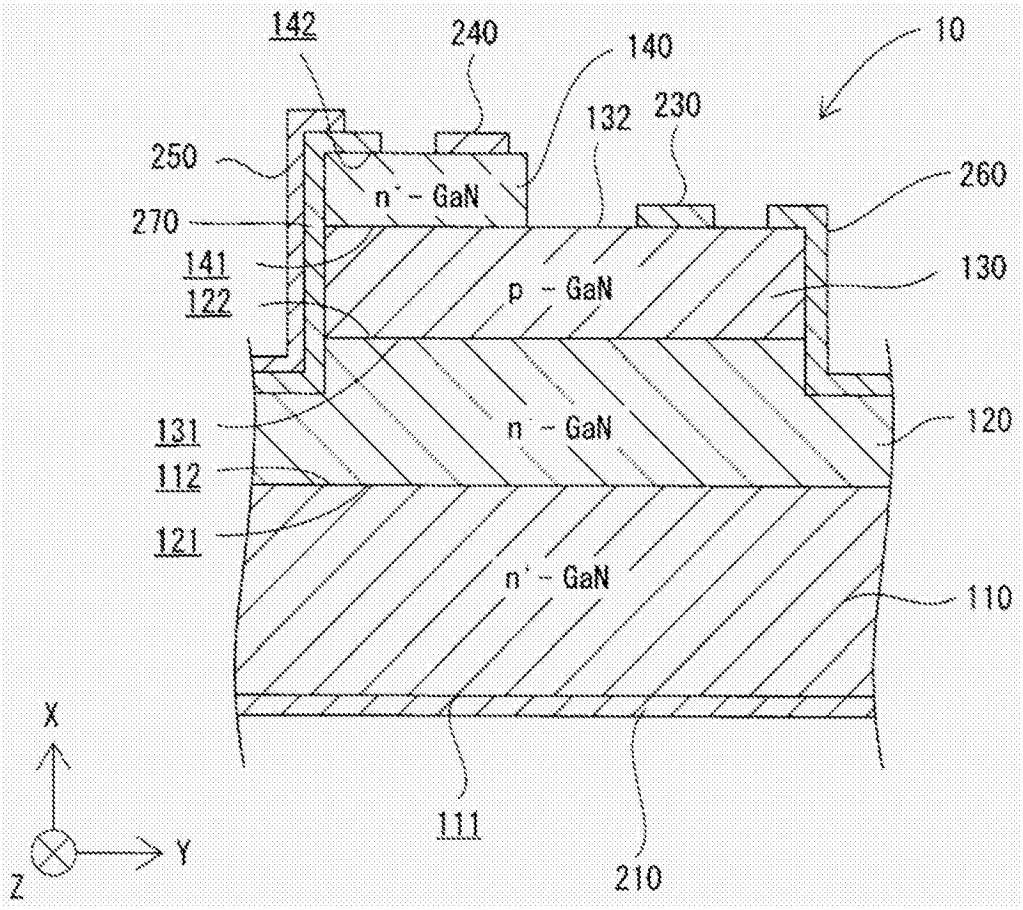

142
240
140
10
132
230
250
n+ - GaN
260
270
141
122
p - GaN
130
131
n - GaN
120
112
121
n+ - GaN
110
X
Y
Z
111
210

图1

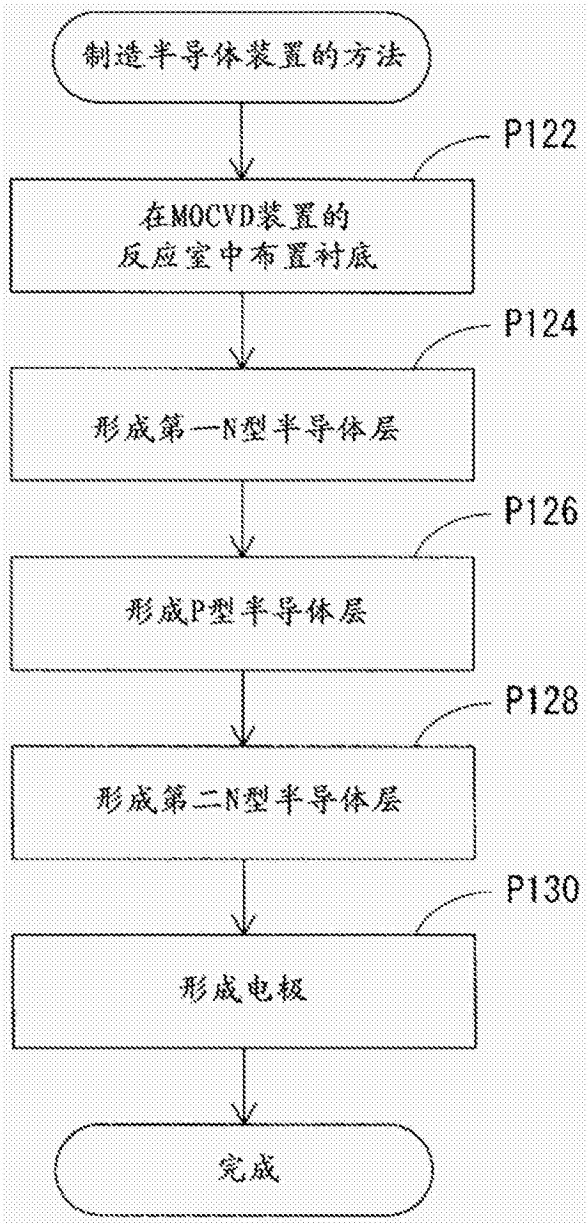

制造半导体装置的方法
P122
在MOCVD装置的
反应室中布置衬底
P124
形成第一N型半导体层
P126
形成P型半导体层
P128
形成第二N型半导体层
P130
形成电极
完成

图2

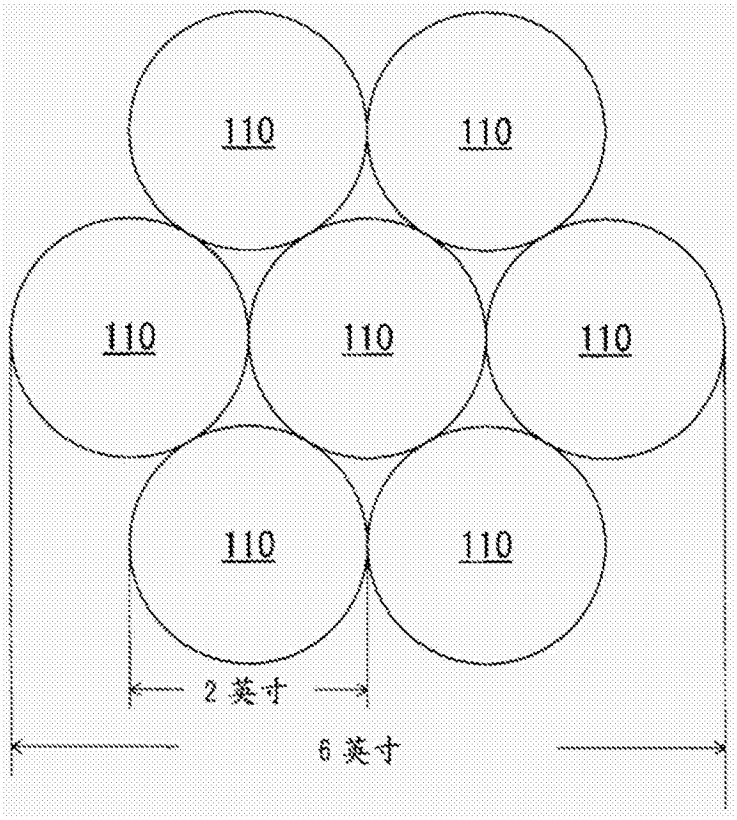

110
110
110
110
110
110
110
2 英寸
6 英寸

图3

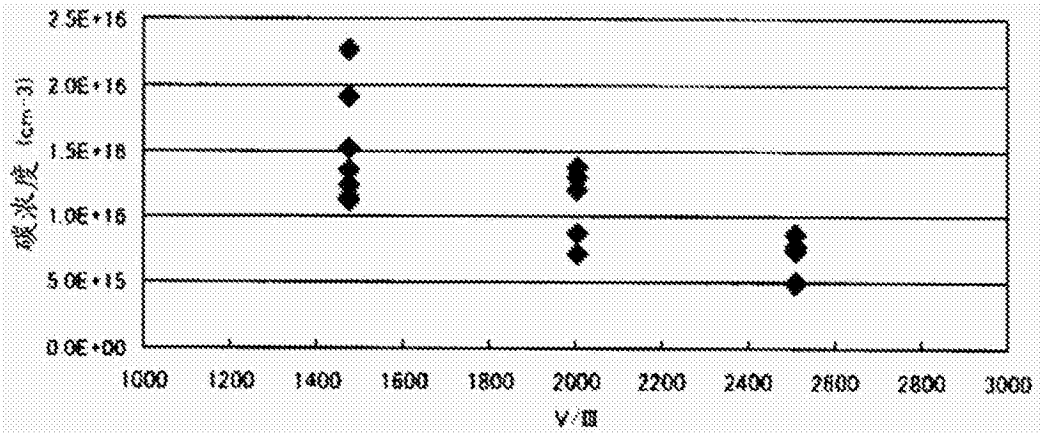

2.5E+16
2.0E+16
1.5E+16
1.0E+16
5.0E+15
0.0E+00
碳浓度 (cm-3)
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000
V/III

图4

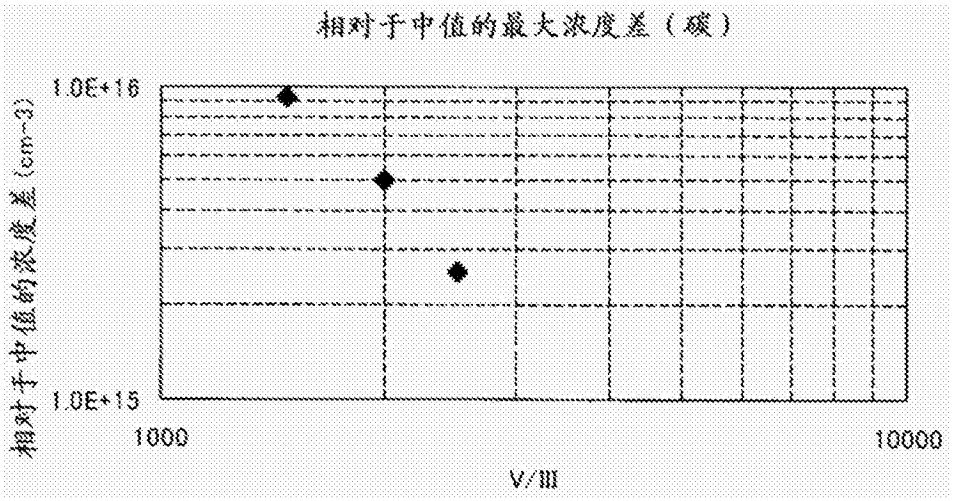

相对于中值的最大浓度差（碳）
1.0E+16
1.0E+15
相对于中值的浓度差 (cm-3)
1000
10000
V/III

图5

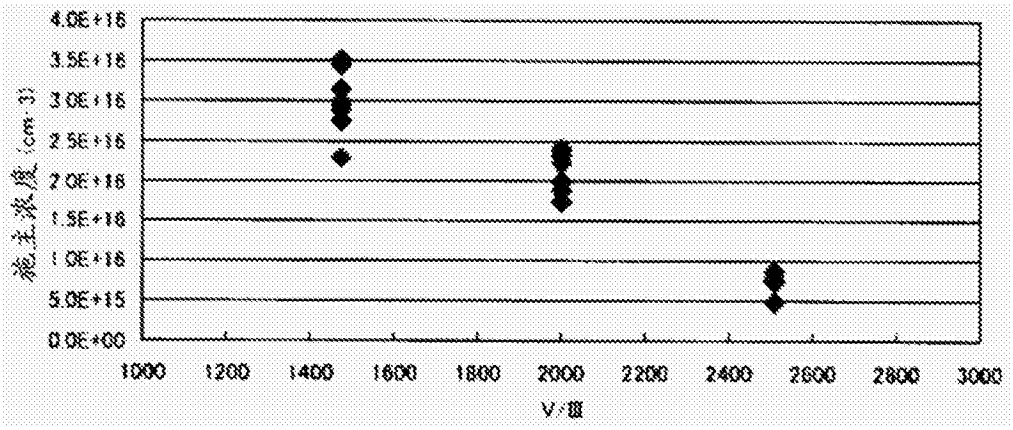

4.0E+16
3.5E+16
3.0E+16
2.5E+16
2.0E+16
1.5E+16
1.0E+16
5.0E+15
0.0E+00
施主浓度 (cm-3)
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
2400
2600
2800
3000
V/III

图6

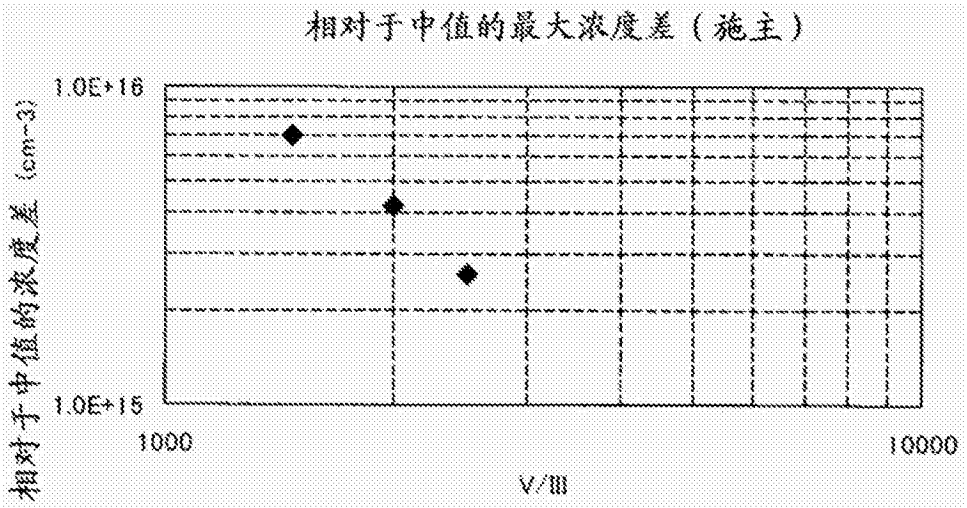

相对于中值的最大浓度差（施主）
1.0E+16
1.0E+15
相对于中值的浓度差 (cm-3)
1000
10000
V/III

图7

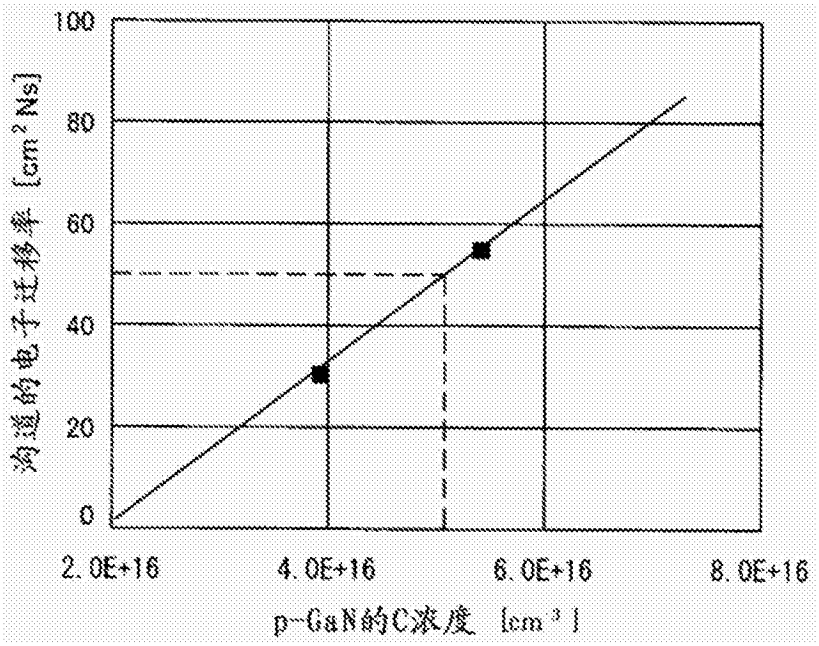

100
80
60
40
20
0
沟道的电子迁移率 [cm²/Ns]
2.0E+16
4.0E+16
6.0E+16
8.0E+16
p-GaN的C浓度 [cm⁻³]

图8

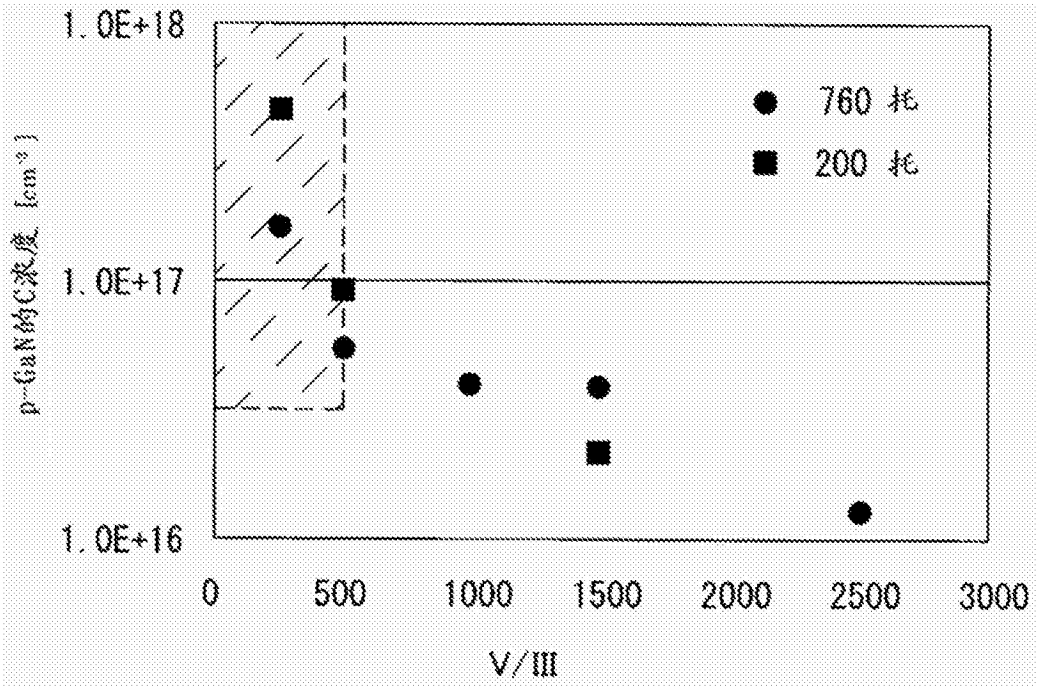

1.0E+18
1.0E+17
1.0E+16
p-GaN的C浓度 [cm⁻³]
760 托
200 托
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
V/III

图9

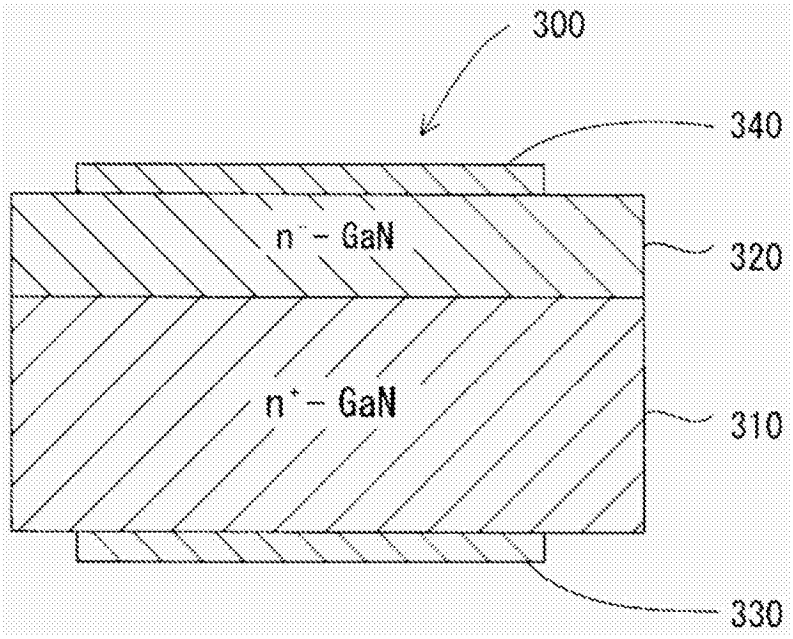


图10