



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103999225 B

(45)授权公告日 2017.02.22

(21)申请号 201380004323.1

(22)申请日 2013.01.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103999225 A

(43)申请公布日 2014.08.20

(30)优先权数据
2012-009337 2012.01.19 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.06.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2013/051010 2013.01.18

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/108911 JA 2013.07.25

(73)专利权人 富士电机株式会社
地址 日本神奈川县川崎市

(72)发明人 宫崎正行 吉村尚 泷下博
栗林秀直

(74)专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司 11286
代理人 金玉兰 韩明星

(51)Int.Cl.
H01L 29/739(2006.01)
H01L 21/336(2006.01)
H01L 29/78(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开2007-59550 A, 2007.03.08,
US 2009/0184340 A1, 2009.07.23,
CN 101305470 A, 2008.11.12,
审查员 张玉萍

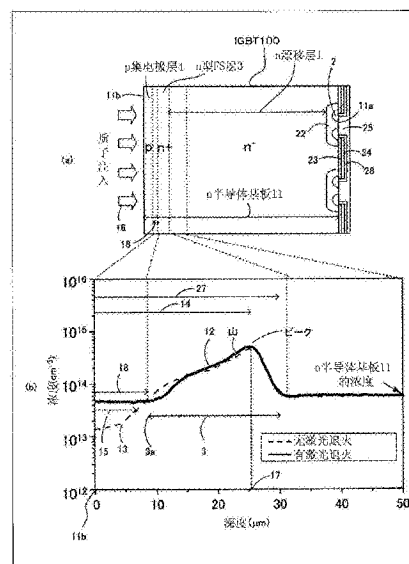
权利要求书3页 说明书13页 附图12页

(54)发明名称

半导体装置及其制造方法

(57)摘要

质子注入(16)之后,通过炉退火处理形成氢致施主,从而形成n型电场终止层(3),进一步通过激光退火处理减少生成于质子通过区域(14)的无序,从而形成n型无序减少区域(18)。如此,本发明能够提供形成基于质子注入(16)的n型电场终止层(3)和n型无序减少区域(18),导通电阻低且能够改善漏电流等电特性的稳定、低廉的半导体装置及其制造方法。



1. 一种半导体装置,其特征在于,具有:

p导电型的基底层,设置于成为n导电型的漂移层的半导体基板的第一主面的表面层,浓度比该漂移层高;

n导电型的发射层,设置于所述基底层的内部,浓度比该基底层高;

栅极绝缘膜,以与所述基底层、所述发射层以及所述漂移层相接的方式设置,

栅电极,在所述栅极绝缘膜的表面以与所述基底层、所述发射层以及所述漂移层对置的方式设置;

发射电极,设置于所述发射层和所述基底层的表面,通过层间绝缘膜与所述栅电极绝缘;和

p导电型的集电极层,设置于所述半导体基板的第二主面的表面,

在所述漂移层与所述集电极层之间,至少具有一个n导电型的中间层,所述n导电型的中间层将浓度比所述漂移层高的n导电型的电场终止层与浓度比该电场终止层低的n导电型的无序减少区域这两层作为一对,

所述无序减少区域中的载流子迁移率的最小值为结晶状态的该载流子迁移率的20%以上。

2. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,所述电场终止层具有氢致施主。

3. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,所述无序减少区域的载流子迁移率比所述漂移层的载流子迁移率低。

4. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,所述无序减少区域的掺杂浓度为所述漂移层的浓度以上。

5. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,所述无序减少区域具有由通过氢离子的注入而导入的无序残留而成的残留无序。

6. 根据权利要求5所述的半导体装置,其特征在于,所述残留无序是利用热处理使通过所述氢离子注入而导入的无序减少而成。

7. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,隔着所述漂移层与所述基底层邻接的所述电场终止层的载流子浓度为最大浓度的位置从所述第二主面起算的深度要比15 μm 还深。

8. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,使 q 为基元电荷,使 N_d 为所述漂移层的平均浓度,使 ϵ_s 为所述半导体基板的介电常数,使 V_{rate} 为额定电压,使 J_F 为额定电流密度,使 v_{sat} 为载流子的速度在预定的电场强度下饱和的饱和速度,用下述式(1)表示距离指标 L ,

将隔着所述漂移层与所述基底层邻接的所述电场终止层的载流子浓度为最大浓度的位置从所述第二主面起算的深度设定为 X ,

将所述半导体基板的厚度设定为 W_0 ,

$X = W_0 - \gamma L$, γ 为0.2以上且1.5以下,

[数学式1]

$$L = \sqrt{\frac{\epsilon_s V_{rate}}{q \left(\frac{J_F}{q v_{sat}} + N_d \right)}} \quad \dots (1)。$$

9. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,在与所述漂移层相接的所述中间层中所述电场终止层与所述漂移层相接,在与所述集电极层相接的所述中间层中所述无序减少区域与所述集电极层相接。

10. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,形成2个以上所述中间层。

11. 一种半导体装置的制造方法,其特征在于,包含以下工序:

从半导体基板的一个主面进行质子注入的工序;

通过使所述半导体基板整体处于350℃以上且550℃以下的温度而形成由所述质子注入产生的氢致施主,在所述半导体基板内形成n导电型的电场终止层的工序;

从所述一个主面对所述质子注入的飞程范围进行加热,减少生成在质子通过区域的无序,形成n导电型的无序减少区域的工序。

12. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,在形成所述电场终止层的工序中,使所述半导体基板整体处于350℃以上且550℃以下的温度的处理为炉退火处理,

在形成所述无序减少区域的工序中,从所述一个主面对所述质子注入的飞程范围进行加热的处理为从该一个主面照射激光的激光退火处理。

13. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,所述质子注入的飞程为15μm以上。

14. 根据权利要求12所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,利用所述激光退火处理减少从所述一个主面算起至少到5μm深度为止的所述无序。

15. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,由于所述无序,所述质子通过区域的载流子迁移率变得比所述半导体基板中的所述质子通过区域以外的区域低。

16. 根据权利要求12所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,通过所述炉退火处理和所述激光退火处理,所述质子通过区域的载流子迁移率增加。

17. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,形成所述电场终止层的工序和形成所述无序减少区域的工序在研磨所述半导体基板的背面的工序之后,在形成背面电极的工序之前。

18. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,形成所述电场终止层的工序在进行所述质子注入的工序之后,在形成所述无序减少区域的工序之前。

19. 根据权利要求11所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,形成所述无序减少区域的工序在进行所述质子注入的工序之后,在形成所述电场终止层的工序之前。

20. 根据权利要求12所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,所述炉退火处理的处理时间为1个小时以上且10个小时以下。

21. 根据权利要求12所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,所述激光退火处理中所使用的激光为YAG激光或半导体激光。

22. 根据权利要求12所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,在所述质子注入之后且在所述激光退火处理之前,包含在与从所述一个主面向所述质子注入的飞程相比较浅的表面层离子注入杂质,通过所述激光退火处理使该杂质活性化的工序。

23. 根据权利要求11~22中任一项所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,所述质

子注入的飞程 R_p 的形成所述电场终止层时的质子的加速能量 E 满足下述式(2),其中,将基于所述质子注入的飞程 R_p 的对数 $\log(R_p)$ 设定为 x ,将所述质子注入的加速能量 E 的对数 $\log(E)$ 设定为 y ,

$$y = -0.0047x^4 + 0.0528x^3 - 0.2211x^2 + 0.9923x + 5.0474 \cdots (2)。$$

24.一种半导体装置,其特征在于,使用权利要求11至22中任一项所述的半导体装置的制造方法而制成的半导体装置为具有所述电场终止层的IGBT。

25.一种半导体装置,其特征在于,使用所述权利要求11至22中任一项所述的半导体装置的制造方法而制成的半导体装置为具有所述电场终止层的FWD。

半导体装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具有FS(电场终止)层的二极管和IGBT(绝缘栅型双极晶体管)等半导体装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 作为电力用半导体装置,有具有400V、600V、1200V、1700V、3300V或其以上的耐压的二极管和/或IGBT等。它们可用于转换器和/或逆变器等电力变换装置。对于电力用半导体装置而言,要求有低损耗、高效率以及高耐破坏量这样的良好的电特性和低成本。

[0003] 作为该电力用半导体装置的制造方法,提出了如下的方法。首先,在半导体基板的表面侧形成扩散区域和/或MOS结构等。接着,研磨背面侧来削薄半导体基板之后,通过从其研磨面侧进行质子注入和热处理,从而利用由被注入的氢原子和其周边的多个点缺陷等构成的复合缺陷形成施主,形成高浓度的n型电场终止层。由含有该氢的复合缺陷形成的施主被称为氢致施主。

[0004] 在专利文献1中,记载了关于通过质子注入使照射位置的电子/空穴迁移率产生降低的技术。专利文献2记载了质子注入后的热处理条件。在专利文献3中,记载了在IGBT的制作过程中,在质子注入和退火之后形成接触层时使用激光退火。质子被照射后通过退火而使载流子浓度恢复。在专利文献4中示出了通过在进行质子退火前使缺陷层恢复,从而提高质子的载流子浓度的方法。在专利文献5中,记载了预先将氧导入硅基板,从表面照射质子后进行退火,再进行背面研磨,对研磨面离子注入磷,采用YAG激光进行退火的方法。另外,在专利文献5中,记载了通过氧的导入而抑制质子注入区域的载流子迁移率的降低。在专利文献6中,记载了从背面进行质子注入后采用YAG激光和CW激光进行退火,从而形成质子电场终止层(质子的施主生成层)的方法。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:美国专利申请公开第2005/0116249号说明书

[0008] 专利文献2:美国专利申请公开第2006/0286753号说明书

[0009] 专利文献3:日本特开2001-160559号公报

[0010] 专利文献4:日本特开2009-099705号公报

[0011] 专利文献5:日本特再公表2007-055352号公报

[0012] 专利文献6:日本特开2009-176892号公报

发明内容

[0013] 因质子注入而导入的缺陷大量残留在质子的飞程 R_p (通过离子注入而注入的离子以最高浓度存在的位置距离注入面的距离)、以及从注入面至飞程 R_p 为止的质子的通过区域和/或注入面附近。该残留的缺陷被称为残留缺陷,原子(此时是硅)距离晶格位置的偏差大,并且由于晶格本身的很强烈的紊乱,所以处于近似非晶体的状态。因此,会变成称为电

子和空穴的载流子的散射中心,使载流子迁移率降低,增加导通电阻,除此之外,还会变成载流子的产生中心,使漏电流增加等,带来元件的特性不良。

[0014] 如此,将因质子的注入而残留于从质子的注入面至飞程 R_p 为止的质子通过区域、且成为载流子迁移率的降低和/或漏电流增加的原因这样的、从结晶状态强烈紊乱的缺陷特别称为无序。虽然有通过利用电炉进行的热处理,使质子注入时生成的结晶缺陷恢复而形成氢致施主的方法,但在质子注入时生成的结晶缺陷形成无序的情况下,如果仅利用电炉进行热处理,不仅形成氢致施主,而且质子通过区域的无序也会残留。因此,会导致载流子迁移率降低,漏电流和/或导通损耗增加等特性不良。

[0015] 如专利文献3中记载的那样,质子注入之后,有一种一边将与质子注入面相反的MOS栅极形成面侧进行冷却,一边用激光将质子注入面退火的方法,但关于残留的无序与对其元件特性的影响并没有讨论。

[0016] 如专利文献4中记载的那样,质子注入之后,有为了在进行退火之前抑制质子的向外扩散,从而对注入面使用电子束加热或激光加热使结晶缺陷恢复的方法,但残留的无序和对其元件特性的影响并没有讨论。

[0017] 如专利文献5那样,预先向硅基板导入高浓度的氧的情况下,需要进行利用高温(1000℃以上)的氧的扩散工序。因此,除了工序数增加,而且可产生氧致缺陷(OSF)的发生等课题。

[0018] 在专利文献6中,通过两种波长的激光照射,从质子注入面至30 μm 为止使缺陷恢复而维持高的载流子寿命,但关于质子通过区域的无序的残留并没有讨论。另外,即使组合不同波长的激光,在深度方向也必然产生温度分布,难以兼得在任意的深度稳定地形成氢致施主和减少注入面附近和通过区域的无序。并且,为了照射不同的2个波长的激光,需要分别单独的激光光源和激光照射设备,从而避免不了成本的增加。

[0019] 特别是,注入的质子从注入面起算的飞程 R_p 超过15 μm 的情况下,在专利文献6的方法中,可知注入面附近和通过区域的无序减少不充分。图6是按飞程比较以往的方法中制作的半导体装置的载流子浓度分布的特性图。具体而言,在图6中,关于质子注入的飞程 R_p 为15 μm 前后的载流子浓度分布,利用专利文献6中记载的方法形成试样,按飞程 R_p 进行比较。(a)是飞程 R_p 为50 μm , (b)是飞程 R_p 为20 μm , (c)是飞程 R_p 为10 μm 。(c)的飞程 R_p = 10 μm 的情况下,注入面附近(深度为0~5 μm)和通过区域的载流子浓度变得比硅基板的浓度 $1 \times 10^{14}(\text{/cm}^3)$ 高,无序被充分减少。另一方面,可知如果是(b)的飞程 R_p = 20 μm 和(a)的飞程 R_p = 50 μm ,则注入面附近和通过区域的载流子浓度大幅降低,无序未减少。如此,若残留无序,则元件漏电流和/或导通损耗变高。因此,质子注入的飞程 R_p 超过15 μm 的情况下,需要研究减少无序的新的方法。

[0020] 为了解决上述的课题,本发明的目的在于提供在预定的深度形成n型电场终止层,减少因质子注入生成的无序,能够改善载流子迁移率的降低、损耗的增加和/或由载流子产生中心所致的漏电流的增加之类的电特性的不良的、稳定且低廉的半导体装置及其制造方法。

[0021] 为了解决上述的课题,实现本发明的目的,本发明的半导体装置具有如下的特征。在成为n导电型的漂移层的半导体基板的第一主面的表面层,设置浓度比该漂移层高的p导电型的基底层。另外,在上述基底层的内部,设置浓度比该基底层高的n导电型的发射层。以与上述基底层、上述发射层以及上述漂移层相接的方式设置栅极绝缘膜。在上述栅极绝缘膜的表面,以与上述基底层、上述发射层以及上述漂移层对置的方式设置栅电极。在上述发射层和上述基底层的表面,设置通过层间绝缘膜与上述栅电极绝缘的发射电极。在上述半

导体基板的第二主面的表面,设置p导电型的集电极层。另外,在上述漂移层与上述集电极层之间,至少具有一个n导电型的中间层,所述n导电型的中间层将浓度比上述漂移层高的n导电型的电场终止层和浓度比该电场终止层低且为上述漂移层的浓度以上的n导电型的无序减少区域这两层作为一对。

[0022] 另外,本发明的半导体装置在上述的发明的基础上,其特征在于,最靠近上述基底层的上述电场终止层的载流子浓度为最大浓度的位置距离上述第二主面的深度比15 μm 还深。

[0023] 另外,本发明的半导体装置在上述的发明基础上,其特征在于,使 q 为基元电荷,使 N_d 为上述漂移层的平均浓度,使 ϵ_s 为上述半导体基板的介电常数,使 V_{rate} 为额定电压,使 J_F 为额定电流密度,使 v_{sat} 为载流子的速度在预定的电场强度下饱和的饱和速度,用下述式(1)表示距离指标 L 。在此,将最靠近上述基底层的上述电场终止层的载流子浓度为最大浓度的位置距离上述第二主面的深度设定为 X ,将上述半导体基板的厚度设定为 W_0 , $X=W_0-\gamma L$, γ 为0.2以上且1.5以下。

[0024] [数学式1]

$$L = \sqrt{\frac{\epsilon_s V_{rate}}{q \left(\frac{J_F}{qv_{sat}} + N_d \right)}} \quad \dots (1)$$

[0026] 另外,本发明的半导体装置在上述的发明的基础上,其特征在于,在与上述漂移层相接的上述中间层中上述电场终止层与上述漂移层相接,在与上述集电极层相接的上述中间层中上述无序减少区域与上述集电极层相接。

[0027] 另外,本发明的半导体装置在上述的发明的基础上,其特征在于,形成2个以上上述中间层。

[0028] 另外,本发明的半导体装置在上述的发明的基础上,其特征在于,上述无序减少区域中的载流子迁移率的最小值为结晶状态的该载流子迁移率的20%以上。

[0029] 另外,为了解决上述的课题,实现本发明的目的,本发明的半导体装置的制造方法具有如下的特征。从半导体基板的一个主面进行质子注入。接着,通过使上述半导体基板整体处于高温而形成基于质子注入的氢致施主,在上述半导体基板内形成n导电型的电场终止层。而且,对于从上述一个主面进行上述质子注入的飞程范围进行加热,减少在质子通过区域中生成的无序,形成n导电型的无序减少区域。

[0030] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,使上述半导体基板整体处于高温的处理为炉退火处理,通过该炉退火处理形成上述电场终止层。另外,对于从上述一个主面进行上述质子注入的飞程范围进行加热的处理为从该一个主面照射激光的激光退火处理,通过该激光退火处理形成上述无序减少区域。

[0031] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,形成上述电场终止层和形成上述无序减少区域在研磨上述半导体基板的背面的工序之后,在形成背面电极的工序之前。

[0032] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,形成上述电场终止层在进行上述质子注入的工序之后,在形成上述无序减少区域的工序之前。

[0033] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,形成

上述无序减少区域在进行上述质子注入的工序之后,在形成上述电场终止层的工序之前。

[0034] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,上述炉退火处理的温度为350℃以上且550℃以下,上述炉退火处理的处理时间为1个小时以上且10个小时以下。

[0035] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,上述激光退火处理中所使用的激光为YAG激光或半导体激光。

[0036] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,在上述质子注入之后且在上述激光退火处理之前,在与从上述一个主面进行上述质子注入的飞程相比较浅的表面层离子注入杂质,通过上述激光退火处理使该杂质活性化。

[0037] 另外,本发明的半导体装置的制造方法在上述的发明的基础上,其特征在于,基于上述质子注入的飞程 R_p 的形成上述电场终止层时的质子的加速能量 E 满足下述式(2)。

$$[0038] \quad y = -0.0047x^4 + 0.0528x^3 - 0.2211x^2 + 0.9923x + 5.0474 \cdots (2)$$

[0039] 另外,本发明的半导体装置的特征在于,具有上述电场终止层。

[0040] 另外,本发明的半导体装置的特征在于,是具有上述电场终止层的FWD。

[0041] 根据本发明,能够在质子注入之后,通过炉退火处理形成氢致施主,从而形成n型电场终止层。另外,能够通过激光退火处理减少在质子通过区域中生成的无序,形成无序减少区域。通过形成该无序减少区域能够改善半导体装置的导通电阻的增加和/或漏电流的增加等电特性不良。其结果,能够提供稳定且低廉的半导体装置及其制造方法。

附图说明

[0042] 图1为表示本发明的实施例1的半导体装置(IGBT 100)的制造方法的工艺流程图。

[0043] 图2为有激光退火处理和无激光退火处理的情况下的n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线12、13。

[0044] 图3为用图1的工艺流程制作的IGBT 100的主要部分剖视图(a)和n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线(b)的图。

[0045] 图4为表示本发明的实施例2的半导体装置的制造方法的工艺流程图。

[0046] 图5为本发明的实施例3的半导体装置(IGBT 100)的主要部分剖视图(a)和n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线(b)的图。

[0047] 图6为按飞程比较利用以往的方法制作的半导体装置的载流子浓度分布的特性图。

[0048] 图7为关于使电压波形开始振动的阈值电压示出的特性图。

[0049] 图8为一般的IGBT的关断振荡波形。

[0050] 图9为表示本发明的半导体装置的质子的飞程与质子的加速能量之间的关系特性图。

[0051] 图10为表示本发明的半导体装置中耗尽层最初到达的FS(电场终止)层的位置条件的图表。

[0052] 图11为关于质子注入的飞程为15μm前后的载流子浓度分布,仅利用炉退火形成试样,并按飞程进行比较的图。

[0053] 图12为本发明的IGBT的剖视图。

[0054] 图13为本发明的二极管的剖视图。

具体实施方式

[0055] 以下参照附图,对本发明的半导体装置及其制造方法的优选实施例进行详细的说明。在本说明书和附图中,对于以n或p标记的层、区域,分别指电子或空穴为多数载流子。即,n表示导电型为n型,p表示导电型为p型。应予说明,以下的实施方式的说明和附图中,对相同的构成标记相同的附图标记,省略重复的说明。

[0056] <实施例1>

[0057] 图1是表示本发明的实施例1的半导体装置(IGBT 100)的制造方法的工艺流程图。图3是用图1的工艺流程制作的IGBT 100的主要部分剖视图(a)和n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线(b)的图。参照图1的工艺流程和图3(a)的主要部分剖视图,对本发明的实施例1的半导体装置的制造方法进行说明。

[0058] 首先,在图1(a)的表面形成工序中,在n半导体基板(晶片)11的一个主面(表面11a)形成由p基底层22、n发射层2、栅极绝缘膜23、栅电极24、层间绝缘膜28等构成的MOS栅极结构。其中,n发射层2形成于p基底层22内。关于MOS栅极结构的构成,将在后面进行描述。

[0059] 接着,在图1(b)的表面电极工序中,利用与p基底层22与n发射层2的两表面共导电接触的金属膜形成成为表面电极的发射电极25。构成发射电极25的金属例如是Al(铝)、Al-Si(硅)、Al-Cu(铜)等Al合金和/或Cu、Au(金)、Ni(镍)等。

[0060] 接下来,在图1(c)的表面保护膜形成工序中,形成保护表面11a的表面保护膜。表面保护膜由保护胶带和/或光致抗蚀剂、聚酰亚胺形成。接着,在图1(d)的背面研磨工序中,为了将n半导体基板11(n漂移层1)的厚度减少至通过与耐压的关系决定的所需要的厚度,研磨(背面研磨)背面11b侧。

[0061] 接下来,在图1(e)的质子注入工序中,从背面11b侧进行质子注入16。通过选择该质子注入16的照射能量,能够按预定的深度形成n型电场终止层3。注入的质子从背面11b(研磨面)起算的射程 R_p 比 $15\mu\text{m}$ 深,也存在根据元件的额定电压进一步深的情况($20\sim 400\mu\text{m}$)。注入的质子从背面11b(研磨面)起算的射程 R_p 具体而言例如为 $20\sim 60\mu\text{m}$ 。关于距离背面11b形成最深的FS层的对应于额定电压的深度,将在后面进行描述。

[0062] 接着,在图1(f)的炉退火处理工序中,进行炉退火处理,通过质子的施主化形成n型电场终止层3。该炉退火处理是指在一定温度的电炉等恒温炉中放入晶片进行热处理的处理,晶片整体被加热。炉退火处理的处理温度在 $350^\circ\text{C}\sim 550^\circ\text{C}$ 的范围,时间在1个小时 $\sim$ 10个小时的范围进行。在该温度范围,质子的射程 R_p 和质子通过区域14中残留有结晶缺陷,促进通过质子注入16而形成氢致施主。除了该炉退火之外,还可使用灯退火等加热晶片整体。另一方面,在该温度范围下,在质子通过区域14(从质子的注入面至射程 R_p 为止的区间的区域)还会残留因质子注入16而导入的无序,形成无序区域15。该残留的无序变成导致载流子的迁移率降低、或漏电流的载流子的产生中心。

[0063] 接下来,在图1(g)的硼注入工序中,对背面11b侧进行硼的离子注入。该硼的离子注入以比质子的射程(R_p)浅的方式对背面11b的表面层进行。

[0064] 接着,在图1(h)的激光退火工序中,从经过了质子注入16的背面11b侧照射激光,减少在上述的炉退火中残留的无序而形成n型无序减少区域18,同时使注入到背面11b较浅的位置的硼活性化,从而形成p集电极层4。该激光退火处理通过例如使用YAG激光,对从背

面11b照射的质子的飞程 R_p 以内进行加热而实施。激光的脉冲宽度(半值宽度)例如为300ns~800ns的范围,在同一位置上例如进行多次程度的激光照射。该照射位置的硅的温度变成3000℃左右,但升温时间和降温时间是极短的时间(10ns~1μs等级)。

[0065] 激光的浸透深度在质子的浸透深度(飞程 R_p)以内。具体而言,选定激光的波长,以使激光的波长处于从具有质子引起的施主生成浓度(载流子浓度)的峰的山(凸部)的背面11b侧的末端(n型电场终止层3的背面11b侧的端部3a)的位置至质子注入面(背面11b)为止的区间(质子通过区域14的一部分)的长度范围。激光的波长优选为10μm~1000μm的范围。如此能够同时高效地进行n型无序减少区域18的形成和硼的活性化。另外,通过使激光的照射位置的温度为1000℃以上,能够高效地形成n型无序减少区域18。优选抑制该温度为2000℃以上且为Si的沸点(3266℃)以下。特别是,通过不超过硅的熔点,能够抑制激光照射后的照射面发生磨损(表面粗糙)。另外,也可以进行灯退火处理代替激光退火处理。通过以上的工序,能够在质子注入面与飞程(R_p)之间形成n型无序减少区域18。

[0066] 接着,在图1(i)的背面电极形成工序中,利用真空溅射等形成与p集电极层4的表面导电接触的集电极(未图示)。由此本发明的IGBT 100完成。进行该溅射后,根据需要有时也进行金属退火处理。如此,本实施例的制造方法的要点是进行炉退火处理和激光退火处理中的任一种。关于该方法的效果,以下进行说明。

[0067] 图11是关于质子注入的飞程 R_p 为15μm前后的载流子浓度分布,仅利用炉退火形成试样,并按飞程 R_p 进行比较的图表。(a)是飞程 R_p 为50μm,(b)是飞程 R_p 为20μm,(c)是飞程 R_p 为10μm的图表。炉退火温度为400℃。如图11那样,无论多少的飞程 R_p ,仅利用炉退火的情况下,距离注入面5μm左右的载流子浓度都大幅降低。即,可知仅利用炉退火的情况下,残留了距离注入面5μm左右的无序,即使仅利用炉退火,也难以恢复注入面附近区域的载流子迁移率。

[0068] 如上所述,若在进行用于使质子施主化的炉退火处理后,进行激光退火处理,则能够高效地形成氢致施主,同时减少炉退火中残留的无序,形成n型无序减少区域18。另一方面,仅通过上述的炉退火处理不能充分减少无序,而且,仅通过激光退火处理不能充分形成氢致施主。图2中示出关于有激光退火处理和无激光退火处理的情况下的n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线进行验证的结果。

[0069] 图2是有激光退火处理和无激光退火处理的情况下的n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线12、13。对硅基板进行质子注入之后,进行炉退火处理(这里是400℃)。其后,通过激光退火处理减少炉退火中残留的无序,形成n型无序减少区域18。图2的载流子浓度曲线12是形成了n型无序减少区域18之后的曲线。为了便于比较,未进行激光退火处理而残留无序的情况下的载流子浓度曲线13也用虚线示出。质子的飞程 R_p 为25μm,对应的质子的加速能量为1.35MeV。激光退火处理的能量密度为2.8J/cm²。

[0070] 在未进行激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线13中,在相当于从作为质子的飞程17(R_p)的峰(山)的背面11b侧的末端(即n型电场终止层3的背面11b侧的端部3a)至质子注入面(背面11b)为止的区间(质子通过区域14的一部分)的区域中,无序区域15被扩展。峰(山)的背面11b侧的末端的端部3a距离注入面约为5μm的深度。若具有该无序区域15,则在该区域中电子和空穴的迁移率降低,所以无序区域15的载流子浓度看上去下降了(高电阻层化)。另外,无序成为载流子的产生中心,从而电压外加时的漏电流增加。

[0071] 另一方面,在有激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线12中,在质子通过区域

14中,从注入面(背面11b)至n型电场终止层3的背面11b侧的端部3a为止的区间的载流子浓度与比飞程17更深的硅基板的浓度大体一致。即,表示仅通过炉退火处理时残留于质子通过区域14的无序通过进行激光退火处理和炉退火处理这两者而减少。将如此无序被减少的区域称为n型无序减少区域18。另外,将由一个n型电场终止层3和与注入面侧相邻的一个n型无序减少区域18构成的对称称为n型中间层27。

[0072] 接下来,对有激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线12中的n型无序减少区域18和无激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线13中的无序区域15之间的不同点进行说明。在图2中,如前所述,无序区域15看上去处于载流子浓度降低的状态。即,在图2的用虚线表示的无激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线13中,在形成有n型电场终止层3的一侧(从背面侧算起比n型电场终止层3浅)的无序区域15中,载流子浓度看上去低。该表观上的载流子浓度的降低是由根据利用公知的扩展电阻测定法(SR法)测定的扩展电阻算出比电阻,再换算成载流子浓度时的换算方法导致的。即,在晶格紊乱的无序区域15中,因电子和/或空穴强烈紊乱而散射,所以这些载流子的迁移率降低。

[0073] 一般,由于在测定装置中对载流子迁移率的值设定结晶状态下的理论值,所以载流子浓度的计算如下述那样受到由无序区域15引起的载流子的迁移率的降低的影响。例如在室温(300K左右)下的硅的电子的迁移率为 $1360(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$,空穴的迁移率为 $495(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$ 。从扩展电阻向比电阻的换算中载流子的迁移率不作贡献,但是从比电阻向载流子浓度的换算式中,将载流子浓度设定为 $N(\text{cm}^{-3})$,将比电阻设定为 $\rho(\Omega \cdot \text{cm})$ 后,用 $\rho=1/(\mu \cdot q \cdot N)$ 表示。其中, μ 为电子或空穴的迁移率($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$), q 为素电荷($1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)。在该换算式中,比电阻 ρ 为某个恒定值 ρ_0 时,若在本来应该代入降低的迁移率的地方代入了比其值大的结晶状态的理想迁移率的值,则由于比电阻 ρ_0 为恒定值,所以算出的载流子浓度 N 较小。这作为表观上的载流子浓度的降低而出现在图2的无激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线13中。因此,如本发明这样,通过激光退火处理减少背面11b侧的质子通过区域14中所存在的无序区域15的无序,形成n型无序减少区域18,从而改善漏电流等的电特性。

[0074] 根据以上可知,为了提高氢致施主的施主生成率,需要进行炉退火处理,另一方面为了减少残留于质子通过区域14的无序而形成n型无序减少区域18,需要在炉退火处理的基础上进行激光退火处理。应予说明,若炉退火处理的温度过高,则质子注入中生成的无序减少提前,但基于质子的氢致施主的形成中所需要的结晶缺陷量变得不足,其结果,施主生成率降低。因此,炉退火处理可以在上述的温度范围和处理时间范围内进行。

[0075] 另外,关于激光退火处理中的能量密度,若过高则产生磨蚀,背面变得粗糙。p集电极层的pn接合面优选为平坦,若变得粗糙,形成与粗糙的形状相对应的pn接合面。另一方面,如果过低则无法充分除去注入面附近(注入面~深度 $5\mu\text{m}$)的无序而残留,从而形成载流子迁移率低的状态。发明人等经过深入的反反复复研究,其结果,发现激光退火中的激光照射面的能量密度的总计优选为 $1\text{J}/\text{cm}^2$ 以上且 $4\text{J}/\text{cm}^2$ 以下。

[0076] 关于n型无序减少区域18中的载流子迁移率至少应该恢复到何种程度,可以通过图2进行研究。在图2的情况下,n半导体基板11的载流子浓度约为 $6 \times 10^{13}(/\text{cm}^3)$ 。与此相对,有激光退火处理的情况下,从注入面至 $5\mu\text{m}$ 的区间(质子通过区域的一部分)的载流子浓度约为 $5 \times 10^{13}(/\text{cm}^3)$,恢复到基板浓度的83%。这就表示载流子迁移率恢复到结晶理论值的约83%。另一方面,无激光退火处理(仅进行炉退火处理)的情况下,在载流子浓度最低的注入

面上为约 $1.2 \times 10^{13} (/cm^3)$,大致降低至20%。虽然由导通损耗(IGBT的饱和电压 $V_{CE(sat)}$)的降低的情况决定,但如果n型无序减少区域18中的载流子迁移率的最小值相对于结晶状态的理论值为20%以上,优选为50%以上,则与载流子迁移率没有降低的情况下的导通损耗相比,其影响是能够充分忽略的程度。应予说明,n型无序减少区域18中的载流子迁移率的最小值的上限相对于结晶状态的理论值优选为100%是毋庸置疑的。

[0077] 炉退火处理的温度优选为350℃以上且550℃以下。比350℃低的温度的情况下,从注入面至飞行 R_p 为止的整个质子注入区域残留无序,载流子迁移率的最小值小于10%。另一方面,为550℃以上的温度下,氢致施主其本身消失。更优选为380℃以上且450℃以下,进一步优选为400℃以上且420℃以下,在该温度范围内能够实现氢致施主的形成和抑制载流子迁移率降低的这两者。

[0078] 另外,n型无序减少区域18的载流子浓度在比n型电场终止层3的浓度低的范围内可能具有比n半导体基板11的浓度高的浓度。这是因为残留于质子通过区域14的氢离子形成周边的点缺陷和复合缺陷所导致的。在该情况下,如果质子通过区域14的浓度与n半导体基板11的浓度相同或比其浓度高,则可以称为无序被减少的n型无序减少区域18。

[0079] 关于在图1的工艺流程中制作的IGBT 100,参照图3进行详细说明。如上所述,在n半导体基板11的表面11a形成p基底层22,在p基底层22的表面层形成n发射层2。在被n发射层2和n半导体基板11夹住的p基底层22上介由栅极绝缘膜23形成栅电极24。由该栅电极24、栅极绝缘膜23、n半导体基板11以及n发射层2构成MOS栅极结构。在栅电极24上形成层间绝缘膜28,在该层间绝缘膜28上形成与n发射层2和p基底层22导电接触的发射电极25。

[0080] 通过质子注入和炉退火在n半导体基板11的背面11b形成载流子浓度比n半导体基板11高的n型电场终止层3。通过硼的离子注入和用于减少无序的激光退火处理,在比该n型电场终止层3浅的位置形成p集电极层4和n型无序减少区域18。在该p集电极层4上形成集电极(未图示),从而完成IGBT 100。应予说明,从n型电场终止层3至p基底层22为止的区间的n半导体基板11是主电流流动并维持主耐压的n漂移层1。这样形成的IGBT 100的剖视图如图12所示。图12是本发明的IGBT的剖视图。应予说明,在p集电极层4与n型无序减少区域18之间,可以形成浓度比n型电场终止层3高且浓度比p集电极层4低的止漏层32。该止漏层32例如通过磷的离子注入而形成。

[0081] 该IGBT 100的n型电场终止层3如上所述,按如下方式形成,即从背面11b进行质子注入16,通过利用炉退火处理适当残留结晶缺陷,从而进行质子的施主化而形成。另外,通过形成于质子通过区域14的无序的减少而形成的n型无序减少区域18,通过从背面11b照射激光的激光退火处理而高效地进行。图3所示的IGBT 100和图12所示的IGBT 100中,虽然图示的MOS栅极结构的构成不同(图3中为平面栅极结构,图12中为沟槽栅极结构),但是只要背面11b侧形成有由n型电场终止层3和n型无序减少区域18构成一对的n型中间层27,则会起到相同的效果。如图12所示,关于具有2个以上的n型中间层27的情况,将后面进行描述。应予说明,在图12中,也与图3同样地使符号22表示p基底层,使符号23表示栅极绝缘膜,使符号24表示栅电极,使符号25表示发射电极,使符号28表示层间绝缘膜。另外,符号33表示集电极。

[0082] <实施例2>

[0083] 对实施例2的半导体装置进行说明。图4是表示本发明的实施例2的半导体装置的

制造方法的工艺流程图。

[0084] 与实施例1的不同点是,在质子注入之后,接着进行硼注入(图4(e)的工序),其后进行激光退火处理(图4(f)的工序)和后续的炉退火处理(图4(g)的工序)。此时,在先前的激光退火处理中,在质子注入16中生成的质子通过区域14形成n型无序减少区域18,同时使硼活性化,从而形成p集电极层4。另外,在后续工序中进行的炉退火处理中,进行质子的施主化,形成n型电场终止层3。在该情况下,也与实施例1同样地,通过组合激光退火处理和炉退火处理,从而能够形成n型无序减少区域18,提高施主生成率而形成n型电场终止层3。通过形成n型无序减少区域,能够改善半导体装置的漏电流等电特性。

[0085] 另外,在图1的工艺流程中,用保护膜覆盖相对于图3所示的质子注入面(背面11b)为相反的一侧的表面11a,在质子注入16后除去该保护膜进行炉退火。接着,作为用于硼的离子注入的保护膜再次覆盖第二次保护膜进行激光退火。即,需要进行两次保护膜的覆盖。相对于此,在图4的工艺流程中,可以在激光退火处理后除去1次保护膜,所以能够比图1的工艺流程的情况减少制造成本。

[0086] 应予说明,在图4的工艺流程中制作的半导体装置(IGBT 100)也具有与图3相同的构成。

[0087] <实施例3>

[0088] 对实施例3的半导体装置进行说明。实施例3是形成一个以上由成对的n型电场终止层3和n型无序减少区域18构成的n型中间层27,例如如本实施例这样形成3个的情况下的IGBT。图5是本发明的实施例3的半导体装置(IGBT 100)的主要部分剖视图(a)和n型电场终止层3附近的载流子浓度曲线(b)的图。如此,通过形成多个n型中间层27,能够缓和关断时耗尽层的扩散,从而能够抑制开关时(关断时)的振荡现象。

[0089] <实施例4>

[0090] 接下来,作为实施例4,对在本发明的半导体装置的制造方法中多次质子照射中的第一段质子峰位置的优选位置进行说明。

[0091] 图8是一般的IGBT的关断振荡波形。集电极电流为额定电流的1/10以下的情况下,由于存储载流子少,所以有时在关断结束的跟前发生振荡。将集电极电流固定为某个值,采用不同的电源电压 V_{cc} 关断IGBT。此时,若电源电压 V_{cc} 超过某个预定的值,则集电极-发射极间电压波形中,超过通常的过冲电压的峰值后,产生附加的过冲。然后,该附加的过冲(电压)成为触发点,之后的波形发生振动。若电源电压 V_{cc} 进一步超过该预定的值,则附加的过冲电压进一步增加,以下的振动的振幅也增加。如此,将电压波形开始振动的阈值电压称为振荡开始阈值 V_{RRO} 。该 V_{RRO} 越高,表示IGBT在关断时不振荡,因而优选。

[0092] 对于振荡开始阈值 V_{RRO} 而言,取决于从IGBT的p型基底层与n漂移层之间的pn结扩散到n漂移层的耗尽层(严格来说,由于存在空穴,所以是空间电荷区域)在多个质子峰中最初到达的第一段(最靠近p基底层侧)质子峰的位置。其理由如下。关断时耗尽层从p基底层与n漂移层之间的pn结扩散到n漂移层时,通过耗尽层端到达第1个(最靠近p基底层侧)FS层(电场终止层),从而其扩散被抑制,存储载流子的输出变弱。其结果,载流子的枯竭被抑制,振荡受到抑制。

[0093] 关断时的耗尽层从p基底层与n漂移层之间的pn结(以下,仅称为pn结)朝向集电极沿深度方向扩散。因此,耗尽层端最初到达的FS层的峰位置成为最接近pn结的FS层。因此,

将n半导体基板11的厚度(被发射电极与集电极夹住的部分的厚度)设定为W0,将耗尽层端最初到达的FS层的峰位置从集电极与n半导体基板11的背面的界面起算的深度(以下,称为距背面的距离)设定为X。其中,导入距离指标L。距离指标L可以用下述的(1)式表示。

[0094] [数学式1]

$$[0095] \quad L = \sqrt{\frac{\epsilon_s V_{rate}}{q \left(\frac{J_F}{qv_{sat}} + N_d \right)}} \quad \dots (1)$$

[0096] 对于上述(1)式表示的距离指标L而言,在关断时,增加的集电极-发射极间电压V_{CE}与电源电压V_{CC}一致时,距离指标L表示从pn结扩散到n漂移层1的耗尽层(正确来讲为空间电荷区域)的端部(耗尽层端)距pn结的距离的指标。平方根的内部的分数中,分母表示关断时的空间电荷区域(耗尽层)的空间电荷密度。公知的泊松式用divE=ρ/ε表示,E为电场强度,ρ为空间电荷密度,且ρ=q(p-n+N_d-N_a)。q为基元电荷,p为空穴浓度,n为电子浓度,N_d为施主浓度,N_a为受体浓度,ε_s为半导体的介电常数。特别是,施主浓度N_d是将n漂移层在深度方向上积分,再除以积分的区间的距离而得到的平均浓度。图13(b)的净掺杂浓度是指N_d-N_a的净值的掺杂浓度,轴用N_d-N_a的绝对值表示。

[0097] 该空间电荷密度ρ以关断时贯穿空间电荷区域(耗尽层)的空穴的浓度p和n漂移层的平均的施主浓度N_d记述,电子浓度与这些相比低到可以忽略的程度,由于不存在受体,所以可以表示成ρ≒q(p+N_d)。此时的空穴浓度p由IGBT的分断电流决定,特别是由于假定为以元件的额定电流密度通电的状态,因此用p=J_F/(qv_{sat})表示,J_F为元件的额定电流密度,v_{sat}为载流子的速度在预定的电场强度中饱和的饱和速度。

[0098] 用距离x对上述泊松式进行二重积分,作为电压V是E=-gradV(公知的电场E与电压V的关系),所以如果恰当地采取边界条件,则V=(1/2)(ρ/ε)x²。将该电压V是额定电压V_{rate}的1/2时得到的空间电荷区域的长度x作为上述的距离指标L。其原因是,对于逆变器等实机中,将成为电压V的运行电压(电源电压)设为额定电压的一半左右。FS层通过使掺杂浓度与n漂移层相比为高浓度,从而具有使关断时扩散的空间电荷区域的延伸难以在FS层扩散的功能。IGBT的集电极电流因MOS栅极的关断而从分断电流开始减少时,耗尽层最初到达的FS层的峰位置如果正好为该空间电荷区域的长度,则在存储载流子残存于n漂移层的状态下,能够抑制空间电荷区域的延伸,因此残存载流子的输出被抑制。

[0099] 用公知的PWM逆变器电动驱动例如IGBT模块时,在实际的关断动作中电源电压和/或分断电流并不固定,很多情况下是可变的。因此,在这样的情况下,在耗尽层最初到达的FS层的峰位置的优选位置,有必要设置某种程度的宽度。发明人等的研究的结果,耗尽层最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X为如图10中示出的表。图10是表示本发明的半导体装置中耗尽层最初到达的FS(电场终止)层的位置条件的图表。图10中示出额定电压分别为600V~6500V时,耗尽层端最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X。其中,X=W0-γL,γ为系数。表示使该系数γ在0.7~1.6变化时的X。

[0100] 如图10所示,各额定电压中,以元件(IGBT)具有比额定电压高10%左右的耐压的方式,进行安全设计。然后,设定如图10所示那样的n半导体基板11的总厚(通过研磨等削薄后的完成时的厚度),而且将n漂移层1作为平均的比电阻,以使通态电压、关断损耗分别足

够低。平均是指包含FS层的整个n漂移层1的平均浓度和比电阻。通过额定电压,额定电流密度也成为如图10所示的典型值。额定电流密度被设定成使由额定电压与额定电流密度之积确定的能量密度大概为一定的值,大致是图10所示的值。使用这些值,根据上述(1)式计算距离指标L时,得到图10中记载的值。耗尽层端最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X是从n半导体基板11的厚度W0中减去相对于该距离指标L将 γ 设为0.7~1.6的值的值。

[0101] 相对于这些距离指标L和n半导体基板11的厚度W0的值,确定能够使关断振荡被充分抑制的、耗尽层端最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X的系数 γ 如下所述。图7是关于使电压波形开始振动的阈值电压示出的特性图。具体而言,是通过典型的一些额定电压(600V、1200V、3300V)示出 V_{RR0} 相对于该 γ 的依赖性的图。其中,纵轴是使 V_{RR0} 按额定电压 V_{rate} 标准化的值。可知在 γ 为1.6以下,3个额定电压均能使 V_{RR0} 急剧变高。

[0102] 如前所述,在逆变器等实机中,将成为电压V的动作电压(电源电压 V_{CC})设定为额定电压 V_{rate} 的一半左右,所以将 V_{CC} 设定为 V_{rate} 的一半时,至少要使IGBT的关断振荡不发生。换言之, V_{RR0}/V_{rate} 的值需要为0.5以上。由图7可知, V_{RR0}/V_{rate} 的值变为0.5以上时, γ 为0.2~1.5,所以优选至少将 γ 设定为0.2~1.5。

[0103] 另外,在未图示的600V~1200V之间(800V和/或1000V等)、1200V~3300V之间(1400V、1700V、2500V等)、以及3300V以上(4500V、6500V等)的情况下,都没有大幅度脱离这3个曲线,表示出相同的依赖性(V_{RR0} 相对于 γ 的值)。由图7可知, γ 为0.7~1.4的范围内,任意的额定电压都是能够充分提高 V_{RR0} 的区域。

[0104] 若 γ 变得比0.7小,则虽然 V_{RR0} 为额定电压的大致80%以上,但FS层接近p基底层,所以有时产生元件的雪崩耐压变得比额定电压小的情况。因此, γ 优选为0.7以上。另外,若 γ 变得比1.4大,则 V_{RR0} 从约70%迅速减少,容易产生关断振荡。因此, γ 优选为1.4以下。 γ 更优选为0.8~1.3的范围,进一步优选为0.9~1.2,在该范围时,能够使元件的雪崩耐压比额定电压充分高的同时,使 V_{RR0} 最高。

[0105] 该图7所示的本申请发明的效果中重要的点是,即使在任意的额定电压,能够充分提高 V_{RR0} 的 γ 的范围几乎相同(例如0.7~1.4)。其原因是,将耗尽层最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X的范围设定为大致以 $W0-L$ (即 $\gamma=1.0$)为中心包含时最有效的。包含 $\gamma=1.0$ 时最有效的理由在于,功率密度(额定电压与额定电流密度之积)为大致恒定(例如 $1.8 \times 10^5 \sim 2.6 \times 10^5 \text{VA/cm}^2$)所引起的。换言之,进行关断等开关动作时,元件的电压变成相当于额定电压时,空间电荷区域端的距离(深度)是上述(1)式表示的距离指标L左右,如果在该L的位置存在距离背面最深的FS层的峰位置(即 γ 约为1.0),则能够抑制开关时的振荡。而且,功率密度大致恒定,所以距离指标L与额定电压 V_{rate} 成比例。由此,无论在何种额定电压 V_{rate} ,只要将 γ 为1.0包含在大致中心的范围,则能够充分提高 V_{RR0} ,能够最大地提高开关时的振荡抑制效果。

[0106] 综上所述,通过使耗尽层端最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X设为上述范围,关断时IGBT能够残存足够的存储载流子,能够抑制关断时的振荡现象。因此,即便在任意的额定电压下,耗尽层端最初到达的FS层的峰位置距背面的距离X可以使距离指标L的系数 γ 设在上述的范围。由此,能够有效抑制关断时的振荡现象。

[0107] 另外,图10中,额定电压为600V以上时,如上述那样使距背面最深的第一个FS层距背面的深度为 $\gamma=1$ 左右的情况下,可知距离指标L在任意的额定电压下都比20 μm 深。即,

使用于形成第一段质子峰的质子的飞程 R_{p1} 距离基板背面比 $15\mu\text{m}$ 还深,设为 $20\mu\text{m}$ 以上的理由是,为了真正最大限度地提高该振荡抑制效果。

[0108] <实施例5>

[0109] 作为实施例5,对本发明的半导体装置的制造方法中的质子的加速能量进行说明。为了以满足上述的 γ 的范围的方式实际上用质子照射形成具有耗尽层最初到达的FS层的峰位置距背面的距离 X 的FS层,可以由以下所示的图9的特性图确定质子的加速能量。图9是表示本发明的半导体装置的质子的飞程与质子的加速能量之间的关系的特性图。

[0110] 发明人等反复进行了深入的研究,其结果,发现对于质子的飞程 R_p (FS层的峰位置)和质子的加速能量 E ,将质子的飞程 R_p 的对数 $\log(R_p)$ 设定为 x ,将质子的加速能量 E 的对数 $\log(E)$ 设定为 y 时,有下述(2)式的关系。

[0111] $y = -0.0047x^4 + 0.0528x^3 - 0.2211x^2 + 0.9923x + 5.0474 \cdots (2)$

[0112] 将表示上述(2)式的特性图示于图9。图9表示用于得到质子的所希望的飞程的质子的加速能量。图9的横轴为质子的飞程 R_p 的对数 $\log(R_p)$,表示与 $\log(R_p)$ 的轴数值的下侧的括弧内对应的飞程 $R_p(\mu\text{m})$ 。另外,纵轴为质子的加速能量 E 的对数 $\log(E)$,表示与 $\log(E)$ 的轴数值的左侧的括弧内对应的质子的加速能量 E 。上述(2)式是将通过实验等得到的、质子的飞程 R_p 的对数 $\log(R_p)$ 和加速能量的对数 $\log(E)$ 的各值用 $x(=\log(R_p))$ 的4次多项式拟合的式子。

[0113] 应予说明,使用上述的拟合式根据所希望的质子的平均飞程 R_p 算出质子照射的加速能量 E (以下,称为计算值 E),并用该加速能量的计算值 E 将质子注入到硅基板的情况下的、实际的加速能量 E' 与实际上利用扩展电阻(SR)测定法等而得到的平均飞程 $R_{p'}$ (质子峰位置)的关系,可以认为满足如下关系。

[0114] 相对于加速能量的计算值 E ,如果实际的加速能量 E' 为 $E \pm 10\%$ 左右的范围,则实际的平均飞程 $R_{p'}$ 也在相对于所希望的平均飞程 R_p 为 $\pm 10\%$ 程度的范围,在测定误差的范围内。因此,实际的平均飞程 $R_{p'}$ 相对于所希望的平均飞程 R_p 的偏差对IGBT的电特性带来的影响足够小,是可以忽略的程度。因此,只要实际的加速能量 E' 在计算值 $E \pm 10\%$ 的范围内,实际的平均飞程 $R_{p'}$ 可以判定为实质上与设定的平均飞程 R_p 相同。或,如果相对于将实际的加速能量 E' 代入上述(2)式而算出的平均飞程 R_p 而言,实际的平均飞程 $R_{p'}$ 在 $\pm 10\%$ 以内,也没有问题。

[0115] 在实际的加速器中,加速能量 E 和平均飞程 R_p 均可以在上述的范围($\pm 10\%$),所以即使认为实际的加速能量 E' 和实际的平均飞程 $R_{p'}$ 满足用所希望的平均飞程 R_p 和计算值 E 表示的上述的拟合式,也完全没有问题。并且,偏差和/或误差的范围相对于平均飞程 R_p 在 $\pm 10\%$ 以下即可,适当地在 $\pm 5\%$ 时,则可以认为完全满足上述(2)式。

[0116] 通过使用上述(2)式,可以求出得到所希望的质子的飞程 R_p 所需要的质子的加速能量 E 。上述的用于形成FS层的质子的各加速能量 E 也使用上述(2)式,实际上与采用公知的扩展电阻测定法(SR法)测定用上述的加速能量 E' 照射质子的试样的实测值也非常一致。因此,通过使用上述(2)式,能够以极高的精度、基于质子的飞程 R_p 预测所必要的质子的加速能量 E 。

[0117] <实施例6>

[0118] 对实施例6的半导体装置进行说明。虽然图1的工艺流程以IGBT 100为例子,但也

可适用于二极管。该情况下,图1(a)的工序是形成阳极层的工序。另外,图1(e)的工序的硼可用磷或者砷代替,在图1(f)的工序中形成阴极层。将如此形成的二极管的剖视图示于图13。图13是本发明的二极管的剖视图。在作为n漂移层1的半导体基板的表面形成p阳极层52,在背面形成n阴极层53。符号51为阳极电极,符号54为阴极电极。电场终止层3、n型无序减少区域18、由它们构成一对的n型中间层27与IGBT的情况相同,可适当地调整其位置和浓度等。另外,关于实施例6中记述的多次质子照射中的第一段质子峰位置的优选位置,在二极管的情况下,如果将关断振荡替换成反向恢复振荡,使振荡开始阈值 V_{RR0} 为二极管的电压波形开始振动的电源电压 V_{cc} 的阈值电压,则同样成立。

[0119] 应予说明,以上的各实施例中,可以在不脱离本发明的主旨的范围内进行各种变更。例如,作为质子,虽然记载了注入到半导体基板的氢离子,但也可以是氘离子、氚离子。氘离子和氚离子由于因中性子引起质量的增加,从而与质子相比飞程变短,所以在距离半导体基板的表面深的地方形成n型中间层27时,优选为质子。

[0120] 产业上的可利用性

[0121] 如上可知,本发明的半导体装置和半导体装置的制造方法对转换器、逆变器等电力转换装置等中使用的功率半导体装置有用。

[0122] 符号说明

[0123] 1 n漂移层

[0124] 2 n发射层

[0125] 3 n型电场终止层

[0126] 3a 端部

[0127] 4 p集电极层

[0128] 11 n半导体基板

[0129] 11a 表面

[0130] 11b 背面

[0131] 12 有激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线

[0132] 13 无激光退火处理的情况下的载流子浓度曲线

[0133] 14 质子通过区域

[0134] 15 无序区域

[0135] 16 质子注入

[0136] 17 飞程

[0137] 18 n型无序减少区域

[0138] 22 p基底层

[0139] 23 栅极绝缘膜

[0140] 24 栅电极

[0141] 25 发射电极

[0142] 27 n型中间层

[0143] 28 层间绝缘膜

[0144] 33 集电极

[0145] 100 IGBT

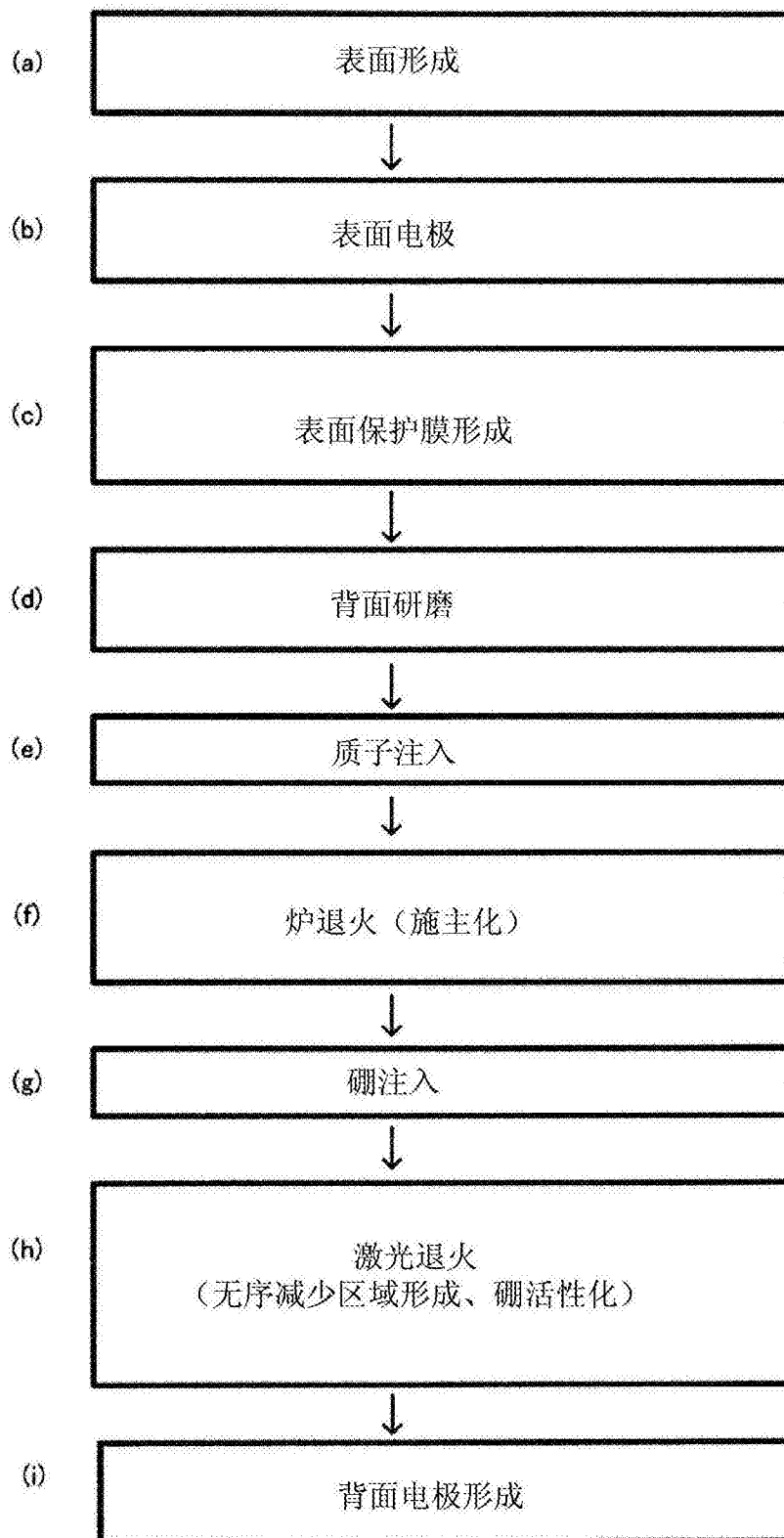


图1

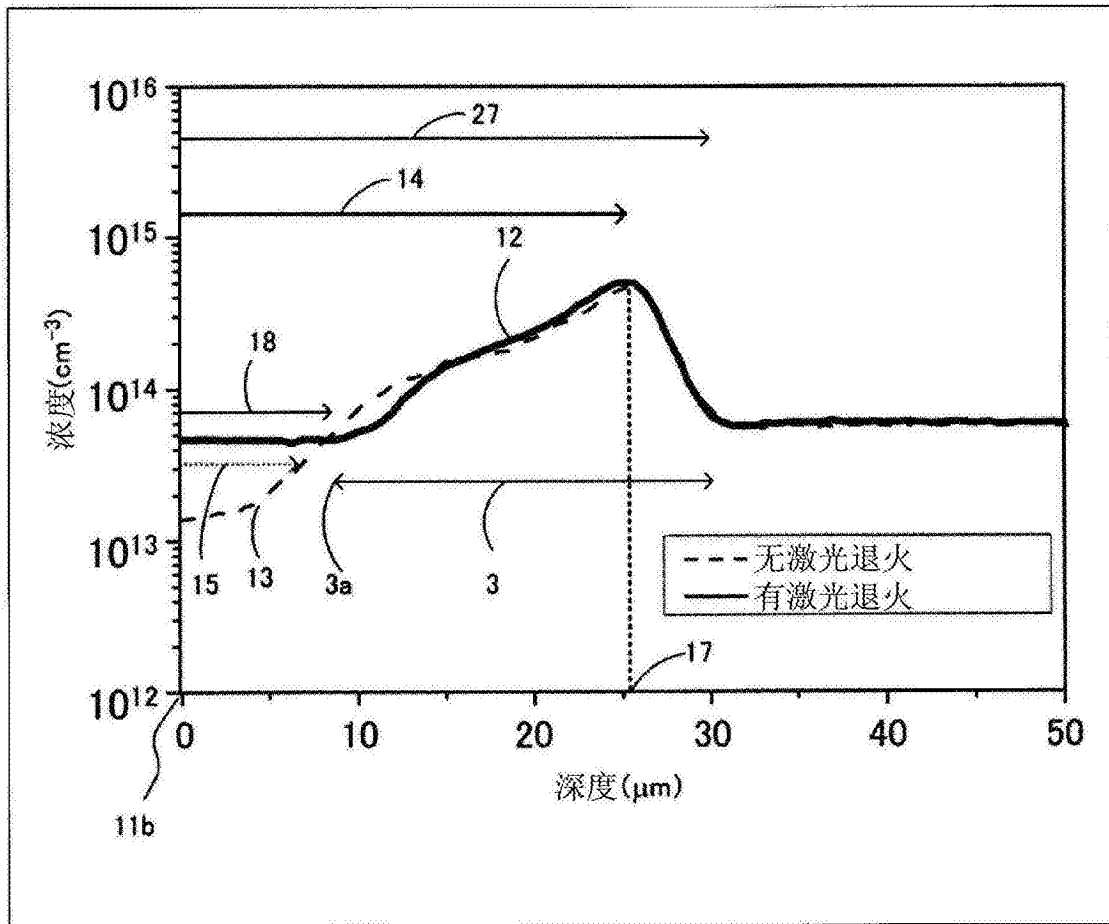


图2

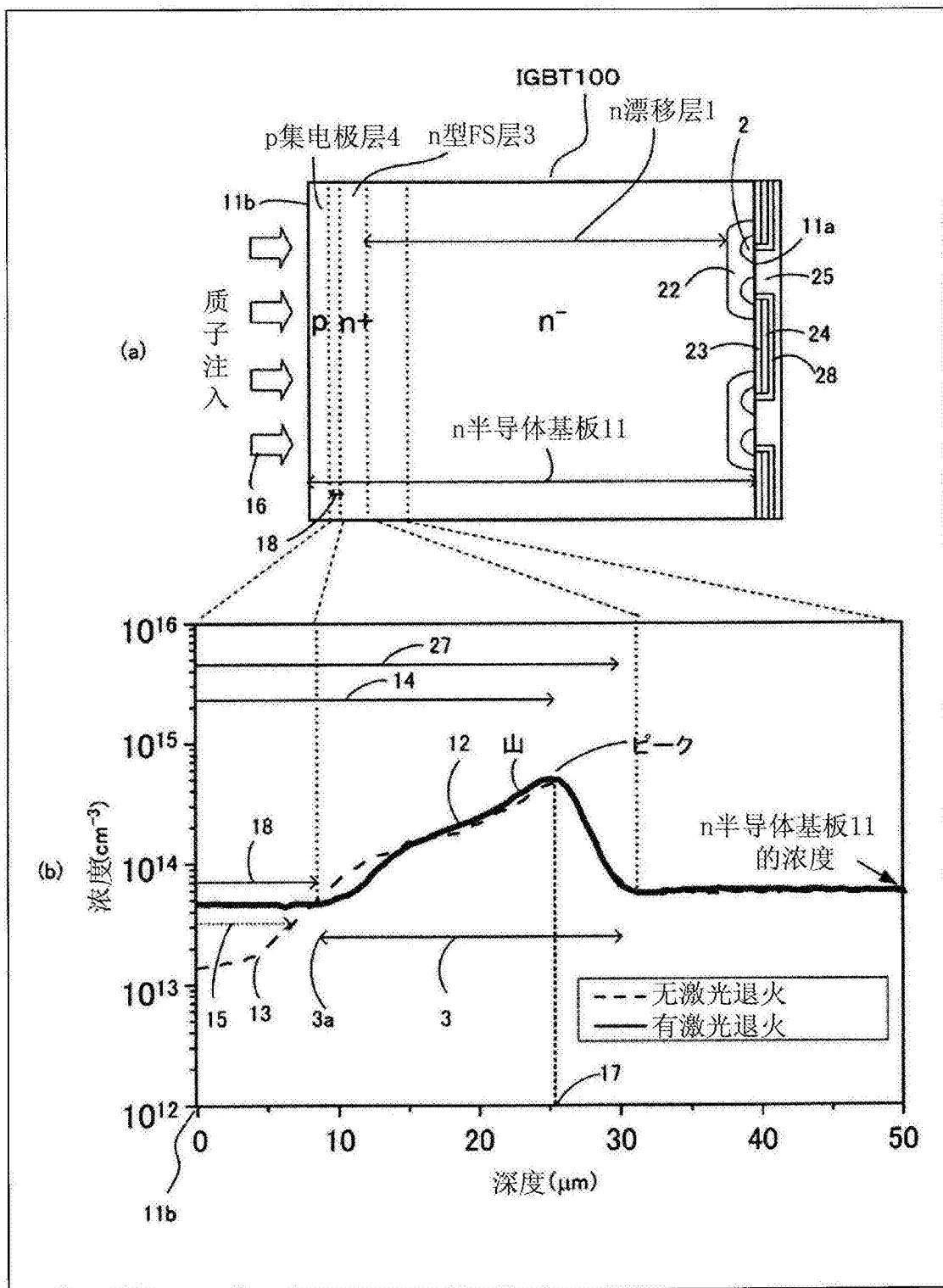


图3

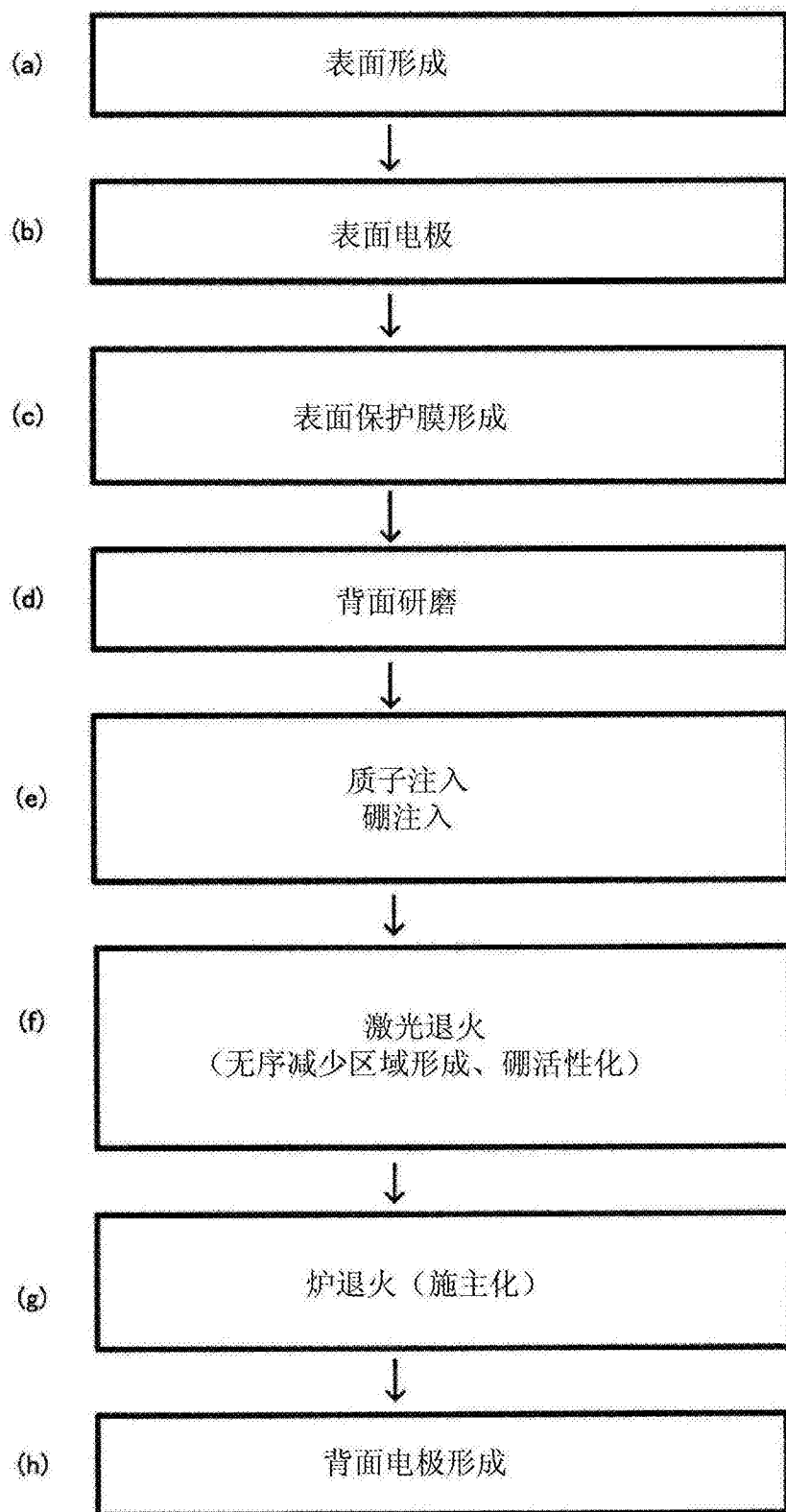


图4

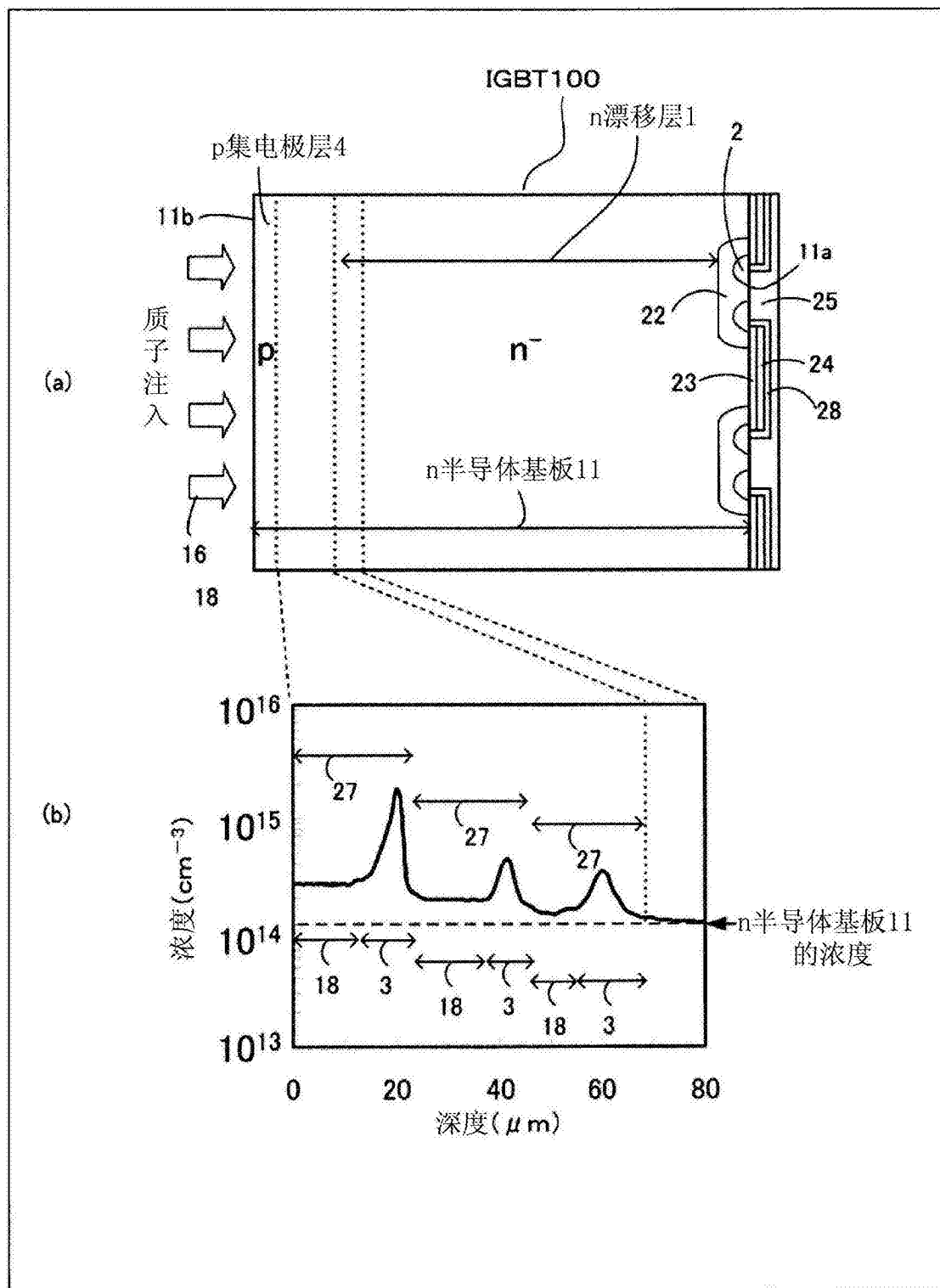


图5

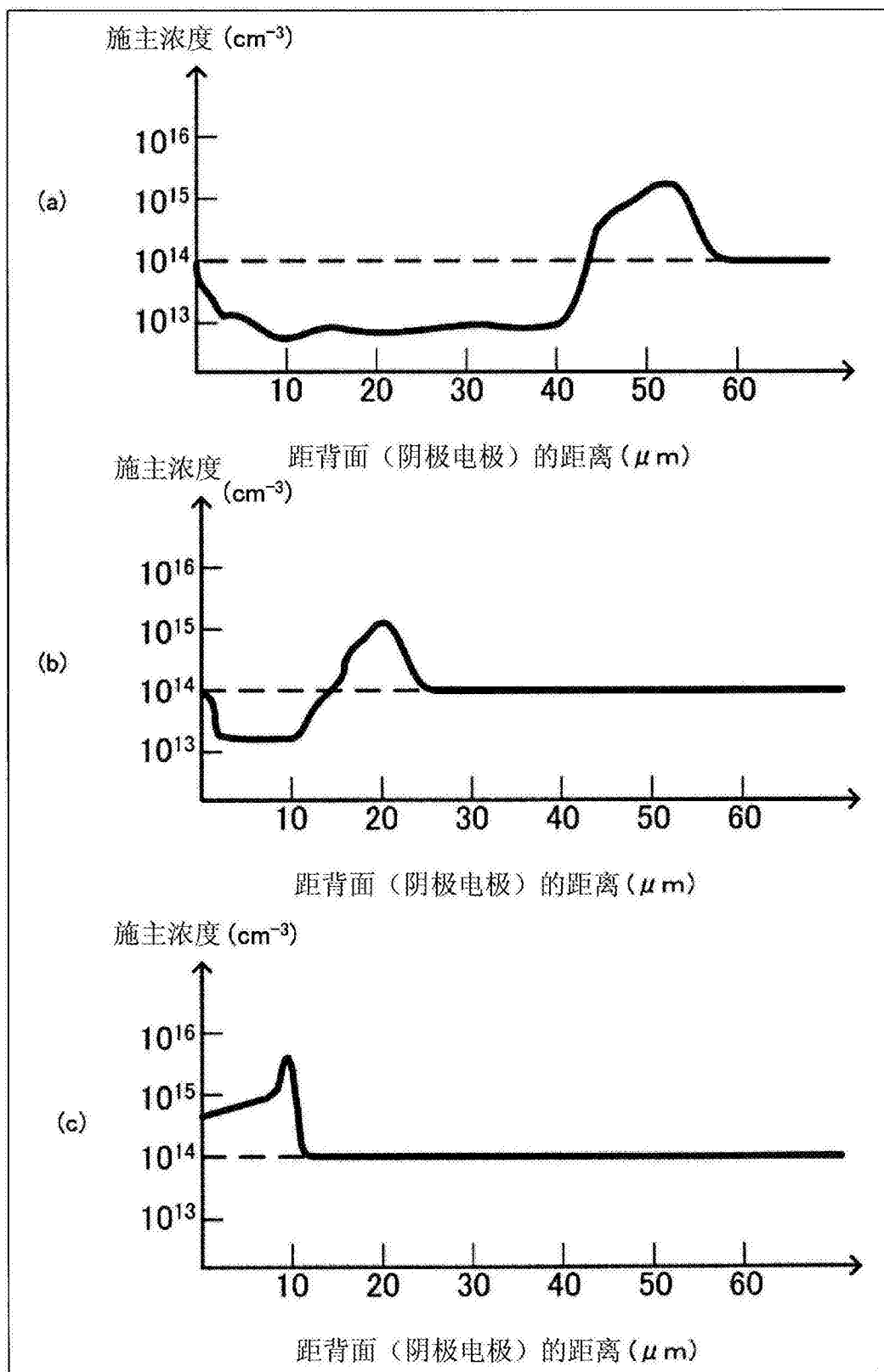


图6

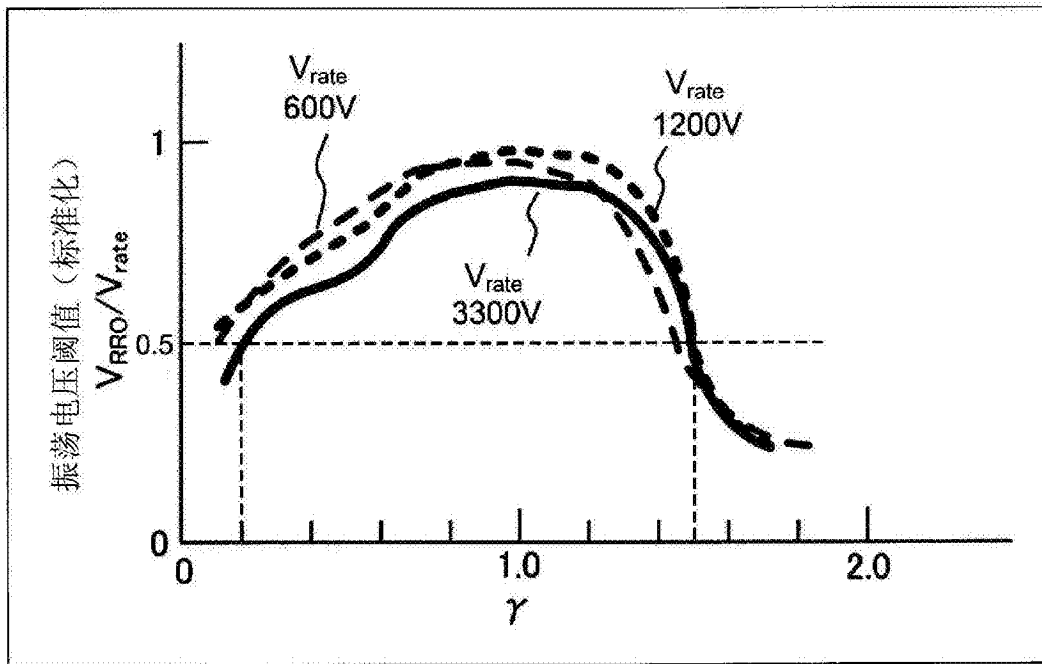


图7

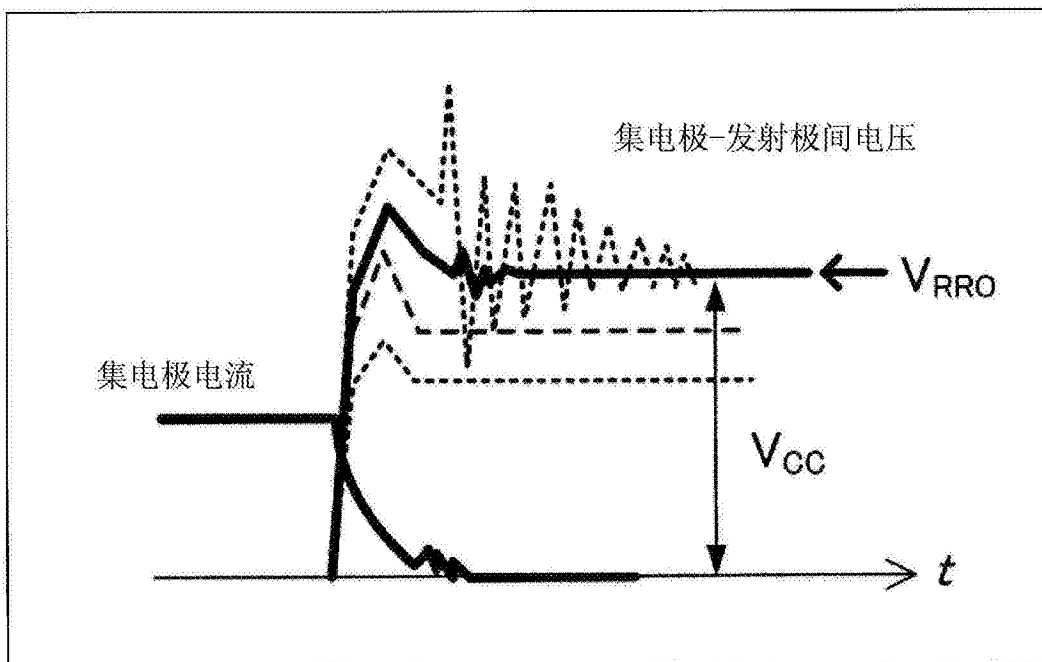


图8

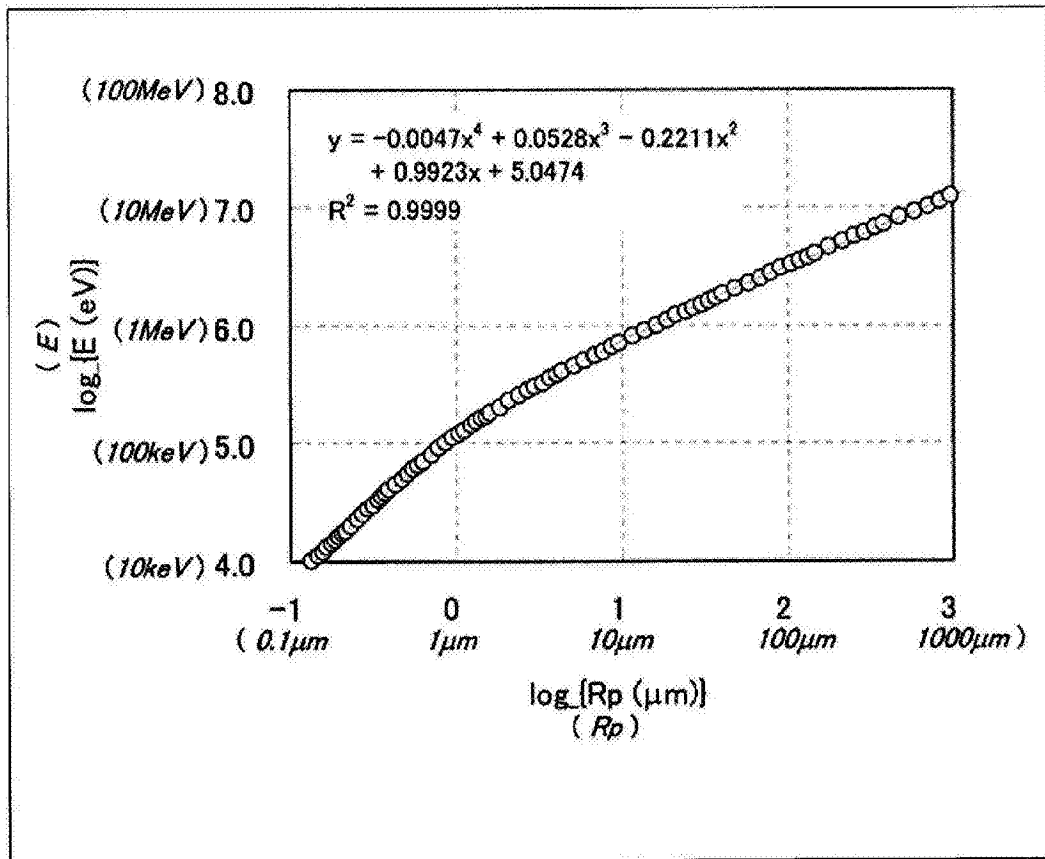


图9

额定电压 (V)	耐压 (V)	基板 总厚 W0 (μm)	比电阻 (Ω cm)	漂移层 平均浓度 (/cm ³)	额定电 流密度 (A/cm ²)	距离 指标 L (μm)	耗尽层端最初到达的FS层距背面的距离X (μm)									
							W0-0.7L	W0-0.8L	W0-0.9L	W0-1.0L	W0-1.1L	W0-1.2L	W0-1.3L	W0-1.4L	W0-1.5L	W0-1.6L
600	700	60	30	1.5E+14	300	31.9	37.7	34.5	31.3	28.1	24.9	21.7	18.5	15.3	12.1	8.9
1200	1400	120	60	7.7E+13	200	58.2	79.2	73.4	67.6	61.8	55.9	50.1	44.3	38.5	32.7	26.8
1700	1900	170	85	5.4E+13	150	80.8	113.4	105.3	97.3	89.2	81.1	73.0	64.9	56.9	48.8	40.7
3300	3500	330	165	2.8E+13	80	155.0	221.5	206.0	190.5	175.0	159.5	144.0	128.5	113.0	97.5	82.0
4500	4700	450	225	2.0E+13	50	223.1	293.8	271.5	249.2	226.9	204.6	182.3	160.0	137.7	115.4	93.1
6500	6700	650	325	1.4E+13	30	337.3	413.9	380.1	346.4	312.7	278.9	245.2	211.5	177.7	144.0	110.3

图10

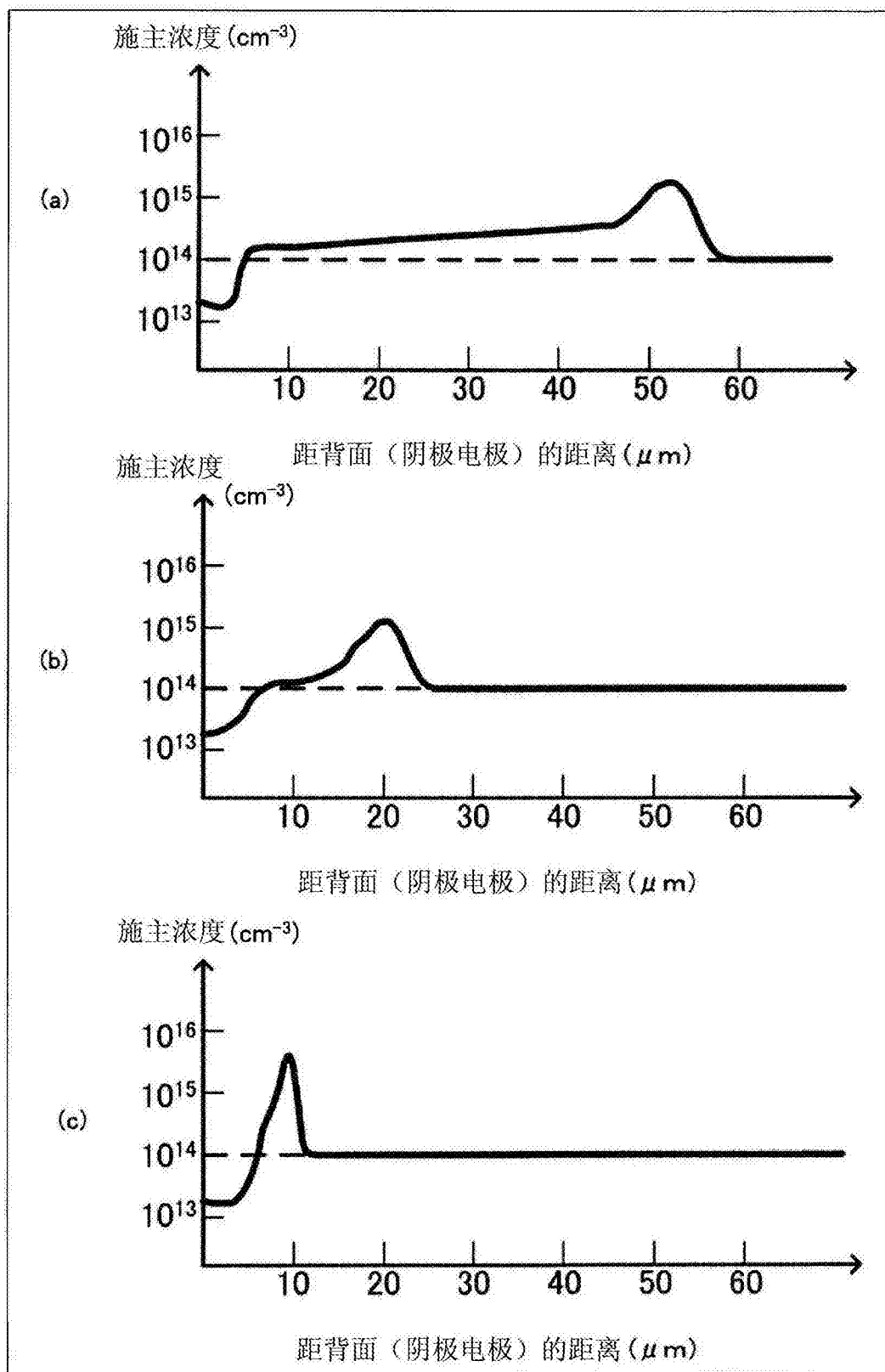


图11

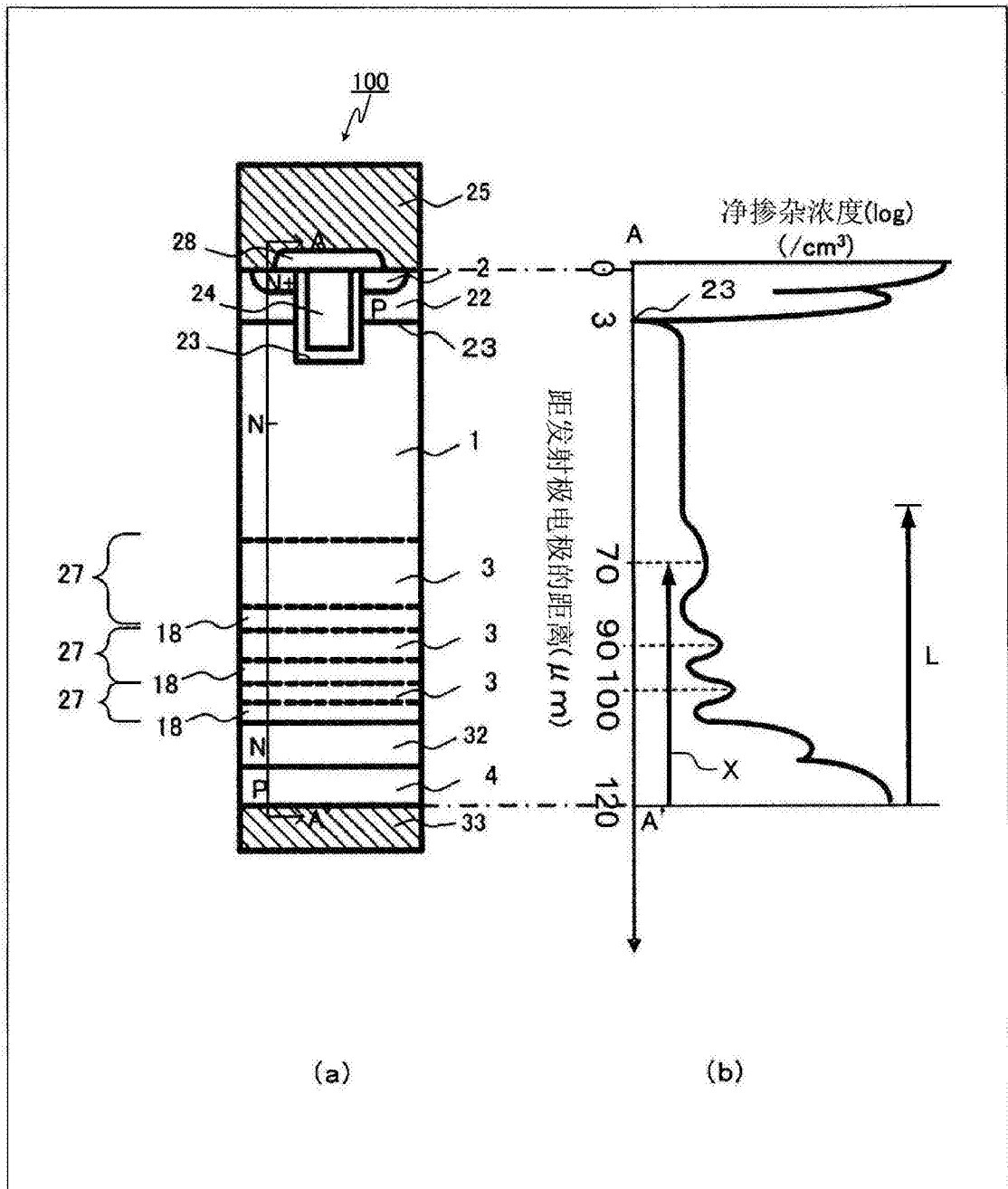


图12

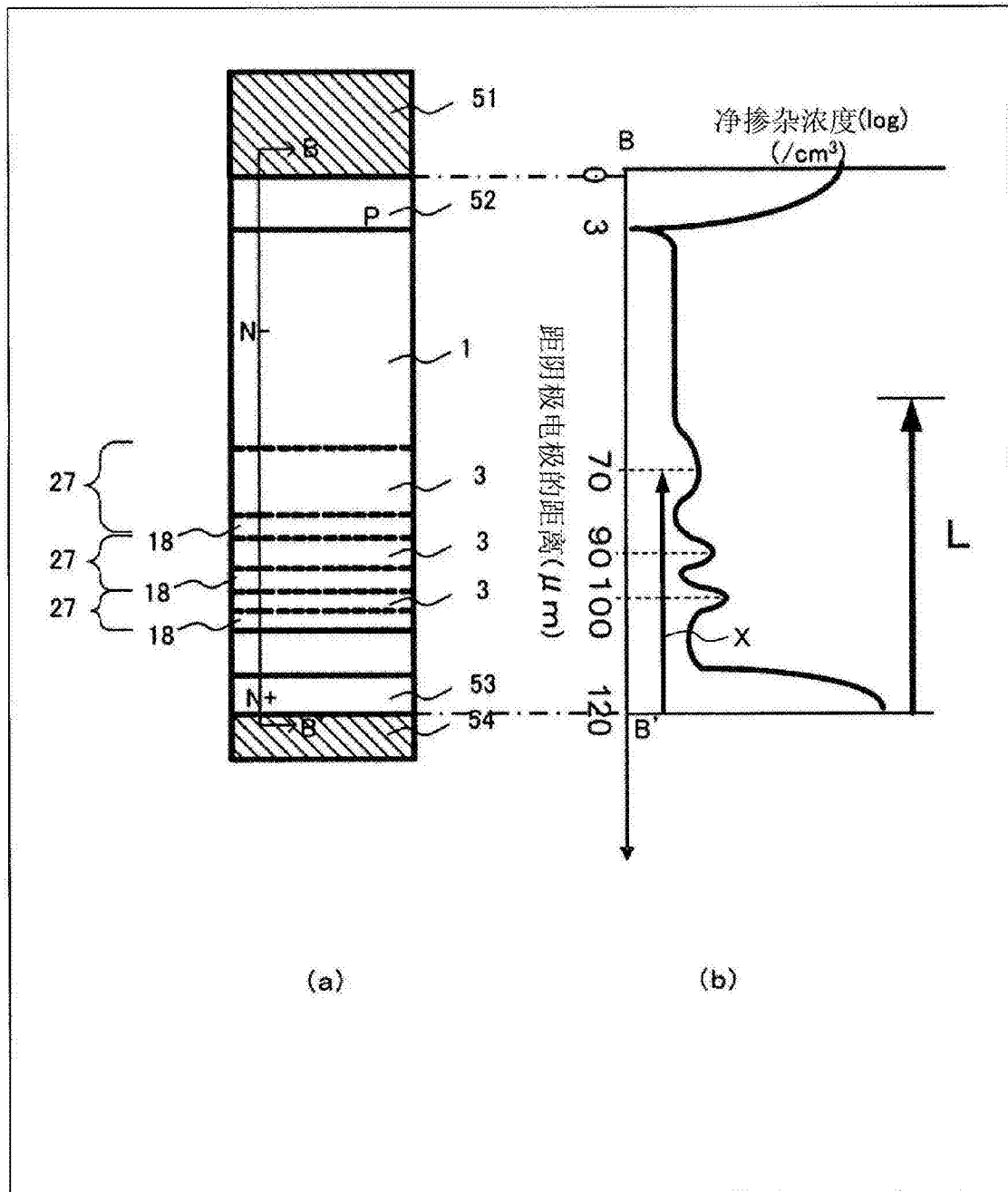


图13