



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117836952 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 05

(21) 申请号 202280051893.5

(22) 申请日 2022.06.16

(30) 优先权数据

2022-022803 2022.02.17 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.01.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/024121 2022.06.16

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/157330 JA 2023.08.24

(71) 申请人 富士电机株式会社

地址 日本神奈川县川崎市

(72) 发明人 阿形泰典 吉村尚

(74) 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司 11286

专利代理师 周爽 金玉兰

(51) Int.Cl.

H01L 29/78 (2006.01)

H01L 29/868 (2006.01)

H01L 29/861 (2006.01)

H01L 29/739 (2006.01)

H01L 29/12 (2006.01)

H01L 27/06 (2006.01)

H01L 21/8234 (2006.01)

H01L 21/336 (2006.01)

H01L 21/322 (2006.01)

H01L 21/265 (2006.01)

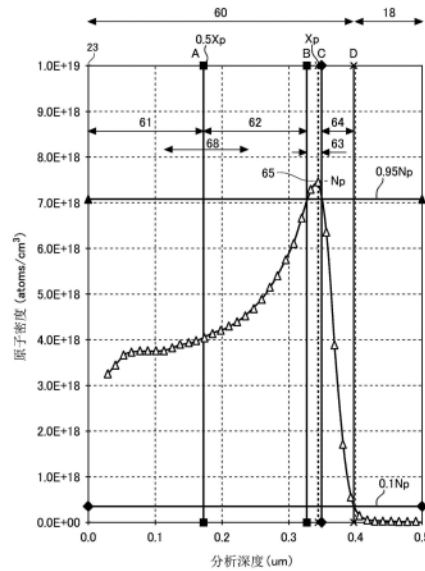
权利要求书4页 说明书22页 附图14页

(54) 发明名称

半导体装置及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种半导体装置,具备:第一导电型的漂移区,其设置于具有正面和背面的半导体基板;以及第一导电型或第二导电型的背面侧区域,其在所述半导体基板中,设置于比所述漂移区更靠所述半导体基板的背面侧的位置,且原子密度比所述漂移区的原子密度高,所述背面侧区域的原子密度分布具有:平缓梯度区,其在所述半导体基板的深度方向上,掺杂剂的原子密度从所述背面侧朝向所述半导体基板的正面侧增加;陡峭梯度区,其设置于比所述平缓梯度区更靠所述正面侧的位置,且所述掺杂剂的原子密度以比所述平缓梯度区的原子密度梯度更大的原子密度梯度增加;峰区,其设置于比所述陡峭梯度区更靠所述正面侧的位置,且在所述掺杂剂的原子密度分布中具有峰;以及减小区,其设置在所述峰区与所述漂移区之间,且在所述半导体基板的深度方向上所述掺杂剂的原子密度朝向所述漂移区减小。



CN 117836952 A

1. 一种半导体装置,其特征在于,具备:
第一导电型的漂移区,其设置于具有正面和背面的半导体基板;以及
第一导电型或第二导电型的背面侧区域,其在所述半导体基板中设置于比所述漂移区更靠所述半导体基板的背面侧的位置,且原子密度比所述漂移区的原子密度高,
所述背面侧区域的原子密度分布具有:
平缓梯度区,其在所述半导体基板的深度方向上,掺杂剂的原子密度从所述背面侧朝向所述半导体基板的正面侧增加;
陡峭梯度区,其设置于比所述平缓梯度区更靠所述正面侧的位置,且所述掺杂剂的原子密度以比所述平缓梯度区的原子密度梯度更大的原子密度梯度增加;
峰区,其设置于比所述陡峭梯度区更靠所述正面侧的位置,且在所述掺杂剂的原子密度分布中具有峰;以及
减小区,其设置在所述峰区与所述漂移区之间,且在所述半导体基板的深度方向上,所述掺杂剂的原子密度朝向所述漂移区减小。
2. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述原子密度分布的峰的从所述半导体基板的背面起算的深度为 $0.8\mu\text{m}$ 以下。
3. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述平缓梯度区中的平均原子密度为所述原子密度分布的峰的峰原子密度的20%以上且为所述原子密度分布的峰的峰原子密度的95%以下。
4. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述半导体装置具备设置于所述半导体基板的正面的边缘终端结构部。
5. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述平缓梯度区的上端是所述背面与所述半导体基板的深度方向上的所述峰区的峰的深度位置之间的中间的位置。
6. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述平缓梯度区的下端是所述半导体基板的背面。
7. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述峰区的下端是在比所述峰更靠所述半导体基板的背面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的95%的位置,
所述峰区的上端是在比所述峰更靠所述半导体基板的正面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的95%的位置。
8. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述减小区的上端是在比所述峰更靠所述半导体基板的正面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%的位置。
9. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述平缓梯度区的上端与所述陡峭梯度区的下端接触,
所述陡峭梯度区的上端与所述峰区的下端接触,
所述峰区的上端与所述减小区的下端接触。
10. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述半导体装置具备晶体管部,

所述背面侧区域包括第二导电型的集电区。

11. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,所述集电区的所述掺杂剂是硼。

12. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $1.0E21$ [atoms/cm⁴]以上且 $5.0E23$ [atoms/cm⁴]以下。

13. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $1.0E22$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E24$ [atoms/cm⁴]以下。

14. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $1.0E23$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E25$ [atoms/cm⁴]以下。

15. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度为 $1.0E+16$ [cm⁻³]以上且 $1.0E+20$ [cm⁻³]以下。

16. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述平缓梯度区的下端处的所述掺杂剂的原子密度为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%以上且为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的80%以下。

17. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述平缓梯度区的原子密度梯度相对于所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率为0.01以上且0.8以下。

18. 根据权利要求10所述的半导体装置,其特征在於,在所述集电区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率为0.001以上且0.5以下。

19. 根据权利要求1至18中任一项所述的半导体装置,其特征在於,所述半导体装置具备二极管部,

所述背面侧区域包括第一导电型的阴极区。

20. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在於,所述阴极区的所述掺杂剂是磷。

21. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在於,在所述阴极区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $1.0E22$ [atoms/cm⁴]以上且 $2.0E24$ [atoms/cm⁴]以下。

22. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在於,在所述阴极区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $1.0E23$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E25$ [atoms/cm⁴]以下。

23. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在於,在所述阴极区中,所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度为 $2.0E24$ [atoms/cm⁴]以上且 $2.0E26$ [atoms/cm⁴]以下。

24. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在于,
在所述阴极区中,所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度为 $1.0E19[\text{cm}^{-3}]$ 以上且 $1.0E21[\text{cm}^{-3}]$ 以下。

25. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在于,
在所述阴极区中,所述平缓梯度区的下端处的所述掺杂剂的原子密度为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的30%以上且为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的90%以下。

26. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在于,
在所述阴极区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率为0.01以上且0.5以下。

27. 根据权利要求19所述的半导体装置,其特征在于,
在所述阴极区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率为0.001以上且0.3以下。

28. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述峰区的峰处的所述掺杂剂的掺杂浓度为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%以上且为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的80%以下。

29. 根据权利要求1所述的半导体装置,其特征在于,
所述背面侧区域的掺杂浓度分布在所述峰区中具备掺杂峰区,所述掺杂峰区在掺杂浓度分布中具有峰。

30. 一种半导体装置的制造方法,其特征在于,包括:
以离子方式向具备正面和背面的半导体基板的背面注入掺杂剂的步骤;以及
向所述半导体基板的背面照射激光的步骤,
在照射所述激光的步骤中,所述半导体基板的通过照射所述激光而熔融的熔融深度包括以离子方式注入所述掺杂剂的步骤后的所述掺杂剂的原子密度分布的峰的深度位置。

31. 根据权利要求30所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,
照射所述激光的步骤包括重新分布步骤,在所述重新分布步骤中,通过因照射所述激光所引起的所述半导体基板的照射区域的熔融,从而使所述掺杂剂的原子密度分布的峰的深度位置重新分布在比所述离子注入的步骤中的所述掺杂剂的原子密度分布的峰位置更靠所述半导体基板的正面侧的位置。

32. 根据权利要求31所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,
所述重新分布步骤包括通过所述照射区域的熔融而使所述掺杂剂向所述正面侧沉淀的步骤。

33. 一种半导体装置的制造方法,其特征在于,包括:
形成第一导电型的漂移区的步骤;以及
在半导体基板中,在比所述漂移区更靠所述半导体基板的背面侧的位置形成第一导电型或第二导电型的背面侧区域的步骤,所述背面侧区域的原子密度比所述漂移区的原子密度高,

形成所述背面侧区域的步骤具有:

将掺杂剂以离子方式注入到所述半导体基板的背面的步骤;

形成平缓梯度区的步骤,所述平缓梯度区在所述半导体基板的深度方向上所述掺杂剂的原子密度从所述背面侧朝向所述半导体基板的正面侧增加;

在比所述平缓梯度区更靠所述正面侧的位置形成陡峭梯度区的步骤,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度以比所述平缓梯度区的原子密度梯度更大的原子密度梯度增加;

在比所述陡峭梯度区更靠所述正面侧的位置形成峰区的步骤,所述峰区在原子密度分布中具有峰;以及

在所述峰区与所述漂移区之间形成减小区的步骤,所述减小区在所述半导体基板的深度方向上所述掺杂剂的原子密度朝向所述漂移区减小。

34. 根据权利要求33所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,

形成所述背面侧区域的步骤包括从所述半导体基板的背面侧对所述半导体基板进行激光退火的步骤。

35. 根据权利要求34所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,

在进行所述激光退火的步骤中,所述半导体基板的因照射激光而熔融的熔融深度为离子注入后的所述掺杂剂的原子密度分布的峰位置,或者比所述峰位置更深。

36. 根据权利要求35所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,

进行所述激光退火的步骤包括通过因所述激光退火所引起的所述半导体基板的照射区域的熔融,从而使所述掺杂剂的原子密度分布的峰重新分布在比离子注入后的所述掺杂剂的原子密度分布的峰位置更靠所述半导体基板的正面侧的位置的步骤。

37. 根据权利要求36所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,

使所述原子密度分布的峰重新分布的步骤包括通过所述照射区域的熔融而使所述掺杂剂向所述正面侧沉淀的步骤。

38. 根据权利要求33至37中任一项所述的半导体装置的制造方法,其特征在于,

形成所述背面侧区域的步骤不包括用于形成所述背面侧区域的热退火。

半导体装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 在专利文献1中记载了“n型杂质浓度随着从半导体基板12的下表面12b朝向深的一侧而平缓地上升,成为极大值N1”。在非专利文献1中记载了在背面形成BOX分布(profile)。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2015-153788号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2016-004956号公报

[0007] 非专利文献

[0008] 非专利文献1:清野等著,“用于功率半导体IGBT的深度活化的平顶光束混合激光退火装置的开发”,日本制钢所技报No.69,p.76-81(2018.11)

发明内容

[0009] 技术问题

[0010] 期望改善半导体装置的电特性。

[0011] 技术方案

[0012] 在本发明的第一方式中,提供一种半导体装置,所述半导体装置具备:第一导电型的漂移区,其设置于具有正面和背面的半导体基板;以及第一导电型或第二导电型的背面侧区域,其在所述半导体基板中设置于比所述漂移区更靠所述半导体基板的背面侧的位置,且原子密度比所述漂移区的原子密度高。所述背面侧区域的原子密度分布可以具有:平缓梯度区,其在所述半导体基板的深度方向上,掺杂剂的原子密度从所述背面侧朝向所述半导体基板的正面侧增加;陡峭梯度区,其设置于比所述平缓梯度区更靠所述正面侧的位置,且所述掺杂剂的原子密度以比所述平缓梯度区的原子密度梯度更大的原子密度梯度增加;峰区,其设置于比所述陡峭梯度区更靠所述正面侧的位置,且在所述掺杂剂的原子密度分布中具有峰;以及减小区,其设置在所述峰区与所述漂移区之间,且在所述半导体基板的深度方向上,所述掺杂剂的原子密度朝向所述漂移区减小。

[0013] 在所述半导体装置中,所述原子密度分布的峰的从所述半导体基板的背面起算的深度可以为 $0.8\mu\text{m}$ 以下。

[0014] 在上述任一所述半导体装置中,所述平缓梯度区中的平均原子密度可以为所述原子密度分布的峰的峰原子密度的20%以上且所述原子密度分布的峰的峰原子密度的95%以下。

[0015] 上述任一所述半导体装置可以具备设置于所述半导体基板的正面的边缘终端结构部。

[0016] 在上述任一所述半导体装置中,所述平缓梯度区的上端可以是所述背面与所述半导体基板的深度方向上的所述峰区的峰的深度位置之间的中间的位置。

[0017] 在上述任一所述半导体装置中,所述平缓梯度区的下端可以是所述半导体基板的背面。

[0018] 在上述任一所述半导体装置中,所述峰区的下端可以是在比所述峰更靠所述半导体基板的背面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的95%的位置。所述峰区的上端可以是在比所述峰更靠所述半导体基板的正面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的95%的位置。

[0019] 在上述任一项所述半导体装置中,所述减小区的上端可以是在比所述峰更靠所述半导体基板的正面侧,密度为所述峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%的位置。

[0020] 在上述任一所述半导体装置中,所述平缓梯度区的上端可以与所述陡峭梯度区的下端接触。所述陡峭梯度区的上端可以与所述峰区的下端接触。所述峰区的上端可以与所述减小区的下端接触。

[0021] 上述任一所述半导体装置可以具备晶体管部。所述背面侧区域可以包括第二导电型的集电区。

[0022] 在上述任一所述半导体装置中,所述集电区的所述掺杂剂可以是硼。

[0023] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $1.0E21$ [atoms/cm⁴]以上且 $5.0E23$ [atoms/cm⁴]以下。

[0024] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $1.0E22$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E24$ [atoms/cm⁴]以下。

[0025] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $1.0E23$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E25$ [atoms/cm⁴]以下。

[0026] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度可以为 $1.0E+16$ [cm⁻³]以上且 $1.0E+20$ [cm⁻³]以下。

[0027] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述平缓梯度区的下端的所述掺杂剂的原子密度可以为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%以上且所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的80%以下。

[0028] 在所述集电区中,所述平缓梯度区的原子密度梯度相对于所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率可以为0.01以上且0.8以下。

[0029] 在上述任一所述半导体装置的所述集电区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率可以为0.001以上且0.5以下。

[0030] 上述任一所述半导体装置可以具备二极管部。所述背面侧区域可以包括第一导电型的阴极区。

[0031] 在上述任一所述半导体装置中,所述阴极区的所述掺杂剂可以是磷。

[0032] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $1.0E22$ [atoms/cm⁴]以上且 $2.0E24$ [atoms/cm⁴]以下。

[0033] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $1.0E23$ [atoms/cm⁴]以上且 $1.0E25$ [atoms/cm⁴]以下。

[0034] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度可以为 $2.0E24[\text{atoms}/\text{cm}^4]$ 以上且 $2.0E26[\text{atoms}/\text{cm}^4]$ 以下。

[0035] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度可以为 $1.0E[19\text{cm}^{-3}]$ 以上且 $1.0E[21\text{cm}^{-3}]$ 以下。

[0036] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述平缓梯度区的下端处的所述掺杂剂的原子密度可以为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的30%以上且为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的90%以下。

[0037] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述平缓梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率可以为0.01以上且0.5以下。

[0038] 在上述任一所述半导体装置的所述阴极区中,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度梯度相对于所述减小区的所述掺杂剂的原子密度梯度的比率可以为0.001以上且0.3以下。

[0039] 在上述任一所述半导体装置中,所述峰区的峰处的所述掺杂剂的掺杂浓度可以为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的10%以上且为所述峰区的峰处的所述掺杂剂的原子密度的80%以下。

[0040] 在上述任一所述半导体装置中,所述背面侧区域的掺杂浓度分布可以在所述峰区中具备掺杂峰区,所述掺杂峰区在掺杂浓度分布中具有峰。

[0041] 在本发明的第二方式中,提供一种半导体装置的制造方法,其包括:以离子方式向具备正面和背面的半导体基板的背面注入掺杂剂的步骤;以及向所述半导体基板的背面照射激光的步骤。在照射所述激光的步骤中,所述半导体基板的因照射所述激光而熔融的熔融深度可以包括以离子方式注入所述掺杂剂的步骤后的所述掺杂剂的原子密度分布的峰的深度位置。

[0042] 照射所述激光的步骤可以包括重新分布步骤,在所述重新分布步骤中,通过因照射所述激光所引起的所述半导体基板的照射区域的熔融,从而使所述掺杂剂的原子密度分布的峰的深度位置重新分布在比所述离子注入的步骤中的所述掺杂剂的原子密度分布的峰位置更靠所述半导体基板的正面侧的位置。

[0043] 在上述任一所述半导体装置的制造方法中,所述重新分布步骤可以包括通过所述照射区域的熔融而使所述掺杂剂向所述正面侧沉淀的步骤。

[0044] 在本发明的第三方式中,提供一种半导体装置的制造方法,其包括:形成第一导电型的漂移区的步骤;以及在半导体基板中,在比所述漂移区更靠所述半导体基板的背面侧的位置形成第一导电型或第二导电型的背面侧区域的步骤,所述背面侧区域的原子密度比所述漂移区的原子密度高。形成所述背面侧区域的步骤可以具有:将掺杂剂以离子方式注入到所述半导体基板的背面的步骤;形成平缓梯度区的步骤,所述平缓梯度区在所述半导体基板的深度方向上所述掺杂剂的原子密度从所述背面侧朝向所述半导体基板的正面侧增加;在比所述平缓梯度区更靠所述正面侧的位置形成陡峭梯度区的步骤,所述陡峭梯度区的所述掺杂剂的原子密度以比所述平缓梯度区的原子密度梯度更大的原子密度梯度增加;在比所述陡峭梯度区更靠所述正面侧的位置形成峰区的步骤,所述峰区在原子密度分布中具有峰;以及在所述峰区与所述漂移区之间形成减小区的步骤,所述减小区在所述半

导体基板的深度方向上所述掺杂剂的原子密度朝向所述漂移区减小。

[0045] 在上述所述半导体装置的制造方法中,形成所述背面侧区域的步骤可以包括从所述半导体基板的背面侧对所述半导体基板进行激光退火的步骤。

[0046] 在上述任一所述半导体装置的制造方法中,在进行所述激光退火的步骤中,所述半导体基板的通过照射激光而熔融的熔融深度可以为离子注入后的所述掺杂剂的原子密度的峰位置,或者比所述峰位置更深。

[0047] 在上述任一所述半导体装置的制造方法中,进行所述激光退火的步骤可以包括通过因所述激光退火所引起的所述半导体基板的照射区域的熔融,从而使所述掺杂剂的原子密度分布的峰重新分布在比离子注入后的所述掺杂剂的原子密度分布的峰位置更靠所述半导体基板的正面侧的位置的步骤。

[0048] 在上述任一项所述半导体装置的制造方法中,使所述原子密度分布的峰重新分布的步骤可以包括通过所述照射区域的熔融而使所述掺杂剂向所述正面侧沉淀的步骤。

[0049] 在上述任一所述半导体装置的制造方法中,形成所述背面侧区域的步骤可以不包括用于形成所述背面侧区域的热退火。

[0050] 应予说明,上述发明内容并未列举本发明的全部特征。另外,这些特征组的子组合也能够另外成为发明。

附图说明

[0051] 图1A示出半导体装置100的俯视图的一例。

[0052] 图1B示出图1A中的a-a' 截面的一例。

[0053] 图2A是示出背面侧区域60的原子密度分布的图表的一例。

[0054] 图2B是示出平缓梯度区61的原子密度梯度的图表的一例。

[0055] 图2C是示出陡峭梯度区62的原子密度梯度的图表的一例。

[0056] 图2D是示出减小区64的原子密度梯度的图表的一例。

[0057] 图3A是示出半导体装置100的变形例的俯视图的一例。

[0058] 图3B是图3A中的区域A的放大图。

[0059] 图3C示出半导体装置100的变形例的b-b' 截面。

[0060] 图4A是示出背面侧区域60的原子密度分布的图表的一例。

[0061] 图4B是示出平缓梯度区61的原子密度梯度的图表的一例。

[0062] 图4C是示出陡峭梯度区62的原子密度梯度的图表的一例。

[0063] 图4D是示出减小区64的原子密度梯度的图表的一例。

[0064] 图5是示出半导体装置100的制造工序的一例的流程图。

[0065] 图6示出背面侧区域60的激光退火前后的原子密度分布。

[0066] 图7示出半导体基板10的背面23侧的原子密度的测定结果。

[0067] 图8示出半导体基板10的背面23侧的掺杂浓度的测定结果。

[0068] 符号说明

[0069] 10:半导体基板;12:发射区;14:基区;15:接触区;16:蓄积区;17:阱区;18:漂移区;20:缓冲层;21:正面;22:集电区;23:背面;24:集电极;25:连接部;30:虚设沟槽部;31:延伸部分;32:虚设绝缘膜;33:连接部分;34:虚设导电部;38:层间绝缘膜;40:栅极沟槽部;

41:延伸部分;42:栅极绝缘膜;43:连接部分;44:栅极导电部;50:栅极金属层;52:发射极;54:接触孔;55:接触孔;56:接触孔;60:背面侧区域;61:平缓梯度区;62:陡峭梯度区;63:峰区;64:减小区;65:峰;68:中间区域;70:晶体管部;71:台面部;80:二极管部;81:台面部;82:阴极区;85:延长区;90:边界部;91:台面部;100:半导体装置;102:端边;112:栅极焊盘;120:有源部;130:外周栅极布线;131:有源侧栅极布线;140:边缘终端结构部;151:第一寿命控制区;152:第二寿命控制区;161:掺杂平缓梯度区;162:掺杂陡峭梯度区;163:掺杂峰区;164:掺杂减小区;165:掺杂峰

具体实施方式

[0070] 以下,通过发明的实施方式对本发明进行说明,但是以下的实施方式并不限定权利要求书所涉及的发明。另外,在实施方式中所说明的特征的全部组合并不一定是发明的解决方案所必须的。

[0071] 在本说明书中,将与半导体基板的深度方向平行的方向上的一侧称为“上”,将另一侧称为“下”。将基板、层或其他部件的两个主面中的一个面称为上表面,将另一个面称为下表面。“上”、“下”的方向并不限于重力方向或安装半导体装置时的方向。

[0072] 在本说明书中,有时使用X轴、Y轴以及Z轴的直角坐标轴来说明技术事项。直角坐标轴只是确定构成要素的相对位置,并不限定特定的方向。例如,Z轴不限于表示相对于地面的高度方向。应予说明,+Z轴方向和-Z轴方向为彼此反向的方向。在未记载正负而记载为Z轴方向的情况下,是指与+Z轴和-Z轴平行的方向。

[0073] 在本说明书中,将与半导体基板的上表面和下表面平行的正交轴设为X轴和Y轴。另外,将与半导体基板的上表面和下表面垂直的轴设为Z轴。在本说明书中,有时将Z轴的方向称为深度方向。另外,在本说明书中,有时将包含X轴和Y轴在内且与半导体基板的上表面和下表面平行的方向称为水平方向。

[0074] 在本说明书中,称为“相同”或“相等”的情况还可以包括具有因制造偏差等引起的误差的情况。该误差为例如10%以内。

[0075] 在本说明书中,将掺杂有杂质的掺杂区的导电型设为P型或N型进行说明。在本说明书中,杂质有时特别指N型的施主或P型的受主中的某一个,有时记载为掺杂剂。在本说明书中,掺杂是指向半导体基板导入施主或受主,制成呈现N型的导电型的半导体或呈现P型的导电型的半导体。

[0076] 在本说明书中,掺杂浓度是指热平衡状态下的施主的浓度或受主的浓度。在本说明书中,净掺杂浓度是指以施主浓度为正离子的浓度并以受主浓度为负离子的浓度,包括电荷的极性在内地进行相加所得到的实质浓度。作为一例,如果将施主浓度设为 N_D ,将受主浓度设为 N_A ,则任意位置处的实质的净掺杂浓度为 $N_D - N_A$ 。在本说明书中,有时将净掺杂浓度简记为掺杂浓度。

[0077] 施主具有向半导体供给电子的功能。受主具有从半导体接受电子的功能。施主和受主不限于杂质本身。例如,存在于半导体中的空位(V)、氧(O)和氢(H)结合而成的VOH缺陷作为供给电子的施主而发挥功能。在本说明书中,有时将VOH缺陷称为氢施主。

[0078] 在本说明书中,在记载为P+型或N+型的情况下,是指掺杂浓度比P型或N型的掺杂浓度高,在记载为P-型或N-型的情况下,是指掺杂浓度比P型或N型的掺杂浓度低。另外,在

本说明书中,在记载为P++型或N++型的情况下,是指掺杂浓度比P+型或N+型的掺杂浓度高。

[0079] 在本说明书中,化学浓度是指与电活化的状态无关而测定的杂质的原子密度。化学浓度例如可以通过二次离子质谱法(SIMS)进行测量。上述的净掺杂浓度可以通过电压-电容测定法(CV法)进行测定。另外,可以将通过扩展电阻测定法(SR法)测量的载流子浓度作为净掺杂浓度。载流子是指电子或空穴的电荷载流子。通过CV法或SR法测量的载流子浓度可以设为热平衡状态下的值。另外,在N型的区域中,因为施主浓度比受主浓度大得多,所以可以将该区域中的载流子浓度设为施主浓度。同样地,在P型的区域中,可以将该区域中的载流子浓度设为受主浓度。在本说明书中,有时将N型区的掺杂浓度称为施主浓度,有时将P型区的掺杂浓度称为受主浓度。

[0080] 另外,在施主、受主或净掺杂的浓度分布具有峰的情况下,可以将该峰值设为该区域中的施主、受主或净掺杂的浓度。在施主、受主或净掺杂的浓度大致均匀的情况下等,可以将该区域中的施主、受主或净掺杂的浓度的平均值设为施主、受主或净掺杂的浓度。

[0081] 通过SR法测量的载流子浓度可以低于施主或受主的浓度。在测定扩展电阻时供电流流通的范围中,有时半导体基板的载流子迁移率低于结晶状态的值。载流子迁移率的降低是因为由晶格缺陷等引起的晶体结构的紊乱(无序)使载流子散乱而产生的。载流子浓度降低的理由如下所述。在SR法中,测定扩展电阻,并根据扩展电阻的测定值换算载流子浓度。此时,载流子的迁移率使用结晶状态的迁移率。另一方面,在导入有晶格缺陷的位置,尽管载流子迁移率降低,但通过结晶状态的载流子迁移率计算出载流子浓度。因此,成为比实际的载流子浓度即施主或受主的浓度低的值。

[0082] 根据通过CV法或SR法测量的载流子浓度而计算出的施主或受主的浓度可以低于表示施主或受主的元素的化学浓度。作为一例,在硅的半导体中成为施主的磷或砷的施主浓度、或者成为受主的硼(Boron)的受主浓度为它们的化学浓度的99%左右。另一方面,在硅的半导体中成为施主的氢的施主浓度为氢的化学浓度的0.1%至10%左右。在本说明书中,采用SI单位制。在本说明书中,距离、长度的单位有时利用cm(厘米)进行表示。在该情况下,各计算可以换算为m(米)来计算。关于10的幂的数值表示,例如1E+16表示 1×10^{16} ,1E-16表示 1×10^{-16} 。

[0083] 图1A示出半导体装置100的俯视图的一例。本例的半导体装置100是具备晶体管部70的半导体芯片。

[0084] 晶体管部70是将设置于半导体基板10的背面侧的集电区22投影到半导体基板10的上表面而得的区域。在后面集电区22进行描述。晶体管部70包括IGBT等晶体管。在本例中,晶体管部70为IGBT。应予说明,晶体管部70也可以是MOSFET等其他晶体管。

[0085] 在本图中,示出作为半导体装置100的边缘侧的芯片端部周边的区域,并省略其他区域。例如,在本例的半导体装置100的Y轴方向的负侧的区域可以设置有边缘终端结构部。边缘终端结构部缓和半导体基板10的上表面侧的电场集中。边缘终端结构部具有例如保护环、场板、降低表面电场部以及将它们组合而成的结构。应予说明,在本例中,为了方便,对Y轴方向的负侧的边缘进行说明,但是对于半导体装置100的其他边缘也是同样的。

[0086] 半导体基板10是由半导体材料形成的基板。半导体基板10可以是硅基板,也可以是碳化硅基板,还可以是氮化镓等氮化物半导体基板等。本例的半导体基板10是硅基板。应予说明,在本说明书中简称为俯视的情况是指从半导体基板10的上表面侧观察的情况。

[0087] 本例的半导体装置100在半导体基板10的正面21具备栅极沟槽部40、虚设沟槽部30、发射区12、基区14、接触区15以及阱区17。在后面面对正面21进行描述。另外,本例的半导体装置100具备设置于半导体基板10的正面21的上方的发射极52和栅极金属层50。

[0088] 发射极52设置于栅极沟槽部40、虚设沟槽部30、发射区12、基区14、接触区15以及阱区17的上方。另外,栅极金属层50设置于栅极沟槽部40和阱区17的上方。

[0089] 发射极52和栅极金属层50由包含金属的材料形成。发射极52的至少一部分区域可以由铝(Al)等金属、或者铝-硅合金(AlSi)、铝-硅-铜合金(AlSiCu)等金属合金形成。栅极金属层50的至少一部分区域可以由铝(Al)等金属、或者铝-硅合金(AlSi)、铝-硅-铜合金(AlSiCu)等金属合金形成。发射极52和栅极金属层50可以在由铝等形成的区域的下层具有由钛和/或钛化合物等形成的阻挡金属。发射极52和栅极金属层50彼此分离地设置。

[0090] 发射极52和栅极金属层50隔着层间绝缘膜38而设置在半导体基板10的上方。层间绝缘膜38在图1A中进行了省略。在层间绝缘膜38以贯穿的方式设置有接触孔54、接触孔55以及接触孔56。

[0091] 接触孔55将栅极金属层50与晶体管部70内的栅极导电部连接。也可以在接触孔55的内部形成有由钨等形成的插塞金属层。

[0092] 接触孔56将发射极52与虚设沟槽部30内的虚设导电部连接。也可以在接触孔56的内部形成由钨等形成的插塞金属层。

[0093] 连接部25与发射极52或栅极金属层50等正面侧电极连接。在一例中,连接部25设置在栅极金属层50与栅极导电部之间。连接部25还设置在发射极52与虚设导电部之间。连接部25是掺杂了杂质的多晶硅等具有导电性的材料。本例的连接部25是掺杂了N型杂质的多晶硅(N⁺)。连接部25隔着氧化膜等绝缘膜等设置在半导体基板10的正面21的上方。

[0094] 栅极沟槽部40是在半导体基板10的正面21侧沿预先确定的延伸方向延伸的多个沟槽部的一例。栅极沟槽部40沿预先确定的排列方向(在本例中为X轴方向)以预先确定的间隔排列。本例的栅极沟槽部40可以具有沿与半导体基板10的正面21平行且与排列方向垂直的延伸方向(在本例中为Y轴方向)延伸的两个延伸部分41、以及将两个延伸部分41连接的部分43。

[0095] 优选连接部分43的至少一部分形成为曲线状。通过将栅极沟槽部40的两个延伸部分41的端部连接,从而能够缓和延伸部分41的端部的电场集中。在栅极沟槽部40的连接部分43,栅极金属层50可以与栅极导电部连接。

[0096] 虚设沟槽部30是在半导体基板10的正面21侧沿预先确定的延伸方向延伸的多个沟槽部的一例。虚设沟槽部30是与发射极52电连接的沟槽部。虚设沟槽部30与栅极沟槽部40同样地,沿预先确定的排列方向(在本例中为X轴方向)以预先确定的间隔排列。本例的虚设沟槽部30在半导体基板10的正面21具有I字形状,但可以与栅极沟槽部40同样地,在半导体基板10的正面21具有U字形状。即,虚设沟槽部30可以具有沿延伸方向延伸的两个延伸部分、以及将两个延伸部分连接的部分。

[0097] 本例的晶体管部70具有使两个栅极沟槽部40和两个虚设沟槽部30重复排列而成的结构。即,本例的晶体管部70以1:1的比率具有栅极沟槽部40和虚设沟槽部30。例如,晶体管部70在两条延伸部分41之间具有一条虚设沟槽部30。

[0098] 但是,栅极沟槽部40与虚设沟槽部30的比率不限于本例。栅极沟槽部40的比率可

以大于虚设沟槽部30的比率,虚设沟槽部30的比率可以大于栅极沟槽部40的比率。栅极沟槽部40与虚设沟槽部30的比率可以是2:3,也可以是2:4。另外,晶体管部70也可以将全部的沟槽部设为栅极沟槽部40,而不具有虚设沟槽部30。

[0099] 阱区17是设置于比后述的漂移区18更靠半导体基板10的正面21侧的第二导电型的区域。阱区17是设置于半导体装置100的边缘侧的阱区的一例。作为一例,阱区17为P+型。从有源区的设置有栅极金属层50的一侧的端部起在预先确定的范围内形成阱区17。阱区17的扩散深度可以比栅极沟槽部40和虚设沟槽部30的深度更深。栅极沟槽部40和虚设沟槽部30的栅极金属层50侧的一部分区域形成于阱区17。栅极沟槽部40和虚设沟槽部30的延伸方向上的端部的底部可以被阱区17覆盖。

[0100] 接触孔54在晶体管部70中形成于发射区12和接触区15的各区域的上方。接触孔54不设置于在Y轴方向两端设置的阱区17的上方。如此,在层间绝缘膜形成有一个或多个接触孔54。一个或多个接触孔54可以被设置为沿延伸方向延伸。

[0101] 台面部71是在与半导体基板10的正面21平行的面内与沟槽部邻接地设置的台面部。台面部可以是半导体基板10的被相邻的两个沟槽部所夹的部分,且是从半导体基板10的正面21起直到各沟槽部的最深的底部的深度为止的部分。可以将各沟槽部的延伸部分设为一个沟槽部。即,可以将被两个延伸部分所夹的区域设为台面部。

[0102] 台面部71在晶体管部70中与虚设沟槽部30和栅极沟槽部40中的至少一者邻接地设置。台面部71在半导体基板10的正面21具有阱区17、发射区12、基区14以及接触区15。在台面部71中,发射区12和接触区15在延伸方向上交替地设置。

[0103] 基区14是设置于半导体基板10的正面21侧的第二导电型的区域。作为一例,基区14为P-型。基区14可以在半导体基板10的正面21设置于台面部71的Y轴方向上的两端部。应予说明,图1A仅示出该基区14的Y轴方向上的一个端部。

[0104] 发射区12是掺杂浓度比漂移区18的掺杂浓度高的第一导电型的区域。作为一例,本例的发射区12为N+型。发射区12的掺杂剂的一例是砷(As)。发射区12在台面部71的正面21与栅极沟槽部40接触地设置。发射区12可以被设置为从夹着台面部71的2条沟槽部中的一条沟槽部起沿X轴方向延伸到另一条沟槽部为止。发射区12还设置于接触孔54的下方。

[0105] 另外,发射区12可以与虚设沟槽部30接触,也可以不与虚设沟槽部30接触。本例的发射区12与虚设沟槽部30接触。

[0106] 接触区15是设置于基区14的上方且掺杂浓度比基区14的掺杂浓度高的第二导电型的区域。作为一例,本例的接触区15为P+型。本例的接触区15设置于台面部71的正面21。接触区15可以从夹着台面部71的2条沟槽部中的一条沟槽部起沿X轴方向设置到另一条沟槽部为止。接触区15可以与栅极沟槽部40或虚设沟槽部30接触,也可以不与栅极沟槽部40或虚设沟槽部30接触。本例的接触区15与虚设沟槽部30和栅极沟槽部40接触。接触区15还设置于接触孔54的下方。

[0107] 图1B示出图1A中的a-a'截面的一例。a-a'截面是在晶体管部70中通过发射区12的XZ面。本例的半导体装置100在a-a'截面中具有半导体基板10、层间绝缘膜38、发射极52以及集电极24。发射极52形成于半导体基板10和层间绝缘膜38的上方。

[0108] 漂移区18是设置于半导体基板10的第一导电型的区域。作为一例,本例的漂移区18为N-型。漂移区18可以是在半导体基板10中未形成其他掺杂区而残留的区域。即,漂移区

18的掺杂浓度可以是半导体基板10的掺杂浓度。漂移区18可以是半导体基板10之中掺杂浓度比较低的区域。漂移区18可以是具有除了PN结部以外的P型的区域中的受主浓度或N型的区域中的施主浓度在半导体基板10中浓度最低的部分的区域。漂移区18的掺杂浓度分布可以沿半导体基板10的深度方向实质上均匀,也可以具有带有浓度梯度的分布。实质上均匀可以是指相对于半导体基板10的深度方向上的厚度的30%至90%的区域中的平均浓度,掺杂浓度在平均浓度的50%至150%之间分布。漂移区18可以是在耗尽层与施加电压相应地在半导体装置100的内部扩展的状态下形成有相当于施加电压的50%以上的耗尽层的区域。

[0109] 缓冲区20是设置于比漂移区18更靠半导体基板10的背面23侧的第一导电型的区域。作为一例,本例的缓冲区20为N型。缓冲区20的掺杂浓度比漂移区18的掺杂浓度高。缓冲区20可以作为防止从基区14的下表面侧扩展的耗尽层到达第二导电型的集电区22的场截止层而发挥功能。应予说明,可以省略缓冲区20。

[0110] 背面侧区域60在半导体基板10中设置于比漂移区18更靠背面23侧的位置。背面侧区域60可以具有第一导电型或第二导电型。本例的背面侧区域60具有第二导电型,并作为集电区22而发挥功能,但不限于此。背面侧区域60的原子密度可以比漂移区18的原子密度高。在后面对原子密度进行描述。本例的背面侧区域60的上端与缓冲区20的下端接触。在省略缓冲区20的情况下,背面侧区域60的上端可以与漂移区18的下端接触。在后面对背面侧区域60进行描述。应予说明,在本说明书中,上端可以指半导体基板10的深度方向上的正面21侧的端部,下端可以指半导体基板10的深度方向上的背面23侧的端部。上端和下端并不限于重力方向或安装半导体装置100时的方向。

[0111] 集电区22在晶体管部70中设置于缓冲区20的下方。集电区22具有第二导电型。作为一例,本例的集电区22为P+型。

[0112] 集电极24形成于半导体基板10的背面23。集电极24由金属等导电材料形成。集电极24的材料可以与发射极52的材料相同,也可以与发射极52的材料不同。

[0113] 基区14是设置于漂移区18的上方的第二导电型的区域。基区14与栅极沟槽部40接触地设置。基区14可以与虚设沟槽部30接触地设置。

[0114] 发射区12设置于基区14的上方。发射区12设置在基区14与正面21之间。发射区12与栅极沟槽部40接触地设置。发射区12可以与虚设沟槽部30接触,也可以不与虚设沟槽部30接触。

[0115] 蓄积区16是设置于比漂移区18更靠半导体基板10的正面21侧的第一导电型的区域。作为一例,本例的蓄积区16为N+型。但是,也可以不设置蓄积区16。

[0116] 另外,蓄积区16与栅极沟槽部40接触地设置。蓄积区16可以与虚设沟槽部30接触,也可以不与虚设沟槽部30接触。蓄积区16的掺杂浓度比漂移区18的掺杂浓度高。蓄积区16的离子注入的剂量可以为 $1.0E+12\text{cm}^{-2}$ 以上且 $1.0E+13\text{cm}^{-2}$ 以下。另外,蓄积区16的离子注入剂量可以为 $3.0E+12\text{cm}^{-2}$ 以上且 $6.0E+12\text{cm}^{-2}$ 以下。通过设置蓄积区16,能够提高载流子注入增强效应(IE效应),从而降低晶体管部70的导通电压。应予说明,E是指10的幂,例如 $1.0E+12\text{cm}^{-2}$ 是指 $1.0 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 。

[0117] 一个以上的栅极沟槽部40和一个以上的虚设沟槽部30设置于正面21。各沟槽部从正面21设置到漂移区18。在设置有发射区12、基区14、接触区15以及蓄积区16中的至少任一

者的区域中,各沟槽部还贯穿这些区域而到达漂移区18。沟槽部贯穿掺杂区不限于以在形成掺杂区之后形成沟槽部的顺序进行制造的方法。在形成沟槽部之后,在沟槽部之间形成掺杂区的方法也包含于沟槽部贯穿掺杂区的方法中。

[0118] 栅极沟槽部40具有形成于正面21的栅极沟槽、栅极绝缘膜42以及栅极导电部44。栅极绝缘膜42以覆盖栅极沟槽的内壁的方式形成。可以将栅极沟槽的内壁的半导体氧化或氮化而形成栅极绝缘膜42。栅极导电部44在栅极沟槽的内部形成于比栅极绝缘膜42更靠内侧的位置。栅极绝缘膜42将栅极导电部44与半导体基板10进行绝缘。栅极导电部44由多晶硅等导电材料形成。栅极沟槽部40在正面21被层间绝缘膜38覆盖。

[0119] 栅极导电部44在半导体基板10的深度方向上包括隔着栅极绝缘膜42与在台面部71侧相邻的基区14对置的区域。如果对栅极导电部44施加预定的电压,则在基区14中的与栅极沟槽接触的界面的表层形成有由电子的反型层形成的沟道。

[0120] 虚设沟槽部30可以具有与栅极沟槽部40相同的结构。虚设沟槽部30具有形成于正面21侧的虚设沟槽、虚设绝缘膜32以及虚设导电部34。虚设绝缘膜32以覆盖虚设沟槽的内壁的方式形成。虚设导电部34形成于虚设沟槽的内部,并且形成于比虚设绝缘膜32更靠内侧的位置。虚设绝缘膜32将虚设导电部34与半导体基板10进行绝缘。虚设沟槽部30在正面21被层间绝缘膜38覆盖。

[0121] 层间绝缘膜38设置于半导体基板10的上方。本例的层间绝缘膜38与正面21接触地设置。在层间绝缘膜38的上方设置有发射极52。在层间绝缘膜38设置有用于将发射极52与半导体基板10电连接的一个或多个接触孔54。接触孔55和接触孔56也可以同样地以贯穿层间绝缘膜38的方式设置。层间绝缘膜38可以是BPSG(Boro-phospho Silicate Glass:硼磷硅玻璃)膜,也可以是BSG(borosilicate glass:硼硅玻璃)膜,还可以是PSG(Phosphosilicate glass:磷硅玻璃)膜,又可以是HTO膜,还可以是将这些材料层叠而成的膜。层间绝缘膜38的膜厚为例如 $1.0\mu\text{m}$,但不限于此。

[0122] 第一寿命控制区151可以设置于晶体管部70。第一寿命控制区151并不是必须的,也可以不设置第一寿命控制区151。第一寿命控制区151是通过向半导体基板10的内部注入杂质等而有意地形成有寿命抑制剂的区域。在一例中,通过向半导体基板10注入氦而形成第一寿命控制区151。通过设置第一寿命控制区151,从而能够减少关断时间,抑制尾电流,进而能够降低开关时的损耗。

[0123] 寿命抑制剂是载流子的复合中心。寿命抑制剂可以是晶格缺陷。例如,寿命抑制剂可以是空位、双空位、它们与构成半导体基板10的元素的复合缺陷、或者位错。另外,寿命抑制剂也可以是氦、氖等稀有气体元素、或者铂等金属元素等。晶格缺陷的形成可以使用电子束。

[0124] 寿命抑制剂浓度是载流子的复合中心浓度。寿命抑制剂浓度可以是晶格缺陷的浓度。例如,寿命抑制剂浓度可以是空位、双空位等空位浓度,也可以是这些空位与构成半导体基板10的元素的复合缺陷浓度,或者也可以是位错浓度。另外,寿命抑制剂浓度可以设为氦、氖等稀有气体元素的化学浓度,或者也可以设为铂等金属元素的化学浓度。

[0125] 第一寿命控制区151在半导体基板10的深度方向上设置于比半导体基板10的中心更靠背面23侧的位置。本例的第一寿命控制区151设置于缓冲区20。本例的第一寿命控制区151在XY平面上设置于半导体基板10的整个面,并且能够不使用掩模而形成。第一寿命控制

区151也可以在XY平面上设置于半导体基板10的一部分。用于形成第一寿命控制区151的杂质的剂量可以为 $0.5E+10\text{cm}^{-2}$ 以上且 $1.0E+13\text{cm}^{-2}$ 以下,也可以为 $5.0E+10\text{cm}^{-2}$ 以上且 $5.0E+11\text{cm}^{-2}$ 以下。

[0126] 另外,通过从背面23侧进行注入而形成本例的第一寿命控制区151。由此,能够避免对半导体装置100的正面21侧的影响。例如,通过从背面23侧照射氦而形成第一寿命控制区151。在此,无论第一寿命控制区151是通过从正面21侧进行注入而形成的,还是通过从背面23侧进行注入而形成的,都能够通过SR法或者漏电流的测定,获取正面21侧的状态来进行判断。

[0127] 图2A是示出背面侧区域60的原子密度分布的图表的一例。纵轴表示原子密度(atoms/cm³),横轴表示从背面23起算的分析深度(μm)。原子密度的单位也可以简略表示为(cm⁻³)。本例的背面侧区域60作为集电区22而发挥功能。作为一例,示出作为背面侧区域60的掺杂剂的硼的原子密度。背面侧区域60具有平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64。以下,有时将掺杂剂的原子密度简称为原子密度。

[0128] 平缓梯度区61是在半导体基板10的深度方向上原子密度从背面23侧朝向半导体基板10的正面21侧增加的区域。平缓梯度区61的原子密度梯度可以是恒定的,也可以是可变的。如后所述,根据分析单元的特性,有时在背面23的附近具有未测定原子密度的区域或原子密度朝向背面23侧急剧减小的区域。对于如此未测定原子密度的区域或原子密度急剧减小的区域而言,也可以将通过进行外插等对测定值进行了插值而得的区域设为平缓梯度区61的区域。

[0129] 陡峭梯度区62是设置于比平缓梯度区61更靠正面21侧,且原子密度以比平缓梯度区61的梯度更大的梯度增加的区域。陡峭梯度区62在半导体基板10的深度方向上设置于比平缓梯度区61更靠正面21侧的位置。

[0130] 峰区63设置于比陡峭梯度区62更靠正面21侧的位置,且具有原子密度分布在背面侧区域60的范围内成为最大值的峰65。峰区63在半导体基板10的深度方向上设置于比陡峭梯度区62更靠正面21侧的位置。峰区63在半导体基板10的深度方向上设置在陡峭梯度区62与减小区64之间。

[0131] N_p是峰65的峰原子密度。峰65的峰原子密度N_p在集电区22中可以为 $1.0E+16\text{cm}^{-3}$ 以上,也可以为 $1.0E+17\text{cm}^{-3}$ 以上,还可以为 $1.0E+18\text{cm}^{-3}$ 以上。峰65的峰原子密度N_p在集电区22中可以为 $1.0E+20\text{cm}^{-3}$ 以下,也可以为 $5.0E+19\text{cm}^{-3}$ 以下,还可以为 $1.0E+19\text{cm}^{-3}$ 以下,又可以为 $5.0E+18\text{cm}^{-3}$ 以下。本例的峰65的峰原子密度N_p为 $7.45E+18\text{cm}^{-3}$ 。X_p是半导体基板10的深度方向上的峰65的从背面23起算的深度位置。X_p在集电区22中可以为 $0.1\mu\text{m}$ 以上,也可以为 $0.2\mu\text{m}$ 以上,还可以为 $0.3\mu\text{m}$ 以上,又可以为 $0.4\mu\text{m}$ 以上。X_p在集电区22中可以为 $0.8\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $0.6\mu\text{m}$ 以下,还可以为 $0.5\mu\text{m}$ 以下,又可以为 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

[0132] 减小区64是在半导体基板10的深度方向上原子密度朝向漂移区18减小的区域。减小区64设置在峰区63与漂移区18之间。在半导体装置100具备缓冲区20的情况下,减小区64可以设置在峰区63与缓冲区20之间,可以与缓冲区20接触。

[0133] 平缓梯度区61的下端可以是半导体基板10的背面23。即,背面侧区域60可以设置在半导体基板10的最靠背面23侧的位置。平缓梯度区61的上端可以是背面23与半导体基板10的深度方向上的峰区63的峰65的深度位置之间的中间的位置。即,平缓梯度区61的上端

可以是以峰65的深度位置 X_p 为基准而为 $0.5X_p$ 的位置。应予说明,平缓梯度区61的上端也可以是以峰65的原子密度 N_p 为基准而原子密度成为 $0.5N_p$ 的位置。

[0134] 陡峭梯度区62的下端可以是在半导体基板10的深度方向上与平缓梯度区61的上端相同的位置。即,陡峭梯度区62的下端可以是以峰65的深度位置 X_p 为基准而为 $0.5X_p$ 的位置。陡峭梯度区62的上端可以是在半导体基板10的深度方向上与峰区63的下端相同的位置。如后所述,陡峭梯度区62的上端可以是在比峰65更靠背面23侧而原子密度成为 $0.95N_p$ 的位置。

[0135] 峰区63的下端可以是在比峰65更靠半导体基板10的背面23侧而密度成为峰65处的原子密度的95%的位置。即,峰区63的下端可以是在比峰65更靠背面23侧而原子密度成为 $0.95N_p$ 的位置。峰区63的上端可以是在比峰65更靠半导体基板10的正面21侧而密度成为峰65处的原子密度的95%的位置。即,峰区63的上端可以是在比峰65更靠正面21侧而原子密度成为 $0.95N_p$ 的位置。另外,峰区63的上端和下端也可以分别是原子密度成为 $0.90N_p$ 的位置。应予说明,峰区63的下端可以是以峰65的深度位置 X_p 为基准而成为 $0.9X_p$ 的位置。峰区63的上端可以是以峰65的深度位置 X_p 为基准而成为 $1.1X_p$ 的位置。

[0136] 减小区64的下端可以是在半导体基板10的深度方向上与峰区63的上端相同的位置。即,减小区64的下端可以是在比峰65更靠正面21侧而原子密度成为 $0.95N_p$ 的位置。减小区64的上端可以是在比峰65更靠半导体基板10的正面21侧而密度成为峰65处的原子密度的10%的位置。即,峰区63的上端可以是在比峰65更靠正面21而原子密度成为 $0.1N_p$ 的位置。

[0137] 在本例的背面侧区域60,平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64可以从背面23侧起依次连续地设置。即,平缓梯度区61的上端可以与陡峭梯度区62的下端接触。陡峭梯度区62的上端可以与峰区63的下端接触。峰区63的上端可以与减小区64的下端接触。换言之,半导体装置100可以具有平缓梯度区61与陡峭梯度区62之间的边界A,也可以具有陡峭梯度区62与峰区63之间的边界B,也可以具有峰区63与减小区64之间的边界C,还可以具有减小区64与漂移区18之间的边界D。通过使平缓梯度区61的上端与陡峭梯度区62的下端接触,从而对于从平缓梯度区61起遍及陡峭梯度区62的原子密度分布而言,原子密度分布的梯度可以连续地增加。由此,有时能够使掺杂剂的电活化率较高。此外,从平缓梯度区61起遍及陡峭梯度区62的原子密度分布也可以具有原子密度局部地连续减小的区域,还可以具有原子密度局部地连续平坦分布的部分。在此,原子密度局部地连续平坦分布可以是指,在比平缓梯度区61或陡峭梯度区62更狭窄的范围内,原子密度的最大值和最小值为该范围的原子密度的平均值的15%以内。

[0138] 将包含与半导体基板10的深度方向上的峰区63的峰65的深度位置之间的中间的位置在内,并且从半导体基板10的背面23起直到峰65的深度位置为止的距离的30%至70%的区域设为中间区域68。平缓梯度区61的上端可以位于中间区域68的任意的任意的位置。

[0139] 平缓梯度区61的上端可以是在比峰65的深度位置 X_p 更靠背面23侧,原子密度分布的密度梯度比较低的区域的上端。另外,陡峭梯度区62的下端可以是在比峰65的深度位置 X_p 更靠背面23侧,原子密度分布的密度梯度比较高的区域的下端。该情况下的平缓梯度区61的上端或陡峭梯度区62的下端也可以位于中间区域68。

[0140] 本例的背面侧区域60作为集电区22而发挥功能。使峰65的位置远离背面23,在背

面23与峰区63之间设置平缓梯度区61和陡峭梯度区62。由此,能够将峰区63和减小区64形成在从背面23起为 $0.2\mu\text{m}$ 以上的深度的位置。电荷载流子的注入效率(在本例中为空穴)可以由峰65的原子密度的大小和减小区64的梯度的大小来确定。在此,掺杂浓度可以被设为与原子密度相同的数量级。例如,即使在半导体装置的制造工艺或模块等的装配工艺中在背面23产生了损伤的情况下,只要损伤的深度处于直到峰区63的下端为止(例如 $0.3\mu\text{m}$ 左右)的范围,则能够使电荷载流子的注入效率不易受到损伤的深度的影响。由此,能够抑制由背面23的损伤所引起的导通电压的增大。对于背面侧区域60与形成于背面23的电极(在本例中为集电极24)的接触电阻而言,只要背面23中的掺杂剂的原子密度为 1×10^{18} (atoms/cm³)以上即可。另一方面,在将背面侧区域60较深地形成至例如 $0.3\mu\text{m}$ 以上的位置的情况下,有时使背面23中的掺杂剂的原子密度最大。在该情况下,原子密度的梯度变得比较平缓,有时无法提高电荷载流子的注入效率。与此相对,通过使背面侧区域60具备平缓梯度区61和陡峭梯度区62,从而能够在远离背面23的深度位置形成峰区63和减小区64,并能够使减小区64中的原子密度的梯度陡峭。其结果是,不仅能够提高电荷载流子的注入效率,还能够降低形成于背面23的损伤的影响。如此,本例的背面侧区域60通过具有峰区63和减小区64,从而不仅能够促进载流子的注入,而且通过具备平缓梯度区61和陡峭梯度区62,还能够不易受到背面23的损伤的影响。

[0141] 应予说明,在本图中示出背面侧区域60的原子密度分布,但掺杂浓度的形状也可以大致相同。即,背面侧区域60的原子密度分布可以是与背面侧区域60的掺杂浓度的分布大致相似的形状。但是,并非背面侧区域60的掺杂剂全部都成为施主或受主,掺杂浓度可以为原子密度的10%以上且原子密度的100%以下。另外,峰区63中的峰65的掺杂浓度可以为峰65的原子密度的10%以上且峰65的原子密度的100%以下。

[0142] 图2B是示出平缓梯度区61的原子密度梯度的图表的一例。本例的原子密度梯度的单位为(atoms/cm⁴)。原子密度梯度的单位也可以简略表示为(cm⁻⁴)。关于本说明书中的原子密度梯度,在省略单位的记载的情况下,原子密度梯度的单位为(atoms/cm⁴)。作为其他例,可以使用原子密度的常用对数来计算原子密度梯度。在使用原子密度的常用对数的情况下的原子密度梯度的单位可以是(/cm)。在本说明书中,关于原子密度梯度的值,有时省略单位的记载。该情况下的原子密度梯度的单位为(atoms/cm⁴)。本图示出图2A的平缓梯度区61的原子密度梯度a1。在集电区22中,平缓梯度区61的原子密度梯度a1可以为 $1.0\text{E}21$ 以上,也可以为 $5.0\text{E}21$ 以上,还可以为 $1.0\text{E}22$ 以上,又可以为 $2.0\text{E}22$ 以上。在集电区22中,平缓梯度区61的原子密度梯度a1可以为 $5.0\text{E}23$ 以下,也可以为 $2.0\text{E}23$ 以下,还可以为 $1.0\text{E}23$,又可以为 $8.0\text{E}22$ 以下,也可以为 $5.0\text{E}22$ 以下。本例的原子密度梯度a1为 $4.079\text{E}+22$ 。可以通过利用由测定得到的原子密度分布的拟合绘制任意的切线而计算出原子密度梯度,也可以通过其他方法计算出原子密度梯度。应予说明,在本说明书中,以绝对值表示原子密度梯度。

[0143] 平缓梯度区61的平均原子密度可以为峰65的峰原子密度 N_p 的20%以上,也可以为峰65的峰原子密度 N_p 的30%以上,还可以为峰65的峰原子密度 N_p 的40%以上,又可以为峰65的峰原子密度 N_p 的50%以上。平缓梯度区61的平均原子密度可以为峰65的峰原子密度 N_p 的95%以下,也可以为峰65的峰原子密度 N_p 的90%以下,还可以为峰65的峰原子密度 N_p 的85%以下,又可以为峰65的峰原子密度 N_p 的80%以下,也可以为峰65的峰原子密度 N_p 的70%以下。本例的平缓梯度区61的平均原子密度为大约 $3.7\text{E}+18\text{atoms/cm}^3$,为峰原子密度

N_p 的大约50%。

[0144] 图2C是示出陡峭梯度区62的原子密度梯度的图表的一例。本图示出图2A的陡峭梯度区62的原子密度梯度 a_2 。陡峭梯度区62的原子密度梯度 a_2 比平缓梯度区61的原子密度梯度 a_1 大。在集电区22中,陡峭梯度区62的原子密度梯度 a_2 可以为 $1.0E22$ 以上,也可以为 $2.0E22$ 以上,还可以为 $5.0E22$ 以上,又可以为 $7.0E22$ 以上。在集电区22中,陡峭梯度区62的原子密度梯度 a_2 可以为 $1.0E24$ 以下,也可以为 $5.0E23$ 以下,还可以为 $3.0E23$ 以下。本例的原子密度梯度 a_2 为 $1.680E+23$ 。

[0145] 图2D是示出减小区64的原子密度梯度的图表的一例。本图示出图2A的减小区64的原子密度梯度 a_3 。因为原子密度梯度 a_3 是减小区64的原子密度分布的图表的梯度的绝对值,所以取正值。在集电区22中,减小区64的原子密度梯度 a_3 可以为 $1.0E23$ 以上,也可以为 $2.0E23$ 以上,还可以为 $5.0E23$ 以上,又可以为 $8.0E23$ 以上。在集电区22中,减小区64的原子密度梯度 a_3 可以为 $1.0E25$ 以下,也可以为 $8.0E24$ 以下,还可以为 $5.0E24$ 以下,又可以为 $3.0E24$ 以下。本例的原子密度梯度 a_3 为 $1.618E+24$ 。

[0146] 在集电区22中,平缓梯度区61的下端的原子密度可以为峰65的原子密度 N_p 的10%以上且峰65的原子密度 N_p 的80%以下。平缓梯度区61的下端的原子密度可以为峰65的原子密度 N_p 的30%以上且峰65的原子密度 N_p 的60%以下。本例的半导体装置100通过使用激光退火,从而与使用热退火的情况相比,能够增大背面23中的原子密度,降低与集电极24的接触电阻。

[0147] 在集电区22中,平缓梯度区61的原子密度梯度与陡峭梯度区62的原子密度梯度的比率 α 可以为0.01以上且0.8以下。原子密度梯度的比率 α 在集电区22中可以为0.02以上,也可以为0.05以上,还可以为0.1以上。原子密度梯度的比率 α 在集电区22中可以为0.5以下,也可以为0.2以下,还可以为0.1以下。

[0148] 在集电区22中,陡峭梯度区62的原子密度梯度与减小区64的原子密度梯度的比率 β 可以为0.001以上且0.5以下。原子密度梯度的比率 β 在集电区22中可以为0.005以上,也可以为0.01以上,还可以为0.05以上。原子密度梯度的比率 β 在集电区22中可以为0.2以下,也可以为0.1以下,还可以为0.05以下。

[0149] 如此,通过适当地设定背面侧区域60的各区域的原子密度梯度,从而能够提供抑制背面23的损伤的影响并且具有良好的电特性的半导体装置100。

[0150] 图3A是示出半导体装置100的变形例的俯视图的一例。在图3A中,示出将各部件投影到半导体基板10的上表面而得的位置。在图3A中,仅示出半导体装置100的一部分部件,并省略一部分部件。

[0151] 半导体基板10在俯视时具有端边102。本例的半导体基板10具有在俯视时彼此相对的两组端边102。在图3A中,X轴和Y轴与某一端边102平行。

[0152] 在半导体基板10设置有有源部120。有源部120是在半导体装置100动作的情况下在半导体基板10的正面21与背面23之间供主电流沿深度方向流通的区域。在有源部120的上方设置有发射极52,但在图3A中进行了省略。

[0153] 在有源部120设置有包括IGBT等晶体管元件的晶体管部70和包括续流二极管(FWD)等二极管元件的二极管部80中的至少一者。在图3A的例子中,晶体管部70和二极管部80沿着半导体基板10的正面21的预定的排列方向(在本例中为X轴方向)交替地配置。在另

一例中,也可以在有源部120仅设置晶体管部70和二极管部80中的一者。

[0154] 在图3A中,在配置有晶体管部70的区域标注符号“T”,在配置有二极管部80的区域标注符号“F”。晶体管部70和二极管部80可以分别在延伸方向上具有长边。即,晶体管部70的Y轴方向上的长度比X轴方向上的宽度大。同样地,二极管部80的Y轴方向上的长度比X轴方向上的宽度大。晶体管部70和二极管部80的延伸方向与后述的各沟槽部的长度方向可以相同。

[0155] 二极管部80在与半导体基板10的背面23接触的区域具有N+型的阴极区。在本说明书中,将设置有阴极区的区域称为二极管部80。即,二极管部80是在俯视时与阴极区重叠的区域。在半导体基板10的背面23,在除阴极区以外的区域可以设置有P+型的集电区22。在本说明书中,有时在二极管部80也包括使二极管部80沿Y轴方向延长到后述的栅极布线的延长区85。在延长区85的背面23设置有集电区22。

[0156] 半导体装置100在半导体基板10的上方可以具有一个以上的焊盘。本例的半导体装置100具有栅极焊盘112。半导体装置100也可以具有阳极焊盘、阴极焊盘以及电流检测焊盘等焊盘。各焊盘配置于端边102的附近。端边102的附近是指俯视时的端边102与发射极52之间的区域。在安装半导体装置100时,各焊盘可以经由导线等布线与外部的电路连接。

[0157] 在栅极焊盘112施加栅极电位。栅极焊盘112与有源部120的栅极沟槽部40的栅极导电部44电连接。半导体装置100具备将栅极焊盘112与栅极沟槽部40连接的栅极布线。在图3A中,对栅极布线标注斜阴影线。

[0158] 本例的栅极布线具有外周栅极布线130和有源侧栅极布线131。外周栅极布线130和有源侧栅极布线131是栅极金属层50的一例。外周栅极布线130在俯视时配置在有源部120与半导体基板10的端边102之间。本例的外周栅极布线130在俯视时包围有源部120。也可以将在俯视时被外周栅极布线130包围的区域设为有源部120。另外,外周栅极布线130与栅极焊盘112连接。外周栅极布线130配置在半导体基板10的上方。外周栅极布线130可以是含有铝等的金属布线。

[0159] 有源侧栅极布线131设置于有源部120。通过在有源部120设置有源侧栅极布线131,从而对于半导体基板10的各区域而言,能够降低从栅极焊盘112起算的布线长度的偏差。

[0160] 有源侧栅极布线131与有源部120的栅极沟槽部连接。有源侧栅极布线131配置在半导体基板10的上方。有源侧栅极布线131可以是由掺杂有杂质的多晶硅等半导体形成的布线。

[0161] 有源侧栅极布线131可以与外周栅极布线130连接。本例的有源侧栅极布线131被设置为在Y轴方向的大致中央以横穿有源部120的方式沿X轴方向从一侧的外周栅极布线130延伸到另一侧的外周栅极布线130。在有源部120被有源侧栅极布线131分割的情况下,在各个分割区域中,晶体管部70和二极管部80可以沿X轴方向交替地配置。

[0162] 另外,半导体装置100也可以具备作为由多晶硅等形成的PN结二极管的未图示的温度感测部、以及模拟设置于有源部120的晶体管部的动作的未图示的电流检测部。

[0163] 边缘终端结构部140设置于半导体基板10的正面21。边缘终端结构部140在俯视时设置在有源部120与端边102之间。本例的边缘终端结构部140配置在外周栅极布线130与端边102之间。边缘终端结构部140缓和半导体基板10的正面21侧的电场集中。边缘终端结构

部140可以具备包围有源部120而设置为环状的保护环、场板以及降低表面电场部中的至少一者。

[0164] 图3B是图3A中的区域A的放大图。区域A是包括晶体管部70和二极管部80的区域。本例的半导体装置100具备设置于半导体基板10的上表面侧的内部的栅极沟槽部40、虚设沟槽部30、发射区12、基区14、接触区15以及阱区17。栅极沟槽部40和虚设沟槽部30分别是沟槽部的一例。

[0165] 本例的虚设沟槽部30可以与栅极沟槽部40同样地在半导体基板10的正面21具有U字形状。即,虚设沟槽部30可以具有沿延伸方向延伸的两个延伸部分31、以及将两个延伸部分31连接的连接部分33。

[0166] 本例的半导体装置100具备设置于半导体基板10的正面21的上方的发射极52和栅极金属层50。发射极52和栅极金属层50彼此分离地设置。本例的晶体管部70包括位于晶体管部70与二极管部80之间的边界的边界部90。

[0167] 边界部90是设置于晶体管部70且与二极管部80邻接的区域。边界部90具有接触区15。本例的边界部90不具有发射区12。在一例中,边界部90的沟槽部是虚设沟槽部30。本例的边界部90被配置为X轴方向上的两端成为虚设沟槽部30。边界部90并不是必须的,也可以不设置边界部90。

[0168] 接触孔54在二极管部80中设置于基区14的上方。接触孔54在边界部90中设置于接触区15的上方。任何接触孔54均未设置于在Y轴方向两端设置的阱区17的上方。

[0169] 台面部91设置于边界部90。台面部91在半导体基板10的正面21具有接触区15。本例的台面部91在Y轴方向的负侧具有基区14和阱区17。

[0170] 台面部81在二极管部80中设置于被相邻的虚设沟槽部30所夹持的区域。台面部81在半导体基板10的正面21具有基区14。台面部81在半导体基板10的正面21可以具有接触区15。本例的台面部81在Y轴方向的负侧具有基区14和阱区17。

[0171] 发射区12设置于台面部71,但可以不设置于台面部81和台面部91。接触区15设置于台面部71和台面部91,但可以不设置于台面部81。

[0172] 图3C示出半导体装置100的变形例的b-b'截面。本图相当于图3B的b-b'截面。本例的半导体装置100具备第一寿命控制区151和第二寿命控制区152。第一寿命控制区151和第二寿命控制区152并不是必须的,也可以不设置第一寿命控制区151和第二寿命控制区152。

[0173] 接触区15在台面部91中设置于基区14的上方。接触区15在台面部91中与虚设沟槽部30接触地设置。在其他截面中,接触区15可以设置于台面部71的正面21。

[0174] 蓄积区16设置于晶体管部70和二极管部80。本例的蓄积区16设置于晶体管部70和二极管部80的整个面。但是,蓄积区16也可以不设置于二极管部80。

[0175] 阴极区82在二极管部80中设置于缓冲区20的下方。集电区22与阴极区82之间的边界是晶体管部70与二极管部80之间的边界。即,在本例的边界部90的下方设置有集电区22。

[0176] 第一寿命控制区151设置于晶体管部70和二极管部80这两者。由此,本例的半导体装置100能够加快二极管部80中的恢复,进一步改善开关损耗。可以通过与其他实施例的第一寿命控制区151相同的方法形成第一寿命控制区151。

[0177] 第二寿命控制区152在半导体基板10的深度方向上设置于比半导体基板10的中心更靠正面21侧的位置。本例的第二寿命控制区152设置于漂移区18。第二寿命控制区152设

置于晶体管部70和二极管部80这两者。可以通过从正面21侧注入杂质而形成第二寿命控制区152,也可以通过从背面23侧注入杂质而形成第二寿命控制区152。第二寿命控制区152也可以设置于二极管部80和边界部90,而不设置于晶体管部70的一部分。

[0178] 可以利用第一寿命控制区151的形成方法中的任意的的方法形成第二寿命控制区152。用于形成第一寿命控制区151和第二寿命控制区152的元素和剂量等可以相同也可以不同。

[0179] 图4A是示出背面侧区域60的原子密度分布的图表的一例。纵轴表示原子密度(atoms/cm³),横轴表示分析深度(μm)。本例的背面侧区域60作为阴极区82而发挥功能。作为一例,示出作为背面侧区域60的掺杂剂的磷的原子密度。背面侧区域60具有平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64。

[0180] 本例的N_p是阴极区82中的峰65的原子密度。峰65的原子密度N_p在阴极区82中可以为1.0E+18cm⁻³以上,也可以为5.0E+18cm⁻³以上,还可以为1.0E+19cm⁻³以上。峰65的原子密度N_p在阴极区82中可以为1.0E21cm⁻³以下,也可以为5.0E+21cm⁻³以下,还可以为1.0E+20cm⁻³以下。本例的峰65的原子密度N_p为1.43E+20cm⁻³。X_p在阴极区82中可以为0.1μm以上,也可以为0.2μm以上,还可以为0.3μm以上。X_p在阴极区82中可以为0.8μm以下,也可以为0.6μm以下,还可以为0.4μm以下。

[0181] 本例的背面侧区域60作为阴极区82而发挥功能,通过设为本例那样的原子密度分布,从而易于注入载流子。特别是,通过将减小区64设为陡峭梯度,从而易于注入载流子。由此,在二极管导通时易于注入空穴,能够改善半导体装置100的导通特性。

[0182] 图4B是示出平缓梯度区61的原子密度梯度的图表的一例。本图示出图4A的平缓梯度区61的原子密度梯度a₁。在阴极区82中,平缓梯度区61的原子密度梯度a₁可以为1.0E22以上,也可以为3.0E22以上,还可以为5.0E22以上,又可以为8.0E22以上。在阴极区82中,平缓梯度区61的原子密度梯度a₁可以为2.0E24以下,也可以为1.0E24以下,还可以为8.0E23以下,又可以为5.0E23以下。本例的原子密度梯度a₁为2.938E+23。

[0183] 在阴极区82中,平缓梯度区61的平均原子密度可以为峰65的峰原子密度N_p的20%以上,也可以为峰65的峰原子密度N_p的30%以上,还可以为峰65的峰原子密度N_p的40%以上,又可以为峰65的峰原子密度N_p的50%以上。平缓梯度区61的平均原子密度可以为峰65的峰原子密度N_p的95%以下,也可以为峰65的峰原子密度N_p的90%以下,还可以为峰65的峰原子密度N_p的85%以下,又可以为峰65的峰原子密度N_p的80%以下,也可以为峰65的峰原子密度N_p的70%以下。本例的平缓梯度区61的平均原子密度为大约1.2E+20atoms/cm⁻³,为峰原子密度N_p的大约82%。

[0184] 图4C是示出陡峭梯度区62的原子密度梯度的图表的一例。本图示出图4A的陡峭梯度区62的原子密度梯度a₂。陡峭梯度区62的原子密度梯度a₂比平缓梯度区61的原子密度梯度a₁大。在阴极区82中,陡峭梯度区62的原子密度梯度a₂可以为1.0E23以上,也可以为2.0E23以上,还可以为5.0E23以上,又可以为8.0E23以上。在阴极区82中,陡峭梯度区62的原子密度梯度a₂可以为1.0E25以下,也可以为8.0E24以下,还可以为5.0E24以下,又可以为3.0E24以下。本例的原子密度梯度a₂为2.043E+24。

[0185] 图4D是示出减小区64的原子密度梯度的图表的一例。本图示出图4A的减小区64的原子密度梯度a₃。因为原子密度梯度a₃是减小区64的原子密度分布的图表的梯度的绝对

值,所以取正值。在阴极区82中,减小区64的原子密度梯度 a_3 可以为 $2.0E24$ 以上,也可以为 $5.0E24$ 以上,还可以为 $8.0E24$ 以上,又可以为 $1.0E25$ 以上。在阴极区82中,减小区64的原子密度梯度 a_3 可以为 $2.0E26$ 以下,也可以为 $1.0E26$ 以下,还可以为 $8.0E25$ 以下,又可以为 $5.0E25$ 以下。本例的原子密度梯度 a_3 为 $2.392E+25$ 。

[0186] 在阴极区82中,平缓梯度区61的下端的原子密度可以为峰65的原子密度 N_p 的30%以上且峰65的原子密度 N_p 的90%以下。平缓梯度区61的下端的原子密度可以为峰65的原子密度 N_p 的50%以上且峰65的原子密度 N_p 的80%以下。本例的半导体装置100通过使用激光退火,从而与使用热退火的情况相比,能够增大背面23的原子密度,降低与集电极24的接触电阻。

[0187] 在阴极区82中,平缓梯度区61的原子密度梯度相对于陡峭梯度区62的原子密度梯度的比率 α 可以为0.01以上且0.5以下。原子密度梯度的比率 α 在阴极区82中可以为0.02以上,也可以为0.05以上,还可以为0.1以上。原子密度梯度的比率 α 在阴极区82中可以为0.3以下,也可以为0.2以下,还可以为0.1以下。

[0188] 在阴极区82中,陡峭梯度区62的原子密度梯度相对于减小区64的原子密度梯度的比率 β 可以为0.001以上且0.3以下。原子密度梯度的比率 β 在阴极区82中可以为0.005以上,也可以为0.01以上,还可以为0.05以上。原子密度梯度的比率 β 在阴极区82中可以为0.2以下,也可以为0.1以下,还可以为0.08以下。

[0189] 本例的背面侧区域60作为阴极区82而发挥功能。使峰65的位置远离背面23,并在背面23与峰区63之间设置平缓梯度区61和陡峭梯度区62。由此,能够将峰区63和减小区64形成在从背面23起算为 $0.1\mu\text{m}$ 以上的深度的位置。电荷载流子的注入效率(在本例中为电子)可以由峰65的原子密度的大小和减小区64的梯度的大小确定。在此,掺杂浓度可以被设为与原子密度相同的数量级。例如,即使在半导体装置的制造工艺或模块等的装配工艺中在背面23产生了损伤的情况下,只要损伤的深度处于到峰区63的下端为止(例如 $0.2\mu\text{m}$ 左右)的范围内,则能够使电荷载流子的注入效率不易受到损伤的深度的影响。由此,能够抑制因背面23的损伤所引起的正向压降的增大。对于背面侧区域60与形成于背面23的背面电极(在本例中为集电极24)的接触电阻而言,只要背面23的掺杂剂的原子密度为 1×10^{18} (atoms/cm³)以上即可。另一方面,在将背面侧区域60较深地形成至例如 $0.2\mu\text{m}$ 以上的位置的情况下,有时将背面23的掺杂剂的原子密度设为最大。在该情况下,原子密度的梯度变得比较平缓,有时无法提高电荷载流子的注入效率。与此相对,通过使背面侧区域60具备平缓梯度区61和陡峭梯度区62,从而能够在远离背面23的深度位置形成峰区63和减小区64,并能够使减小区64中的原子密度的梯度陡峭。其结果是,不仅能够提高电荷载流子的注入效率,还能够降低形成于背面23的损伤的影响。如此,本例的背面侧区域60具有峰区63和减小区64,从而不仅能够促进载流子的注入,而且通过具备平缓梯度区61和陡峭梯度区62,还能够不易受到背面23的损伤的影响。

[0190] 在背面侧区域60作为阴极区82而发挥功能的情况下,有时耗尽层到达阴极区82。如果耗尽层到达背面电极,则泄漏电流增加。为了防止耗尽层到达背面电极,通过提高阴极区82的掺杂浓度即阴极区82的掺杂剂的原子密度,从而能够使耗尽层在阴极区82的内部停止而不会到达背面电极。另一方面,如上所述,在背面23产生损伤的情况下,由于耗尽层到达背面23的损伤处的背面电极,所以有时漏电流增加。特别是,在将背面23的掺杂剂的原子

密度设为最大的密度分布的情况下,在损伤的正面21侧的前端,阴极区82的原子密度变得比较低。因此,耗尽层易于到达背面23的损伤处的背面电极。如本例那样,通过使峰65的位置远离背面23,并在背面23与峰区63之间设置平缓梯度区61和陡峭梯度区62,从而能够使峰区63或陡峭梯度区62比背面23的损伤的前端更深。由此,使耗尽层在峰区63、陡峭梯度区62或平缓梯度区61中停止,从而能够抑制漏电流的增加。

[0191] 如此,通过适当地设定背面侧区域60的各区域的原子密度梯度,从而能够促进来自背面侧区域60的载流子注入,提供具有良好的电特性的半导体装置100。另外,本例的背面侧区域60作为阴极区82而发挥作用,能够使耗尽层在远离背面23的峰65处停止,因此,即使在背面23产生损伤的情况下,只要损伤的深度处于例如到平缓梯度区61和陡峭梯度区62为止的范围内,就能够抑制因背面23的损伤所引起的漏电流的增大。

[0192] 图5是示出半导体装置100的制造工序的一例的流程图。在步骤S100中,形成半导体装置100的正面21侧的结构。另外,在步骤S100中,在形成正面21侧的结构之后,对半导体基板10的背面23侧进行磨削,根据所要求的耐压等电特性调整半导体基板10的厚度。

[0193] 在步骤S102中,从半导体基板10的背面23侧以离子方式注入用于形成背面侧区域60的掺杂剂。背面侧区域60可以形成于半导体基板10的整个背面23。在背面侧区域60为集电区22的情况下,掺杂剂可以为硼。在背面侧区域60为阴极区82的情况下,掺杂剂可以为磷。在背面侧区域60包含集电区22和阴极区82这两者的情况下,可以将集电区22和阴极区82的掺杂剂分成各自的区域而进行离子注入。

[0194] 用于形成集电区22的掺杂剂的剂量可以为 $2.0E+13\text{cm}^{-2}$ 以上,也可以为 $5.0E+13\text{cm}^{-2}$ 以下。用于形成阴极区82的掺杂剂的剂量可以为 $1.0E14\text{cm}^{-2}$ 以上,也可以为 $1.0E16\text{cm}^{-2}$ 以下。用于形成背面侧区域60的离子注入的加速能量在集电区22或阴极区82中可以为10keV以上且300keV以下。

[0195] 在步骤S104中,从半导体基板10的背面23侧对半导体基板10进行激光退火。在本例中,对背面侧区域60的以离子方式注入了掺杂剂而得的区域进行激光退火。通过激光退火,从半导体基板10的背面23侧选择性地对以离子方式注入了掺杂剂而得的区域进行加热。通过使用激光退火,能够在将未照射激光的非照射区域保持为低温的状态下,将激光照射面的数 μm 的区域升温至掺杂剂的活化所需的温度。由此,能够形成具有峰65的背面侧区域60。

[0196] 在背面侧区域60包括集电区22和阴极区82的情况下,可以对集电区22和阴极区82的各区域同时进行激光退火,也可以分别进行激光退火。在通过激光退火而熔融的半导体基板10的重结晶时,能够使用于形成背面侧区域60的掺杂剂的峰的位置变化。由此,形成平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64各自的区域。

[0197] 用于背面侧区域60的退火的激光的种类没有特别限定。用于背面侧区域60的退火的激光可以是XeCl准分子激光(波长308nm),也可以是KrF准分子激光(波长248nm),还可以是XeF准分子激光(波长351nm),又可以是固体激光的YAG2 ω (YAG的第二高次谐波)(波长532nm),也可以是YAG3 ω (YAG的第三高次谐波)(波长355nm)。用于背面侧区域60的退火的激光的种类可以是激光的侵入深度为例如 $5\mu\text{m}$ 以下的激光。

[0198] 应予说明,用于形成背面侧区域60的步骤可以不包括用于形成背面侧区域60的热退火。即,背面侧区域60中的缺陷的恢复和掺杂剂的活化可以仅通过激光退火来实现。但

是,背面侧区域60中的缺陷的恢复和掺杂剂的活化除了激光退火以外,也可以并用热退火来实现。热退火可以是在炉中对半导体装置100进行加热的炉退火。

[0199] 在步骤S106中,形成背面侧电极。背面侧电极可以是集电极24,也可以是阴极。例如,背面侧电极通过溅射法而形成。背面侧电极可以是层叠有铝层、钛层以及镍层等的层叠电极。通过这样的工序,能够制造出具备背面侧区域60的半导体装置100。应予说明,在半导体基板10的背面23侧形成缓冲区20或第一寿命控制区151等其他区域的情况下,可以适当追加用于形成这些区域的工序。

[0200] 图6示出背面侧区域60的激光退火前后的原子密度分布。纵轴表示原子密度(atoms/cm³)和硅的二次离子强度(arb.Unit),横轴表示从背面23起算的分析深度(μm)。

[0201] 实线示出背面侧区域60的离子注入时和激光退火后的原子密度的分布。本例的背面侧区域60的掺杂剂为硼。在背面侧区域60的离子注入时,在深度为射程R_p的位置具有原子密度分布的峰。离子注入时可以是背面侧区域60的掺杂剂的离子注入后且背面侧区域60的退火前的步骤。激光退火后的峰65的深度位置X_p大于离子注入时的峰的射程R_p。在本例中,通过因激光退火所引起的半导体基板10的照射区域的熔融,从而使原子密度分布的峰重新分布在比离子注入后的原子密度分布的峰位置更靠半导体基板10的正面21侧的位置。

[0202] 半导体基板10的通过激光退火而熔融的深度位置可以根据背面侧区域60的原子密度分布或材料等而适当地改变。对于激光退火的照射深度特别是因激光退火所产生的熔融深度而言,可以包括从半导体基板10的背面23起直到离子注入时的峰的射程R_p为止的区域,也可以包括从背面23起直到峰65的深度位置X_p为止的区域,还可以包括形成有背面侧区域60的全部区域。即,熔融深度可以为离子注入时的峰的射程R_p以上。对于激光照射而言,将晶片状态的半导体基板10的主面中的照射激光的照射面(在本例中为背面23)设为上侧,并将半导体基板10配置为水平。通过将熔融深度设为离子注入时的峰的射程R_p以上,从而能够将所注入的掺杂剂的总量的50%以上配置于熔融的半导体材料的内部。由此,所注入的掺杂剂的原子密度在熔融深度的范围内实质上均匀地重新分布。此外,如果使熔融时间比较长,则在熔融深度的范围内,掺杂剂沿重力向与照射面相反的主面即设置面(在本例中为正面21)侧沉淀。由于沉淀,掺杂剂向正面21侧移动,因此,掺杂剂原子密度分布的峰位置移动到离子注入时的峰的射程R_p或比其更深的位置。此外,通过掺杂剂的移动,从背面23侧朝向正面21侧依次形成平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64。通过将激光退火的条件(例如,激光的强度、照射时间、照射次数和时间间隔、重叠率等)设定为使半导体材料熔融且掺杂剂重新分布而向设置面侧沉淀,从而能够形成具有平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64的背面侧区域60。

[0203] 单点划线的图表示出作为半导体基板10的硅的二次离子强度的测定结果。在靠近背面23的区域(例如,0.05μm以下的区域),测定结果不稳定,未准确地测定硅的二次离子强度。即,有时也无法准确地测定背面侧区域60的掺杂剂的原子密度。因此,在背面23的附近的区域中,可以通过进行外插等对背面侧区域60的原子密度的测定值进行插值。

[0204] 应予说明,背面侧区域60的积分浓度可以通过激光退火的照射而减小。在硼的情况下,激光退火后的背面侧区域60的积分浓度相对于激光退火前的背面侧区域60的积分浓度之比可以为85%以上,也可以为90%以上,还可以为95%以上。在硼的情况下,激光退火后的背面侧区域60的积分浓度相对于激光退火前的背面侧区域60的积分浓度之比可以小

于100%，也可以为99%以下，还可以为95%以下。本例的积分浓度之比为97%。在掺杂剂为磷、砷的情况下也可以是同样的。

[0205] 图7示出半导体基板10的背面23侧的原子密度的测定结果。本图示出通过SIMS测量出的二次离子的分析结果。在本例的结果中，也如其他实施例所示那样，背面侧区域60具有平缓梯度区61、陡峭梯度区62、峰区63以及减小区64。

[0206] 图8示出半导体基板10的背面23侧的掺杂浓度的测定结果。在本例中，示出在掺杂剂为硼的情况下，通过SR法测定出的掺杂浓度（净掺杂浓度、载流子浓度）的分布的一例。掺杂剂不限于硼，也可以是磷、砷。可知在通过SR法测定出的掺杂浓度的分布中，也反映出与图7所示的背面侧区域60的SIMS分析结果同样的特征。即，背面侧区域60的原子密度分布可以是与背面侧区域60的掺杂浓度的分布大致相似的形状。应予说明，通过SR法测定出的掺杂浓度的分布可以因误差等扩展电阻测定环境而在多个测定值中存在细微的增减。

[0207] 如图8所示，半导体装置100可以具备与原子密度分布的平缓梯度区61对应的掺杂浓度分布的掺杂平缓梯度区161、与原子密度分布的陡峭梯度区62对应的掺杂浓度分布的掺杂陡峭梯度区162、与原子密度分布的峰区63对应的掺杂浓度分布的掺杂峰区163以及与原子密度分布的减小区64对应的掺杂浓度分布的掺杂减小区164。即，背面侧区域60的掺杂浓度分布可以具有掺杂平缓梯度区161、掺杂陡峭梯度区162、掺杂峰区163以及掺杂减小区164。

[0208] N_{dp} 是掺杂峰165的峰掺杂浓度。 X_{dp} 是半导体基板10的深度方向上的从背面23起算的掺杂峰165的深度位置。

[0209] 掺杂减小区164可以是在半导体基板10的深度方向上掺杂浓度从背面23朝向漂移区18减小的区域。掺杂减小区164设置在掺杂峰区163与漂移区18之间。在半导体装置100具备缓冲区20的情况下，掺杂减小区164可以设置在掺杂峰区63与缓冲区20之间，并且可以与缓冲区20接触。

[0210] 掺杂平缓梯度区161的下端可以是半导体基板10的背面23。掺杂平缓梯度区161的上端可以是背面23与半导体基板10的深度方向上的掺杂峰区163的掺杂峰165的深度位置之间的中间的位置。即，掺杂平缓梯度区161的上端可以是以掺杂峰165的深度位置 X_{dp} 为基准而为 $0.5X_{dp}$ 的位置。应予说明，掺杂平缓梯度区161的上端可以是以掺杂峰165的掺杂浓度 N_{dp} 为基准而掺杂浓度为 $0.5N_{dp}$ 的位置。或者，掺杂平缓梯度区161的深度范围可以是与平缓梯度区61相同的深度范围。

[0211] 掺杂陡峭梯度区162的下端可以是在半导体基板10的深度方向上与掺杂平缓梯度区161的上端相同的位置。即，掺杂陡峭梯度区162的下端可以是以掺杂峰165的深度位置 X_{dp} 为基准而为 $0.5X_{dp}$ 的位置。掺杂陡峭梯度区162的上端可以是在半导体基板10的深度方向上与掺杂峰区163的下端相同的位置。如后所述，掺杂陡峭梯度区162的上端可以是在比掺杂峰165更靠背面23侧，掺杂浓度为 $0.95N_{dp}$ 的位置。或者，掺杂陡峭梯度区162的深度范围可以是与陡峭梯度区62相同的深度范围。

[0212] 掺杂峰区163的下端可以是在比掺杂峰165更靠半导体基板10的背面23侧，浓度为掺杂峰165处的掺杂浓度的95%的位置。即，掺杂峰区163的下端可以是在比掺杂峰165更靠背面23侧，掺杂浓度为 $0.95N_{dp}$ 的位置。掺杂峰区163的上端可以是在比掺杂峰165更靠半导体基板10的正面21侧，浓度为掺杂峰165处的掺杂浓度的95%的位置。即，掺杂峰区163的上

端可以是在比掺杂峰165更靠正面21侧,掺杂浓度为 $0.95N_{dp}$ 的位置。另外,掺杂峰区163的上端和下端也可以分别是掺杂浓度为 $0.90N_{dp}$ 的位置。应予说明,掺杂峰区163的下端可以是以掺杂峰165的深度位置 X_{dp} 为基准而为 $0.9X_{dp}$ 的位置。掺杂峰区163的上端可以是以掺杂峰165的深度位置 X_{dp} 为基准而为 $1.1X_{dp}$ 的位置。或者,掺杂峰165的深度范围可以是与峰区63相同的深度范围。

[0213] 掺杂减小区164的下端可以是在半导体基板10的深度方向上与掺杂峰区163的上端相同的位置。即,掺杂减小区164的下端可以是在比掺杂峰165更靠正面21侧,掺杂浓度为 $0.95N_p$ 的位置。掺杂减小区164的上端可以是在比掺杂峰165更靠半导体基板10的正面21侧,密度为掺杂峰165处的掺杂浓度的10%的位置。即,掺杂峰区163的上端可以是在比掺杂峰165更靠正面21,原子密度为 $0.1N_p$ 的位置。或者,掺杂减小区164的深度范围可以是与减小区64相同的深度范围。

[0214] 在本例的背面侧区域60,掺杂平缓梯度区161、掺杂陡峭梯度区162、掺杂峰区163以及掺杂减小区164可以从背面23侧起依次连续地设置。即,掺杂平缓梯度区161的上端可以与掺杂陡峭梯度区162的下端接触。掺杂陡峭梯度区162的上端可以与掺杂峰区163的下端接触。掺杂峰区163的上端可以与掺杂减小区164的下端接触。换言之,半导体装置100可以具有掺杂平缓梯度区161与掺杂陡峭梯度区162之间的边界 A_d ,可以具有掺杂陡峭梯度区162与掺杂峰区163之间的边界 B_d ,可以具有掺杂峰区163与掺杂减小区164之间的边界 C_d ,可以具有掺杂减小区164与漂移区18之间的边界 D_d 。

[0215] 由于掺杂平缓梯度区161的上端与掺杂陡峭梯度区162的下端接触,从而对于从掺杂平缓梯度区161起遍及掺杂陡峭梯度区162的掺杂浓度分布而言,掺杂浓度分布的梯度(掺杂浓度梯度)可以连续地增加。由此,有时能够使掺杂剂的电活化率较高。此外,从掺杂平缓梯度区161起遍及掺杂陡峭梯度区162的掺杂浓度分布也可以具有掺杂浓度局部地连续减小的区域,还可以具有掺杂浓度局部地连续平坦分布的部分。在此,掺杂浓度局部地连续平坦分布可以是指,在比平缓梯度区61、陡峭梯度区62、掺杂平缓梯度区161以及掺杂陡峭梯度区162中的任一个或最狭窄的区域更窄的范围内,掺杂浓度的最大值和最小值为该范围的掺杂浓度的平均值的15%以内。

[0216] 以上,虽然利用实施方式对本发明进行了说明,但是本发明的技术范围不限于上述实施方式所记载的范围。对本领域技术人员来说,能够对上述实施方式施加各种变更或改良是显而易见的。根据权利要求书的记载可知,施加了这样的变更或改良的方式也能够包括在本发明的技术范围内。

[0217] 应当注意的是,在权利要求书、说明书和附图中的所示的装置、系统、程序和方法中的动作、顺序、步骤和阶段等各处理的执行顺序只要未特别明示“在……之前”,“事先”等,另外,不是在之后的处理中使用之前的处理的结果,就可以按任意顺序来实现。即使为方便起见,对权利要求书、说明书和附图中的动作流程使用“首先”、“接下来”等进行说明,也不表示必须按照该顺序实施。

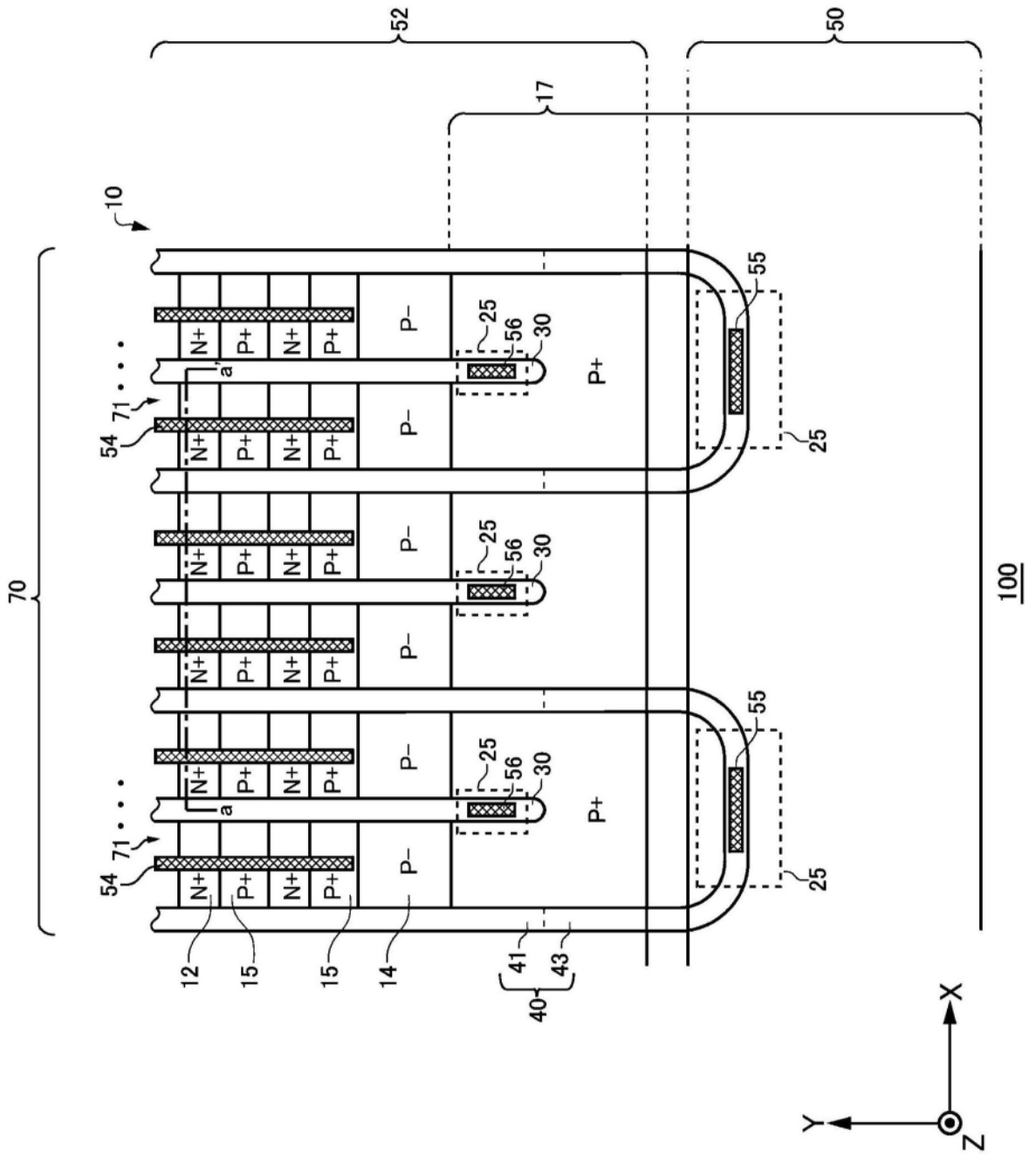


图1A

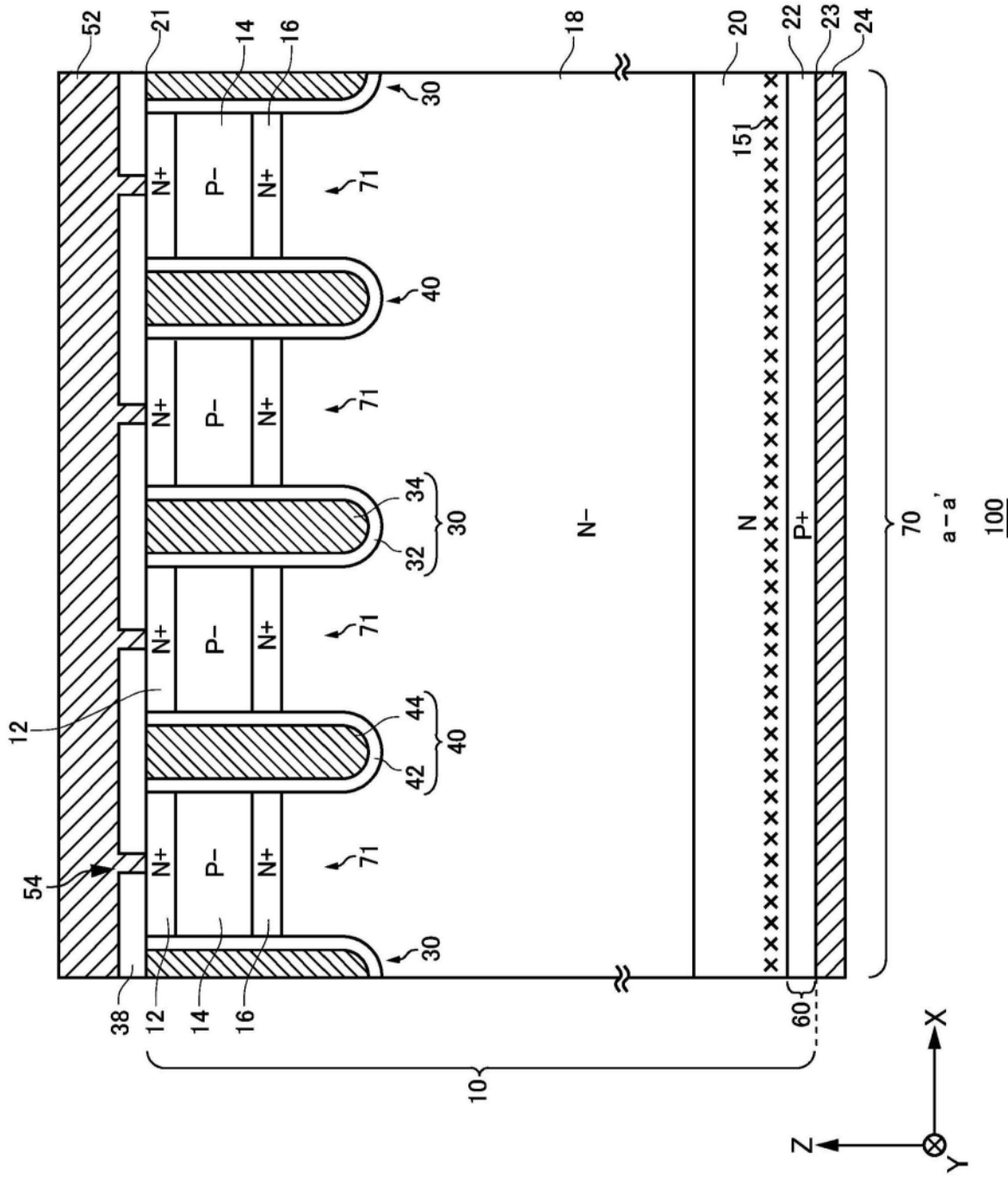


图1B

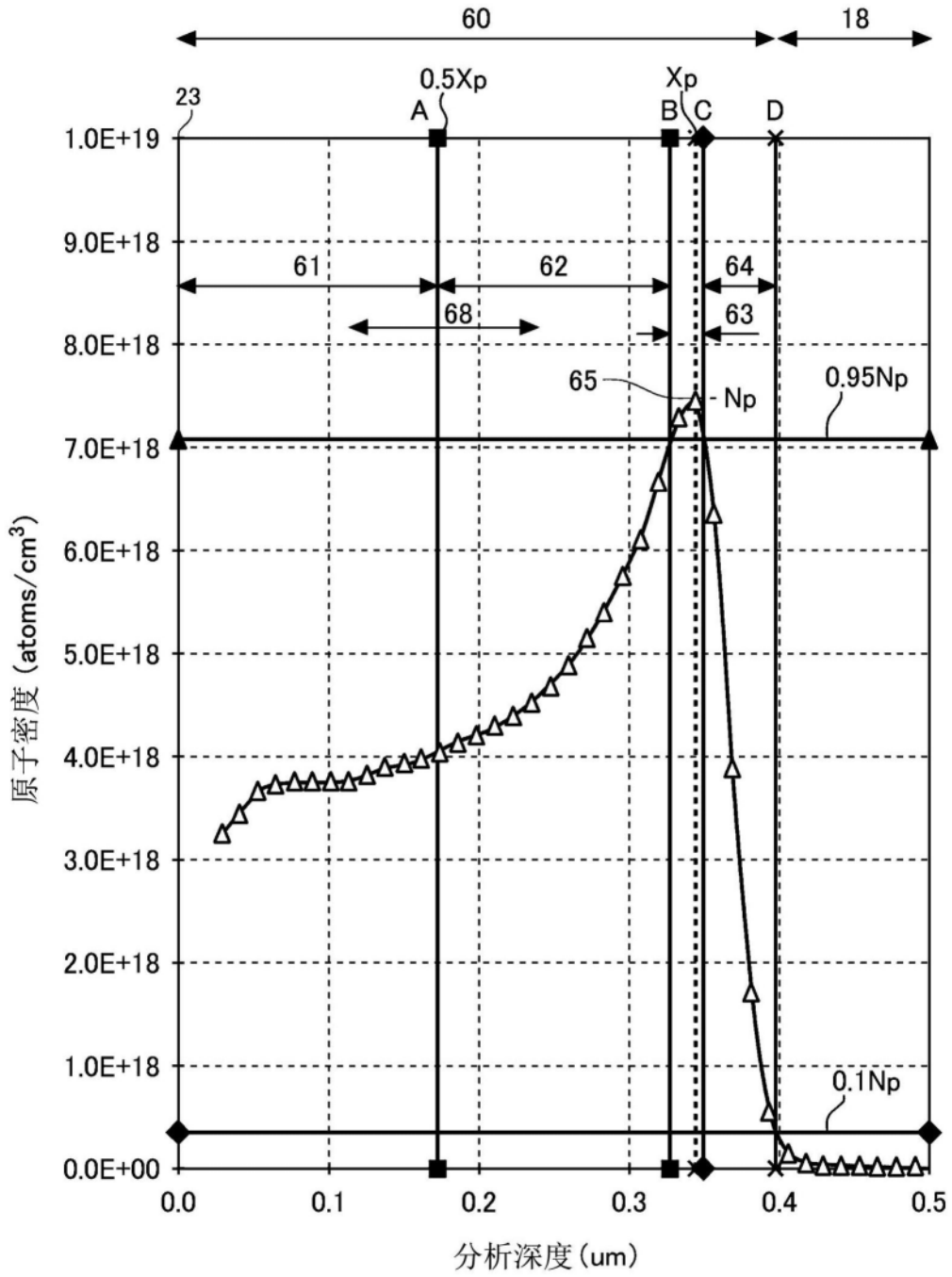


图2A

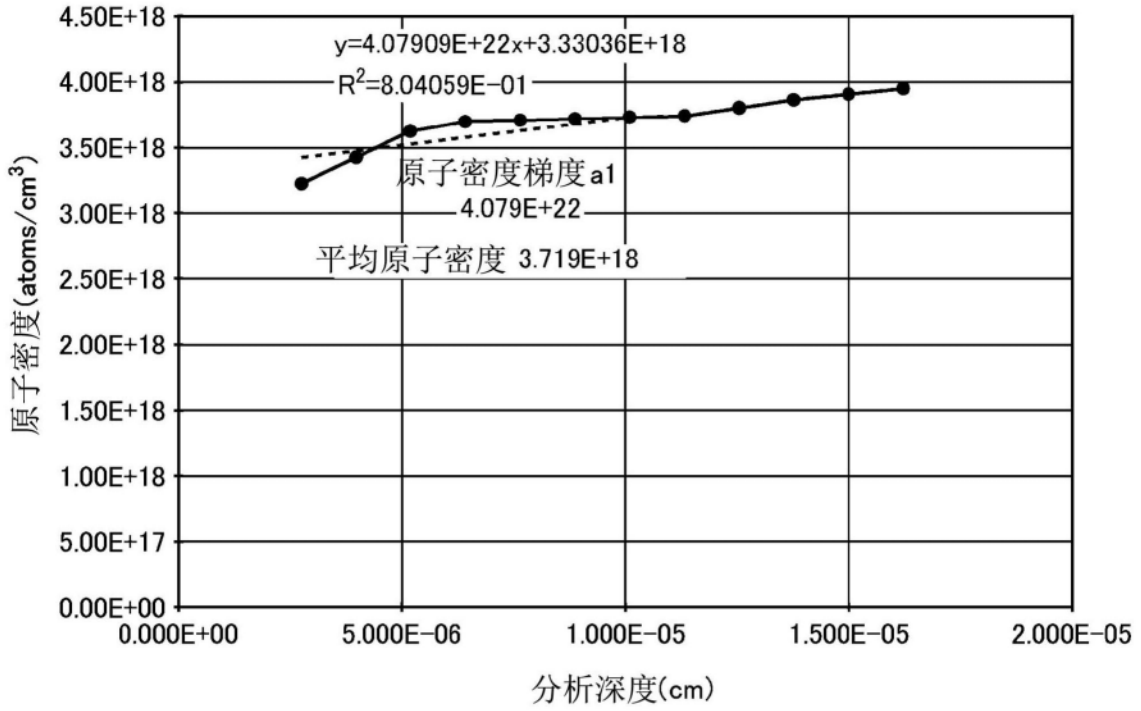


图2B

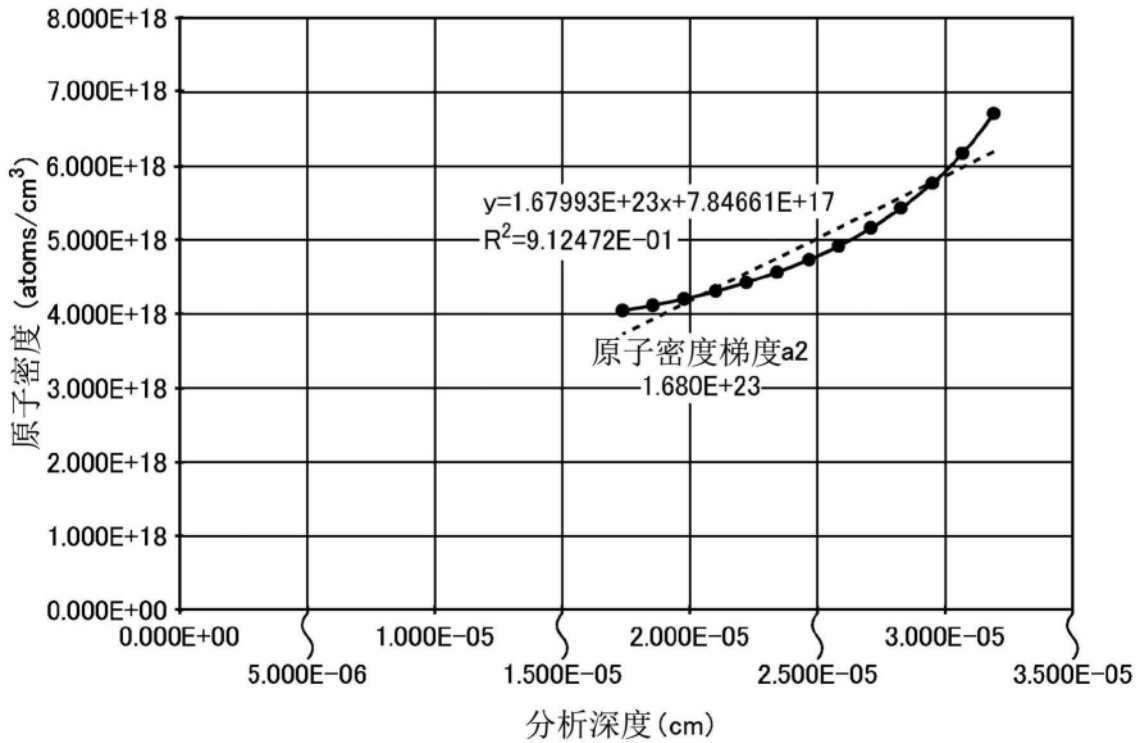


图2C

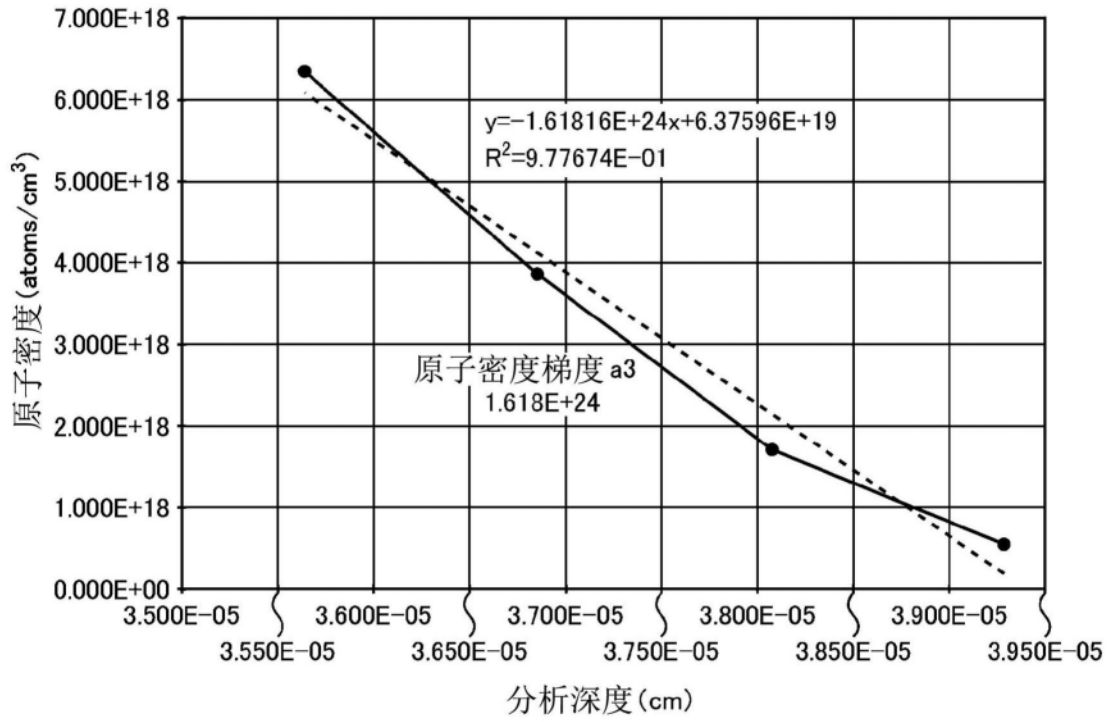


图2D

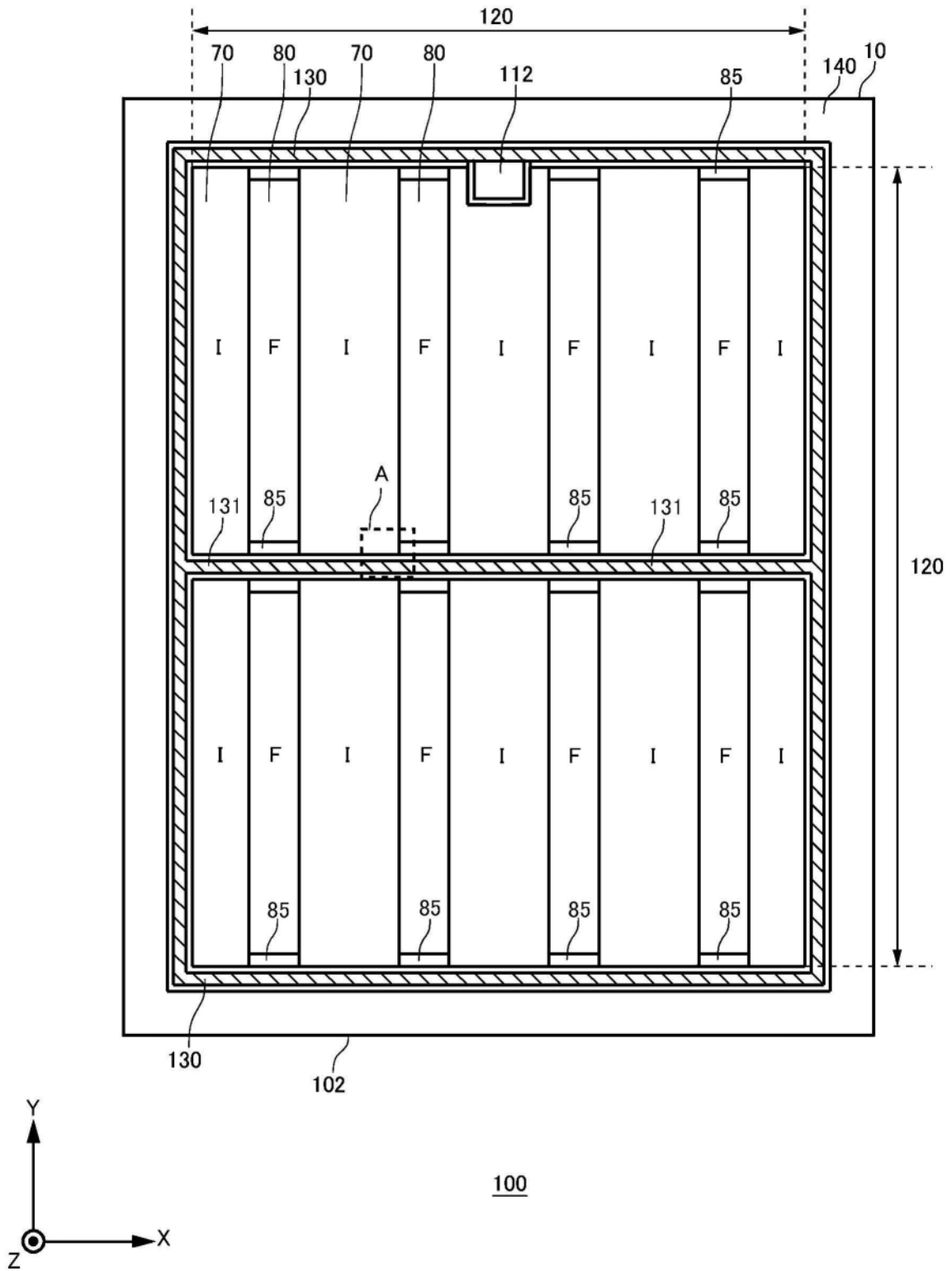


图3A

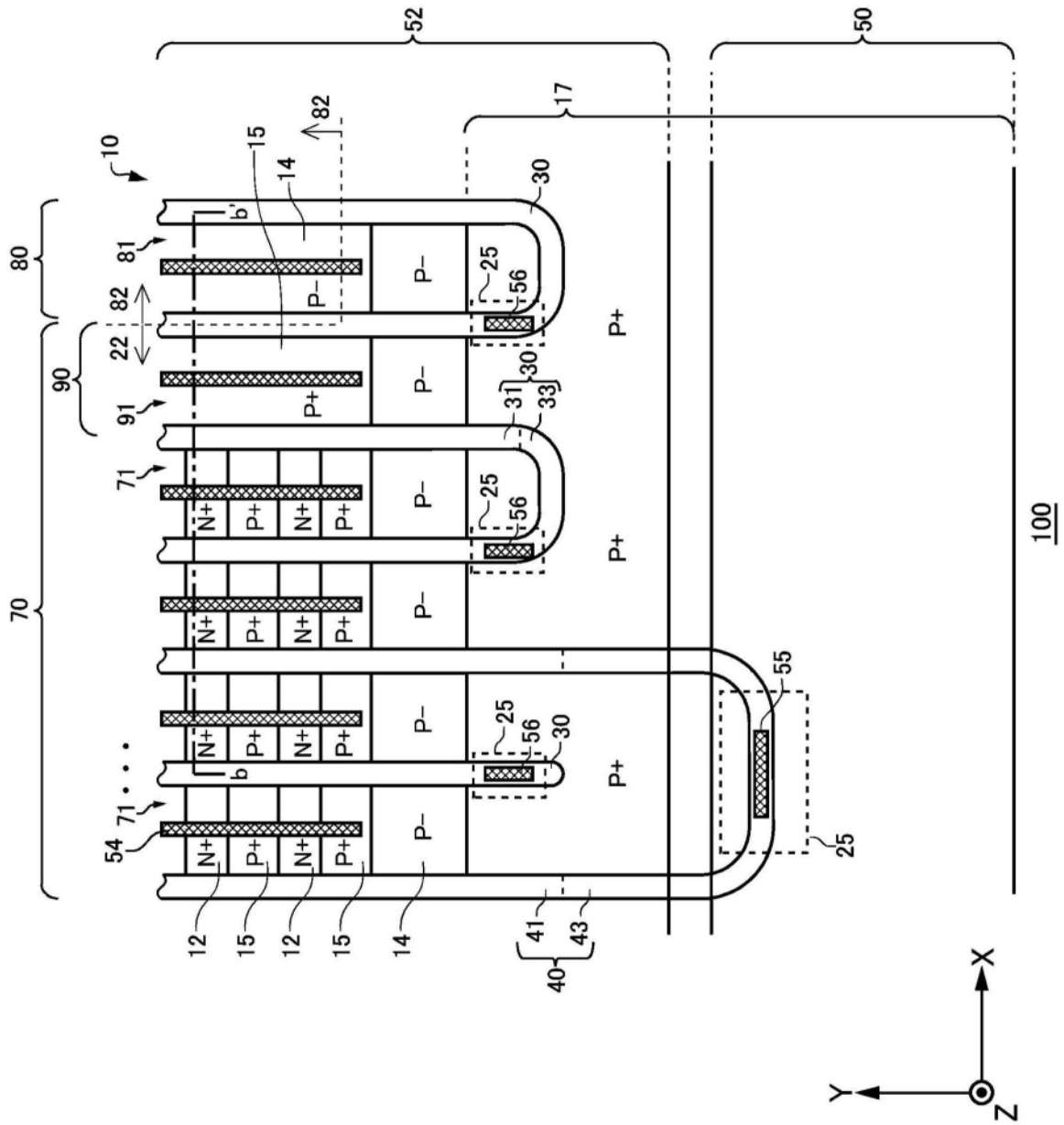


图3B

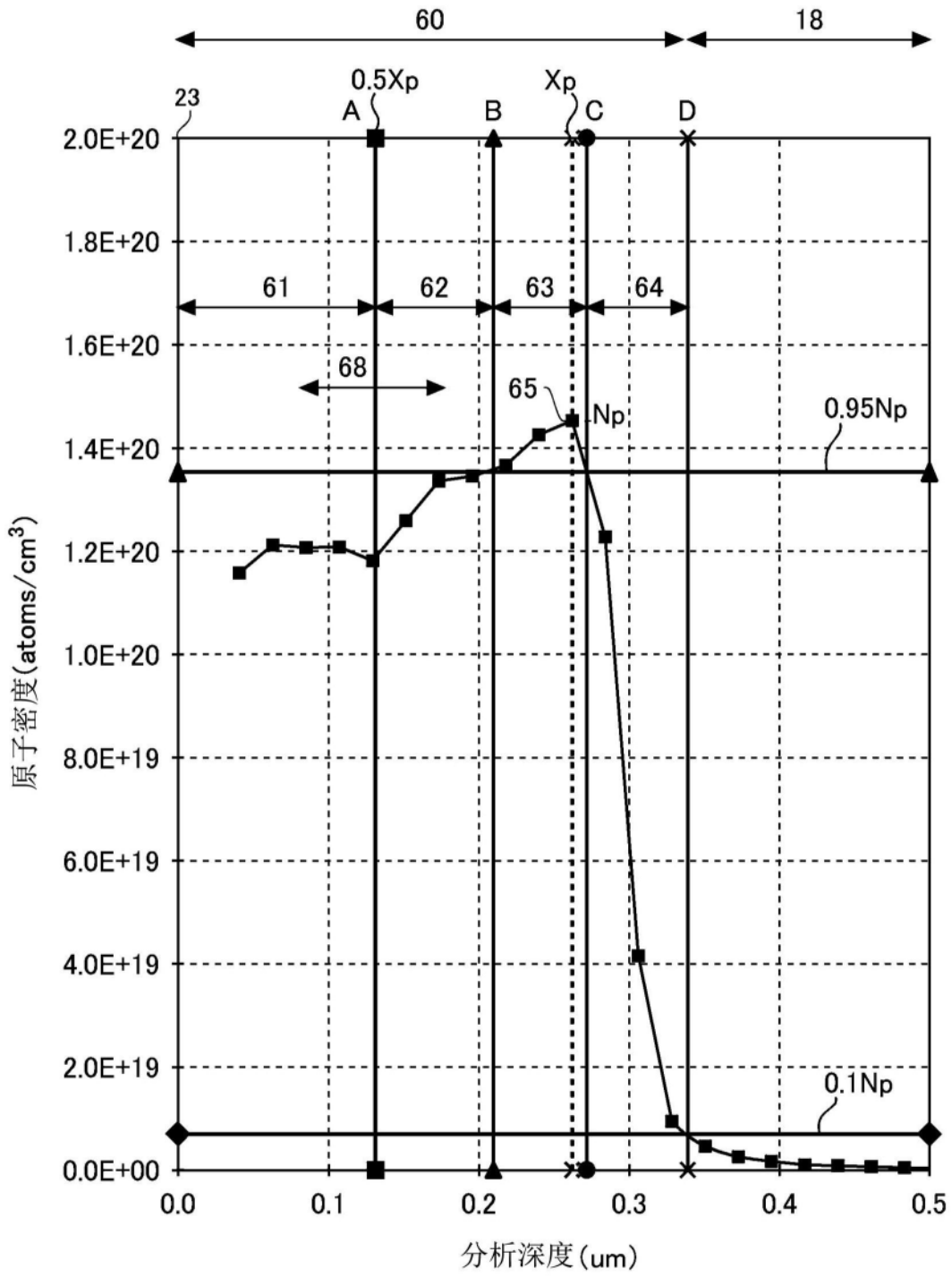


图4A

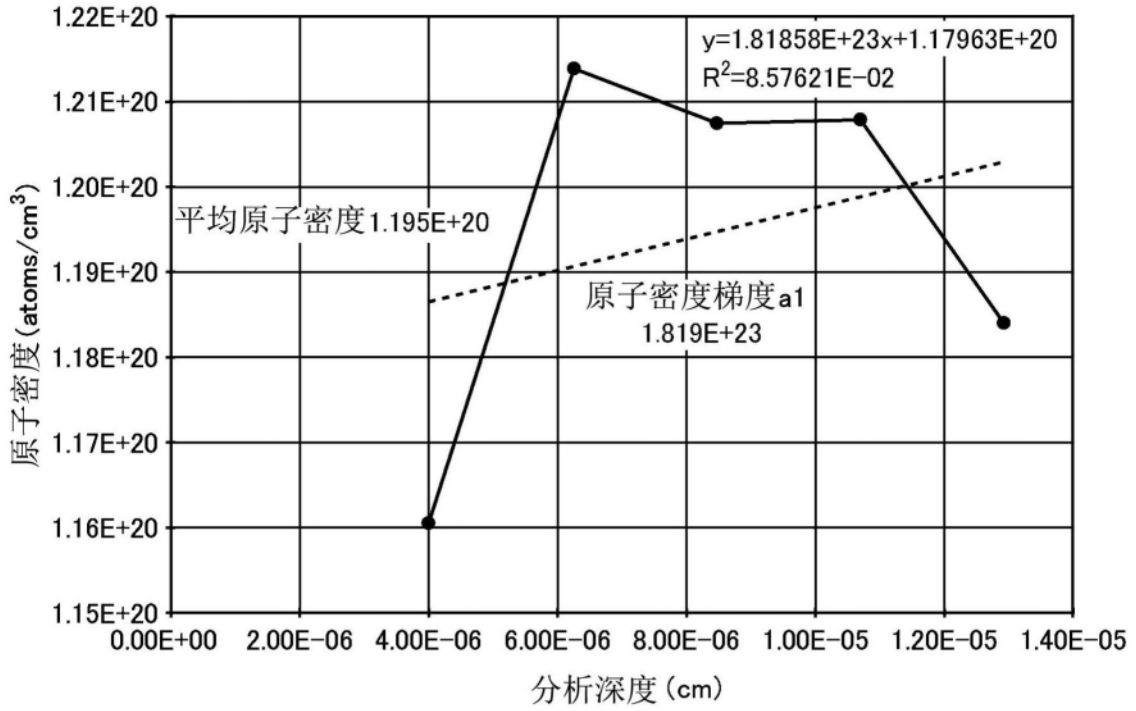


图4B

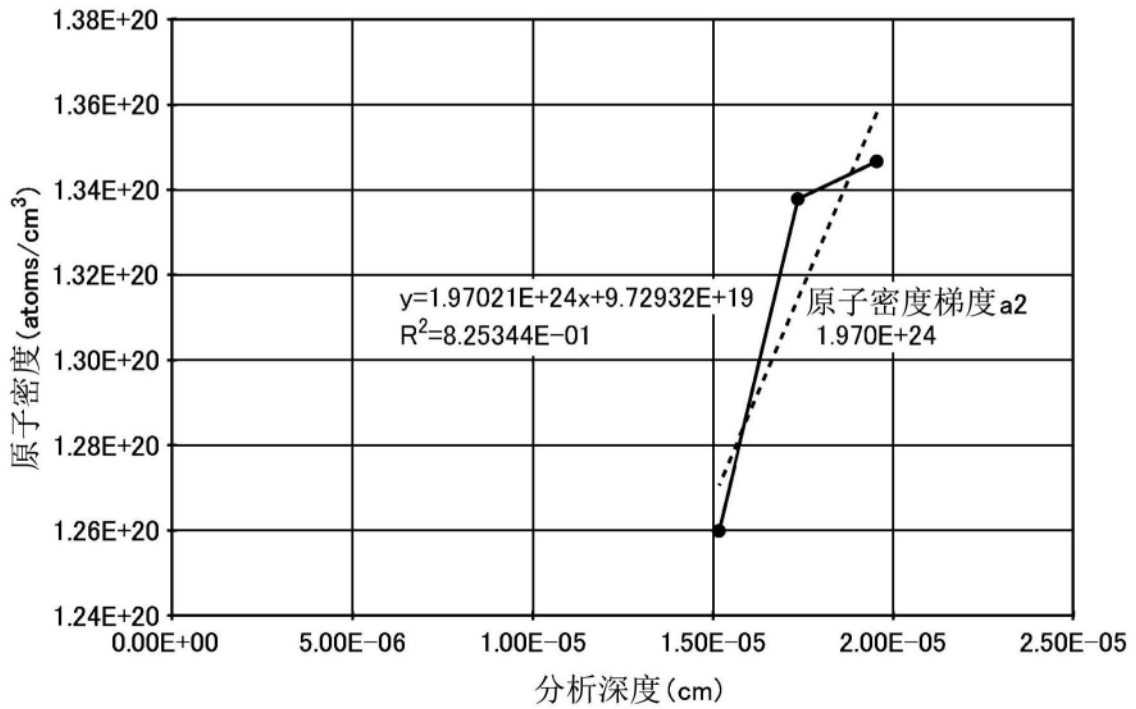


图4C

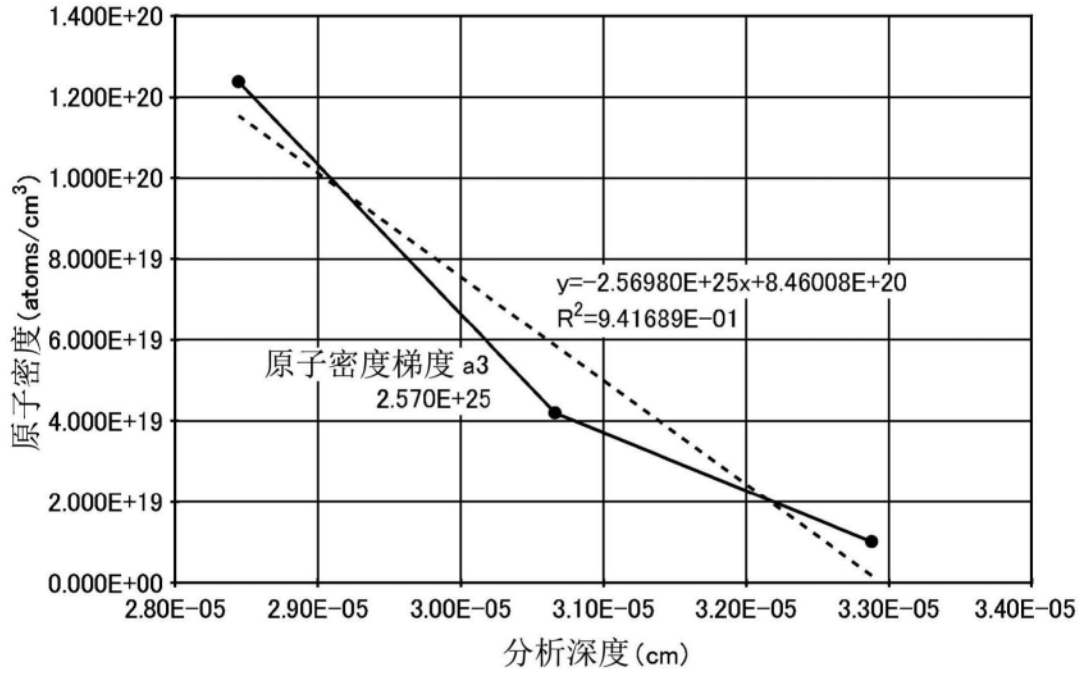


图4D

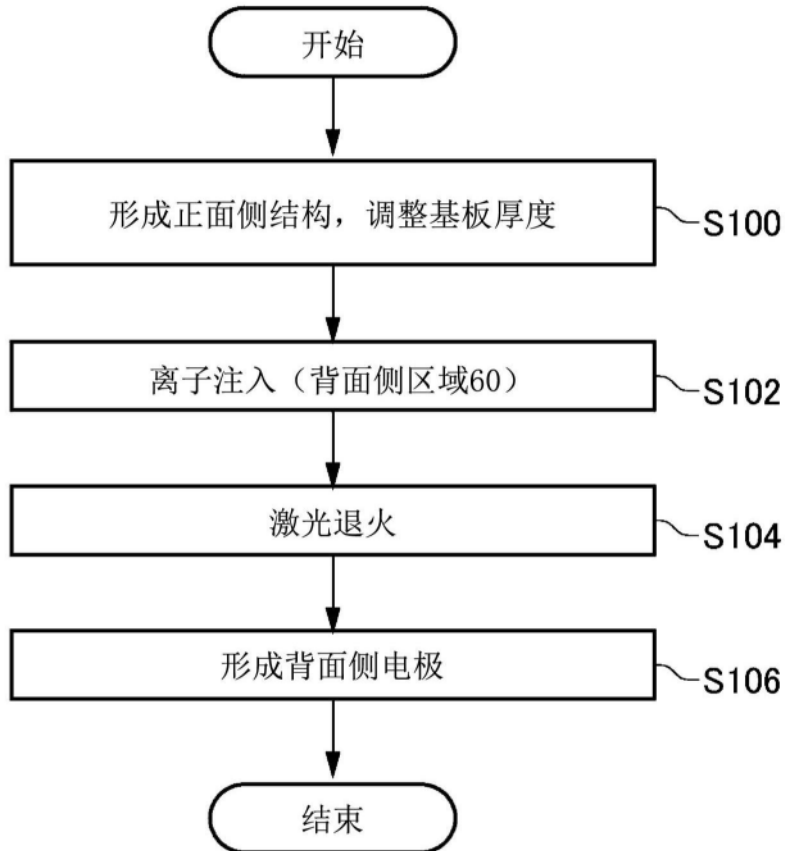


图5

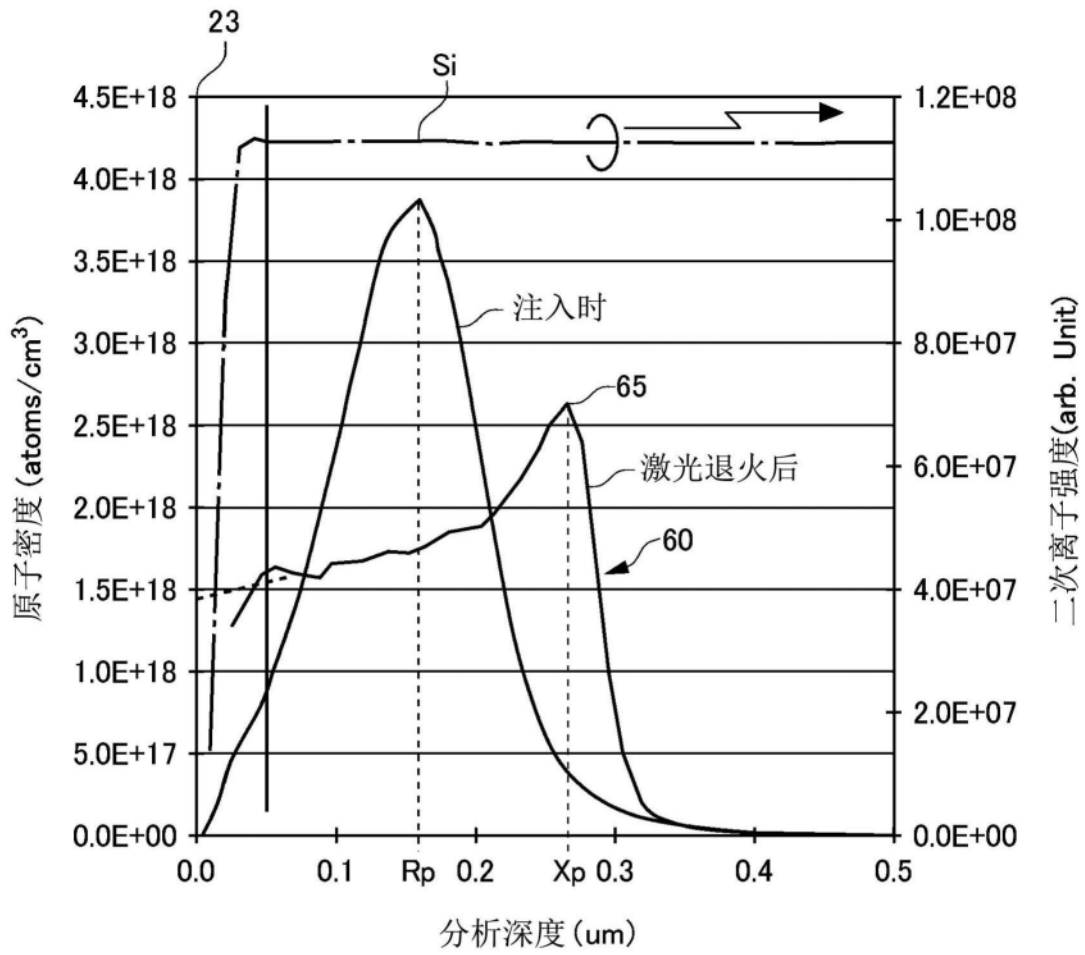


图6

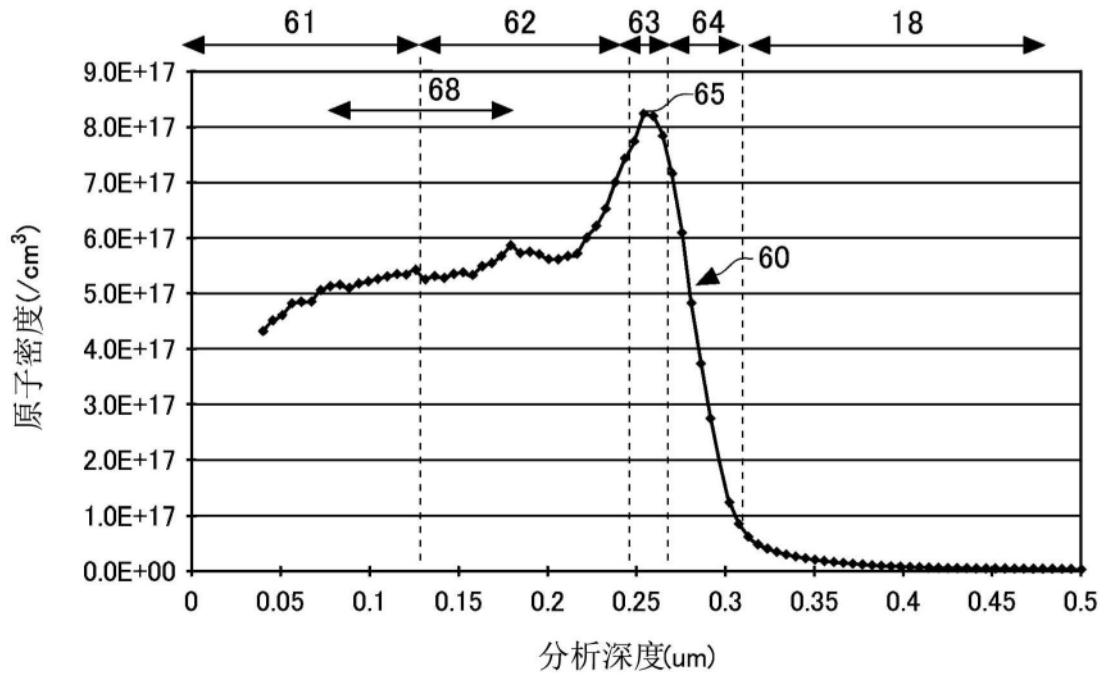


图7

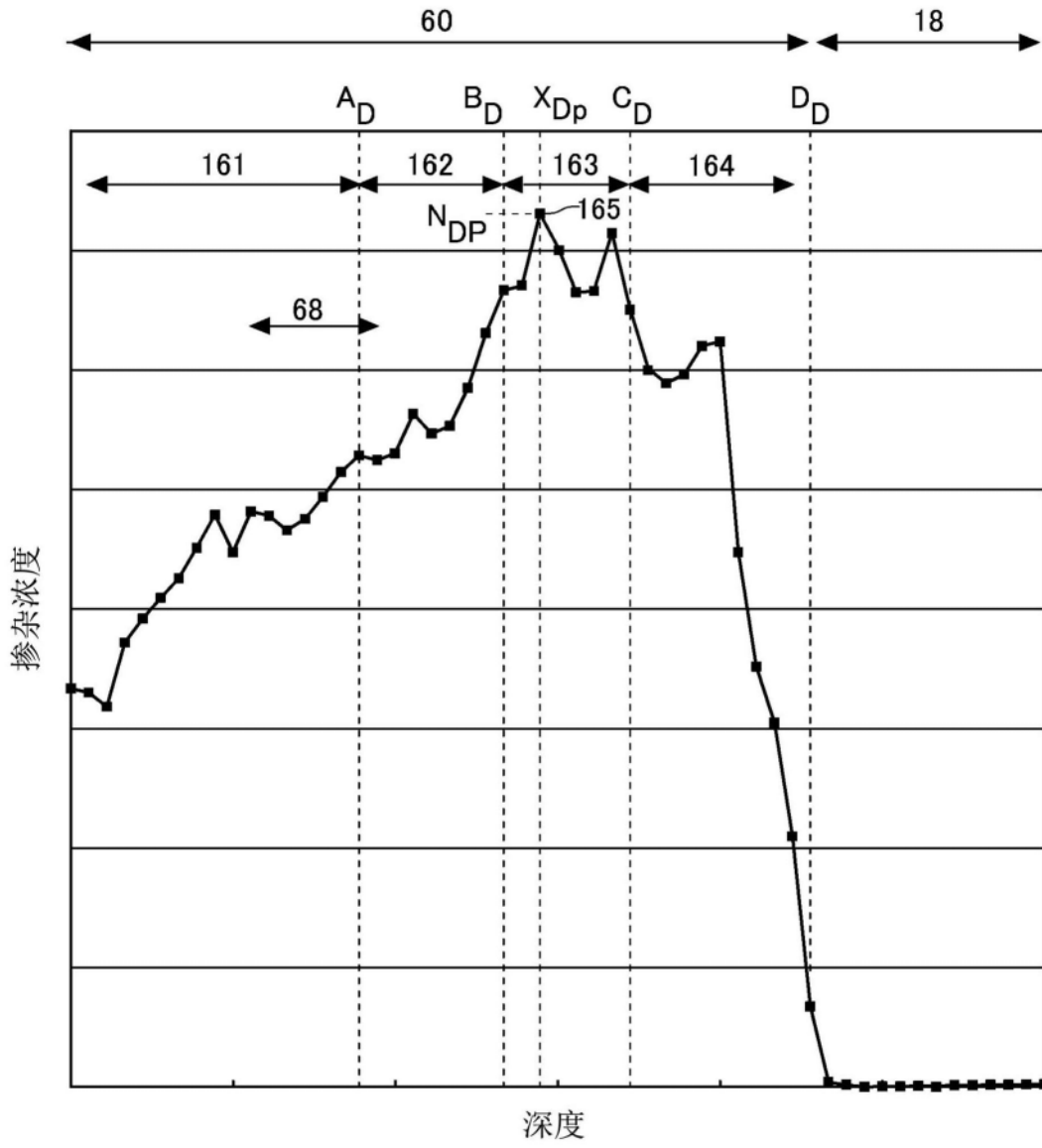


图8