(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 1913104 B
(45)授权公告日 2010.05.12

(21)申请号 200610095905.7

(22)申请日 2003.03.26

(30)优先权数据
2002-85085 2002.03.26 JP

(62)分案原申请数据
03108827.9 2003.03.26

(73)专利权人 三洋电机株式会社
地址 日本大阪府

(72)发明人 户田忠夫 山口勤 畑雅幸
野村康彦

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 陈剑华

(51)Int.Cl.
H01L 21/18(2006.01)
H01L 21/60(2006.01)
H01L 33/00(2006.01)
H01S 5/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开 2001-148533 A,2001.05.29, 说明书第 0040,0042 段、附图 1.
US 6211089 B1,2001.04.03, 说明书第 1 栏第 1-6 段, 第 3 栏第 1-3 段.
US 6153010 A,2000.11.28, 说明书第 24 栏第 6 段.

审查员 杨燕

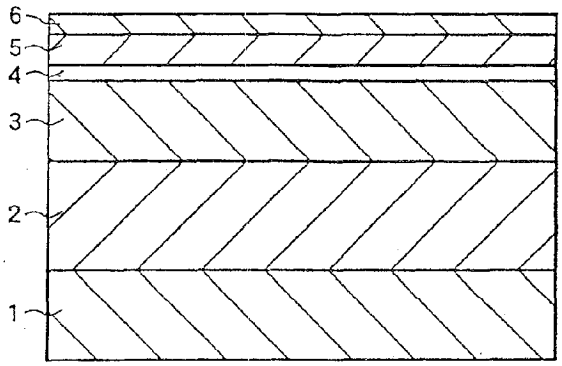
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 4 页

(54)发明名称

氮化物系半导体元件的制造方法

(57)摘要

本发明提供一种氮化物系半导体元件的制造方法,它依次具有以下工序:对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层的背面进行研磨,随后在上述研磨过的第 1 半导体层的背面上形成 n 侧电极,用连接法安装氮化物系半导体激光元件。本发明还提供另一种氮化物系半导体元件的制造方法,它依次具有以下工序:对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层的背面进行研磨,在上述研磨过的第 1 半导体层背面上形成 n 侧电极,热处理,附着在所述 n 侧电极与放热基台之间。这些方法可降低氮化物系半导体基板等的氮面与电极之间的接触电阻。



CN 1913104 B

1. 一种氮化物系半导体元件的制造方法，它依次具有以下工序：

对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层的背面进行研磨，

通过浸蚀除去研磨所产生的背面近旁的晶体缺陷，直到该晶体缺陷密度在 $1\times10^{9}cm^{-2}$ 以下，在上述第 1 半导体层的背面上形成 n 侧电极，该 n 侧电极与第 1 半导体层的背面之间的接触电阻在 $0.05\Omega cm^{2}$ 以下，

用连接法安装氮化物系半导体元件。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在所述形成 n 侧电极的工序之后，还具有热处理工序。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还具有劈开所述第 1 半导体层的工序。

4. 一种氮化物系半导体元件的制造方法，它依次具有以下工序：

对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层的背面进行研磨，

通过浸蚀除去研磨所产生的背面近旁的晶体缺陷，直到该晶体缺陷密度在 $1\times10^{9}cm^{-2}$ 以下，

在上述第 1 半导体层背面上形成 n 侧电极，该 n 侧电极与第 1 半导体层的背面之间的接触电阻在 $0.05\Omega cm^{2}$ 以下，

热处理，

附着所述 n 侧电极在放热基台上。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，在所述形成 n 侧电极的工序之后，还具有热处理工序。

6. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，还具有劈开所述第 1 半导体层的工序。

氮化物系半导体元件的制造方法

[0001] 本申请是申请日为 2003 年 3 月 26 日、申请号为 03108827.9、发明名称为“氮化物系半导体元件及其制造方法”的中国申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及氮化物系半导体元件及其制造方法，尤其是涉及带电极的氮化物系半导体及其制造方法。

[0003] 近年来，人们对利用氮化物系半导体激光元件作为下一代大容量光盘光源寄予希望，开发工作很活跃。

[0004] 通常，用绝缘性蓝宝石基板制造氮化物系半导体激光元件。但是，在蓝宝石基板上形成氮化物系半导体层时，由于蓝宝石基板和氮化物半导体层之间的晶格常数相差较大，所以在氮化物系半导体层内，会产生起因于晶格常数之差的大量晶体缺陷（位移）这一不良现象。其结果，导致氮化物系半导体激光元件的特性下降。

[0005] 因此，有一种方案是，采用与氮化物系半导体层的晶格常数差异小的 GaN 基板等氮化物系半导体基板。

[0006] 图 7 是用 n 型 GaN 基板形成的以往的氮化物系半导体激光元件的截面图。参照图 7，在以往的氮化物系半导体激光元件的制造工艺中，为了提高在 n 型 GaN 基板 101 上成长的氮化物系半导体层（102 ～ 110）的结晶性，氮化物半导体层（102 ～ 110）在具有纤锌矿结构的 n 型 GaN 基板 1 的 Ga 面〔(HKLM) 面 :M 是正整数〕上成长。另外，在具有纤锌矿结构的 n 型 GaN 基板 101 的氮面（(HKL-M) 面 :M 是正整数）用作背面的同时，在该 n 型 GaN 基板 101 背面上形成 n 侧电极 112。下面详细说明以往的氮化物系半导体激光元件的制造工艺。

[0007] 如图 7 所示，在厚约 300μm ～ 500μm 的 n 型 GaN 基板 101 的上表面（Ga 面）上，用 MOCVD 法（金属有机气相沉积法）等依次形成以下各层 :厚约 3μm 的由 n 型 GaN 构成的 n 型层 102，厚约 10nm 的由 n 型 $In_{0.05}Ga_{0.05}N$ 构成的缓冲层 103，厚约 400nm 的由 n 型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 构成的 n 型覆层 104，厚约 70nm 的由 n 型 GaN 构成的光导层 105，具有 MQW(Multiple Quantum Well :多量子阱）结构的 MQW 活性层 106，厚约 200nm 的由 p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 构成的 p 型层 107，厚约 70nm 的由 p 型 GaN 构成的 p 型光导层 108，厚约 400nm 的由 p 型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 构成的 p 型覆层 109，厚约 100nm 的由 p 型 GaN 构成的 p 型接触层 110。

[0008] 接着，在 p 型接触层 110 上表面上的指定区域形成 p 侧电极 111。研磨 n 型 GaN 基板 101 背面，使 n 型 GaN 基板 101 达到规定厚度（约 100μm）后，在 n 型 GaN 基板 101 背面（氮面）上形成 n 侧电极 112。最后，劈开 n 型 GaN 基板 101 及层 102 ～ 110，将元件分离，形成共振器端面。由此完成图 7 所示的以往的氮化物系半导体激光元件。

[0009] 在图 7 所示的以往的氮化物系半导体激光元件中，因为 n 型 GaN 基板 101 的硬度非常大，所以，难以通过劈开而很好地将元件分离和形成共振器端面。为了解决这一问题，有人提出过，在劈开工序之前，对 n 型 GaN 基板背面进行机械研磨，减小 GaN 基板背面的凹凸度，由此很好地将元件分离和形成共振器端面。这些方法记载于日本特许公开公报

2002-26438 号中。

[0010] 但是，用上述日本特许公开公报 2002-26438 号中记载的方法对 n 型 GaN 基板背面进行机械研磨时，n 型 GaN 基板背面附近会产生应力。由此产生的问题是，在 n 型 GaN 基板背面近旁会产生裂纹等微细晶体缺陷。其结果，导致 n 型 GaN 基板与形成于 n 型 GaN 基板背面（氮面）的 n 侧电极之间的接触电阻增加。

[0011] 另外，因为 n 型 GaN 基板氮面容易被氧化，这也会引起与形成于 n 型 GaN 基板背面（氮面）的 n 侧电极之间的接触电阻增加这一问题。

发明内容

[0012] 本发明的一个目的是，提供一种能降低氮化物系半导体基板等的背面与电极的接触电阻的氮化物系半导体元件的制造方法。

[0013] 本发明的另一个目的是，在上述氮化物系半导体元件的制造方法中，减少氮化物系半导体基板等的背面近旁的晶体缺陷。

[0014] 本发明的还有一个目的是，提供一种能降低氮化物系半导体基板等的背面与电极的接触电阻的氮化物系半导体元件。

[0015] 为了达到上述目的，作为本发明第 1 方面的氮化物系半导体元件的制造方法具有如下工序：对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层及氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层背面进行浸蚀的工序和随后在浸蚀过的第 1 半导体层背面上形成 n 侧电极的工序。

[0016] 在上述方法中，如上所述，因为通过对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层及氮化物系半导体基板中的任一个构成的第 1 半导体层背面进行浸蚀，可以除去包含由研磨工序等产生的第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷的区域，所以可以减少第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷。由此，可以抑制因晶体缺陷捕捉电子载体等而导致的电子载体浓度下降，从而可以增大第 1 半导体层背面的电子载体浓度。其结果，可以减少第 1 半导体层与 n 侧电极的接触电阻。另外，与机械研磨相比，通过浸蚀第 1 半导体层背面，可以提高第 1 半导体层背面的平坦性。由此，因为可以提高在第 1 半导体层背面上形成的 n 侧电极的平坦性，所以，对于 n 侧电极安装在放热基台上的结构，可以提高 n 侧电极与放热基台之间的附着性。其结果，可以得到良好的放热特性。另外，因为可以提高在第 1 半导体层背面上形成的 n 侧电极的平坦性，在 n 侧电极上连接引线，可以提高引线与 n 侧电极的连接性。

[0017] 在上述方法中，第 1 半导体层背面最好包含第 1 半导体层的氮面。在此，氮面不只是指整个背面为氮面的情况，而是还包括主要为氮面的情况的广义概念具体地说，还包括氮面占 50％以上的情况。在第 1 半导体层背面为氮面的情况下，因为背面容易被氧化，所以通过浸蚀可以除去背面被氧化的部分。由此，可以进一步减小第 1 半导体层与 n 侧电极的接触电阻。

[0018] 在上述方法中，浸蚀工序最好包括用干式浸蚀法浸蚀第 1 半导体层背面的工序。干式浸蚀可以容易地提高第 1 半导体层背面的平坦性，同时可以减少背面近旁的晶体缺陷。

[0019] 在上述包含干式浸蚀工序的方法中，干式浸蚀工序最好包括用 Cl_2 气和 BCl_3 气进行干式浸蚀的工序。这样，可以容易地提高第 1 半导体层背面的平坦性，同时减少背面近旁

的晶体缺陷。在该干式浸蚀工序中，BCl_3 气相对于 Cl_2 气的的流量比最好在 30％以上 70％以下。该 BCl_3 气对 Cl_2 气的流量比范围已经实验确认是可以提高第 1 半导体层背面平坦性的范围，所以，使用该范围的流量比，可以切实提高第 1 半导体层背面的平坦性。

[0020] 在含有上述干式浸蚀的方法中，干式浸蚀工序中的浸蚀深度和浸蚀时间最好成正比关系。这样，通过调整浸蚀时间，可以高精度地控制浸蚀深度。

[0021] 在上述方法中，浸蚀工序最好包括将第 1 半导体层背面浸蚀成镜面的工序。这样，可以使第 1 半导体层背面的平坦性更好。

[0022] 在上述方法中，在形成 n 侧电极的工序之后，最好还有热处理工序。这样，可进一步减小第 1 半导体层与 n 侧电极之间的接触电阻。

[0023] 在上述方法中，浸蚀工序最好将第 1 半导体层背面浸蚀除去约 1μm 以上。这样，可以充分除去包含因研磨工序等而产生的第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷的区域，从而可以进一步减少第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷。

[0024] 在上述方法中，第 1 半导体层可包括由选自 GaN、BN、AlN、InN 和 TiN 的至少一种材料构成的氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板。另外，n 侧电极可以包括 Al 膜。

[0025] 在上述方法中，氮化物系半导体元件最好是氮化物系半导体发光元件。这样，在氮化物系半导体发光元件中，可以减小第 1 半导体层与 n 侧电极之间的接触电阻，从而可以得到具有良好发光特性的氮化物系半导体发光元件。

[0026] 在上述方法中，在形成 n 侧电极的工序之前，最好还有将浸蚀过的第 1 半导体层氮面浸渍在含有氯、氟、溴、碘、硫和铵中的至少一种的溶液里的工序。这样，可以容易地除去由第 1 半导体层背面浸蚀所产生的残留物。从而，可以进一步减小第 1 半导体层与 n 侧电极之间的接触电阻。在此情况下，在形成 n 侧电极的工序之前，还有用盐酸溶液处理第 1 半导体层背面的工序。这样，通过浸蚀第 1 半导体层背面，可以容易地除去附着在背面的氯系残留物。

[0027] 在上述方法中，在浸蚀工序之前，最好还有研磨第 1 半导体层背面的工序。在进行背面研磨的情况下，也可以通过研磨后的浸蚀工序，提高第 1 半导体层背面的平坦性，并减少降低因研磨而产生的背面近旁的晶体缺陷。

[0028] 在上述方法中，浸蚀工序最好包括用湿式浸蚀法浸蚀第 1 半导体层背面的工序。湿式浸蚀可以容易地提高第 1 半导体层背面的平坦性，并可减少背面近旁的晶体缺陷。此时，湿式浸蚀工序最好包括用选自王水、KOH 和 K_2SO_8 中的至少一种浸蚀液进行浸蚀的工序。另外，湿式浸蚀工序，最好包括在升温至约 120℃的状态下进行浸蚀的工序。这样，可使浸蚀速度提高至在室温浸蚀的约 10 倍。

[0029] 作为本发明第 2 方面的氮化物系半导体元件的制造方法，它具有对由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一种构成的第 1 半导体层的氮面进行干式浸蚀的工序和其后在浸蚀过的第 1 半导体层氮面上形成 n 侧电极的工序。

[0030] 在上述第 2 方面的方法中，如上所述，通过干式浸蚀由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板中的任一种构成的第 1 半导体层的氮面，可以除去包含因研磨工序等而产生的第 1 半导体层氮面近旁晶体缺陷的区域，从而可以减少第 1 半导体层氮面近旁的晶体缺陷。由此，可以抑制因晶体缺陷捕捉电子载体等而导致的电子载体浓度下降，从而可以增大第 1 半导体层氮面的电子载体浓度。其结果，可以降低第 1 半导体

层与 n 侧电极之间的接触电阻。另外，与机械研磨相比，干式浸蚀可以提高第 1 半导体层氮面的平坦性。由此，可以提高在第 1 半导体层氮面上形成的 n 侧电极的平坦性，从而，对于 n 侧电极安装在放热基台上的结构，可以提高 n 侧电极与放热基台的附着性。其结果，可以得到良好的放热特性。另外，因为可以提高在第 1 半导体层氮面上形成的 n 侧电极的平坦性，所以，在 n 侧电极上连接引线时，可以提高引线与 n 侧电极的连接性。

[0031] 作为本发明第 3 方面的氮化物系半导体元件，是通过浸蚀由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层及氮化物系半导体基板中的任一种构成的第 1 半导体层的背面的工序和其后在浸蚀过的第 1 半导体层背面上形成 n 侧电极的工序来制成的。

[0032] 在上述氮化物系半导体元件中，如上所述，通过浸蚀由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层及氮化物系半导体基板中的任一种构成的第 1 半导体层的背面，可以除去包含因研磨工序而产生的第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷的区域，从而可以减少第 1 半导体层背面近旁的晶体缺陷。由此，可以抑制因晶体缺陷捕捉电子载体等而导致的电子载体浓度下降，从而可以提高第 1 半导体层背面的电子载体浓度。其结果，可以减小第 1 半导体层与 n 侧电极之间的接触电阻。另外，与机械研磨相比，浸蚀可以提高第 1 半导体层背面的平坦性。由此可以提高在第 1 半导体层背面上形成的 n 侧电极的平坦性，从而，对于 n 侧电极安装在放热基台上的结构，可以提高 n 侧电极与放热基台的附着性。其结果，可以得到良好的放热特性。另外，因为可以提高在第 1 半导体层氮面上形成的 n 侧电极的平坦性，所以，在 n 侧电极上连接引线时，可以提高引线与 n 侧电极的连接性。

[0033] 作为本发明第 4 方面的氮化物系半导体元件，它具有由具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层及氮化物系半导体基板中的任一种构成的第 1 半导体层和在第 1 半导体层背面上形成的 n 侧电极，n 侧电极与第 1 半导体层之间的接触电阻在 $0.05\Omega cm^2$ 以下。

[0034] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，将 n 侧电极与第 1 半导体层之间的接触电阻控制在 $0.05\Omega cm^2$ 以下，可以得到 n 侧电极与第 1 半导体层的接触电阻减小、具有良好元件特性的氮化物系半导体元件。

[0035] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，第 1 半导体层的与 n 侧电极的界面近旁的电子载体浓度最好在 $1\times10^{17}cm^{-3}$ 以上。这样，可以容易地得到 n 侧电极与第 1 半导体层的接触电阻减小的氮化物系半导体元件。

[0036] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，第 1 半导体层的与 n 侧电极的界面近旁的位移密度最好在 $1\times10^{9}cm^{-2}$ 以下。这样，可以减少第 1 半导体层的与 n 侧电极的界面近旁的晶体缺陷（位移），从而可以减小第 1 半导体层在与 n 侧电极接触的界面上的接触电阻。

[0037] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，第 1 半导体层背面最好包含氮面。

[0038] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，第 1 半导体层可以包括由选自 GaN、BN、AlN、InN 以及 TiN 中的至少一种材料构成的氮化物系半导体层和氮化物系半导体基板。另外，n 侧电极可以包括 Al 膜。

[0039] 在上述第 4 方面的氮化物系半导体元件中，氮化物系半导体元件最好是氮化物系半导体发光元件。这样，可以减小第 1 半导体层与 n 侧电极之间的接触电阻，从而可以得到具有良好发光特性的氮化物系半导体发光元件。

附图说明

[0040] 图 1 是本发明的氮化物系半导体激光元件制造工序一实施方式的截面图。

[0041] 图 2 是本发明的氮化物系半导体激光元件制造工序一实施方式的截面图。

[0042] 图 3 是本发明的氮化物系半导体激光元件制造工序一实施方式的截面图。

[0043] 图 4 是图 3 所示工序的放大截面图。

[0044] 图 5 是本发明的氮化物系半导体激光元件制造工序一实施方式的斜视图。

[0045] 图 6 是改变 RIE 法浸蚀气体时的浸蚀速率变化曲线图。

[0046] 图 7 是以往的氮化物系半导体激光元件的截面图。

具体实施方式

[0047] 以下，通过附图说明本发明的具体实施方式。

[0048] 参照图 1 ～图 5，说明本发明的氮化物系半导体激光元件制造工序的一种实施方式。首先，在本实施方式中，用例如日本特许公开公报 2000-44400 号记载的方法形成具有纤锌矿结构的掺杂氧的 n 型 GaN 基板 1。具体地说，用 HVPE 法在 GaAs 基板（图中未示出）上形成厚约 120-400μm 的掺杂氧的 n 型 GaN 层。其后，除去 GaAs 基板，得到图 1 所示的 n 型 GaN 基板 1。该 n 型 GaN 基板 1 通过霍耳效应测得的基板载体浓度为 $5\times10^{18}cm^{-3}$。该 n 型 GaN 基板 1 用次级离子质谱 (SIMS) 法测得的杂质浓度为 $1\times10^{19}cm^{-3}$。该 n 型 GaN 基板 1 是本发明的“第一半导体层”之一例。

[0049] 在 n 型 GaN 基板 1 的 (0001) 面即上表面 (Ga 面）上用常压 MOCVD 法在约 1 个大气压（约 100kPa) 的压力下依次形成以下各层：厚约 5μm 的由 n 型 GaN 构成的缓冲层 2，厚约 1μm 的由 n 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ 构成的覆层 3，由 InGaN 构成的 MQW 活性层 4，厚约 0.28μm 的由 p 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ 构成组成的 p 型覆层 5，厚约 70nm 的由 p 型 GaN 组成的 p 型接触层 6。

[0050] MQW 活性层 4 通过约 20nm 厚的由 p 型 GaN 构成的 4 层阻挡层和约 3.5nm 厚的由 $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ 构成的 3 层的阱层交互层叠而形成。原料气体为 $Ga(CH_3)_3$、$In(CH_3)_3$、$Al(CH_3)_3$ 和 NH_3，载气为 H_2 和 N_2。在本实施方式中，通过改变这些原料气体的供应量来调整层 2 ～ 6 的组成。n 型缓冲层 2 和 n 型覆层 3 的 n 型掺杂剂为 SiH_4 气 (Si)。p 型覆层 5 和 p 型接触层 6 的 p 型掺杂剂为 Cp_2Mg 气 (Mg)。

[0051] 接着，用光刻技术和浸蚀技术浸蚀 p 型接触层 6 和 p 型覆层 5 的部分区域，如图 2 所示，形成由 p 型覆层 5 的凸部和 p 型接触层 6 构成的约 2μm 宽的凸部（突缘部）。然后，在 p 型接触层 6 的上表面上，自下朝上，形成由约 1nm 厚的 Pt 膜、约 10nm 厚的 Pd 膜和约 300nm 厚的 Ni 膜构成的 p 侧电极 7。由此，形成图 2 所示的包含形成有多个元件的区域的氮化物系半导体激光元件结构体 20。

[0052] 接着，如图 3 和图 4 所示，对 n 型 GaN 基板 1 的 (000-1) 面即背面（氮面）进行机械研磨。所用的机械研磨装置 30 如图 3 所示，由具有平坦表面的玻璃基板 11、可上下移动且被支承但可在 R 方向上旋转的夹具 12 和抛光轮 (buff)13 构成。抛光轮 13 上由粒径约 0.2-1μm 的金刚石、氧化硅或氧化铝等构成的研磨剂（图中未示出）。该研磨剂的粒径如在约 0.2-0.5μm 的范围内，则研磨效果特别好。在夹具 12 的下面，如图 3 和图 4 所示，装有氮化物系半导体激光元件结构体 20，结构体 20 通过石蜡 14 与夹具 12 彼此一定间隔，不与之直接接触。由此，防止氮化物系半导体激光元件结构体 20 在机械研磨时破损。也可用

由金属等构成的平坦的研磨盘代替玻璃基板 11 等。

[0053] 用图 3 所示的机械研磨装置 30 研磨 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面），使 n 型 GaN 基板 1 的厚度达到约 120-180μm。具体地说，以一定负荷将安装在夹具 12 下面的氮化物系半导体激光元件结构体 20 的 n 型 GaN 基板 1 背面（参照图 4）挤压在有研磨剂的抛光轮 13 上。一边让水或者油流到抛光轮 13（参照图 3）上，一边使夹具 12 在 R 方向上旋转。如此进行机械研磨，使 n 型 GaN 基板 1 的厚度磨至约 120-180μm。这样，后述的劈开工序可以很好地进行。

[0054] 此后，在本实施方式中，用反应离子浸蚀（RIE）法将 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面）浸蚀约 20 分钟。该浸蚀的条件如下：气体流量：Cl_2 气，10sccm；BCl_3，5sccm；浸蚀压力：约 3.3Pa；RF 功率：200w(0.63w/cm^2)；浸蚀温度：常温。由此，将 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面）除去约 1μm。其结果，可以除去包含因上述机械研磨而产生的晶体缺陷的 n 型 GaN 基板 1 背面近旁的区域。另外，与仅机械研磨相比，可使 n 型 GaN 基板 1 的背面成为更平坦的镜面。此外，将用肉眼能够很好地观察到 n 型 GaN 基板 1 背面的反射像的表面状态作为镜面。

[0055] 在此，为了确认上述浸蚀效果，用透射电镜（TEM）测定浸蚀前后的 n 型 GaN 基板 1 背面的晶体缺陷（位移）密度。结果发现，浸蚀前的晶体缺陷密度在 $1\times10^{10}cm^{-2}$ 以上，而浸蚀后的晶体缺陷密度减少到 $1\times10^{6}cm^{-2}$ 以下。另外，用电化学 C-V 测定浓度剖面测量仪测定了浸蚀后的 n 型 GaN 基板 1 背面近旁的电子载体浓度。结果，n 型 GaN 基板 1 背面近旁的电子载体浓度在 $1.0\times10^{18}cm^{-3}$ 以上。由此可知，用 RIE 法进行浸蚀，可以使背面近旁的电子载体浓度控制在与 n 型 GaN 基板 1 的基板载流子浓度（$5.0\times10^{18}cm^{-3}$）同等水平。

[0056] 另外，在上述浸蚀条件下，浸蚀时间和浸蚀深度成正比关系。因此，通过调整浸蚀时间，可以精确控制浸蚀深度。另外，浸蚀速率和表面状态随浸蚀气体的组成而变化。图 6 是改变 RIE 法的浸蚀气体时的浸蚀速度变化曲线图。此时，将 Cl_2 气流量固定在 10sccm，测定改变 BCl_3 气流量时的浸蚀速率。结果如图 6 所示，BCl_3 气与 Cl_2 气的流量比如在 30％以上 70％以下的范围内，则浸蚀过的表面成为平坦的镜面。如 BCl_3 气与 Cl_2 气的流量比小于 5％或超过 85％，则浸蚀面的平坦性受损，并成为白浊面。

[0057] 在上述浸蚀工序之后，在室温下，将氮化物系半导体激光元件结构体 20 在 HCl 溶液（浓度 10％）中浸渍 1 分钟，进行盐酸处理。由此，将用 RIE 法浸蚀时附着在 n 型 GaN 基板 1 背面的氯系残留物除去。

[0058] 然后，用溅射法或真空蒸镀法等在氮化物系半导体激光元件结构体 20 的 n 型 GaN 基板 1 背面（氮面）上，从靠近 n 型 GaN 基板 1 背面的一侧起，依次形成 6nm 厚的 Al 膜、2nm 厚的 Si 膜、10nm 厚的 Ni 膜和 300nm 厚的 Au 膜，构成 n 侧电极 8。

[0059] 最后，通过劈开，将元件分离和形成共振器端面，完成图 5 所示的本实施方式的氮化物系半导体激光元件。

[0060] 在本实施方式的氮化物系半导体激光元件的制造工艺中，如上所述，用 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面），可以除去包含因研磨工序而产生的 n 型 GaN 基板 1 背面近旁的晶体缺陷的区域。由此，可以控制因晶体缺陷捕捉电子载体等而导致的电子载体浓度下降。另外，当 n 型 GaN 基板 1 背面是氮面时，因为 n 型 GaN 基板 1 的背面容易被氧化，所以可以通过浸蚀除去氧化部分。其结果，可以减小 n 型 GaN 基板 1 与 n 侧电极 8 之间的

接触电阻。另外，用 TLM（传输线模型）法测得按本实施方式制成的氮化物系半导体激光元件中的 n 型 GaN 基板 1 与 n 侧电极 8 之间的接触电阻在 $2.0\times10^{-4}\Omega cm^2$ 以下。另外，在 n 型 GaN 基板 1 背面（氮面）上形成 n 侧电极 8 之后，再在 500℃的氮气氛中热处理 10 分钟，则接触电阻更低，在 $1.0\times10^{-5}\Omega cm^2$ 以下。

[0061] 在本实施方式的氮化物系半导体激光元件的制造工艺中，如上所述，与机械研磨相比，用 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板 1 背面，可以进一步提高 n 型 GaN 基板 1 背面的平坦性。由此，可以进一步提高在 n 型 GaN 基板 1 背面形成的 n 侧电极 8 的平坦性。其结果，在用连接法安装氮化物系半导体激光元件时，可以提高引线对 n 侧电极 8 的连接性。另外，在将 n 侧电极 8 安装在放热基台（辅助固定件）时可以提高 n 侧电极 8 与放热基台的附着性，从而可以得到良好的放热特性。

[0062] 下面，为了更详细地确认本发明的用 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板背面（氮面）的效果，进行了下面的表 1 所示的实验。

[0063] 表 1

[0064]

试样	电极形成方法（背面处理条件）	接触电阻值（Ωcm^2）	电子载体浓度（cm^{-3}）
1	GaN 基板背面研磨→ n 侧电极形成	20	2.0×10^{16}
2	GaN 基板背面研磨→盐酸处理→ n 侧电极形成	0.1	5.0×10^{16}
3	GaN 基板背面研磨→用 RIE 法（Cl_2 气）浸蚀 0.5μm → n 侧电极形成	0.05	1.0×10^{17}
4	GaN 基板背面研磨→用 RIE 法（Cl_2 气）浸蚀 1μm → n 侧电极形成	7.0×10^{-4}	7.1×10^{17}
5	GaN 基板背面研磨→用 RIE 法（Cl_2+BCl_3 气）浸蚀 1μm → n 侧电极形成	3.0×10^{-4}	1.7×10^{18}
6	GaN 基板背面研磨→用 RIE 法（Cl_2+BCl_3 气）浸蚀 1μm →盐酸处理→ n 侧电极形成	2.0×10^{-4}	2.5×10^{18}
7	GaN 基板背面研磨→用 RIE 法（Cl_2+BCl_3 气）浸蚀 1μm →盐酸处理→ n 侧电极形成→热处理	1.0×10^{-5}	5.0×10^{18}

[0065] 参照上述表 1，对由具有纤锌矿结构的 n 型 GaN 基板构成的试样 1-7 进行各种氮面（背面）处理之后，用电化学 C-V 测定浓度剖面测量仪测定了 n 型 GaN 基板背面近旁的

电子载体浓度。另外，在测定了电子载体浓度之后的试样 1-7 的 n 型 GaN 基板的背面上形成 n 侧电极之后，用 TLM 法测定了 n 型 GaN 基板与 n 侧电极之间的接触电阻。

[0066] 试样 1-7 的 n 侧电极与上述实施方式同样，是由 Al 膜、Si 膜、Ni 膜和 Au 膜形成的。另外，基板研磨、RIE 法浸蚀和盐酸处理及其他条件也与上述实施方式同样。试样 6 采用上述实施方式的制造工序制作。

[0067] 其结果，用 RIE 法对 n 型 GaN 基板背面浸蚀过的本发明的试样 3-7 比用以往方法制作的试样 1 的接触电阻大大减少。具体地说，试样 1 的接触电阻为 20 Ω cm^2，而本发明的试样 3-7 的接触电阻在 0.05 Ω cm^2 以下。其原因可能是在本发明的试样 3-7 中，包含由机械研磨产生的晶体缺陷的 n 型 GaN 基板背面近旁的区域经 RIE 法浸蚀除去。因此，可以认为，因 n 型 GaN 基板背面近旁的晶体缺陷而导致的电子载体浓度下降的现象得到了抑制。

[0068] 另外，本发明的试样 3-7 和与现有实例对应的试样 1 相比，其 n 型 GaN 基板背面近旁的电子载体浓度高。具体地说，试样 1 的电子载体浓度为 2.0×10^{16}cm^{-3}，而本发明的试样 3-7 的电子载体浓度在 1.0×10^{17}cm^{-3} 以上。

[0069] 另外，与通过使用 Cl_2 气的 RIE 法除去了 n 型 GaN 基板背面约 0.5 μm 厚度的试样 3 相比，通过使用 Cl_2 气的 RIE 法除去了 n 型 GaN 基板背面约 1 μm 厚度的试样 4 得到了更低的接触电阻。这可以认为，除去约 0.5 μm 厚度，没有能充分除去含有由机械研磨产生的晶体缺陷的 n 型 GaN 基板背面近旁的区域。用 TEM 分析测定了这些试样的 n 型 GaN 基板背面的晶体缺陷（位移）密度，试样 3 的晶体缺陷密度为 1×10^{9}cm^{-2}，而试样 4 在所观察的视野中没有观察到晶体缺陷，晶体缺陷密度在 1×10^{6}cm^{-2} 以下。因此，由 RIE 法除去 n 型 GaN 基板背面的厚度最好在 1.0 μm 以上。

[0070] 另外，通过使用 Cl_2 气和 BCl_3 气的 RIE 法进行浸蚀的试样 5 与通过单用 Cl_2 气的 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板背面的试样 4 相比，得到了更低的接触电阻。

[0071] 另外，用 Cl_2 气和 BCl_3 气通过 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板背面之后进行了盐酸处理的对应于上述一实施方式的试样 6 和再在 500℃氮气氛中进行了 10 分钟热处理的试样 7 与没有进行过盐酸处理和热处理的试样 5 相比，得到了更低的接触电阻。另外，从试样 6 和试样 7 的比较得知，通过热处理，可以进一步减少 n 型 GaN 基板与 n 侧电极的接触电阻，同时可以进一步提高 n 型 GaN 基板背面近旁的电子载体浓度。

[0072] 另外，不进行 RIE 法的浸蚀、但在 10％ HCl 溶液中浸渍约 10 分钟（盐酸处理）的试样 2 与不进行盐酸处理的对应于以往例的试样 1 相比，得到了更低的接触电阻。具体地说，试样 1 的接触电阻为 20 Ω cm^2，而试样 2 的接触电阻为 0.1 Ω cm^2。这可能是经过盐酸处理，n 型 GaN 基板的背面得到净化的缘故。

[0073] 另外，在用氧做 n 型 GaN 基板的 n 型掺杂剂的情况下，为了降低接触电阻而增加氧的掺杂量、提高载体浓度，则结晶性会下降。但是，按照本发明，即便是上述一实施方式的 n 型 GaN 基板 1 的掺杂量（基板载体浓度 :5×10^{18}cm^{-3}）的情况下，也可以降低接触电阻。

[0074] 另外，应该认识到，这次公示的实施方式的各方面只是举例说明，并非是限制性的。本发明的范围包括未在上述实施方式中说明但由权利要求书确定的、以及与权利要求的范围等同的含义和范围内的所有变更。

[0075] 例如，在上述一实施方式中，对用 n 型 GaN 基板 1 形成氮化物系半导体激光元件的情况进行了说明，但本发明不限于此，也可以是使用具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导

体基板或氮化物系半导体层。例如，可以是由 BN（氮化硼）、AlN（氮化铝）、InN（氮化铟）或 TlN（氮化铊）等构成的氮化物系半导体基板或氮化物系半导体层。还可以是由它们的混晶构成的氮化物系半导体基板或氮化物系半导体层。

[0076] 在上述实施方式中，RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面），但是本发明不限于此，也可以采用其他干式浸蚀法。例如，可以采用反应离子束浸蚀法、游离基浸蚀法、等离子浸蚀法。

[0077] 在上述实施方式中，用 Cl_2 气和 BCl_3 气通过 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面），但是本发明不限于此，也可以采用其他浸蚀气体。例如，可以采用 Cl_2 与 $SiCl_4$ 的混合气体、Cl_2 与 CF_4 的混合气体以及 Cl_2 气。

[0078] 在上述一实施方式中，在 RIE 法浸蚀之后，通过将 n 型氮化物系半导体激光元件结构体 20 浸渍在 HCl 溶液中（盐酸处理），除去附着在 n 型 GaN 基板 1 背面的氯系残留物，但是本发明不限于此，也可以浸渍在含有氯、氟、溴、碘、硫和铵中的至少一种的溶液中。

[0079] 在上述一实施方式中，就使层 2 ～ 6 在 n 型 GaN 基板 1 的上表面 (Ga 面）上生长后机械研磨 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面）的情况进行了说明，但本发明不限于此，也可以是预先将 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面）机械研磨至规定厚度之后，再在 n 型 GaN 基板 1 的上表面 (Ga 面）上形成层 2 ～ 6。还可以是不对 n 型 GaN 基板 1 的氮面进行机械研磨。

[0080] 在上述一实施方式中，作为形成层 2 ～ 6 时的 n 型掺杂剂和 p 型掺杂剂，分别采用了 Si 和 Mg，但是本发明并不限于此，也可以采用其他 n 型或 p 型掺杂剂。例如，可以用 Se、Ge 等做 n 型掺杂剂，用 Be 和 Zn 等做 p 型掺杂剂。

[0081] 在上述一实施方式中，用常压 MOCVD 法在 n 型 GaN 基板 1 上形成了层 2 ～ 6，但是本发明并不限于此，也可以采用其他成长方法形成层 2 ～ 6。例如，可以用减压 MOCVD 法形成层 2 ～ 6。

[0082] 在上述一实施方式中，就在 n 型 GaN 基板 1 上形成 n 型缓冲层 2 的情况做了说明，但是本发明并不限于此，也可以不形成 n 型缓冲层 2。在此情况下，层 3 ～ 6 的结晶性稍微差一点，但可使制造工艺简化。

[0083] 在上述一实施方式中，作为 n 侧电极材料，使用了 Al/Si/Ni/Au 膜，但是本发明并不限于此，也可以采用由 10nm 厚的 Ti 膜和 500nm 厚的 Al 膜构成的 n 侧电极、由 6nm 厚的 Al 膜、10mm 厚的 Ni 膜和 300nm 厚的 Au 膜构成的 n 侧电极、或由 10nm 厚的 AlSi 膜、300nm 厚的 Zn 膜以及 100nm 厚的 Au 膜构成的 n 侧电极等含 Al 的其他电极结构。

[0084] 在上述一实施方式中，就突缘结构作为电流狭窄结构或横向光封闭结构进行了说明，但是本发明并不限于此，也可以通过采用高电阻的块 (block) 层或者 n 型块层的埋入式结构进行电流狭窄。另外，也可以用离子注入法等形成作为电流狭窄层或横向光封闭结构的光吸收层。

[0085] 在上述一实施方式中，就将本发明应用于氮化物系半导体激光元件的情况做了说明，但是本发明不限于此，也可以是使用具有纤锌矿结构的 n 型氮化物系半导体层或氮化物系半导体基板的半导体元件。例如，可以将本发明应用于对表面平坦性有要求的 MESFET（金属半导体场效应晶体管）、HEMT（高电子迁移晶体管）、发光二极管 (LED) 或面发光激光元件〔VCSEL（垂直空腔表面发射激光器）〕等之中。

[0086] 在上述一实施方式中，使用了具有规定厚度的 p 侧电极 7 及 n 侧电极 8，但是本发

明并不限于此，也可以是具有其他厚度的电极。例如，可以减小电极各层的厚度，形成具有透光性的电极，用作面发光激光元件或发光二极管元件。特别是，即使使 n 侧电极薄至具有透光性，也可以根据本发明，充分减小 n 侧电极的接触电阻。

[0087] 在上述一实施方式中，用 RIE 法浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面），但是本发明并不限于此，也可以湿式浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的背面（氮面）。湿式浸蚀时，作为湿式浸蚀液，可以使用王水、KOH 和 $K_2S_2O_8$ 等。例如，可以用 0.1 摩尔 KOH 在室温下湿式浸蚀 n 型 GaN 基板 1 背面的氮面。此时，如果升温到约 120℃，与在室温时相比，浸蚀速度可以提高约 10 倍。

[0088] 在上述一实施方式中，就用 RIE 法干式浸蚀 n 型 GaN 基板 1 的由氮面构成的背面做了说明，但是本发明并不限于此，当背面为 Ga 面时，也可以采用湿式浸蚀法。在采用湿式浸蚀法时，作为湿式浸蚀液，可以使用王水、KOH 和 $K_2S_2O_8$ 等。例如，可以用 0.1 摩尔 KOH 和 365nm 的水银灯，室温下该 n 型 GaN 基板 1 背面的 Ga 面进行湿浸蚀。此时，如果升温到约 120℃，与在室温时相比，浸蚀速度可以提高约 10 倍。

[0089] 在上述一实施方式中，就整个背面为氮面的 n 型 GaN 标准基板的情况做了说明，但是本发明并不限于此，也可以使用 n 型 GaN 基板 1 的背面有少许 Ga 面的 n 型 GaN 非标准基板。在这种 n 型 GaN 非标准基板的情况下，其背面也属于本发明的氮面。

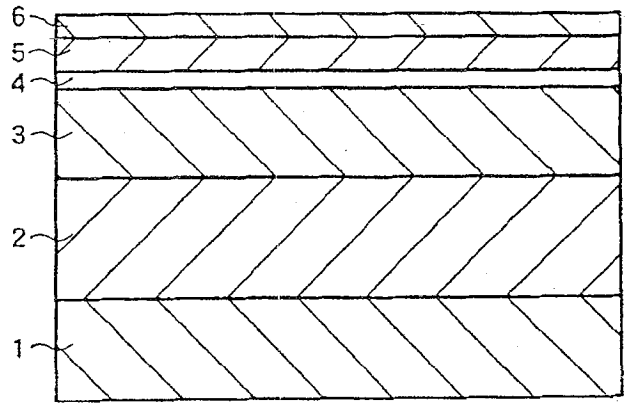


图 1

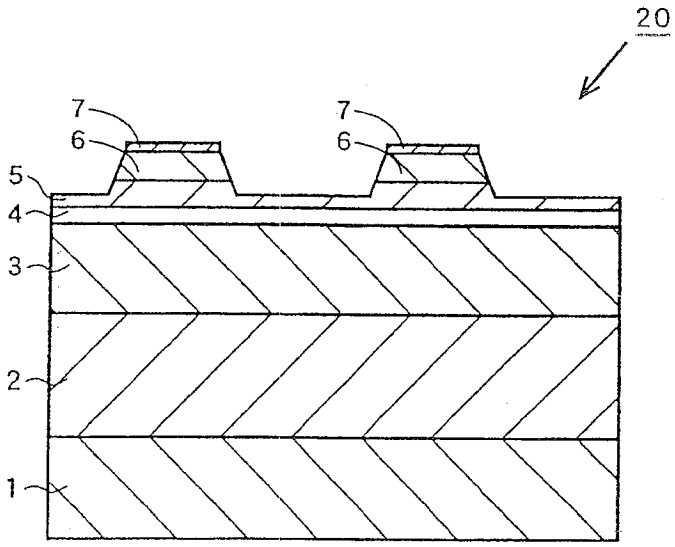


图 2

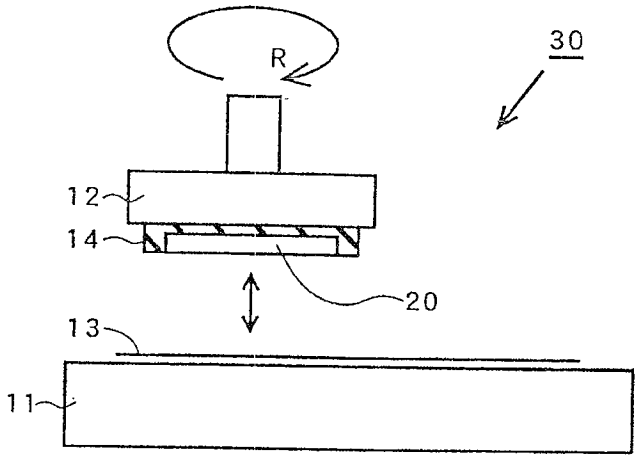


图 3

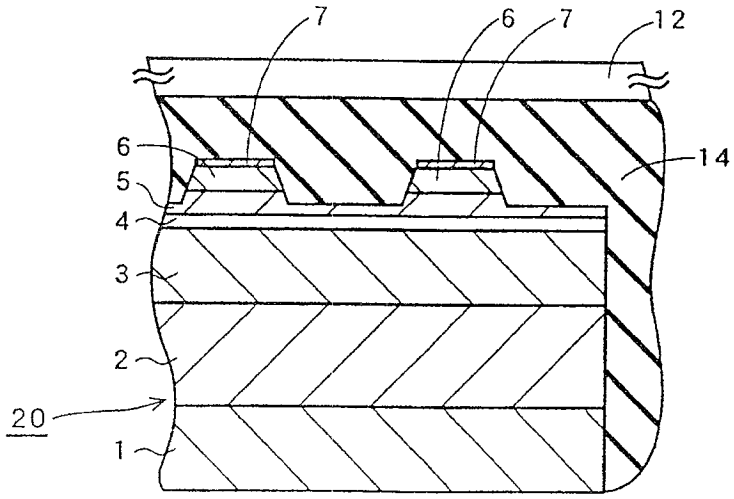


图 4

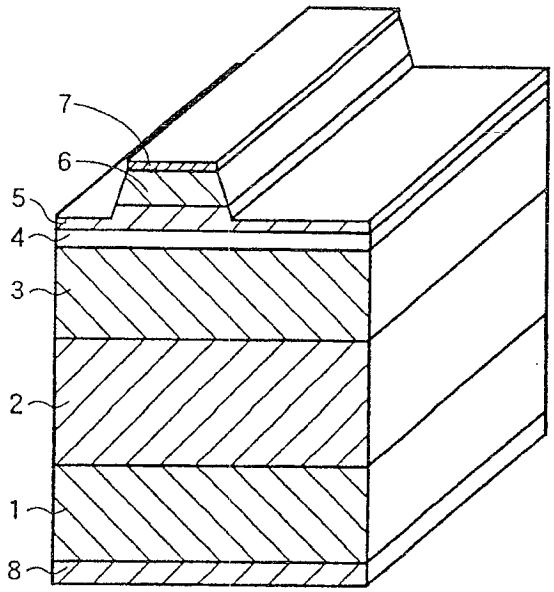

7
6
5
4
3
2
1
8

图 5

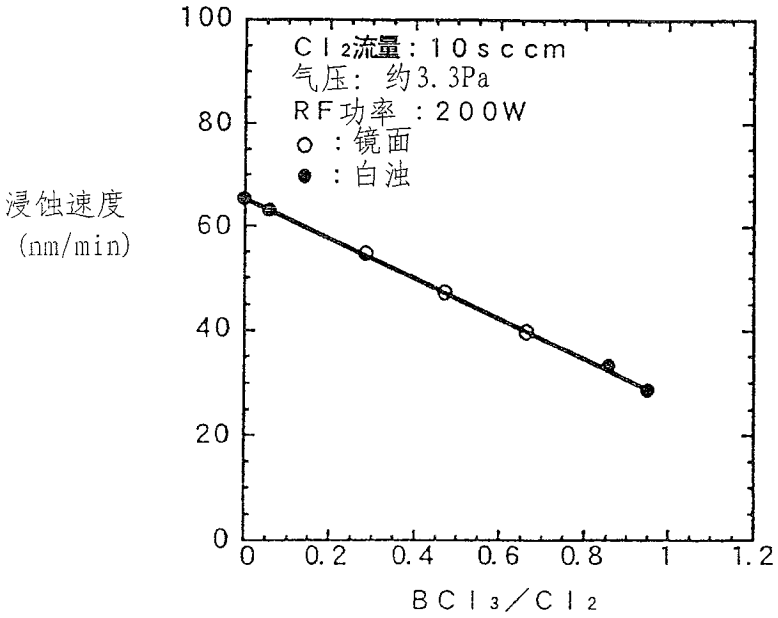

浸蚀速度
(nm/min)
100
80
60
40
20
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
Cl2流量：10sccm
气压：约3.3Pa
RF功率：200W
○：镜面
●：白浊
BCl3／Cl2

图 6

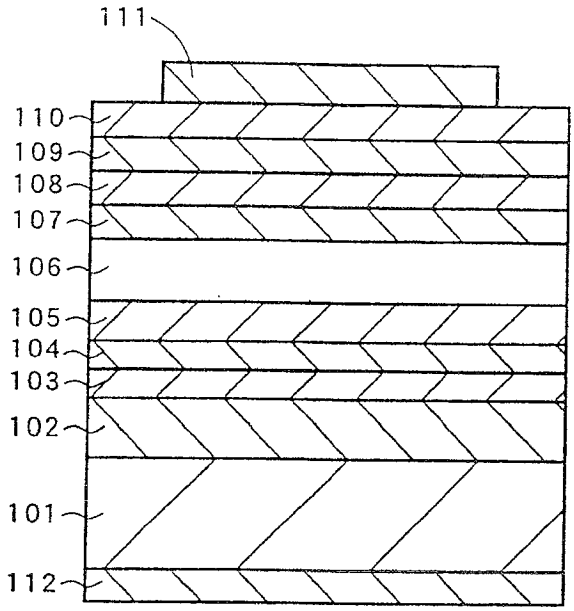


图 7