

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 29/786 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780031168.7

[43] 公开日 2009年8月12日

[11] 公开号 CN 101506986A

[22] 申请日 2007.7.26

[21] 申请号 200780031168.7

[30] 优先权

[32] 2006.8.23 [33] JP [31] 226698/2006

[86] 国际申请 PCT/JP2007/065114 2007.7.26

[87] 国际公布 WO2008/023553 英 2008.2.28

[85] 进入国家阶段日期 2009.2.23

[71] 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 板垣奈穗 田 透 加地信幸

林 享 佐野政史

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 康建忠

权利要求书 3 页 说明书 26 页 附图 9 页

[54] 发明名称

使用非晶氧化物半导体膜的薄膜晶体管的制造方法

[57] 摘要

一种薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包括有源层，所述有源层包括非晶氧化物半导体膜，其中形成有源层的步骤包括：在具有 1×10^{-3} Pa 或更小的引入氧分压的气氛中形成氧化物膜的第一步骤，和在第一步骤之后在氧化气氛中对氧化物膜退火的第二步骤。

(第一步骤): 在基板上形成包括选自 In 和 Zn 的至少一种元素并且具有第一电阻率的氧化物膜。



(第二步骤): 通过在氧化气氛中热处理第一步骤中形成的氧化物膜而将第一电阻率转变成第二电阻率以增大电阻率。

1、一种薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包括 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包含：

形成所述有源层的步骤，所述形成所述有源层的步骤包含：

在具有 1×10^{-3} Pa 或更小的引入氧分压的气氛中形成氧化物膜的第一步骤；以及

在氧化气氛中对所述氧化物膜退火的第二步骤。

2、一种薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包括 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包含：

形成具有第一电阻率的氧化物膜的第一步骤；以及

通过在氧化气氛中退火而将所述氧化物膜的电阻率转变成第二电阻率的第二步骤；

其中，所述第二电阻率比所述第一电阻率高。

3、一种薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包括 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包含：

形成具有第一活化能的氧化物膜的第一步骤；以及

通过在氧化气氛中退火而将所述氧化物膜的活化能转变成第二活化能的第二步骤；

其中，所述第二活化能比所述第一活化能高。

4、根据权利要求 2 和 3 的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第一步骤的气氛中的引入氧分压为 1×10^{-3} Pa 或更小。

5、根据权利要求2的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第一电阻率大于等于 $1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 并且小于等于 $1 \Omega\text{cm}$ ，且所述第二电阻率大于等于 $1 \Omega\text{cm}$ 并且小于等于 $1 \times 10^4 \Omega\text{cm}$ 。

6、根据权利要求3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第一活化能在室温大于等于 0 meV 并且小于等于 50 meV ，且所述第二活化能在室温大于等于 50 meV 并且小于等于 400 meV 。

7、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第二步骤在大于等于 250°C 并且小于等于 450°C 的温度范围中、在包含含有氧作为其构成元素的气体的气氛中进行处理。

8、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第二步骤包含其中所述非晶氧化物半导体膜被用氧自由基或臭氧照射、并且还在大于等于 150°C 且小于等于 450°C 的温度范围中被退火的步骤。

9、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第二步骤包含其中在包含臭氧的气氛中所述非晶氧化物半导体膜被用紫外光照射、并且还在大于等于 150°C 且小于等于 450°C 的温度范围中被退火的步骤。

10、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述非晶氧化物半导体膜包含 Ga 和 Sn 中的至少一种。

11、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述非晶氧化物半导体膜具有大于等于 30 原子% 并且小于等于 45 原子% 的 $\text{In}/(\text{In}+\text{Zn})$ 原子组成比。

12、一种薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包括In和Zn中的至少一种元素，所述制造方法包括：

形成所述有源层的第一步骤；

在氧化气氛中退火的第二步骤；以及

在所述有源层上形成氧化物绝缘层的第三步骤。

13、根据权利要求1-3的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第一步骤的形成所述有源层的温度等于或低于所述第二步骤的退火温度。

14、根据权利要求12的薄膜晶体管的制造方法，其中，所述第三步骤的形成所述氧化物绝缘层的温度等于或低于所述第二步骤的退火温度。

使用非晶氧化物半导体膜的薄膜晶体管的制造方法

技术领域

本发明涉及使用非晶氧化物半导体膜的薄膜晶体管的制造方法。

背景技术

最近，使用金属氧化物半导体薄膜的半导体器件已引起了关注。例如，如日本专利申请公开 No. 2000-150900 中所讨论的那样，上述薄膜的特征在于能够在低温下被形成，并且具有大的光学带隙以致对可见光是透明的。从而，可在塑料基板、膜基板等上形成柔性的且透明的薄膜晶体管（TFT）。

通常，为了控制膜的电特性的目的，迄今已在将氧气引入其中的气氛中形成用作 TFT 有源（active）层的氧化物半导体膜。例如，WO2005-088726 A1 讨论了一种其中将包含 In-Ga-Zn-O 的 n 型氧化物半导体用于沟道层和将 ITO 用于源电极和漏电极的薄膜晶体管（TFT）；在此 TFT 中，通过控制在其中形成 In-Ga-Zn-O 膜的成膜气氛的氧分压，已控制载流子浓度并且已获得高的载流子迁移率。

另外，日本专利申请公开 No. 2006-165529 和 No. 2006-165532 讨论了用于在氧化气氛中对使用氧化物半导体膜作为其有源层的半导体器件中的有源层进行退火的技术。

然而，例如如 WO2005-088726 A1 中所示，上述专利文献中讨论的氧化物半导体膜在能在其下获得可用作 TFT 有源层的 In-Ga-Zn-O 膜的氧分压范围（最佳氧分压）方面是窄的。另外，存在最佳氧分压的值依赖于成膜条件而变化的问题。此外，本发明人已经发现，当在将氧引入其中的气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜时，所形成的 In-Ga-Zn-O 膜的电特性依赖于距靶的距离而变化。这可以想像地是因为气相中存在的氧分子的离解（dissociation）度依赖于距靶的距

离而大大变化。

另外，采用在将氧引入其中的成膜气氛中制备的 In-Ga-Zn-O 膜作为其沟道层的 TFT 几乎不能达到从 In-Ga-Zn-O 膜固有的物理特性所预期的晶体管特性。具体而言，有必要进一步改善诸如亚阈值区域中的亚阈值特性和场效应迁移率 TFT 特性。

此外，当将 12V 电压的 DC 应力 (stress) 施加到栅电极以及源电极和漏电极中的每一个持续 400 秒时，导致诸如导通 (turn-on) 特性退化和阈值电压变化的特性变化，从而 DC 应力影响 TFT。TFT 特性的退化的主要原因可以想像地可归因于由从被引入到成膜气氛中的氧产生的氧离子引起的对半导体膜的损害。具体而言，当通过使用溅射方法进行成膜时，可以想像被引入到气氛中的氧增加在靶表面上产生的氧负离子的量，并且因而增加入射到基板上的高能氧负离子的量而导致膜质量退化。

另外，本发明人已经制备和研究了采用 In-Ga-Zn-O 非晶氧化物薄膜作为其沟道层的薄膜晶体管 (TFT)，并且因而已发现 TFT 以 TFT 的特性被工作和存储期间的气氛改变这样的方式对气氛敏感。

将制备的器件放置在真空腔 (chamber) 中，并且在腔正被抽真空 (evacuate) 的同时测量电导率，并且因而发现测量值随着降低压力而逐渐降低的现象。当在通常的气氛中测量时，发现电导率的测量值是稳定的。

例如对于 ZnO、氧化铟锡 (ITO) 等，也看到了这样的气氛引起的电导变化；这样的变化可以想像地是由于气氛中的水和其他气体分子吸附到导电氧化物和从导电氧化物解吸附。因此，已导致如下问题：气氛变化引起电导率的变化以使 TFT 工作不稳定，并且因而不能达到作为器件的可靠性。

另外，本发明人已经发现如下问题：在通过在 In-Ga-Zn-O 非晶氧化物薄膜上溅射而形成氧化物绝缘体时，在其中不包含氧的气氛中的成膜导致氧化物半导体的电特性的大变化，以致阻止达到令人满意的 TFT 特性。

本发明解决了上述问题，并且本发明的目的是提供具有宽的处理余裕（margin）、优良的特性和高可靠性的氧化物薄膜晶体管的制造方法。

另外，本发明的另一目的是提供具有通过克服可归因于气氛变化的 TFT 特性不稳定性而达到的高可靠性的薄膜晶体管的制造方法。

另外，本发明的再一目的是提供其中当在 In-Ga-Zn-O 非晶氧化物薄膜上形成氧化物绝缘体时氧化物半导体的电特性不变化的薄膜晶体管的制造方法。

发明内容

本发明意在解决上述问题，并且本发明的要点是薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包含 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包括：

形成有源层的步骤，所述形成有源层的步骤包括：

在具有 1×10^{-3} Pa 或更小的引入氧分压的气氛中形成氧化物膜的第一步骤；以及

在氧化气氛中对氧化物膜退火的第二步骤。

另外，本发明的一个方面是薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包含 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包括：

形成具有第一电阻率的氧化物膜的第一步骤；以及

通过在氧化气氛中退火而将氧化物膜的电阻率转变成第二电阻率的第二步骤；

其中，第二电阻率比第一电阻率高。

另外，本发明的另一方面是薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包含 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包括：

形成具有第一活化（activation）能的氧化物膜的第一步骤；以及

通过在氧化气氛中退火而将氧化物膜的活化能转变成第二活化能的第二步骤；

其中第二活化能比第一活化能高。

另外，本发明的再一方面是薄膜晶体管的制造方法，所述薄膜晶体管包含有源层，所述有源层包含非晶氧化物半导体膜，所述非晶氧化物半导体膜包含 In 和 Zn 中的至少一种元素，所述制造方法包括：

形成有源层的第一步骤；

在氧化气氛中退火的第二步骤；以及

在有源层上形成氧化物绝缘层的第三步骤。

附图说明

图 1 是说明本发明的薄膜晶体管的结构的例子的视图（截面视图）。

图 2 是显示例子 1 中制备的薄膜晶体管的传输（transfer）特性的曲线图。

图 3A 是显示在施加 DC 偏置（bias）应力之前和之后例子 1 中制备的薄膜晶体管的传输特性的曲线图。

图 3B 是显示在施加 DC 偏置应力之前和之后比较例子 1 中制备的薄膜晶体管的传输特性的曲线图。

图 4 是显示例子 6 中制备的薄膜晶体管的传输特性的曲线图。

图 5A 是显示在施加 DC 偏置应力之前和之后例子 6 中制备的薄膜晶体管的传输特性的曲线图。

图 5B 是显示在施加 DC 偏置应力之前和之后比较例子 5 中制备的薄膜晶体管的传输特性的曲线图。

图 6 是说明本发明的薄膜晶体管的制造方法中形成沟道层的步骤的示图。

图 7 是逆交错（inversely staggered）的 TFT 的截面视图。

图 8 是显示 In-Ga-Zn-O 非晶氧化物中电子载流子浓度和成膜期间的氧分压之间的关系的曲线图。

图 9 是显示本发明中实施的施加有退火的 TFT 和没有施加退火的 TFT 的传输特性的曲线图。

图 10 是显示在形成保护层之前和之后本发明中实施的施加有退火的 TFT 的传输特性的曲线图。

图 11 是显示在形成保护层之前和之后本发明中实施的没有施加退火的 TFT 的传输特性的曲线图。

图 12 是显示在本发明中实施的不形成保护层而制备的 TFT 在空气中和在真空中的传输特性的曲线图。

图 13 是显示在含氧的气氛中形成的在本发明中实施的具有保护层的 TFT 和在 Ar 气氛（没有氧）中形成的在本发明中实施的具有保护层的 TFT 的传输特性的曲线图。

图 14 是交错 TFT 的截面视图。

具体实施方式

以下，参照附图描述本发明的实施例。

图 1 显示本实施例中制备的 TFT 器件的结构示意图。通过在基板 10 上设置沟道层 11，以及通过在沟道层 11 上设置源电极 12、漏电极 13、栅绝缘膜 14 和栅电极 15，构建该 TFT 器件。

可应用于本发明的半导体器件结构不限于上述交错（顶栅）结构 TFT；例如，其中栅绝缘膜和半导体沟道层被按此顺序设置在栅电极上的逆交错（底栅）结构 TFT 也可以是可应用的。

根据本发明人的知识，希望其中将包含 In 和 Zn 中的至少一种元素的氧化物膜半导体层用作有源层（也称作沟道层）的薄膜晶体管满足下面的特性，虽然所述特性依赖于晶体管的组成（composition）。具体而言，当使用其中电阻率（第二电阻率）落入约大于等于 $1 \Omega\text{cm}$ 并且小于等于 $10 \text{K}\Omega\text{cm}$ ($1 \times 10^4 \Omega\text{cm}$) 的范围中、或者室温下的活化能（第二活化能）落入约大于等于 50meV 并且小于等于 400meV 的范围中的半绝缘氧化物膜时，能够获得令人满意的 TFT 特性。这里所称的活化能指从电导率的阿仑尼乌斯图（Arrhenius plot）获得的氧化

物半导体膜的活化能。例如，当电阻率为 $1 \Omega\text{cm}$ 或更小、或者活化能为 50 meV 或更小时，不能形成常关断 (normally-off) 晶体管；另外，不能使得开关比 (on-off ratio) 大，包括其中即使施加栅电压也不能使源电极和漏电极之间的电流被导通或关断以致抑制晶体管工作的极端情形。另一方面，当电阻率为 $10 \text{ K}\Omega\text{cm}$ 或更大、或者活化能为 400 meV 或更大时，不能使得导通电流大，根据情形而定包括其中即使施加栅电压也不能使源电极和漏电极之间的电流导通或关断以致抑制晶体管工作的极端情形。

可通过成膜时引入的氧分压来控制氧化物的电阻率和载流子浓度。这意味着主要通过控制氧分压来控制薄膜中的氧缺陷量，因而控制电子载流子浓度。图 8 是显示当通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 氧化物薄膜时载流子浓度的氧分压依赖性的例子的曲线图。然而，如图 6 所示，通过首先在导致低电阻的条件下形成作为 TFT 有源层的膜 (第一步骤)，然后通过氧化气氛中对这样获得的膜进行退火 (第二步骤)，来控制本发明的金属氧化物膜的电阻率。

以下，详细描述本发明中沟道层的形成方法。

首先，准备由玻璃等制成的基板 10，并通过诸如溅射、脉冲激光沉积、原子层沉积和电子束沉积的气相方法或其组合形成金属氧化物膜。在此成膜 (第一步骤) 中，在使金属氧化物膜的电阻率低于展示作为 TFT 沟道层的令人满意的特性所需的电阻率的条件下形成膜。虽然条件依赖于金属氧化物膜的组成和要使用的成膜设备，但是根本上通过将引入的氧分压设定成落入小于等于 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 的范围内来实现这样的金属氧化物膜。特别地，当引入的氧分压为 0 Pa 时，可容易地实现这样的金属氧化物膜。从而，本发明的引入的氧分压理想地为 0 Pa ，因此不涉及下限。

这里所称的引入的氧分压指通过流率控制器有意地引入成膜设备的内部的氧的分压，不包括由诸如从成膜设备的内壁等不可避免地发射出的氧、由于成膜设备的泄漏从外面进入的氧、以及从靶发射出的氧的污染引起的氧的分压。无须说，在残留的氧气压力超过上述引入

的氧分压的上限这样的条件下，几乎不能达到本发明的有利效果，因此要在本发明中使用的成膜设备的背压（back pressure）希望地为 1×10^{-3} Pa 或更小。要注意，作为上述流率控制器，可以使用例如质量流（mass flow）控制器。

关于这一点，从 TFT 器件的性能和稳定性的观点，希望在使金属氧化物膜的电阻率（第一电阻率）为 $1 \Omega\text{cm}$ 或更小、或者使室温附近的活化能（第一活化能）为 50 meV 或更小的条件下形成膜。要注意，将完成成膜时金属氧化物膜的电阻率的下限设定在例如 $1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 或更大，并且将活化能的下限设定在例如 0 meV，虽然这些下限依赖于氧化物膜的组成和成膜条件。从而，希望本发明的第一电阻率大于等于 $1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 并且小于等于 $1 \Omega\text{cm}$ ，希望本发明的第一活化能大于等于 0 meV 并且小于等于 50 meV。

其后，在氧化气氛中对这样制备的金属氧化物膜进行退火（第二步骤），以形成沟道层。在此情形中，设定退火条件，以使金属氧化物膜具有使得金属氧化物膜能够展示作为 TFT 沟道层的令人满意的特性这样的电阻率。为了有效控制电阻率的目的，建议通过将以氧、臭氧、水蒸气或氮的氧化物的气氛的形式的、包含氧作为其构成元素的气氛中的温度范围设定为落入大于等于 250°C 并且小于等于 450°C 、希望的是大于等于 250°C 并且小于等于 350°C 的温度范围内，进行退火。另外，使用臭氧照射和氧自由基（radical）照射是有效的，其中可以使退火温度像低至 150°C 那样低。在此情形中，在臭氧中进行紫外光的照射也是希望的模式。

当根据上述方法形成沟道层时，不必精确地控制成膜气氛中的氧分压，因为电阻率是由形成金属氧化物半导体膜之后进行的退火确定的。另外，在金属氧化物膜具有低电阻率的条件下、即在其中氧自由基和高能氧负离子的量小的成膜气氛中形成金属氧化物膜。因而，制备的膜的电特性不作为距靶的距离的函数而大大变化，因此可使处理余裕变宽。特别地，当通过溅射方法形成金属氧化物膜时，使得上述效果显著；这可以想像地是因为与其他气相方法相比，气相中的分子

气体的离解度较高。

接着，以下描述形成本发明的氧化物绝缘体保护层（第三步骤）的制造方法。

参照图 7 中说明的逆交错（底栅）TFT 描述第三步骤。要注意，关于 TFT 结构，也可以使用交错（顶栅）TFT。

在逆交错 TFT 的情形中，由氧化物绝缘体制成的栅绝缘层被形成在沟道层之下，从而不需要在含氧的气氛中通过溅射方法来形成逆交错 TFT；然而，氧化物绝缘体保护层被形成在沟道层上，因而需要在含氧的气氛中通过溅射方法被形成。

另外，在交错 TFT 的情形中，由氧化物绝缘体制成的栅绝缘层被形成在沟道层上，因而需要在含氧的气氛中通过溅射方法被形成。

图 7 是示意性地描绘基板 10、栅电极 11、栅绝缘层 12、沟道层 13、源电极 14、漏电极 15 和保护层 16 的截面视图。

（栅绝缘层）

在本发明中，希望对于栅绝缘层使用 SiO_2 。备选地，还希望对于栅绝缘层使用包含 SiO_2 、 Y_2O_3 、 Al_2O_3 、 HfO_2 和 TiO_2 中的至少一种的材料；也可以使用其中层叠这些氧化物的任何膜。

作为用于栅绝缘层 12 的成膜方法，建议使用诸如溅射、脉冲激光沉积和电子束沉积的气相方法。然而，成膜方法不限于这些方法。

（电极）

用于源电极、漏电极和栅电极的材料不是特别限定的，只要材料确保令人满意的电导和与沟道层的令人满意的电连接就可以。例如，可用的是分别由 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ 和 ZnO 制成的透明导电膜，以及 Au 、 Pt 、 Al 和 Ni 的金属膜。另外，为了改善粘附性的目的，可以在沟道层或绝缘层与电极之间设置由 Ti 、 Ni 、 Cr 等制成的层。

（基板）

依赖于沟道层的退火的条件和其他，可以使用玻璃基板、金属基板、塑料基板、塑料膜等作为基板。

（有源层（沟道层））

有源层（沟道层）由包含 In、Ga 和 Zn 中的至少一种的非晶氧化物制成。

作为有源层（沟道层）的成膜方法，建议使用诸如溅射、脉冲激光沉积和电子束沉积的气相方法。然而，成膜方法不限于这些方法。

将有源层（沟道层）的成膜温度设定成等于或低于要在形成由金属氧化物绝缘体层制成的保护层之前进行的退火的温度。

希望退火温度等于或低于玻璃转化（transition）温度；在本发明中，将希望的温度范围设定成大于等于 150°C 并且小于等于 450°C。建议在大于等于 200°C 并且小于等于 350°C 的温度进行退火。

可在要被形成在有源层（沟道层）上的源电极和漏电极的形成之前或之后进行退火。

（保护层）

作为保护层，使用包含至少一种金属元素的金属氧化物膜。对于保护层，希望使用包含金属氧化物之中下列至少一种的金属氧化物膜：SiO₂、Al₂O₃、Ga₂O₃、In₂O₃、MgO、CaO、SrO、BaO、ZnO、Nb₂O₅、Ta₂O₅、TiO₂、ZrO₂、HfO₂、CeO₂、Li₂O、Na₂O、K₂O、Rb₂O、Sc₂O₃、Y₂O₃、La₂O₃、Nd₂O₃、Sm₂O₃、Gd₂O₃、Dy₂O₃、Er₂O₃ 和 Yb₂O₃。

备选地，除了这些金属氧化物之外，也可以使用氮氧化硅（silicon nitroxide）（SiO_xN_y）。

作为用于在 TFT 上形成作为保护层的上述金属氧化物或 SiO_xN_y 的方法，可使用 CVD 方法、溅射方法等。当通过溅射方法形成保护层时，在含氧的气氛中的溅射期间进行成膜。这是因为具有例如在 Ar 气氛中形成的保护层的器件与形成保护层之前相比在 TFT 特性方面退化。TFT 特性的退化的原因可以想像地是由载流子的产生而导致的有源层（沟道层）的电阻降低，所述载流子的产生是由在保护层的形成期间从有源层（沟道层）的界面释放的氧引起的。因而，在溅射保护层期间，要求在含氧的气氛中进行成膜。希望总的溅射气体中的氧含量是从 10% 到 80%，并且更希望的是大于等于 30% 并且小于等于 60%。

(TFT 特性)

图 2 显示本发明的 TFT 的典型传输特性 ($V_g - I_d$ 特性)。当在源电极和漏电极之间施加 6 V 的电压 V_d 时, 通过在 -5 V 和 12 V 之间扫描 (sweep) 栅电压 V_g , 可控制源电极和漏电极之间的电流 I_d (导通和关断)。与通过其中由金属氧化物成膜时引入的氧的量来控制电阻率的传统方法制备的 TFT 相比, 导通电流较高, 并且获得的场效应迁移率较高。与通过传统方法制备的 TFT 相比, S 值被减小到十分之一至五分之一, 大大改善亚阈值区域中的亚阈值特性。

接着, 对本发明的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。图 3A 和 3B 显示在施加 $V_g = 12V$ 和 $V_d = 12V$ 的 DC 应力 400 秒前后之间的本发明中典型的 TFT 传输特性变化。虽然传统的 TFT 展示显著的特性退化以致 DC 应力将导通电流降低并且将阈值电压改变几个伏特, 但是本发明的 TFT 展示非常小的阈值电压变化并且看来几乎不受 DC 应力影响。

这可以想像地是因为要被用作沟道层的金属氧化物膜是在使金属氧化物膜具有低电阻的条件下形成的, 从而实际上沟道层被形成以使得等离子体损伤小。

特别地, 当将本发明应用于其中对于沟道层使用没有晶界散射并且界面特性优异因而相应地具有高的载流子迁移率的非晶氧化物的 TFT 时, 能够实现具有大的场效应迁移率和优异特性的 TFT。在此情形中, 通过在氧化物膜中包含 Ga 和 Sn 中的至少一种元素来稳定非晶相。另外, 从非晶相的稳定性的观点, 可以说希望将退火时氧化气氛中的温度设定在 450°C 或更低。

这里, 可通过观察到当 X 射线以约 0.5 度的低入射角被作为测量目标的薄膜衍射时不能检测到清楚的衍射峰 (换句话说, 观察到晕状 (halo) 图案), 来识别非晶状态。要注意, 当将上述材料用于薄膜晶体管的沟道层时, 本发明不排除其中沟道层包含微晶状态构成材料的情形。

另外, 根据本发明人的知识, 使用包含原子组成比 $In/(In+Zn)$ 为

大于等于 30 原子% 并且小于等于 45 原子% 的 In 和 Zn 的非晶氧化物也是希望的实施例。特别是当 TFT 具有这样的沟道层时, 可以实现具有大的迁移率并且几乎不受 DC 应力影响的 TFT。

(例子)

以下, 参照例子更详细地描述本发明。

(例子 1)

参照图 1 描述本发明的 TFT 器件的实施例。

首先, 在玻璃基板 10 上形成 In-Ga-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中, 通过在氩气氛中溅射并通过在空气中退火形成 In-Ga-Zn-O 膜。

使用具有 InGaZnO_4 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶(材料源), 并且施加的 RF 功率为 100 W。靶和基板之间的距离约为 9 cm。在具有 0 Pa 引入氧分压的 3.5×10^{-1} Pa 氩气氛中形成 In-Ga-Zn-O 膜。成膜时的基板温度为 25°C。

接着, 在被设定在 300°C 的周围空气 (ambient air) 气氛中对通过溅射方法制备的 In-Ga-Zn-O 膜退火 1 小时。对获得的膜进行四探针测量, 并获得下面的结果: 退火之前的 In-Ga-Zn-O 膜给出分别约 0.03 Ωcm 和 0 meV 的电阻率和活化能, 另一方面, 退火之后的相应值分别约为 500 Ωcm 和 200 meV。另外, 在 300°C 退火之后, 对膜表面进行低入射角 X 射线衍射 (薄膜方法, 入射角: 0.5 度) 而没有检测到任何清楚的衍射峰, 从而识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。此外, 执行光谱椭圆偏光 (spectroscopic ellipsometric) 测量并分析图案, 从而发现薄膜的均方根粗糙度 (Rrms) 约为 0.5 nm, 并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示, 薄膜的金属组成为 $\text{In:Ga:Zn} = 1.1:1.1:0.9$ 。

接着, 通过使用电子束加热沉积方法将约 5 nm 厚的 Ti 层和约 40 nm 厚的 Au 层按此顺序层叠以使 Ti 层更靠近沟道层, 然后, 通过使用光刻方法和剥离 (liftoff) 方法形成源电极 12 和漏电极 13。然后, 通过使用电子束沉积方法形成要被用作栅绝缘膜 14 的 SiO_2 膜以具有

约 90 nm 的厚度，然后将 Ti 层和 Au 层顺序地层叠在栅绝缘层 14 上，并通过使用光刻方法和剥离方法形成栅电极 15。沟道长度和沟道宽度被发现分别为 50 μm 和 200 μm 。

(比较例子 1)

除了沟道层，采用与上述例子 1 中相同的结构。当引入的氧分压为 5×10^{-3} Pa 时，在 3.5×10^{-1} Pa 的氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜。使用具有 InGaZnO_4 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶。In-Ga-Zn-O 膜的厚度约为 50 nm，且成膜时的基板温度为 25°C。在本比较例子 1 中，仅 (exclusively) 通过在氩氧混合气体气氛中的溅射来形成 In-Ga-Zn-O 膜，而在成膜之后不进行在被设定在 300°C 的周围空气气氛中的退火。对这样获得的膜进行四探针测量，发现 In-Ga-Zn-O 膜的电阻率约为 700 Ωcm 。另外，通过 X 射线衍射识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示，薄膜的金属组成比为 $\text{In:Ga:Zn} = 1.1:1.1:0.9$ 。

(比较例子 2)

除了沟道层，采用与上述例子 1 中相同的结构。当引入的氧分压为 5×10^{-3} Pa 时，在 3.5×10^{-1} Pa 的氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜。使用具有 InGaZnO_4 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶。In-Ga-Zn-O 膜的厚度约为 50 nm，且成膜时的基板温度为 25°C。在本比较例子 2 中，在氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜，然后执行在被设定在 300°C 的周围空气气氛中的退火。对这样获得的膜进行四探针测量，发现 In-Ga-Zn-O 膜的电阻率约为 500 Ωcm 。另外，通过 X 射线衍射识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示，薄膜的金属组成比为 $\text{In:Ga:Zn} = 1.1:1.1:0.9$ 。

(TFT 器件的特性的评估)

图 2 是显示当在室温执行测量时本例子中制备的 TFT 器件在 $V_d = 6$ V 时的 $I_d - V_g$ 特性 (传输特性) 的曲线图。与比较例子 1 相比，导通电流较大，以使在 $V_g = 10$ V 时约 $I_d = 1 \times 10^{-4}$ A 的电流流动。另

外，从输出特性计算场效应迁移率以在饱和区域中产生约 $7.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率，其比比较例子 1 中的约高 20%。此外，与比较例子 1 相比，S 值约为 0.28 V/decade 而大大改善亚阈值区域中的亚阈值特性。与比较例子 2 相比，亚阈值区域中的亚阈值特性也被大大改善，以致发现 S 值显示约为比较例子 2 中的一半的值。另外，发现晶体管的开关比显示超过 10^9 的高值。

接着，对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。图 3A 和 3B 显示在施加 $V_g = 12 \text{ V}$ 和 $V_d = 12 \text{ V}$ 的 DC 应力 400 秒前后之间 TFT 传输特性的改变。图 3A 和图 3B 分别显示在本例子和比较例子 1 中制备的 TFT 的 DC 偏置应力测试的结果。在比较例子 1 的 TFT 中，DC 应力导致包括导通电流的减少和几个伏特的阈值电压变化的显著特性退化。同样在比较例子 2 的 TFT 中，虽然与比较例子 1 相比特性的退化较小，但是也观察到了约 1 V 的阈值电压漂移 (shift)。另一方面，在本例子的 TFT 中，阈值电压变化像约 0.3 V 这样非常小，显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

(例子 2)

参照图 1 描述本发明中 TFT 器件的实施例。

首先，在玻璃基板 10 上形成 In-Ga-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中，通过在氩气氛中的溅射方法和通过在氧气氛中的退火来形成 In-Ga-Zn-O 膜。

使用具有 InGaZnO_4 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶(材料源)，并且施加的 RF 功率为 100 W 。靶和基板之间的距离约为 9 cm 。在具有 0 Pa 引入氧分压的 $3.5 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ 氩气氛中形成 In-Ga-Zn-O 膜。成膜时的基板温度为 25°C 。

接着，在被设定在 280°C 的氧气氛中对通过溅射方法制备的 In-Ga-Zn-O 膜退火 30 分钟。对获得的膜进行四探针测量，并获得下面的结果：退火之前的 In-Ga-Zn-O 膜给出分别约 $0.03 \text{ }\Omega\text{cm}$ 和 0 meV 的电阻率和活化能，另一方面，退火之后的相应值分别约为 $720 \text{ }\Omega\text{cm}$ 和 210 meV 。

另外，在 280°C 退火之后，对膜表面进行低入射角 X 射线衍射（薄膜方法，入射角：0.5 度）而没有检测到任何清楚的衍射峰，从而识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。此外，执行光谱椭圆偏光测量并分析图案，从而发现薄膜的均方根粗糙度（Rrms）约为 0.5 nm，并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光（XRF）分析的结果显示薄膜的金属组成比为 In:Ga:Zn = 1.1:1.1:0.9。

接着，通过使用电子束加热沉积方法将约 5 nm 厚的 Ti 层和约 40 nm 厚的 Au 层按此顺序层叠以使 Ti 层较靠近沟道层，然后，通过光刻方法和剥离方法形成源电极 12 和漏电极 13。然后，通过使用电子束沉积方法形成要被用作栅绝缘膜 14 的 SiO₂ 膜以具有约 90 nm 的厚度，然后将 Ti 层和 Au 层顺序地层叠在栅绝缘层 14 上，并通过使用光刻方法和剥离方法形成栅电极 15。沟道长度和沟道宽度被发现分别为 50 μm 和 200 μm。

（TFT 器件的特性的评估）

在室温执行 TFT 器件的特性的评估。从而发现与比较例子 1 相比，本例子中制备的 TFT 的导通电流较大，以使在 $V_g = 10 \text{ V}$ 时约 $I_d = 1 \times 10^{-4} \text{ A}$ 的电流流动。另外，从输出特性计算场效应迁移率而在饱和区域中产生约 $7.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率，其比较例子 1 中的约高 20%。此外，与比较例子 1 相比，S 值约为 0.23 V/decade，而大大地改善亚阈值区域中的亚阈值特性。另外，发现晶体管的开关比显示超过 10^9 的高值。

接着，对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。在比较例子 1 的 TFT 中，DC 应力导致包括导通电流的减少和几个伏特的阈值电压变化的显著特性退化。另一方面，在本例子的 TFT 中，阈值电压变化像约 0.2 V 这样非常小，显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

（例子 3）

参照图 1 描述本发明中 TFT 器件的实施例。

首先，在玻璃基板 10 上形成 In-Ga-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中，通过在氩氧混合气体气氛中溅射并通过在空气中退火来形成 In-Ga-Zn-O 膜。

使用具有 InGaZnO₄ 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶，并且施加的 RF 功率为 100 W。靶和基板之间的距离约为 9 cm。在具有 8×10^{-4} Pa 引入氧分压的 3.5×10^{-1} Pa 氩氧混合气体气氛中形成 In-Ga-Zn-O 膜。成膜时的基板温度为 25°C。

接着，在被设定在 250°C 的周围空气气氛中对通过溅射方法制备的 In-Ga-Zn-O 膜退火 20 分钟。对获得的膜进行四探针测量，并获得下面的结果：退火之前的 In-Ga-Zn-O 膜给出分别约 0.1 Ωcm 和 5 meV 的电阻率和活化能，另一方面，退火之后的相应值分别约为 600 Ωcm 和 206 meV。

另外，在 250°C 退火之后，对膜表面进行低入射角 X 射线衍射（薄膜方法，入射角：0.5 度）而没有检测到任何清楚的衍射峰，从而识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。此外，执行光谱椭圆偏光测量并分析图案，从而发现薄膜的均方根粗糙度（Rrms）约为 0.5 nm，并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光（XRF）分析的结果显示薄膜的金属组成比为 In:Ga:Zn = 1.1:1.1:0.9。

接着，通过使用电子束加热沉积方法将约 5 nm 厚的 Ti 层和约 40 nm 厚的 Au 层按此顺序层叠以使 Ti 层较靠近沟道层，然后，通过使用光刻方法和剥离方法形成源电极 12 和漏电极 13。然后，通过使用电子束沉积方法形成要被用作栅绝缘膜 14 的 SiO₂ 膜以具有约 90 nm 的厚度，然后将 Ti 层和 Au 层顺序地层叠在栅绝缘膜 14 上，并通过使用光刻方法和剥离方法形成栅电极 15。沟道长度和沟道宽度被发现分别为 50 μm 和 200 μm 。

（TFT 器件的特性的评估）

在室温执行 TFT 器件的特性的评估。从而发现与比较例子 1 相比，本例子中制备的 TFT 的导通电流较大，以使在 $V_g = 10$ V 时约 $I_d = 7 \times 10^{-5}$ A 的电流流动。另外，从输出特性计算出场效应迁移率在饱和区域中约为 7.1 cm^2/Vs ，为比比较例子 1 中的约高 10% 的值。此外，

与比较例子 1 相比, S 值约为 0.32 V/decade, 而大大地改善亚阈值区域中的亚阈值特性。另外, 发现晶体管的开关比显示超过 10^9 的高值。

接着, 对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。在比较例子 1 的 TFT 中, DC 应力导致包括导通电流的减少和几个伏特的阈值电压变化的显著特性退化。另一方面, 在本例子的 TFT 中, 阈值电压变化像约 0.5 V 这样非常小, 显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

(例子 4)

参照图 1 描述本发明中 TFT 器件的实施例。

首先, 在玻璃基板 10 上形成 In-Ga-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中, 通过在氩气氛中溅射并通过在空气中退火形成 In-Ga-Zn-O 膜。

使用具有 In:Ga:Zn = 30:15:55 的金属组成比的 2 英寸尺寸的 In-Ga-Zn-O 烧结体作为靶, 并且施加的 RF 功率为 100 W。靶和基板之间的距离约为 9 cm。在 3.5×10^{-1} Pa 的氩气氛中形成 In-Ga-Zn-O 膜。成膜时的基板温度为 25°C。

接着, 在被设定在 300°C 的周围空气气氛中对通过溅射方法制备的 In-Ga-Zn-O 膜退火 1 小时。

对获得的膜进行四探针测量, 并获得下面的结果: 退火之前的 In-Ga-Zn-O 膜给出分别约 0.01 Ωcm 和 0 meV 的电阻率和活化能, 另一方面, 在被设定在 300°C 的周围空气气氛中的退火之后的相应值分别约为 300 Ωcm 和 190 meV。

另外, 在 In-Ga-Zn-O 膜的退火之后, 对膜表面进行低入射角 X 射线衍射 (薄膜方法, 入射角: 0.5 度) 而没有检测到任何清楚的衍射峰, 从而识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。此外, 执行光谱椭圆偏光测量并分析图案, 从而发现薄膜的均方根粗糙度 (Rrms) 约为 0.5 nm, 并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比约为 In:Ga:Zn = 36:10:54。

(比较例子 3)

除了沟道层，采用与上述例子 4 相同的结构。当引入的氧分压为 1×10^{-2} Pa 时，在 3.5×10^{-1} Pa 的氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜。使用具有 In:Ga:Zn = 30:15:55 的金属组成比的 In-Ga-Zn-O 烧结体作为靶。In-Ga-Zn-O 膜的厚度约为 50 nm，且成膜时的基板温度为 25°C。在本比较例子 3 中，仅通过在氩氧混合气体气氛中溅射来形成 In-Ga-Zn-O 膜，而在成膜之后没有进行在被设定在 300°C 的周围空气气氛中的退火。对这样获得的膜进行四探针测量，发现其电阻率约为 500 Ωcm 。另外，通过 X 射线衍射识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比为 In:Ga:Zn = 35:9:56。

(TFT 器件的特性的评估)

在室温执行 TFT 器件的特性的评估。从而发现与比较例子 3 相比，本例子中制备的 TFT 的导通电流较大，以使在 $V_g = 10$ V 时约 $I_d = 2.5 \times 10^{-4}$ A 的电流流动。另外，从输出特性计算出场效应迁移率在饱和区域中约为 $14.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，为比比较例子 3 中的约高 25% 的值。此外，S 值像约 0.16 V/decade 那么小，而在亚阈值区域中展示令人满意的亚阈值特性。另外，晶体管的开关比能够达到超过 10^9 的高值。

接着，对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。在比较例子 3 的 TFT 中，DC 应力导致包括导通电流的减少和约 1 V 的阈值电压变化的特性退化。另一方面，在本例子的 TFT 中，既没有观察到导通电流变化也没有观察到阈值电压变化，显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

(例子 5)

参照图 1 描述本发明中 TFT 器件的实施例。

首先，在塑料基板 10 上形成 In-Ga-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中，通过在氩气氛中溅射并通过在其中在臭氧中照射紫外光的气氛中退火来形成 In-Ga-Zn-O 膜。

使用具有 In:Ga:Zn = 30:15:55 的金属组成比的 2 英寸尺寸的 In-Ga-Zn-O 烧结体作为靶，并且施加的 RF 功率为 100 W。靶和基板

之间的距离约为 9 cm。在 3.5×10^{-1} Pa 的氩气氛中形成 In-Ga-Zn-O 膜，并且成膜时的基板温度为 25°C。

接着，在其中在臭氧中照射紫外光的、被设定在 200°C 的气氛中对通过溅射方法制备的 In-Ga-Zn-O 膜退火 1 小时。

对获得的膜进行四探针测量，并获得下面的结果：退火之前的 In-Ga-Zn-O 膜给出约 0.01 Ωcm 的电阻率，另一方面，在其中在臭氧中照射紫外光的、被设定在 200°C 的气氛中的退火之后的电阻率约为 900 Ωcm 。另外，在 In-Ga-Zn-O 膜的退火之后，对膜表面进行低入射角 X 射线衍射（薄膜方法，入射角：0.5 度）而没有检测到任何清楚的衍射峰，从而识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。此外，执行光谱椭圆偏光测量并分析图案，从而发现薄膜的均方根粗糙度 (Rrms) 约为 0.5 nm，并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比约为 In:Ga:Zn = 36:10:54。

（比较例子 4）

除了沟道层，采用与上述例子 5 中相同的结构。当引入的氧分压为 1×10^{-2} Pa 时，在 3.5×10^{-1} Pa 的氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Ga-Zn-O 膜。使用具有 In:Ga:Zn = 30:15:55 的金属组成比的 In-Ga-Zn-O 烧结体作为靶。In-Ga-Zn-O 膜的厚度约为 50 nm，且成膜时的基板温度为 25°C。在本比较例子 4 中，仅通过在氩氧混合气体气氛中溅射来形成 In-Ga-Zn-O 膜，而在成膜之后没有进行在其中在臭氧中照射紫外光的、被设定在 200°C 的气氛中的退火。对这样获得的膜进行四探针测量，发现其电阻率约为 500 Ωcm 。另外，通过 X 射线衍射识别出制备的 In-Ga-Zn-O 膜为非晶膜。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比为 In:Ga:Zn = 35:9:56。

（TFT 器件的特性的评估）

在室温执行 TFT 器件的特性的评估。从而，在饱和区域中获得约 $6.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率，其比较例子 4 中的约高 25%。另外，晶体管的开关比能够达到超过 10^9 的高值。

接着，对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。在比较例

子 4 的 TFT 中，DC 应力导致包括导通电流的减少和几个伏特的阈值电压变化的特性退化。另一方面，在本例子的 TFT 中，阈值电压变化像 1 V 或更低那样小，显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

(例子 6)

参照图 1 描述本发明中 TFT 器件的实施例。

首先，在玻璃基板 10 上形成 In-Zn-O 膜作为沟道层 11。

在本例子中，通过在氩气氛中溅射并通过在空气中退火形成 In-Zn-O 膜。

使用具有 $\text{In}_2\text{Zn}_3\text{O}_6$ 组分的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶，并且施加的 RF 功率为 100 W。靶和基板之间的距离约为 9 cm。在具有 0 Pa 引入氧分压的 3.5×10^{-1} Pa 氩气氛中形成 In-Zn-O 膜。成膜时的基板温度为 25°C。

接着，在被设定在 300°C 的周围空气气氛中对通过溅射方法制备的 In-Zn-O 膜退火 1 小时。

对获得的膜进行四探针测量，并获得下面的结果：退火之前的 In-Zn-O 膜给出约 0.005 Ωcm 的电阻率，另一方面，在被设定在 300°C 的周围空气气氛中退火之后的电阻率约为 30 Ωcm 。另外，在 In-Zn-O 膜的退火之后，对膜表面进行低入射角 X 射线衍射（薄膜方法，入射角：0.5 度）而没有检测到任何清楚的衍射峰，从而识别出制备的 In-Zn-O 膜为非晶膜。此外，执行光谱椭圆偏光测量并分析图案，从而发现薄膜的均方根粗糙度 (Rrms) 约为 0.5 nm，并且膜厚度约为 50 nm。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比约为 In:Zn = 2:3。

(比较例子 5)

除了沟道层，采用与上述例子 6 中相同的结构。当引入的氧分压为 1.5×10^{-2} Pa 时，在 3.5×10^{-1} Pa 的氩氧混合气体气氛中通过溅射方法形成 In-Zn-O 膜。使用具有 $\text{In}_2\text{Zn}_3\text{O}_6$ 组成的 2 英寸尺寸的烧结体作为靶。In-Zn-O 膜的厚度约为 50 nm，且成膜时的基板温度为 25°C。在本比较例子 5 中，仅通过在氩氧混合气体气氛中溅射来形成 In-Zn-O

膜，而在成膜之后没有进行在被设定在 300°C 的周围空气气氛中的退火。对这样获得的膜进行四探针测量，并发现其电阻率约为 $50\ \Omega\text{cm}$ 。另外，通过 X 射线衍射识别出制备的 In-Zn-O 膜为非晶膜。X 射线荧光 (XRF) 分析的结果显示薄膜的金属组成比为 $\text{In}:\text{Zn} = 2:3$ 。

(TFT 器件的特性的评估)

图 4 是显示当在室温执行测量时，本例子中制备的 TFT 器件在 $V_d = 6\ \text{V}$ 时的 $I_d - V_g$ 特性 (传输特性) 的曲线图。如与比较例子 5 相比，导通电流较大，以使在 $V_g = 10\ \text{V}$ 时约 $I_d = 5 \times 10^{-4}\ \text{A}$ 的电流流动。另外，从输出特性计算出场效应迁移率在饱和区域中约为 $21\ \text{cm}^2/\text{Vs}$ ，为比比较例子 5 中的约高 35% 的值。此外，S 值像约 $0.2\ \text{V/decade}$ 那么小，而在亚阈值区域中展示令人满意的亚阈值特性。另外，晶体管的开关比能够达到超过 10^9 的高值。

接着，对本例子中制备的 TFT 进行 DC 偏置应力测试。图 5A 和 5B 显示在施加 $V_g = 12\ \text{V}$ 和 $V_d = 12\ \text{V}$ 的 DC 应力 400 秒前后之间的 TFT 传输特性改变。图 5A 和图 5B 分别显示在本例子和比较例子 5 中制备的 TFT 的 DC 偏置应力测试的结果。在比较例子 5 的 TFT 中，DC 应力导致包括导通电流的减少和约 $1\ \text{V}$ 的阈值电压变化的特性退化。另一方面，在本例子的 TFT 中，既没有观察到导通电流变化也没有观察到阈值电压变化，显示本例子的 TFT 几乎不受 DC 应力影响。

(例子 7)

(具有金属氧化物保护层的 TFT)

制备图 7 所示的逆交错 TFT 器件。

使用康宁 (Corning) 1737 玻璃基板作为基板 10。

首先，通过电子束沉积方法将 $5\ \text{nm}$ 厚的 Ti 层、 $50\ \text{nm}$ 厚的 Au 层和另一个 $5\ \text{nm}$ 厚的 Ti 层按此顺序层叠在基板 10 上。对层叠的膜应用光刻方法和剥离方法以形成栅电极 11，其中 Ti 层充当粘附层 (adhesive layer)。

进一步在其上通过 RF 溅射方法形成 $200\ \text{nm}$ 厚的 SiO_2 膜，以形成栅绝缘层 12。

接着，利用具有 InGaO_3 (ZnO) 组分的多晶烧结体作为靶，通过 RF 溅射方法沉积 40 nm 厚的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体膜作为沟道层 13。

在本例子中，施加的 RF 功率为 200 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.5 Pa，并且气体流率 (flow rate) 比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 95:5$ 。成膜速率为 8 nm/分钟，并且基板温度为 25°C。

对沉积的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体膜应用光刻方法和蚀刻方法，以被处理成合适的尺寸。

在此阶段，准备两个器件；在 300°C 在空气中对它们中的一个退火 30 分钟，但是不对另一个退火。

将 5 nm 厚的 Ti 层、50 nm 厚的 Au 层和另一个 5 nm 厚的 Ti 层按此顺序层叠在所述器件中的每一个上，并且通过光刻方法和剥离方法形成源电极 14 和漏电极 15。

通过 RF 溅射方法进一步在其上沉积 100 nm 厚的 SiO_2 膜作为保护层 16。

在本例子中，施加的 RF 功率为 400 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.1 Pa，并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 50:50$ 。成膜速率为 2 nm/分钟，并且基板温度为 25°C。

最后，通过以光刻方法和蚀刻方法去除栅电极 11、漏电极 15 和源电极 14 中的每一个上的一部分而形成接触孔。

以上述方式，制备了 TFT 器件。

(TFT 器件的特性的评估)

图 9 显示在保护层形成之后在空气中在室温测量的被退火器件和未被退火器件的传输特性。

被退火器件在栅电压 $V_g = 10 \text{ V}$ 时给出约 $1\text{E}-3$ 的漏电流，并且从输出特性计算场效应迁移率而在饱和区域中产生约 $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率。

未被退火器件在栅电压 $V_g = 10 \text{ V}$ 时给出约 $1\text{E}-4$ 的漏电流，以及在饱和区域中约 $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率。

如可看见的那样，被退火器件的上升（rise）电压位于负的区域中，但是被退火器件的 TFT 特性更好。

图 10 显示在形成保护层之前和之后被退火 TFT 器件的传输特性。在形成保护层之前的器件中在 0 V 附近观察到上升，但是在其上形成有保护层的器件中上升漂移到 3 V 的附近。场效应迁移率在形成保护层之前的器件中约为 $9 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，但是在其上形成有保护层的器件中约为 $20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。另外，图 11 显示在形成保护层之前和之后未被退火 TFT 器件的传输特性。在其上形成有保护层的器件中在 -2 V 的附近观察到的上升比在形成保护层之前的器件中的更陡峭。场效应迁移率在形成保护层之前的器件中约为 $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，但是在其上形成有保护层的器件中约为 $12 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。在未被退火器件中通过形成保护层使上升电压漂移到正方向，但是在被退火器件中即使通过形成保护层也没有使上升电压漂移。上升电压漂移的原因可以想像地可归于由溅射期间产生的热而引起的影响。从而，在被退火器件中通过退火可以想像地减少了溅射期间所施加的热影响。此外，在被退火器件中与在未被退火器件中保护层的形成都增大场效应迁移率的事实可以想像地可归于由通过含氧气氛中成膜的氧等离子体而引起的沟道层界面中的缺陷减少。

接着，将其上形成有保护层的器件放入真空腔中以进行真空中的测量，而没有发现特性的任何变化。另外，在空气中的测量中，在其上形成有保护层的器件中和在没有保护层的器件中都没有发现特性的变化。图 12 显示退火之后的其上没有形成保护层的器件在空气中和在真空中的 TFT 器件传输特性；真空中的测量给出在栅电压 $V_g = 10 \text{ V}$ 时约 $1\text{E-}4$ 的漏电流和在饱和区域中约 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率，并且空气中的测量给出在栅电压 $V_g = 10 \text{ V}$ 时约 $1\text{E-}3$ 的漏电流和在饱和区域中约 $9 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的场效应迁移率，显示在没有保护层时环境变化使特性变化。另一方面，还显示即使在环境变化下，保护层的形成也使特性稳定。

如上所述，可通过在形成氧化物绝缘体保护层之前退火并通过在含氧气氛中形成氧化物绝缘体保护层，而制备使用非晶氧化物半导体

作为沟道层的 TFT 作为保持令人满意的特性而不受环境变化影响的 TFT。

(例子 8)

(具有在不含氧的气氛中形成的金属氧化物保护层的 TFT)

制备图 7 所示的逆交错 TFT 器件。

使用康宁 1737 玻璃基板作为基板 10。

首先,通过电子束沉积方法将 5 nm 厚的 Ti 层、50 nm 厚的 Au 层和另一个 5 nm 厚的 Ti 层按此顺序层叠在基板 10 上。对层叠的膜应用光刻方法和剥离方法以形成栅电极 11。

进一步在其上通过 RF 溅射方法形成 200 nm 厚的 SiO_2 膜,以形成栅绝缘膜 12。

接着,利用具有 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})$ 组分的多晶烧结体作为靶,通过 RF 溅射方法沉积 40 nm 厚的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜作为沟道层 13。

在本例子中,施加的 RF 功率为 200 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.5 Pa,并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 95:5$ 。成膜速率为 8 nm/分钟,并且基板温度为 25°C。

对沉积的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜应用光刻方法和蚀刻方法,以将其处理成合适的尺寸。

在此阶段,在 300°C 在空气中执行退火 30 分钟。

将 5 nm 厚的 Ti 层、50 nm 厚的 Au 层和另一个 5 nm 厚的 Ti 层按此顺序进一步层叠在其上,并且通过光刻方法和剥离方法形成源电极 14 和漏电极 15。

通过 RF 溅射方法进一步在其上沉积 100 nm 厚的 SiO_2 膜作为保护层 16。

在本例子中,施加的 RF 功率为 400 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.1 Pa,并且气氛气体为 Ar 气。成膜速率为 7 nm/分钟,并且基板温度为 25°C。

最后,通过以光刻方法和蚀刻方法去除栅电极 11、漏电极 15 和

源电极 14 中的每一个上的一部分而形成接触孔。

(TFT 器件的特性的评估)

图 13 显示例子 8 中制备的器件 (在没有氧的情况下形成保护层) 和例子 7 中除了保护层之外在与例子 8 相同的条件下制备的器件 (在存在氧的情况下形成保护层) 的 TFT 器件传输特性。例子 8 的器件在栅电压 $V_g = -5 \text{ V}$ 时给出约 $1\text{E}-6$ 的漏电流; 与例子 7 的器件相比, 例子 8 的器件的特性大大地变化, 以致作为 TFT 特性是令人不满意的。

如上所述, 已经显示当在 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体上形成氧化物绝缘体膜时, 需要在含氧气氛中执行成膜。

(例子 9)

(交错 TFT)

制备图 14 所示的交错 TFT 器件。

使用康宁 1737 玻璃基板作为基板 80。

首先, 利用具有 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})$ 组分的多晶烧结体作为靶, 通过 RF 溅射方法在基板 80 上沉积 40 nm 厚的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜作为沟道层 81。

在本例子中, 施加的 RF 功率为 300 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.5 Pa, 并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 97:3$ 。成膜速率为 12 nm/分钟, 并且基板温度为 25°C。

通过电子束沉积方法将 5 nm 厚的 Ti 层和 50 nm 厚的 Au 层层叠在沟道层上。对层叠的膜应用光刻方法和剥离方法, 以形成源电极 82 和漏电极 83。

对沉积的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜应用光刻方法和蚀刻方法, 以将其处理成合适的尺寸。

在此阶段, 在 200°C 在氧气氛中执行退火 50 分钟。

150 nm 厚的 Y_2O_3 膜被通过 RF 溅射方法进一步形成在其上, 并且被通过光刻方法和蚀刻方法处理成合适的尺寸以形成栅绝缘膜 84。

在本例子中, 施加的 RF 功率为 500 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.1 Pa, 并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 40:60$ 。成膜速率为

1.5 nm/分钟，并且基板温度为 25°C。

5 nm 厚的 Ti 层和 50 nm 厚的 Au 层被进一步层叠在其上，并且被应用光刻方法和蚀刻方法以形成栅电极 85。

评估例子 9 中制备的 TFT，而达到像被制备为逆交错器件的器件的晶体管特性那样令人满意的晶体管特性。

(例子 10)

(在保护层中使用 SiO_xN_y 的 TFT)

制备图 7 所示的逆交错 TFT 器件。

使用康宁 1737 玻璃基板作为基板 10。

首先，通过电子束沉积方法将 5 nm 厚的 Ti 层、50 nm 厚的 Au 层和另一个 5 nm 厚的 Ti 层按此顺序层叠在基板 10 上。对层叠的膜应用光刻方法和剥离方法，以形成栅电极 11。

通过 RF 溅射方法进一步在其上形成 150 nm 厚的 Y_2O_3 膜，以形成栅绝缘膜 12。

接着，利用具有 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})$ 组分的多晶烧结体作为靶，通过 RF 溅射方法沉积 40 nm 厚的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜作为沟道层 13。

在本例子中，施加的 RF 功率为 200 W。成膜时的气氛是这样的以使总压力为 0.5 Pa，并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 95:5$ 。成膜速率为 8 nm/分钟，并且基板温度为 25°C。

对沉积的 In-Ga-Zn-O 氧化物半导体薄膜应用光刻方法和蚀刻方法，以将其处理成合适的尺寸。

在此阶段，在 300°C 在空气中执行退火 30 分钟。

将 5 nm 厚的 Ti 层、50 nm 厚的 Au 层和另一个 5 nm 厚的 Ti 层按此顺序进一步层叠在其上，并且通过光刻方法和剥离方法形成源电极 14 和漏电极 15。

通过 RF 溅射方法进一步在其上沉积 100 nm 厚的 SiO_xN_y 膜作为保护层 16。

在本例子中，施加的 RF 功率为 400 W。成膜时的气氛是这样的

以使总压力为 0.1 Pa，并且气体流率比为 $\text{Ar}:\text{O}_2 = 40:60$ 。成膜速率为 2 nm/分钟，并且基板温度为 25°C。

最后，通过以光刻方法和蚀刻方法去除栅电极 11、漏电极 15 和源电极 14 中的每一个上的一部分而形成接触孔。

以上述方式，制备了 TFT 器件。

TFT 特性在保护层形成之后被评估，而给出与将 SiO_2 用于保护层的情形的性能和稳定性相当的性能和稳定性。

根据本发明，在具有低电阻的条件下形成要被用作沟道层的金属氧化物膜，因此形成高质量的氧化物膜，并且从而可以制备特性优异的薄膜晶体管。无需以复杂的方式控制金属氧化物成膜气氛中的氧分压，并且可使处理余裕变宽，产生可获得 TFT 的高度可靠的制造方法这样的优点。

另外，根据本发明，例如，可提供使用非晶氧化物半导体作为有源层（也被称作沟道层）的 TFT 器件，其中所述器件对于环境变化是稳定的，并且具有高度可靠的和令人满意的晶体管特性。

本申请要求 2006 年 8 月 23 日提交的日本专利申请 No. 2006-226698 的权益，其全部内容在此通过参考被并入。

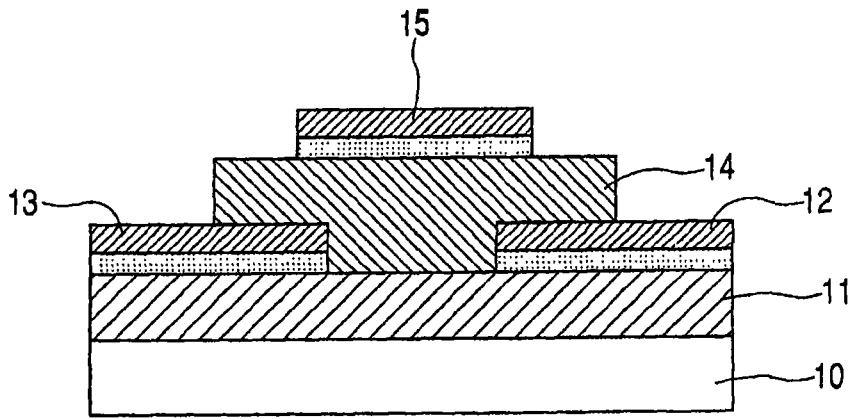


图1

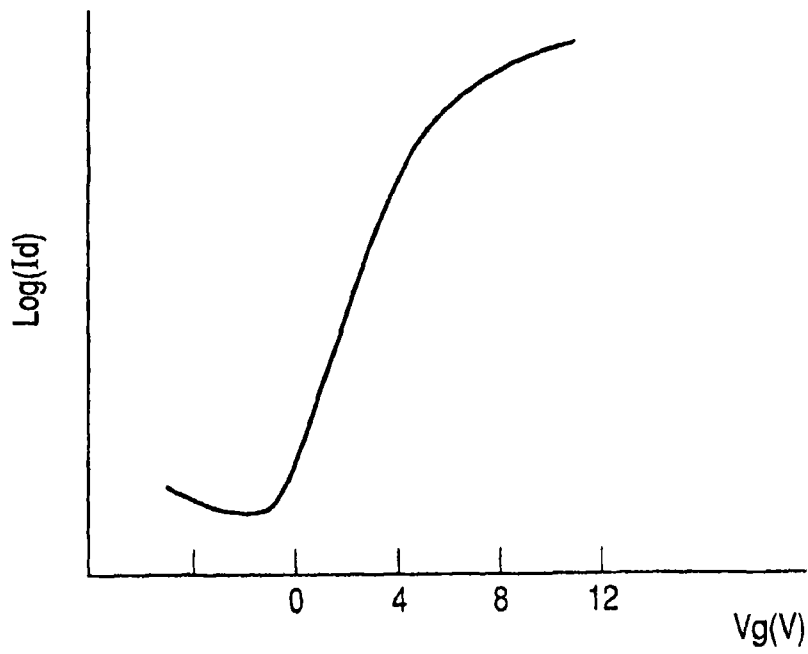


图2

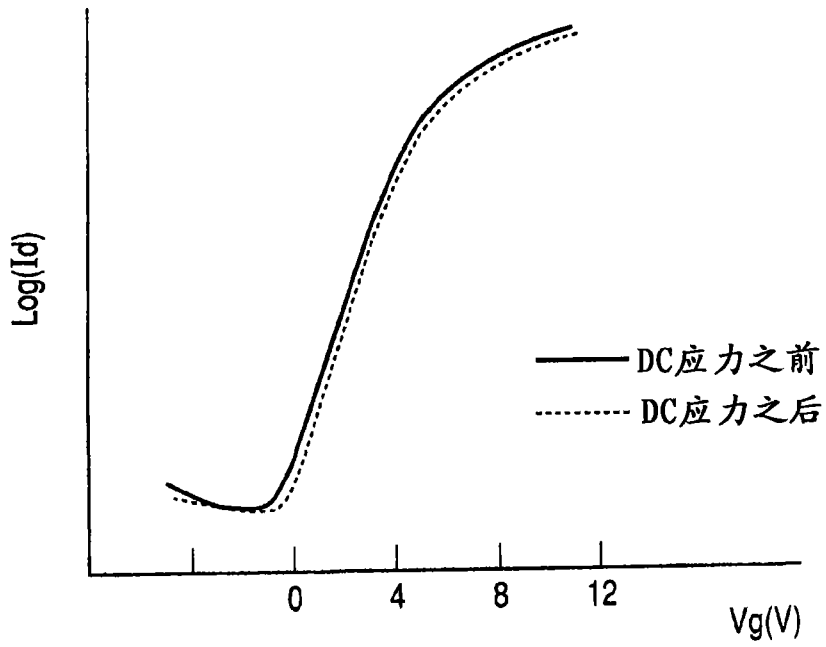


图 3A

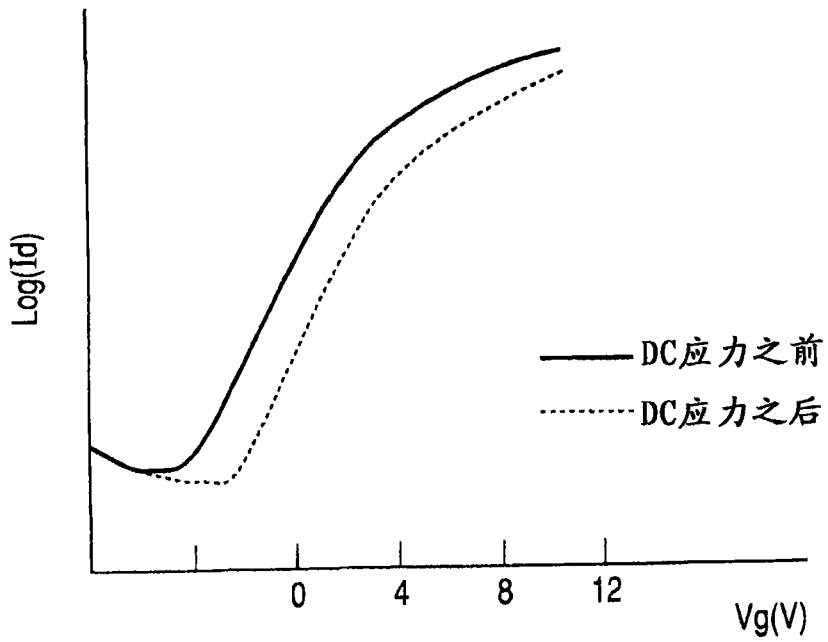


图 3B

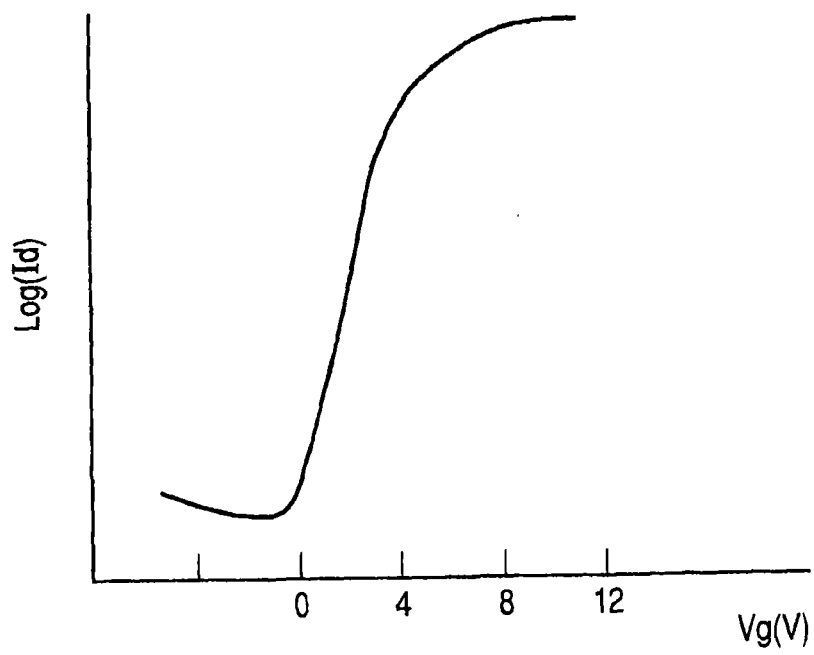


图 4

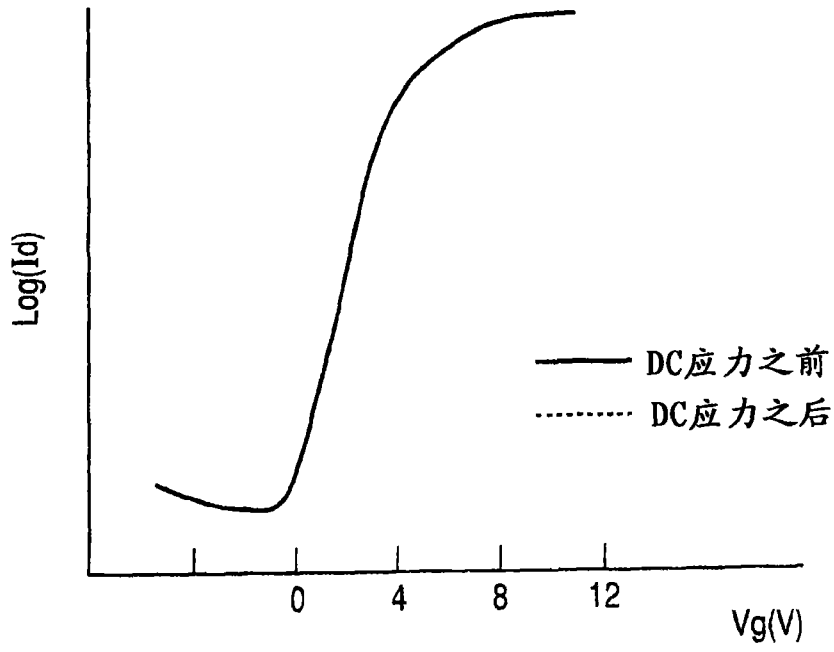


图 5A

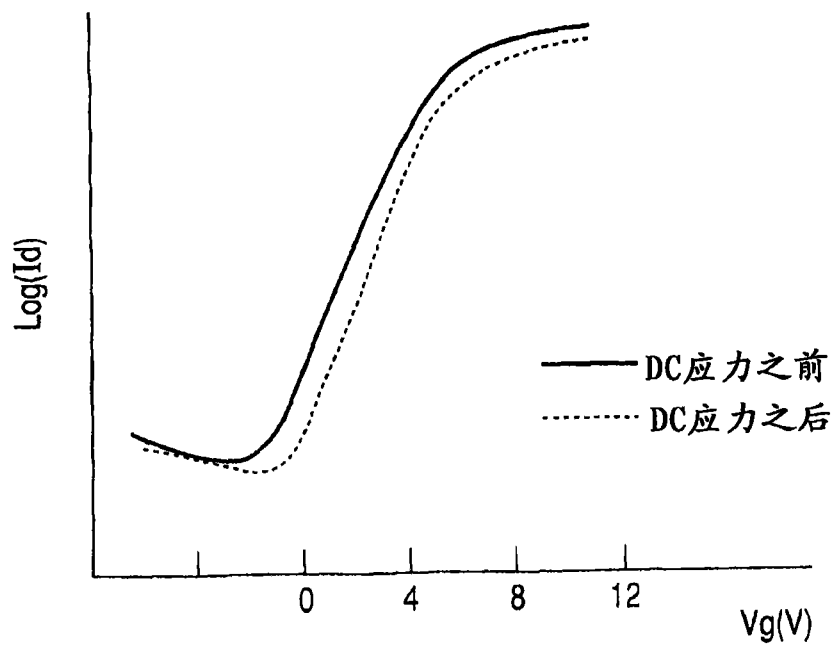


图 5B

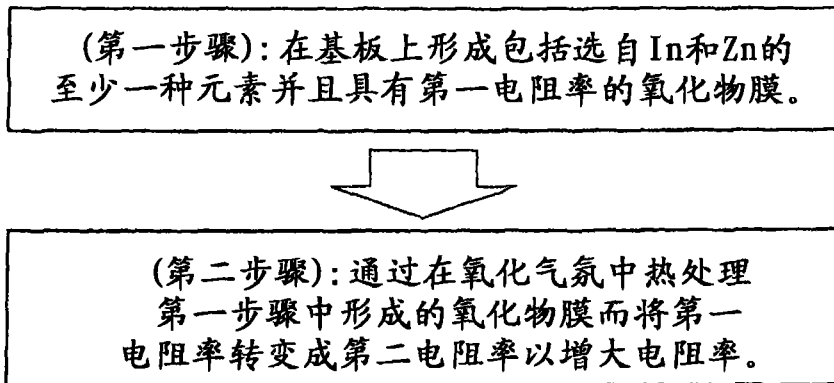


图6

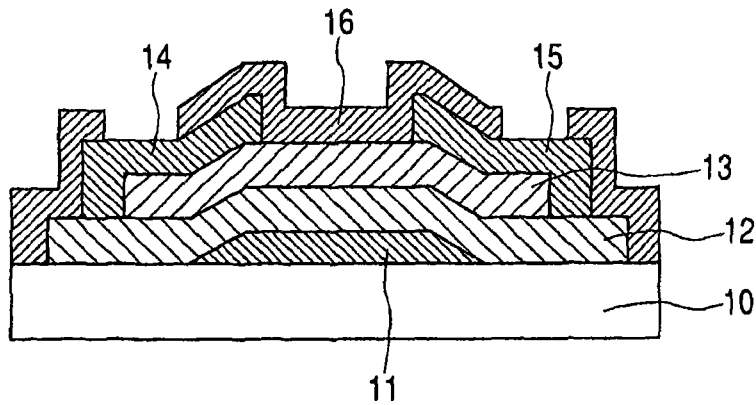


图7

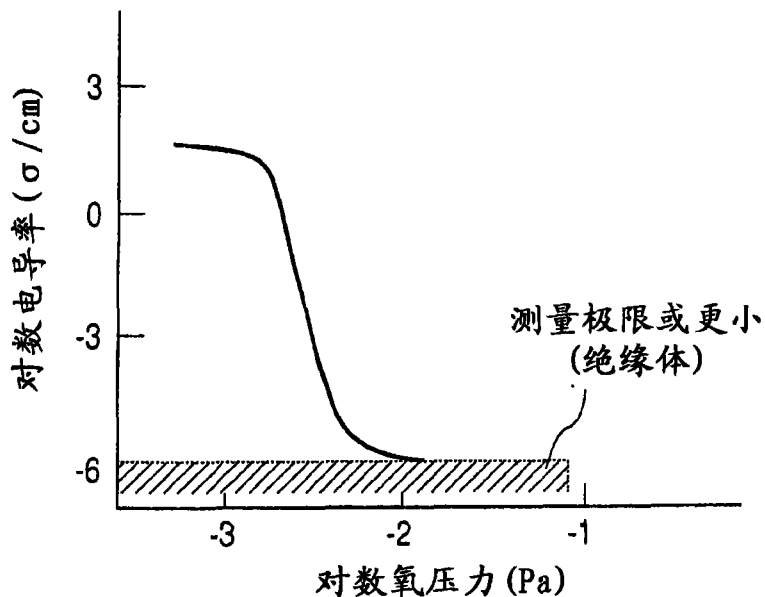


图8

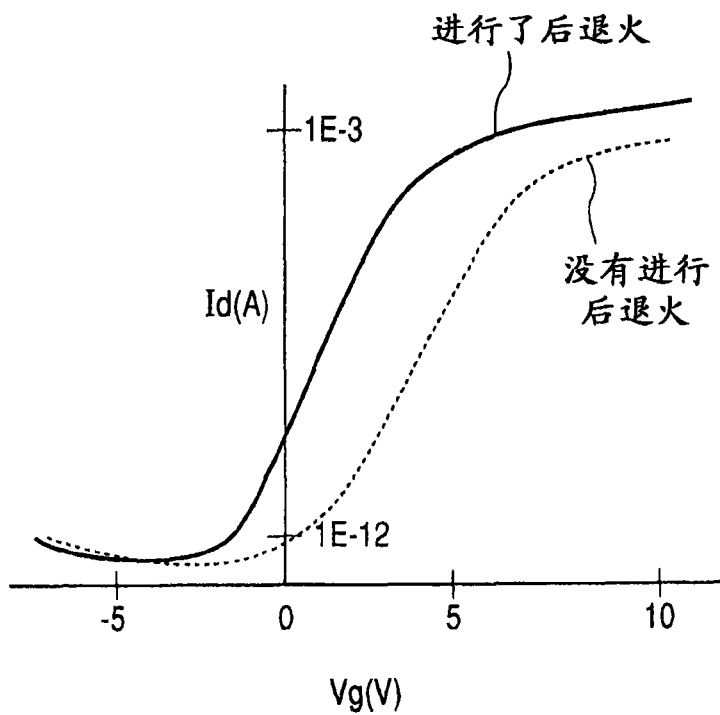


图9

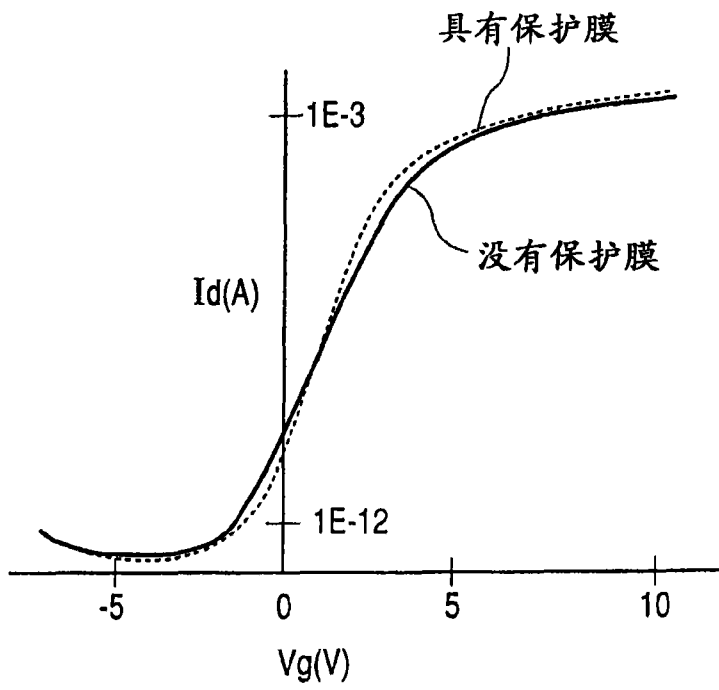


图 10

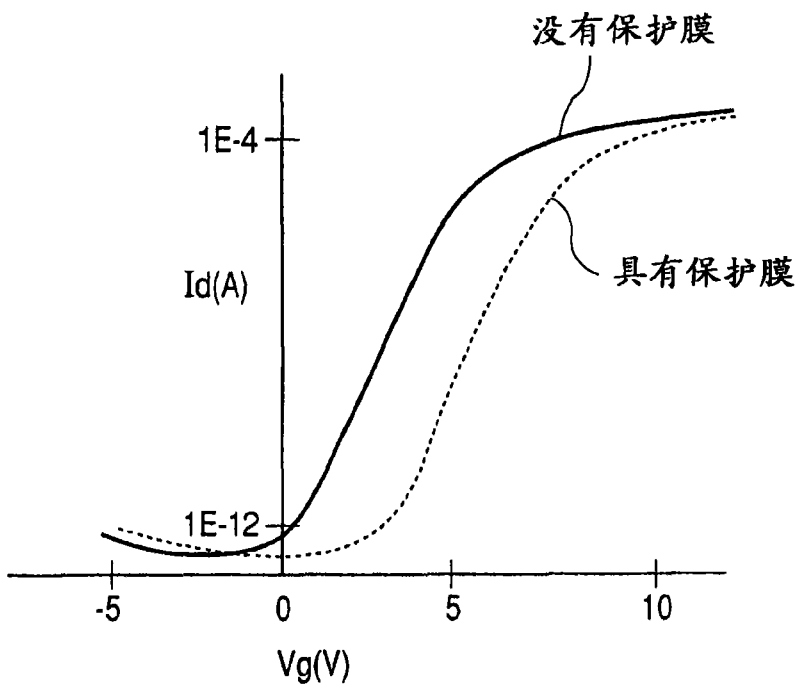


图 11

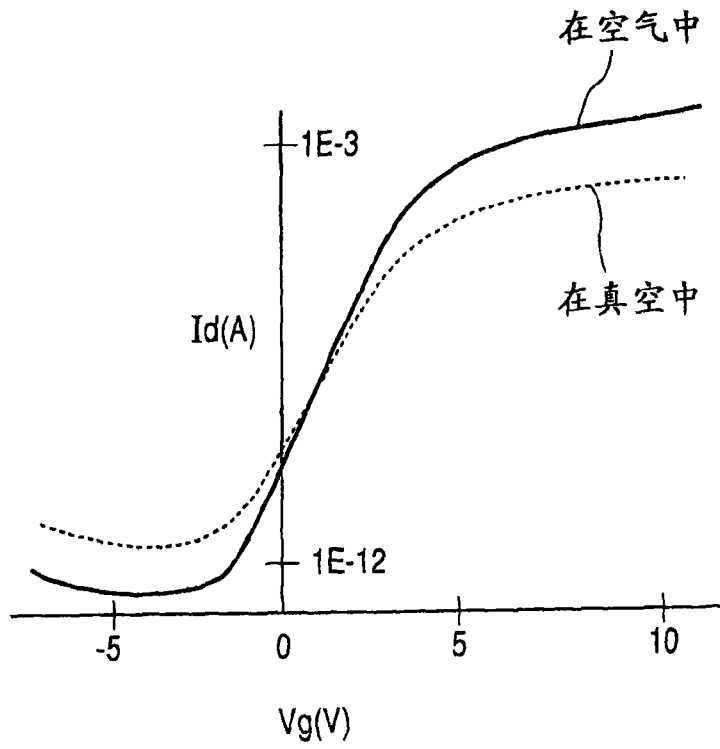


图 12

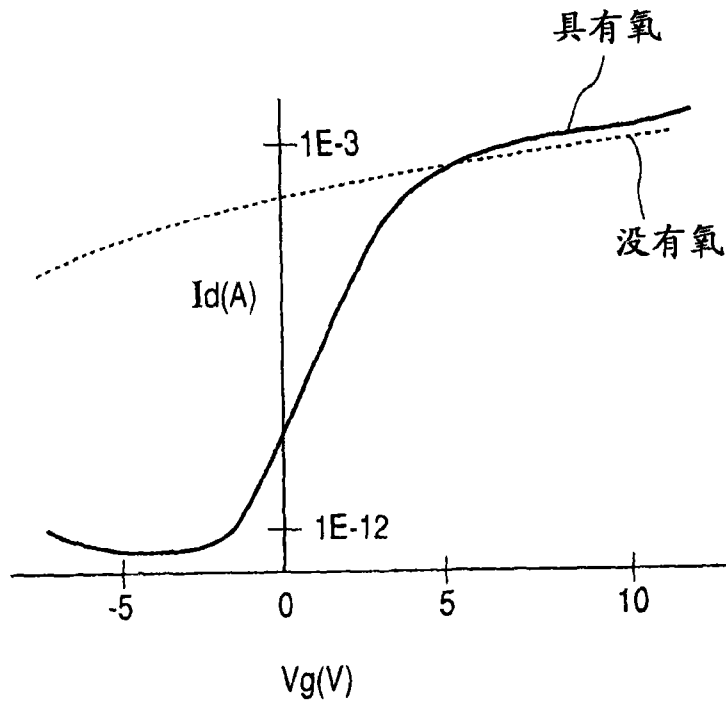


图 13

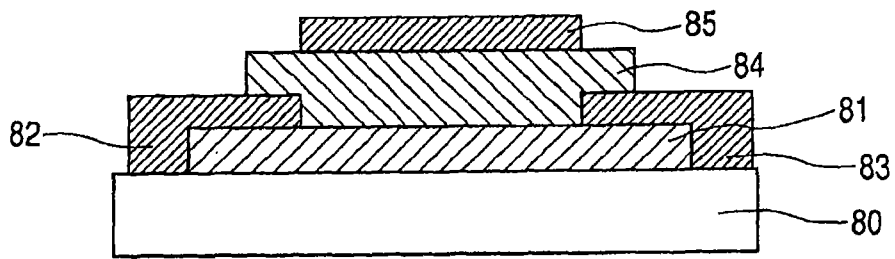


图 14