



(10) **DE 11 2011 101 395 B4** 2014.10.16

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 101 395.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/058659**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/132529**  
(86) PCT-Anmeldetag: **30.03.2011**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.10.2011**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **31.01.2013**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **16.10.2014**

(51) Int Cl.: **H01L 29/786** (2006.01)  
**G02F 1/1368** (2006.01)  
**H01L 21/336** (2006.01)  
**H01L 21/3115** (2006.01)  
**H01L 27/146** (2006.01)  
**H01L 27/32** (2006.01)  
**H01L 27/115** (2006.01)  
**H01L 21/84** (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2010-100241**      **23.04.2010**      **JP**

(62) Teilung in:  
**11 2011 106 082.3**

(73) Patentinhaber:  
**Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.,**  
**Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP**

(74) Vertreter:  
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &**  
**Schwanhäusser, 80802 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Yamazaki, Shunpei, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2010 / 0 032 665 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Ausbilden eines ersten Isolierfilms (102; 102a) über einem Substrat (100);

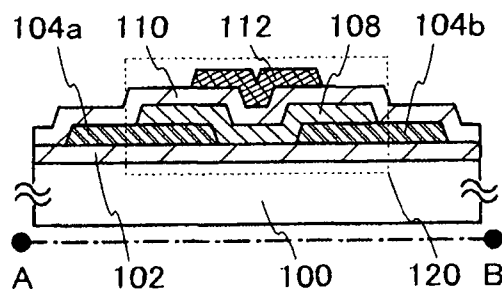
Ausbilden eines zweiten Isolierfilms (102; 102b) über dem ersten Isolierfilm (102; 102a);

Durchführen einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem ersten Isolierfilm (102; 102a) und dem zweiten Isolierfilm (102; 102b);

Ausbilden einer Source-Elektrode (104a), einer Drain-Elektrode (104b) und eines Oxid-Halbleiterfilms (106) über dem zweiten Isolierfilm (102; 102b);

Ausbilden eines dritten Isolierfilms (110) über der Source-Elektrode (104a), der Drain-Elektrode (104b) und dem Oxid-Halbleiterfilm (106); und

Ausbilden einer Gate-Elektrode (112) derart über dem dritten Isolierfilm (110), dass sich die Gate-Elektrode (112) mit dem Oxid-Halbleiterfilm (106) überlappt, wobei der zweite Isolierfilm (102; 102b) eine Komponente umfasst, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (106).



**Beschreibung**

## Technisches Sachgebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen der Halbleitervorrichtung.

**[0002]** In der vorliegenden Patentschrift bedeutet Halbleitervorrichtung eine Vorrichtung, die durch Anwenden von Halbleitercharakteristiken arbeiten kann, und eine elektrooptische Vorrichtung, eine Halbleiterschaltung und eine elektronische Vorrichtung sind alle Halbleitervorrichtungen.

## Hintergrund der Erfindung

**[0003]** Eine Technik zum Ausbilden von Transistoren unter Verwendung von Dünnschichten, die über einem Substrat ausgebildet sind, welches eine Isolierfläche aufweist, hat Aufmerksamkeit erregt. Die Transistoren werden in einem breiten Bereich von elektronischen Vorrichtungen verwendet, wie z. B. integrierten Schaltungen (integrated circuits ICs) oder Bildanzeigevorrichtungen (Anzeigevorrichtungen). Ein auf Silizium basierendes Halbleitermaterial ist als ein Material für einen Halbleiter-Dünnschicht bekannt, der für einen Transistor verwendbar ist. Als ein weiteres Material hat ein Oxid-Halbleiter Aufmerksamkeit erregt.

**[0004]** Beispielsweise ist ein Transistor, dessen aktive Schicht ein amorphes Oxid aufweist, welches Indium (In), Gallium (Ga) und Zink (Zn) enthält und eine Elektronenträgerkonzentration von weniger als  $10^{18}/\text{cm}^3$  aufweist, bekannt (siehe JP 2006-165528 A).

**[0005]** Ein TFT mit einer Top-Gate-Struktur, bei dem ein Oxid-Halbleiterfilm umfassend In, Ga und Zn eingesetzt wird, ist aus der US 2010/0032665 A1 bekannt.

## Übersicht über die Erfindung

**[0006]** Wenn jedoch Wasserstoff oder Wasser, der/das einen Elektronendonator bildet, bei einem Prozess zum Herstellen einer Vorrichtung in den Oxid-Halbleiter eingebracht wird, kann sich die elektrische Leitfähigkeit eines Oxid-Halbleiters verändern. Ein solches Phänomen bewirkt eine Änderung der elektrischen Eigenschaften eines Transistors, bei dem der Oxid-Halbleiter verwendet wird.

**[0007]** Angesichts eines solchen Problems liegt der vorliegenden Erfindung das Ziel zugrunde, eine Halbleitervorrichtung mit einem Oxid-Halbleiter zur Verfügung zu stellen, die stabile elektrische Eigenschaften und eine hohe Zuverlässigkeit bietet. Bei einem Prozess zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, die einen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, wird zumindest eine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt. Dieses Ziel wird durch die Verfahren gemäß Ansprüchen 1, 2 und 3 gelöst.

**[0008]** Bei dem Prozess zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, die einen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, wird eine Behandlung zum Entziehen von Wasser oder Wasserstoff mittels einer Wärmebehandlung durchgeführt, und es wird eine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt.

**[0009]** Bei dem Verfahren kann eine Sauerstoffdotierungsbehandlung auch an dem Oxid-Halbleiterfilm durchgeführt werden, so dass der Oxid-Halbleiterfilm ein Sauerstoffatom in einem Verhältnis größer als ein stöchiometrisches Verhältnis des Oxid-Halbleiterfilms und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses enthält.

**[0010]** Als der erste Isolierfilm oder der dritte Isolierfilm können ein Isolierfilm, der ein Bestandelement des Oxid-Halbleiterfilms enthält, als der zweite Isolierfilm ein Film, der ein anderes Element als das Bestandelement des Isolierfilms enthält, ausgebildet werden. Als der erste, zweite oder dritte Isolierfilm kann ein Isolierfilm, der Galliumoxid enthält, ausgebildet werden. Als der erste, zweite und/oder dritte Isolierfilm können ein Isolierfilm, der Galliumoxid enthält, und ein Film, der ein anderes Material als Galliumoxid enthält, ausgebildet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass in der vorliegenden Patentschrift der Ausdruck "Galliumoxid" bedeutet, dass Sauerstoff und Gallium als Komponenten enthalten sind, und er ist nicht auf einen Zustand als Galliumoxid beschränkt, sofern nichts Anderes angegeben ist. Beispielsweise kann "der Isolierfilm, der Galliumoxid enthält" als "ein Isolierfilm, der Sauerstoff und Gallium enthält", angesehen werden.

**[0011]** Bei dem oben beschriebenen Verfahren kann ein Isolierfilm, der Stickstoff enthält, ausgebildet werden, um die Gate-Elektrode zu bedecken. In dem Fall, in dem ein Isolierfilm, der Siliziumnitrid oder dergleichen enthält und der kein Wasserstoff enthält oder der eine extrem kleine Menge an Wasserstoff enthält, über dem Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet ist, kann verhindert werden, dass der Sauerstoff, der zu dem ersten Isolierfilm, dem zweiten Isolierfilm und/oder dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird, nach außen freigegeben wird, und es kann verhindert werden, dass Wasserstoff und Wasser von außen eintreten. Aus diesem Grund ist der Isolierfilm, der Stickstoff enthält, wichtig.

**[0012]** Es sei darauf hingewiesen, dass die oben beschriebene "Sauerstoffdotierung" bedeutet, dass Sauerstoff (der ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion umfasst) zu einem Volumen hinzugefügt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass der Ausdruck "Volumen" verwendet wird, um klarzustellen, dass Sauerstoff nicht nur zu einer Fläche eines Dünnschichtfilms hinzugefügt wird, sondern auch zu dem Inneren des Dünnschichtfilms. Ferner umfasst "Sauerstoffdotierung" eine "Sauerstoffplasmadotierung", bei der Sauerstoff, der als Plasma vorliegt, zu einem Volumen hinzugefügt wird.

**[0013]** Aufgrund der Sauerstoffdotierungsbehandlung ist Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm (dessen Volumen), dem Isolierfilm (dessen Volumen) und/oder einer Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Isolierfilm in einer Menge vorhanden, die größer ist als ein stöchiometrisches Verhältnis. Die Menge an Sauerstoff ist bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als vier Mal das stöchiometrische Verhältnis, stärker bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Hier bezieht sich ein Oxid, das einen Sauerstoffüberschuss aufweist, dessen Menge größer ist als das stöchiometrische Verhältnis, beispielsweise auf ein Oxid, das  $2g > 3a + 3b + 2c + 4d + 3e + 2f$  erfüllt, wobei das Oxid als  $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Zn}_c\text{Si}_d\text{Al}_e\text{Mg}_f\text{O}_g$  ( $a, b, c, d, e, f, g \geq 0$ ) dargestellt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass Sauerstoff, der mittels der Sauerstoffdotierungsbehandlung hinzugefügt wird, zwischen Gittern des Oxid-Halbleiters vorhanden sein kann.

**[0014]** Ferner wird Sauerstoff so hinzugefügt, dass die Menge an hinzugefügtem Sauerstoff größer ist als zumindest die Menge an Wasserstoff in dem Oxid-Halbleiter, dem Wasser oder Wasserstoff entzogen worden ist. Wenn die Menge an hinzugefügtem Sauerstoff größer ist als diejenige an Wasserstoff, diffundiert der Sauerstoff und reagiert mit Wasserstoff, was zu einer Instabilität führt, so dass Wasserstoff fixiert werden kann (zu einem unbeweglichen Ion gemacht werden kann). Mit anderen Worten: eine Verringerung der Zuverlässigkeit kann verhindert werden. Ferner kann bei einem Sauerstoffüberschuss eine Änderung der Schwellspannung  $V_{th}$ , die durch ein Sauerstoffdefizit hervorgerufen wird, verringert werden, und das Maß an Verschiebung  $\Delta V_{th}$  der Schwellspannung kann verringert werden.

**[0015]** Es sei darauf hingewiesen, dass Sauerstoff, dessen Menge gleich der oben genannten Menge ist, vorzugsweise in zwei oder mehr des Halbleiterfilms (dem Volumen), des Isolierfilms (dem Volumen) und der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Isolierfilm vorhanden ist.

**[0016]** Es sei darauf hingewiesen, dass in dem Fall, in dem ein Oxid-Halbleiter keinen Sauerstoffmangel (Sauerstoffdefizit) aufweist, die Menge an Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiter gleich dem stöchiometrischen Verhältnis des Oxid-Halbleiterfilms sein kann. Um jedoch die Zuverlässigkeit sicherzustellen, z. B. um eine Änderung der Schwellspannung eines Transistors zu unterbinden, weist ein Oxid-Halbleiter vorzugsweise Sauerstoff in einer Menge auf, die größer ist als das stöchiometrische Verhältnis. Ähnlich ist in dem Fall, in dem ein Oxid-Halbleiter keinen Mangel (Sauerstoffdefizit) aufweist, der Basisfilm nicht notwendigerweise ein Isolierfilm, der einen Sauerstoffüberschuss enthält. Um jedoch die Zuverlässigkeit sicherzustellen, z. B. um eine Änderung der Schwellspannung eines Transistors zu unterbinden, ist der Basisfilm vorzugsweise der Isolierfilm, der einen Sauerstoffüberschuss aufweist, und zwar unter Berücksichtigung, dass ein Sauerstoffdefizit in dem Oxid-Halbleiterfilm auftreten kann.

**[0017]** Hier wird ein Zustand beschrieben, in dem mittels der oben beschriebenen "Sauerstoffplasmadotierungs"-Behandlung Sauerstoff zu dem Volumen hinzugefügt wird. Es sei darauf hingewiesen, dass es bei der Durchführung einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an einem Oxid-Halbleiterfilm, der Sauerstoff als eine Komponente enthält, grundsätzlich schwierig ist, eine Vergrößerung oder eine Verkleinerung der Sauerstoffkonzentration zu prüfen. Daher wurde hier eine Auswirkung der Sauerstoffdotierungsbehandlung unter Verwendung eines Silizium-Wafer bestätigt.

**[0018]** Es wurde eine Sauerstoffdotierungsbehandlung unter Anwendung eines Verfahrens mit induktiv gekoppeltem Plasma (inductively coupled plasma ICP) durchgeführt. Die Bedingungen dafür sind wie folgt: die ICP-Leistung betrug 800 W; die RF-Vorspannungsleistung betrug 300 W oder 0 W; der Druck betrug 1,5 Pa;

die Gasströmung der Sauerstoffmenge betrug 75 sccm; und die Substrattemperatur betrug 70 °C. **Fig. 15** zeigt ein Sauerstoffkonzentrationsprofil in der Tiefenrichtung des Silizium-Wafer, gemessen mittels der sekundären Ionenmassenspektrometrie (SIMS). In **Fig. 15** stellt die vertikale Achse eine Sauerstoffkonzentration dar; die horizontale Achse stellt eine Tiefe von einer Fläche des Silizium-Wafer aus dar.

**[0019]** Es kann anhand von **Fig. 15** bestätigt werden, dass Sauerstoff in beiden Fälle hinzugefügt wird, in denen die RF-Vorspannungsleistung 0 W beträgt oder die RF-Vorspannungsleistung 300 W beträgt. Ferner wird in dem Fall, in dem die RF-Vorspannungsleistung 300 W beträgt, Sauerstoff zu einer tieferen Stelle hinzugefügt im Vergleich zu dem Fall, in dem die RF-Vorspannungsleistung 0 W beträgt.

**[0020]** Als Nächstes zeigen **Fig. 16A** und **Fig. 16B** Ergebnisse der Betrachtung eines Querschnitts des Silizium-Wafer vor und nach der Sauerstoffdotierungsbehandlung mittels der Raster-Transmissionselektronenmikroskopie (scanning transmission electron microscopy STEM). **Fig. 16A** zeigt ein STEM-Bild des Silizium-Wafer, das keiner Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen worden ist. **Fig. 16B** zeigt ein STEM-Bild des Silizium-Wafer, das bei der RF-Vorspannung von 300 W der Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen worden ist. Wie in **Fig. 16B** gezeigt ist, kann festgestellt werden, dass durch die Sauerstoffdotierung eine hoch mit Sauerstoff dotierte Region in dem Silizium-Wafer ausgebildet wird.

**[0021]** Wie oben beschrieben ist, ist gezeigt, dass durch Durchführen einer Sauerstoffdotierung an dem Silizium-Wafer Sauerstoff zu dem Silizium-Wafer hinzugefügt wird. Aufgrund dieses Ergebnisses ist es natürlich, dass durch Durchführung einer Sauerstoffdotierung an dem Oxid-Halbleiterfilm Sauerstoff zu einem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird.

**[0022]** Der Effekt der oben beschriebenen Struktur, die eine Ausführungsform der offengelegten Erfindung ist, ist leicht wie folgt zu erklären. Es sei darauf hingewiesen, dass die nachstehende Beschreibung nur eine Überlegung ist.

**[0023]** Wenn eine positive Spannung an die Gate-Elektrode angelegt wird, wird ein elektrisches Feld von einer Gate-Elektroden-Seite des Oxid-Halbleiterfilms zu einer Rückkanalseite (der dem Gate-Isolierfilm gegenüberliegenden Seite) erzeugt. Daher werden Wasserstoffionen mit einer positiven Ladung, die in dem Oxid-Halbleiterfilm vorhanden sind, zu der Rückkanalseite transportiert und in einer Region nahe einer Übergangsstelle zu dem Isolierfilm akkumuliert. Die positive Ladung wird von dem akkumulierten Wasserstoffion zu einem Ladungseinfangzentrum (wie z. B. einem Wasserstoffatom, Wasser oder einem Fremdatome) in dem Isolierfilm transportiert, wodurch eine negative Ladung auf der Rückkanalseite des Oxid-Halbleiterfilms akkumuliert wird.

**[0024]** Mit anderen Worten: es wird ein Störkanal auf der Rückkanalseite erzeugt, und die Schwellspannung wird zu der negativen Seite verschoben, so dass der Transistor dazu neigt, selbstleitend zu sein.

**[0025]** Auf diese Weise fängt das Ladungseinfangzentrum, wie z. B. Wasserstoff oder Wasser in dem Isolierfilm, die positive Ladung ein, und die positive Ladung wird in den Isolierfilm transportiert, wodurch sich elektrische Eigenschaften des Transistors ändern. Entsprechend ist es zum Unterbinden einer Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors wichtig, dass es kein Ladungseinfangzentrum gibt, oder die Menge an Wasserstoff, Wasser oder dergleichen in dem Isolierfilm ist klein. Daher wird beim Aufbringen eines Isolierfilms vorzugsweise ein Sputterverfahren angewendet, das bewirkt, dass weniger Wasserstoff in dem aufgetragenen Isolierfilm enthalten ist. In einem mittels eines Sputterverfahrens aufgetragenen Isolierfilm ist kein Ladungseinfangzentrum oder nur eine kleine Anzahl von Ladungseinfangzentren vorhanden, und der Transport einer positiven Ladung erfolgt nicht so einfach im Vergleich zu demjenigen im Falle der Anwendung eines CVD-Verfahrens oder dergleichen. Daher kann die Verschiebung der Schwellspannung des Transistors unterbunden werden, und der Transistor kann selbstsperrend sein.

**[0026]** Es sei darauf hingewiesen, dass bei einem Transistor mit oben liegendem Gate dann, wenn ein Oxid-Halbleiterfilm über einem als ein Basisfilm dienenden Isolierfilm ausgebildet ist und dann eine Wärmebehandlung an diesem durchgeführt wird, nicht nur Wasser oder Wasserstoff, das/der in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, sondern auch Wasser oder Wasserstoff, das/der in dem Isolierfilm enthalten ist, entfernt werden kann. Entsprechend ist in dem Isolierfilm eine kleine Anzahl von Ladungseinfangzentren zum Einfangen einer positiven Ladung, die durch den Oxid-Halbleiterfilm transportiert wird, vorhanden. Auf diese Weise wird die Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder Wasserstoff auch an dem unter dem Oxid-Halbleiterfilm vorgesehenen Isolierfilm zusätzlich zu dem Oxid-Halbleiterfilm durchgeführt. Daher kann in dem Transistor mit oben liegendem Gate der Isolierfilm, der als ein Basisfilm dient, mittels eines CVD-Verfahrens, wie z. B. eines Plasma-CVD-Verfahrens, aufgebracht werden.

**[0027]** Ferner wird dann, wenn eine negative Spannung an die Gate-Elektrode angelegt wird, ein elektrisches Feld von der Rückkanalseite zu der Gate-Elektroden-Seite erzeugt. Somit werden Wasserstoffionen, die in dem Oxid-Halbleiterfilm vorhanden sind, zu der Gate-Isolierfilm-Seite transportiert und in einer Region nahe der Übergangsstelle zu dem Gate-Isolierfilm akkumuliert. Folglich wird die Schwellspannung des Transistors zu der negativen Seite verschoben.

**[0028]** Es sei darauf hingewiesen, dass dann, wenn eine Spannung auf 0 V gehalten wird, die positive Ladung von dem Ladungseinfangzentrum freigegeben wird, so dass die Schwellspannung des Transistors zu der positiven Seite verschoben wird und dadurch in den Anfangszustand zurückkehrt, oder die Schwellspannung wird in einigen Fällen über die Anfangsseite hinaus zu der positiven Seite verschoben. Diese Phänomene zeigen das Vorhandensein von leicht zu transportierenden Ionen in dem Oxid-Halbleiterfilm an. Es kann bedacht werden, dass ein Ion, das am leichtesten zu transportieren ist, ein Ion von Wasserstoff ist, das das kleinste Atom ist.

**[0029]** Ferner wird dann, wenn der Oxid-Halbleiterfilm Licht absorbiert, eine Bindung (auch als eine M-H-Bindung bezeichnet) eines Metallelements (M) und eines Wasserstoffatoms (H) in dem Oxid-Halbleiterfilm durch Fotoenergie aufgebrochen. Es sei darauf hingewiesen, dass die Fotoenergie, die eine Wellenlänge von ungefähr 400 nm aufweist, der Bindungsenergie eines Metallelements und eines Wasserstoffatoms gleich oder im Wesentlichen gleich ist. Wenn eine negative Gate-Vorspannung auf einen Transistor aufgebracht wird, bei dem eine Bindung eines Metallelements und eines Wasserstoffatoms in dem Oxid-Halbleiterfilm aufgebrochen ist, wird ein Wasserstoffion, das aus einem Metallelement eliminiert worden ist, zu einer Gate-Elektroden-Seite angezogen, so dass die Verteilung der Ladung verändert wird, die Schwellspannung des Transistors zu der negativen Seite verschoben wird und der Transistor dazu neigt, selbstleitend zu sein.

**[0030]** Es sei darauf hingewiesen, dass die Wasserstoffionen, die durch Lichteinstrahlung und Anlegen einer negativen Gate-Vorspannung an den Transistor zu der Übergangsstelle zu dem Gate-Isolierfilm transportiert werden, durch Stoppen des Anlegens einer Spannung in den Anfangszustand zurückgeführt werden. Dies kann als ein typisches Beispiel für den Ionentransport in dem Oxid-Halbleiterfilm angesehen werden.

**[0031]** Um eine solche Veränderung der elektrischen Eigenschaften durch Anlegen einer Spannung (BT-Verschlechterung) oder eine Veränderung der elektrischen Eigenschaften durch Lichteinstrahlung (Licht-Verschlechterung) zu verhindern, ist es äußerst wichtig, ein Wasserstoffatom oder ein Fremdatome, das ein Wasserstoffatom enthält, wie z. B. Wasser, gründlich aus dem Oxid-Halbleiterfilm zu entfernen, um den Oxid-Halbleiterfilm in hohem Maße zu reinigen. Die Ladungsdichte, die  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  klein ist, oder die Ladung pro Flächeneinheit, die  $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  klein ist, beeinflusst nicht die Transistoreigenschaften, oder beeinflusst sie nur sehr wenig. Daher ist es vorteilhaft, dass die Ladungsdichte kleiner als oder gleich  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  ist. Unter der Annahme, dass 10 % des Wasserstoffs, der in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, innerhalb des Oxid-Halbleiterfilms transportiert wird, ist es vorteilhaft, dass die Wasserstoffkonzentration kleiner als oder gleich  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  ist. Ferner ist es zum Verhindern, dass Wasserstoff von außen eindringt, nachdem eine Vorrichtung fertiggestellt worden ist, vorteilhaft, dass ein Siliziumnitridfilm, der mittels eines Sputterverfahrens aufgebracht wird, als ein Passivierungsfilm zum Bedecken des Transistors verwendet wird.

**[0032]** Wasserstoff oder Wasser kann ebenfalls aus dem Oxid-Halbleiterfilm entfernt werden, wenn eine zu große Menge an Sauerstoff im Vergleich zu Wasserstoff zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird (so dass (die Anzahl von Wasserstoffatomen)  $\ll$  (die Anzahl von Sauerstoffradikalen) oder (die Anzahl von Sauerstoffionen)). Insbesondere wird Sauerstoff durch eine Funkfrequenzwelle (radio frequency RF) zu Plasma gemacht, die Vorspannung des Substrats wird erhöht, und ein Sauerstoffradikal und/oder ein Sauerstoffion werden/wird in den Oxid-Halbleiterfilm über dem Substrat dotiert oder hinzugefügt, so dass in dem Oxid-Halbleiterfilm die Menge an Sauerstoff größer ist als die an Wasserstoff. Die Elektronegativität von Sauerstoff beträgt 3,0, was größer ist als ungefähr 2,0, die Elektronegativität eines Metalls (Zn, Ga, In) in dem Oxid-Halbleiterfilm, und somit zieht ein enthaltener Überschuss an Sauerstoff im Vergleich zu Wasserstoff Wasserstoff von der M-H-Gruppe ab, so dass eine OH-Gruppe gebildet wird. Diese OH-Gruppe kann eine M-O-H-Gruppe mit einer Bindung an M bilden.

**[0033]** Die Dotierung wird vorzugsweise so durchgeführt, dass die Menge an Sauerstoff, die in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, größer ist als das stöchiometrische Verhältnis. Beispielsweise ist es in dem Fall, in dem ein auf In-Ga-Zn-O basierender Oxid-Halbleiterfilm als der Oxid-Halbleiterfilm verwendet wird, ausgesprochen vorteilhaft, dass durch Sauerstoffdotierung oder dergleichen das Verhältnis von Sauerstoff größer gemacht wird als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Wenn beispielsweise das stöchiometrische Verhältnis eines Einkristalls eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Halbleiters so ist, dass In:Ga:Zn:O = 1:1:1:4 ist, ist in einem Oxid-Halbleiterdünnfilm, dessen

Zusammensetzung von  $\text{InGaZnO}_x$  dargestellt ist,  $x$  vorzugsweise größer als 4 und kleiner als 8. Entsprechend ist in dem Oxid-Halbleiterfilm die Menge an Sauerstoff größer als die an Wasserstoff.

**[0034]** Eine Fotoenergie oder BT-Belastung zieht Wasserstoff von der M-H-Gruppe ab, wodurch eine Verschlechterung bewirkt wird; in dem Fall, in dem Sauerstoff mittels der oben beschriebenen Dotierung hinzugefügt wird, ist hinzugefügter Sauerstoff jedoch an ein Wasserstoffion gebunden, so dass eine OH-Gruppe gebildet wird. Die OH-Gruppe gibt aufgrund ihrer hohen Bindungsenergie kein Wasserstoffion aus, nicht einmal bei Lichteinstrahlung oder Aufbringen einer BT-Belastung auf den Transistor, und sie wird aufgrund ihrer größeren Masse als der Masse eines Wasserstoffions nicht leicht in dem Oxid-Halbleiterfilm transportiert. Entsprechend bewirkt eine OH-Gruppe, die durch Sauerstoffdotierung gebildet wird, keine Verschlechterung des Transistors, oder sie kann die Verschlechterung unterbinden.

**[0035]** Ferner hat sich bestätigt, dass dann, wenn die Dicke des Oxid-Halbleiterfilms vergrößert wird, die Änderung der Schwellspannung eines Transistors dazu neigt, sich zu vergrößern. Es wird berücksichtigt, dass ein Sauerstoffdefizit in dem Oxid-Halbleiterfilm eine Ursache für die Veränderung der Schwellspannung ist und sich erhöht, wenn die Dicke des Oxid-Halbleiterfilms vergrößert wird. Es ist nicht nur beim Entfernen von Wasserstoff oder Wasser aus dem Oxid-Halbleiterfilm, sondern auch beim Kompensieren des Sauerstoffdefizits in dem Film effektiv, einen Isolierfilm oder einen Oxid-Halbleiterfilm in einem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung mit Sauerstoff zu dotieren. Entsprechend kann die Änderung der Schwellspannung auch in dem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung unterdrückt werden.

**[0036]** Metalloxidfilme, die jeweils eine Komponente enthalten, welche die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms, können mit dem zwischen diesen vorgesehenen Oxid-Halbleiterfilm versehen sein, was ebenfalls effektiv ist zum Verhindern einer Veränderung der elektrischen Eigenschaften. Als der Metalloxidfilm, der eine Komponente enthält, welche die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms, wird insbesondere vorzugsweise ein Film verwendet, der mindestens ein Element ausgewählt aus den Bestandteilen des Oxid-Halbleiterfilms enthält. Ein solches Material ist für den Oxid-Halbleiterfilm geeignet, und daher ermöglicht das Vorsehen der Metalloxidfilme mit dem zwischen diesen vorgesehenen Oxid-Halbleiterfilm, dass eine Übergangsstelle zwischen dem Metalloxidfilm und dem Oxid-Halbleiterfilm in einem geeigneten Zustand gehalten wird. Das heißt, dass durch Vorsehen des Metalloxidfilms, bei dem das oben beschriebene Material verwendet wird, als Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, eine Akkumulation von Wasserstoffionen in der Übergangsstelle zwischen dem Metalloxidfilm und dem Oxid-Halbleiterfilm und in der Nähe davon unterbunden oder verhindert werden kann. Entsprechend kann im Vergleich zu dem Fall, in dem Isolierfilme, die jeweils eine andere Komponente enthalten als die des Oxid-Halbleiterfilms, wie z. B. Siliziumoxidfilme, mit dem zwischen diesen vorgesehenen Halbleiterfilm vorgesehen sind, die Wasserstoffkonzentration in der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm, die die Schwellspannung des Transistors beeinflusst, in ausreichendem Maße verringert werden.

**[0037]** Ein Galliumoxidfilm wird vorzugsweise als der Metalloxidfilm verwendet. Da Galliumoxid eine große Bandlücke ( $E_g$ ) aufweist, wird durch Vorsehen von Galliumoxidfilmen mit dem zwischen diesen vorgesehenen Oxid-Halbleiterfilm eine Energiebarriere in der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Metalloxidfilm ausgebildet, um einen Trägertransport in die Übergangsstelle zu verhindern. Folglich werden Träger nicht von dem Oxid-Halbleiterfilm zu dem Metalloxidfilm transportiert, sondern werden innerhalb des Oxid-Halbleiterfilms transportiert. Andererseits durchläuft ein Wasserstoffion die Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Metalloxidfilm und wird in der Nähe einer Übergangsstelle zwischen dem Metalloxidfilm und dem Isolierfilm akkumuliert. Selbst wenn das Wasserstoffion in der Nähe der Übergangsstelle zu dem Isolierfilm akkumuliert wird, wird kein Störkanal, durch den Träger strömen können, in dem Metalloxidfilm, wie z. B. einem Galliumoxidfilm, ausgebildet, was dazu führt, dass die Schwellspannung des Transistors nicht beeinflusst wird oder nur sehr wenig beeinflusst wird. Die Energiebarriere in dem Fall, in dem Galliumoxid mit einem auf In-Ga-Zn-O basierenden Material in Kontakt steht, beträgt ungefähr 0,8 eV auf der Leitungsbandseite und beträgt ungefähr 0,9 eV auf der Valenzbandseite.

**[0038]** Wie oben beschrieben ist, besteht eine technologische Idee bezüglich eines Transistors nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung darin, die Menge an Sauerstoff, die in einem Isolierfilm, der mit einem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, dem Oxid-Halbleiterfilm und/oder der Nähe einer Übergangsstelle zwischen diesen enthalten ist, durch eine Sauerstoffdotierungsbehandlung zu vergrößern.

**[0039]** In dem Fall, in dem ein Oxid-Halbleitermaterial, das In enthält, dessen Bindefestigkeit mit Sauerstoff relativ schwach ist, für den Oxid-Halbleiterfilm verwendet wird, kann dann, wenn der Isolierfilm, der mit dem

Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, ein Material enthält, das eine stärkere Bindefestigkeit mit Sauerstoff aufweist, wie z. B. Silizium, Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Wärmebehandlung abgezogen werden, was ein Auftreten eines Sauerstoffdefizits in der Nähe der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms bewirken kann. Bei einem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung kann jedoch das Auftreten eines Sauerstoffdefizits aufgrund des Abziehens von Sauerstoff aus dem Oxid-Halbleiterfilm durch Zuführen eines Sauerstoffüberschusses zu dem Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, unterbunden werden.

**[0040]** Hier kann nach der Durchführung der Sauerstoffdotierungsbehandlung bei dem Herstellungsprozess eines Transistors die Menge an Sauerstoff, die größer ist als das stöchiometrische Verhältnis und die in dem Oxid-Halbleiterfilm oder dem Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, enthalten ist, zwischen Schichten unterschiedlich sein. Es kann berücksichtigt werden, dass ein chemisches Potential von Sauerstoff zwischen den Schichten unterschiedlich ist, wo die Menge an Sauerstoffüberschuss zwischen diesen unterschiedlich ist, und der Unterschied bei dem chemischen Potential kommt aufgrund einer Wärmebehandlung oder dergleichen bei dem Herstellungsprozess des Transistors in ein Gleichgewicht oder im Wesentlichen in ein Gleichgewicht. Daher wird nach der Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm vorzugsweise eine Wärmebehandlung durchgeführt. Durch die Wärmebehandlung nach der Sauerstoffdotierungsbehandlung kann Sauerstoff, der als Überschuss dem Isolierfilm zugeführt wird, diffundieren, und eine ausreichende Menge an Sauerstoff kann dem Oxid-Halbleiterfilm zugeführt werden. Eine Verteilung des Sauerstoffs in den Gleichgewichtszustand wird nachstehend diskutiert.

**[0041]** Der Gleichgewichtszustand bei einer Temperatur T bei einem Druck P bezieht sich auf den Zustand, in dem eine Gibbssche freie Energie der Gesamtheit der Systeme, G, das Minimum ist, was durch die folgende Formel (1) dargestellt wird.

[Formel 1]

$$G(N_a, N_b, N_c, \dots, T, P) = G^{(1)}(N_a, N_b, N_c, \dots, T, P) + G^{(2)}(N_a, N_b, N_c, \dots, T, P) + G^{(3)}(N_a, N_b, N_c, \dots, T, P) \quad (1)$$

**[0042]** Bei der Formel (1) bezeichnen Bezugssymbole  $G^{(1)}$ ,  $G^{(2)}$  und  $G^{(3)}$  die Gibbssche freie Energie von Schichten. Bezugssymbole  $N_a$ ,  $N_b$  und  $N_c$  bezeichnen die Anzahl von Partikeln, und Bezugssymbole a, b und c bezeichnen Partikelarten. Die Gibbssche freie Energie verändert sich, wie durch die folgende Formel (2) dargestellt ist, wenn das Partikel a von

**[0043]**  $i$  zu  $j$

von einer i-Schicht zu einer j-Schicht transportiert wird.

[Formel 2]

$$\delta G = - \frac{\partial G^{(i)}}{\partial N_a^{(i)}} \delta N_a^{(i)} + \frac{\partial G^{(j)}}{\partial N_a^{(j)}} \delta N_a^{(j)} \quad (2)$$

**[0043]** Wenn in der Formel (2)  $\delta G = 0$  ist oder die folgende Formel (3) erfüllt ist, befindet sich das System im Gleichgewichtszustand.

[Formel 3]

$$\frac{\partial G^{(i)}}{\partial N_a^{(i)}} = \frac{\partial G^{(j)}}{\partial N_a^{(j)}} \quad (3)$$

**[0044]** Das Differential der Anzahl von Partikeln der Gibbsschen freien Energie entspricht dem chemischen Potential, und somit ist das chemische Potential von Partikeln gleichförmig in den sich im Gleichgewichtszustand befindenden Schichten.

**[0045]** Mit anderen Worten: wenn die Menge an Sauerstoff, der in dem mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt stehenden Isolierfilm enthalten ist, ein Überschuss ist im Vergleich zu dem Oxid-Halbleiterfilm, ist das chemische Potential von Sauerstoff relativ klein in dem Oxid-Halbleiterfilm und ist relativ groß in dem Isolierfilm.

**[0046]** Wenn die Temperatur der Gesamtheit der Systeme (z. B. hier des Oxid-Halbleiterfilms und des Isolierfilms, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht) hoch genug wird, damit mittels einer Wärmebehandlung bei dem Herstellungsprozess des Transistors eine Atomdiffusion in der Schicht und zwischen den Schichten bewirkt wird, wird Sauerstoff transportiert, um das chemische Potential zu vergleichmäßigen. Das heißt, dass Sauerstoff in dem Isolierfilm zu dem Oxid-Halbleiterfilm transportiert wird, wodurch das chemische Potential des Isolierfilms verringert wird und das chemische Potential des Oxid-Halbleiterfilms vergrößert wird.

**[0047]** Auf diese Weise wird Sauerstoff, der mittels der Sauerstoffdotierungsbehandlung als Überschuss dem Oxid-Halbleiterfilm zugeführt wird, diffundiert, um mittels der folgenden Wärmebehandlung dem Isolierfilm (einschließlich seiner Übergangsstelle) zugeführt zu werden, um zu bewirken, dass das chemische Potential der Systeme in einen Gleichgewichtszustand kommt. Daher kann in dem Fall, in dem genügend Sauerstoffüberschuss in dem Oxid-Halbleiterfilm vorhanden ist, bewirkt werden, dass der Isolierfilm (einschließlich seiner Übergangsstelle), der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, einen Sauerstoffüberschuss enthält.

**[0048]** Daher ist es vorteilhaft, Sauerstoff, dessen Menge groß genug (oder größer) ist, um einen Sauerstoffmangel in dem Isolierfilm oder der Übergangsstelle zu dem Isolierfilm zu kompensieren, dem Oxid-Halbleiterfilm zuzuführen.

**[0049]** Bei dem Transistor, der den Oxid-Halbleiterfilm aufweist, welcher aufgrund von Entziehung von Wasser oder Wasserstoff mittels einer Wärmebehandlung und aufgrund einer Sauerstoffdotierungsbehandlung für die Isolierfilme einen Sauerstoffüberschuss enthält, ist das Maß an Veränderung der Schwellspannung des Transistors von vor bis nach einem Vorspannungstemperatur-(bias-temperature BT-)Test klein, wodurch der hochzuverlässige Transistor, der stabile elektrische Eigenschaften aufweist, erhalten werden kann.

**[0050]** Nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung kann eine Vielzahl von Halbleitervorrichtungen, die hochzuverlässige Transistoren mit stabilen elektrischen Eigenschaften aufweisen, hergestellt werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0051]** In den beiliegenden Zeichnungen zeigen:

**[0052]** Fig. 1A bis Fig. 1C eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0053]** Fig. 2A bis Fig. 2G eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung;

**[0054]** Fig. 3A bis Fig. 3D jeweils eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0055]** Fig. 4A bis Fig. 4F eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung;

**[0056]** Fig. 5A bis Fig. 5C eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung;

**[0057]** Fig. 6A bis Fig. 6F eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung;

**[0058]** Fig. 7A bis Fig. 7C eine Querschnittansicht, eine Draufsicht bzw. ein Schaltschema einer Halbleitervorrichtung;

**[0059]** Fig. 8A bis Fig. 8C jeweils eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0060]** Fig. 9 eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0061]** Fig. 10 eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0062]** Fig. 11 eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

**[0063]** Fig. 12A und Fig. 12B eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung;

[0064] Fig. 13A und Fig. 13B ein elektronisches Gerät;

[0065] Fig. 14A bis Fig. 14F elektronische Geräte;

[0066] Fig. 15 SIMS-Messergebnisse eines mit Sauerstoff dotierten Silizium-Wafer;

[0067] Fig. 16A und Fig. 16B quergeschnittene STEM-Bilder; und

[0068] Fig. 17A und Fig. 17B eine Draufsicht und eine Querschnittansicht einer Plasmaeinrichtung.

#### Beste Methode zum Durchführen der Erfindung

[0069] Nachstehend werden Ausführungsformen der Erfindung, die in der vorliegenden Patentschrift offengelegt ist, mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben.

[0070] In der vorliegenden Patentschrift werden Ordnungszahlen, wie z. B. "erste", "zweite" und "dritte" verwendet, um eine Verwechslung der Komponenten zu vermeiden, und die Ausdrücke sind keine zahlenmäßige Einschränkung der Komponenten.

#### [Ausführungsform 1]

[0071] Bei dieser Ausführungsform werden eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen der Halbleitervorrichtung mit Bezug auf Fig. 1A bis Fig. 1C, Fig. 2A bis Fig. 2G und Fig. 3A bis Fig. 3D beschrieben.

#### <Aufbaubeispiel einer Halbleitervorrichtung>

[0072] Fig. 1A bis Fig. 1C zeigten ein Aufbaubeispiel eines Transistors 120. Hier zeigen Fig. 1A eine Draufsicht, Fig. 1B eine Querschnittansicht entlang A-B in Fig. 1A und Fig. 1C eine Querschnittansicht entlang C-D in Fig. 1A. Es sei darauf hingewiesen, dass einige der Komponenten des Transistors 120 (z. B. ein Gate-Isolierfilm 110) der Kürze halber in Fig. 1A weggelassen.

[0073] Der Transistor 120 in Fig. 1A bis Fig. 1C weist über einem Substrat 100 einen Isolierfilm 102, eine Source-Elektrode 104a, eine Drain-Elektrode 104b, einen Oxid-Halbleiterfilm 108, den Gate-Isolierfilm 110 und eine Gate-Elektrode 112 auf.

[0074] Bei dem Transistor 120 in Fig. 1A bis Fig. 1C ist der Isolierfilm 102 ein Film, der einer Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen worden ist. Aufgrund der Durchführung einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm 102 kann der Transistor 120 mit verbesserter Zuverlässigkeit erhalten werden.

#### <Beispiel für einen Herstellungsprozess einer Halbleitervorrichtung>

[0075] Ein Beispiel für einen Herstellungsprozess der Halbleitervorrichtung in Fig. 1A bis Fig. 1C wird nachstehend mit Bezug auf Fig. 2A bis Fig. 2G beschrieben.

[0076] Zuerst wird der Isolierfilm 102 über dem Substrat 100 ausgebildet (siehe Fig. 2A).

[0077] Es gibt keine besondere Einschränkung hinsichtlich eines Materials des Substrats 100, solange das Material zumindest eine Wärmebeständigkeit aufweist, die hoch genug ist, um einer später durchgeführten Wärmebehandlung standzuhalten. Beispielsweise kann ein Glassubstrat, ein Keramiksubstrat, ein Quarzsubstrat oder ein Saphirsubstrat als das Substrat 100 verwendet werden. Alternativ kann ein Einkristall-Halbleitersubstrat oder ein polykristallines Halbleitersubstrat aus Silizium, Siliziumkarbid oder dergleichen, ein Verbund-Halbleitersubstrat aus Siliziumgermanium oder dergleichen, ein SOI-Substrat oder dergleichen als das Substrat 100 verwendet werden. Als eine weitere Alternative kann jedes geeignete dieser Substrate, das ferner ein Halbleiterelement aufweist, als das Substrat 100 verwendet werden.

[0078] Ein flexibles Substrat kann alternativ als das Substrat 100 verwendet werden. Wenn ein Transistor über dem flexiblen Substrat vorgesehen ist, kann der Transistor direkt über dem flexiblen Substrat ausgebildet werden, oder der Transistor kann über einem anderen Substrat ausgebildet und dann getrennt werden, um zu dem flexiblen Substrat transferiert zu werden. Um den Transistor zu trennen und zu dem flexiblen Substrat zu transferieren, ist vorzugsweise eine Trennschicht zwischen dem anderen Substrat und dem Transistor ausgebildet.

**[0079]** Der Isolierfilm **102** dient als ein Basisfilm. Insbesondere kann der Isolierfilm **102** unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden. Der Isolierfilm **102** ist als Schichtstruktur unter Verwendung eines Isolierfilms, der jedes geeignete der oben genannten Materialien aufweist, ausgebildet.

**[0080]** Es gibt keine besondere Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Ausbilden des Isolierfilms **102**. Beispielsweise kann der Isolierfilm **102** mittels eines Abscheideverfahrens, wie z. B. eines Plasma-CVD-Verfahrens, oder eines Sputterverfahrens, ausgebildet werden. Ein Sputterverfahren wird hinsichtlich einer geringen Möglichkeit des Eintretens von Wasserstoff, Wasser und dergleichen bevorzugt.

**[0081]** Es sei darauf hingewiesen, dass es besonders bevorzugt ist, den Isolierfilm **102** unter Verwendung eines Isoliermaterials auszubilden, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des später ausgebildeten Oxid-Halbleiterfilms. Ein solches Material ist für einen Oxid-Halbleiterfilm geeignet; somit kann dann, wenn es für den Isolierfilm **102** verwendet wird, der Zustand der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm in einem günstigen Zustand gehalten werden. Hier bedeutet enthält "eine Komponente, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms" das Enthalten eines oder mehrerer Elemente, die aus den Bestandelementen des Oxid-Halbleiterfilms ausgewählt sind. Beispielsweise wird in dem Fall, in dem der Oxid-Halbleiterfilm unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Halbleitermaterials ausgebildet wird, ein Galliumoxid oder dergleichen als ein solches Isoliermaterial angegeben, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms.

**[0082]** Für den Isolierfilm **102** ist es ferner vorteilhaft, eine Schichtstruktur aus einem Film, der unter Verwendung eines Isoliermaterials ausgebildet wird, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (nachstehend als ein Film a bezeichnet), und einem Film zu verwenden, der ein anderes Material als ein Bestandmaterial des Films a enthält (nachstehend als ein Film b bezeichnet). Der Grund dafür ist wie folgt. Wenn der Isolierfilm **102** eine solche Struktur aufweist, bei der der Film a und der Film b von der Oxid-Halbleiterfilm-Seite aus sequentiell gestapelt sind, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Film a und dem Film b eingefangen (im Vergleich zu der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Film a). Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung führt.

**[0083]** Es sei darauf hingewiesen, dass als eine solche Schichtstruktur eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden kann.

**[0084]** Als Nächstes wird der Isolierfilm **102** einer Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180** (auch als Sauerstoffdotierungsbehandlung oder Sauerstoffplasmadotierungs-Behandlung bezeichnet) unterzogen (siehe Fig. 2B). Hier enthält der Sauerstoff **180** ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion. Aufgrund der Durchführung einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm **102** kann Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** enthalten sein, und Sauerstoff kann in einem von beiden oder beiden des Oxid-Halbleiterfilms **108**, der später ausgebildet wird, und/oder der Nähe der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten sein. In diesem Fall ist die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer als das stöchiometrische Verhältnis des Isolierfilms **102** oder ist bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als vier Mal das stöchiometrische Verhältnis, stärker bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Alternativ kann die Menge an Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** größer sein als Y oder kann vorzugsweise größer als Y und kleiner als 4Y sein, wobei die Menge an Sauerstoff in dem Fall, in dem das Material des Isolierfilms **102** ein Einkristall ist, Y ist. Bei einer weiteren Alternative kann die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer sein als Z und kann vorzugsweise größer als Z oder kleiner als 4Z sein auf der Basis der Menge an Sauerstoff Z in dem Isolierfilm in dem Fall, in dem keine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt wird.

**[0085]** Beispielsweise kann in dem Fall, in dem Galliumoxid, dessen Zusammensetzung von  $\text{GaO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, da ein Einkristall von Galliumoxid  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ist, x größer als 1,5 und kleiner als 6 sein (d. h. die Menge an O ist größer als 1,5 Mal die an Ga und kleiner als 6 Mal die an Ga). Alternativ ist beispielsweise in dem Fall, in dem Siliziumoxid, dessen Zusammensetzung durch  $\text{SiO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, dann, wenn  $\text{SiO}_2$  (d. h. die Menge an O ist doppelt so groß wie die an Si) verwendet wird, x größer als 2 und kleiner als 8 (d. h. die Menge an O ist größer als die doppelte Menge an Si und kleiner als 8 Mal die an Si). Es sei darauf hingewiesen, dass eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss in einem Teil des Isolierfilms (einschließlich seiner Übergangsstelle) vorhanden sein kann.

**[0086]** In dem Oxid-Halbleiterfilm ist Sauerstoff eines der Haupt-Bestandmaterialien. Somit ist es schwierig, die Sauerstoffkonzentration des Oxid-Halbleiterfilms mittels eines Verfahrens, wie z. B. der sekundären Ionenmassenspektrometrie (SIMS), genau zu ermitteln. Mit anderen Worten: es kann gesagt werden, dass es schwierig ist zu bestimmen, ob Sauerstoff absichtlich zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt worden ist.

**[0087]** Isotope, wie z. B.  $O^{17}$  oder  $O^{18}$  sind in Sauerstoff vorhanden, und es ist bekannt, dass ihre in der Natur vorhandenen Verhältnisse ungefähr 0,038 % und ungefähr 0,2 % all dieser Sauerstoffatome betragen. Das heißt, dass es möglich ist, die Konzentrationen dieser Isotope in dem Oxid-Halbleiterfilm mittels eines Verfahrens, wie z. B. SIMS, zu messen; daher kann die Sauerstoffkonzentration des Oxid-Halbleiterfilms durch Messen der Konzentrationen dieser Isotope genauer ermittelt werden. Somit können die Konzentrationen dieser Isotope gemessen werden, um zu bestimmen, ob Sauerstoff absichtlich zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt worden ist.

**[0088]** Beispielsweise ist dann, wenn die Konzentration von  $O^{18}$  als Referenz verwendet wird,  $D1(O^{18}) > D2(O^{18})$  erfüllt, wobei  $D1(O^{18})$  die Konzentration eines Isotops von Sauerstoff in einer Region des mit Sauerstoff dotierten Oxid-Halbleiterfilms ist und  $D2(O^{18})$  die Konzentration eines Isotops von Sauerstoff in einer Region des Oxid-Halbleiterfilms ist, die nicht mit Sauerstoff dotiert ist.

**[0089]** Es wird bevorzugt, dass zumindest ein Teil des Sauerstoffs **180**, der zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird, offene Bindungen in dem Oxid-Halbleiterfilm aufweist, nachdem er zu dem Halbleiter hinzugefügt worden ist. Der Grund dafür ist, dass solche offenen Bindungen mit Wasserstoff verbunden werden, der in dem Film verbleibt, so dass Wasserstoff fixiert werden kann (zu unbeweglichen Ionen gemacht wird).

**[0090]** Der Sauerstoff **180** kann von einer Plasmaerzeugungseinrichtung oder einer Ozonerzeugungseinrichtung erzeugt werden. Insbesondere wird beispielsweise eine Einrichtung, die in der Lage ist, eine Halbleitervorrichtung zu ätzen, eine Einrichtung, die in der Lage ist, eine Resist-Maske zu veraschen, oder dergleichen zum Erzeugen des Sauerstoffs **180** verwendet, und der Isolierfilm **102** kann bearbeitet werden.

**[0091]** Es sei darauf hingewiesen, dass bevorzugt wird, eine elektrische Vorspannung an das Substrat anzulegen, um eine Sauerstoffdotierung besser durchzuführen.

**[0092]** Als Nächstes wird ein leitender Film zum Ausbilden der Source-Elektrode und der Drain-Elektrode (einschließlich einer Verdrahtung, die in derselben Schicht ausgebildet ist wie die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode) über dem Isolierfilm **102** ausgebildet und bearbeitet, um die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** auszubilden (siehe Fig. 2C). Es sei darauf hingewiesen, dass die Kanallänge  $L$  des Transistors von der Distanz zwischen den Rändern der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b**, die hier ausgebildet sind, bestimmt wird.

**[0093]** Als der leitende Film, der für die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** verwendet wird, kann ein Metallfilm, der ein Element ausgewählt aus Al, Cr, Cu, Ta, Ti, Mo und W enthält, ein Metalloxidfilm, der jedes geeignete der oben genannten Elemente als seine Komponente enthält (z. B. ein Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm oder ein Wolframnitridfilm) oder dergleichen verwendet werden. Alternativ kann ein leitender Film verwendet werden, bei dem ein einen hohen Schmelzpunkt aufweisender Metallfilm aus Ti, Mo, W oder dergleichen oder ein Metallnitridfilm aus jedem geeigneten dieser Elemente (ein Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm oder ein Wolframnitridfilm) auf einer oder beiden einer unteren Seite und einer oberen Seite eines Metallfilms aus Al, Cu oder dergleichen gestapelt sein kann.

**[0094]** Alternativ kann der leitende Film, der für die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** verwendet wird, unter Verwendung eines leitenden Metalloxids ausgebildet werden. Als das leitende Metalloxid kann Indiumoxid, Zinnoxid, Zinkoxid, ein aus Indiumoxid-Zinnoxid gemischtes Oxid (abgekürzt zu ITO), ein aus Indiumoxid-Zinkoxid gemischtes Oxid oder jedes geeignete dieser Metalloxidmaterialien, das Siliziumoxid enthält, verwendet werden.

**[0095]** Der leitende Film kann durch Ätzen unter Verwendung einer Resist-Maske bearbeitet werden. Ultraviolett, ein KrF-Laserlicht, ein ArF-Laserlicht oder dergleichen wird vorzugsweise für die Belichtung zum Ausbilden einer zum Ätzen vorgesehenen Resist-Maske verwendet.

**[0096]** In dem Fall, in dem die Kanallänge  $L$  kleiner ist als 25 nm, wird die Belichtung zum Zeitpunkt des Ausbildens der Resist-Maske vorzugsweise unter Verwendung von beispielsweise extremem Ultraviolett mit einer extrem kurzen Wellenlänge von mehreren Nanometern bis zu mehreren zehn Nanometern durchgeführt.

Bei der Belichtung unter Verwendung von extremem Ultraviolett ist die Auflösung hoch und die Fokustiefe groß. Somit kann die Kanallänge  $L$  des Transistors, der später ausgebildet wird, verringert werden, wodurch die Arbeitsgeschwindigkeit einer Schaltung erhöht werden kann.

**[0097]** Ein Ätzschritt kann unter Verwendung einer Resist-Maske, die mittels einer sogenannten Mehrton-Maske ausgebildet wird, durchgeführt werden. Eine Resist-Maske, die unter Verwendung einer Mehrton-Maske ausgebildet wird, weist eine Vielzahl von Dicken auf und kann ferner durch Veraschung in der Form verändert werden; somit kann eine solche Resist-Maske in einer Vielzahl von Ätzschritten für unterschiedliche Muster verwendet werden. Daher kann eine Resist-Maske für mindestens zwei Arten von Mustern unter Verwendung einer Mehrton-Maske ausgebildet werden, was zu einer Vereinfachung des Prozesses führt.

**[0098]** Als Nächstes wird ein Oxid-Halbleiterfilm, der mit der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** in Kontakt steht, über dem Isolierfilm **102** ausgebildet, und dann wird der Oxid-Halbleiterfilm bearbeitet, um einen inselförmigen Oxid-Halbleiterfilm **106** auszubilden (siehe **Fig. 2D**).

**[0099]** Der Oxid-Halbleiterfilm wird vorzugsweise mittels eines Verfahrens ausgebildet, bei dem Wasserstoff, Wasser und dergleichen nicht leicht in den Film eintreten, wie z. B. eines Sputterverfahrens. Die Dicke des Oxid-Halbleiterfilms ist vorzugsweise größer als oder gleich 3 nm und kleiner als oder gleich 30 nm. Der Grund dafür ist, dass der Transistor möglicherweise selbstleitend sein kann, wenn der Oxid-Halbleiterfilm zu dick ist (z. B. die Dicke 50 nm oder mehr beträgt).

**[0100]** Als ein Material des Oxid-Halbleiterfilms kann beispielsweise ein Oxid-Halbleitermaterial, das Indium enthält, oder ein Oxid-Halbleitermaterial, das Indium und Gallium enthält, verwendet werden.

**[0101]** Als ein Material des Oxid-Halbleiterfilms kann jedes der folgenden Materialien verwendet werden: ein Vierkomponenten-Metalloxid, wie z. B. ein auf In-Sn-Ga-Zn-O basierendes Material; Dreikomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-Ga-Zn-O basierendes Material, ein auf In-Sn-Zn-O basierendes Material, ein auf In-Al-Zn-O basierendes Material, ein auf Sn-Ga-Zn-O basierendes Material, ein auf Al-Ga-Zn-O basierendes Material und ein auf Sn-Al-Zn-O basierendes Material; Zweikomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-Zn-O basierendes Material, ein auf Sn-Zn-O basierendes Material, ein auf Al-Zn-O basierendes Material, ein auf Zn-Mg-O basierendes Material, ein auf Sn-Mg-O basierendes Material, ein auf In-Mg-O basierendes Material und ein auf In-Ga-O basierendes Material; und Einkomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-O basierendes Material, ein auf Sn-O basierendes Material und ein auf Zn-O basierendes Material. Ferner können die oben genannten Materialien Siliziumoxid enthalten. Hier bedeutet beispielsweise ein auf In-Ga-Zn-O basierendes Material einen Oxidfilm, der Indium (In), Gallium (Ga) und Zink (Zn) enthält, und es gibt keine besondere Einschränkung hinsichtlich seines Zusammensetzungsverhältnisses. Ferner kann das auf In-Ga-Zn-O basierende Material ein weiteres Element zusätzlich zu In, Ga und Zn enthalten.

**[0102]** Der Oxid-Halbleiterfilm kann ein Dünnschicht sein, der unter Verwendung eines Materials ausgebildet wird, das von der chemischen Formel  $\text{InMO}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m > 0$ ) dargestellt wird. Hier bedeutet M ein oder mehrere Metallelemente ausgewählt aus Ga, Al, Mn und Co. Beispielsweise kann M Ga, Ga und Al, Ga und Mn, Ga und Co oder dergleichen sein.

**[0103]** Bei dieser Ausführungsform wird der Oxid-Halbleiterfilm mittels eines Sputterverfahrens unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Target ausgebildet.

**[0104]** Als das auf In-Ga-Zn-O basierende Oxid-Target kann beispielsweise ein Oxid-Target mit einem Zusammensetzungsverhältnis von  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 1:1:1$  [Molverhältnis] verwendet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass es nicht erforderlich ist, das Material und das Zusammensetzungsverhältnis des Target auf die oben genannten zu beschränken. Beispielsweise kann alternativ ein Oxid-Target mit einem Zusammensetzungsverhältnis von  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 1:1:2$  [Molverhältnis] verwendet werden.

**[0105]** In dem Fall, in dem ein auf In-Zn-O basierendes Material für den Oxid-Halbleiter verwendet wird, wird ein Target mit dem folgenden Zusammensetzungsverhältnis verwendet: das Zusammensetzungsverhältnis von In:Zn ist 50:1 bis 1:2 in einem Atomverhältnis ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 25:1$  bis 1:4 in einem Molarverhältnis), vorzugsweise 20:1 bis 1:1 in einem Atomverhältnis ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 10:1$  bis 2:1 in einem Molarverhältnis), stärker bevorzugt 1,5:1 bis 15:1 in einem Atomverhältnis ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 3:4$  bis 15:2 in einem Molarverhältnis). Beispielsweise hat ein Target, das für das Ausbilden eines auf In-Zn-O basierenden Halbleiters verwendet wird, das folgende Atomverhältnis: In:Zn:O ist X:Y:Z, wobei  $Z > 1,5X + Y$  ist.

**[0106]** Die Füllmenge des Oxid-Target ist höher als oder gleich 90 % und niedriger als oder gleich 100 %, vorzugsweise höher als oder gleich 95 % und niedriger als oder gleich 99,9 %. Bei Verwendung des Metalloxid-Target mit einer hohen Füllmenge kann ein dichter Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet werden.

**[0107]** Die Abscheideatmosphäre kann eine Edelgas-(typischerweise Argon-)Atmosphäre, eine Sauerstoffatmosphäre oder eine Mischatmosphäre sein, die ein Edelgas und Sauerstoff enthält. Ferner wird bevorzugt, dass eine Atmosphäre verwendet wird, bei der ein hochreines Gas verwendet wird, in dem Fremdatome, die Wasserstoffatome enthalten, wie z. B. Wasserstoff, Wasser, eine Verbindung mit einer Hydroxyl-Gruppe und ein Hydrid, entfernt werden, da das Eintreten von Wasserstoff, Wasser, einer Verbindung mit einer Hydroxyl-Gruppe und eines Hydrids in den Oxid-Halbleiterfilm verhindert werden kann.

**[0108]** Insbesondere kann beispielsweise der Oxid-Halbleiterfilm wie folgt ausgebildet werden. Zuerst wird das Substrat **100** in einer Abscheidekammer platziert, die unter einem reduzierten Druck gehalten wird, und die Substrattemperatur wird auf eine Temperatur eingestellt, die höher als oder gleich 100 °C und niedriger als oder gleich 600 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 200 °C und niedriger als oder gleich 400 °C. Der Grund dafür ist, dass die Konzentration eines Fremdatoms, das in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, verringert werden kann, wenn eine Abscheidung durchgeführt wird, während das Substrat **100** erwärmt wird. Der Grund dafür ist auch, dass eine Beschädigung aufgrund von Sputtern verringert werden kann.

**[0109]** Dann wird ein hochreines Gas, in dem Fremdatome, die Wasserstoffatome enthalten, wie z. B. Wasserstoff und Feuchtigkeit, in ausreichendem Maße entfernt werden, in die Abscheidekammer eingeleitet, aus der verbleibende Feuchtigkeit entfernt wird, und der Oxid-Halbleiterfilm wird unter Verwendung des Target über dem Substrat **100** ausgebildet. Zum Entfernen von Feuchtigkeit, die in der Abscheidekammer verbleibt, wird vorzugsweise eine Einfang-Vakuumpumpe, wie z. B. eine Kryopumpe, eine Ionenpumpe oder eine Titan-Sublimationspumpe als eine Entleerungseinheit verwendet. Ferner kann eine Entleerungseinrichtung eine Turbo-Molekularpumpe sein, die eine Kühlfalle aufweist. In der Abscheidekammer, die mit der Kryopumpe entleert wird, werden ein Wasserstoffmolekül, eine Verbindung, die ein Wasserstoffatom enthält, wie z. B. Wasser (H<sub>2</sub>O) (ferner vorzugsweise auch eine Verbindung, die ein Kohlenstoffatom enthält) und dergleichen entfernt, wodurch die Konzentration eines Fremdatoms in dem Oxid-Halbleiterfilm, der in der Abscheidekammer ausgebildet wird, verringert werden kann.

**[0110]** Es folgt ein Beispiel für die Abscheidebedingungen: die Distanz zwischen dem Substrat und dem Target beträgt 100 mm, der Druck beträgt 0,6 Pa, die Gleichstrom-(direct current DC-)Leistung beträgt 0,5 kW und die Abscheideatmosphäre ist eine Sauerstoffatmosphäre (die Strömungsmenge des Sauerstoffs beträgt 100 %). Es sei darauf hingewiesen, dass eine Impuls-Gleichstromleistungsquelle bevorzugt wird, da eine Erzeugung von pulverförmigen Substanzen (auch als Partikel oder Staub bezeichnet) bei der Abscheidung unterbunden werden kann und die Dickenverteilung gleichförmig sein kann.

**[0111]** Der Oxid-Halbleiterfilm kann auf eine solche Weise bearbeitet werden, dass eine Maske, die eine gewünschte Form aufweist, über dem Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet wird und dann der Oxid-Halbleiterfilm geätzt wird. Die Maske kann mittels eines Verfahrens, wie z. B. Fotolithografie oder eines Tintenstrahlverfahrens, ausgebildet werden.

**[0112]** Für das Ätzen des Oxid-Halbleiterfilms kann entweder Nassätzen oder Trockenätzen angewendet werden. Es braucht nicht darauf hingewiesen zu werden, dass beide Verfahren in Kombination angewendet werden können.

**[0113]** Danach wird eine Wärmebehandlung an dem Oxid-Halbleiterfilm **106** durchgeführt, so dass der hochreine Oxid-Halbleiterfilm **108** ausgebildet wird (siehe Fig. 2E). Wasserstoff (einschließlich Wasser und einer Hydroxyl-Gruppe) in dem Oxid-Halbleiterfilm **106** wird durch die Wärmebehandlung entfernt, und die Struktur des Oxid-Halbleiterfilms wird umgestaltet, so dass Fehlerpegel in einer Energielücke verringert werden können. Die Wärmebehandlung wird bei einer Temperatur durchgeführt, die höher als oder gleich 250 °C und niedriger als oder gleich 650 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 450 °C und niedriger als oder gleich 600 °C oder niedriger als die Entspannungsgrenze des Substrats.

**[0114]** Die Wärmebehandlung kann beispielsweise auf eine solche Weise durchgeführt werden, dass ein zu bearbeitendes Objekt in einen Elektroofen eingebracht wird, in dem ein Widerstandsheizelement oder dergleichen verwendet wird, und in einer Stickstoffatmosphäre bei 450 °C eine Stunde lang erwärmt wird. Bei der Wärmebehandlung ist der Oxid-Halbleiterfilm **106** nicht der Luft ausgesetzt, um das Eintreten von Wasser und Wasserstoff zu verhindern.

**[0115]** Eine Wärmebehandlungseinrichtung ist nicht auf einen Elektroofen beschränkt und kann eine Einrichtung zum Erwärmen eines Objekts mittels thermischer Strahlung oder thermischer Leitung von einem Medium, wie z. B. einem erwärmten Gas, sein. Beispielsweise können eine RTA-(rapid thermal anneal = Kurzzeittemper-)Einrichtung, wie z. B. eine LRTA-(lamp rapid thermal anneal = Lampen-Kurzzeittemper-)Einrichtung oder eine GRTA-(gas rapid thermal anneal = Gas-Kurzzeittemper-)Einrichtung verwendet werden. Eine LRTA-Einrichtung ist eine Einrichtung zum Erwärmen eines zu bearbeitenden Objekts durch Lichtstrahlung (eine elektromagnetische Welle), die von einer Lampe emittiert wird, wie z. B. einer Halogenlampe, einer Metall-Halogenid-Lampe, einer Xenonbogenlampe, einer Kohlebogenlampe, einer Hochdruck-Natriumlampe oder einer Hochdruck-Quersilberlampe. Eine GRTA-Einrichtung ist eine Einrichtung zum Durchführen einer Wärmebehandlung unter Verwendung eines Hochtemperaturgases.

**[0116]** Beispielsweise kann als die Wärmebehandlung eine GRTA-Behandlung wie folgt durchgeführt werden. Das Objekt wird in eine Inertgasatmosphäre, die erwärmt worden ist, eingebracht, mehrere Minuten lang erwärmt und dann aus der Inertgasatmosphäre herausgenommen. Eine GRTA-Behandlung ermöglicht eine Hochtemperatur-Wärmebehandlung in einer kurzen Zeit. Ferner kann eine GRTA-Behandlung selbst dann angewendet werden, wenn die Temperatur die obere Temperaturgrenze des Objekts übersteigt. Es sei darauf hingewiesen, dass das Inertgas während der Behandlung zu einem gashaltigen Sauerstoff umgeschaltet werden kann. Der Grund dafür ist, dass die Anzahl von Fehlerpegeln in einer Energielücke aufgrund eines Sauerstoffdefizits durch Durchführen der Wärmebehandlung in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre verringert werden kann.

**[0117]** Es sei darauf hingewiesen, dass als die Inertgasatmosphäre vorzugsweise eine Atmosphäre, die Stickstoff oder ein Edelgas (z. B. Helium, Neon oder Argon) als ihre Hauptkomponente enthält und kein Wasser, Wasserstoff oder dergleichen enthält, verwendet wird. Beispielsweise ist die Reinheit von Stickstoff oder einem Edelgas, wie z. B. Helium, Neon oder Argon, das in eine Wärmebehandlungseinrichtung eingebracht wird, größer als oder gleich 6 N (99,9999 %), vorzugsweise größer als oder gleich 7 N (99,99999 %) (das heißt, dass die Konzentration der Fremdatome kleiner als oder gleich 1 ppm, vorzugsweise kleiner als oder gleich 0,1 ppm ist).

**[0118]** In jedem Fall wird der i-(Intrinsic / Intrinsisch-) oder im Wesentlichen i-Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet, bei dem Fremdatome durch die Wärmebehandlung entfernt werden, wodurch ein Transistor mit außerordentlich ausgezeichneten Eigenschaften realisiert werden kann.

**[0119]** Die oben beschriebene Wärmebehandlung kann aufgrund ihres vorteilhaften Effekts des Entfernens von Wasserstoff, Wasser oder dergleichen als eine Behandlung zum Entziehen von Wasser, eine Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff oder dergleichen bezeichnet werden. Die Behandlung zum Entziehen von Wasser oder die Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff kann zu dem Zeitpunkt beispielsweise vor der Bearbeitung des Oxid-Halbleiterfilms zum Erhalten einer Inselform durchgeführt werden. Eine solche Behandlung zum Entziehen von Wasser oder eine Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff kann einmal oder mehrmals durchgeführt werden.

**[0120]** Dann wird der Gate-Isolierfilm **110** so ausgebildet, dass er mit dem Oxid-Halbleiterfilm **108** in Kontakt steht, um die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** zu bedecken (siehe **Fig. 2F**).

**[0121]** Der Gate-Isolierfilm **110** kann auf eine ähnliche Weise ausgebildet werden wie der Isolierfilm **102**. Das heißt, dass der Gate-Isolierfilm **110** unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden kann. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Material, das eine hohe dielektrische Konstante aufweist, wie z. B. Hafniumoxid, Tantaloxid, Yttriumoxid, Hafniumsilikat ( $\text{HfSi}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), Hafniumsilikat ( $\text{HfSi}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), zu dem Stickstoff hinzugefügt wird, oder Hafniumaluminat ( $\text{HfAl}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), zu dem Stickstoff hinzugefügt wird, für den Gate-Isolierfilm **110** verwendet werden kann unter Berücksichtigung der Funktion des Gate-Isolierfilms des Transistors.

**[0122]** Wie im Falle des Isolierfilms **102** kann eine Schichtstruktur verwendet werden. In diesem Fall wird bevorzugt, eine Schichtstruktur aus einem Film, der unter Verwendung eines Isoliermaterials ausgebildet wird, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (nachstehend als ein Film a bezeichnet), und einem Film zu verwenden, der ein anderes Material als ein Bestandteil des Films a enthält (nachstehend als ein Film b bezeichnet). Der Grund dafür ist wie folgt. Wenn der Isolierfilm **110** eine solche Struktur aufweist, bei der der Film a und der Film b von der Oxid-Halbleiterfilm-Seite aus sequentiell gestapelt sind, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Film a und

dem Film b eingefangen (im Vergleich zu der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Film a). Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung führt.

**[0123]** Es sei darauf hingewiesen, dass als eine solche Schichtstruktur eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden kann.

**[0124]** Eine Wärmebehandlung wird vorzugsweise nach dem Ausbilden des Gate-Isolierfilms **110** durchgeführt. Die Wärmebehandlung wird bei einer Temperatur durchgeführt, die höher als oder gleich 250 °C und niedriger als oder gleich 700 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 450 °C und niedriger als oder gleich 600 °C oder niedriger als die Spannungsgrenze des Substrats.

**[0125]** Die Wärmebehandlung kann in einer Atmosphäre von Stickstoff, Sauerstoff, einer ultratrockenen Luft (der Feuchtigkeitsgehalt ist niedriger als oder gleich 20 ppm (–55 °C durch Umwandeln in einen Taupunkt), bevorzugt niedriger als oder gleich 1 ppm, stärker bevorzugt niedriger als oder gleich 10 ppb bei der Messung unter Verwendung eines Taupunktmessers eines Cavity Ringdown-Laserspektroskopie-(CRDS-)Systems) oder einem Edelgas (Argon, Helium oder dergleichen) durchgeführt werden. Die Atmosphäre von Stickstoff, Sauerstoff, der ultratrockenen Luft oder dem Edelgas enthält vorzugsweise ein Fremdatom von Wasser, Wasserstoff oder dergleichen in einer so niedrigen Menge wie möglich. Die Reinheit von Stickstoff, Sauerstoff oder dem Edelgas, das in die Wärmebehandlungseinrichtung eingebracht wird, wird bevorzugt auf 6 N (99,9999 %) oder höher, stärker bevorzugt 7 N (99,99999 %) oder höher eingestellt (das heißt, die Fremdatomkonzentration beträgt bevorzugt 1 ppm oder weniger, stärker bevorzugt 0,1 ppm oder weniger).

**[0126]** Die Wärmebehandlung nach dieser Ausführungsform wird durchgeführt, während der Oxid-Halbleiterfilm **108** und der Gate-Isolierfilm **110** miteinander in Kontakt stehen. Somit kann Sauerstoff, der aufgrund der Behandlung zum Entziehen von Wasser (oder zum Entziehen von Wasserstoff) reduziert werden kann, dem Oxid-Halbleiterfilm **108** zugeführt werden. In diesem Sinne kann die Wärmebehandlung auch als Zuführen von Sauerstoff bezeichnet werden.

**[0127]** Es sei darauf hingewiesen, dass es keine besondere Einschränkung hinsichtlich des Zeitpunkts der Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff gibt, solange sie nach dem Ausbilden des Oxid-Halbleiterfilms **108** erfolgt. Beispielsweise kann die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode durchgeführt werden. Die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff kann nach der Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen durchgeführt werden; die Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen kann auch als die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff dienen; die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff kann auch als Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen dienen.

**[0128]** Wie oben beschrieben ist, werden die Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen und eine Sauerstoffdotierungsbehandlung oder die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff angewendet, wodurch der Oxid-Halbleiterfilm **108** hochgereinigt werden kann, um so wenige Fremdatome wie möglich zu enthalten. Der hochreine Oxid-Halbleiterfilm **108** enthält extrem wenige (nahe null) Träger, die von einem Donator stammen.

**[0129]** Dann wird die Gate-Elektrode **112** ausgebildet (siehe **Fig. 2G**). Die Gate-Elektrode **112** kann unter Verwendung eines Metallmaterials, wie z. B. Molybdän, Titan, Tantal, Wolfram, Aluminium, Kupfer, Neodym oder Skandium oder einem Legierungsmaterial, das jedes geeignete dieser Materialien enthält, als ihre Hauptkomponente ausgebildet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Gate-Elektrode **112** eine einschichtige Struktur oder eine Schichtstruktur aufweisen kann.

**[0130]** Es sei darauf hingewiesen, dass ein Isolierfilm nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode **112** ausgebildet werden kann. Der Isolierfilm kann unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden. Insbesondere wird ein Siliziumnitridfilm als der Isolierfilm bevorzugt, da verhindert werden kann, dass hinzugefügter Sauerstoff nach außen freigegeben wird, und es kann auf effektive Weise verhindert werden, dass Wasserstoff oder dergleichen von außen in den Oxid-Halbleiterfilm **108** eintritt. Eine Verdrahtung, die mit der Source-Elektrode **104a**, der Drain-Elektrode **104b**, der Gate-Elektrode **112** oder dergleichen verbunden ist, kann ausgebildet werden.

[0131] Mittels des oben beschriebenen Prozesses wird der Transistor **120** ausgebildet.

[0132] Es sei darauf hingewiesen, dass die vorstehende Beschreibung ein Beispiel ist, bei dem eine Sauerstoffdotierungsbehandlung an der gesamten Fläche des Isolierfilms **102** durchgeführt wird; eine Ausführungsform der offengelegten Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann eine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt werden, nachdem die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** ausgebildet worden sind. In diesem Fall werden eine Region mit hoher Sauerstoffkonzentration und eine Region mit niedriger Sauerstoffkonzentration in dem Isolierfilm **102** ausgebildet.

<Modifiziertes Beispiel für eine Halbleitervorrichtung>

[0133] Fig. 3A bis Fig. 3D zeigen Querschnittansichten eines Transistors **130**, eines Transistors **140**, eines Transistors **150** und eines Transistors **160** als modifizierte Beispiele des Transistors **120** in Fig. 1A bis Fig. 1C.

[0134] Der Transistor **130** in Fig. 3A ist dahingehend der gleiche wie der Transistor **120**, dass er den Isolierfilm **102**, die Source-Elektrode **104a**, die Drain-Elektrode **104b**, den Oxid-Halbleiterfilm **108**, den Gate-Isolierfilm **110** und die Gate-Elektrode **112** aufweist. Der Unterschied zwischen dem Transistor **130** und dem Transistor **120** ist das Vorhandensein des Isolierfilms **114**, der die oben genannten Komponenten bedeckt. Das heißt, dass der Transistor **130** den Isolierfilm **114** aufweist. Die anderen Komponenten sind die gleichen wie die des Transistors **120** in Fig. 1A bis Fig. 1C; somit kann bezüglich der Details dieser Komponenten auf die Beschreibung von Fig. 1A bis Fig. 1C Bezug genommen werden.

[0135] Wie in Fig. 2G dargestellt ist, kann der Isolierfilm **114** unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden. Insbesondere wird ein Siliziumnitridfilm als der Isolierfilm bevorzugt, da verhindert werden kann, dass hinzugefügter Sauerstoff nach außen freigegeben wird, und es kann auf effektive Weise verhindert werden, dass Wasserstoff oder dergleichen von außen in den Oxid-Halbleiterfilm **108** eintritt.

[0136] Der Transistor **140** in Fig. 3B ist dahingehend der gleiche wie der Transistor **120** in Fig. 1A bis Fig. 1C, dass er die oben genannten Komponenten aufweist. Der Unterschied zwischen dem Transistor **140** und dem Transistor **120** besteht in der Stapelfolge der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** und des Oxid-Halbleiterfilms **108**. Das heißt, dass bei dem Transistor **120** die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** vor dem Ausbilden des Oxid-Halbleiterfilms **108** ausgebildet werden, wohingegen bei dem Transistor **140** der Oxid-Halbleiterfilm **108** vor dem Ausbilden der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** ausgebildet wird. Die anderen Komponenten sind die gleichen wie die in Fig. 1A bis Fig. 1C. Es sei darauf hingewiesen, dass der Transistor **140** wie der Transistor **130** den Isolierfilm **114** aufweisen kann.

[0137] Der Transistor **150** in Fig. 3C ist dahingehend der gleiche wie der Transistor **120** in Fig. 1A bis Fig. 1C, dass er die oben genannten Komponenten aufweist, wobei für den Transistor **150** in Fig. 3C explizit ein Stapel aus einem Isolierfilm **102a** und einem Isolierfilm **102b** gezeigt ist. Die anderen Komponenten sind die gleichen wie diejenigen in Fig. 3B.

[0138] Wenn die Schichtstruktur aus dem Isolierfilm **102a** und dem Isolierfilm **102b** auf diese Weise verwendet wird, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Isolierfilm **102a** und dem Isolierfilm **102b** eingefangen. Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms **108** in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit einer Halbleitervorrichtung führt.

[0139] Es sei darauf hingewiesen, dass es bevorzugt wird, den Isolierfilm **102b** unter Verwendung eines Isoliermaterials auszubilden, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms **108**, und den Isolierfilm **102a** mit einem anderen Material auszubilden als dem Bestandmaterial des Isolierfilms **102b**. Beispielsweise wird in dem Fall, in dem der Oxid-Halbleiterfilm **108** unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Halbleitermaterials ausgebildet wird, Galliumoxid oder dergleichen als ein solche Isoliermaterial angegeben, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms **108**. In diesem Fall kann eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0140] Der Transistor **160** in Fig. 3D ist dahingehend der gleiche wie der Transistor **120** in Fig. 1A bis Fig. 1C, dass er die oben genannten Komponenten aufweist, wobei für den Transistor **160** ein Stapel aus dem Isolierfilm

**102a** und dem Isolierfilm **102b** und ein Stapel aus einem Gate-Isolierfilm **110a** und einem Gate-Isolierfilm **110b** explizit gezeigt sind. Die anderen Komponenten sind die gleichen wie die in **Fig. 1A** bis **Fig. 1C**.

**[0141]** Wenn die Schichtstruktur aus dem Isolierfilm **102a** und dem Isolierfilm **102b** und die Schichtstruktur aus dem Gate-Isolierfilm **110a** und dem Gate-Isolierfilm **110b** verwendet werden, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Isolierfilm **102a** und dem Isolierfilm **102b** und der Übergangsstelle zwischen dem Gate-Isolierfilm **110a** und dem Gate-Isolierfilm **110b** eingefangen. Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms **108** in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung führt.

**[0142]** Es sei darauf hingewiesen, dass jeder des Isolierfilms **102b** und des Gate-Isolierfilms **110a** (das heißt, der Isolierfilme, die mit dem Oxid-Halbleiterfilm **108** in Kontakt stehen) unter Verwendung eines Isoliermaterials ausgebildet sind, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms **108**, und der Isolierfilm **102a** und der Gate-Isolierfilm **110b** andere Materialien enthalten als die Bestandmaterialien des Isolierfilms **102b** bzw. des Gate-Isolierfilms **110a**. Beispielsweise wird in dem Fall, in dem der Oxid-Halbleiterfilm **108** unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Halbleitermaterials ausgebildet ist, Galliumoxid oder dergleichen als ein solches Isoliermaterial angegeben, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms **108**. In diesem Fall kann eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden.

**[0143]** Der Transistor nach dieser Ausführungsform weist einen hochreinen i-(Intrinsic-)Oxid-Halbleiterfilm auf, der auf eine solche Weise erhalten wird, dass ein Fremdatom, einschließlich eines Wasserstoffatoms, wie z. B. Wasserstoff, Wasser, eine Hydroxyl-Gruppe und Hydrid (auch als eine Wasserstoffverbindung bezeichnet), durch eine Wärmebehandlung aus einem Oxid-Halbleiter entfernt wird, und Sauerstoff, der in einem Schritt zum Entfernen eines Fremdatoms reduziert werden kann, wird zugeführt. Bei dem Transistor, der den Oxid-Halbleiterfilm aufweist, welcher auf die oben beschriebene Weise hochgereinigt wird, ist eine Änderung der elektrischen Eigenschaften, wie z. B. einer Schwellspannung, unterbunden, und er ist elektrisch stabil.

**[0144]** In dem Fall, in dem ein Oxid-Halbleitermaterial, das In enthält, dessen Bindefestigkeit mit Sauerstoff relativ schwach ist, für den Oxid-Halbleiterfilm verwendet wird, kann dann, wenn der Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, ein Material enthält, das eine stärkere Bindefestigkeit mit Sauerstoff aufweist, wie z. B. Silizium, Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Wärmebehandlung abgezogen werden, was ein Auftreten eines Sauerstoffdefizits in der Nähe der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms bewirken kann. Bei einem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung kann jedoch das Auftreten eines Sauerstoffdefizits aufgrund des Abziehens von Sauerstoff aus dem Oxid-Halbleiterfilm durch Zuführen eines Sauerstoffüberschusses zu dem Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, unterbunden werden.

**[0145]** Insbesondere wenn die Menge an Sauerstoff, der in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, durch eine Sauerstoffdotierungsbehandlung vergrößert wird, kann eine Verschlechterung aufgrund einer elektrischen Vorspannungsbeanspruchung oder einer Wärmebeanspruchung unterbunden werden, und eine Verschlechterung aufgrund von Licht kann verringert werden.

**[0146]** Wie oben beschrieben ist, kann nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung ein hochzuverlässiger Transistor zur Verfügung gestellt werden.

**[0147]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

#### [Ausführungsform 2]

**[0148]** Bei dieser Ausführungsform wird ein weiteres Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung mit Bezug auf **Fig. 4A** bis **Fig. 4F** und **Fig. 5A** bis **Fig. 5C** beschrieben.

#### <Aufbaubeispiel einer Halbleitervorrichtung>

**[0149]** Die Struktur einer Halbleitervorrichtung, die mittels des Herstellungsverfahrens nach dieser Ausführungsform hergestellt wird, ist die gleiche wie diejenige des Transistors **120** der oben beschriebenen Ausführungsform.

rungsform. Das heißt, dass die Halbleitervorrichtung über dem Substrat **100** den Isolierfilm **102**, die Source-Elektrode **104a**, die Drain-Elektrode **104b**, den Oxid-Halbleiterfilm **108**, den Gate-Isolierfilm **110** und die Gate-Elektrode **112** aufweist (siehe **Fig. 1A** bis **Fig. 1C**).

**[0150]** Wie bei der Beschreibung der oben dargestellten Ausführungsform ist bei dem Transistor **120** der Isolierfilm **102** einer Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen worden. Ferner wird bei dieser Ausführungsform eine Sauerstoffdotierungsbehandlung auch an dem Oxid-Halbleiterfilm **108** und dem Gate-Isolierfilm **110** durchgeführt. Durch eine solche Sauerstoffdotierungsbehandlung kann der Transistor **120** mit verbesserter Zuverlässigkeit erhalten werden. Es sei darauf hingewiesen, dass ähnlich wie bei der oben beschriebenen Ausführungsform Transistoren mit unterschiedlichen Strukturen ebenfalls hergestellt werden können (siehe **Fig. 3A** bis **Fig. 3D**).

<Beispiel für einen Herstellungsprozess einer Halbleitervorrichtung>

**[0151]** Ein Beispiel für einen Herstellungsprozess der Halbleitervorrichtung wird nachstehend mit Bezug auf **Fig. 4A** bis **Fig. 4F** und **Fig. 5A** bis **Fig. 5C** beschrieben.

**[0152]** Zuerst wird der Isolierfilm **102** über dem Substrat **100** ausgebildet (siehe **Fig. 4A**).

**[0153]** Es gibt keine besondere Einschränkung hinsichtlich eines Materials des Substrats **100**, solange das Material zumindest eine Wärmebeständigkeit aufweist, die hoch genug ist, um einer später durchgeführten Wärmebehandlung standzuhalten. Beispielsweise kann ein Glassubstrat, ein Keramiksubstrat, ein Quarzsubstrat oder ein Saphirsubstrat als das Substrat **100** verwendet werden. Alternativ kann ein Einkristall-Halbleitersubstrat oder ein polykristallines Halbleitersubstrat aus Silizium, Siliziumkarbid oder dergleichen, ein Verbund-Halbleitersubstrat aus Siliziumgermanium oder dergleichen, ein SOI-Substrat oder dergleichen als das Substrat **100** verwendet werden. Als eine weitere Alternative kann jedes geeignete dieser Substrate, das ferner ein Halbleiterelement aufweist, als das Substrat **100** verwendet werden.

**[0154]** Ein flexibles Substrat kann alternativ als das Substrat **100** verwendet werden. Wenn ein Transistor über dem flexiblen Substrat vorgesehen ist, kann der Transistor direkt auf dem flexiblen Substrat ausgebildet werden, oder der Transistor kann über einem anderen Substrat ausgebildet und dann getrennt werden, um zu dem flexiblen Substrat transferiert zu werden. Um den Transistor zu trennen und zu dem flexiblen Substrat zu transferieren, ist vorzugsweise eine Trennschicht zwischen dem anderen Substrat und dem Transistor ausgebildet.

**[0155]** Der Isolierfilm **102** dient als ein Basisfilm. Insbesondere kann der Isolierfilm **102** unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden. Der Isolierfilm **102** weist eine Schichtstruktur unter Verwendung eines Isolierfilms mit jedem geeigneten der oben genannten Materialien auf.

**[0156]** Es gibt keine besondere Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Ausbilden des Isolierfilms **102**. Beispielsweise kann der Isolierfilm **102** mittels eines Abscheideverfahrens, wie z. B. eines Plasma-CVD-Verfahrens, oder eines Sputterverfahrens, ausgebildet werden. Ein Sputterverfahren wird hinsichtlich einer geringen Möglichkeit des Eintretens von Wasserstoff, Wasser und dergleichen bevorzugt.

**[0157]** Es sei darauf hingewiesen, dass es besonders bevorzugt ist, den Isolierfilm **102** unter Verwendung eines Isoliermaterials auszubilden, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des später ausgebildeten Oxid-Halbleiterfilms. Ein solches Material ist für einen Oxid-Halbleiterfilm geeignet; somit kann dann, wenn es für den Isolierfilm **102** verwendet wird, der Zustand der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm in einem günstigen Zustand gehalten werden. Hier bedeutet enthält "eine Komponente, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms" das Enthalten eines oder mehrerer Elemente, die aus den Bestandelementen des Oxid-Halbleiterfilms ausgewählt sind. Beispielsweise wird in dem Fall, in dem der Oxid-Halbleiterfilm unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Halbleitermaterials ausgebildet wird, Galliumoxid oder dergleichen als ein solches Isoliermaterial angegeben, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms.

**[0158]** In dem Fall, in dem der Isolierfilm **102** eine Schichtstruktur aufweist, ist es ferner vorteilhaft, eine Schichtstruktur aus einem Film, der unter Verwendung eines Isoliermaterials ausgebildet wird, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (nachstehend als ein Film a bezeichnet), und einem Film zu verwenden, der ein anderes Material als ein Bestandmaterial des Films a enthält (nachstehend als ein Film b bezeichnet). Der Grund dafür ist wie folgt. Wenn der Isolierfilm **102** eine

solche Struktur aufweist, bei der der Film a und der Film b von der Oxid-Halbleiterfilm-Seite aus sequentiell gestapelt sind, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Film a und dem Film b eingefangen (im Vergleich zu der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Film a). Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung führt.

**[0159]** Es sei darauf hingewiesen, dass als eine solche Schichtstruktur ein Stapel aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, ein Stapel aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden kann.

**[0160]** Als Nächstes wird der Isolierfilm **102** einer Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180a** (auch als Sauerstoffdotierung oder Sauerstoffplasmadotierung bezeichnet) unterzogen wird (siehe **Fig. 4B**). Der Sauerstoff **180a** enthält ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion. Aufgrund der Durchführung einer Sauerstoffdotierung an dem Isolierfilm **102** kann Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** enthalten sein, und Sauerstoff kann in einem von beiden oder beiden des Oxid-Halbleiterfilms **108**, der später ausgebildet wird, und/oder der Nähe der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten sein. In diesem Fall ist die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer als das stöchiometrische Verhältnis des Isolierfilms **102** oder ist bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als vier Mal das stöchiometrische Verhältnis, stärker bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Alternativ kann die Menge an Sauerstoff, die in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer sein als Y oder kann vorzugsweise größer als Y und kleiner als 4Y sein, wobei die Menge an Sauerstoff in dem Fall, in dem das Material des Isolierfilms ein Einkristall ist, Y ist. Bei einer weiteren Alternative kann die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer sein als Z und kann vorzugsweise größer als Z oder kleiner als 4Z sein auf der Basis der Menge an Sauerstoff Z in dem Isolierfilm in dem Fall, in dem keine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt wird.

**[0161]** Beispielsweise kann in dem Fall, in dem Galliumoxid, dessen Zusammensetzung von  $\text{GaO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, da ein Einkristall von Galliumoxid  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ist, x größer als 1,5 und kleiner als 6 sein (d. h. die Menge an O ist größer als 1,5 Mal die an Ga und kleiner als 6 Mal die an Ga). Es sei darauf hingewiesen, dass eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss in einem Teil des Isolierfilms vorhanden sein kann. Alternativ ist beispielsweise in dem Fall, in dem Siliziumoxid, dessen Zusammensetzung durch  $\text{SiO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, dann, wenn  $\text{SiO}_2$  (d. h. die Menge an O ist doppelt so groß wie die an Si) verwendet wird, x größer als 2 und kleiner als 8 (d. h. die Menge an O ist größer als die doppelte Menge an Si und kleiner als 8 Mal die an Si). Es sei darauf hingewiesen, dass eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss in einem Teil des Isolierfilms (einschließlich seiner Übergangsstelle) vorhanden sein kann.

**[0162]** Ferner weist zumindest ein Teil des Sauerstoffs **180a**, der zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird, vorzugsweise eine offene Bindung in dem Oxid-Halbleiterfilm auf, nachdem er dem Halbleiter zugeführt worden ist. Der Grund dafür ist, dass bei der offenen Bindung der Sauerstoff **180a** mit Wasserstoff verbunden werden kann, der in dem Film verbleibt, so dass der Wasserstoff fixiert werden kann (zu einem unbeweglichen Ion gemacht wird).

**[0163]** Der Sauerstoff **180a** kann von einer Plasmaerzeugungseinrichtung oder einer Ozonerzeugungseinrichtung erzeugt werden. Insbesondere kann beispielsweise eine Einrichtung zum Ätzen einer Halbleitervorrichtung, eine Einrichtung zum Veraschen einer Resist-Maske oder dergleichen zum Erzeugen des Sauerstoffs **180a** verwendet werden, und der Isolierfilm **102** kann bearbeitet werden.

**[0164]** Es sei darauf hingewiesen, dass bevorzugt wird, eine elektrische Vorspannung an das Substrat anzulegen, um eine Sauerstoffdotierung besser durchzuführen.

**[0165]** Als Nächstes wird ein leitender Film zum Ausbilden der Source-Elektrode und der Drain-Elektrode (einschließlich einer Verdrahtung, die in derselben Schicht ausgebildet ist wie die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode) über dem Isolierfilm **102** ausgebildet, und der leitende Film wird bearbeitet, um die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** auszubilden (siehe **Fig. 4C**). Es sei darauf hingewiesen, dass die Kanallänge L des Transistors von der Distanz zwischen den Rändern der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b**, die hier ausgebildet sind, bestimmt wird.

**[0166]** Beispiele für den leitenden Film, der für die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** verwendet wird, sind ein Metallfilm, der ein Element ausgewählt aus Al, Cr, Cu, Ta, Ti, Mo und W enthält, und ein Metalloxidfilm, der jedes geeignete der oben genannten Elemente als seine Komponente enthält (z. B. ein

Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm und ein Wolframnitridfilm). Alternativ kann ein leitender Film verwendet werden, bei dem ein hoher Schmelzpunkt aufweisender Metallfilm aus Ti, Mo, W oder dergleichen oder ein Metallnitridfilm aus jedem geeigneten dieser Elemente (ein Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm oder ein Wolframnitridfilm) auf einer oder beiden einer unteren Seite und einer oberen Seite eines Metallfilms aus Al, Cu oder dergleichen gestapelt sein kann.

**[0167]** Alternativ kann der leitende Film, der für die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** verwendet wird, unter Verwendung eines leitenden Metalloxids ausgebildet werden. Als das leitende Metalloxid kann Indiumoxid, Zinnoxid, Zinkoxid, ein aus Indiumoxid-Zinnoxid gemischtes Oxid (abgekürzt zu ITO), ein aus Indiumoxid-Zinkoxid gemischtes Oxid oder jedes geeignete dieser Metalloxidmaterialien, das Siliziumoxid enthält, verwendet werden.

**[0168]** Der leitende Film kann durch Ätzen unter Verwendung einer Resist-Maske bearbeitet werden. Ultraviolett, ein KrF-Laserlicht, ein ArF-Laserlicht oder dergleichen wird vorzugsweise für die Belichtung zum Ausbilden einer zum Ätzen vorgesehenen Resist-Maske verwendet.

**[0169]** In dem Fall, in dem die Kanallänge L kleiner ist als 25 nm, wird die Belichtung zum Zeitpunkt des Ausbildens der Resist-Maske vorzugsweise unter Verwendung von beispielsweise extremem Ultraviolett mit einer extrem kurzen Wellenlänge von mehreren Nanometern bis zu mehreren zehn Nanometern durchgeführt. Bei der Belichtung unter Verwendung von extremem Ultraviolett ist die Auflösung hoch und die Fokustiefe groß. Somit kann die Kanallänge L des Transistors, der später ausgebildet wird, verringert werden, wodurch die Arbeitsgeschwindigkeit einer Schaltung erhöht werden kann.

**[0170]** Ein Ätzschritt kann unter Verwendung einer Resist-Maske, die mittels einer sogenannten Mehrton-Maske ausgebildet wird, durchgeführt werden. Eine Resist-Maske, die unter Verwendung einer Mehrton-Maske ausgebildet wird, weist eine Vielzahl von Dicken auf und kann ferner durch Veraschung in der Form verändert werden; somit kann eine solche Resist-Maske in einer Vielzahl von Ätzschritten für unterschiedliche Muster verwendet werden. Daher kann eine Resist-Maske für mindestens zwei Arten von Mustern unter Verwendung einer Mehrton-Maske ausgebildet werden, was zu einer Vereinfachung des Prozesses führt.

**[0171]** Als Nächstes wird ein Oxid-Halbleiterfilm, der mit der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** in Kontakt steht, über dem Isolierfilm **102** ausgebildet, und dann wird der Oxid-Halbleiterfilm bearbeitet, um einen inselförmigen Oxid-Halbleiterfilm **106** auszubilden (siehe **Fig. 4D**).

**[0172]** Der Oxid-Halbleiterfilm wird vorzugsweise mittels eines Verfahrens ausgebildet, bei dem Wasserstoff, Wasser und dergleichen nicht leicht in den Film eintreten, wie z. B. eines Sputterverfahrens. Die Dicke des Oxid-Halbleiterfilms ist vorzugsweise größer als oder gleich 3 nm und kleiner als oder gleich 30 nm. Der Grund dafür ist, dass der Transistor möglicherweise selbstleitend sein kann, wenn der Oxid-Halbleiterfilm zu dick ist (z. B. die Dicke 50 nm oder mehr beträgt).

**[0173]** Als ein Material des Oxid-Halbleiterfilms kann jedes der folgenden Materialien verwendet werden: ein Vierkomponenten-Metalloxid, wie z. B. ein auf In-Sn-Ga-Zn-O basierendes Material; Dreikomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-Ga-Zn-O basierendes Material, ein auf In-Sn-Zn-O basierendes Material, ein auf In-Al-Zn-O basierendes Material, ein auf Sn-Ga-Zn-O basierendes Material, ein auf Al-Ga-Zn-O basierendes Material und ein auf Sn-Al-Zn-O basierendes Material; Zweikomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-Zn-O basierendes Material, ein auf Sn-Zn-O basierendes Material, ein auf Al-Zn-O basierendes Material, ein auf Zn-Mg-O basierendes Material, ein auf Sn-Mg-O basierendes Material, ein auf In-Mg-O basierendes Material und ein auf In-Ga-O basierendes Material; und Einkomponenten-Metalloxide, wie z. B. ein auf In-O basierendes Material, ein auf Sn-O basierendes Material und ein auf Zn-O basierendes Material. Ferner können die oben genannten Materialien Siliziumoxid enthalten. Hier bedeutet beispielsweise ein auf In-Ga-Zn-O basierendes Material einen Oxidfilm, der Indium (In), Gallium (Ga) und Zink (Zn) enthält, und es gibt keine besondere Einschränkung hinsichtlich seines Zusammensetzungsverhältnisses. Ferner kann das auf In-Ga-Zn-O basierende Material ein weiteres Element zusätzlich zu In, Ga und Zn enthalten.

**[0174]** Der Oxid-Halbleiterfilm kann ein Dünnschicht sein, der unter Verwendung eines Materials ausgebildet wird, das von der chemischen Formel  $\text{InMO}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m > 0$ , und m ist keine natürliche Zahl) dargestellt wird. Hier bedeutet M ein oder mehrere Metallelemente ausgewählt aus Ga, Al, Mn und Co. Beispielsweise kann M Ga, Ga und Al, Ga und Mn, Ga und Co oder dergleichen sein.

**[0175]** Bei dieser Ausführungsform wird der Oxid-Halbleiterfilm mittels eines Sputterverfahrens unter Verwendung eines auf In-Ga-Zn-O basierenden Oxid-Target ausgebildet.

**[0176]** Als das auf In-Ga-Zn-O basierende Oxid-Halbleiterabscheide-Target kann beispielsweise ein Oxid-Target mit einem Zusammensetzungsverhältnis von  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 1:1:1$  [Molverhältnis] verwendet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass es nicht erforderlich ist, das Material und das Zusammensetzungsverhältnis des Target auf die oben genannten zu beschränken. Beispielsweise kann alternativ ein Oxid-Target mit einem Zusammensetzungsverhältnis von  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO} = 1:1:2$  [Molverhältnis] verwendet werden.

**[0177]** Die Füllmenge des Oxid-Halbleiterabscheide-Target ist höher als oder gleich 90 % und niedriger als oder gleich 100 %, vorzugsweise höher als oder gleich 95 % und niedriger als oder gleich 99,9 %. Bei Verwendung des Metalloxid-Target mit einer hohen Füllmenge kann ein dichter Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet werden.

**[0178]** Die Abscheideatmosphäre kann eine Edelgas-(typischerweise Argon-)Atmosphäre, eine Sauerstoffatmosphäre oder eine Mischatmosphäre sein, die ein Edelgas und Sauerstoff enthält. Ferner wird bevorzugt, dass eine Atmosphäre verwendet wird, bei der ein hochreines Gas verwendet wird, in dem Fremdatome, die Wasserstoffatome enthalten, wie z. B. Wasserstoff, Wasser, eine Verbindung mit einer Hydroxyl-Gruppe und ein Hydrid, entfernt werden, da das Eintreten von Wasserstoff, Wasser, einer Verbindung mit einer Hydroxyl-Gruppe und eines Hydrids in den Oxid-Halbleiterfilm verhindert werden kann.

**[0179]** Beim Ausbilden des Oxid-Halbleiterfilms wird Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** in einigen Fällen dem Oxid-Halbleiterfilm zugeführt. Wenn Sauerstoff auf diese Weise zu dem Isolierfilm **102** hinzugefügt wird, ist es möglich, den Oxid-Halbleiterfilm auszubilden, dem ausreichend Sauerstoff zugeführt wird.

**[0180]** Insbesondere kann beispielsweise der Oxid-Halbleiterfilm wie folgt ausgebildet werden.

**[0181]** Zuerst wird das Substrat **100** in einer Abscheidekammer platziert, die unter einem reduzierten Druck gehalten wird, und die Substrattemperatur wird auf eine Temperatur eingestellt, die höher als oder gleich 100 °C und niedriger als oder gleich 600 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 200 °C und niedriger als oder gleich 400 °C. Der Grund dafür ist, dass die Konzentration eines Fremdatoms, das in dem Oxid-Halbleiterfilm enthalten ist, verringert werden kann, wenn eine Abscheidung durchgeführt wird, während das Substrat **100** erwärmt wird. Der Grund dafür ist auch, dass Beschädigung aufgrund von Sputtern verringert werden kann.

**[0182]** Dann wird ein hochreines Gas, in dem Fremdatome, die Wasserstoffatome enthalten, wie z. B. Wasserstoff und Feuchtigkeit, in ausreichendem Maße entfernt werden, in die Abscheidekammer eingeleitet, aus der verbleibende Feuchtigkeit entfernt wird, und der Oxid-Halbleiterfilm wird unter Verwendung des Target über dem Substrat **100** ausgebildet. Zum Entfernen von Feuchtigkeit, die in der Abscheidekammer verbleibt, wird vorzugsweise eine Einfang-Vakuumpumpe, wie z. B. eine Kryopumpe, eine Ionenpumpe oder eine Titan-Sublimationspumpe als eine Entleerungseinheit verwendet. Ferner kann eine Entleerungseinrichtung eine Turbo-Molekularpumpe sein, die eine Kühlfalle aufweist. In der Abscheidekammer, die mit der Kryopumpe entleert wird, werden ein Wasserstoffmolekül, eine Verbindung, die ein Wasserstoffatom enthält, wie z. B. Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (ferner vorzugsweise auch eine Verbindung, die ein Kohlenstoffatom enthält) und dergleichen entfernt, wodurch die Konzentration eines Fremdatoms in dem Oxid-Halbleiterfilm, der in der Abscheidekammer ausgebildet wird, verringert werden kann.

**[0183]** Es folgt ein Beispiel für die Abscheidebedingungen: die Distanz zwischen dem Substrat und dem Target beträgt 100 mm, der Druck beträgt 0,6 Pa, die Gleichstrom-(direct current DC-)Leistung beträgt 0,5 kW und die Abscheideatmosphäre ist eine Sauerstoffatmosphäre (die Strömungsmenge des Sauerstoffs beträgt 100 %). Es sei darauf hingewiesen, dass eine Impuls-Gleichstromleistungsquelle bevorzugt wird, da eine Erzeugung von pulverförmigen Substanzen (auch als Partikel oder Staub bezeichnet) bei der Abscheidung unterbunden werden kann und die Dickenverteilung gleichförmig sein kann.

**[0184]** Der Oxid-Halbleiterfilm kann auf eine solche Weise bearbeitet werden, dass eine Maske, die eine gewünschte Form aufweist, über dem Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet wird und dann der Oxid-Halbleiterfilm geätzt wird. Die Maske kann mittels eines Verfahrens, wie z. B. Fotolithografie oder eines Tintenstrahlverfahrens, ausgebildet werden.

**[0185]** Für das Ätzen des Oxid-Halbleiterfilms kann entweder Nassätzen oder Trockenätzen angewendet werden. Es braucht nicht darauf hingewiesen zu werden, dass beide Verfahren in Kombination angewendet werden können.

**[0186]** Danach wird eine Wärmebehandlung an dem Oxid-Halbleiterfilm **106** durchgeführt, so dass der hoch-reine Oxid-Halbleiterfilm **108** ausgebildet wird (siehe **Fig. 4E**). Wasserstoff (einschließlich Wasser und eine Hydroxyl-Gruppe) in dem Oxid-Halbleiterfilm **106** wird durch die Wärmebe-handlung entfernt, und die Struktur des Oxid-Halbleiterfilms wird umgestaltet, so dass Fehlerpegel in einer Energielücke verringert werden können. Ferner wird durch diese Wärmebehandlung Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** in einigen Fällen dem Oxid-Halbleiterfilm zugeführt. Die Wärmebehandlung wird bei einer Temperatur durchgeführt, die höher als oder gleich 250 °C und niedriger als oder gleich 650 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 450 °C und niedriger als oder gleich 600 °C oder niedriger als die Entspannungsgrenze des Substrats.

**[0187]** Die Wärmebehandlung kann beispielsweise auf eine solche Weise durchgeführt werden, dass ein zu bearbeitendes Objekt in einen Elektroofen eingebracht wird, in dem ein Widerstandsheizelement oder dergleichen verwendet wird, und in einer Stickstoffatmosphäre bei 450 °C eine Stunde lang erwärmt wird. Bei der Wärmebehandlung ist der Oxid-Halbleiterfilm **106** nicht der Luft ausgesetzt, um das Eintreten von Wasser und Wasserstoff zu verhindern.

**[0188]** Es sei darauf hingewiesen, dass eine Wärmebehandlungseinrichtung ist nicht auf einen Elektroofen beschränkt ist und eine Einrichtung zum Erwärmen eines zu bearbeitenden Objekts durch Wärmeleitung oder Wärmestrahlung von einem Medium, wie z. B. einem erwärmten Gas, aufweisen kann. Beispielsweise können eine RTA-(rapid thermal anneal)Einrichtung, wie z. B. eine GRTA-(gas rapid thermal anneal)Einrichtung oder eine LRTA-(lamp rapid thermal anneal)Einrichtung verwendet werden. Eine LRTA-Einrichtung ist eine Einrichtung zum Erwärmen eines zu bearbeitenden Objekts durch Lichtstrahlung (eine elektromagnetische Welle), die von einer Lampe emittiert wird, wie z. B. einer Halogenlampe, einer Metall-Halogenid-Lampe, einer Xenonbogenlampe, einer Kohlebogenlampe, einer Hochdruck-Natriumlampe oder einer Hochdruck-Quersilberlampe. Eine GRTA-Einrichtung ist eine Einrichtung zum Durchführen einer Wärmebehandlung unter Verwendung eines Hochtemperaturgases.

**[0189]** Beispielsweise kann als die Wärmebehandlung eine GRTA-Behandlung wie folgt durchgeführt werden. Das Objekt wird in eine Inertgasatmosphäre, die erwärmt worden ist, eingebracht, mehrere Minuten lang erwärmt und dann aus der Inertgasatmosphäre herausgenommen. Eine GRTA-Behandlung ermöglicht eine Hochtemperatur-Wärmebehandlung in einer kurzen Zeit. Ferner kann eine GRTA-Behandlung selbst dann angewendet werden, wenn die Temperatur die obere Temperaturgrenze des Objekts übersteigt. Es sei darauf hingewiesen, dass das Inertgas während des Prozesses zu einem gashaltigen Sauerstoff umgeschaltet werden kann. Der Grund dafür ist, dass die Anzahl von Fehlerpegeln in einer Energielücke aufgrund des Fehlens von Sauerstoff durch Durchführen der Wärmebehandlung in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre verringert werden kann.

**[0190]** Es sei darauf hingewiesen, dass als die Inertgasatmosphäre vorzugsweise eine Atmosphäre, die Stickstoff oder ein Edelgas (z. B. Helium, Neon oder Argon) als ihre Hauptkomponente enthält und kein Wasser, Wasserstoff oder dergleichen enthält, verwendet wird. Beispielsweise ist die Reinheit von Stickstoff oder einem Edelgas, wie z. B. Helium, Neon oder Argon, das in eine Wärmebehandlungseinrichtung eingebracht wird, größer als oder gleich 6 N (99,9999 %), vorzugsweise größer als oder gleich 7 N (99,99999 %) (das heißt, dass die Konzentration der Fremdatome kleiner als oder gleich 1 ppm, vorzugsweise kleiner als oder gleich 0,1 ppm ist).

**[0191]** In jedem Fall wird der i-(Intrinsic-) oder im Wesentlichen i-Oxid-Halbleiterfilm ausgebildet, bei dem Fremdatome durch die Wärmebehandlung entfernt werden, wodurch ein Transistor mit außerordentlich ausgezeichneten Eigenschaften realisiert werden kann.

**[0192]** Die oben beschriebene Wärmebehandlung kann aufgrund ihres vorteilhaften Effekts des Entfernens von Wasserstoff, Wasser oder dergleichen als eine Behandlung zum Entziehen von Wasser, eine Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff oder dergleichen bezeichnet werden. Die Behandlung zum Entziehen von Wasser oder die Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff kann zu dem Zeitpunkt beispielsweise vor der Bearbeitung des Oxid-Halbleiterfilms zum Erhalten einer Inselform durchgeführt werden. Eine solche Behandlung zum Entziehen von Wasser oder eine Behandlung zum Entziehen von Wasserstoff kann einmal oder mehrmals durchgeführt werden.

**[0193]** Als Nächstes wird der Oxid-Halbleiterfilm **108** einer Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180b** unterzogen wird (siehe **Fig. 4F**) Der Sauerstoff **180b** enthält ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion. Aufgrund der Dotierung des Oxid-Halbleiterfilms **108** mit Sauerstoff kann der Sauerstoff in einem von beiden oder beiden des Oxid-Halbleiterfilms **108** und/oder der Nähe der Übergangsstelle zu dem

Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten sein. In diesem Fall ist die Menge an Sauerstoff, der in dem Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten ist, größer als das stöchiometrische Verhältnis des Oxid-Halbleiterfilms **108**, vorzugsweise größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Alternativ kann die Menge an Sauerstoff größer sein als Y, vorzugsweise größer als Y und kleiner als 2Y, wobei die Menge an Sauerstoff in dem Fall, in dem das Material des Oxid-Halbleiterfilms **108** ein Einkristall ist, Y ist. Bei einer weiteren Alternative kann die Menge an Sauerstoff größer sein als Z, vorzugsweise größer als Z und kleiner als 2Z sein auf der Basis der Menge an Sauerstoff Z in dem Oxid-Halbleiterfilm in dem Fall, in dem keine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt wird. Der Grund für das Vorhandensein der Obergrenze in dem oben genannten bevorzugten Bereich ist, dass der Oxid-Halbleiterfilm **108** Wasserstoff wie eine Wasserstoff speichernde Legierung (Wasserstoffspeicherungslegierung) aufnehmen kann, wenn die Menge an Sauerstoff zu groß ist.

**[0194]** Im Falle eines Materials, dessen kristalline Struktur durch  $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$  ( $m > 0$ ) dargestellt wird, kann x in  $\text{InGaZnO}_x$  größer als 4 und kleiner als 8 sein, wenn die kristalline Struktur, bei der m 1 ist ( $\text{InGaZnO}_4$ ), als die Referenz verwendet wird, und x in  $\text{InGaZn}_2\text{O}_x$  kann größer als 5 und kleiner als 10 sein, wenn die kristalline Struktur, bei der m 2 ist ( $\text{InGaZn}_2\text{O}_5$ ), als die Referenz verwendet wird. Eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss kann in einem Teil des Oxid-Halbleiters vorhanden sein.

**[0195]** Es wird bevorzugt, dass zumindest ein Teil des Sauerstoffs **180b**, der zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird, offene Bindungen in dem Oxid-Halbleiterfilm aufweist. Der Grund dafür ist, dass solche offenen Bindungen mit Wasserstoff verbunden werden, der in dem Film verbleibt, so dass Wasserstoff fixiert werden kann (zu unbeweglichen Ionen gemacht wird).

**[0196]** Der Sauerstoff **180b** kann von einer Plasmaerzeugungseinrichtung oder einer Ozoneerzeugungseinrichtung erzeugt werden. Insbesondere kann beispielsweise eine Einrichtung zum Ätzen einer Halbleitervorrichtung, eine Einrichtung zum Veraschen einer Resist-Maske oder dergleichen zum Erzeugen des Sauerstoffs **180b** und zum Bearbeiten des Oxid-Halbleiterfilms **108** verwendet werden.

**[0197]** Es sei darauf hingewiesen, dass bevorzugt wird, eine elektrische Vorspannung an das Substrat anzulegen, um eine Sauerstoffdotierung besser durchzuführen.

**[0198]** Eine Wärmebehandlung (bei einer Temperatur von 150 °C bis 470 °C) kann an dem Oxid-Halbleiterfilm **108** durchgeführt werden, der einer Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen worden ist. Durch die Wärmebehandlung können Wasser, eine Hydroxyl-Gruppe (OH) und dergleichen, die durch eine Reaktion zwischen Wasserstoff und dem Material des Oxid-Halbleiters erzeugt worden sind, aus dem Oxid-Halbleiterfilm entfernt werden. Die Wärmebehandlung kann in einer Atmosphäre von Stickstoff, Sauerstoff, einer ultratrockenen Luft (einer Luft, bei der der Feuchtigkeitsgehalt 20 ppm oder weniger, bevorzugt 1 ppm oder weniger, stärker bevorzugt 10 ppb oder weniger beträgt), einem Edelgas (z. B. Argon oder Helium) oder dergleichen durchgeführt werden, in der Feuchtigkeit, Wasserstoff und dergleichen in ausreichendem Maße reduziert sind. Ferner können die Sauerstoffdotierungsbehandlung und die Wärmebehandlung wiederholt werden. Durch wiederholtes Durchführen der Sauerstoffdotierungsbehandlung und der Wärmebehandlung kann der Transistor eine höhere Zuverlässigkeit bieten. Die Anzahl von Wiederholungen kann, soweit erforderlich, festgelegt werden.

**[0199]** Dann wird der Gate-Isolierfilm **110** so ausgebildet, dass er mit einem Teil des Oxid-Halbleiterfilms **108** in Kontakt steht, um die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** zu bedecken (siehe Fig. 5A).

**[0200]** Der Gate-Isolierfilm **110** kann auf eine ähnliche Weise ausgebildet werden wie der Isolierfilm **102**. Das heißt, dass der Gate-Isolierfilm **110** unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden kann. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Material, das eine hohe dielektrische Konstante aufweist, wie z. B. Hafniumoxid, Tantaloxid, Yttriumoxid, Hafniumsilikat ( $\text{HfSi}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), Hafniumsilikat ( $\text{HfSi}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), zu dem Stickstoff hinzugefügt wird, oder Hafniumaluminat ( $\text{HfSi}_x\text{O}_y$  ( $x > 0$ ,  $y > 0$ )), zu dem Stickstoff hinzugefügt wird, für den Gate-Isolierfilm **110** verwendet werden kann unter Berücksichtigung der Funktion des Gate-Isolierfilms des Transistors.

**[0201]** Wie im Falle des Isolierfilms **102** kann eine Schichtstruktur verwendet werden. In diesem Fall wird bevorzugt, eine Schichtstruktur aus einem Film, der unter Verwendung eines Isoliermaterials ausgebildet wird, das eine Komponente enthält, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (nachstehend als ein Film a bezeichnet), und einem Film zu verwenden, der ein anderes Material als ein Bestandmaterial des Films a enthält (nachstehend als ein Film b bezeichnet). Der Grund dafür ist wie folgt. Wenn der Gate-Isolierfilm

**110** eine solche Struktur aufweist, bei der der Film a und der Film b von der Oxid-Halbleiterfilm-Seite aus sequentiell gestapelt sind, wird eine Ladung vorzugsweise an der Übergangsstelle zwischen dem Film a und dem Film b eingefangen (im Vergleich zu der Übergangsstelle zwischen dem Oxid-Halbleiterfilm und dem Film a). Somit kann ein Einfangen von Ladung an der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms in ausreichendem Maße unterbunden werden, was zu einer höheren Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung führt.

**[0202]** Es sei darauf hingewiesen, dass als eine solche Schichtstruktur eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumoxidfilm, eine Schichtstruktur aus einem Galliumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm oder dergleichen verwendet werden kann.

**[0203]** Eine Wärmebehandlung wird vorzugsweise nach dem Ausbilden des Gate-Isolierfilms **110** durchgeführt. Die Wärmebehandlung wird bei einer Temperatur durchgeführt, die höher als oder gleich 250 °C und niedriger als oder gleich 700 °C ist, vorzugsweise höher als oder gleich 450 °C und niedriger als oder gleich 600 °C oder niedriger als die Spannungsgrenze des Substrats.

**[0204]** Die Wärmebehandlung kann in einer Atmosphäre von Stickstoff, Sauerstoff, ultratrockener Luft (Luft, bei der ein Wassergehalt 20 ppm oder weniger, bevorzugt 1 ppm oder weniger, stärker bevorzugt 10 ppb oder weniger beträgt) oder einem Edelgas (Argon, Helium oder dergleichen) durchgeführt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass bevorzugt ist, dass Wasser, Wasserstoff und dergleichen nicht in der Atmosphäre von Stickstoff, Sauerstoff, ultratrockener Luft oder einem Edelgas enthalten sind. Ferner beträgt die Reinheit von Stickstoff, Sauerstoff oder einem Edelgas, das in eine Wärmebehandlungseinrichtung eingebracht wird, bevorzugt 6 N (99,9999 %) oder höher (das heißt, die Fremdatomkonzentration beträgt 1 ppm oder weniger), stärker bevorzugt 7 N (99,99999 %) oder höher (das heißt, die Fremdatomkonzentration beträgt 0,1 ppm oder weniger).

**[0205]** Die Wärmebehandlung nach dieser Ausführungsform wird durchgeführt, während der Oxid-Halbleiterfilm **108** mit dem Isolierfilm **102** und dem Gate-Isolierfilm **110** in Kontakt steht. Somit kann Sauerstoff, der aufgrund der Behandlung zum Entziehen von Wasser (oder zum Entziehen von Wasserstoff) reduziert werden kann, von dem Isolierfilm **102** oder dergleichen dem Oxid-Halbleiterfilm **108** zugeführt werden. In diesem Sinne kann die Wärmebehandlung auch als Zuführen von Sauerstoff bezeichnet werden.

**[0206]** Es sei darauf hingewiesen, dass es keine besondere Einschränkung hinsichtlich des Zeitpunkts der Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff gibt, solange sie nach dem Ausbilden des Oxid-Halbleiterfilms **108** erfolgt. Beispielsweise kann die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode durchgeführt werden. Die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff kann nach der Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen durchgeführt werden; die Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen kann auch als die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff dienen; die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff kann auch als Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen dienen.

**[0207]** Wie oben beschrieben ist, werden die Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen und eine Sauerstoffdotierungsbehandlung oder die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff angewendet, wodurch der Oxid-Halbleiterfilm **108** hochgereinigt werden kann, um so wenige Fremdatome wie möglich zu enthalten. Der hochreine Oxid-Halbleiterfilm **108** enthält extrem wenige (nahe null) Träger, die von einem Donator stammen.

**[0208]** Als Nächstes wird der Gate-Isolierfilm **110** einer Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180c** unterzogen wird (siehe **Fig. 5B**). Der Sauerstoff **180c** enthält ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion. Aufgrund der Durchführung einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Gate-Isolierfilm **110** kann Sauerstoff in einem oder beiden des Oxid-Halbleiterfilms **108** und/oder der Nähe der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten sein. In diesem Fall ist die Menge an Sauerstoff, der in dem Gate-Isolierfilm **110** enthalten ist, größer als das stöchiometrische Verhältnis des Gate-Isolierfilms **110** oder ist bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als vier Mal das stöchiometrische Verhältnis, stärker bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Alternativ kann die Menge an Sauerstoff in dem Gate-Isolierfilm **110** größer sein als Y oder kann vorzugsweise größer als Y und kleiner als 4Y sein, wobei die Menge an Sauerstoff in dem Fall, in dem das Material des Gate-Isolierfilms **110** ein Einkristall ist, Y ist. Bei einer weiteren Alternative kann die Menge an Sauerstoff, der in dem Gate-Isolierfilm **110** enthalten ist, größer sein als Z und kann vorzugsweise größer als Z oder kleiner als 4Z sein auf der Basis der Menge an Sauerstoff Z in dem Isolierfilm in dem Fall, in dem keine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt wird.

**[0209]** Beispielsweise kann in dem Fall, in dem Galliumoxid, dessen Zusammensetzung von  $\text{GaO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, da ein Einkristall von Galliumoxid  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ist,  $x$  größer als 1,5 und kleiner als 6 sein (d. h. die Menge an O ist größer als 1,5 Mal die an Ga und kleiner als 6 Mal die an Ga). Alternativ ist beispielsweise in dem Fall, in dem Siliziumoxid, dessen Zusammensetzung durch  $\text{SiO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, dann, wenn  $\text{SiO}_2$  (d. h. die Menge an O ist doppelt so groß wie die an Si) verwendet wird,  $x$  größer als 2 und kleiner als 8 (d. h. die Menge an O ist größer als die doppelte Menge an Si und kleiner als 8 Mal die an Si). Es sei darauf hingewiesen, dass eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss in einem Teil des Isolierfilms (einschließlich seiner Übergangsstelle) vorhanden sein kann.

**[0210]** Ferner weist zumindest ein Teil des Sauerstoffs **180c**, der zu dem Isolierfilm hinzugefügt wird, vorzugsweise eine offene Bindung in dem Oxid-Halbleiterfilm auf, nachdem er dem Halbleiter zugeführt worden ist. Der Grund dafür ist, dass bei der offenen Bindung der Sauerstoff **180c** mit Wasserstoff verbunden werden kann, der in dem Film verbleibt, so dass der Wasserstoff fixiert werden kann (zu einem unbeweglichen Ion gemacht wird).

**[0211]** Der Sauerstoff **180c** kann von einer Plasmaerzeugungseinrichtung oder einer Ozonerzeugungseinrichtung erzeugt werden. Insbesondere kann beispielsweise eine Einrichtung, die in der Lage ist, eine Halbleitervorrichtung zu ätzen, eine Einrichtung, die in der Lage ist, eine Resist-Maske zu veraschen, oder dergleichen zum Erzeugen des Sauerstoffs **180c** verwendet werden, und der Gate-Isolierfilm **110** wird bearbeitet.

**[0212]** Es sei darauf hingewiesen, dass bevorzugt wird, eine elektrische Vorspannung an das Substrat anzulegen, um eine Sauerstoffdotierung besser durchzuführen.

**[0213]** Es sei darauf hingewiesen, dass nach der Sauerstoffdotierungsbehandlung eine Wärmebehandlung durchgeführt werden kann. Durch die Wärmebehandlung kann ein Sauerstoffüberschuss im Vergleich zu Wasserstoff dem Oxid-Halbleiterfilm zugeführt werden. Es gibt keine Beschränkung hinsichtlich des Zeitpunkts der Wärmebehandlung zum Erzielen des Effekts, solange sie nach der Sauerstoffdotierungsbehandlung erfolgt. Ferner können die Sauerstoffdotierungsbehandlung und die Wärmebehandlung wiederholt werden. Durch wiederholtes Durchführen der Sauerstoffdotierungsbehandlung und der Wärmebehandlung kann der Transistor eine höhere Zuverlässigkeit bieten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Anzahl von Wiederholungen auf geeignete Weise festgelegt werden kann.

**[0214]** Dann wird die Gate-Elektrode **112** ausgebildet (siehe **Fig. 5C**). Die Gate-Elektrode **112** kann unter Verwendung eines Metallmaterials, wie z. B. Molybdän, Titan, Tantal, Wolfram, Aluminium, Kupfer, Neodym oder Skandium oder einem Legierungsmaterial, das jedes geeignete dieser Materialien enthält, als ihre Hauptkomponente ausgebildet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Gate-Elektrode **112** eine einschichtige Struktur oder eine Schichtstruktur aufweisen kann.

**[0215]** Es sei darauf hingewiesen, dass ein Isolierfilm nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode **112** ausgebildet werden kann. Der Isolierfilm kann unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid, einem daraus gemischten Material oder dergleichen ausgebildet werden. Insbesondere wird ein Siliziumnitridfilm als der Isolierfilm bevorzugt, da verhindert werden kann, dass hinzugefügter Sauerstoff nach außen freigegeben wird, und es kann auf effektive Weise verhindert werden, dass Wasserstoff oder dergleichen von außen in den Oxid-Halbleiterfilm **108** eintritt. Eine Verdrahtung, die mit der Source-Elektrode **104a**, der Drain-Elektrode **104b**, der Gate-Elektrode **112** oder dergleichen verbunden ist, kann ausgebildet werden.

**[0216]** Mittels des oben beschriebenen Prozesses wird der Transistor **120** ausgebildet.

**[0217]** Es sei darauf hingewiesen, dass die vorstehende Beschreibung ein Beispiel ist, bei dem eine Sauerstoffdotierungsbehandlung an sämtlichen des Isolierfilms **102**, des Oxid-Halbleiterfilms **108** und des Gate-Isolierfilms **110** durchgeführt wird; eine Ausführungsform der offengelegten Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann die Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm **102** und dem Oxid-Halbleiterfilm **108** oder an dem Isolierfilm **102** und dem Gate-Isolierfilm **110** durchgeführt werden.

**[0218]** Der Transistor nach dieser Ausführungsform weist einen hochreinen i-(Intrinsic-)Oxid-Halbleiterfilm auf, der auf eine solche Weise erhalten wird, dass ein Fremdatom, einschließlich eines Wasserstoffatoms, wie z. B. Wasserstoff, Wasser, eine Hydroxyl-Gruppe und Hydrid (auch als eine Wasserstoffverbindung bezeichnet), durch eine Wärmebehandlung aus einem Oxid-Halbleiter entfernt wird, und Sauerstoff, der in einem Schritt zum Entfernen eines Fremdatoms reduziert werden kann, wird zugeführt. Bei dem Transistor, der den Oxid-

Halbleiterfilm aufweist, welcher auf die oben beschriebene Weise hochgereinigt wird, ist eine Änderung der elektrischen Eigenschaften, wie z. B. einer Schwellspannung, unterbunden, und er ist elektrisch stabil.

**[0219]** Da die Bindefestigkeit zwischen In und Sauerstoff relativ schwach ist, wenn ein Oxid-Halbleitermaterial, das In enthält, als der Oxid-Halbleiterfilm verwendet wird, und der Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, ein Material enthält, wie z. B. Silizium, dessen Bindefestigkeit mit Sauerstoff stärker ist, besteht eine Möglichkeit, dass Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Wärmebehandlung abgezogen wird, so dass ein Sauerstoffdefizit in der Nähe der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms auftritt. Bei einem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung kann jedoch ein Sauerstoffdefizit aufgrund des Abziehens von Sauerstoff aus dem Oxid-Halbleiterfilm durch Zuführen eines Sauerstoffüberschusses zu dem Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, verhindert werden.

**[0220]** Insbesondere wenn die Menge an Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Sauerstoffdotierungsbehandlung vergrößert wird, kann eine Verschlechterung aufgrund einer elektrischen Vorspannungsbeanspruchung oder einer Wärmebeanspruchung unterbunden werden, und eine Verschlechterung aufgrund von Licht kann verringert werden.

**[0221]** Wie oben beschrieben ist, kann nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung ein Transistor mit ausgezeichneter Zuverlässigkeit zur Verfügung gestellt werden.

**[0222]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

#### [Ausführungsform 3]

**[0223]** Bei dieser Ausführungsform wird ein weiteres Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung mit Bezug auf **Fig. 6A** bis **Fig. 6F** beschrieben.

#### <Aufbaubeispiel einer Halbleitervorrichtung>

**[0224]** Die Struktur einer Halbleitervorrichtung, die mittels eines Verfahrens zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung nach dieser Ausführungsform hergestellt wird, ist die gleiche wie diejenige des Transistors **120** der oben beschriebenen Ausführungsform. Mit anderen Worten: die Halbleitervorrichtung weist über dem Substrat **100** den Isolierfilm **102**, die Source-Elektrode **104a**, die Drain-Elektrode **104b**, den Oxid-Halbleiterfilm **108**, den Gate-Isolierfilm **110** und die Gate-Elektrode **112** auf (siehe **Fig. 1A** bis **Fig. 1C**).

**[0225]** Wie bei der oben dargestellten Ausführungsform beschrieben ist, ist der Isolierfilm **102** in dem Transistor **120** ein Isolierfilm, der einer Sauerstoffdotierungsbehandlung unterzogen wird. Ferner wird bei dieser Ausführungsform die Sauerstoffdotierungsbehandlung auch an dem Oxid-Halbleiterfilm **108** und dem Gate-Isolierfilm **110** durchgeführt. Durch eine solche Sauerstoffdotierungsbehandlung kann der Transistor **120**, dessen Zuverlässigkeit weiter erhöht worden ist, erhalten werden. Ferner dient das Sauerstoffdotierungsverfahren, das bei dieser Ausführungsform an dem Isolierfilm **102** durchgeführt wird, auch als ein Schritt zum Entfernen einer Maske **103a** und einer Maske **103b**, die zum Ausbilden der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** verwendet werden. Durch Anwenden eines solchen Prozesses können die Herstellungskosten aufgrund der Vereinfachung der Schritte verringert werden. Es sei darauf hingewiesen, dass bei einer ähnlichen Ausführungsform wie der oben beschriebenen Transistoren mit unterschiedlichen Strukturen ebenfalls hergestellt werden können (siehe **Fig. 3A** bis **Fig. 3D**).

#### <Beispiel für einen Herstellungsprozess einer Halbleitervorrichtung>

**[0226]** Ein Beispiel für Schritte zum Herstellen der Halbleitervorrichtung wird nachstehend mit Bezug auf **Fig. 6A** bis **Fig. 6F** beschrieben. Es sei darauf hingewiesen, dass der grundlegende Inhalt der Herstellungsschritte im Wesentlichen der gleiche ist wie bei den oben dargestellten Ausführungsformen; daher werden nachstehend nur abweichende Punkte beschrieben.

**[0227]** Zuerst wird der Isolierfilm **102** über dem Substrat **100** ausgebildet (siehe **Fig. 6A**). Bezüglich der Details kann auf die Beschreibung von **Fig. 4A** Bezug genommen werden.

**[0228]** Als Nächstes wird ein leitender Film zum Ausbilden der Source-Elektrode und der Drain-Elektrode (einschließlich einer Verdrahtung, die in derselben Schicht ausgebildet wird wie die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode) über dem Isolierfilm **102** ausgebildet, und der leitende Film wird unter Verwendung der Maske **103a** und der Maske **103b** bearbeitet, wodurch die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** ausgebildet werden. Dann wird eine Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180a** (auch als Sauerstoffdotierungsbehandlung oder Sauerstoffplasmadotierungs-Behandlung bezeichnet) an dem Isolierfilm **102** durchgeführt (siehe Fig. 6B). Bezüglich der Details der Schritte zum Ausbilden der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** kann auf die Beschreibung von Fig. 4C Bezug genommen werden. Hier dient die Sauerstoffdotierungsbehandlung auch als der Schritt zum Entfernen der Maske **103a** und der Maske **103b**.

**[0229]** Der Sauerstoff **180a** enthält ein Sauerstoffradikal, ein Sauerstoffatom und/oder ein Sauerstoffion. Aufgrund der Durchführung einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm **102** kann Sauerstoff in dem Isolierfilm **102** enthalten sein und kann in einem von beiden oder beiden des Oxid-Halbleiterfilms **108**, der später ausgebildet wird, und/oder der Nähe der Übergangsstelle zu dem Oxid-Halbleiterfilm **108** enthalten sein. In diesem Fall ist die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer als das stöchiometrische Verhältnis des Isolierfilms **102** oder ist bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als vier Mal das stöchiometrische Verhältnis, stärker bevorzugt größer als das stöchiometrische Verhältnis und kleiner als das Doppelte des stöchiometrischen Verhältnisses. Alternativ kann die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer sein als Y oder kann vorzugsweise größer als Y und kleiner als 4Y sein, wobei die Menge an Sauerstoff in dem Fall, in dem das Material des Isolierfilms **102** ein Einkristall ist, Y ist. Bei einer weiteren Alternative kann die Menge an Sauerstoff, der in dem Isolierfilm **102** enthalten ist, größer sein als Z und kann vorzugsweise größer als Z oder kleiner als 4Z sein auf der Basis der Menge an Sauerstoff Z in dem Isolierfilm in dem Fall, in dem keine Sauerstoffdotierungsbehandlung durchgeführt wird.

**[0230]** Beispielsweise kann in dem Fall, in dem Galliumoxid, dessen Zusammensetzung von  $\text{GaO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, da ein Einkristall von Galliumoxid  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ist, x größer als 1,5 und kleiner als 6 sein (d. h. die Menge an O ist größer als 1,5 Mal die an Ga und kleiner als 6 Mal die an Ga). Alternativ ist beispielsweise in dem Fall, in dem Siliziumoxid, dessen Zusammensetzung durch  $\text{SiO}_x$  ( $x > 0$ ) dargestellt wird, verwendet wird, dann, wenn  $\text{SiO}_2$  (d. h. die Menge an O ist doppelt so groß wie die an Si) verwendet wird, x größer als 2 und kleiner als 8 (d. h. die Menge an O ist größer als die doppelte Menge an Si und kleiner als 8 Mal die an Si). Es sei darauf hingewiesen, dass eine solche Region mit Sauerstoffüberschuss in einem Teil des Isolierfilms (einschließlich seiner Übergangsstelle) vorhanden sein kann.

**[0231]** Ferner weist zumindest ein Teil des Sauerstoffs **180a**, der zu dem Oxid-Halbleiterfilm hinzugefügt wird, vorzugsweise eine offene Bindung in dem Oxid-Halbleiterfilm auf, nachdem er dem Halbleiter zugeführt worden ist. Der Grund dafür ist, dass bei der offenen Bindung der Sauerstoff **180a** mit Wasserstoff verbunden werden kann, der in dem Film verbleibt, so dass der Wasserstoff fixiert werden kann (zu einem unbeweglichen Ion gemacht wird).

**[0232]** Der Sauerstoff **180a** kann von einer Plasmaerzeugungseinrichtung oder einer Ozoneerzeugungseinrichtung erzeugt werden. Insbesondere wird beispielsweise der Sauerstoff **180a** unter Verwendung einer Einrichtung zum Veraschen einer Resist-Maske oder dergleichen erzeugt, und der Isolierfilm **102** kann bearbeitet werden.

**[0233]** Mittels der Sauerstoffdotierungsbehandlung werden die Maske **103a** und die Maske **103b** entfernt. Es sei darauf hingewiesen, dass anders als bei einem allgemeinen Schritt zum Entfernen einer Maske der Schritt durchgeführt wird, um Sauerstoff hinzuzufügen; daher wird bevorzugt, dass eine relativ starke Vorspannung an das Substrat angelegt wird.

**[0234]** Ferner werden durch die Sauerstoffdotierungsbehandlung eine Region, die Sauerstoff in einer hohen Konzentration enthält, und eine Region, die Sauerstoff in einer niedrigen Konzentration enthält, in dem Isolierfilm **102** ausgebildet. Insbesondere ist in dem Isolierfilm **102** eine Region, die nicht von der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** bedeckt ist, die Region, die Sauerstoff in einer hohen Konzentration enthält, und eine Region, die von der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** bedeckt ist, ist die Region, die Sauerstoff in einer niedrigen Konzentration enthält.

**[0235]** Als Nächstes wird ein Oxid-Halbleiterfilm, der mit der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** in Kontakt steht, über dem Isolierfilm **102** ausgebildet, und der Oxid-Halbleiterfilm wird bearbeitet, so dass ein inselförmiger Oxid-Halbleiterfilm **106** ausgebildet wird. Dann wird eine Wärmebehandlung an dem inselförmigen Oxid-Halbleiterfilm durchgeführt, wodurch der hochreine Oxid-Halbleiterfilm **108** ausgebildet wird.

(siehe **Fig. 6C**). Bezüglich der Details der Schritte kann auf die Beschreibung von **Fig. 4D** und **Fig. 4E** Bezug genommen werden.

**[0236]** Dann wird die Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180b** an dem Oxid-Halbleiterfilm **108** durchgeführt (siehe **Fig. 6D**). Bezüglich der Details kann auf die Beschreibung von **Fig. 4F** Bezug genommen werden.

**[0237]** Als Nächstes wird der Gate-Isolierfilm **110**, der mit einem Teil des Oxid-Halbleiterfilms **108** in Kontakt steht und die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** bedeckt, ausgebildet. Danach wird eine Behandlung unter Verwendung von Sauerstoff **180c** an dem Gate-Isolierfilm **110** durchgeführt (siehe **Fig. 6E**). Bezüglich der Details kann auf die Beschreibung von **Fig. 5A** und **Fig. 5B** Bezug genommen werden.

**[0238]** Dann wird die Gate-Elektrode **112** ausgebildet (siehe **Fig. 6F**). Bezüglich der Details kann auf die Beschreibung von **Fig. 5C** Bezug genommen werden.

**[0239]** Es sei darauf hingewiesen, dass nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode **112** ein Isolierfilm ausgebildet werden kann. Der Isolierfilm kann beispielsweise unter Verwendung von Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Galliumoxid oder einem daraus gemischten Material ausgebildet werden. Insbesondere wird bevorzugt, dass Siliziumnitrid für den Isolierfilm verwendet wird, da verhindert werden kann, dass hinzugefügter Sauerstoff nach außen freigegeben wird, und es kann auf effektive Weise verhindert werden, dass Wasserstoff oder dergleichen von außen in den Oxid-Halbleiterfilm **108** eintritt. Ferner kann eine Verdrahtung, die mit der Source-Elektrode **104a**, der Drain-Elektrode **104b** oder der Gate-Elektrode **112** verbunden ist, ausgebildet werden.

**[0240]** Mittels des oben beschriebenen Prozesses wird der Transistor **120** ausgebildet.

**[0241]** Es sei darauf hingewiesen, dass die vorstehende Beschreibung ein Beispiel ist, bei dem eine Sauerstoffdotierungsbehandlung an sämtlichen des Isolierfilms **102**, des Oxid-Halbleiterfilms **108** und des Gate-Isolierfilms **110** durchgeführt wird; eine Ausführungsform der offengelegten Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann die Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Isolierfilm **102** und dem Oxid-Halbleiterfilm **108** durchgeführt werden.

**[0242]** Der Transistor nach dieser Ausführungsform weist einen hochreinen i-(Intrinsic-)Oxid-Halbleiterfilm auf, der auf eine solche Weise erhalten wird, dass ein Fremdatom, einschließlich eines Wasserstoffatoms, wie z. B. Wasserstoff, Wasser, eine Hydroxyl-Gruppe und Hydrid (auch als eine Wasserstoffverbindung bezeichnet), durch eine Wärmebehandlung aus einem Oxid-Halbleiter entfernt wird, und Sauerstoff, der in einem Schritt zum Entfernen eines Fremdatoms reduziert werden kann, wird zugeführt. Bei dem Transistor, der den Oxid-Halbleiterfilm aufweist, welcher auf die oben beschriebene Weise hochgereinigt wird, ist eine Änderung der elektrischen Eigenschaften, wie z. B. einer Schwellspannung, unterbunden, und er ist elektrisch stabil.

**[0243]** Da die Bindefestigkeit zwischen In und Sauerstoff relativ schwach ist, wenn ein Oxid-Halbleitermaterial, das In enthält, als der Oxid-Halbleiterfilm verwendet wird, und der Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, ein Material enthält, dessen Bindefestigkeit mit Sauerstoff stärker ist, wie z. B. Silizium, besteht eine Möglichkeit, dass Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Wärmebehandlung abgezogen wird, so dass ein Sauerstoffdefizit in der Nähe der Übergangsstelle des Oxid-Halbleiterfilms auftritt. Bei einem Transistor nach einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung kann jedoch ein Sauerstoffdefizit aufgrund des Abziehens von Sauerstoff aus dem Oxid-Halbleiterfilm durch Zuführen eines Sauerstoffüberschusses zu dem Isolierfilm, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm in Kontakt steht, verhindert werden.

**[0244]** Insbesondere wenn die Menge an Sauerstoff in dem Oxid-Halbleiterfilm durch eine Sauerstoffdotierungsbehandlung vergrößert wird, kann eine Verschlechterung aufgrund einer elektrischen Vorspannungsbeanspruchung oder einer Wärmebeanspruchung unterbunden werden, und eine Verschlechterung aufgrund von Licht kann verringert werden.

**[0245]** Ferner ist bei dem Herstellungsverfahren nach dieser Ausführungsform der Prozess vereinfacht, und daher können die Kosten für die Herstellung verringert werden.

**[0246]** Wie oben beschrieben ist, kann bei einer Ausführungsform der offengelegten Erfindung ein Transistor mit ausgezeichneter Zuverlässigkeit zur Verfügung gestellt werden, wobei die Herstellungskosten verringert sind.

**[0247]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

[Ausführungsform 4]

**[0248]** Bei dieser Ausführungsform wird ein Beispiel für eine Plasmaeinrichtung (auch als eine Veraschungseinrichtung bezeichnet), die für eine Sauerstoffdotierungsbehandlung verwendet werden kann, beschrieben. Es sei darauf hingewiesen, dass im Vergleich zu einer Ionenimplantationseinrichtung oder dergleichen die Einrichtung für den Einsatz in der Industrie geeignet ist, da die Einrichtung beispielsweise für ein großes Glassubstrat der fünften Generation oder später verwendet werden kann.

**[0249]** Fig. 17A zeigt eine beispielhafte Draufsicht einer Ein-Wafer-Mehrkammer-Einrichtung. Fig. 17B zeigt eine beispielhafte Querschnittsansicht einer Plasmaeinrichtung (auch als eine Veraschungseinrichtung bezeichnet), die für eine Sauerstoffplasmadotierung verwendet wird.

**[0250]** Die Ein-Wafer-Mehrkammer-Einrichtung, die in Fig. 17A gezeigt ist, umfasst drei Plasmaeinrichtungen **10**, die jeweils Fig. 17B entsprechen, eine Substratzuführkammer **11**, die drei Kassettenports **14** zum Halten eines Bearbeitungssubstrats aufweist, eine Ladungsschleusenkammer **12**, eine Transferkammer **13** und dergleichen. Ein Substrat, das der Substratzuführkammer zugeführt wird, wird durch die Ladungsschleusenkammer **12** und die Transferkammer **13** zu einer Vakuumkammer **15** in der Plasmaeinrichtung **10** transferiert und einer Sauerstoffplasmadotierung unterzogen. Das Substrat, das einer Sauerstoffplasmadotierung unterzogen worden ist, wird von der Plasmaeinrichtung **10** durch die Ladungsschleusenkammer **12** und die Transferkammer **13** zu der Substratzuführkammer **11** transferiert. Es sei darauf hingewiesen, dass ein Transferroboter zum Transferieren eines Bearbeitungssubstrats in jeder der Substratzuführkammer **11** und der Transferkammer **13** vorgesehen ist.

**[0251]** Wie in Fig. 17B gezeigt ist, weist die Plasmaeinrichtung **10** die Vakuumkammer **15** auf. Eine Vielzahl von Gasauslässen und eine ICP-Spule (inductively coupled plasma coil) **16**, die eine Erzeugungsquelle von Plasma ist, sind an einem oberen Abschnitt der Vakuumkammer **15** vorgesehen.

**[0252]** Die zwölf Gasauslässe sind, von dem oberen Teil der Plasmaeinrichtung **10** aus betrachtet, in einem mittleren Abschnitt angeordnet. Jeder der Gasauslässe ist mit einer Gaszuführquelle zum Zuführen eines Sauerstoffgases durch einen Gasströmungsweg **17** verbunden. Die Gaszuführquelle weist einen Massenströmungsregler und dergleichen auf und kann ein Sauerstoffgas in einer gewünschten Strömungsmenge (die größer ist als 0 sccm und kleiner als oder gleich 1000 sccm) dem Gasströmungsweg **17** zuführen. Das Sauerstoffgas, das von der Gaszuführquelle zugeführt wird, wird von dem Gate-Strömungsweg **17** durch die zwölf Gasauslässe der Vakuumkammer **15** zugeführt.

**[0253]** Die ICP-Spule **16** weist eine Vielzahl von streifenförmigen Leitern auf, die jeweils eine Spiralförmigkeit haben. Ein Ende jedes der Leiter ist über eine Anpassungsschaltung zum Steuern einer Impedanz elektrisch mit einer ersten Hochfrequenz-Energiequelle **18** (13,56 MHz) verbunden, und ihr anderes Ende ist geerdet.

**[0254]** Ein Substrattisch **19**, der als eine untere Elektrode fungiert, ist in einem unteren Abschnitt der Vakuumkammer vorgesehen. Mittels einer elektrostatischen Einspannvorrichtung oder dergleichen, die für den Substrattisch **19** vorgesehen ist, wird ein Bearbeitungssubstrat **20** lösbar auf dem Substrattisch gehalten. Der Substrattisch **19** weist ein Heizgerät als ein Heizsystem und einen He-Gasströmungsdurchgang als Kühlsystem auf. Der Substrattisch ist mit einer zweiten Hochfrequenz-Energiequelle **21** (3,2 MHz) zum Anlegen einer Substratvorspannung verbunden.

**[0255]** Ferner weist die Vakuumkammer **15** eine Austrittsöffnung und ein automatisches Drucksteuerventil (auch als APC [automatic pressure control valve] bezeichnet) **22** auf. Das APC ist mit einer Turbo-Molekularpumpe **23** verbunden und ist ferner über die Turbo-Molekularpumpe **23** mit einer Trockenpumpe **24** verbunden. Das APC steuert den Innendruck der Vakuumkammer. Die Turbo-Molekularpumpe **23** und die Trockenpumpe **24** verringern den Innendruck der Vakuumkammer **15**.

**[0256]** Als Nächstes wird ein Beispiel beschrieben, bei dem Plasma in der Vakuumpumpe **15**, die in Fig. 17B gezeigt ist, erzeugt wird, und es wird eine Sauerstoffplasmadotierung an einem Oxid-Halbleiterfilm, einem Basis-Isolierfilm oder einem Gate-Isolierfilm, die für das Bearbeitungssubstrat **20** vorgesehen sind, durchgeführt.

**[0257]** Zuerst wird der Innendruck der Vakuumkammer **15** durch Bedienen der Turbo-Molekularpumpe **23**, der Trockenpumpe **24** oder dergleichen auf einem gewünschten Druck gehalten, und dann wird das Bearbeitungssubstrat **20** auf dem Substrattisch in der Vakuumkammer **15** platziert. Es sei darauf hingewiesen, dass das Bearbeitungssubstrat **20**, das auf dem Substrattisch gehalten wird, zumindest einen Oxid-Halbleiterfilm oder einen Basis-Isolierfilm aufweist. Bei dieser Ausführungsform wird der Innendruck der Vakuumkammer **15** auf 1,33 Pa gehalten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Strömungsmenge des Sauerstoffgases, das von den Gasauslässen in die Vakuumpumpe **15** geliefert wird, auf 250 sccm eingestellt ist.

**[0258]** Als Nächstes wird eine Hochfrequenzenergie von der ersten Hochfrequenz-Energiequelle **18** an die ICP-Spule **16** angelegt, wodurch Plasma erzeugt wird. Dann wird ein Zustand, in dem Plasma erzeugt wird, für einen bestimmten Zeitraum (größer als oder gleich 30 Sekunden und kleiner als oder gleich 600 Sekunden) aufrechterhalten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Hochfrequenzenergie, die an die ICP-Spule **16** angelegt wird, größer als oder gleich 1 kW und kleiner als oder gleich 10 kW ist. Bei dieser Ausführungsform ist die Hochfrequenzenergie auf 6000 W eingestellt. Dabei kann eine Substratvorspannung von der zweiten Hochfrequenz-Energiequelle **21** an den Substrattisch angelegt werden. Bei dieser Ausführungsform ist die Energie, die zum Anlegen der Substratvorspannung verwendet wird, auf 1000 W eingestellt.

**[0259]** Bei dieser Ausführungsform wird der Zustand, in dem Plasma erzeugt wird, 60 Sekunden lang aufrechterhalten, und dann wird das Bearbeitungssubstrat **20** aus der Vakuumkammer **15** transferiert. Auf diese Weise kann eine Sauerstoffplasmadotierung an dem Oxid-Halbleiterfilm, dem Basis-Isolierfilm oder dem Gate-Isolierfilm, die für das Bearbeitungssubstrat **20** vorgesehen sind, durchgeführt werden.

**[0260]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

#### [Ausführungsform 5]

**[0261]** Bei dieser Ausführungsform wird als ein Beispiel für eine Halbleitervorrichtung ein Speichermedium (ein Speicherelement) beschrieben. Bei dieser Ausführungsform sind der Transistor, der einen in den Ausführungsformen 1 bis 3 beschriebenen Oxid-Halbleiter oder dergleichen aufweist, und ein Transistor, der ein anderes Material als einen Oxid-Halbleiter aufweist, über dem Substrat ausgebildet.

**[0262]** **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** zeigen ein Beispiel für eine Struktur einer Halbleitervorrichtung. **Fig. 7A** zeigt einen Querschnitt der Halbleitervorrichtung, und **Fig. 7B** zeigt eine Draufsicht der Halbleitervorrichtung. Hier entspricht **Fig. 7A** einem Querschnitt entlang Linien C1-C2 und D1-D2 in **Fig. 7B**. **Fig. 7C** zeigt ein Beispiel für ein Schema einer Schaltung, die die Halbleitervorrichtung als ein Speicherelement aufweist. Bei der Halbleitervorrichtung, die in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** gezeigt ist, ist ein Transistor **240**, der ein erstes Halbleitermaterial aufweist, in einem unteren Abschnitt vorgesehen, und der Transistor **120**, der in der Ausführungsform 1 beschrieben ist, ist in dem oberen Abschnitt vorgesehen. Es sei darauf hingewiesen, dass der Transistor **120** einen Oxid-Halbleiter als ein zweites Halbleitermaterial aufweist. Bei dieser Ausführungsform ist das erste Halbleitermaterial ein anderes Halbleitermaterial als ein Oxid-Halbleiter. Als das Halbleitermaterial, das sich von einem Oxid-Halbleiter unterscheidet, können vorzugsweise z. B. Silizium, Germanium, Siliziumgermanium, Siliziumkarbid, Galliumarsenid oder dergleichen verwendet werden, und vorzugsweise wird ein Einkristall-Halbleiter verwendet. Alternativ kann ein organisches Halbleitermaterial oder dergleichen verwendet werden. Ein Transistor, der ein solches anderes Halbleitermaterial als einen Oxid-Halbleiter aufweist, kann leicht eine Hochgeschwindigkeitsoperation erreichen. Andererseits kann ein Transistor, der einen Oxid-Halbleiter aufweist, aufgrund seiner Eigenschaften eine Ladung über einen langen Zeitraum halten.

**[0263]** Es sei darauf hingewiesen, dass bei dieser Ausführungsform ein Beispiel beschrieben ist, bei dem das Speichermedium unter Verwendung des Transistors **120** ausgebildet wird; es braucht jedoch nicht darauf hingewiesen zu werden, dass jeder der Transistoren **130** bis **160** und dergleichen, die in der Ausführungsform 1 oder 2 beschrieben sind, anstelle des Transistors **120** verwendet werden können.

**[0264]** Der Transistor **240** in **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** umfasst eine Kanalausbildungsregion **216**, die in einem Substrat **200** vorgesehen ist, das ein Halbleitermaterial (z. B. Silizium) aufweist, Fremdatomregionen **220**, zwischen denen die Kanalausbildungsregion **216** vorgesehen ist, Metallverbindungsregionen **224**, die mit den Fremdatomregionen **220** in Kontakt stehen, einen Gate-Isolierfilm **208**, der über der Kanalausbildungsregion **216** vorgesehen ist, und die Gate-Elektrode **210**, die über dem Gate-Isolierfilm **208** vorgesehen ist.

**[0265]** Als das Substrat **200**, das ein Halbleitermaterial aufweist, können ein Einkristall-Halbleitersubstrat oder ein polykristallines Halbleitersubstrat aus Silizium, Siliziumkarbid oder dergleichen; ein Verbund-Halbleitersubstrat aus Siliziumgermanium oder dergleichen; ein SOI-Substrat; oder dergleichen verwendet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass der Ausdruck "SOI-Substrat" zwar grundsätzlich ein Substrat bedeutet, bei dem ein Silizium-Halbleiterfilm über einer Isolierfläche vorgesehen ist, der Ausdruck "SOI-Substrat" in dieser Patentschrift und dergleichen jedoch auch ein Substrat umfasst, bei dem ein Halbleiterfilm, der ein anderes Material als Silizium aufweist, über einer Isolierfläche vorgesehen ist. Mit anderen Worten: ein Halbleiterfilm, der in dem "SOI-Substrat" enthalten ist, ist nicht auf einen Silizium-Halbleiterfilm beschränkt. Ferner kann das SOI-Substrat ein Substrat sein, das eine Struktur aufweist, bei der ein Halbleiterfilm über einem Isoliersubstrat, wie z. B. einem Glassubstrat, mit einem dazwischen vorgesehenen Isolierfilm vorgesehen ist.

**[0266]** Ein Elementtrennungs-Isolierfilm **206** ist so über dem Substrat **200** vorgesehen, dass er den Transistor **240** umgibt, und ein Isolierfilm **228** und ein Isolierfilm **230** sind dazu vorgesehen, den Transistor **240** zu bedecken. Es sei darauf hingewiesen, dass es im Hinblick auf eine hohe Integration bevorzugt wird, dass, wie in **Fig. 7A**, der Transistor **240** keinen Seitenwand-Isolierfilm aufweist. Andererseits können in dem Fall, in dem die Eigenschaften des Transistors **240** Priorität haben, Seitenwand-Isolierfilme an Seitenwänden der Gate-Elektrode **210** vorgesehen sein, und die Fremdatomregionen **220** können jeweils eine Region mit einer unterschiedlichen Fremdatomkonzentration aufweisen.

**[0267]** Der Transistor **240** kann unter Verwendung von Silizium, Germanium, Siliziumgermanium, Siliziumkarbid, Galliumarsenid oder dergleichen hergestellt werden. Ein solcher Transistor **240** ist zu einer Hochgeschwindigkeitsoperation fähig. Somit können dann, wenn der Transistor als ein Lesetransistor verwendet wird, Daten mit hoher Geschwindigkeit ausgelesen werden.

**[0268]** Nach dem Ausbilden des Transistors **240** werden als eine Behandlung vor dem Ausbilden des Transistors **120** und eines Kondensators **164** der Isolierfilm **228** und der Isolierfilm **230** einer CMP-Behandlung unterzogen, so dass eine obere Fläche der Gate-Elektrode **210** freigelegt wird. Eine Behandlung zum Freilegen der oberen Fläche der Gate-Elektrode **210** kann auch eine Ätzbehandlung oder dergleichen anstelle der CMP-Behandlung angewendet werden; zum Verbessern von Eigenschaften des Transistors **120** werden Flächen des Isolierfilms **228** und des Isolierfilms **230** vorzugsweise so eben wie möglich ausgeführt.

**[0269]** Als Nächstes wird ein leitender Film über der Gate-Elektrode **210**, dem Isolierfilm **228**, dem Isolierfilm **230** und dergleichen ausgebildet, und der leitende Film wird selektiv geätzt, so dass eine Source-Elektrode **104a** und eine Drain-Elektrode **104b** ausgebildet werden.

**[0270]** Der leitende Film kann mittels eines PVD-Verfahrens, wie z. B. eines Sputterverfahrens, oder eines CVD-Verfahrens, wie z. B. eines Plasma-CVD-Verfahrens, ausgebildet werden. Als das Material des leitenden Films können ein Element ausgewählt aus Al, Cr, Cu, Ta, Ti, Mo und W, eine Legierung, die jedes geeignete der vorgenannten Elemente als seine Komponente aufweist, und dergleichen verwendet werden. Mn, Mg, Zr, Be, Nd und Sc oder ein Material, das jedes geeignete davon in Kombination aufweist, können verwendet werden.

**[0271]** Der leitende Film kann entweder eine einschichtige Struktur oder eine Schichtstruktur aus zwei oder mehr Schichten aufweisen. Beispielsweise kann der leitende Film eine einschichtige Struktur aus einem Titanfilm oder einem Titannitridfilm, eine einschichtige Struktur aus einem siliziumhaltigen Aluminiumfilm, eine zweischichtige Struktur, bei der ein Titanfilm über einem Aluminiumfilm gestapelt ist, eine zweischichtige Struktur, bei der ein Titanfilm über einem Titannitridfilm gestapelt ist, oder eine dreischichtige Struktur, bei der ein Titanfilm, ein Aluminiumfilm und ein Titanfilm in dieser Reihenfolge gestapelt sind, aufweisen. Es sei darauf hingewiesen, dass in dem Fall, in dem der leitende Film eine einschichtige Struktur aus einem Titanfilm oder einem Titannitridfilm aufweist, dahingehend ein Vorteil besteht, dass die Source-Elektrode **104a** und die Drain-Elektrode **104b** auf einfache Weise so bearbeitet werden können, dass sie sich verjüngen.

**[0272]** Eine Kanallänge (L) des Transistors **120** in dem oberen Abschnitt wird von einer Distanz zwischen einem unteren Endabschnitt der Source-Elektrode **104a** und einem unteren Endabschnitt der Drain-Elektrode **104b** bestimmt. Es sei darauf hingewiesen, dass hinsichtlich der Belichtung zum Ausbilden einer Maske, die in dem Fall verwendet wird, in dem ein Transistor mit einer Kanallänge (L) von weniger als 25 nm ausgebildet wird, es bevorzugt wird, Extrem-Ultraviolett-Strahlen zu verwenden, deren Wellenlänge nur mehrere Nanometer bis mehrere zehn Nanometer kurz ist.

**[0273]** Als Nächstes wird ein Oxid-Halbleiterfilm zum Bedecken der Source-Elektrode **104a** und der Drain-Elektrode **104b** ausgebildet, und der Oxid-Halbleiterfilm wird selektiv so geätzt, dass der Oxid-Halbleiterfilm **108**

ausgebildet wird. Der Oxid-Halbleiterfilm wird unter Verwendung des Materials und des Ausbildungsprozesses ausgebildet, die bei Ausführungsform 1 beschrieben sind.

**[0274]** Dann wird ein Gate-Isolierfilm **110**, der mit dem Oxid-Halbleiterfilm **108** in Kontakt steht, ausgebildet. Der Gate-Isolierfilm **110** wird unter Verwendung des Materials und des Ausbildungsprozesses ausgebildet, die bei Ausführungsform 1 beschrieben sind.

**[0275]** Als Nächstes wird über dem Gate-Isolierfilm **110** eine Gate-Elektrode **112a** in einer Region ausgebildet, die sich mit dem Oxid-Halbleiterfilm **108** überlappt, und eine Elektrode **112b** wird in einer Region ausgebildet, die sich mit der Source-Elektrode **104a** überlappt.

**[0276]** Nach dem Ausbilden des Gate-Isolierfilms **110** wird eine Wärmebehandlung (auch als ein Zuführen von Sauerstoff bezeichnet) vorzugsweise in einer Inertgasatmosphäre oder einer Sauerstoffatmosphäre durchgeführt. Die Temperatur der Wärmebehandlung ist höher als oder gleich 200 °C und niedriger als oder gleich 450 °C, vorzugsweise höher als oder gleich 250 °C und niedriger als oder gleich 350 °C. Beispielsweise kann die Wärmebehandlung eine Stunde lang bei 250 °C in einer Stickstoffatmosphäre durchgeführt werden. Durch Durchführen der Wärmebehandlung kann eine Änderung von elektrischen Eigenschaften des Transistors verringert werden.

**[0277]** Es sei darauf hingewiesen, dass der Zeitpunkt der Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff nicht darauf beschränkt ist. Beispielsweise kann die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff nach dem Ausbilden der Gate-Elektrode durchgeführt werden. Alternativ kann die Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff im Anschluss an eine Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen durchgeführt werden; eine Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen kann auch als eine Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff dienen; oder eine Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff kann auch als Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen dienen.

**[0278]** Wie oben beschrieben ist, kann dann, wenn eine Wärmebehandlung zum Entziehen von Wasser oder dergleichen und eine Sauerstoffdotierungsbehandlung oder eine Wärmebehandlung zum Zuführen von Sauerstoff durchgeführt werden, der Oxid-Halbleiterfilm **108** hochgereinigt werden, um so wenige Fremdatome wie möglich zu enthalten.

**[0279]** Die Gate-Elektrode **112a** und die Elektrode **112b** können auf eine solche Weise ausgebildet werden, dass ein leitender Film über dem Gate-Isolierfilm **110** ausgebildet wird und dann selektiv geätzt wird.

**[0280]** Als Nächstes werden ein Isolierfilm **151** und ein Isolierfilm **152** über dem Gate-Isolierfilm **110**, der Gate-Elektrode **112a** und der Elektrode **112b** ausgebildet. Der Isolierfilm **151** und der Isolierfilm **152** können mittels eines Sputterverfahrens, eines CVD-Verfahrens oder dergleichen ausgebildet werden. Der Isolierfilm **151** und der Isolierfilm **152** können unter Verwendung eines Materials ausgebildet werden, das ein anorganisches Isoliermaterial aufweist, wie z. B. Siliziumoxid, Siliziumoxinitrid, Siliziumnitrid, Hafniumoxid, Aluminiumoxid oder Galliumoxid.

**[0281]** Als Nächstes wird eine Öffnung zu der Drain-Elektrode **104b** durch den Gate-Isolierfilm **110**, den Isolierfilm **151** und den Isolierfilm **152** hindurch ausgebildet. Die Öffnung wird durch selektives Ätzen unter Verwendung einer Maske oder dergleichen ausgebildet.

**[0282]** Danach wird eine Elektrode **154** in der Öffnung ausgebildet, und eine Verdrahtung **156**, die mit der Elektrode **154** in Kontakt steht, wird über dem Isolierfilm **152** ausgebildet.

**[0283]** Die Elektrode **154** kann beispielsweise auf eine solche Weise ausgebildet werden, dass ein leitender Film in einer die Öffnung umfassenden Region mittels eines PVD-Verfahrens, eines CVD-Verfahrens oder dergleichen ausgebildet wird und dann ein Teil des leitenden Films durch Ätzen, CMP oder dergleichen entfernt wird.

**[0284]** Die Verdrahtung **156** wird auf eine solche Weise ausgebildet, dass ein leitender Film mittels eines PVD-Verfahrens, wie z. B. eines Sputterverfahrens, oder eines CVD-Verfahrens, wie z. B. eines Plasma-CVD-Verfahrens, ausgebildet wird und dann der leitende Film gemustert wird. Als ein Material des leitenden Films können ein Element ausgewählt aus Al, Cr, Cu, Ta, Ti, Mo und W, eine Legierung, die jedes geeignete der vorgenannten Elemente als seine Komponente aufweist, oder dergleichen verwendet werden. Mn, Mg, Zr, Be, Nd und Sc oder ein Material, das jedes geeignete davon in Kombination aufweist, können verwendet

werden. Die Details sind die gleichen wie diejenigen der Source-Elektrode **104a**, der Drain-Elektrode **104b** oder dergleichen.

**[0285]** Mittels des oben beschriebenen Prozesses können der Transistor **120** und der Kondensator **164**, der den hochreinen Oxid-Halbleiterfilm **108** aufweist, fertiggestellt werden. Der Kondensator **164** weist die Source-Elektrode **104a**, den Oxid-Halbleiterfilm **108**, den Gate-Isolierfilm **110** und die Elektrode **112b** auf.

**[0286]** Es sei darauf hingewiesen, dass bei dem Kondensator **164** in **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** eine Isolierung zwischen der Source-Elektrode **104a** und der Elektrode **112b** durch Stapeln des Oxid-Halbleiterfilms **108** und des Gate-Isolierfilms **110** in ausreichendem Maße gesichert sein kann. Es braucht nicht darauf hingewiesen zu werden, dass der Kondensator **164** auch ohne den Oxid-Halbleiterfilm **108** verwendet werden kann, um eine ausreichende Kapazität sicherzustellen. Als eine weitere Alternative kann der Kondensator **164** in dem Fall entfallen, in dem kein Kondensator benötigt wird.

**[0287]** **Fig. 7C** zeigt ein Beispiel für ein Schema einer Schaltung, bei der die Halbleitervorrichtung als ein Speicherelement verwendet wird. In **Fig. 7C** sind eine einer Source-Elektrode und einer Drain-Elektrode des Transistors **120**, eine Elektrode des Kondensators **164** und eine Gate-Elektrode des Transistors **240** elektrisch miteinander verbunden. Eine erste Verdrahtung (1. Leitung, auch als eine Source-Leitung bezeichnet) ist elektrisch mit einer Source-Elektrode des Transistors **240** verbunden. Eine zweite Verdrahtung (2. Leitung, auch als eine Bitleitung bezeichnet) ist elektrisch mit einer Drain-Elektrode des Transistors **240** verbunden. Eine dritte Verdrahtung (3. Leitung, auch als eine erste Signalleitung bezeichnet) ist elektrisch mit der anderen der Source-Elektrode und der Drain-Elektrode des Transistors **120** verbunden. Eine vierte Verdrahtung (4. Leitung, auch als eine zweite Signalleitung bezeichnet) ist elektrisch mit einer Gate-Elektrode des Transistors **120** verbunden. Eine fünfte Verdrahtung (5. Leitung, auch als eine Wortleitung bezeichnet) ist elektrisch mit der anderen Elektrode des Kondensators **164** verbunden.

**[0288]** Der Transistor **120**, der einen Oxid-Halbleiter aufweist, hat einen außerordentlich niedrigen Abschaltstrom; daher kann dann, wenn der Transistor **120** abgeschaltet wird, das Potential eines Knotenpunkts (nachstehend ein Knotenpunkt FG), bei dem eine der Source-Elektrode und der Drain-Elektrode des Transistors **120**, eine Elektrode des Kondensators **164** und die Gate-Elektrode des Transistors **240** elektrisch miteinander verbunden sind, über einen außerordentlich langen Zeitraum gehalten werden. Der Kondensator **164** vereinfacht das Halten der Ladung, die zu dem Knotenpunkt FG geleitet wird, und das Lesen von festgehaltenen Daten.

**[0289]** Wenn Daten in der Halbleitervorrichtung gespeichert werden (Schreiben), wird das Potential der vierten Verdrahtung auf ein Potential eingestellt, bei dem der Transistor **120** eingeschaltet wird, wodurch der Transistor **120** eingeschaltet wird. Somit wird das Potential der dritten Verdrahtung an den Knotenpunkt FG angelegt, und eine vorgegebene Menge an Ladung wird in dem Knotenpunkt FG akkumuliert. Hier wird die Ladung zum Anlegen eines von zwei unterschiedlichen Potentialpegeln (nachsehend als eine Ladung mit einem niedrigen Pegel und eine Ladung mit einem hohen Pegel bezeichnet) zu dem Knotenpunkt FG geleitet. Danach wird das Potential der vierten Verdrahtung auf ein Potential eingestellt, bei dem der Transistor **120** abgeschaltet wird, wodurch der Transistor **120** abgeschaltet wird. Dadurch wird der Knotenpunkt FG gefloatet und die vorgegebene Menge an Ladung wird in dem Knotenpunkt FG gehalten. Die vorgegebene Menge an Ladung wird somit akkumuliert und in dem Knotenpunkt FG gehalten, wodurch die Speicherzelle Daten speichern kann.

**[0290]** Da der Abschaltstrom des Transistors **120** außerordentlich klein ist, wird die Ladung, die an den Knotenpunkt FG angelegt ist, für einen langen Zeitraum gehalten. Aufgrund dieses Merkmals kann eine Aktualisierungsoperation unnötig sein oder die Häufigkeit der Aktualisierungsoperation drastisch verringert werden, was zu einer ausreichenden Verringerung des Energieverbrauchs führt. Ferner können gespeicherte Daten selbst dann über einen langen Zeitraum festgehalten werden, wenn keine Energie zugeführt wird.

**[0291]** Wenn Speicherdaten ausgelesen werden (Lesen), während ein vorgegebenes Potential (ein festes Potential) an die erste Verdrahtung angelegt ist, wird ein geeignetes Potential (ein Auslese-Potential) an die fünfte Verdrahtung angelegt, wodurch der Transistor **240** seinen Zustand in Abhängigkeit von der Menge an Ladung, die in dem Knotenpunkt FG gehalten ist, verändert. Der Grund dafür ist, dass grundsätzlich dann, wenn der Transistor **240** ein n-Kanal-Transistor ist, ein scheinbarer Schwellwert  $V_{th\_H}$  des Transistors **240** in dem Fall, in dem eine Ladung mit einem hohen Pegel in dem Knotenpunkt FG gehalten wird, niedriger ist als ein scheinbarer Schwellwert  $V_{th\_L}$  des Transistors **240** in dem Fall, in dem eine Ladung mit einem niedrigen Pegel in dem Knotenpunkt FG gehalten wird. Hier bezieht sich eine scheinbare Schwellspannung auf das Potential der fünften Verdrahtung, das zum Einschalten des Transistors **240** benötigt wird. Somit kann durch Einstellen des Potentials der fünften Verdrahtung auf ein Potential  $V_0$ , das zwischen  $V_{th\_H}$  und  $V_{th\_L}$  liegt, eine

Ladung, die in dem Knotenpunkt FG gehalten wird, bestimmt werden. Beispielsweise wird in dem Fall, in dem eine Ladung mit einem hohen Pegel beim Schreiben verwendet wird, dann, wenn das Potential der fünften Verdrahtung auf  $V_0$  ( $> V_{th,H}$ ) eingestellt ist, der Transistor **240** eingeschaltet. In dem Fall, in dem eine Ladung mit einem niedrigen Pegel beim Schreiben verwendet wird, bleibt selbst dann, wenn das Potential der fünften Verdrahtung auf  $V_0$  ( $< V_{th,L}$ ) eingestellt ist, der Transistor **240** in einem Aus-Zustand. Auf eine solche Weise können durch Steuern des Potentials der fünften Verdrahtung und Bestimmen, ob sich der Transistor **240** in einem Ein-Zustand oder einem Aus-Zustand befindet (Auslesen des Potentials der zweiten Verdrahtung), Speicherdaten ausgelesen werden.

**[0292]** Zum erneuten Schreiben von Speicherdaten wird ein neues Potential an den Knotenpunkt FG angelegt, der die vorgegebene Menge an Ladung für das oben beschriebene Schreiben hält, so dass die Ladung der neuen Daten in dem Knotenpunkt FG gehalten wird. Insbesondere wird das Potential der vierten Verdrahtung auf ein Potential eingestellt, bei dem der Transistor **120** eingeschaltet wird, wodurch der Transistor **120** eingeschaltet wird. Folglich wird das Potential der dritten Verdrahtung (ein Potential neuer Daten) an den Knotenpunkt FG angelegt, und die vorgegebene Menge an Ladung wird in dem Knotenpunkt FG akkumuliert. Danach wird das Potential der vierten Verdrahtung auf ein Potential eingestellt, bei dem der Transistor **120** abgeschaltet wird, wodurch der Transistor **120** abgeschaltet wird. Somit wird die Ladung der neuen Daten in dem Knotenpunkt FG gehalten. Mit anderen Worten: während die vorgegebene Menge an Ladung für das erste Schreiben in dem Knotenpunkt FG gehalten wird, wird die gleiche Operation (ein zweites Schreiben) wie bei dem ersten Schreiben durchgeführt, wodurch die Speicherdaten überschrieben werden können.

**[0293]** Der Abschaltstrom des Transistors **120**, der bei dieser Ausführungsform beschrieben ist, kann unter Verwendung des hochreinen Intrinsic-Halbleiter-Oxidfilms **108** in ausreichendem Maße verringert werden. Ferner enthält der Oxid-Halbleiterfilm **108** einen Sauerstoffüberschuss, wodurch eine Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors **120** unterbunden wird, so dass der Transistor, der elektrisch stabil ist, erhalten werden kann. Ferner kann bei Verwendung eines solchen Transistors eine hochzuverlässige Halbleitervorrichtung erhalten werden, die in der Lage ist, Speicherdaten über einen außerordentlich langen Zeitraum zu halten.

**[0294]** Bei der Halbleitervorrichtung, die bei dieser Ausführungsform beschrieben ist, überlappen der Transistor **240** und der Transistor **120** einander; daher kann eine Halbleitervorrichtung, deren Integrationsgrad in ausreichendem Maße verbessert ist, realisiert werden.

**[0295]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

#### [Ausführungsform 6]

**[0296]** Eine Halbleitervorrichtung, die eine Anzeigefunktion (auch als eine Anzeigevorrichtung bezeichnet) aufweist, kann unter Verwendung des Transistors hergestellt werden, der beispielhaft bei den Ausführungsformen 1 bis 3 beschrieben ist. Ferner kann ein Teil der oder die gesamte Treiberschaltungsanordnung, die den Transistor enthält, über einem Substrat ausgebildet sein, wo ein Pixelabschnitt ausgebildet ist, wodurch ein System-on-Panel erhalten werden kann.

**[0297]** In Fig. 8A ist ein Dichtungsmittel **4005** so vorgesehen, dass es einen Pixelabschnitt **4002** umgibt, der über einem ersten Substrat **4001** vorgesehen ist, und der Pixelabschnitt **4002** wird unter Verwendung eines zweiten Substrats **4006** abgedichtet. In Fig. 8A sind eine Signalleitungs-Treiberschaltung **4003** und eine Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004**, die unter Verwendung eines Einkristall-Halbleiterfilms oder eines polykristallinen Halbleiterfilms getrennt auf einem Substrat ausgebildet sind, in einer anderen Region montiert als der Region, die von dem Dichtungsmittel **4005** über dem ersten Substrat **4001** umgeben ist. Verschiedene Signale und Potentiale werden von flexiblen gedruckten Schaltungen (flexible printed circuits FPCs) **4018a** und **4018b** der Signalleitungs-Treiberschaltung **4003** und der Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004**, die getrennt ausgebildet sind, und dem Pixelabschnitt **4002** zugeführt.

**[0298]** In Fig. 8B und Fig. 8C ist das Dichtungsmittel **4005** so vorgesehen, dass es den Pixelabschnitt **4002** und die Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** umgibt, die über dem ersten Substrat **4001** vorgesehen sind. Das zweite Substrat **4006** ist über dem Pixelabschnitt **4002** und der Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** vorgesehen. Folglich sind der Pixelabschnitt **4002** und die Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** zusammen mit dem Anzeigeelement mittels des ersten Substrats **4001**, des Dichtungsmittels **4005** und des zweiten Substrats **4006** abgedichtet. In Fig. 8B und Fig. 8C ist die Signalleitungs-Treiberschaltung **4003**, die unter Verwendung

eines Einkristall-Halbleiterfilms oder eines polykristallinen Halbleiterfilms über einem getrennt ausgebildeten Substrat ausgebildet ist, in einer anderen Region montiert als der Region, die von dem Dichtungsmittel **4005** über dem ersten Substrat **4001** umgeben ist. In **Fig. 8B** und **Fig. 8C** werden verschiedene Signale und Potentiale von einer FPC **4018** der Signalleitungs-Treiberschaltung **4003**, die getrennt ausgebildet ist, der Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** und dem Pixelabschnitt **4002** zugeführt.

**[0299]** Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist nicht auf die in **Fig. 8A** bis **Fig. 8C** beschriebenen Strukturen beschränkt. Es kann auch nur ein Teil der Signalleitungs-Treiberschaltung oder ein Teil der Abtastleitungs-Treiberschaltung getrennt ausgebildet und dann montiert werden.

**[0300]** Es sei darauf hingewiesen, dass ein Verbindungsverfahren einer getrennt ausgebildeten Treiberschaltung keiner besonderen Einschränkung unterliegt, und es kann ein Chip-on-Glass-(COG-)Verfahren, ein Drahtbondungs-Verfahren, ein Tape-Automated-Bonding-(TAB-)Verfahren oder dergleichen angewendet werden. **Fig. 8A** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signalleitungs-Treiberschaltung **4003** und die Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** mittels eines COG-Verfahrens montiert sind. **Fig. 8B** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signalleitungs-Treiberschaltung **4003** mittels eines COG-Verfahrens montiert ist. **Fig. 8C** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signalleitungs-Treiberschaltung **4003** mittels eines TAB-Verfahrens montiert ist.

**[0301]** Es sei darauf hingewiesen, dass die Anzeigevorrichtung ein Panel, in dem das Anzeigeelement abgedichtet ist, und ein Modul aufweist, in dem eine IC oder dergleichen, einschließlich eines Reglers, auf dem Panel montiert ist.

**[0302]** Es sei darauf hingewiesen, dass die Anzeigevorrichtung in dieser Patentschrift eine Bildanzeigevorrichtung, eine Anzeigevorrichtung oder eine Lichtquelle (einschließlich einer Beleuchtungsvorrichtung) bedeutet. Ferner weist die Anzeigevorrichtung auch die folgenden Module in ihrer Kategorie auf: ein Modul, an dem ein Anschlusssteil, wie z. B. eine FPC, ein TAB-Band oder ein TCP angebracht ist, ein Modul, das ein TAB-Band oder ein TCP aufweist, an dessen Spitze eine Leiterplatte vorgesehen ist; und ein Modul, bei dem eine integrierte Schaltung (integrated circuit IC) direkt mittels eines COG-Verfahrens an einem Anzeigeelement montiert ist.

**[0303]** Der Pixelabschnitt und die Abtastleitungs-Treiberschaltung, die über dem ersten Substrat angeordnet sind, weisen eine Vielzahl von Transistoren auf, und jeder geeignete der Transistoren, die bei Ausführungsformen 1 bis 3 beschrieben sind, kann verwendet werden.

**[0304]** Als das Anzeigeelement, das in der Anzeigevorrichtung vorgesehen ist, kann ein Flüssigkristallelement (auch als Flüssigkristall-Anzeigeelement bezeichnet) oder ein lichtemittierendes Element (auch als ein lichtemittierendes Anzeigeelement bezeichnet) verwendet werden. Das lichtemittierende Element weist in seiner Kategorie ein Element auf, dessen Leuchtdichte von einem Strom oder einer Spannung gesteuert wird, und weist in seiner Kategorie insbesondere ein anorganisches Elektrolumineszenz-(EL-)Element, ein organisches EL-Element und dergleichen auf. Ferner kann ein Anzeigemedium, dessen Kontrast durch einen elektrischen Effekt, wie z. B. eine elektronische Tinte, verändert wird, verwendet werden.

**[0305]** Eine Ausführungsform der Halbleitervorrichtung wird mit Bezug auf **Fig. 9**, **Fig. 10** und **Fig. 11** beschrieben. **Fig. 9**, **Fig. 10** und **Fig. 11** entsprechen Querschnittsansichten entlang der Linie M-N in **Fig. 8B**.

**[0306]** Wie in **Fig. 9** bis **Fig. 11** dargestellt ist, weist die Halbleitervorrichtung eine Verbindungs-Anschlusselektrode **4015** und eine Anschlusselektrode **4016** auf. Die Verbindungs-Anschlusselektrode **4015** und die Anschlusselektrode **4016** sind über einen anisotropen leitenden Film **4019** elektrisch mit einem Anschluss in der FPC **4018** verbunden.

**[0307]** Die Verbindungs-Anschlusselektrode **4015** ist unter Verwendung des gleichen leitenden Films wie bei einer ersten Elektroden-schicht **4030** ausgebildet, und die Anschlusselektrode **4016** ist unter Verwendung des gleichen leitenden Films wie bei den Source- und Drain-Elektroden von Transistoren **4010** und **4011** ausgebildet.

**[0308]** Der Pixelabschnitt **4002** und die Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004**, die über dem ersten Substrat **4001** vorgesehen sind, weisen eine Vielzahl von Transistoren auf. In **Fig. 9** bis **Fig. 11** sind der Transistor **4010** in dem Pixelabschnitt **4002** und der Transistor **4011** in der Abtastleitungs-Treiberschaltung **4004** beispielhaft dargestellt. In **Fig. 10** und **Fig. 11** ist eine Isolierschicht **4021** über den Transistoren **4010** und **4011** vorgesehen.

**[0309]** Bei dieser Ausführungsform können der Transistor, der bei den Ausführungsformen 1 bis 3 beschrieben ist, als der Transistor **4010** und der Transistor **4011** verwendet werden. Eine Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors **4010** und des Transistors **4011** wird unterbunden, und der Transistor **4010** und der Transistor **4011** sind elektrisch stabil. Daher können hochzuverlässige Halbleitervorrichtungen als die Halbleitervorrichtungen, die in **Fig. 9** bis **Fig. 11** gezeigt sind, zur Verfügung gestellt werden.

**[0310]** Der Transistor **4010**, der in dem Pixelabschnitt **4002** vorgesehen ist, ist elektrisch mit einem Anzeigeelement in einem Anzeigepanel verbunden. Eine Vielzahl von Anzeigeelementen kann als das Anzeigeelement verwendet werden, solange eine Anzeige erfolgen kann.

**[0311]** Es sei darauf hingewiesen, dass eine Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung, bei der ein Flüssigkristallelement als ein Anzeigeelement verwendet wird, in **Fig. 9** dargestellt ist. In **Fig. 9** weist ein Flüssigkristallelement **4013**, das ein Anzeigeelement ist, die erste Elektrodenschicht **4030**, die zweite Elektrodenschicht **4031** und eine Flüssigkristallschicht **4008** auf. Ein Isolierfilm **4032** und ein Isolierfilm **4033**, die als Ausrichtungsfilme dienen, sind so vorgesehen, dass die Flüssigkristallschicht **4008** dazwischen vorgesehen ist. Die zweite Elektrodenschicht **4031** ist auf der Seite des zweiten Substrats **4006** vorgesehen, und die erste Elektrodenschicht **4030** und die zweite Elektrodenschicht **4031** sind mit der dazwischen vorgesehenen Flüssigkristallschicht **4008** gestapelt. Es sei darauf hingewiesen, dass bei der in **Fig. 8B** gezeigten Anzeigevorrichtung ein Querschnitt entlang der Linie M-N in dem Fall, in dem ein Flüssigkristallelement als das Anzeigeelement verwendet wird, **Fig. 9** entspricht.

**[0312]** Bezugszeichen **4035** bezieht sich auf einen säulenförmigen Abstandshalter, der durch selektives Ätzen eines Isolierfilms erhalten wird und vorgesehen ist, um die Dicke (eine Zellenlücke) der Flüssigkristallschicht **4008** zu steuern. Es sei darauf hingewiesen, dass der Abstandshalter nicht auf einen säulenförmigen Abstandshalter beschränkt ist und beispielsweise ein kugelförmiger Abstandshalter verwendet werden kann.

**[0313]** In dem Fall, in dem ein Flüssigkristallelement als das Anzeigeelement verwendet wird, kann ein thermotroper Flüssigkristall, ein niedermolekularer Flüssigkristall, ein hochmolekularer Flüssigkristall, ein in einem Polymer dispergierter Flüssigkristall, ein ferroelektrischer Flüssigkristall, ein antiferroelektrischer Flüssigkristall oder dergleichen verwendet werden. Ein solches Flüssigkristallmaterial weist je nach den Bedingungen eine cholesterische Phase, eine smektische Phase, eine kubische Phase, eine chirale-nematische Phase, eine isotrope Phase oder dergleichen auf.

**[0314]** Alternativ kann ein eine blaue Phase aufweisender Flüssigkristall, bei dem ein Ausrichtungsfilm nicht erforderlich ist, verwendet werden. Eine blaue Phase ist eine von Flüssigkristallphasen, die auftritt, wenn sich eine cholesterische Phase gerade zu einer isotropen Phase verändert, wobei die Temperatur des cholesterischen Flüssigkristalls erhöht wird. Da die blaue Phase nur in einem engen Temperaturbereich auftritt, wird eine Flüssigkristallzusammensetzung, bei der fünf Gewichtsprozent oder mehr eines chiralen Materials eingemischt sind, als die Flüssigkristallschicht verwendet, um den Temperaturbereich zu verbessern. Die Flüssigkristallzusammensetzung, die einen Flüssigkristall mit einer blauen Phase und ein chirales Agens aufweist, hat eine kurze Reaktionszeit von 1 ms oder weniger, hat eine optische Isotropie, die den Ausrichtungsprozess unnötig macht, und hat eine geringe Betrachtungswinkelabhängigkeit. Ferner können, da ein Ausrichtungsfilm nicht vorgesehen sein muss und eine Reibbehandlung nicht erforderlich ist, während des Herstellungsprozesses eine durch die Reibbehandlung hervorgerufene Beschädigung durch elektrostatische Entladung verhindert werden und Defekte und Beschädigung der Flüssigkristallanzeige verringert werden. Somit kann die Leistung der Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung erhöht werden.

**[0315]** [Der spezifische Widerstand des Flüssigkristallmaterials ist  $1 \times 10^9 \Omega\text{-cm}$  oder mehr, bevorzugt  $1 \times 10^{11} \Omega\text{-cm}$  oder mehr, stärker bevorzugt  $1 \times 10^{12} \Omega\text{-cm}$  oder mehr. Der Wert des spezifischen Widerstands in dieser Patentschrift ist bei 20 °C gemessen.

**[0316]** Die Größe eines Speicherkondensators, der in der Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung ausgebildet ist, wird unter Berücksichtigung des Leckstroms des Transistors eingestellt, der in dem Pixelabschnitt oder dergleichen vorgesehen ist, so dass eine Ladung während eines vorgegebenen Zeitraums gehalten werden kann. Durch Verwendung des Transistors, der den hochreinen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, reicht es aus, einen Speicherkondensator mit einer Kapazität bereitzustellen, die 1/3 oder weniger, vorzugsweise 1/5 oder weniger einer Flüssigkristallkapazität jedes Pixel beträgt.

**[0317]** Bei dem bei dieser Ausführungsform verwendeten Transistor, der den hochreinen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, kann der Strom in einem Aus-Zustand (der Aus-Strom) klein ausgelegt sein. Entsprechend kann ein

elektrisches Signal, wie z. B. ein Bildsignal, über einen langen Zeitraum gehalten werden, und ein Schreibintervall kann lang eingestellt werden in einem Zustand, in dem Energie zugeführt wird. Entsprechend kann die Häufigkeit einer Aktualisierungsoperation verringert werden, was zu einem Effekt des Niedrighaltens des Energieverbrauchs führt.

**[0318]** Ferner kann der bei dieser Ausführungsform verwendete Transistor, der den hochreinen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, eine relativ hohe Feldeffektmobilität haben und ist somit zu einer Hochgeschwindigkeitsoperation fähig. Daher kann durch Verwendung des Transistors in dem Pixelabschnitt der Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung ein hochwertiges Bild erzeugt werden. Ferner kann, da die Transistoren getrennt in einem Treiberschaltungsabschnitt und einem Pixelabschnitt über einem Substrat vorgesehen sein können, die Anzahl von Komponenten der Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung verringert werden.

**[0319]** Bei der Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung kann ein Twisted Nematic-(TN-)Modus, ein In-Plane-Switching-(IPS-)Modus, ein Fringe Field Switching-(FFS-)Modus, ein Axially Symmetric Aligned Micro-Cell-(ASM-)Modus, ein Optical Compensated Birefringence-(OCB-)Modus, ein Ferroelektrisch-Flüssigkristall-(ferroelectric liquid crystal FLC-)Modus, ein Antiferroelektrisch-Flüssigkristall-(antiferroelectric liquid crystal AFLC-)Modus oder dergleichen angewendet werden.

**[0320]** Eine normal schwarze Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung, wie z. B. eine Durchsicht-Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung, bei der ein Vertikalausrichtungs-(VA-)Modus angewendet wird, kann verwendet werden. Der Vertikalausrichtungsmodus ist ein Verfahren zum Steuern der Ausrichtung von Flüssigkristallmolekülen eines Flüssigkristall-Anzeigepanel, bei dem Flüssigkristallmoleküle vertikal zu einer Panelfläche ausgerichtet sind, wenn keine Spannung angelegt ist. Einige Beispiele sind als Vertikalausrichtungsmodus angegeben. Beispielsweise kann ein Multi-Domain Vertical Alignment-(MVA-)Modus, ein Patterned Vertical Alignment-(PVA-)Modus, ein ASV-Modus oder dergleichen angewendet werden. Ferner ist es möglich, ein Verfahren anzuwenden, das als Domainmultiplikations- oder Multi Domain-Auslegung bezeichnet wird, bei dem ein Pixel in einige Regionen (Subpixel) unterteilt ist und Moleküle in unterschiedliche Richtungen in ihren jeweiligen Regionen ausgerichtet sind.

**[0321]** Bei der Anzeigevorrichtung sind eine schwarze Matrix (eine Lichtblockierungsschicht), ein optisches Element (ein optisches Substrat), wie z. B. ein Polarisationsselement, ein Retardationselement oder ein Antireflexelement und dergleichen, soweit erforderlich, vorgesehen. Beispielsweise kann eine kreisförmige Polarisierung durch Verwendung eines Polarisationssubstrats und eines Retardationssubstrats erhalten werden. Ferner kann eine Hintergrundbeleuchtung, eine Seitenbeleuchtung oder dergleichen als eine Lichtquelle verwendet werden.

**[0322]** Ferner ist es möglich, ein Zeitmultiplex-Anzeigeverfahren (auch als feldsequentielles Treiberverfahren bezeichnet) bei Verwendung einer Vielzahl von lichtemittierenden Dioden (LEDs) als Hintergrundbeleuchtung anzuwenden. Bei Anwendung eines feldsequentuellen Treiberverfahrens kann eine Farbanzeige ohne Verwendung eines Farbfilters erfolgen.

**[0323]** Als ein Anzeigeverfahren in dem Pixelabschnitt kann ein Progressivverfahren, ein Zeilensprungverfahren oder dergleichen angewendet werden. Ferner sind Farbelemente, die bei der Farbanzeige in einem Pixel gesteuert werden, nicht auf drei Farben R, G und B (R, G und B entsprechen Rot, Grün bzw. Blau) beschränkt. Beispielsweise kann Folgendes verwendet werden: R, G, B und W (W entspricht Weiß); oder R, G, B und eines oder mehrere von Gelb, Zyan, Magenta und dergleichen. Ferner können die Größen von Anzeigeregionen zwischen jeweiligen Punkten der Farbelemente unterschiedlich sein. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Anwendung bei einer Anzeigevorrichtung für eine Farbanzeige beschränkt, sondern kann auch bei einer Anzeigevorrichtung für eine monochrome Anzeige angewendet werden.

**[0324]** Alternativ kann als das Anzeigeelement in der Anzeigevorrichtung ein lichtemittierendes Element, das Elektrolumineszenz nutzt, verwendet werden. Lichtemittierende Elemente, die Elektrolumineszenz nutzen, sind dahingehend klassifiziert, ob ein lichtemittierendes Material eine organische Verbindung oder eine anorganische Verbindung ist. Grundsätzlich wird Ersteres als ein organisches EL-Element bezeichnet, und Letzteres wird als ein anorganisches EL-Element bezeichnet.

**[0325]** Bei einem organischen EL-Element werden durch Anlegen von Spannung an ein lichtemittierendes Element Elektronen und Löcher von einem Paar von Elektroden in eine Schicht injiziert, die eine lichtemittierende organische Verbindung enthält, und es fließt Strom. Die Träger (Elektronen und Löcher) werden neu kombiniert, und somit wird die lichtemittierende organische Verbindung angeregt. Die lichtemittierende organische

Verbindung kehrt aus dem angeregten Zustand in einen geerdeten Zustand zurück, wodurch Licht emittiert wird. Aufgrund eines solchen Mechanismus wird dieses lichtemittierende Element als ein Stromanregungs-Lichtemissionselement bezeichnet.

**[0326]** Die anorganischen EL-Elemente sind entsprechend ihrer Elementstrukturen in ein anorganisches Dispersions-EL-Element und ein anorganisches Dünnschicht-EL-Element klassifiziert. Ein anorganisches Dispersions-EL-Element weist eine lichtemittierende Schicht auf, in der Partikel eines lichtemittierenden Materials in einem Bindemittel dispergiert sind, und sein Lichtemissionsmechanismus ist eine Lichtemission vom Typ einer Donator-Akzeptor-Neukombinierung, bei der ein Donatorpegel und ein Akzeptorpegel verwendet werden. Ein anorganisches Dünnschicht-EL-Element weist eine Struktur auf, bei der eine lichtemittierende Schicht sandwichartig zwischen dielektrischen Schichten angeordnet ist, die ferner sandwichartig zwischen Elektroden angeordnet sind, und sein Lichtemissionsmechanismus ist eine örtlich begrenzte Lichtemission, bei der ein Innenelektronenübergang von Metallionen angewendet wird. Es sei darauf hingewiesen, dass hier ein Beispiel für ein organisches EL-Element als ein lichtemittierendes Element beschrieben wird.

**[0327]** Zum Extrahieren von Licht aus einem lichtemittierenden Element ist mindestens eine von einem Paar von Elektroden durchsichtig. Der Transistor und das lichtemittierende Element sind über dem Substrat vorgesehen. Das lichtemittierende Element kann eine der folgenden Strukturen aufweisen: eine Struktur mit Emission von oben, bei der eine Lichtemission durch eine dem Substrat gegenüberliegende Fläche extrahiert wird; eine Struktur mit Emission von unten, bei der eine Lichtemission durch die Fläche auf der Substratseite extrahiert wird; und eine Doppelemmission-Struktur, bei der eine Lichtemission durch die dem Substrat gegenüberliegende Fläche und die Fläche auf der Substratseite extrahiert wird.

**[0328]** Ein Beispiel für eine lichtemittierende Vorrichtung, bei der ein lichtemittierendes Element als ein Anzeigeelement verwendet wird, ist in **Fig. 10** dargestellt. Ein lichtemittierendes Element **4513**, das als ein Anzeigeelement verwendet wird, ist elektrisch mit dem Transistor **4010** verbunden, der in dem Pixelabschnitt **4002** vorgesehen ist. Eine Struktur des lichtemittierenden Elements **4513** ist nicht auf die Stapelschichtstruktur beschränkt, die die erste Elektrodenschicht **4030**, eine Elektrolumineszenzschicht **4511** und die zweite Elektrodenschicht **4031** aufweist und die in **Fig. 10** gezeigt ist. Die Struktur des lichtemittierenden Elements **4513** kann in Abhängigkeit von der Richtung, in der Licht aus dem lichtemittierenden Element **4513** extrahiert wird, oder dergleichen, soweit erforderlich, verändert werden. Es sei darauf hingewiesen, dass bei der Anzeigevorrichtung, die in **Fig. 8B** gezeigt ist, ein Querschnitt entlang der Linie M-N in dem Fall, in dem ein organisches EL-Element als das Anzeigeelement verwendet wird, **Fig. 10** entspricht.

**[0329]** Eine Trennwand **4510** wird unter Verwendung eines organischen Isoliermaterials oder eines anorganischen Isoliermaterials ausgebildet. Es ist besonders bevorzugt, dass die Trennwand **4510** unter Verwendung eines fotoempfindlichen Harzmaterials so ausgebildet ist, dass sie eine Öffnung über der ersten Elektrodenschicht **4030** aufweist, so dass eine Seitenwand der Öffnung als eine geneigte Fläche mit durchgehender Krümmung ausgebildet ist.

**[0330]** Die Elektrolumineszenzschicht **4511** kann unter Verwendung einer einzelnen Schicht oder einer Vielzahl von gestapelten Schichten ausgebildet sein.

**[0331]** Ein Schutzfilm kann über der zweiten Elektrodenschicht **4031** und der Trennwand **4510** ausgebildet sein, um das Eintreten von Sauerstoff, Wasserstoff, Feuchtigkeit, Kohlendioxid oder dergleichen in das lichtemittierende Element **4513** zu verhindern. Als der Schutzfilm kann ein Siliziumnitridfilm, ein Siliziumnitridoxidfilm, ein DLC-Film oder dergleichen ausgebildet sein. Ferner ist in einem Bereich, der von dem ersten Substrat **4001**, dem zweiten Substrat **4006** und dem Dichtungsmittel **4005** gebildet ist, ein Füllmaterial **4514** zu Dichtungszwecken vorgesehen. Es ist bevorzugt, dass ein Panel mit einem Schutzfilm (wie z. B. einem Laminatfilm oder einem Ultraviolett-härtenden Harzfilm) oder einem Abdeckmaterial mit hoher Luftundurchlässigkeit und geringer Entgasung gepackt (abgedichtet) ist, so dass auf diese Weise das Panel nicht nach außen freiliegt.

**[0332]** Als das Füllmaterial **4514** kann ein Ultraviolett-härtendes Harz oder ein in Wärme aushärtendes Harz verwendet werden, sowie ein Inertgas, wie z. B. Stickstoff oder Argon. Beispielsweise kann PVC (Polyvinylchlorid), ein Acrylharz, ein Polyimid, ein Epoxidharz, ein Silikonharz, PVB (Polyvinylbutyral) oder EVA (Ethylvinylacetat) verwendet werden. Beispielsweise wird Stickstoff als das Füllmaterial verwendet.

**[0333]** Ferner kann, falls erforderlich, ein optischer Film, wie z. B. eine Polarisationsplatte, eine kreisförmig polarisierende Platte (einschließlich einer elliptisch polarisierenden Platte) eine Retardationsplatte (eine Viertelwellenplatte oder eine Halbwellenplatte) oder ein Farbfilter, soweit erforderlich, als eine lichtemittierende

Fläche des lichtemittierenden Elements vorgesehen sein. Ferner kann die Polarisationsplatte oder die kreisförmig polarisierende Platte einen Antireflexfilm aufweisen. Beispielsweise kann eine Blendschutzbehandlung, bei der reflektiertes Licht durch Vorsprünge und Vertiefungen auf der Fläche diffundiert wird, um das Blenden zu verringern, durchgeführt werden.

**[0334]** Ferner kann ein elektronisches Papier, bei dem elektronische Tinte verwendet wird, als die Anzeigevorrichtung verwendet werden. Das elektronische Papier wird auch als eine elektrophoretische Anzeigeeinrichtung (elektrophoretische Anzeige) bezeichnet und bietet dahingehend Vorteile, dass es die gleiche Lesbarkeitsstufe hat wie normales Papier, es verbraucht weniger Energie als andere Anzeigevorrichtungen und es kann so eingestellt werden, dass es dünn und leicht ausgeführt ist.

**[0335]** Eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung kann verschiedene Modi aufweisen. Eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung enthält eine Vielzahl von Mikrokapseln, die in einem Lösungsmittel dispergiert sind, wobei jede Mikrokapsel erste Partikel, die positiv geladen sind, und zweite Partikel enthält, die negativ geladen sind. Durch Anlegen eines elektrischen Felds an die Mikrokapseln bewegen sich die Partikel in den Mikrokapseln in entgegengesetzte Richtungen zueinander, und nur die Farbe der Partikel, die sich auf einer Seite sammeln, wird angezeigt. Es sei darauf hingewiesen, dass die ersten Partikel und die zweiten Partikel jeweils Pigment enthalten und sich ohne ein elektrisches Feld nicht bewegen. Ferner haben die ersten Partikel und die zweiten Partikel unterschiedliche Farben (die farblos sein können).

**[0336]** Somit ist eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung eine Anzeigevorrichtung, bei der ein sogenannter dielektrophoretischer Effekt genutzt wird, durch den sich eine Substanz, die eine hohe dielektrische Konstante aufweist, zu einer Region mit einem hohen elektrischen Feld bewegt.

**[0337]** Eine Mischung, bei der die oben genannten Mikrokapseln in einem Lösungsmittel dispergiert sind, wird als elektronische Tinte bezeichnet. Diese elektronische Tinte kann auf eine Fläche aus Glas, Kunststoff, Stoff, Papier oder dergleichen gedruckt werden. Ferner kann auch durch Verwendung eines Farbfilters oder von Partikeln, die ein Pigment aufweisen, eine Farbanzeige erfolgen.

**[0338]** Es sei darauf hingewiesen, dass die ersten Partikel und die zweiten Partikel in den Mikrokapseln jeweils aus einem einzelnen Material gebildet sein können, das ausgewählt ist aus einem leitenden Material, einem Isoliermaterial, einem Halbleitermaterial, einem Magnetmaterial, einem Flüssigkristallmaterial, einem ferroelektrischen Material, einem Elektrolumineszenzmaterial, einem elektrochromen Material und einem magnetophoretischen Material, oder aus einem Verbundmaterial aus jedem geeigneten dieser Materialien gebildet sein können.

**[0339]** Als das elektronische Papier kann auch eine Anzeigevorrichtung verwendet werden, bei der ein Drehkugel-Anzeigesystem verwendet wird. Das Drehkugel-Anzeigesystem bezieht sich auf ein Verfahren, bei dem kugelförmige Partikel, die jeweils schwarz und weiß gefärbt sind, zwischen einer ersten Elektrodenschicht und einer zweiten Elektrodenschicht angeordnet sind, die Elektrodenschichten sind, welche für ein Anzeigeelement verwendet werden, und eine Potentialdifferenz wird zwischen der ersten Elektrodenschicht und der zweiten Elektrodenschicht erzeugt, um eine Orientierung der kugelförmigen Partikel zu steuern, so dass eine Anzeige erfolgt.

**[0340]** Fig. 11 zeigt ein Aktivmatrix-Elektronikpapier als eine Ausführungsform einer Halbleitervorrichtung. Das elektronische Papier in Fig. 11 ist ein Beispiel für eine Anzeigevorrichtung, bei der ein Drehkugel-Anzeigesystem verwendet wird.

**[0341]** Zwischen der ersten Elektrodenschicht **4030**, die mit dem Transistor **4010** verbunden ist, und der zweiten Elektrodenschicht **4031**, die für das zweite Substrat **4006** vorgesehen ist, sind kugelförmige Partikel **4613** vorgesehen, die jeweils eine schwarze Region **4615a**, eine weiße Region **4615b** und einen Hohlraum **4612** aufweisen, der mit einer Flüssigkeit um die schwarze Region **4615a** und die weiße Region **4615b** herum gefüllt ist. Ein Bereich um die kugelförmigen Partikel **4613** herum ist mit einem Füllmaterial **4614**, wie z. B. einem Harz, gefüllt. Eine zweite Elektrodenschicht **4031** entspricht einer gemeinsamen Elektrode (Gegenelektrode). Die zweite Elektrodenschicht **4031** ist elektrisch mit einer gemeinsamen Potentialleitung verbunden.

**[0342]** Es sei darauf hingewiesen, dass in Fig. 9 bis Fig. 11 ein flexibles Substrat sowie ein Glassubstrat als das erste Substrat **4001** und das zweite Substrat **4006** verwendet werden können. Beispielsweise kann ein Kunststoffsubstrat mit Lichtdurchlasseigenschaften verwendet werden. Als Kunststoff können eine glasfaserverstärkte Kunststoff-(fiberglass-reinforced plastics = FRP-)Platte, ein Polyvinylfluorid-(PVF-)Film, ein Polyes-

terfilm oder ein Acrylharzfilm verwendet werden. Ferner kann ein Blatt mit einer Struktur, bei der eine Aluminiumfolie sandwichartig zwischen PVF-Filmen oder Polyesterfilmen angeordnet ist, verwendet werden.

**[0343]** Die Isolierschicht **4021** kann unter Verwendung eines anorganischen Isoliermaterials oder eines organischen Isoliermaterials ausgebildet sein. Es sei darauf hingewiesen, dass die Isolierschicht **4021**, die unter Verwendung eines wärmebeständigen organischen Isoliermaterials, wie z. B. eines Acrylharzes, eines Polyimids, eines auf Benzocyclobuten basierenden Harzes, eines Polyamids oder eines Epoxidharzes, ausgebildet ist, vorzugsweise als ein planarisierender Isolierfilm verwendet wird. Es ist möglich, zusätzlich zu solchen organischen Isoliermaterialien ein Material mit einer niedrigen dielektrischen Konstante (ein Low-k-Material), ein auf Siloxan basierendes Harz, Phosphosilikatglas (PSG), Borophosphosilikatglas (BPSG) oder dergleichen zu verwenden. Die Isolierschicht kann durch Stapeln einer Vielzahl von Isolierfilmen, die aus diesen Materialien gebildet sind, ausgebildet sein.

**[0344]** Es gibt keine besondere Einschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Ausbilden der Isolierschicht **4021**, und die Isolierschicht **4021** kann in Abhängigkeit von dem Material mittels eines Sputterverfahrens, eines Aufschleuderverfahrens, eines Tauchverfahrens, Sprühbeschichtung, eines Tropfenentladungsverfahrens (z. B. eines Tintenstrahlverfahrens), Siebdrucks, Offsetdrucks, Walzenbeschichtung, Vorhanggießens, Raketbeschichtung oder dergleichen ausgebildet werden.

**[0345]** Die Anzeigevorrichtung zeigt dadurch ein Bild an, dass sie Licht von einer Lichtquelle oder einem Anzeigeelement durchlässt. Daher weisen das Substrat und die Dünnschichten, wie z. B. der Isolierfilm und der leitende Film, die für den Pixelabschnitt vorgesehen sind, in dem Licht durchgelassen wird, Lichtdurchlasseigenschaften bezüglich Licht in dem Wellenlängenbereich von sichtbarem Licht auf.

**[0346]** Die erste Elektrodenschicht und die zweite Elektrodenschicht (von denen jede als eine Pixel-Elektrodenschicht, eine gemeinsame Elektrodenschicht, eine Gegenelektrodenschicht oder dergleichen bezeichnet werden kann) zum Anlegen einer Spannung an das Anzeigeelement können Lichtdurchlasseigenschaften oder Lichtreflektiereigenschaften aufweisen, je nach der Richtung, in der Licht extrahiert wird, der Position, in der die Elektrodenschicht vorgesehen ist, der Musterstruktur der Elektrodenschicht und dergleichen.

**[0347]** Jede der ersten Elektrodenschicht **4030** und der zweiten Elektrodenschicht **4031** kann ausgebildet werden unter Verwendung eines lichtdurchlässigen leitenden Materials, wie z. B. Indiumoxid, das Wolframoxid enthält, Indiumzinkoxid, das Wolframoxid enthält, Indiumoxid, das Titanoxid enthält, Indiumzinnoxid, das Titanoxid enthält, Indiumzinnoxid (nachstehend als ITO bezeichnet), Indiumzinkoxid oder Indiumzinnoxid, zu dem Siliziumoxid hinzugefügt ist.

**[0348]** Jede der ersten Elektrodenschicht **4030** und der zweiten Elektrodenschicht **4031** kann ausgebildet werden unter Verwendung einer oder mehrerer Arten von Materialien ausgewählt aus Metallen, wie z. B. Wolfram (W), Molybdän (Mo), Zirkon (Zr), Hafnium (Hf), Vanadium (V), Niob (Nb), Tantal (Ta), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Titan (Ti), Platin (Pt), Aluminium (Al), Kupfer (Cu) und Silber (Ag); Legierungen aus diesen Metallen; und Nitriden dieser Metalle.

**[0349]** Da der Transistor aufgrund von statischer Elektrizität oder dergleichen leicht brechen kann, ist vorzugsweise eine Schutzschaltung zum Schützen der Treiberschaltung vorgesehen. Die Schutzschaltung wird vorzugsweise unter Verwendung eines nicht linearen Elements ausgebildet.

**[0350]** Wie oben beschrieben ist, kann durch Verwenden jedes der Transistoren, die bei Ausführungsformen 1 bis 3 beispielhaft dargestellt sind, eine hochzuverlässige Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt werden.

**[0351]** Diese Ausführungsform kann in einer geeigneten Kombination mit jeder geeigneten bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen implementiert werden.

[Ausführungsform 7]

**[0352]** Eine Halbleitervorrichtung, die eine Bildsensorfunktion zum Lesen von Daten eines Objekts aufweist, kann unter Verwendung des Transistors ausgebildet werden, der in den Ausführungsformen 1 bis 3 beispielhaft beschrieben ist.

**[0353]** Ein Beispiel für eine Halbleitervorrichtung, die eine Bildsensorfunktion aufweist, ist in **Fig. 12A** dargestellt. **Fig. 12A** zeigt eine äquivalente Schaltung eines Fotosensors, und **Fig. 12B** zeigt eine Querschnittansicht mit Darstellung eines Teils des Fotosensors.

**[0354]** Bei einer Fotodiode **602** ist eine Elektrode elektrisch mit einer Fotodioden-Rücksetzsignalleitung **658** verbunden, und die andere Elektrode ist elektrisch mit einem Gate eines Transistors **640** verbunden. Eine/einer einer Source und eines Drain des Transistors **640** ist elektrisch mit einer Fotosensor-Referenzsignalleitung **672** verbunden, und die/der andere der Source und des Drain ist elektrisch mit einer/einem einer Source und eines Drain eines Transistors **656** verbunden. Ein Gate des Transistors **656** ist elektrisch mit einer Gate-Signalleitung **659** verbunden, und die/der andere der Source und des Drain des Transistors ist elektrisch mit einer Fotosensor-Ausgangssignalleitung **671** verbunden.

**[0355]** Es sei darauf hingewiesen, dass in Schaltschemata in dieser Patentschrift ein Transistor, der einen Oxid-Halbleiterfilm aufweist, mit einem Bezugszeichen "OS" bezeichnet ist, so dass er als ein Transistor, der einen Oxid-Halbleiterfilm umfasst, identifiziert werden kann. Der Transistor **640** und der Transistor **656** in **Fig. 12A** sind Transistoren, die jeweils einen Oxid-Halbleiterfilm aufweisen.

**[0356]** **Fig. 12B** zeigt eine Querschnittansicht der Fotodiode **602** und des Transistors **640** in dem Fotosensor. Die Fotodiode **602**, die als ein Sensor fungiert, und der Transistor **640** sind über einem Substrat **601** (einem TFT-Substrat) ausgebildet, das eine Isolierfläche aufweist. Ein Substrat **613** ist über der Fotodiode **602** vorgesehen, und der Transistor **640** mit einer Klebeschicht **608** ist dazwischen vorgesehen. Ferner sind ein Isolierfilm **631**, eine erste Zwischenschicht-Isolierschicht **633** und eine zweite Zwischenschicht-Isolierschicht **634** über dem Transistor **640** vorgesehen.

**[0357]** Ferner ist eine Elektrodenschicht **645b** in derselben Schicht vorgesehen wie die Gate-Elektrode **645a** des Transistors **640**, so dass sie elektrisch mit der Gate-Elektrode **645a** des Transistors **640** verbunden ist. Die Elektrodenschicht **645b** ist durch eine Öffnung in dem Isolierfilm **631** und der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** elektrisch mit einer Elektrodenschicht **641a** verbunden. Die Elektrodenschicht **641a** ist elektrisch mit einer Elektrodenschicht **642** verbunden, die in der zweiten Zwischenschicht-Isolierschicht **634** ausgebildet ist, und die Elektrodenschicht **642** ist über die Elektrodenschicht **641a** elektrisch mit der Gate-Elektrode **645a** verbunden; entsprechend ist die Fotodiode **602** elektrisch mit dem Transistor **640** verbunden.

**[0358]** Die Fotodiode **602** ist über der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** vorgesehen. Bei der Fotodiode **602** sind eine erste Halbleiterschicht **606a**, eine zweite Halbleiterschicht **606b** und eine dritte Halbleiterschicht **606c** sequentiell von der Seite der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** aus zwischen einer Elektrodenschicht **641b**, die über der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** ausgebildet ist, und der Elektrodenschicht **642**, die über der zweiten Zwischenschicht-Isolierschicht **634** ausgebildet ist, gestapelt.

**[0359]** Bei dieser Ausführungsform kann jeder geeignete der Transistoren, die bei den Ausführungsformen 1, 2 oder 3 beschrieben sind, als der Transistor **640** verwendet werden. Eine Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors **640** und des Transistor **656** wird unterbunden, und der Transistor **640** und der Transistor **656** sind elektrisch stabil. Daher kann eine hochzuverlässige Halbleitervorrichtung als die Halbleitervorrichtung nach dieser Ausführungsform, die in **Fig. 12A** und **Fig. 12B** dargestellt ist, zur Verfügung gestellt werden.

**[0360]** Hier sind eine Pin-Fotodiode, bei der ein Halbleiterfilm mit einer p-Leitfähigkeit als die erste Halbleiterschicht **606a**, eine hochohmige Halbleiterschicht (i-Halbleiterschicht) als die zweite Halbleiterschicht **606b** und eine Halbleiterschicht mit einer n-Leitfähigkeit als die dritte Halbleiterschicht **606c** gestapelt, wie beispielhaft dargestellt ist.

**[0361]** Die erste Halbleiterschicht **606a** ist eine p-Halbleiterschicht und kann unter Verwendung eines amorphen Siliziumfilms, der ein Fremdelement enthält, das eine p-Leitfähigkeit verleiht, ausgebildet werden. Die erste Halbleiterschicht **606a** wird mittels eines Plasma-CVD-Verfahrens unter Verwendung eines Halbleiter-Quellengases, das ein Fremdelement enthält, welches zu der Gruppe 13 gehört (wie z. B. Bor (B)), ausgebildet. Als das Halbleiter-Quellengas kann Silan ( $\text{SiH}_4$ ) verwendet werden. Alternativ kann  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiF}_4$  oder dergleichen verwendet werden. Als eine weitere Alternative kann ein amorpher Siliziumfilm, der kein Fremdelement enthält, ausgebildet werden, und dann kann ein Fremdelement unter Anwendung eines Diffusionsverfahrens oder eines Ionenimplantationsverfahrens in den amorphen Siliziumfilm eingebracht werden. Ein Erwärmen oder dergleichen kann nach dem Einbringen des Fremdelements mittels eines Ionenimplantationsverfahrens oder dergleichen durchgeführt werden, um das Fremdelement zu diffundieren. In diesem

Fall kann als ein Verfahren zum Ausbilden des amorphen Siliziumfilms ein LPCVD-Verfahren, ein Gasphasenabscheideverfahren, ein Sputterverfahren oder dergleichen angewendet werden. Die erste Halbleiterschicht **606a** ist vorzugsweise so ausgebildet, dass sie eine Dicke von größer als oder gleich 10 nm und kleiner als oder gleich 50 nm aufweist.

**[0362]** Die zweite Halbleiterschicht **606b** ist eine i-Halbleiterschicht (Intrinsic-Halbleiterschicht) und wird unter Verwendung eines amorphen Siliziumfilms ausgebildet. Hinsichtlich des Ausbildens der zweiten Halbleiterschicht **606b** wird ein amorpher Halbleiterfilm unter Verwendung eines Halbleiter-Quellengases mittels eines Plasma-CVD-Verfahrens ausgebildet. Als das Halbleiter-Quellengas kann Silan ( $\text{SiH}_4$ ) verwendet werden. Alternativ kann  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiF}_4$  oder dergleichen verwendet werden. Die zweite Halbleiterschicht **606b** kann mittels eines LPCVD-Verfahrens, eines Gasphasenabscheideverfahrens, eines Sputterverfahrens oder dergleichen ausgebildet werden. Die zweite Halbleiterschicht **606b** ist vorzugsweise so ausgebildet, dass sie eine Dicke von größer als oder gleich 200 nm und kleiner als oder gleich 1000 nm aufweist.

**[0363]** Die dritte Halbleiterschicht **606c** ist eine n-Halbleiterschicht und kann unter Verwendung eines amorphen Siliziumfilms, der ein Fremdelement enthält, das eine n-Leitfähigkeit verleiht, ausgebildet werden. Die dritte Halbleiterschicht **606c** wird mittels eines Plasma-CVD-Verfahrens unter Verwendung eines Halbleiter-Quellengases, das ein Fremdelement enthält, welches zu der Gruppe **15** gehört (z. B. Phosphor (P)), ausgebildet. Als das Halbleiter-Quellengas kann Silan ( $\text{SiH}_4$ ) verwendet werden. Alternativ kann  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiF}_4$  oder dergleichen verwendet werden. Als eine weitere Alternative kann ein amorpher Siliziumfilm, der kein Fremdelement enthält, ausgebildet werden, und dann kann ein Fremdelement unter Anwendung eines Diffusionsverfahrens oder eines Ionenimplantationsverfahrens in den amorphen Siliziumfilm eingebracht werden. Ein Erwärmen oder dergleichen kann nach dem Einbringen des Fremdelements mittels eines Ioneninjektionsverfahrens oder dergleichen durchgeführt werden, um das Fremdelement zu diffundieren. In diesem Fall kann als ein Verfahren zum Ausbilden des amorphen Siliziumfilms ein LPCVD-Verfahren, ein chemisches Gasphasenabscheideverfahren, ein Sputterverfahren oder dergleichen angewendet werden. Die dritte Halbleiterschicht **606c** ist vorzugsweise so ausgebildet, dass sie eine Dicke von größer als oder gleich 20 nm und kleiner als oder gleich 200 nm aufweist.

**[0364]** Jede der ersten Halbleiterschicht **606a**, der zweiten Halbleiterschicht **606b** und der dritten Halbleiterschicht **606c** wird nicht notwendigerweise unter Verwendung eines amorphen Halbleiters ausgebildet und kann unter Verwendung eines polykristallinen Halbleiters oder eines mikrokristallinen Halbleiters (semi-amorphous semiconductor: SAS [halbamorpher Halbleiter]) ausgebildet werden.

**[0365]** Der mikrokristalline Halbleiter gehört zu einem metastabilen Zustand eines Zwischenprodukts zwischen amorph und einkristallin, wenn die Gibbssche freie Energie berücksichtigt wird. Das heißt, dass der mikrokristalline Halbleiter ein Halbleiter ist, der einen dritten Zustand aufweist, der thermodynamisch stabil ist und eine Nahordnung und eine Gitterverzerrung aufweist. Säulenförmige oder nadelförmige Kristalle wachsen in einer Normalrichtung relativ zu einer Substratfläche. Das Raman-Spektrum von mikrokristallinem Silizium, das ein typisches Beispiel für einen mikrokristallinen Halbleiter ist, befindet sich in einer niedrigeren Wellenzahl als  $520\text{ cm}^{-1}$ , was eine Spitze des Raman-Spektrums von Einkristall-Silizium darstellt. Das heißt, dass die Spitze des Raman-Spektrums des mikrokristallinen Siliziums zwischen  $520\text{ cm}^{-1}$ , was ein Einkristall-Silizium darstellt, und  $480\text{ cm}^{-1}$ , was amorphes Silizium darstellt, liegt. Der Halbleiter enthält Wasserstoff oder Halogen von mindestens 1 at.%, um eine offene Bindung abzuschließen. Ferner wird bewirkt, dass mikrokristallines Silizium ein Edelgaselement, wie z. B. Helium, Argon, Krypton oder Neon enthält, um die Gitterverzerrung weiter zu verbessern, wodurch die Stabilität erhöht wird und ein günstiger mikrokristalliner Halbleiterfilm erhalten werden kann.

**[0366]** Der mikrokristalline Halbleiterfilm kann mittels eines Hochfrequenz-CVD-Verfahrens mit einer Frequenz von mehreren zehn Megahertz bis mehreren hundert Megahertz oder unter Verwendung einer Mikrowellen-Plasma-CVD-Einrichtung mit einer Frequenz von 1 GHz oder mehr ausgebildet werden. Typischerweise kann der mikrokristalline Halbleiterfilm unter Verwendung eines Gases ausgebildet werden, das durch Verdünnen von  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$  oder  $\text{SiF}_4$  mit Wasserstoff erhalten wird. Ferner kann durch eine Verdünnung von Siliziumhydrid und Wasserstoff mit einer oder mehreren Arten von Edelgaselementen ausgewählt aus Helium, Argon, Krypton und Neon der mikrokristalline Halbleiterfilm ausgebildet werden. In diesem Fall ist das Strömungsverhältnis von Wasserstoff zu Siliziumhydrid 5:1 bis 200:1, bevorzugt 50:1 bis 150:1, stärker bevorzugt 100:1. Ferner kann ein Kohlenwasserstoffgas, wie z. B.  $\text{CH}_4$  oder  $\text{C}_2\text{H}_6$ , ein Germaniumgas, wie z. B.  $\text{GeH}_4$  oder  $\text{GeF}_4$ ,  $\text{F}_2$ , oder dergleichen in das siliziumhaltige Gas gemischt werden.

**[0367]** Ferner weist, da die Beweglichkeit von Löchern, die durch einen fotoelektrischen Effekt erzeugt werden, niedriger ist als die von Elektronen, eine Pin-Fotodiode bessere Eigenschaften auf, wenn eine Fläche auf der p-Halbleiterschicht-Seite als eine Lichtempfangsebene verwendet wird. Hier wird ein Beispiel beschrieben, bei dem Licht **622**, das mittels der Fotodiode **602** von einer Fläche des Substrats **601**, über dem die Pin-Fotoelektrode ausgebildet ist, empfangen wird, in elektrische Signale umgewandelt wird. Ferner ist Licht von der Halbleiterschicht, die eine zu der Leitfähigkeit der Halbleiterschicht der Lichtempfangsebene entgegengesetzte Leitfähigkeit aufweist, ein Störlicht; daher wird die Elektroden-schicht **642** auf der Halbleiterschicht, die die entgegengesetzte Leitfähigkeit aufweist, vorzugsweise aus einem lichtblockierenden leitenden Film gebildet. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Fläche auf der n-Halbleiterschicht-Seite alternativ als die Lichtempfangsebene verwendet werden kann.

**[0368]** Zum Verringern der Oberflächenrauigkeit wird vorzugsweise eine Isolierschicht, die als ein planarisierender Isolierfilm fungiert, für die erste Zwischenschicht-Isolierschicht **633** und die zweite Zwischenschicht-Isolierschicht **634** verwendet. Jede der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** und der zweiten Zwischenschicht-Isolierschicht **634** kann unter Verwendung von beispielsweise einem organischen Isoliermaterial, wie z. B. einem Polyimid, einem Acrylharz, einem auf Benzocyclobuten basierenden Harz, einem Polyamid oder einem Epoxidharz, ausgebildet sein. Zusätzlich zu solchen organischen Isoliermaterialien kann ein einschichtiges oder aus gestapelten Schichten gebildetes Material mit einer niedrigen dielektrischen Konstante (ein Low-k-Material), ein auf Siloxan basierendes Harz, Phosphosilikatglas (PSG), Borophosphosilikatglas (BPSG) oder dergleichen verwendet werden.

**[0369]** Jeder/jede des Isolierfilms **631**, der ersten Zwischenschicht-Isolierschicht **633** und der zweiten Zwischenschicht-Isolierschicht **634** kann unter Verwendung eines Isoliermaterials in Abhängigkeit von dem Material mittels eines Sputterverfahrens, eines Aufschleuderverfahrens, eines Tauchverfahrens, Sprühbeschichtung, eines Tropfenentladungsverfahrens (z. B. eines Tintenstrahlverfahrens), Siebdrucks, Offsetdrucks, Walzenbeschichtung, Vorhanggießens, Rakelbeschichtung oder dergleichen ausgebildet werden.

**[0370]** Wenn das Licht **622**, das in die Fotodiode **602** eintritt, detektiert wird, können Daten eines zu detektierenden Objekts gelesen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Lichtquelle, wie z. B. eine Hintergrundbeleuchtung, beim Lesen der Daten eines Objekts verwendet werden kann.

**[0371]** Der Transistor, der in den Ausführungsformen 1, 2 oder 3 beispielhaft beschrieben ist, kann als der Transistor **640** verwendet werden. Der Transistor, der den Oxid-Halbleiterfilm aufweist, welcher durch absichtliches Entfernen von Fremdatomen, wie z. B. Wasserstoff, Feuchtigkeit, einer Hydroxyl-Gruppe oder Hydrid (auch als eine Wasserstoffverbindung bezeichnet) hochgereinigt worden ist und einen Sauerstoffüberschuss enthält, der mittels des Sauerstoffdotierungsverfahrens oder dergleichen zugeführt worden ist, weist eine verringerte Änderung der elektrischen

**[0372]** Eigenschaften auf und ist elektrisch stabil. Daher kann eine hochzuverlässige Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt werden.

**[0373]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

#### [Ausführungsform 8]

**[0374]** Eine Halbleitervorrichtung, die in dieser Patentschrift offengelegt ist, kann bei einer Vielzahl von elektronischen Geräten (einschließlich Spieleinrichtungen) verwendet werden. Beispiele für elektronische Geräte sind ein Fernsehgerät (auch als ein Fernseher oder ein Fernsehempfänger bezeichnet), ein Monitor eines Computers oder dergleichen, eine Kamera, wie z. B. eine Digitalkamera oder eine Digitalvideokamera, ein digitaler Fotorahmen, ein Mobilteil eines Mobiltelefons (auch als ein Mobiltelefon oder eine Mobiltelefonvorrichtung bezeichnet), eine tragbare Spieleinrichtung, ein tragbares Informationsendgerät, eine Audiowiedergabevorrichtung, eine große Spieleinrichtung, wie z. B. eine Pachinko-Einrichtung und dergleichen. Beispiele für elektronische Geräte, die jeweils die bei der vorstehenden Ausführungsform beschriebene Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung aufweisen, werden beschrieben.

**[0375]** Fig. 13A zeigt ein elektronisches Buchlesegerät (auch als ein E-Book-Reader bezeichnet), das Gehäuse **9630**, einen Anzeigeabschnitt **9631**, Bedienungstasten **9632**, eine Solarzelle **9633** und eine Lade- und Entladesteuerschaltung **9634** aufweisen kann. Das elektronische Buchlesegerät, das in Fig. 13A gezeigt ist,

hat eine Funktion des Anzeigens verschiedener Arten von Informationen (z. B. eines Standbilds, eines beweglichen Bilds und eines Textbilds) auf dem Anzeigeabschnitt, eine Funktion des Anzeigens eines Kalenders, eines Datums, der Uhrzeit oder dergleichen auf dem Anzeigeabschnitt, eine Funktion des Bedienens oder Bearbeitens der auf dem Anzeigeabschnitt angezeigten Informationen, eine Funktion des Steuerns einer Verarbeitung mittels verschiedener Arten von Software (Programmen) und dergleichen. Es sei darauf hingewiesen, dass in **Fig. 13A** die Lade- und Entladesteuerschaltung **9634** eine Batterie **9635** und einen DC/DC-Wandler (nachstehend zu Wandler abgekürzt) **9636** aufweist. Die Halbleitervorrichtung, die bei den vorstehenden Ausführungsformen beschrieben worden ist, kann bei dem Anzeigeabschnitt **9631** angewendet werden, wodurch ein hochzuverlässiges elektronisches Buchlesegerät zur Verfügung gestellt werden kann.

**[0376]** In dem Fall, in dem eine halbdurchlässige Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung oder eine reflektierende Flüssigkristall-Anzeigevorrichtung als der Anzeigeabschnitt **9631** verwendet wird, wird eine Verwendung unter einer relativ hellen Bedingung angenommen; daher wird die Struktur, die in **Fig. 13A** gezeigt ist, bevorzugt, da eine Energieerzeugung durch die Solarzelle **9633** und Ladung für die Batterie **9635** auf effektive Weise durchgeführt werden. Da die Solarzelle **9633** in einem Bereich (einer Fläche oder einer Rückfläche) des Gehäuses **9630** vorgesehen sein kann, soweit erforderlich, kann die Batterie **9635** auf effiziente Weise geladen werden, was bevorzugt wird. Wenn eine Lithiumionenbatterie als die Batterie **9635** verwendet wird, besteht ein Vorteil der Verkleinerung oder dergleichen.

**[0377]** Die Struktur und die Bedienung der Lade- und Entladesteuerschaltung **9634**, die in **Fig. 13A** gezeigt ist, wird mit Bezug auf ein Schaltschema in **Fig. 13B** beschrieben. Die Solarzelle **9633**, die Batterie **9635**, der Wandler **9636**, ein Wandler **9637**, Schalter SW1 bis SW3 und der Anzeigeabschnitt **9631** sind in **Fig. 13B** gezeigt, und die Batterie **9635**, der Wandler **9636**, der Wandler **9637** und die Schalter SW1 bis SW3 entsprechen der Lade- und Entladesteuerschaltung **9634**.

**[0378]** Zuerst wird ein Beispiel für eine Bedienung in dem Fall, in dem Energie von der Solarzelle **9633** unter Verwendung von externem Licht erzeugt wird, beschrieben. Die Spannung der von der Solarzelle erzeugten Energie wird von dem Wandler **9636** erhöht oder verringert, so dass die Energie eine Spannung zum Laden der Batterie **9635** aufweist. Dann wird, wenn die Energie von der Solarzelle **9633** für die Bedienung der Anzeigevorrichtung **9631** verwendet wird, der Schalter SW1 eingeschaltet, und die Spannung der Energie wird von dem Wandler **9637** auf eine Spannung erhöht oder verringert, die für den Anzeigeabschnitt **9631** erforderlich ist. Ferner wird dann, wenn keine Anzeige auf dem Anzeigeabschnitt **9631** erfolgt, der Schalter SW1 abgeschaltet, und der Schalter SW2 wird eingeschaltet, so dass ein Laden der Batterie **9635** durchgeführt werden kann.

**[0379]** Als Nächstes wird in dem Fall, in dem Energie nicht von der Solarzelle **9633** unter Verwendung von externem Licht erzeugt wird, beschrieben. Die Spannung von in der Batterie **9635** akkumulierter Energie wird durch Einschalten des Schalters SW3 von dem Wandler **9637** erhöht oder verringert. Dann wird Energie von der Batterie **9635** für die Bedienung des Anzeigeabschnitts **9631** verwendet.

**[0380]** Es sei darauf hingewiesen, dass zwar die Solarzelle **9633** als ein Beispiel für eine Einrichtung zum Laden beschrieben worden ist, die Batterie **9635** aber auch mittels einer anderen Einrichtung geladen werden kann. Ferner kann eine Kombination aus der Solarzelle **9633** und einer anderen Einrichtung zum Laden verwendet werden.

**[0381]** **Fig. 14A** zeigt ein Laptop-Personal Computer, der einen Hauptkörper **3001**, ein Gehäuse **3002**, einen Anzeigeabschnitt **3003**, eine Tastatur **3004** und dergleichen aufweist. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei dem Anzeigeabschnitt **3003** kann ein hochzuverlässiger Laptop-Personal Computer erhalten werden.

**[0382]** **Fig. 14B** zeigt einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA), der einen Hauptkörper **3021** mit einem Anzeigeabschnitt **3023**, einer externen Schnittstelle **3025**, Bedienungsknöpfen **3024** und dergleichen aufweist. Ein Stift **3022** ist als ein Zubehörteil zum Bedienen vorgesehen. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei dem Anzeigeabschnitt **3023** kann ein hochzuverlässiger persönlicher digitaler Assistent (PDA) erhalten werden.

**[0383]** **Fig. 14C** zeigt ein Beispiel für ein elektronisches Buchlesegerät. Beispielsweise weist ein elektronisches Buchlesegerät **2700** zwei Gehäuse, d. h. ein Gehäuse **2701** und ein Gehäuse **2703**, auf. Das Gehäuse **2701** und das Gehäuse **2703** sind über ein Gelenk **2711** so miteinander verbunden, dass das elektronische Buchlesegerät **2700** über das Gelenk **2711** als eine Achse geöffnet und geschlossen werden kann. Bei einer solchen Struktur kann das elektronische Buchlesegerät **2700** wie ein Papierbuch gehandhabt werden.

**[0384]** Ein Anzeigeabschnitt **2705** und ein Anzeigeabschnitt **2707** sind in dem Gehäuse **2701** bzw. dem Gehäuse **2703** angeordnet. Der Anzeigeabschnitt **2705** und der Anzeigeabschnitt **2707** können ein Bild oder unterschiedliche Bilder anzeigen. Bei der Struktur, bei der zum Beispiel unterschiedliche Bilder auf unterschiedlichen Anzeigeabschnitten angezeigt werden, zeigt der rechte Anzeigeabschnitt (der Anzeigeabschnitt **2705** in Fig. 14C) Text an, und der linke Anzeigeabschnitt (der Anzeigeabschnitt **2707** in Fig. 14C) zeigt Bilder an. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei den Anzeigeabschnitten **2705** und **2707** kann das elektronische Buchlesegerät **2700** eine hohe Zuverlässigkeit bieten.

**[0385]** Fig. 14C zeigt ein Beispiel, bei dem das Gehäuse **2701** einen Bedienungsabschnitt und dergleichen aufweist. Beispielsweise weist das Gehäuse **2701** einen Einschaltknopf **2721**, Bedienungstasten **2723**, einen Lautsprecher **2725** und dergleichen auf. Mit den Bedienungstasten **2723** können Seiten umgeblättert werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Tastatur, eine Zeigevorrichtung oder dergleichen ebenfalls auf derjenigen Fläche des Gehäuses vorgesehen sein können, auf der die Anzeigevorrichtung vorgesehen ist. Ferner können ein externer Verbindungsanschluss (ein Kopfhöreranschluss, ein USB-Anschluss oder dergleichen), ein Aufzeichnungsmedien-Einsetzabschnitt und dergleichen auf der Rückfläche oder der Seitenfläche des Gehäuses vorgesehen sein. Ferner kann das elektronische Buchlesegerät **2700** eine Funktion eines elektronischen Wörterbuchs aufweisen.

**[0386]** Das elektronische Buchlesegerät **2700** kann eine Struktur aufweisen, mit der drahtloses Senden und Empfangen von Daten möglich ist. Durch die drahtlose Kommunikation können gewünschte Buchdaten oder dergleichen von einer Server für elektronische Bücher gekauft und heruntergeladen werden.

**[0387]** Fig. 14D zeigt ein Mobiltelefon, das zwei Gehäuse aufweist, d. h. ein Gehäuse **2800** und ein Gehäuse **2801**. Das Gehäuse **2801** weist ein Anzeigepanel **2802**, einen Lautsprecher **2803**, ein Mikrofon **2804**, eine Zeigevorrichtung **2806**, eine Kameralinse **2807**, einen externen Verbindungsanschluss **2808** und dergleichen auf. Ferner weist das Gehäuse **2800** eine Solarzelle **2810** mit einer Funktion zum Laden des Mobiltelefons, einen Externspeicher-Steckplatz **2811** und dergleichen auf. Eine Antenne ist in dem Gehäuse **2801** eingebaut. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei dem Anzeigeabschnitt **2802** kann ein hochzuverlässiges Mobiltelefon erhalten werden.

**[0388]** Ferner umfasst das Anzeigepanel **2802** ein Tastfeld. Eine Vielzahl von Bedienungstasten **2805**, die als Bilder angezeigt sind, sind von den Strichlinien in Fig. 14D dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Verstärkungsschaltung, mit der eine von der Solarzelle **2810** ausgegebene Spannung so erhöht wird, dass sie für jede Schaltung ausreichend hoch ist, ebenfalls vorgesehen ist.

**[0389]** In dem Anzeigepanel **2802** kann die Anzeigerichtung auf geeignete Weise je nach einem Nutzungsverhalten verändert werden. Ferner weist das Mobiltelefon die Kameralinse **2807** auf derselben Fläche auf wie das Anzeigepanel **2802**, und es kann somit als Videotelefon benutzt werden. Der Lautsprecher **2803** und das Mikrofon **2804** können für Videotelefontgespräche, Aufzeichnen und Abspielen von Ton und dergleichen sowie Voice Calls verwendet werden. Ferner können sich die Gehäuse **2800** und **2801**, die so ausgebildet sind, wie in Fig. 14C gezeigt ist, einander durch eine Gleitbewegung überlappen; somit kann die Größe des Mobiltelefons verringert werden, wodurch das Mobiltelefon zur Mitnahme geeignet ist.

**[0390]** Der externe Verbindungsanschluss **2808** kann mit einem AC-Adapter und verschiedenen Arten von Kabeln, wie z. B. einem USB-Kabel, verbunden sein, und Laden und Datenkommunikation mit einem Personal Computer sind möglich. Ferner kann eine große Menge an Daten dadurch gespeichert werden, dass ein Speichermedium in den Externspeicher-Steckplatz **2811** eingesetzt wird, und bewegt werden.

**[0391]** Ferner kann zusätzlich zu den oben genannten Funktionen eine Infrarot-Kommunikationsfunktion, eine Fernsehempfängsfunktion oder dergleichen vorgesehen sein.

**[0392]** Fig. 14E zeigt eine digitale Videokamera, die einen Hauptkörper **3051**, einen Anzeigeabschnitt A **3057**, einen Okularabschnitt **3053**, einen Bedienungsschalter **3054**, einen Anzeigeabschnitt B **3055**, eine Batterie **3056** und dergleichen aufweist. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei dem Anzeigeabschnitt A **3057** und dem Anzeigeabschnitt B **3055** kann eine hochzuverlässige digitale Videokamera erhalten werden.

**[0393]** Fig. 14F zeigt ein Beispiel für eine Fernsehvorrichtung. Bei einem Fernsehgerät **9600** ist ein Anzeigeabschnitt **9603** in einem Gehäuse **9601** eingebaut. Der Anzeigeabschnitt **9603** kann Bilder anzeigen. Hier wird

das Gehäuse **9601** von einem Fuß **9605** getragen. Durch Verwenden der bei den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Halbleitervorrichtung bei dem Anzeigeabschnitt **9603** kann das Fernsehgerät **9600** mit hoher Zuverlässigkeit erhalten werden.

**[0394]** Das Fernsehgerät **9600** kann mittels eines Bedienungsschalters des Gehäuses **9601** oder einer separaten Fernbedienung bedient werden. Ferner kann die Fernbedienung einen Anzeigeabschnitt zum Anzeigen von Daten, die von der Fernbedienung ausgegeben werden, aufweisen.

**[0395]** Es sei darauf hingewiesen, dass das Fernsehgerät **9600** einen Empfänger, ein Modem und dergleichen aufweist. Unter Verwendung des Empfängers kann allgemeines Fernsehen empfangen werden. Ferner kann dann, wenn die Anzeigevorrichtung über das Modem einseitig gerichtet (von einem Sender zu einem Empfänger) oder beidseitig gerichtet (zwischen einem Sender und einem Empfänger oder zwischen Empfängern) mit einem verdrahteten oder drahtlosen Kommunikationsnetzwerk verbunden ist, eine Informationskommunikation erfolgen.

**[0396]** Die bei dieser Ausführungsform beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen können, soweit erforderlich, mit den bei den anderen Ausführungsformen beschriebenen Strukturen, Verfahren und dergleichen kombiniert werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:  
 Ausbilden eines ersten Isolierfilms (**102; 102a**) über einem Substrat (**100**);  
 Ausbilden eines zweiten Isolierfilms (**102; 102b**) über dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**);  
 Durchführen einer Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**) und dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Ausbilden einer Source-Elektrode (**104a**), einer Drain-Elektrode (**104b**) und eines Oxid-Halbleiterfilms (**106**) über dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Ausbilden eines dritten Isolierfilms (**110**) über der Source-Elektrode (**104a**), der Drain-Elektrode (**104b**) und dem Oxid-Halbleiterfilm **106**; und  
 Ausbilden einer Gate-Elektrode (**112**) derart über dem dritten Isolierfilm (**110**), dass sich die Gate-Elektrode (**112**) mit dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**) überlappt,  
 wobei der zweite Isolierfilm (**102; 102b**) eine Komponente umfasst, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (**106**).

2. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:  
 Ausbilden eines ersten Isolierfilms (**102; 102a**) über einem Substrat (**100**);  
 Ausbilden eines zweiten Isolierfilms (**102; 102b**) über dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**);  
 Durchführen einer ersten Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**) und dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Ausbilden einer Source-Elektrode (**104a**), einer Drain-Elektrode (**104b**) und eines Oxid-Halbleiterfilms (**106**) über dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Ausbilden eines dritten Isolierfilms (**110**) über der Source-Elektrode (**104a**), der Drain-Elektrode (**104b**) und dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**);  
 Durchführen einer zweiten Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem dritten Isolierfilm (**110**); und  
 Ausbilden einer Gate-Elektrode (**112**) derart über dem dritten Isolierfilm (**110**), dass sich die Gate-Elektrode (**112**) mit dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**) überlappt,  
 wobei der zweite Isolierfilm (**102; 102b**) eine Komponente umfasst, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (**106**).

3. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:  
 Ausbilden eines ersten Isolierfilms (**102; 102a**) über einem Substrat;  
 Ausbilden eines zweiten Isolierfilms (**102; 102b**) über dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**);  
 Durchführen einer ersten Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem ersten Isolierfilm (**102; 102a**) und dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Ausbilden einer Source-Elektrode (**104a**), einer Drain-Elektrode (**104b**) und eines Oxid-Halbleiterfilms (**106**) über dem zweiten Isolierfilm (**102; 102b**);  
 Durchführen einer zweiten Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**);  
 Ausbilden eines dritten Isolierfilms (**110**) über der Source-Elektrode (**104a**), der Drain-Elektrode (**104b**) und dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**);

Durchführen einer dritten Sauerstoffdotierungsbehandlung an dem dritten Isolierfilm (**110**); und  
Ausbilden einer Gate-Elektrode (**112**) derart über dem dritten Isolierfilm (**110**), dass sich die Gate-Elektrode (**112**) mit dem Oxid-Halbleiterfilm (**106**) überlappt,  
wobei der zweite Isolierfilm (**102**; **102b**) eine Komponente umfasst, die die gleiche ist wie eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (**106**).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der erste Isolierfilm (**102**; **102a**) eine Komponente umfasst, die anders ist als eine Komponente des Oxid-Halbleiterfilms (**106**).

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

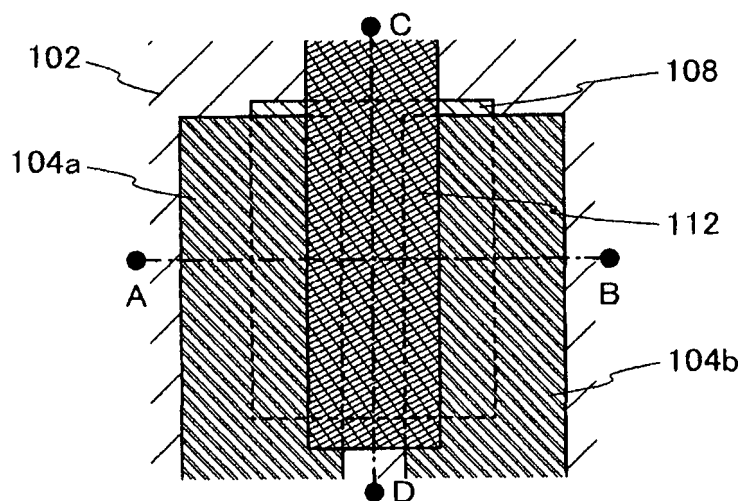


FIG. 1B

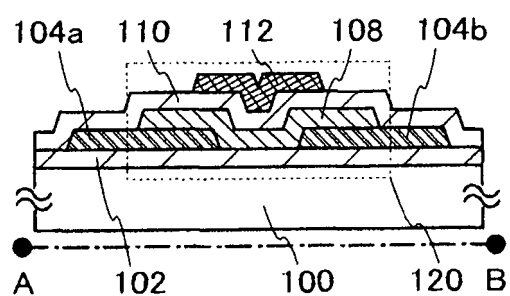


FIG. 1C

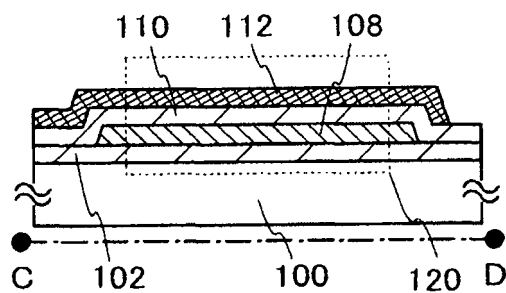


FIG. 2A

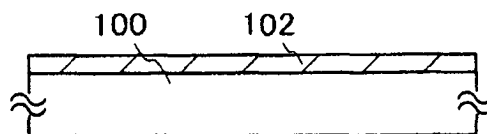


FIG. 2B

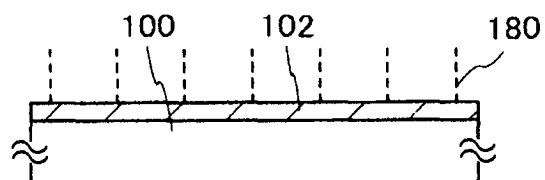


FIG. 2C

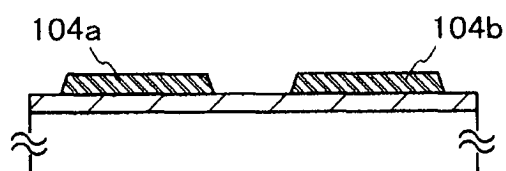


FIG. 2D

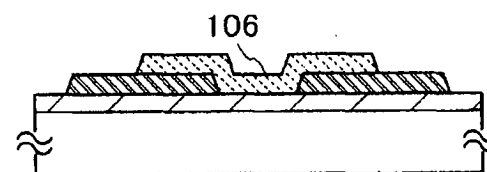


FIG. 2E

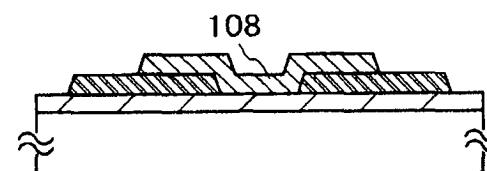


FIG. 2F

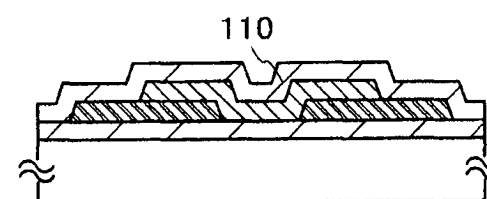


FIG. 2G

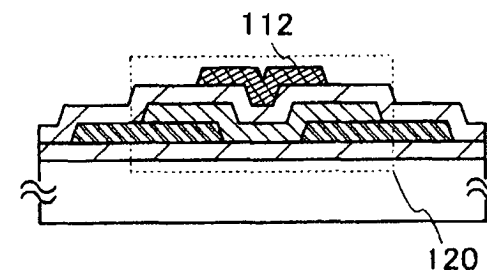


FIG. 3A

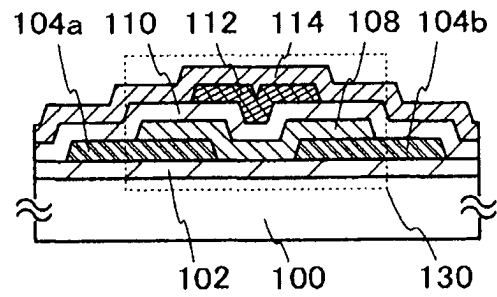


FIG. 3B

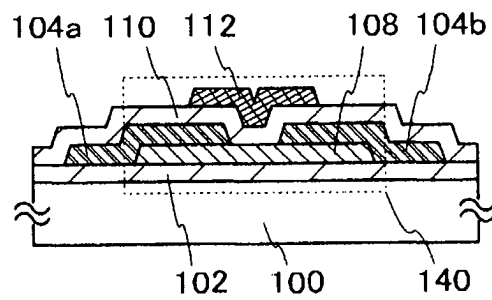


FIG. 3C

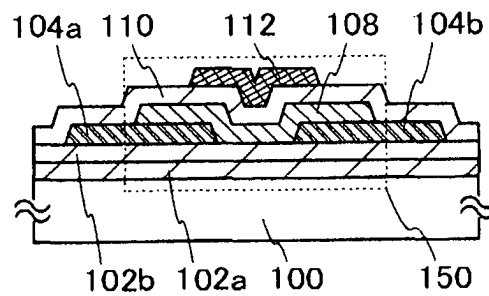


FIG. 3D

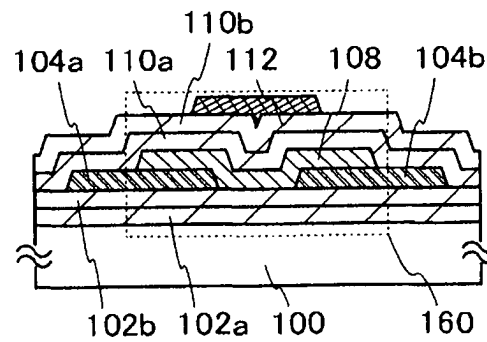


FIG. 4A

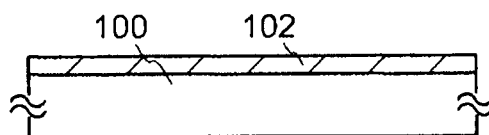


FIG. 4B

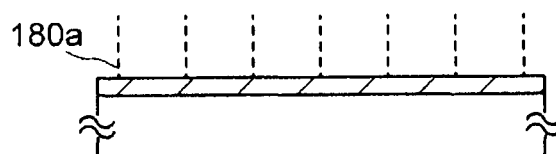


FIG. 4C

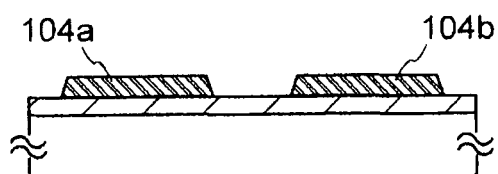


FIG. 4D

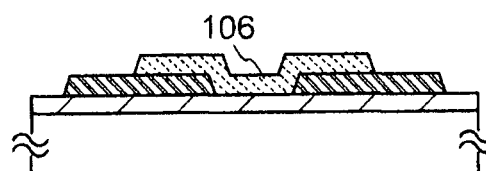


FIG. 4E

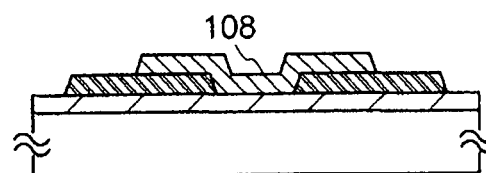


FIG. 4F

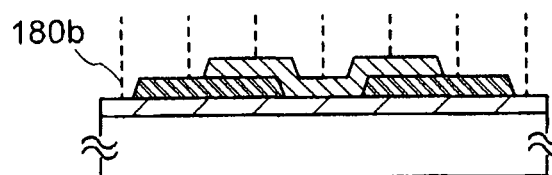


FIG. 5A

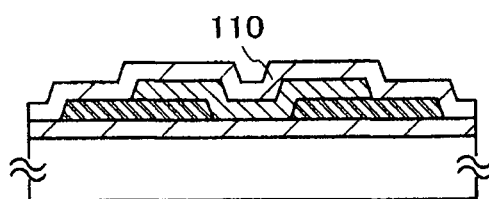


FIG. 5B

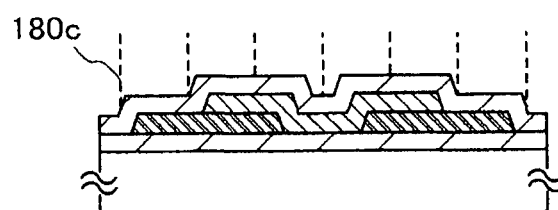


FIG. 5C

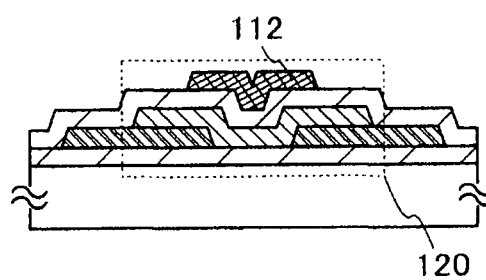


FIG. 6A

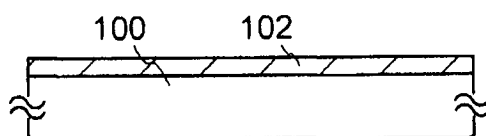


FIG. 6B

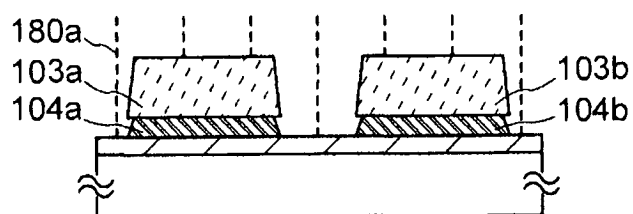


FIG. 6C

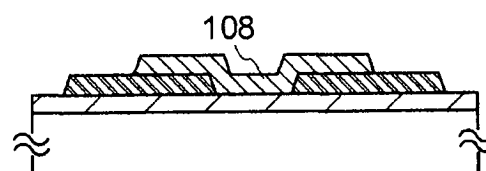


FIG. 6D

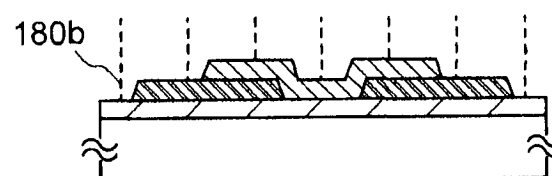


FIG. 6E

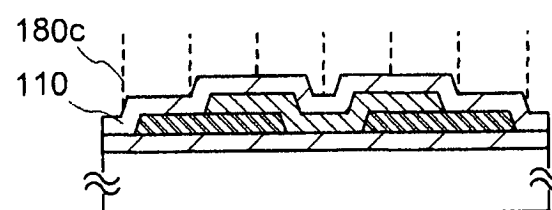


FIG. 6F

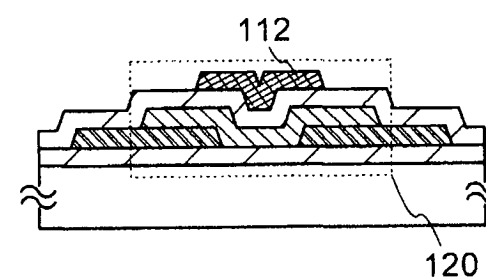




FIG. 8A

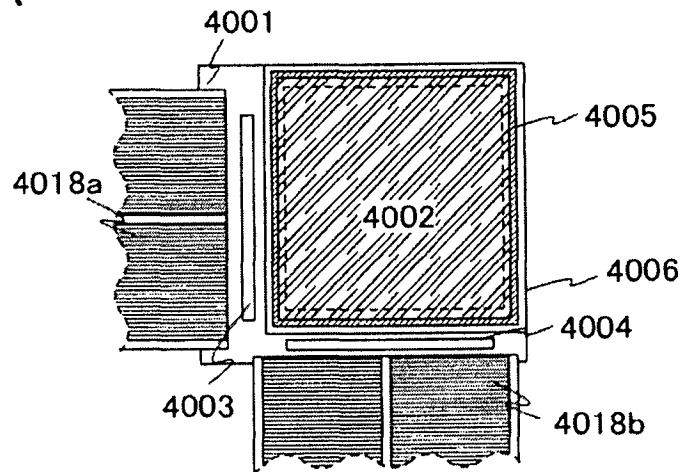


FIG. 8B

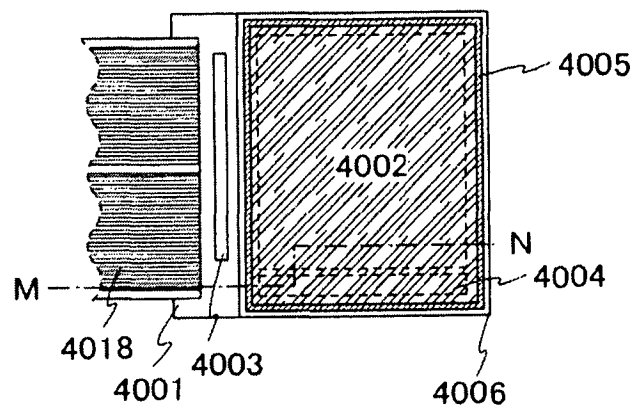


FIG. 8C

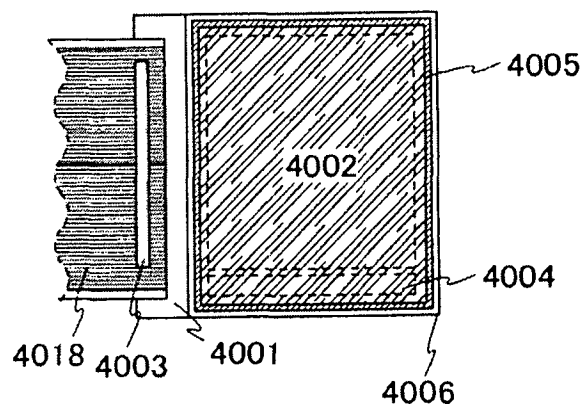


FIG. 9

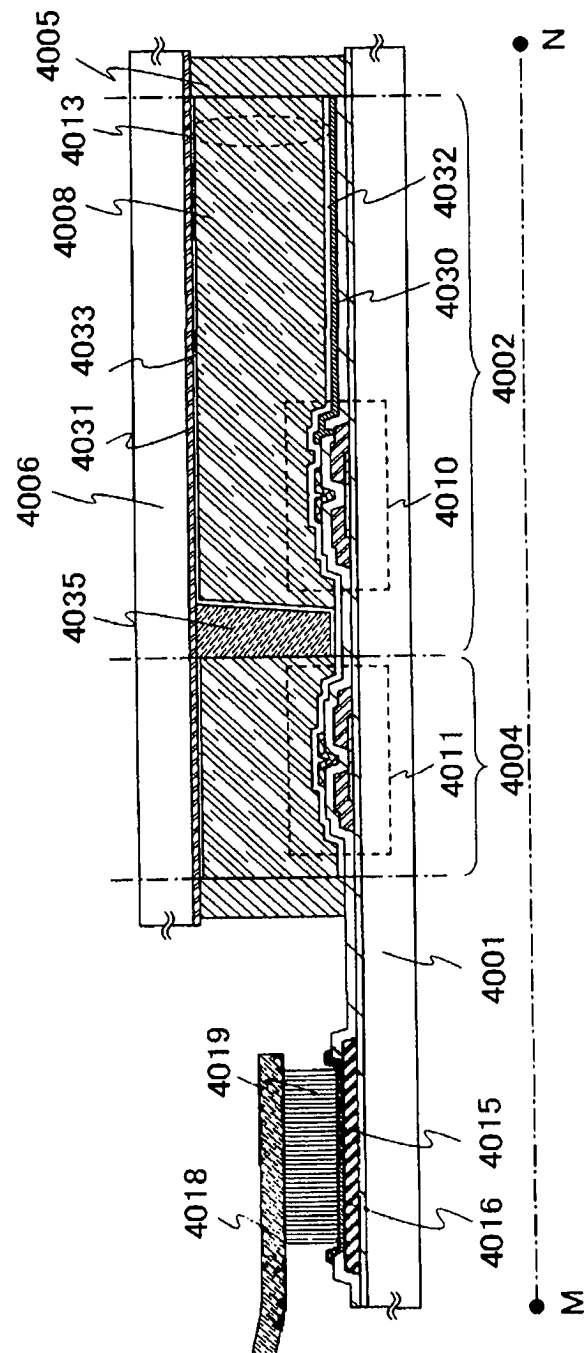


FIG. 10

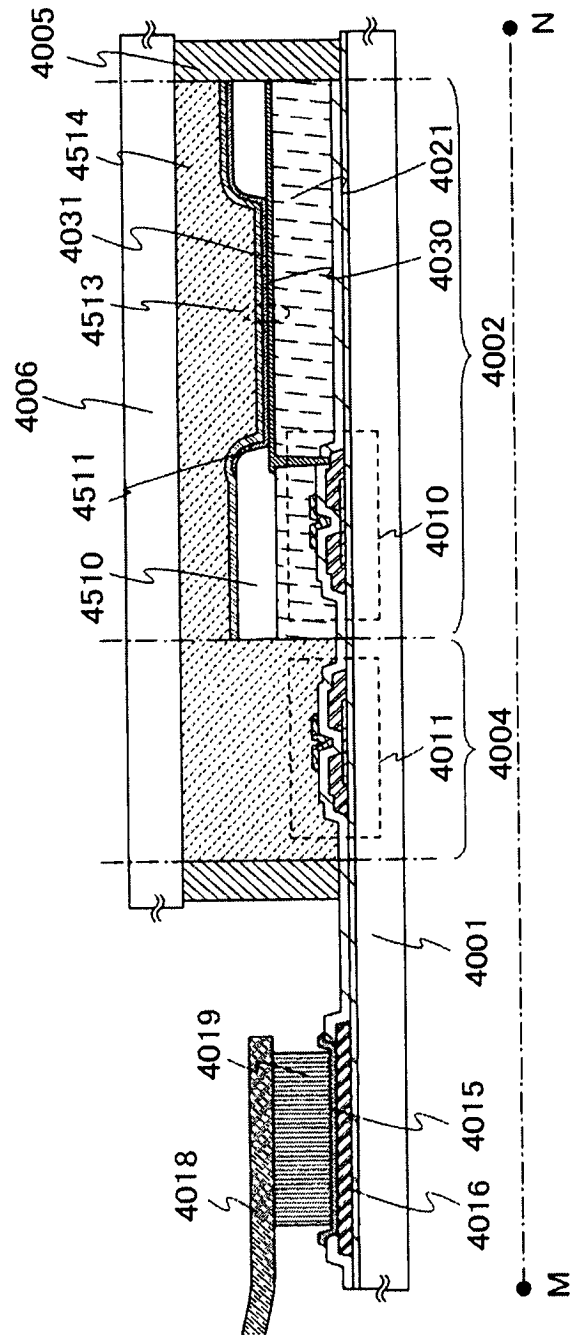


FIG. 11

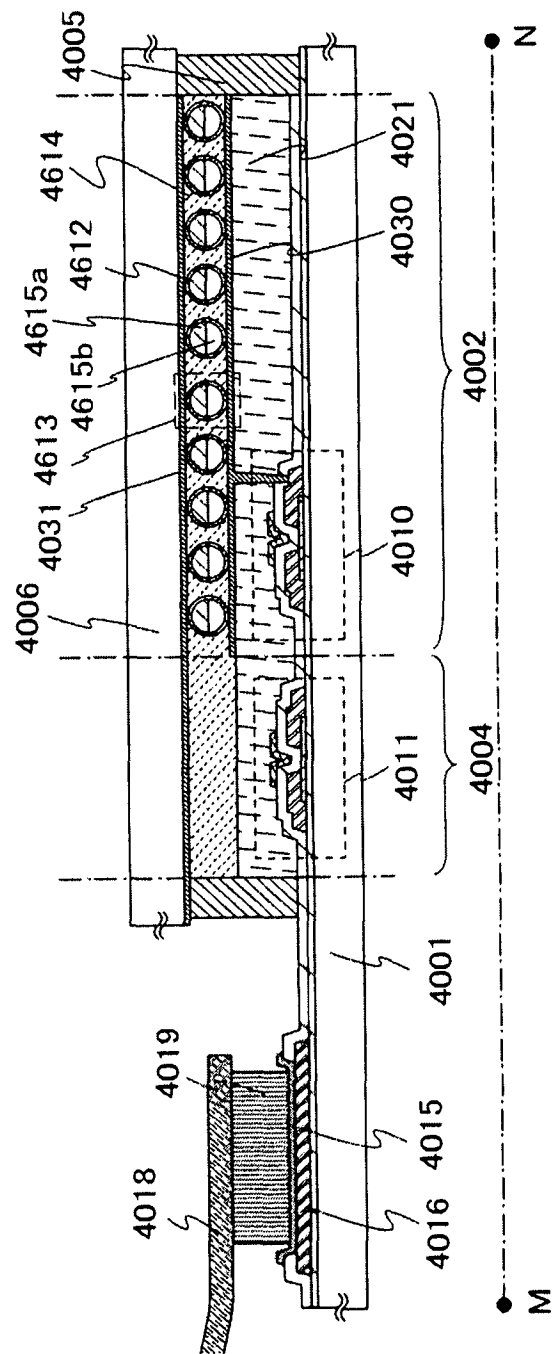


FIG. 12A

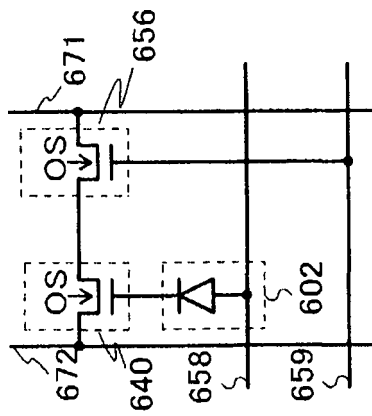


FIG. 12B

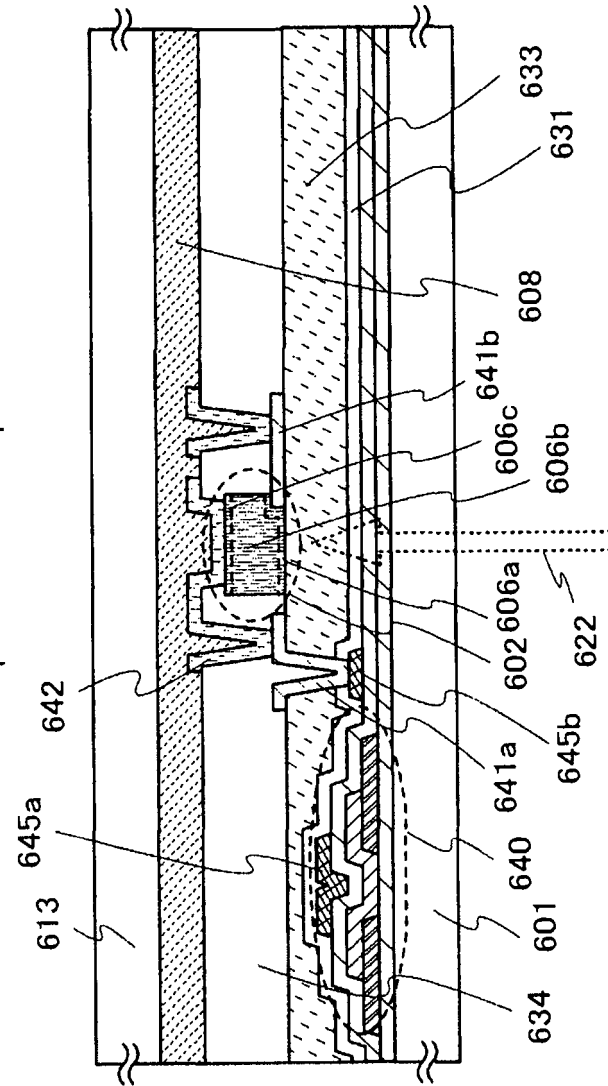


FIG. 13A

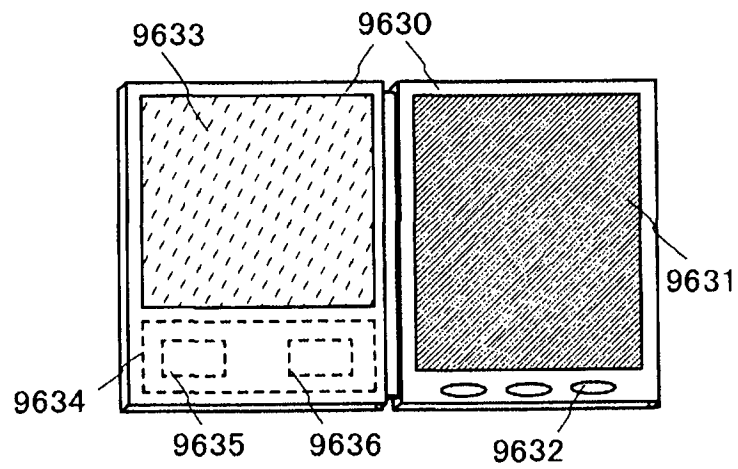


FIG. 13B

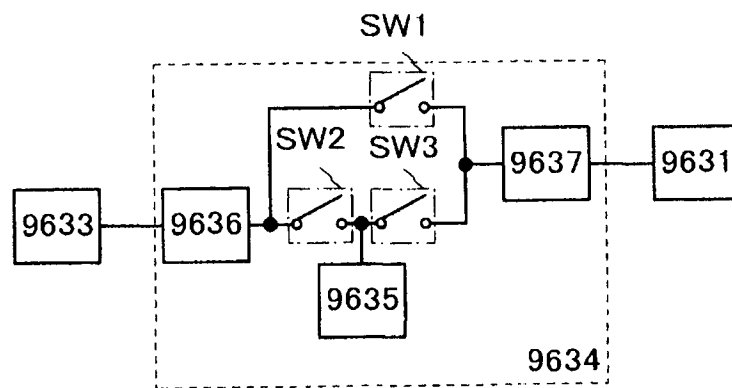


FIG. 14A

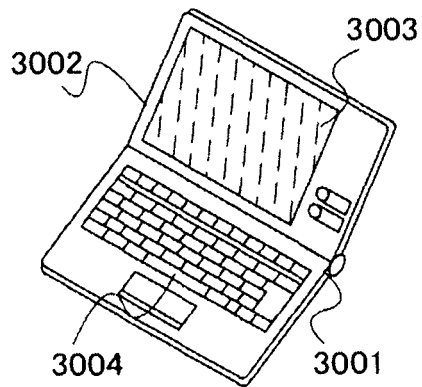


FIG. 14B

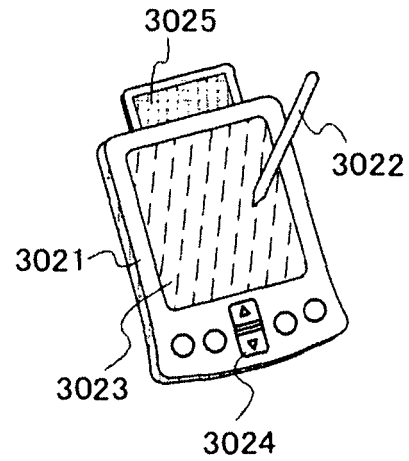


FIG. 14C

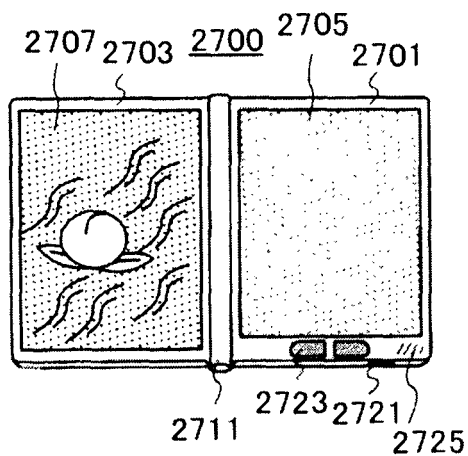


FIG. 14D

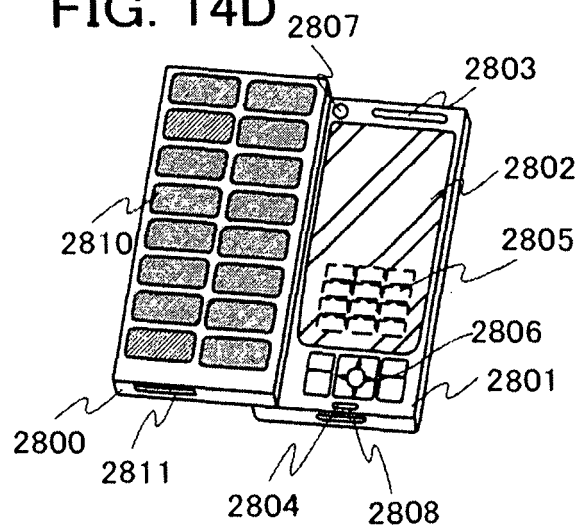


FIG. 14E

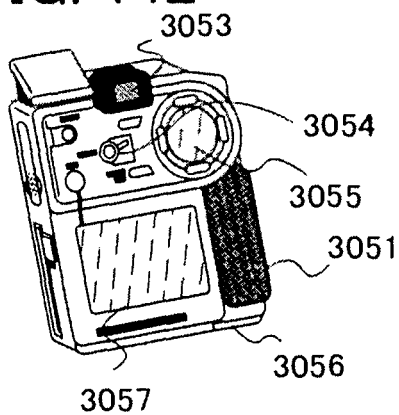


FIG. 14F

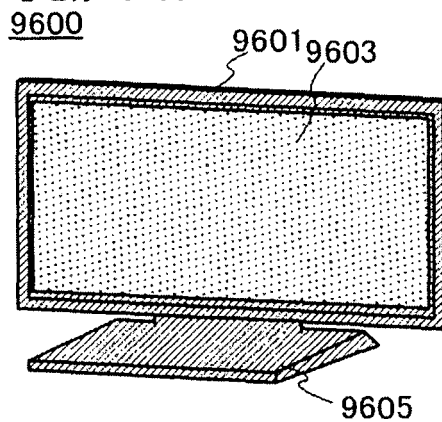


FIG. 15

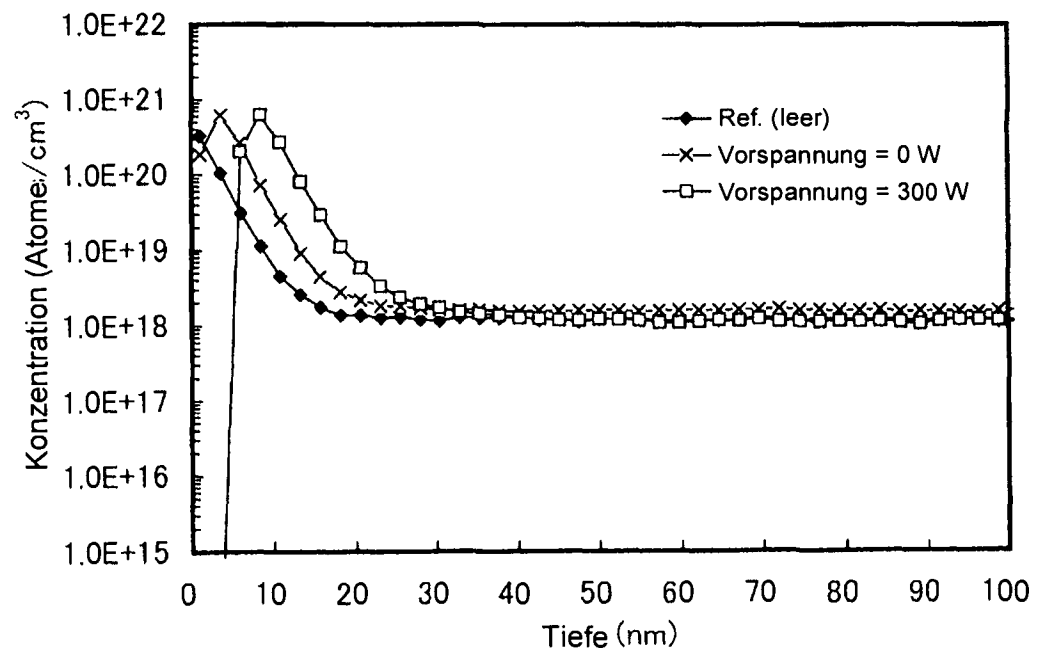


FIG. 16A

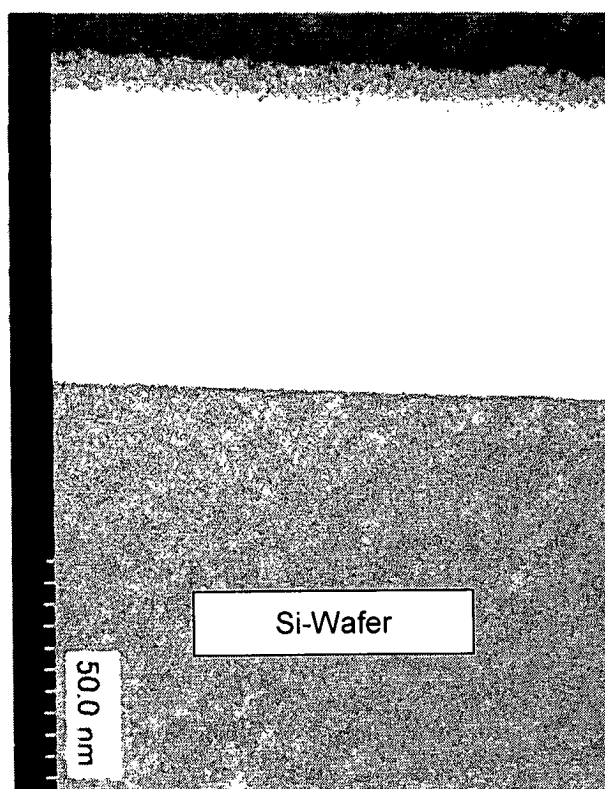


FIG. 16B

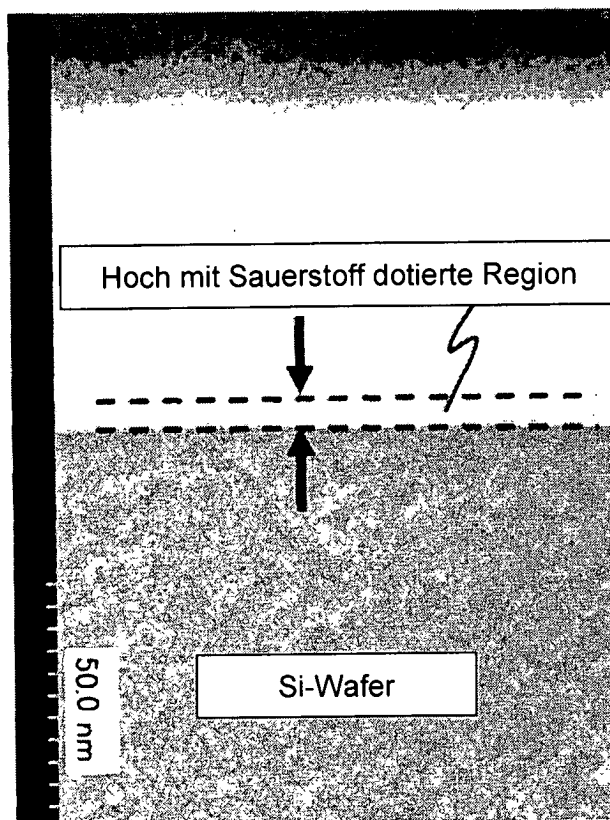


FIG. 17A

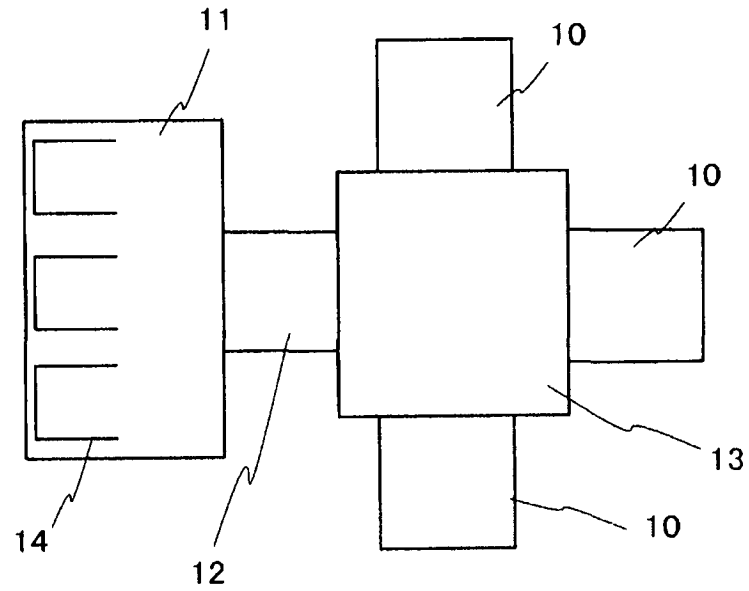


FIG. 17B

