



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2012 004 061.9
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2012/074814
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2013/047629
(86) PCT-Anmeldetag: 20.09.2012
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 04.04.2013
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: 10.07.2014
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20.06.2024

(51) Int Cl.: **H01L 29/786 (2006.01)**
H01L 21/336 (2006.01)
H01L 29/26 (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:
2011215682 29.09.2011 JP

(62) Teilung in:
11 2012 007 292.8

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

(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB,
80802 München, DE**

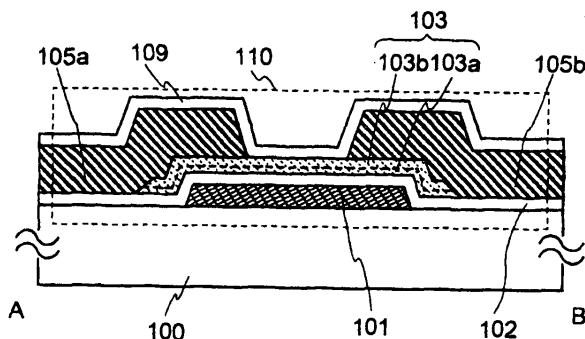
(72) Erfinder:
Honda, Tatsuya, Nigata-shi, Nigata-ken, JP;
Tsubuku, Masashi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Nonaka, Yusuke, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Shimazu, Takashi, Nagoya-shi, Aichi-ken, JP;
Yamazaki, Shunpei, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2010 / 0 314 618 A1
US 2011 / 0 193 079 A1

(54) Bezeichnung: **Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Halbleitervorrichtung, umfassend:
einen Oxidhalbleiterfilm (103) über einem Substrat (100);
eine Source-Elektrode (105a) und eine Drain-Elektrode (105b), die elektrisch mit dem Oxidhalbleiterfilm (103) verbunden sind;
eine Gate-Elektrode (101); und
einen Gate-Isolierfilm (102) zwischen der Gate-Elektrode (101) und dem Oxidhalbleiterfilm (103); wobei der Gate-Isolierfilm ein Oxid umfasst, das Silizium enthält;
wobei der Oxidhalbleiterfilm (103) einen ersten Bereich (103a) umfasst, in dem eine Konzentration von Kohlenstoff geringer als oder gleich $1,0 \times 10^{19}$ Atome/cm³ ist;
wobei der erste Bereich in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm steht;
wobei eine Konzentration von Silizium in dem ersten Bereich kleiner oder gleich 1.0 At.-% ist;
wobei der erste Bereich einen Kristallabschnitt beinhaltet; und
wobei die Konzentration vom Silizium in einem Bereich des Oxidhalbleiterfilms, der nicht der erste Bereich ist, kleiner ist als die Konzentration von Silizium in dem ersten Bereich.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung der Halbleitervorrichtung.

[0002] In der vorliegenden Beschreibung bezeichnet eine Halbleitervorrichtung allgemein eine Vorrichtung, die unter Nutzung von Halbleitereigenschaften betrieben werden kann, wobei eine elektrooptische Vorrichtung, eine Halbleiterschaltung und elektronische Gerätschaften allesamt Halbleitervorrichtungen sind.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Eine Technik, durch die ein Transistor unter Verwendung eines Halbleiterdünnsfilmes gebildet wird, der über einem Substrat mit einer isolierenden Oberfläche ausgebildet ist, ist in den Fokus gerückt. Der Transistor kommt in einem weiten Bereich von elektronischen Vorrichtungen zum Einsatz, so beispielsweise bei einer integrierten Schaltung (IC) oder einer Bildanzeigevorrichtung (Anzeigevorrichtung). Ein siliziumbasiertes Halbleitermaterial ist allgemein als Material für einen Halbleiterdünnsfilm bekannt, der bei einem Transistor einsetzbar ist. Als weiteres Material ist ein Oxidhalbleiter in den Fokus gerückt.

[0004] Als Beispiel wird ein Transistor, dessen Aktivschicht ein amorphes Oxid beinhaltet, das Indium (In), Gallium (Ga) und Zink (Zn) beinhaltet, offenbart (siehe Patentdruckschrift 1).

[0005] Transistoren, die Oxidhalbleiter beinhalten, zeigen EIN-Zustandseigenschaften (beispielsweise einen EIN-Zustandsstrom), die gegenüber denjenigen von Transistoren, die amorphes Silizium beinhalten, überlegen sind. Um die Transistoren, die Oxidhalbleiter beinhalten, in Hochleistungsvorrichtungen einzusetzen, ist jedoch erforderlich, dass derartige Transistoren weitere verbesserte Eigenschaften aufweisen, weshalb Techniken der Kristallisierung von Oxidhalbleitern entwickelt worden sind (Patentdruckschrift 2). In Patentdruckschrift 2 wird eine Technik offenbart, bei der ein Oxidhalbleiter durch eine Wärmebehandlung kristallisiert wird.

[0006] Aus der US 2011 0 193 079 A1 ist eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung bekannt. Aus der US 2010 / 0 314 618 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen eines Dünnfilmtransistors bekannt.

Verweis

Patentdruckschriften

Patentdruckschrift 1: veröffentlichte japanische Patentanmeldung Nr. JP 2006 - 165 528 A

Patentdruckschrift 2: veröffentlichte japanische Patentanmeldung Nr. JP 2008 - 311 342 A

Offenbarung der Erfindung

[0007] Ein Oxidhalbleiterfilm, der bei einem Transistor verwendet wird, wird in vielen Fällen durch ein Sputterverfahren gebildet. Wenn jedoch der Oxidhalbleiterfilm durch Sputtern gebildet wird, schlägt in einigen Fällen ein ionisiertes Edelgaselement oder ein von einer Oberfläche eines Targets herausgerissen Teilchen ein Teilchen eines Filmes, so beispielsweise eines Gate-Isolierfilms, an dem der Oxidhalbleiterfilm ausgebildet werden soll, heraus (der Film wird auch als „(aus)gebildeter Film“ bezeichnet). Die Teilchen, die aus dem gebildeten Film herausgeschlagen worden sind, treten in den Oxidhalbleiterfilm ein und wirken dort als Verunreinigungselement. Insbesondere kann der Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung einer Oberfläche des gebildeten Filmes (die Oberfläche wird auch als „(aus)gebildete Filmoberfläche“ bezeichnet) eine hohe Konzentration des Verunreinigungselementes aufweisen. Wenn des Weiteren das Verunreinigungselement in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche verbleibt, hat das Verunreinigungselement nachteilige Wirkungen auf die Eigenschaften des Transistors.

[0008] Darüber hinaus verhindert das Verunreinigungselement, das in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche beinhaltet ist, eine Kristallisierung des Oxidhalbleiterfilmes. Im Ergebnis verbleibt ein amorpher Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche.

[0009] Es kann die folgende Gegenmaßnahme in Betracht gezogen werden: Der Oxidhalbleiterfilm wird dick ausgestaltet, und es wird ein Kristallbereich verwendet, der in einer Oberflächenschicht ausgebildet ist. Um jedoch die parasitäre Kapazität zu verringern und den Transistor mit kleinerer Leistung zu betreiben, ist der Oxidhalbleiterfilm wünschenswerterweise dünn ausgestaltet. In diesem Fall wird ein Kanalbildungsbereich in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gebildet, und es wird die Kristallisierung des Oxidhalbleiterfilmes wünschenswerterweise in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche entsprechend gefördert.

[0010] Eingedenk des vorbeschriebenen Problems besteht eine Aufgabe darin, die Konzentration von Verunreinigungen, die in einem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche beinhaltet sind, zu verringern. Des Weiteren besteht eine Aufgabe darin, die Kristallinität des Oxidhalbleiterfilmes zu verbessern. Des Weiteren besteht eine Aufgabe darin, eine Halbleitervorrichtung mit stabilen elektrischen Eigenschaften unter Verwendung des Oxidhalbleiterfilmes bereitzustellen.

[0011] Ein Ausführungsbeispiel der offenbarten Erfindung ist eine Halbleitervorrichtung, die beinhaltet: einen Isolierfilm, der oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, einen Oxidhalbleiterfilm, der in Kontakt mit dem Isolierfilm vorgesehen ist, eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode in elektrischer Verbindung mit dem Oxidhalbleiterfilm und eine Gate-Elektrode benachbart zu dem Oxidhalbleiterfilm. Der Oxidhalbleiterfilm beinhaltet einen ersten Bereich, in dem eine Konzentration von Silizium mit einer Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm hin zu einer Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist, wobei wenigstens der erste Bereich einen Kristallabschnitt beinhaltet. Die Gate-Elektrode kann unter dem Oxidhalbleiterfilm mit dem dazwischen angeordneten Isolierfilm befindlich sein.

[0012] Ein Ausführungsbeispiel der offenbarten Erfindung ist eine Halbleitervorrichtung, die beinhaltet: eine Gate-Elektrode, einen Gate-Isolierfilm, der oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, und die Gate-Elektrode bedeckt, einen Oxidhalbleiterfilm, der in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm vorgesehen ist und mit wenigstens der Gate-Elektrode überlappt, einen Kanalschutzfilm, der in Kontakt mit dem Oxidhalbleiterfilm vorgesehen ist, und eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode, die über dem Kanalschutzfilm vorgesehen und elektrisch mit dem Oxidhalbleiterfilm verbunden sind. Der Oxidhalbleiterfilm beinhaltet einen ersten Bereich, in dem eine Konzentration des Siliziums mit Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm hin zu einer Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist, wobei wenigstens der erste Bereich einen Kristallabschnitt beinhaltet.

[0013] Bei jeder der vorgenannten Strukturen ist der erste Bereich vorzugsweise in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm oder dem Isolierfilm vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf, wobei die Konzentration von Silizium, das in einem Bereich beinhaltet ist, der nicht der erste Bereich ist, vorzugsweise kleiner als die Konzentration von Silizium, das in dem ersten Bereich beinhaltet ist, ist.

[0014] Bei jeder der vorgenannten Strukturen beinhaltet der Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm, der nicht der erste Bereich ist, vorzugsweise einen Kristallabschnitt.

[0015] Des Weiteren ist ein Ausführungsbeispiel der offenbarten Erfindung eine Halbleitervorrichtung, die beinhaltet: eine Gate-Elektrode, einen Gate-Isolierfilm, der oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, und die Gate-Elektrode bedeckt, einen Oxidhalbleiterfilm, der in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm vorgesehen ist und mit wenigstens der Gate-Elektrode überlappt, eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode in elektrischer Verbindung mit dem Oxidhalbleiterfilm und einen Schutzisolierfilm, der oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, und den Oxidhalbleiterfilm und die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode bedeckt. Der Oxidhalbleiterfilm beinhaltet einen ersten Bereich, in dem eine Konzentration von Silizium mit Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm hin zu einer Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist. Der Oxidhalbleiterfilm beinhaltet einen zweiten Bereich, in dem eine Konzentration von Silizium mit Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Schutzisolierfilm hin zu der Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist. Wenigstens der erste Bereich und der zweite Bereich beinhalten einen Kristallabschnitt.

[0016] Bei jeder der vorgenannten Strukturen ist der erste Bereich vorzugsweise in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf, der zweite Bereich ist vorzugsweise in Kontakt mit dem Schutzisolierfilm vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf, und die Konzentration von Silizium, das in einem Bereich beinhaltet ist, der nicht der erste und der zweite Bereich ist, ist vorzugsweise kleiner als die Konzentrationen von Silizium, das in dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich beinhaltet ist.

[0017] Des Weiteren ist bei jeder der vorgenannten Strukturen ein Kristallabschnitt vorzugsweise in dem Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm, der nicht der erste Bereich und der zweite Bereich ist, beinhaltet.

[0018] Des Weiteren ist bei jeder der vorgenannten Strukturen eine c-Achse des Kristallabschnittes vorzugsweise in einer Richtung senkrecht zu der Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm und dem Gate-Isolierfilm oder dem Isolierfilm ausgerichtet.

[0019] Des Weiteren ist bei jeder der vorgenannten Strukturen die Konzentration von Silizium, das in dem ersten Bereich beinhaltet ist, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-%.

[0020] Des Weiteren beinhaltet bei jeder der vorgenannten Strukturen der Gate-Isolierfilm oder der Isolierfilm Kohlenstoff, und die Konzentration von Kohlenstoff in dem ersten Bereich ist vorzugsweise kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{20}$ Atome/cm³.

[0021] Entsprechend einem Ausführungsbeispiel der offenbarten Erfindung kann die Konzentration von Verunreinigungen, die in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche beinhaltet sind, verringert werden. Darüber hinaus kann die Kristallinität des Oxidhalbleiterfilmes verbessert werden. Damit kann unter Verwendung eines derartigen Oxidhalbleiterfilmes eine Halbleitervorrichtung mit stabilen elektrischen Eigenschaften bereitgestellt werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

Fig. 1A und **1B** sind eine Planansicht und eine Querschnittsansicht zur Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 2A und **2B** sind eine Planansicht und eine Querschnittsansicht zur Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 3A und **3B** sind eine Planansicht und eine Querschnittsansicht zur Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 4A bis **4E** sind Querschnittsansichten zur Darstellung eines Beispieles eines Herstellungsprozesses einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 5A bis **5E** sind Querschnittsansichten zur Darstellung eines Beispieles eines Herstellungsprozesses einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 6 ist ein Modelldiagramm, das zur Berechnung verwendet wird.

Fig. 7A bis **7C** zeigen Berechnungsergebnisse.

Fig. 8A bis **8C** zeigen Berechnungsergebnisse.

Fig. 9A bis **9C** zeigen ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 12 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung.

Fig. 13A bis **13F** zeigen jeweils eine elektronische Vorrichtung.

Fig. 14 ist ein Graph zur Darstellung von Messergebnissen entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 15 zeigt eine Struktur einer Probe entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 16 ist ein Graph zur Darstellung von Messergebnissen entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 17 zeigt eine Struktur einer Probe entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 18A und **18B** sind Graphen zur Darstellung von Messergebnissen entsprechend einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 19A und **19B** zeigen jeweils eine Struktur einer Probe entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 20A und 20B sind Graphen zur Darstellung von Messergebnissen entsprechend einem Beispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 21A und 21B sind Modelldiagramme, die zur Berechnung verwendet werden.

Fig. 22A und 22B sind Modelldiagramme, die zur Berechnung verwendet werden.

Fig. 23 zeigt Berechnungsergebnisse.

Fig. 24A und 24B sind Modelldiagramme, die zur Berechnung verwendet werden.

Fig. 25 zeigt Berechnungsergebnisse.

Optimale Ausführungsweise der Erfindung

[0022] Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der in dieser Druckschrift offenbarten Erfindung detailliert anhand der begleitenden Zeichnung beschrieben. Man beachte, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die nachfolgende Beschreibung beschränkt ist und sich einem Fachmann auf dem einschlägigen Gebiet ohne Weiteres erschließt, dass Ausführungsweisen und Details auf verschiedene Weisen modifiziert sein können, ohne vom Wesen und Umfang der vorliegenden Erfindung abzugehen. Daher soll die Erfindung nicht als auf die Beschreibung in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen beschränkt verstanden werden.

[0023] Man beachte, dass die Position, die Größe, der Bereich oder dergleichen einer jeden in der Zeichnung und dergleichen dargestellten Struktur in einigen Fällen zur Erleichterung des Verständnisses nicht genau dargestellt sind. Daher ist die offenbarte Erfindung nicht zwangsweise auf die Position, die Größe oder den Bereich oder dergleichen aus der Offenbarung in der Zeichnung und dergleichen beschränkt.

[0024] In der vorliegenden Druckschrift und dergleichen werden Ordnungszahlen wie „erster“, „zweiter“ und „dritter“ verwendet, um eine Verwechslung der Komponenten zu vermeiden, wobei die Begriffe keine Beschränkung der Anzahl der Komponenten implizieren.

[0025] Man beachte, dass in der vorliegenden Druckschrift und dergleichen Begriffe wie „über“ oder „unter“ nicht zwangsweise aussagen, dass eine Komponente „direkt auf“ oder „direkt unter“ einer anderen Komponente platziert ist. Beispielsweise kann der Ausdruck „eine Gate-Elektrode über einer Gate-Isolierschicht“ den Fall bezeichnen, in dem eine zusätzliche Komponente zwischen der Gate-Isolierschicht und der Gate-Elektrode befindlich ist.

[0026] Darüber hinaus beschränkt in der vorliegenden Beschreibung und dergleichen ein Begriff wie „Elektrode“ oder „Verdrahtung“ die Funktion einer Komponente nicht. Beispielsweise wird eine „Elektrode“ bisweilen als Teil einer „Verdrahtung“ verwendet und umgekehrt. Darüber hinaus kann der Begriff „Elektrode“ oder „Verdrahtung“ den Fall beinhalten, dass eine Mehrzahl von „Elektroden“ oder „Verdrahtungen“ auf integrierte Weise ausgebildet ist.

[0027] Die Funktionen einer „Source“ und einer „Drain“ sind bisweilen vertauscht, wenn beispielsweise ein Transistor mit entgegengesetzter Polarität verwendet wird oder wenn die Richtung des fließenden Stromes im Schaltungsbetrieb geändert wird. Daher können die Begriffe „Source“ und „Drain“ in der vorliegenden Beschreibung und dergleichen ausgetauscht werden.

[0028] Man beachte, dass in der vorliegenden Beschreibung und dergleichen der Begriff „elektrisch verbunden“ den Fall bezeichnet, in dem Komponenten durch ein Objekt mit einer elektrischen Funktion verbunden sind. Es gibt keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Objektes mit einer elektrischen Funktion, solange nur elektrische Signale zwischen Komponenten, die durch das Objekt verbunden sind, gesendet und empfangen werden können. Beispiele für ein „Objekt mit einer elektrischen Funktion“ sind ein Schaltelement, so beispielsweise ein Transistor, ein Widerstand, ein Induktor, ein Kondensator und ein Element mit einer Vielzahl von Funktionen, sowie eine Elektrode und eine Verdrahtung.

Ausführungsbeispiel 1

[0029] Bei diesem Ausführungsbeispiel werden ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung und ein Herstellungsverfahren hiervon anhand **Fig.** 1A und 1B, **Fig.** 2A und 2B, **Fig.** 3A und 3B, **Fig.** 4A bis 4E und **Fig.** 5A bis 5E beschrieben.

Beispiel für eine Struktur einer Halbleitervorrichtung

[0030] In **Fig. 1A** und **1B** sind eine Planansicht und eine Querschnittsansicht eines Transistors vom kanalätzten Typ, der eine Boden-Gate-Struktur (bottom gate structure) aufweist, als Beispiel für eine Halbleitervorrichtung gezeigt. **Fig. 1A** ist eine Planansicht und **Fig. 1B** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie A-B in **Fig. 1A**. In **Fig. 1A** sind einige der Komponenten (beispielsweise ein Schutzisolierfilm 109 oder dergleichen) eines Transistors 110 zur Vermeidung einer Verkomplizierung weggelassen.

[0031] Der Transistor 110 aus der Darstellung in **Fig. 1A** und **1B** beinhaltet über einem Substrat 100 mit einer isolierenden Oberfläche eine Gate-Elektrode 101, einen Gate-Isolierfilm 102, der die Gate-Elektrode 101 bedeckt, einen Oxidhalbleiterfilm 103, der in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm 102 vorgesehen ist und mit wenigstens der Gate-Elektrode 101 überlappt, eine Source-Elektrode 105a und eine Drain-Elektrode 105b in elektrischer Verbindung mit dem Oxidhalbleiterfilm 103 und den Schutzisolierfilm 109, der den Oxidhalbleiterfilm 103 und die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b bedeckt.

[0032] Die Dicke des Oxidhalbleiterfilmes 103 ist größer als 5 nm und kleiner oder gleich 200 nm, vorzugsweise größer oder gleich 10 nm und kleiner oder gleich 30 nm. Des Weiteren weist der Oxidhalbleiterfilm 103 vorzugsweise eine Struktur mit einer Kristallinität (beispielsweise eine Einkristallstruktur, eine Mikrokristallstruktur oder dergleichen) auf.

[0033] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Oxidhalbleiterfilm 103 vorzugsweise ein c-Achsenausgerichteter kristalliner Oxidhalbleiterfilm (c-Axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor CAAC-OS).

[0034] Der CAAC-OS-Film ist nicht vollständig einkristallartig oder vollständig amorph. Der CAAC-OS-Film ist ein Oxidhalbleiterfilm mit einer kristallin-amorphen Mischphasenstruktur, bei der Kristallabschnitte in einer amorphen Phase beinhaltet sind. Man beachte, dass in den meisten Fällen der Kristallabschnitt in einen Kubus passt, dessen eine Seite kleiner als 100 nm ist. In einem Beobachtungsbild, das man aus einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) erhält, ist die Grenze zwischen einem amorphen Bereich und einem Kristallbereich in dem CAAC-OS-Film nicht klar bzw. eindeutig. Des Weiteren kann mit dem TEM eine Korngrenze in dem CAAC-OS-Film nicht gefunden werden. Damit wird in dem CAAC-OS-Film eine Verringerung der Elektronenmobilität infolge der Korngrenze unterdrückt.

[0035] In jedem der Kristallabschnitte, die in dem CAAC-OS-Film beinhaltet sind, ist eine c-Achse in einer Richtung senkrecht zu einer Oberfläche, in der der CAAC-OS-Film ausgebildet ist, oder einer Oberfläche des CAAC-OS-Filmes ausgerichtet, wobei eine dreieckige oder sechseckige Atomanordnung, die aus der Richtung senkrecht zu der a-b-Ebene betrachtet wird, gebildet ist und Metallatome auf geschichtete Weise angeordnet sind oder Metallatome und Sauerstoffatome auf geschichtete Weise bei einer Betrachtung aus der Richtung senkrecht zu der c-Achse angeordnet sind. Man beachte, dass unter den Kristallabschnitten die Richtungen einer a-Achse und einer b-Achse eines Kristallabschnittes von denjenigen eines anderen Kristallabschnittes verschieden sein können. In der vorliegenden Beschreibung beinhaltet der einfache Begriff „senkrecht“ einen Bereich von 85° bis 95°.

[0036] In dem CAAC-OS-Film ist die Verteilung von Kristallabschnitten nicht notwendigerweise gleichmäßig. So ist beispielsweise bei dem Bildungsprozess des CAAC-OS-Filmes in dem Fall, in dem ein Kristallwachstum von einer Oberflächenseite des Oxidhalbleiterfilmes her auftritt, der Anteil von Kristallabschnitten in der Umgebung der Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes in einigen Fällen höher als derjenige in der Umgebung der Oberfläche, in der der Oxidhalbleiterfilm ausgebildet ist.

[0037] Da die c-Achsen der Kristallabschnitte, die in dem CAAC-OS-Film beinhaltet sind, in der Richtung senkrecht zu einer Oberfläche, in der der CAAC-OS-Film gebildet ist, oder einer Oberfläche des CAAC-OS-Filmes ausgerichtet sind, können die Richtungen der c-Achsen voneinander in Abhängigkeit von der Form des CAAC-OS-Filmes verschieden sein (die Querschnittsform der Oberfläche, in der der CAAC-OS-Film ausgebildet ist, oder die Querschnittsform der Oberfläche des CAAC-OS-Filmes). Man beachte, dass dann, wenn der CAAC-OS-Film gebildet wird, die Richtung der c-Achse des Kristallbereiches die Richtung senkrecht zu der Oberfläche, in der der CAAC-OS-Film gebildet ist, oder der Oberfläche des CAAC-OS-Filmes ist. Der Kristallabschnitt wird durch eine Filmbildung oder mittels Durchführen einer Wärmebehandlung zur Kristallisierung, so beispielsweise einer Wärmebehandlung nach der Filmbildung, gebildet.

[0038] Unter Verwendung des CAAC-OS-Filmes in einem Transistor kann eine Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors infolge einer Bestrahlung mit sichtbarem Licht oder Ultraviolettlicht verringert

werden. Die Änderung und Schwankung der Schwellenspannungen kann unterdrückt werden. Damit weist der Transistor eine höhere Zuverlässigkeit auf.

[0039] Bei einem Oxidhalbleiter mit Kristallinität (kristalliner Oxidhalbleiter) können Defekte im Bulk weiter verringert werden. Wenn zudem die Planarität der Oberfläche des kristallinen Oxidhalbleiterfilms verbessert wird, kann ein Transistor, der einen derartigen Oxidhalbleiterfilm beinhaltet, eine höhere Feldeffektmobilität als ein Transistor, der einen amorphen Oxidhalbleiter beinhaltet, aufweisen. Um die Oberflächenplanarität des Oxidhalbleiterfilms zu verbessern, ist der Oxidhalbleiter vorzugsweise über einer flachen Oberfläche ausgebildet. Insbesondere ist der Oxidhalbleiter vorzugsweise über einer Oberfläche mit einer durchschnittlichen Oberflächenrauheit (R_a) kleiner oder gleich 0,15 nm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 nm ausgebildet.

[0040] Man beachte, dass man die durchschnittliche Oberflächenrauheit (R_a) durch in drei Dimensionen erfolgendes Entwickeln einer arithmetischen mittleren Oberflächenrauheit, die durch JIS B 0601 :2001 (ISO 4287:1997) definiert ist, derart erhält, dass man diese auf eine gekrümmte Oberfläche anwenden kann. R_a wird als „durchschnittlicher Wert der Absolutwerte von Abweichungen von einer Referenzoberfläche zu einer spezifischen Oberfläche“ ausgedrückt und ist durch die nachfolgende Formel definiert.

$$R_a = \frac{1}{S_0} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} |f(x,y) - Z_0| dx dy \quad \text{Formel 1}$$

[0041] Hierbei ist die spezifische Oberfläche eine Oberfläche, die ein Ziel bzw. Target einer Rauheitsmessung ist, und ist ein vierseitiger Bereich, der durch vier Punkte spezifiziert ist, die durch die Koordinaten ($x_1, y_1, f(x_1, y_1)$, ($x_1, y_2, f(x_1, y_2)$), ($x_2, y_1, f(x_2, y_1)$ und ($x_2, y_2, f(x_2, y_2)$) dargestellt werden. Darüber hinaus bezeichnet S_0 die Fläche eines Rechteckes, das man durch Projizieren der spezifischen Oberfläche auf die xy-Ebene erhält, während Z_0 die Höhe der Referenzoberfläche (durchschnittliche Höhe der spezifischen Oberfläche) bezeichnet. R_a kann unter Verwendung eines Atomkraftmikroskops (AFM) gemessen werden.

[0042] Wie in Fig. 1B gezeigt ist, ist ein Endabschnitt des Oxidhalbleiterfilms 103 vorzugsweise unter einem Winkel von 20° bis 50° verjüngt. Weist der Oxidhalbleiterfilm 103 einen senkrechten Endabschnitt auf, so ist wahrscheinlicher, dass Sauerstoff aus dem Oxidhalbleiterfilm 103 freigegeben wird, weshalb wahrscheinlich ist, dass Sauerstoffleerstellen erzeugt werden. Weist der Oxidhalbleiterfilm 103 einen verjüngten Endabschnitt auf, so wird die Erzeugung von Sauerstoffleerstellen unterdrückt, weshalb die Erzeugung eines Leckstromes des Transistors 110 verringert werden kann.

[0043] Ein Oxidhalbleiter, der für den Oxidhalbleiterfilm 103 verwendet wird, enthält vorzugsweise wenigstens Indium (In) oder Zink (Zn). Insbesondere sind vorzugsweise In und Zn enthalten. Darüber hinaus ist als Stabilisator zur Verringerung einer Schwankung der elektrischen Eigenschaften eines Transistors, bei dem der Oxidhalbleiter zum Einsatz kommt, vorzugsweise eines oder mehrere aus der Auswahl unter Gallium (Ga), Zinn (Sn), Hafnium (Hf), Zirkonium (Zr), Titan (Ti), Skandium (Sc), Yttrium (Y) und einem Lanthanoidenelement (so beispielsweise Cer (Ce), Neodym (Nd) oder Gadolinium (Gd)) enthalten.

[0044] Als Oxidhalbleiter kann beispielsweise ein beliebiges von den Nachfolgenden verwendet werden: Indiumoxid; Zinnoxid; Zinkoxid, ein Zwei-Komponenten-Metallocid, so beispielsweise ein In-Zn-basiertes Oxid, ein Sn-Zn-basiertes Oxid, ein Al-Zn-basiertes Oxid, ein Zn-Mg-basiertes Oxid, ein Sn-Mg-basiertes Oxid, ein In-Mg-basiertes Oxid, oder ein In-Ga-basiertes Oxid; ein Drei-Komponenten Metallocid, so beispielsweise ein In-Ga-Zn-basiertes Oxid (auch als IGZO bezeichnet), ein In-Al-Zn-basiertes Oxid, ein In-Sn-Zn-basiertes Oxid, ein Sn-Ga-Zn-basiertes Oxid, ein Al-Ga-Zn-basiertes Oxid, ein Sn-Al-Zn-basiertes Oxid, ein In-Hf-Zn-basiertes Oxid, ein In-Zr-Zn-basiertes Oxid, ein In-Ti-Zn-basiertes Oxid, ein In-Sc-Zn-basiertes Oxid, ein In-Y-Zn-basiertes Oxid, ein In-La-Zn-basiertes Oxid, ein In-Ce-Zn-basiertes Oxid, ein In-Pr-Zn-basiertes Oxid, ein In-Nd-Zn-basiertes Oxid, ein In-Sm-Zn-basiertes Oxid, ein In-Eu-Zn-basiertes Oxid, ein In-Gd-Zn-basiertes Oxid, ein In-Tb-Zn-basiertes Oxid, ein In-Dy-Zn-basiertes Oxid, ein In-Ho-Zn-basiertes Oxid, ein In-Er-Zn-basiertes Oxid, ein In-Tm-Zn-basiertes Oxid, ein In-Yb-Zn-basiertes Oxid oder ein In-Lu-Zn-basiertes Oxid; und eine Vier-Komponenten-Metallocid, so beispielsweise ein In-Sn-Ga-Zn-basiertes Oxid, ein In-Hf-Ga-Zn-basiertes Oxid, ein In-Al-Ga-Zn-basiertes Oxid, ein In-Sn-Al-Zn-basiertes Oxid, ein In-Sn-Hf-Zn-basiertes Oxid oder ein In-Hf-Al-Zn-basiertes Oxid.

[0045] Hierbei bezeichnet ein „In-Ga-Zn-basiertes Oxid“ ein Oxid, das In, Ga und Zn als Hauptkomponenten enthält, wobei keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Verhältnisses von In : Ga : Zn gegeben ist. Das In-Ga-Zn-basierte Oxid kann ein Metallelement enthalten, das nicht In, Ga und Zn ist.

[0046] Alternativ kann ein Material als Oxidhalbleiter verwendet werden, das durch $\text{InMO}_3(\text{ZnO})_m$ ($m > 0$ ist erfüllt, wobei m keine ganze Zahl ist) dargestellt wird. Man beachte, dass M ein oder mehrere Metallelemente aus der Auswahl unter Ga, Fe, Mn und Co oder dem vorbeschriebenen Element als Stabilisator darstellt. Alternativ kann als Oxidhalbleiter ein Material verwendet werden, das durch die chemische Formel $\text{In}_2\text{SnO}_5(\text{ZnO})_n$ ($n > 0$ ist erfüllt, wobei n eine ganze Zahl ist) dargestellt wird.

[0047] So kann beispielsweise ein In-Ga-Zn-basiertes Oxid mit einem Atomverhältnis von $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 1 : 1 : 1$, $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 3 : 1 : 2$ oder $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 2 : 1 : 3$ oder ein beliebiges der Oxide, dessen Zusammensetzung in der Umgebung der vorgenannten Zusammensetzungen ist, verwendet werden.

[0048] Für den Gate-Isolierfilm 102 wird vorzugsweise ein Oxidisolierfilm verwendet, der eine ausreichende Stehspannung (withstand voltage) und ausreichende Isoliereigenschaften aufweist. In dem Fall, in dem der Gate-Isolierfilm 102 eine Ein-Schicht-Struktur aufweist, kann beispielsweise ein Isolierfilm verwendet werden, der ein oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, so beispielsweise Siliziumoxid.

[0049] Alternativ kann der Gate-Isolierfilm 102 eine gestapelte Struktur aufweisen. In dem Fall, in dem der Gate-Isolierfilm 102 eine gestapelte Struktur aufweist, kann Siliziumoxid über Galliumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumoxynitrid, Aluminiumoxynitrid, Yttriumoxid, Lanthanoxid, Siliziumnitridoxid oder dergleichen gestapelt sein. Alternativ kann Siliziumoxid über einem hohen k aufweisenden Material gestapelt werden, so beispielsweise Hafniumoxid, Hafniumsilikat (HfSi_xO_y mit $x > 0$, $y > 0$), Hafniumsilikat, dem Stickstoff zugesetzt ist (HfSiO_xN_y mit $x > 0$, $y > 0$) oder Hafniumaluminat (HfAl_xO_y mit $x > 0$, $y > 0$). Die Verwendung eines derartigen hohen k aufweisenden Materials ermöglicht eine Verringerung der Gate-Leckstrome.

[0050] Für den Fall der Verwendung eines Oxidisolierfilmes als Gate-Isolierfilm 102 kann ein Teil des enthaltenen Sauerstoffes aus dem Oxidisolierfilm freigegeben werden, wenn der Oxidisolierfilm erwärmt wird. Damit kann Sauerstoff dem Oxidhalbleiterfilm 103 zugeleitet werden, und es können Sauerstoffleerstellen in dem Oxidhalbleiterfilm 103 gefüllt werden. Insbesondere enthält der Gate-Isolierfilm 102 vorzugsweise eine große Menge von Sauerstoff, die wenigstens die Stöchiometrie in dem Film (oder einem Bulk hiervon) übersteigt. Beispielsweise wird ein Film aus Siliziumoxid, das durch die Formel $\text{SiO}_{2+\alpha}$ ($\alpha > 0$) dargestellt wird, vorzugsweise als Gate-Isolierfilm 102 verwendet. Wird ein derartiger Siliziumoxidfilm als Gate-Isolierfilm 102 verwendet, so kann Sauerstoff dem Oxidhalbleiterfilm 103 zugesetzt werden, damit der Transistor 110 unter Verwendung des Oxidhalbleiterfilmes 103 günstige Transistoreigenschaften aufweisen kann.

[0051] In einem Fall der Verwendung eines Siliziumoxidfilmes als Gate-Isolierfilm 102 kann jedoch Silizium in dem Gate-Isolierfilm 102 als Verunreinigung in dem Oxidhalbleiterfilm 103 gedeutet werden. Silizium oder dergleichen tritt in den Oxidhalbleiterfilm 103 ein und wirkt als Verunreinigung, was die Eigenschaften des Transistors nachteilig beeinflusst. Wenn zudem ein Verunreinigungselement in den Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung der Oberfläche eintritt, an der der Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet ist (gebildete Filmoberfläche), so wird die Kristallisierung eines Oxidhalbleiterfilmes durch das Verunreinigungselement gehemmt. Damit bleibt ein amorpher Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche zurück. Darüber hinaus ist es in dem Fall, in dem der Oxidhalbleiterfilm 103 ein CAAC-OS-Film ist, schwierig, einen Kristallabschnitt in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche zu bilden.

[0052] Insbesondere ist wahrscheinlich, dass Verunreinigungen wie Silizium in den Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche dort eintreten, wo der Oxidhalbleiterfilm 103 und der Gate-Isolierfilm 102 in Kontakt miteinander sind. Ein Kanalbildungsbereich des Transistors 110 ist in dem Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gebildet. Wenn daher Verunreinigungen wie Silizium in die Umgebung der gebildeten Filmoberfläche eintreten, können Eigenschaften des Transistors 110 geändert werden.

[0053] Die Änderung der Struktur des Oxidhalbleiterfilmes 103 wurde, wenn SiO_2 , ein oxidiertes Material, das Silizium enthält, als Verunreinigung hinzugefügt wird, mittels klassischer Molekulardynamikberechnung untersucht. Die Ergebnisse hiervon werden anhand von **Fig. 21A** und **21B**, **Fig. 22A** und **22B**, **Fig. 23**, **Fig. 24A** und **24B** und **Fig. 25** beschrieben. Man beachte, dass die Simulationssoftware „SCIGRESS ME“, die von Fujitsu Limited hergestellt wird, für die klassische Molekulardynamikberechnung zum Einsatz kommt. Ein empirisches Potenzial, das die Wechselwirkung zwischen Atomen kennzeichnet, ist beim klassischen Molekulardynamikverfahren derart definiert, dass die Kraft, die auf jedes Atom wirkt, betrachtet wird. Die Newton'sche Bewegungsgleichung wird numerisch gelöst, wodurch eine Bewegung (zeitabhängige Änderung) eines jeden Atoms deterministisch verfolgt werden kann.

[0054] Nachstehend werden Berechnungsmodelle und Berechnungsbedingungen beschrieben. Man beachte, dass bei dieser Berechnung das Born-Mayer-Huggins-Potenzial verwendet wurde.

[0055] Eine Ein-Kristall-Struktur von InGaZnO_4 , die 1680 Atome beinhaltet (siehe **Fig. 21A**), und eine Struktur von InGaZnO_4 , die 1680 Atome beinhaltet, wobei 20 Atome jeweils von In, Ga und Zn durch Siliziumatome (Si) ersetzt sind (siehe **Fig. 21 B**), wurden als Berechnungsmodelle verwendet. Beim Modell der Si-Ersetzung gemäß Darstellung in **Fig. 21B** sind die Siliziumatome mit 3,57 At.-% (2,34 Gew.-%) beinhaltet. Des Weiteren beträgt die Dichte des Modells des in **Fig. 21A** gezeigten Ein-Kristalls $6,36 \text{ g/cm}^3$, während die Dichte des Modells der Si-Ersetzung gemäß Darstellung in **Fig. 21B** gleich $6,08 \text{ g/cm}^3$ ist.

[0056] Bei 1727°C , was niedriger als der Schmelzpunkt des InGaZnO_4 -Ein-Kristalls (etwa 2000°C entsprechend der Schätzung durch die klassische Molekulardynamikberechnung) ist, wurde eine Strukturentspannung an den Berechnungsmodellen, die in **Fig. 21A** und **21B** gezeigt sind, durch die klassische Molekulardynamikberechnung bei festem Druck (1 atm) für 150 psec (Zeitschritt mit 0,2 fsec mal 750.000 Schritte) durchgeführt. Die Radialverteilungsfunktionen $g(r)$ der beiden Strukturen wurden berechnet. Man beachte, dass die Radialverteilungsfunktion $g(r)$ eine Funktion ist, die die Wahrscheinlichkeitsdichte dafür darstellt, dass Atome in einem Abstand r von einem Atom vorhanden sind. Verschwindet die Korrelation zwischen Atomen, so gelangt $g(r)$ nahe an 1 heran.

[0057] **Fig. 22A** und **22B** zeigen endgültige Strukturen, die man mittels Durchführen der klassischen Molekulardynamikberechnung für 150 psec an den vorgenannten beiden Berechnungsmodellen erhält. Darüber hinaus zeigt **Fig. 23** die Radialverteilungsfunktion $g(r)$ in jeder Struktur.

[0058] Das Modell des Ein-Kristalls gemäß Darstellung in **Fig. 22A** ist stabil und hält die Kristallstruktur in der endgültigen Struktur gleichmäßig (even), wohingegen das Modell der Si-Ersetzung, das in **Fig. 22B** gezeigt ist, instabil ist und man beobachten kann, dass die Kristallstruktur mit der Zeit verzerrt wird und sich zu einer amorphen Struktur ändert. Werden die Radialverteilungsfunktionen $g(r)$ der Strukturmodelle miteinander verglichen, siehe **Fig. 23**, so findet man heraus, dass das Ein-Kristall-Modell Extrema sogar in einem großen Abstand sowie eine Long-Range-Größenordnung aufweist. Demgegenüber hat man herausgefunden, dass bei dem Modell der Si-Ersetzung das Extremum in einem Abstand von etwa 0,6 nm verschwindet, und das Modell der Si-Ersetzung keine Long-Range-Größenordnung aufweist.

[0059] Die vorgenannten Berechnungsergebnisse zeigen, dass dann, wenn Silizium (Si) in InGaZnO_4 vorhanden ist, InGaZnO_4 wahrscheinlich amorph wird. Zudem wird entsprechend den vorgenannten Ergebnissen sogar dann, wenn InGaZnO_4 , das Silizium (Si) beinhaltet, bei hoher Temperatur bzw. auf hohe Temperatur erwärmt wird, InGaZnO_4 nicht kristallisiert.

[0060] Als Nächstes wurde eine Änderung der Struktur des Oxidhalbleiterfilmes 103, wenn Kohlenstoffatome (C) hinzugefügt sind, durch klassische Molekulardynamikberechnung untersucht. Die Ergebnisse hiervon sind anhand **Fig. 21A**, **Fig. 24A** und **24B** und **Fig. 25** beschrieben. Man beachte, dass die Simulationssoftware „SCIGRESS ME“, die von Fujitsu Limited hergestellt wird, für die klassische Molekulardynamikberechnung verwendet wurde.

[0061] Die Berechnungsmodelle und Berechnungsergebnisse sind folgende. Man beachte, dass bei dieser Berechnung das Born-Mayer-Huggins-Potenzial verwendet wurde. Darüber hinaus wurde für die Wechselwirkung zwischen Kohlenstoffatomen (C) ein Lennard-Jones-Potenzial verwendet.

[0062] Eine Ein-Kristall-Struktur von InGaZnO_4 , die 1680 Atome beinhaltet (siehe **Fig. 21A**), und eine Struktur von InGaZnO_4 , die 1680 Atome beinhaltet, wobei 20 Atome jeweils von In, Ga, und Zn durch Kohlenstoffatome (C) ersetzt sind und 80 Atome von Sauerstoff (O) durch Kohlenstoffatome (C) ersetzt sind (siehe **Fig. 24A**), wurden als Berechnungsmodelle verwendet. Bei dem Modell der C-Ersetzung gemäß Darstellung in **Fig. 24A** sind Kohlenstoffatome (C) mit 8,33 At.-% beinhaltet. Des Weiteren beträgt die Dichte des Modells des Ein-Kristalls gemäß Darstellung in **Fig. 21A** $6,36 \text{ g/cm}^3$, während die Dichte des Modells der C-Ersetzung gemäß Darstellung in **Fig. 24A** gleich $5,89 \text{ g/cm}^3$ ist.

[0063] Bei 1727°C , was niedriger als der Schmelzpunkt des InGaZnO_4 -Ein-Kristalls ist (etwa 2000°C entsprechend der Schätzung durch die klassische Molekulardynamikberechnung), wurde eine Strukturentspannung an den Berechnungsmodellen aus der Darstellung in **Fig. 21A** und **Fig. 24A** mittels der klassischen Molekulardynamikberechnung bei festem Druck (1 atm) für 140 psec (Zeitschrittbreite 0,2 fsec mal 750.000 Schritte) durchgeführt. Die Radialverteilungsfunktionen $g(r)$ der beiden Strukturen wurden berechnet. Man

beachte, dass die Radialverteilungsfunktion $g(r)$ eine Funktion ist, die die Wahrscheinlichkeitsdichte dafür darstellt, dass Atome in einem Abstand r von einem Atom vorhanden sind. Verschwindet die Korrelation zwischen Atomen, so gelangt $g(r)$ nahe an 1 heran.

[0064] **Fig.** 22A und 24B zeigen endgültige Strukturen, die man mittels Durchführen der klassischen Molekulardynamikberechnung für 150 psec an den vorgenannten beiden Berechnungsmodellen erhält. Die Radialverteilungsfunktion $g(r)$ in jeder Struktur ist in **Fig.** 25 gezeigt.

[0065] Das Modell des Ein-Kristalls gemäß Darstellung in **Fig.** 22A ist stabil und hält die Kristallstruktur in der endgültigen Struktur gleichmäßig (even), wohingegen das Modell der C-Ersetzung gemäß Darstellung in **Fig.** 24B instabil ist und man beobachten kann, dass die Kristallstruktur mit der Zeit verzerrt wird und sich zu einer amorphen Struktur ändert. Wie aus **Fig.** 25 ersichtlich ist, hat man durch Vergleichen der Radialverteilungsfunktionen $g(r)$ der Strukturmodelle miteinander herausgefunden, dass das Modell des Ein-Kristalls Extrema sogar in einem großen Abstand und eine Long-Range-Größenordnung aufweist. Demgegenüber hat man herausgefunden, dass bei dem Modell der C-Ersetzung das Extremum in einem Abstand von etwa 0,6 nm verschwindet und das Modell der C-Ersetzung nicht die Long-Range-Größenordnung aufweist.

[0066] Die vorstehenden Berechnungsergebnisse zeigen, dass dann, wenn Kohlenstoff (C) in InGaZnO_4 beinhaltet ist, InGaZnO_4 wahrscheinlich amorph wird. Darüber hinaus wird entsprechend den vorstehenden Ergebnissen sogar dann, wenn Kohlenstoff (C) beinhaltendes InGaZnO_4 bei hoher Temperatur bzw. auf hohe Temperatur erwärmt wird, dieses InGaZnO_4 nicht kristallisiert.

[0067] Wie vorstehend beschrieben worden ist, bewirkt der Eintritt von Verunreinigungen in den Oxidhalbleiterfilm eine Verringerung der Kristallinität des Oxidhalbleiterfilms. Damit wird bei der bei diesem Ausführungsbeispiel gezeigten Halbleitervorrichtung der Eintritt von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, in den Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche unterdrückt. Im Ergebnis wird in dem Oxidhalbleiterfilm 103 ein Bereich, in dem eine Konzentration des Siliziums mit Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102 hin zu einer Innenseite des Oxidhalbleiterfilms 103a kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist, gebildet. Ein derartiger Bereich wird als Bereich 103a bezeichnet. Die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist, ist des Weiteren vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-%. Des Weiteren ist der Bereich 103a in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm 102 vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf.

[0068] Man beachte, dass ein Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm 103, der nicht der Bereich 103a ist, als Bereich 103b bezeichnet wird. Die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103b beinhaltet ist, ist niedriger als die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist.

[0069] In einem Fall, in dem Verunreinigungen wie Kohlenstoff in dem Gate-Isolierfilm 102 beinhaltet sind, können zudem derartige Verunreinigungen auch in den Oxidhalbleiterfilm 103 eintreten und als Verunreinigungen wirken, wie dies bei Silizium der Fall ist. In diesem Fall ist die Konzentration des Kohlenstoffs, der in dem Bereich 103a beinhaltet ist, kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{20}$ Atome/cm³, vorzugsweise kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{19}$ Atome/cm³.

[0070] Wie vorstehend beschrieben worden ist, wird die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, die in den Bereich 103a in dem Oxidhalbleiterfilm 103 eintreten, verringert, wodurch eine Änderung der Eigenschaften des Transistors 110 unterdrückt werden kann. Zudem kann die Kristallisierung des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gefördert werden. In einem Fall zudem, in dem der Oxidhalbleiterfilm 103 ein CAAC-OS-Film ist, kann ein Kristallabschnitt sogar in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gebildet werden. Wenn Transistoren unter Verwendung von derartigen Oxidhalbleiterfilmen hergestellt werden, kann man eine Halbleitervorrichtung mit stabilen elektrischen Eigenschaften erhalten.

[0071] Man beachte, dass die Details der anderen Komponenten des Transistors bei der Beschreibung eines Verfahrens zum Herstellen des Transistors 110 nachstehend anhand **Fig.** 4A bis 4E beschrieben werden.

[0072] Über dem Transistor 110 kann zudem ein Planaritätsisolierfilm gebildet werden. Des Weiteren können Öffnungen in dem Gate-Isolierfilm 102, dem Schutzisolierfilm 109 und dergleichen gebildet werden, damit die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b elektrisch mit einer Verdrahtung verbunden werden können. Des Weiteren kann eine zweite Gate-Elektrode des Weiteren über dem Oxidhalbleiterfilm 103 derart vorgesehen sein, dass sie mit der Gate-Elektrode 101 überlappt.

[0073] **Fig.** 2A und 2B zeigen einen Transistor 120 mit einer anderen Struktur im Vergleich zu derjenigen des Transistors 110 gemäß Darstellung in **Fig.** 1A und 1B. **Fig.** 2A ist eine Planansicht, während **Fig.** 2B eine Querschnittsansicht entlang der C-D-Linie in **Fig.** 2A ist. Man beachte, dass ein Teil der Komponenten des Transistors 120 (beispielsweise der Schutzisolierfilm 109 und dergleichen) in **Fig.** 2A aus Gründen der Klarheit nicht dargestellt wird.

[0074] Der Transistor 120 gemäß Darstellung in **Fig.** 2A und 2B beinhaltet über einem Substrat 100 mit einer isolierenden Oberfläche eine Gate-Elektrode 101, einen Gate-Isolierfilm 120, der die Gate-Elektrode 101 bedeckt, einen Oxidhalbleiterfilm 103, der in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm 102 vorgesehen ist und mit wenigstens der Gate-Elektrode 101 überlappt, eine Source-Elektrode 105a und eine Drain-Elektrode 105b in elektrischer Verbindung mit dem Oxidhalbleiterfilm 103, und einen Schutzisolierfilm 109, der den Oxidhalbleiterfilm 103 und die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b bedeckt. Der Unterschied zwischen dem Transistor 120 und dem Transistor 110 besteht darin, dass wie bei dem Gate-Isolierfilm 102 ein Isolierfilm, der ein oxidiertes Material beinhaltet, das Silizium enthält, als Schutzisolierfilm 109 verwendet wird, und ein Bereich 103c in der Umgebung einer Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm 103 und dem Schutzisolierfilm 109 vorgesehen ist.

[0075] Der Oxidhalbleiterfilm 103 in dem Transistor 120 beinhaltet einen Bereich 103a, einen Bereich 103b und den Bereich 103c. Der Bereich 103a in dem Oxidhalbleiterfilm 103 ist ein Bereich, in dem eine Konzentration des Siliziums mit Verteilung von der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102 hin zu der Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes 103a kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist. Der Bereich 103a ist vorzugsweise in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm 102 vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf. Der Bereich 103c in dem Oxidhalbleiterfilm 103 ist ein Bereich, in dem eine Konzentration des Siliziums mit Verteilung von der Grenzfläche zu dem Schutzisolierfilm 109 hin zu der Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes 103 kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist. Der Bereich 103c ist vorzugsweise in Kontakt mit dem Schutzisolierfilm 109 vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf. In dem Oxidhalbleiterfilm 103 ist ein Bereich zwischen dem Bereich 103a und dem Bereich 103c gleich dem Bereich 103b.

[0076] Man beachte, dass die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103b beinhaltet ist, kleiner als diejenige des Siliziums, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist, ist. Die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist, ist vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-%.

[0077] Hierbei ist die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist, kleiner oder gleich 1,0 At.-%, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-% ist, während die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103c beinhaltet ist, kleiner oder gleich 1,0 At.-%, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-% ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103b beinhaltet ist, kleiner als die Konzentration des Siliziums, das in dem Bereich 103a und dem Bereich 103c beinhaltet ist.

[0078] Wie vorstehend beschrieben worden ist, wird auch in dem Bereich 103c, der einem Rückkanal des Oxidhalbleiterfilmes 103 entspricht, die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, derart verringert, dass eine Änderung der elektrischen Eigenschaften des Transistors 120 unterdrückt werden kann.

[0079] Die anderen Komponenten sind dieselben wie diejenigen der Halbleitervorrichtung gemäß Darstellung in **Fig.** 1A und 1B, sodass die Beschreibung zu **Fig.** 1A und 1B hinsichtlich Details herangezogen werden kann.

[0080] Obwohl die Transistoren gemäß Darstellung in **Fig.** 1A und 1B sowie **Fig.** 2A und 2B sogenannte Transistoren vom kanalgeätzten Typ sind, ist man bei den bei diesem Ausführungsbeispiel gezeigten Halbleitervorrichtungen nicht hierauf beschränkt. **Fig.** 3A und 3B zeigen einen Transistor 130 vom Kanalstopptyp, der sich von den Transistoren gemäß Darstellung in **Fig.** 1A und 1B sowie **Fig.** 2A und 2B unterscheidet. **Fig.** 3A ist eine Planansicht, während **Fig.** 3B eine Querschnittsansicht entlang der Linie E-F in **Fig.** 3A ist. Man beachte, dass ein Teil der Komponenten des Transistors 130 (beispielsweise der Schutzisolierfilm 109 und dergleichen) nicht in **Fig.** 3A dargestellt ist, um eine Verkomplizierung zu vermeiden. Des Weiteren ist in **Fig.** 3A ein Kanalschutzfilm 108 zum leichteren Verständnis dreidimensional dargestellt.

[0081] Der Transistor 130 gemäß Darstellung in **Fig.** 3A und 3B beinhaltet über einem Substrat 100 mit einer isolierenden Oberfläche eine Gate-Elektrode 101, einen Gate-Isolierfilm 102, der die Gate-Elektrode 101 bedeckt, einen Oxidhalbleiterfilm 103, der in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm 102 vorgesehen ist und mit wenigstens der Gate-Elektrode 101 überlappt, den Kanalschutzfilm 108, der über und in Kontakt mit dem

Oxidhalbleiterfilm 103 vorgesehen ist, eine Source-Elektrode 105a und eine Drain-Elektrode 105b, die über dem Kanalschutzfilm 108 vorgesehen und elektrisch mit dem Oxidhalbleiterfilm 103 verbunden sind, und einen Schutzisolierfilm 109, der den Oxidhalbleiterfilm 103 und die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b bedeckt. Darüber hinaus beinhaltet für den Fall des Transistors 110 der Oxidhalbleiterfilm 103 einen Bereich 103a und einen Bereich 103b. Mit anderen Worten, der Unterschied zu dem Transistor 110 besteht darin, dass der Transistor 130 den Kanalschutzfilm 108 beinhaltet.

[0082] Als Kanalschutzfilm 108 wird vorzugsweise ein anorganischer isolierender Film, der Sauerstoff enthält, verwendet. Beispielsweise kann ein Isolierfilm, so beispielsweise ein Siliziumoxidfilm, ein Siliziumoxynitridfilm, ein Aluminiumoxidfilm, ein Aluminiumoxynitridfilm, ein Galliumoxidfilm oder ein Hafniumoxidfilm, verwendet werden. Die bevorzugte Dicke des Kanalschutzfilmes 108 ist größer oder gleich 5 nm und kleiner oder gleich 300 nm.

[0083] Der Kanalschutzfilm 108 ist über und in Kontakt mit dem Oxidhalbleiterfilm 103, wie beschrieben worden ist, vorgesehen, wodurch eine Beschädigung an dem Oxidhalbleiterfilm 103 auf der Rückkanalseite, die durch Ätzen der Source-Elektrode 105a und der Drain-Elektrode 105b bewirkt wird (beispielsweise eine Beschädigung, die durch ein Plasma oder ein Ätzmittel bei der Ätzbehandlung bewirkt wird) verhindert werden kann. Damit kann der Transistor 130 stabile elektrische Eigenschaften erhalten.

[0084] Des Weiteren weist, wie in **Fig. 3B** dargestellt ist, ein Endabschnitt des Kanalschutzfilmes 108 einen Verjüngungswinkel auf, der größer oder gleich 10° und kleiner oder gleich 60° ist. Der Kanalschutzfilm 108 ist derart ausgebildet, dass er eine Form aufweist, durch die die Konzentration des elektrischen Feldes in der Umgebung eines unteren Endabschnittes des Kanalschutzfilmes 108 entspannt werden kann.

[0085] Die anderen Komponenten sind dieselben wie diejenigen in der Halbleitervorrichtung gemäß Darstellung in **Fig. 1A** und **1B**. Damit kann die Beschreibung von **Fig. 1A** und **1B** hinsichtlich der Details herangezogen werden.

Beispiel für den Herstellungsprozess eines Transistors

[0086] Beispiele für einen Herstellungsprozess des Transistors von **Fig. 1A** und **1B**, **Fig. 2A** und **2B** und **Fig. 3A** und **3B** werden nachstehend anhand **Fig. 4A** bis **4E** und **Fig. 5A** bis **5E** beschrieben.

Herstellungsprozess des Transistors 110

[0087] Ein Beispiel eines Herstellungsprozesses des Transistors 110 von **Fig. 1A** und **1B** wird nachstehend anhand **Fig. 4A** bis **4E** beschrieben.

[0088] Zunächst wird das Substrat 100 mit einer Isolieroberfläche präpariert. Es ist keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Substrates vorhanden, das als Substrat 100 mit einer Isolieroberfläche verwendet werden kann, solange dieses nur einen Wärmewiderstand aufweist, um der später durchgeführten Wärmebehandlung standhalten zu können. Es kann beispielsweise ein Glassubstrat aus Bariumborsilikatglas, Aluminoborsilikatglas oder dergleichen, ein keramisches Substrat, ein Quarzsubstrat oder ein Saphirsubstrat verwendet werden. Solange nur das Substrat 100 eine Isolieroberfläche aufweist, können ein Ein-Kristall-Halbleitersubstrat oder ein polykristallines Halbleitersubstrat aus Silizium, Siliziumkarbid oder dergleichen, ein zusammengesetztes Halbleitersubstrat aus Silizium-Germanium oder dergleichen, ein SOI-Substrat oder dergleichen verwendet werden.

[0089] Ein flexibles Substrat kann alternativ als Substrat 100 verwendet werden. Wird ein flexibles Substrat verwendet, so kann ein Transistor, der den Oxidhalbleiterfilm 103 beinhaltet, direkt über dem flexiblen Substrat gebildet werden. Alternativ kann ein Transistor, der den Oxidhalbleiterfilm 103 beinhaltet, über einem Herstellungssubstrat gebildet werden, woraufhin der Transistor abgetrennt und auf ein flexibles Substrat übertragen werden kann. Man beachte, dass zum Abtrennen des Transistors von dem Herstellungssubstrat und zur Übertragung desselben auf ein flexibles Substrat eine Abtrennungsschicht zwischen dem Herstellungssubstrat und dem Transistor, der den Oxidhalbleiterfilm 103 beinhaltet, vorgesehen sein kann.

[0090] Ein Isolierfilm, der als Basisfilm wird, kann zwischen dem Substrat 100 und der Gate-Elektrode 101 vorgesehen sein. Der Basisfilm nimmt eine Funktion des Verhinderns einer Diffusion von Verunreinigungen, so beispielsweise von Wasserstoff oder Feuchtigkeit, von dem Substrat 100 wahr und kann derart ausgebildet sein, dass er eine Einzelschicht oder eine gestapelte Struktur unter Verwendung eines oder mehrerer

Filme gemäß Auswahl unter einem Siliziumnitridfilm, einem Siliziumoxidfilm, einem Siliziumnitridoxidfilm und einem Siliziumoxynitridfilm aufweist.

[0091] Als Nächstes wird ein leitfähiger Film, der zur Bildung einer Gate-Elektrode verwendet wird (wie auch eine Verdrahtung, die in derselben Schicht wie die Gate-Elektrode ausgebildet wird) über dem Substrat 100 gebildet. Der leitfähige Film, der für die Gate-Elektrode verwendet wird, kann beispielsweise unter Verwendung eines Metallmaterials wie Molybdän, Titan, Tantal, Wolfram, Aluminium, Kupfer, Neodym oder Skandium oder eines Legierungsmaterials, darunter eines beliebigen dieser Materialien als Hauptkomponente, gebildet werden. Alternativ kann der leitfähige Film, der für die Gate-Elektrode verwendet wird, unter Verwendung eines leitfähigen Metalloxides gebildet werden. Als leitfähiges Metalloid können Indiumoxid (In_2O_3), Zinnoxid (SnO_2), Zinkoxid (ZnO), Indiumzinnoxid ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$, das in einigen Fällen mit ITO abgekürzt wird), Indiumzinkoxid ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$) oder ein beliebiges dieser Metalloidmaterialien, bei denen Silizium oder Siliziumoxid beinhaltet sind, verwendet werden. Die Gate-Elektrode kann derart, dass sie eine einzelne Schicht oder eine gestapelte Struktur aufweist, unter Verwendung eines beliebigen der vorgenannten Materialien gebildet werden. Es besteht keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Bilden des leitfähigen Filmes, weshalb eine Vielzahl von Filmbildungsverfahren, so beispielsweise ein Aufdampfungsverfahren, ein CVD-Verfahren, ein Sputterverfahren oder ein Spin-Beschichtungsverfahren, zum Einsatz kommen können.

[0092] Als Nächstes wird eine Resist-Maske über dem leitfähigen Film durch einen Fotolithografieschritt gebildet, und es wird ein selektives Ätzen durchgeführt, wodurch die Gate-Elektrode 101 gebildet wird. Sodann wird die Resist-Maske entfernt. Die Resist-Maske, die zur Bildung der Gate-Elektrode 101 verwendet wird, kann mittels eines Tintenstrahlverfahrens gebildet werden. Die Bildung der Resist-Maske durch ein Tintenstrahlverfahren benötigt keine Fotomaske. Daher können die Herstellungskosten verringert werden. Zum Ätzen der Gate-Elektrode 101 können ein Nassätzen, ein Trockenätzen oder auch beide eingesetzt werden.

[0093] Als Nächstes wird der Gate-Isolierfilm 102 zum Bedecken der Gate-Elektrode 101 (siehe **Fig. 4A**) gebildet. Der Gate-Isolierfilm 102 kann beispielsweise eine Dicke größer oder gleich 1 nm und kleiner oder gleich 500 nm aufweisen. Es besteht keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Bilden des Gate-Isolierfilmes 102. So können beispielsweise ein Sputterverfahren, ein MBE-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Pulslaseraufbringverfahren, ein ALD-Verfahren oder dergleichen je nach Bedarf zur Bildung des Gate-Isolierfilmes 102 verwendet werden.

[0094] Für die Gate-Isolierschicht 102 kann vorzugsweise ein Oxidisolierfilm mit einer ausreichenden Stehspannung (withstand voltage) und einer ausreichenden Isolereigenschaft verwendet werden. In dem Fall, in dem der Gate-Isolierfilm 102 eine Einzelschicht-Struktur aufweist, kann ein Isolierfilm, der ein oxidiertes Material, das Silizium enthält, beinhaltet, so beispielsweise ein Siliziumoxidfilm, verwendet werden.

[0095] Alternativ kann der Gate-Isolierfilm 102 eine gestapelte Struktur aufweisen. In dem Fall, in dem der Gate-Isolierfilm 102 eine gestapelte Struktur aufweist, kann das Siliziumoxid über Galliumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumoxynitrid, Aluminiumoxynitrid, Yttriumoxid, Lanthanoxid, Siliziumnitridoxid oder dergleichen gestapelt werden. Alternativ kann Siliziumoxid über einem hohen k aufweisenden Material gestapelt werden, so beispielsweise Hafniumoxid, Hafniumsilikat (HfSi_xO_y mit $x > 0$, $y > 0$), Hafniumsilikat, dem Stickstoff zugesetzt ist (HfSiO_xN_y mit $x > 0$, $y > 0$) oder Hafniumaluminat (HfAl_xO_y mit $x > 0$, $y > 0$). Die Verwendung eines derartigen hohen k aufweisenden Materials ermöglicht eine Verringerung des Gate-Leckstromes.

[0096] Wird ein Oxidisolierfilm als Gate-Isolierfilm 102 verwendet, so kann ein Teil des Sauerstoffes, der in dem Oxidisolierfilm enthalten ist, mittels Durchführen einer nachstehend noch beschriebenen Wärmebehandlung freigesetzt werden. Damit kann der Sauerstoff dem Oxidhalbleiterfilm 103 zugeführt werden, und es können Sauerstoffleerstellen in dem Oxidhalbleiterfilm 103 gefüllt werden. Insbesondere enthält der Gate-Isolierfilm 102 vorzugsweise eine große Menge von Sauerstoff, die wenigstens die Stöchiometrie des Gate-Isolierfilmes 102 (in einem Bulk hiervon) übersteigt. Beispielsweise wird ein Film aus Siliziumoxid, das durch die Formel $\text{SiO}_{2+\alpha}$ ($\alpha > 0$) dargestellt wird, vorzugsweise als Gate-Isolierfilm 102 verwendet. Wird ein derartiger Siliziumoxidfilm als Gate-Isolierfilm 102 verwendet, so kann Sauerstoff dem Oxidhalbleiterfilm 103 zugeführt werden, sodass der Transistor 110, der den Oxidhalbleiterfilm 103 verwendet, günstige Transistoreigenschaften aufweist.

[0097] Des Weiteren kann, bevor der Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet wird, eine Planarisierungsbehandlung an dem Gate-Isolierfilm 102 durchgeführt werden. Obwohl keine spezielle Beschränkung vorhanden ist,

kann die Planarisierungsbehandlung ein Trockenätzen, eine Plasmabehandlung, ein Polieren (beispielsweise ein chemisch-mechanisches Polieren (CMP)) oder dergleichen sein.

[0098] Als Plasmabehandlung kann ein Umkehrspatter (reverse sputtering), bei dem ein Argongas eingeleitet und ein Plasma erzeugt wird, durchgeführt werden. Das Umkehrspatter ist ein Verfahren, bei dem eine Spannung an einer Substratseite unter Verwendung einer Hochfrequenzleistungsquelle in einer Argonatmosphäre angelegt wird und ein Plasma in der Umgebung des Substrates derart erzeugt wird, dass eine Oberfläche modifiziert wird. Man beachte, dass anstelle einer Argonatmosphäre auch eine Stickstoffatmosphäre, eine Heliumatmosphäre, eine Sauerstoffatmosphäre oder dergleichen verwendet werden können. Das Umkehrspatter kann Teilchensubstanzen (die auch als Teilchen oder Staub bezeichnet werden) entfernen, die an einer Oberfläche anhaften, an der der Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet ist.

[0099] Als Planarisierungsbehandlung kann eine Polierbehandlung, eine Trockenätzbehandlung oder eine Plasmabehandlung mehrmals und/oder in Kombination durchgeführt werden. In dem Fall, in dem die Behandlungen kombiniert werden, ist die Reihenfolge der Schritte nicht speziell beschränkt und kann je nach Bedarf entsprechend der Rauheit der Oberfläche, an der der Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet ist, eingestellt werden.

[0100] Damit zudem möglichst wenig Wasserstoff oder Wasser in dem Oxidhalbleiterfilm 103 bei einem Bildungsschritt des Oxidhalbleiterfilmes 103 enthalten sind, wird bevorzugt, wenn das Substrat 100, an dem der Gate-Isolierfilm 102 bereits ausgebildet ist, in einer Vorerwärmungskammer eines Sputtergerätes als Vorbehandlung zur Bildung des Oxidhalbleiterfilmes 103 vorerwärmst wird, damit Verunreinigungen wie Sauerstoff oder Feuchtigkeit, die an dem Substrat 100 und dem Gate-Isolierfilm 102 adsorbiert ist, entfernt und evakuiert werden. Als Evakuierungseinheit, die in der Vorerwärmungskammer vorgesehen ist, wird eine Kryopumpe bevorzugt.

[0101] Als Nächstes wird über dem Gate-Isolierfilm 102 der Oxidhalbleiterfilm 103 mit einer Dicke größer als 5 nm und kleiner oder gleich 200 nm, vorzugsweise größer oder gleich 10 nm und kleiner oder gleich 30 nm gebildet (siehe Fig. 4B). Der Oxidhalbleiterfilm 103 weist vorzugsweise eine Struktur mit einer Kristallinität eines Einkristalls oder Mikrokristalls auf. Des Weiteren ist der Oxidhalbleiterfilm 103 ein CAAC-OS-Film. Man beachte, dass bevorzugt wird, wenn der Gate-Isolierfilm 102 und der Oxidhalbleiterfilm 103 sukzessive gebildet werden, ohne Luft ausgesetzt zu sein.

[0102] Bei diesem Ausführungsbeispiel wird als Oxidhalbleiterfilm 103 ein Oxidhalbleiterfilm unter Verwendung eines In-Ga-Zn-basierten Oxidtargets mittels eines Sputterverfahrens gebildet. Alternativ kann der Oxidhalbleiterfilm 103 durch ein Sputterverfahren in einer Edelgasatmosphäre (typischerweise Argon), einer Sauerstoffatmosphäre oder einer Mischatmosphäre aus einem Edelgas und Sauerstoff gebildet werden.

[0103] Als Target, das zum Bilden eines In-Ga-Zn-O-Filmes als Oxidhalbleiterfilm 103 durch ein Sputterverfahren verwendet wird, kann beispielsweise ein Oxidtarget mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$, ein Oxidtarget mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 3 : 1 : 2$ oder ein Oxidtarget mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 2 : 1 : 3$ verwendet werden. Gleichwohl sind Material und Zusammensetzung eines Targets, das zur Bildung des Oxidhalbleiterfilmes 103 verwendet wird, nicht auf das Vorgeschilderte beschränkt.

[0104] Die relative Dichte des Oxidtargets ist größer oder gleich 90% und kleiner oder gleich 100%, vorzugsweise größer oder gleich 95% und kleiner oder gleich 99,9%. Unter Verwendung des Oxidtargets mit vergleichsweise hoher Dichte kann der Oxidhalbleiterfilm 103 ein dichter Film sein.

[0105] Es wird bevorzugt, wenn ein hochreines Gas, aus dem Verunreinigungen, so beispielsweise Sauerstoff, Wasser, eine Hydroxylgruppe oder ein Hydrid entfernt ist, als Sputtergas für die Bildung des Oxidhalbleiterfilmes 103 verwendet wird.

[0106] Es gibt drei Erwärmungsverfahren zur Bildung eines CAAC-OS-Filmes, wenn der CAAC-OS-Film als Oxidhalbleiterfilm 103 verwendet wird. Eines der Verfahren (erstes Verfahren) besteht in der Bildung eines Oxidhalbleiterfilmes bei einer Temperatur, die größer oder gleich 200° und kleiner oder gleich 450° ist, um in dem Oxidhalbleiterfilm Kristallabschnitte zu bilden, in denen die c-Achsen in der Richtung senkrecht zu einer Oberfläche, in der der Oxidhalbleiterfilm gebildet ist, oder einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet sind. Ein weiteres Verfahren (zweites Verfahren) besteht in der Bildung eines Oxidhalbleiterfilmes mit geringer Dicke und anschließender Erwärmung desselben bei einer Temperatur größer oder gleich 200 °C

und kleiner oder gleich 700 °C, um in dem Oxidhalbleiterfilm Kristallabschnitte zu bilden, in denen die c-Achsen in der Richtung senkrecht zu einer Oberfläche, in der der Oxidhalbleiterfilm ausgebildet ist, oder einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet sind. Ein weiteres Verfahren (drittes Verfahren) besteht in der Bildung eines ersten Oxidhalbleiterfilmes mit einer geringen Dicke, der anschließenden Erwärmung desselben bei einer Temperatur größer oder gleich 200 °C und kleiner oder gleich 700 °C und der Bildung eines zweiten Oxidhalbleiterfilmes, um in dem Oxidhalbleiterfilm Kristallabschnitte zu bilden, in denen die c-Achsen in der Richtung senkrecht zu einer Oberfläche, in der der Oxidhalbleiterfilm gebildet ist, oder einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet sind.

[0107] Durch Erwärmen des Substrates 100 während der Filmbildung kann die Konzentration der Verunreinigungen, so beispielsweise von Wasserstoff oder Wasser, in dem Oxidhalbleiterfilm 103 verringert werden. Darüber hinaus kann eine Beschädigung durch das Sputtern, verringert werden, was bevorzugt wird.

[0108] Man beachte, dass dann, wenn ein Oxidhalbleiterfilm mit einer Kristallinität (Einkristall oder Mikrokristall), die von dem CAAC-OS-Film verschieden ist, als Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet wird, die Filmbildungstemperatur nicht speziell beschränkt ist.

[0109] In dem Fall, in dem ein CAAC-OS-Film als Oxidhalbleiterfilm 103 verwendet wird, wird beispielsweise der CAAC-OS-Film durch ein Sputterverfahren mit einem polykristallinen Oxidhalbleitersputtertarget aufgebracht. Kollidieren Ionen mit dem Sputtertarget, so kann ein Kristallbereich, der in dem Sputtertarget beinhaltet ist, von dem Target entlang einer a-b-Ebene getrennt werden. Mit anderen Worten, es kann ein gesputtertes Teilchen mit einer Ebene parallel zu einer a-b-Ebene (flachplattenartiges gesputtertes Teilchen oder pelletartiges gesputtertes Teilchen) von dem Sputtertarget abplatzen. In diesem Fall erreicht das flachplattenartige gesputterte Teilchen ein Substrat, während es den Kristallzustand beibehält, wodurch der CAAC-OS-Film erhalten bleiben kann.

[0110] Bei der Aufbringung des CAAC-OS-Filmes gelten vorzugsweise die nachfolgenden Bedingungen.

[0111] Durch Verringern der Menge von Verunreinigungen, die in den CAAC-OS-Film während der Aufbringung eintreten, kann verhindert werden, dass der Kristallzustand durch die Verunreinigungen bricht. Die Konzentration von Verunreinigungen (beispielsweise Wasserstoff, Wasser, Kohlendioxid oder Stickstoff), die in der Aufbringkammer vorhanden sind, kann beispielsweise verringert werden. Des Weiteren kann die Konzentration von Verunreinigungen in einem Aufbringgas verringert werden. Insbesondere wird eine Aufbringkammer, deren Taupunkt gleich -80 °C oder kleiner, vorzugsweise -100 °C oder kleiner ist, verwendet.

[0112] Durch Vergrößerung der Substraterwärmungstemperatur während der Aufbringung ist wahrscheinlich, dass eine Migration eines gesputterten Teilchens auftritt, nachdem das gesputterte Teilchen eine Substratoberfläche erreicht. Insbesondere ist die Substraterwärmungstemperatur während der Aufbringung größer oder gleich 100 °C und kleiner oder gleich 750 °C, vorzugsweise größer oder gleich 200 °C und kleiner oder gleich 500 °C. Durch Vergrößern der Substraterwärmungstemperatur während der Aufbringung tritt, wenn das flachplattenartige gesputterte Teilchen das Substrat erreicht, eine Migration an der Substratoberfläche auf, sodass eine flache Ebene des flachplattenartigen gesputterten Teilchens an dem Substrat angebracht ist.

[0113] Darüber hinaus wird bevorzugt, wenn der Anteil von Sauerstoff in dem Aufbringgas erhöht ist und die Leistung optimiert wird, um die Plasmabeschädigung bei der Aufbringung zu verringern. Der Anteil von Sauerstoff in dem Aufbringgas ist 30 Vol.-% oder mehr, vorzugsweise 100 Vol.-%.

[0114] Als Beispiel für das Sputtertarget wird nachstehend ein polykristallines In-Ga-Zn-basiertes Oxidtarget beschrieben.

[0115] Das In-Ga-Zn-basierte Oxidtarget, das polykristallin ist, wirkt durch Mischen eines InO_x -Pulvers, eines GaO_y -Pulvers und eines ZnO_z -Pulvers in einem vorbestimmten molaren Verhältnis unter Einwirken eines Drucks sowie mittels Durchführen einer Wärmebehandlung bei einer Temperatur größer oder gleich 1000 °C und kleiner oder gleich 1500 °C hergestellt. Man beachte, dass X, Y und Z jeweils eine gegebene positive Zahl ist. Hierbei ist das vorbestimmte molare Verhältnis des InO_x -Pulvers zu dem GaO_y -Pulver und dem ZnO_z -Pulver beispielsweise gleich 2 : 2 : 1, 8 : 4 : 3, 3 : 1 : 1, 1 : 1 : 1, 4 : 2 : 3 oder 3 : 1 : 2. Die Arten von Pulver und das molare Verhältnis zum Mischen des Pulvers können je nach Bedarf in Abhängigkeit von dem gewünschten Sputtertarget bestimmt werden.

[0116] Sodann wird ein Sputtergas, aus dem Sauerstoff und Feuchtigkeit entfernt worden sind, in die Aufbringkammer eingeleitet, während die darin verbliebene Feuchtigkeit entfernt wird, und es wird der Oxidhalbleiterfilm 103 über dem Substrat 100 unter Verwendung des vorgenannten Targets aufgebracht. Um die Feuchtigkeit, die in der Aufbringkammer verbleibt, zu entfernen, wird vorzugsweise eine Einfangvakuum-pumpe (entrapment vacuum pump), so beispielsweise eine Kryopumpe, eine Ionenpumpe oder eine Titansublimationspumpe, verwendet. Des Weiteren kann eine Evakuierungseinheit eine Turbopumpe sein, die mit einer Kaltfalle (cold trap) versehen ist. Aus der Aufbringkammer, die mittels einer Kryopumpe evakuiert wird, werden ein Wasserstoffatom, eine Verbindung, die ein Wasserstoffatom enthält, so beispielsweise Wasser (H_2O) (besonders bevorzugt auch eine Verbindung, die ein Kohlenstoffatom enthält) und dergleichen entfernt, wodurch die Konzentration der Verunreinigungen, so beispielsweise von Wasserstoff oder Feuchtigkeit, in dem Oxidhalbleiterfilm 103, der in der Aufbringkammer gebildet wird, verringert wird.

[0117] Man beachte, dass in dem Fall, in dem der Oxidhalbleiterfilm 103 durch ein Sputterverfahren gebildet wird, dann, wenn ein Teilchen zum Bilden des Oxidhalbleiterfilmes 103 mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, ein Element, das ein konstituierendes Element des Gate-Isolierfilms 102 ist, in den Oxidhalbleiterfilm 103 eintritt (Dieses Phänomen wird Mischen oder Mischeffekt genannt). Ein derartiges Mischphänomen tritt signifikant in dem Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102 auf und tritt besonders in dem vorbeschriebenen Bereich 103a auf. Da bei dem bei diesem Ausführungsbeispiel beschriebenen Transistor ein Kanalbereich in dem Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung des Isolierfilms 102 ausgebildet ist, kann ein konstituierendes Element des Gate-Isolierfilms 102, das in den Bereich eintritt und als Verunreinigung darin wirkt, eine Verringerung der EIN-Zustandseigenschaften (beispielsweise EIN-Zustandsstrom) des Transistors bewirken.

[0118] Die Möglichkeit des Mischens, das in der Umgebung einer Grenzfläche zwischen dem Gate-Isolierfilm 102 und dem Oxidhalbleiterfilm 103 auftritt, wenn der Oxidhalbleiterfilm 103 über dem Gate-Isolierfilm 102 gebildet wird, wurde durch eine klassische Molekulardynamikberechnung untersucht. Nachstehend werden die Ergebnisse hiervon beschrieben. Man beachte, dass die Simulationsssoftware „SCIGRESS ME“, die von Fujitsu Limited hergestellt wird, für die Berechnung verwendet wurde.

[0119] Das Modell, das in **Fig. 6** gezeigt ist, wurde unter Verwendung eines Filmes aus amorphem Silizium-oxid (nachstehend als $a-SiO_2$ bezeichnet) als Gate-Isolierfilm gebildet. Die Größe einer Einheitszelle (Berechnungseinheitszelle), die zur Berechnung verwendet wird, wird auf 3 nm in der x-Achsen-Richtung, 3 nm in der y-Achsen-Richtung und 7,5 nm in der z-Achsen-Richtung eingestellt. Die x-Achse und die y-Achse bezeichnen Richtungen parallel zu einem $a-SiO_2$ -Film, während die z-Achse die Dickenrichtung des $a-SiO_2$ -Filmes bezeichnet. Man beachte, dass bei der Berechnung die periodische Grenzbedingung in der x-Achsen-Richtung und der y-Achsen-Richtung Anwendung findet, sodass ein Film, der in der x-Achsen-Richtung und der y-Achsen-Richtung ausreichend groß ist, angenommen werden kann.

[0120] Als Nächstes wurden Indiumatome, Galliumatome, Zinkatome und Sauerstoffatome, deren Verhältnis gleich 1 : 1 : 1 : 4 (Gesamtzahl von Atomen gleich 840) ist, aus dem oberen Abschnitt (in **Fig. 6** einem Atomerzeugungsabschnitt) über dem $a-SiO_2$ -Film hin zu dem unteren Abschnitt ausgestoßen, und es wurde eine klassische Molekulardynamikberechnung einer Temperatur von 300 °C für 2 ns (Zeitschritt: 0,2 fsec; Anzahl der Schritte: 10 Millionen) durchgeführt. Man beachte, dass ein Atom eine Energie von 1 eV aufweist.

[0121] **Fig. 7A** bis **7C** und **Fig. 8A** bis **8C** zeigen die Berechnungsergebnisse. **Fig. 7A** zeigt eine Anordnung von Sauerstoffatomen und Siliziumatomen bei 0 s. **Fig. 7B** zeigt eine Anordnung von Sauerstoffatomen, Siliziumatomen, Galliumatomen und Zinkatomen nach 1 ns. **Fig. 7C** zeigt eine Anordnung von Sauerstoffatomen, Siliziumatomen, Galliumatomen und Zinkatomen nach 2 ns. **Fig. 8A** zeigt eine Anordnung von Sauerstoffatomen, Siliziumatomen, Galliumatomen und Zinkatomen nach 2 ns. **Fig. 8B** zeigt eine Anordnung nur von Siliziumatomen nach 2 ns. **Fig. 8C** zeigt eine Anordnung von Indiumatomen, Galliumatomen und Zinkatomen nach 2 ns.

[0122] Durch Vergleichen der Anordnung nur von Siliziumatomen gemäß Darstellung in **Fig. 8B** und der Anordnung von Indiumatomen, Galliumatomen und Zinkatomen gemäß Darstellung in **Fig. 8C** wurde bestätigt, dass die Indiumatome, Galliumatome und Zinkatome in eine Schicht aus Siliziumatomen eingetreten sind.

[0123] Die Ergebnisse der vorstehenden Berechnung zeigen, dass durch Injizieren von Indiumatomen, Galliumatomen, Zinkatomen und Sauerstoffatomen in den $a-SiO_2$ -Film eine Schicht, in der Siliziumatome, Indiu-

matome, Galliumatome, Zinkatome und Sauerstoffatome gemischt sind, zwischen dem a-SiO₂-Film und einem IGZO-Film gebildet wird. Man beachte dass ein Atom eine Energie von 1 eV aufweist.

[0124] Entsprechend den vorstehenden Ergebnissen ist, um die Bildung einer Schicht zu verhindern, in der der Oxidhalbleiterfilm 103 und der Gate-Isolierfilm 102 gemischt sind, effektiv, einen Stoß infolge einer Kollision eines Teilchens zur Bildung des Oxidhalbleiterfilmes 103 mit dem Gate-Isolierfilm 102 zu verringern. Verwendet werden können zum Erreichen des Vorstehenden beispielsweise ein Verfahren, bei dem die Leistung zur Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes 103 niedrig ist, oder auch ein Verfahren, bei dem der Druck zur Aufbringung desselben hoch ist. Alternativ kann ein Abstand zwischen einem Target und einem Substrat, über dem der Film aufgebracht wird (nachstehend als T-S-Abstand bezeichnet), vergrößert werden.

[0125] Man beachte, dass es wahrscheinlich ist, dass die Mischung infolge des Sputterns in dem Oxidhalbleiterfilm 103 in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102, wie vorstehend beschrieben worden ist, erzeugt wird. Damit wird ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes in der Umgebung der Grenzfläche durch Sputtern unter derjenigen Bedingung aufgebracht, dass der Stoß durch ein Teilchen zum Bilden der Oxidhalbleiterschicht 103, das mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, schwach ist, weshalb entsprechend der Mischeffekt verringert werden kann. Anschließend kann beim Durchführen der restlichen Aufbringung der Stoß der Kollision vergrößert werden. Ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der Grenzfläche kann beispielsweise unter derjenigen Bedingung aufgebracht werden, dass die Leistung zum Aufbringen des Oxidhalbleiterfilmes 103 niedrig ist, woraufhin die Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes unter derjenigen Bedingung, dass die Aufbringleistung vergrößert wird, fortgesetzt werden kann. Alternativ kann ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der Grenzfläche unter derjenigen Bedingung aufgebracht werden, dass der Druck zum Aufbringen des Oxidhalbleiterfilmes 103 hoch ist, woraufhin die Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes unter derjenigen Bedingung, dass der Aufbringdruck verringert wird, fortgesetzt werden kann. Bei einer weiteren Alternative kann ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der Grenzfläche unter der Bedingung, dass der T-S-Abstand groß ist, aufgebracht werden, woraufhin die Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes unter derjenigen Bedingung, dass der T-S-Abstand verkleinert wird, fortgesetzt werden kann.

[0126] Der spezifische Wert der Aufbringleistung ist gleich 5 kW oder kleiner, vorzugsweise 1 kW oder kleiner, besonders bevorzugt 500 W oder kleiner und außerordentlich bevorzugt 200 W oder kleiner. Hierbei wird, wenn die Aufbringleistung verringert wird, die Aufbringrate des Oxidhalbleiterfilmes 103 verkleinert. In einem Fall zudem, in dem die Aufbringleistung spürbar niedrig ist, ist zudem weniger wahrscheinlich, dass Plasma in dem Sputtergerät erzeugt wird, und wird die Wahrscheinlichkeit, dass eine normale Aufbrinbehandlung nicht durchgeführt werden kann, vergrößert. Daher wird bevorzugt, wenn die Aufbringleistung 5% (oder mehr) der maximalen Leistung ist, die in dem Sputtergerät aufgebracht werden kann. Bei der Betrachtung einer Verringerung der Aufbringleistung kann ein Praktiker den optimalen Leistungswert je nach Bedarf mit Blick auf das Leistungsvermögen des Sputtergerätes oder die Dicke des Oxidhalbleiterfilmes 103 auswählen, damit eine Aufbringung auf normale Weise durchgeführt werden kann, solange nur der Herstellungsprozess des Transistors 110 (Zykluszeit) nicht merklich von der Aufbringzeit nachteilig beeinflusst wird.

[0127] Der spezifische Wert des Aufbringdruckes ist gleich 0,4 Pa oder größer, vorzugsweise 1,0 Pa oder größer, besonders bevorzugt 2,0 Pa oder größer und außerordentlich bevorzugt 5,0 Pa oder größer. Gleichwohl verschlechtert sich, wenn der Aufbringdruck vergrößert wird, die Qualität eines aufzubringenden Filmes tendenziell (das heißt die Filmqualität ist schlecht). Es wird daher bevorzugt, wenn der Aufbringdruck 100 Pa oder kleiner ist. Bei Betrachtung einer Vergrößerung des Aufbringdruckes kann ein Praktiker den optimalen Druck je nach Bedarf in Abhängigkeit von den Eigenschaften auswählen, die für den Oxidhalbleiterfilm 103 notwendig sind (beispielsweise Feldeffektmobilität oder dergleichen).

[0128] Der spezifische Wert des T-S-Abstandes ist 30 mm oder größer, vorzugsweise 50 mm oder größer, besonders bevorzugt 100 mm oder größer und außerordentlich bevorzugt 300 mm oder größer. Man beachte, dass dann, wenn der T-S-Abstand stark vergrößert wird, die Aufbringrate des Oxidhalbleiterfilmes 103 verkleinert wird. Daher wird vorgezogen, wenn der T-S-Abstand gleich 500 mm oder kleiner ist. Bei der Betrachtung einer Zunahme des T-S-Abstandes kann ein Praktiker den optimalen T-S-Abstand je nach Bedarf auswählen, solange nur der Herstellungsprozess des Transistors 110 (Zykluszeit) nicht merklich durch die Aufbringzeit nachteilig beeinflusst wird.

[0129] Man beachte, dass zu dem Zweck, den Stoß eines Teilchens zur Bildung der Oxidhalbleiterschicht 103, das mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, zu verringern, der Oxidhalbleiterfilm 103 in einem Zustand

aufgebracht werden kann, in dem eine oder mehrere der Bedingungen der Aufbringleistung, des Aufbringdruckes und des T-S-Abstandes in dem vorstehenden Bereich eingestellt sind.

[0130] In dem Fall, in dem als Sputtergerät ein Sputtergerät vom MagnetronTyp verwendet wird, bei dem ein Target und ein Substrat, über dem ein Film aufgebracht werden soll, im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind (der Einfachheit halber wird das Gerät auch MagnetronSputtergerät) genannt), kollidiert neben einem Teilchen zum Bilden der Oxidhalbleiterschicht 103, Plasma, ein Sekundärelektron oder dergleichen mit dem Gate-Isolierfilm 102. Daher ist wahrscheinlicher, dass ein Element, das in dem Gate-Isolierfilm 102 beinhaltet ist, in den Oxidhalbleiterfilm 103 eintritt. Daher kann als Sputtergerät, das zum Aufbringen der Oxidhalbleiterschicht 103 verwendet wird, ein Sputtergerät vom Facing-Target-Typ (auch als Mirrortron-Sputtergerät bezeichnet) verwendet werden. Bei dem Gerät sind zwei Targets zueinander weisend aufgestellt, es ist ein Substrat, über dem ein Film aufgebracht werden soll, in einem Abschnitt eingestellt, der nicht derjenige Raum ist, der schichtartig zwischen den beiden Targets eingeschlossen ist, und zwar in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zu den Targets. Anschließend wird ein hochdichtetes Plasma zwischen den beiden zueinander weisenden Targets erzeugt, und es werden Oberflächen der Targets (die zur Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes 103 erzeugt werden) durch das Plasma gesputtert, wodurch der Oxidhalbleiterfilm 103 über dem Substrat aufgebracht wird. Damit ist das Substrat, an dem ein Film aufgebracht werden soll, nicht oder kaum direkt einem Plasma oder einem Sekundärelektron ausgesetzt.

[0131] Des Weiteren kann in dem Fall, in dem der Oxidhalbleiterfilm 103 durch Sputtern in einer Edelgasatmosphäre aufgebracht wird, Helium anstelle von Argon verwendet werden. Wenn Helium, dessen Atomgewicht kleiner als dasjenige von Argon ist, verwendet wird, kann der Stoß eines Teilchens zum Bilden des Oxidhalbleiterfilmes 103, das mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, verringert werden. Darüber hinaus wird, nachdem ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102 in einer Heliumatmosphäre aufgebracht worden ist, die Atmosphäre in der Aufbringkammer auf eine Argonatmosphäre umgestellt, wodurch die Aufbringrate des Oxidhalbleiterfilmes 103 vergrößert werden kann.

[0132] Alternativ kann der Oxidhalbleiterfilm 103 durch ein Verfahren aufgebracht werden, bei dem der Stoß auf den Gate-Isolierfilm 102 klein ist, so beispielsweise ein ALD-Verfahren (Atomic Layer Deposition ALD, Atomschichtaufbringung), ein Aufdampfungsverfahren oder ein Beschichtungsverfahren.

[0133] Wie vorstehend beschrieben worden ist, wird der Oxidhalbleiterfilm 103 unter derjenigen Bedingung aufgebracht, dass der Stoß eines Teilchens zum Bilden des Oxidhalbleiterfilmes 103, das mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, verringert wird, damit in dem Oxidhalbleiterfilm 102 der Bereich 103a, in dem eine Konzentration von Silizium mit Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm 102 hin zu der Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes 103 kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist, und der Bereich 103b, in dem Silizium weniger als in dem Bereich 103a ist, gebildet werden. Hierbei bezeichnet der Bereich 103b einen Bereich in dem Oxidhalbleiterfilm 103, der nicht der Bereich 103a ist. Des Weiteren ist die Konzentration von Silizium, das in dem Bereich 103a beinhaltet ist, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 At.-%.

[0134] Wenn zudem der Oxidhalbleiterfilm 103 auf diese Weise aufgebracht wird, kann der Eintritt von Verunreinigungen, so beispielsweise von Kohlenstoff, die in dem Gate-Isolierfilm 102 beinhaltet sind, in den Oxidhalbleiterfilm 103 ebenfalls verringert werden. Damit ist die Konzentration von Kohlenstoff, der in dem Bereich 103a beinhaltet ist, kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{20}$ Atome/cm³, vorzugsweise kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{19}$ Atome/cm³.

[0135] In dem Fall, in dem ein CAAC-OS-Film als Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet wird, während eine Erwärmung stattfindet (erstes Verfahren), wird die Menge von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, das in den Bereich 103a eintritt, verringert, sodass ein Kristallabschnitt, in dem eine c-Achse in einer Richtung senkrecht zu einer gebildeten Filmoberfläche oder einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet ist, sogar in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche des CAAC-OS-Filmes gebildet werden kann.

[0136] Wenn zudem der Oxidhalbleiterfilm 103 unter der Bedingung aufgetragen wird, dass der Stoß eines Teilchens zum Bilden des Oxidhalbleiterfilmes 103, das mit dem Gate-Isolierfilm 102 kollidiert, verringert wird, kann das Eintreten des konstituierenden Elementes des Oxidhalbleiterfilmes 103 in den Gate-Isolierfilm 102 unterdrückt werden. Damit kann das Eintreten des konstituierenden Elementes mit hoher Leitfähigkeit, so beispielsweise eines Metallelementes, des Oxidhalbleiterfilmes 103 in den Gate-Isolierfilm 102 unterdrückt werden, weshalb entsprechend eine Verringerung der Resistivität bzw. des spezifischen Widerstandes des Gate-Isolierfilmes 102 verhindert werden kann.

[0137] Nachdem der Oxidhalbleiterfilm 103 aufgebracht worden ist, kann eine Wärmebehandlung an dem Oxidhalbleiterfilm 103 durchgeführt werden. Die Temperatur der Wärmebehandlung ist größer oder gleich 200 °C und kleiner oder gleich 700 °C oder kleiner als der Kühlpunkt (strain point) des Substrates. Wird die Wärmebehandlung durchgeführt, so kann überschüssiger Wasserstoff (beinhaltend Wasser und eine Hydroxylgruppe) entfernt werden.

[0138] In dem Fall, in dem ein CAAC-OS-Film durch das zweite oder dritte Verfahren gebildet wird, wird die vorgenannte Wärmebehandlung derart durchgeführt, dass ein Kristallabschnitt, in dem eine c-Achse in einer Richtung senkrecht zu einer gebildeten Filmoberfläche oder einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet ist, gebildet werden kann. Darüber hinaus wird die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, in dem Bereich 103a in dem Oxidhalbleiterfilm 103 verringert. Daher kann der Kristallabschnitt sogar in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche des Oxidhalbleiterfilmes 103 gebildet werden.

[0139] Die Wärmebehandlung kann auf eine Weise durchgeführt werden, dass beispielsweise ein zu verarbeitendes Objekt in einen Elektroofen eingeführt wird, in dem ein Widerstandswärmer oder dergleichen verwendet wird, wo eine Erwärmung auf 450 °C in einer Stickstoffatmosphäre für eine Stunde erfolgt. Während der Wärmebehandlung ist der Oxidhalbleiterfilm 103 nicht Luft ausgesetzt, um das Eintreten von Wasser und Wasserstoff zu verhindern.

[0140] Beim Wärmebehandlungsgerät ist man nicht auf den Elektroofen beschränkt und kann ein beliebiges Gerät zum Erwärmen eines Objektes mittels thermischer Strahlung oder thermischer Konduktion aus einem Medium, so beispielsweise einem erwärmten Gas, verwenden. So kann beispielsweise eine RTA-Gerät (Rapid Thermal Anneal RTA, schnelles thermisches Härteln, so beispielsweise ein GRTA-Gerät (Gas Rapid Thermal Anneal GRTA, schnelles thermisches Härteln mit Gas) oder ein LRTA-Gerät (Lamp Rapid Thermal Anneal LRTA, schnelles thermisches Härteln mit Lampe) verwendet werden. Ein LRTA-Gerät ist ein Gerät zum Erwärmen eines Objektes, das durch Lichtbestrahlung (elektromagnetische Welle) aus der Emission einer Lampe, so beispielsweise einer Halogenlampe, einer Metallhalidlampe, einer Xenonbogenlampe, einer Kohlenstoffbogenlampe, einer Hochdrucknatriumlampe oder einer Hochdruckquecksilberlampe, bearbeitet wird. Ein GRTA-Gerät ist ein Gerät zum Durchführen einer Wärmebehandlung unter Verwendung eines Hochtemperaturgases. Als Gas wird ein Inertgas, das nicht mit dem durch die Wärmebehandlung zu bearbeitenden Objekt reagiert, so beispielsweise Stickstoff oder ein Edelgas wie Argon, verwendet.

[0141] Als Wärmebehandlung kann der GRTA-Prozess beispielsweise folgendermaßen durchgeführt werden. Das Objekt wird in eine erwärmte Inertgasatmosphäre gelegt, für einige Minuten erwärmt und aus der Inertgasatmosphäre genommen. Der GRTA-Prozess ermöglicht eine Hochtemperaturwärmebehandlung für kurze Zeit. Darüber hinaus kann der GRTA-Prozess sogar dann eingesetzt werden, wenn die Temperatur die obere Temperaturgrenze des Objektes übersteigt. Man beachte, dass das Inertgas während des Prozesses auf ein Sauerstoff enthaltendes Gas umgestellt werden kann.

[0142] Man beachte, dass vorzugsweise als Inertgasatmosphäre eine Atmosphäre, die Sauerstoff oder ein Edelgas (beispielsweise Helium, Neon oder Argon) als Hauptkomponente und kein Wasser, keinen Wasserstoff oder dergleichen enthält, verwendet wird. Die Reinheit des Stickstoffs oder des Edelgases, so beispielsweise von Helium, Neon oder Argon, das in ein Wärmebehandlungsgerät eingeleitet wird, ist größer oder gleich 6N (99,9999%), vorzugsweise größer oder gleich 7N (99,99999%) (das heißt, die Konzentration der Verunreinigungen ist kleiner oder gleich 1 ppm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 ppm).

[0143] Darüber hinaus kann, nachdem der Oxidhalbleiterfilm 103 durch die Wärmebehandlung erwärmt wird, ein hochreines Sauerstoffgas, ein Distickstoffmonoxidgas, ein hochreines Distickstoffmonoxidgas oder ultratrockene Luft (die Feuchtigkeitsmenge ist kleiner oder gleich 20 ppm (-55 °C durch Umwandlung in einen Taupunkt), vorzugsweise kleiner oder gleich 1 ppb oder besonders bevorzugt kleiner oder gleich 10 ppm in dem Fall, in dem die Messung unter Verwendung eines Taupunktmessgerätes eines CRDS-Systems (Cavity Ring Down Laser Spectroscopy CRDS) vorgenommen wird) in denselben Ofen eingeleitet werden. Es wird bevorzugt, wenn Wasser, Wasserstoff oder dergleichen nicht in dem Sauerstoffgas oder dem Distickstoffmonoxidgas enthalten sind. Alternativ ist die Reinheit des Sauerstoffgases oder des Distickstoffmonoxidgases, das in das Wärmebehandlungsgerät eingeleitet wird, vorzugsweise größer oder gleich 6N, besonders bevorzugt größer oder gleich 7N (das heißt, die Verunreinigungskonzentration in dem Sauerstoffgas oder dem Distickstoffmonoxidgas ist vorzugsweise kleiner oder gleich 1 ppm, besonders bevorzugt kleiner oder gleich 0,1 ppm). Durch die Wirkung des Sauerstoffgases oder des Distickstoffmonoxidgases wird Sauerstoff, der eine Hauptkomponente des Oxidhalbleiters ist und zum selben Zeitpunkt wie die Wärmebehandlung reduziert

bzw. verringert worden ist, zugeführt, sodass der Oxidhalbleiterfilm ein hochgradig reiner und elektrisch vom i-Typ (intrinsisch) seiender Oxidhalbleiterfilm sein kann.

[0144] In einem Fall, in dem ein CAAC-OS-Film durch das dritte Verfahren gebildet wird, kann ein Oxidhalbleiterfilm zusätzlich gebildet werden. Damit kann der zusätzlich gebildete Oxidhalbleiterfilm ebenfalls einen Kristallabschnitt unter Verwendung des Kristallabschnittes als Samen aufweisen, in dem eine c-Achse in einer Richtung senkrecht zu der gebildeten Filmoberfläche oder der Oberfläche des Oxidhalbleiterfilmes ausgerichtet sein kann.

[0145] Man beachte, dass in einem Fall, in dem ein Oxidhalbleiterfilm mit einer Kristallinität (Einkristall oder Mikrokristall), die von derjenigen eines CAAC-OS-Filmes verschieden ist, gebildet wird, mittels Durchführen der Wärmebehandlung der Oxidhalbleiterfilm kristallisiert werden kann. Da darüber hinaus die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, in dem Bereich 103a in dem Oxidhalbleiterfilm 103 verringert wird, kann der Oxidhalbleiterfilm sogar in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche kristallisiert werden.

[0146] Man beachte, dass hier derjenige Fall beschrieben wird, bei dem, bevor der Oxidhalbleiterfilm derart bearbeitet wird, dass er Inselform aufweist, die Wärmebehandlung durchgeführt wird. Ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist jedoch nicht als hierauf beschränkt zu betrachten. Die Wärmebehandlung kann auch durchgeführt werden, nachdem der Oxidhalbleiterfilm separat derart bearbeitet worden ist, dass er Inselform aufweist.

[0147] Als Nächstes wird der Oxidhalbleiterfilm 103 vorzugsweise zu einem inselförmigen Oxidhalbleiterfilm 103 durch einen Fotolithografieschritt (siehe **Fig. 4C**) verarbeitet. Eine Resistmaske, die bei der Bildung des inselförmigen Oxidhalbleiterfilmes 103 verwendet wird, kann durch ein Tintenstrahlverfahren gebildet werden. Die Bildung der Resistmaske durch ein Tintenstrahlverfahren benötigt keine Fotomaske. Damit können die Herstellungskosten verringert werden. Man beachte, dass das Ätzen des Oxidhalbleiterfilmes 103 ein Trockenätzen, ein Nassätzen oder sowohl ein Trockenätzen wie auch ein Nassätzen beinhalten kann.

[0148] Hierbei weist, wie in **Fig. 4C** dargestellt ist, ein Endabschnitt des Oxidhalbleiterfilmes 103 vorzugsweise einen Verjüngungswinkel von 20° bis 50° auf. Weist der Oxidhalbleiterfilm 103 einen senkrechten Endabschnitt auf, so wird Sauerstoff ohne Weiteres von dem Oxidhalbleiterfilm 103 freigegeben. Weist der Oxidhalbleiterfilm 103 einen verjüngten Endabschnitt auf, so wird die Erzeugung von Sauerstoffleerstellen unterdrückt, und es kann die Erzeugung eines Leckstromes des Transistors 110 verringert werden.

[0149] Als Nächstes wird ein leitfähiger Film, der für eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode (die auch eine Verdrahtung, die in derselben Schicht wie die Gate-Elektrode ausgebildet ist) verwendet wird, über dem Oxidhalbleiterfilm 103 ausgebildet. Verwendet werden können als leitfähiger Film, der für die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode verwendet wird, beispielsweise ein Metallfilm, der ein Element beinhaltet, das aus Aluminium, Chrom, Kupfer, Tantal, Titan, Molybdän oder Wolfram ausgewählt ist, oder ein Metallnitridfilm, der ein beliebiges der vorgenannten Elemente als Komponente enthält (beispielsweise ein Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm oder ein Wolframnitridfilm). Alternativ kann der leitfähige Film eine Struktur aufweisen, bei der ein Film einen hohen Schmelzpunkt aufweisenden Metalls, so beispielsweise Titan, Molybdän oder Wolfram, oder ein Nitridfilm aus einem beliebigen dieser Metalle (ein Titannitridfilm, ein Molybdännitridfilm oder ein Wolframnitridfilm) entweder auf einer oder auf beide von der unteren Oberfläche und der oberen Oberfläche eines Metallfilmes aus Aluminium, Kupfer oder dergleichen gestapelt ist. Des Weiteren kann der leitfähige Film, der für die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode verwendet wird, unter Verwendung eines leitfähigen Metalloxides gebildet werden. Als leitfähiges Metalloid kann Indiumoxid (In_2O_3), Zinnoxid (SnO_2), Zinkoxid (ZnO), Indiumzinnoxid ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$), das in einigen Fällen als ITO bezeichnet wird, oder Indiumzinkoxid ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$) verwendet werden. Der leitfähige Film, der für die Source-Elektrode und die Drain-Elektrode verwendet wird, kann unter Verwendung eines beliebigen der vorstehenden Materialien derart, dass eine Einzelschicht oder eine gestapelte Struktur vorliegt, gebildet werden. Es gibt keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Bilden des leitfähigen Filmes, und es kann eine Vielzahl von Filmbildungsverfahren eingesetzt werden, so beispielsweise ein Aufdampfungsverfahren, ein CVD-Verfahren, ein Sputterverfahren oder ein Spin-Beschichtungsverfahren.

[0150] Eine Resistmaske wird über dem leitfähigen Film durch einen Fotolithografieschritt ausgebildet, und es wird ein selektives Ätzen derart durchgeführt, dass die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b gebildet werden, woraufhin die Resistmaske entfernt wird (siehe **Fig. 4D**). Für die Lichtbestrahlung zur Bildung der Resistmaske in dem Fotolithografieschritt wird vorzugsweise ein Ultravioletts-, ein KrF-Laser oder

ein ArF-Laser verwendet. Bei diesem Schritt ist eine Kanallänge L eines Transistors, die in einem späteren Schritt fertiggestellt werden soll, durch einen Abstand zwischen einem unteren Ende der Source-Elektrode 105a und einem unteren Ende der Drain-Elektrode 105b, die benachbart zueinander über dem Oxidhalbleiterfilm 103 sind, bestimmt. Wird die Lichtbestrahlung für eine Kanallänge L, die kleiner als 25 nm ist, durchgeführt, so kann die Lichtbestrahlung zum Bilden der Resistmaske in dem Fotolithografieschritt beispielsweise unter Verwendung eines extremen ultravioletten Lichtes mit einer extrem kurzen Wellenlänge von einigen Nanometern bis einigen zehn Nanometern durchgeführt werden. Bei der Lichtbestrahlung durch das extrem ultraviolette Licht ist die Auflösung hoch und die Fokustiefe groß. Damit kann die Kanallänge L des später gebildeten Transistors verringert werden, wodurch die Betriebsgeschwindigkeit einer Schaltung erhöht werden kann.

[0151] Um die Anzahl von Fotomasken zu verringern, die bei einem Fotolithografieschritt verwendet werden, und um die Anzahl von Fotolithografieschritten zu verringern, kann ein Ätzschritt unter Verwendung einer Multitonmaske ausgeführt werden, die eine Lichtbestrahlungsmaske ist, durch die Licht derart transmittiert wird, dass es eine Mehrzahl von Intensitäten aufweist. Eine Resistmaske, die unter Verwendung einer Multitonmaske gebildet ist, weist eine Mehrzahl von Dicken auf und kann zudem der Form nach durch Ätzen verändert werden. Daher kann die Resistmaske in einer Mehrzahl von Ätzschritten zum Bearbeiten zu verschiedenen Mustern verwendet werden. Daher kann eine Resistmaske entsprechend wenigstens zwei oder mehr Arten von verschiedenen Mustern durch eine Multitonmaske gebildet werden. Daher kann die Anzahl von Lichtbestrahlungsmasken verringert werden, und es kann die Anzahl von entsprechenden Fotolithografieschritten ebenfalls verringert werden, wodurch eine Vereinfachung eines Prozesses erreicht werden kann.

[0152] Somit wird bevorzugt, dass die Ätzbedingungen derart optimiert werden, dass der Oxidhalbleiterfilm 103 nicht geätzt und geteilt wird, wenn der leitfähige Film geätzt wird. Es ist jedoch schwierig, Ätzbedingungen zu erhalten, bei denen nur der leitfähige Film geätzt und der Oxidhalbleiterfilm 103 überhaupt nicht geätzt wird. In einigen Fällen wird nur ein Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103, beispielsweise 5% bis 50% der Dicke des Oxidhalbleiterfilmes 103, geätzt, sodass der Oxidhalbleiterfilm 103 einen Nutabschnitt (zurückgenommener Abschnitt) aufweist, wenn der leitfähige Film geätzt ist.

[0153] Als Nächstes wird der Schutzisolierfilm 109, der die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b bedeckt und in Kontakt mit einem Teil des Oxidhalbleiterfilmes 103 ist, gebildet (siehe **Fig. 4E**). Der Schutzisolierfilm 109 kann unter Verwendung eines anorganischen Isolierfilms, so beispielsweise einer Einzelschicht oder einer gestapelten Schicht, eines beliebigen Oxidisolierfilms, so beispielsweise eines Siliziumoxidfilms, eines Siliziumoxynitridfilms, eines Aluminiumoxidfilms, eines Aluminiumoxynitridfilms, eines Galliumoxidfilms und eines Hafniumoxidfilms, gebildet werden. Darüber hinaus kann über dem vorgenannten Oxidisolierfilm eine Einzelschicht oder eine gestapelte Schicht aus einem beliebigen der Nitridisolierfilme gebildet werden, so beispielsweise ein Siliziumnitridfilm, ein Siliziumnitridoxidfilm, ein Aluminiumnitridfilm und ein Aluminiumnitridoxidfilm. So werden beispielsweise ein Siliziumoxidfilm und einer Aluminiumoxidfilm nacheinander derart gebildet, dass sie auf der der Source-Elektrode 105a und der Drain-Elektrode 105b zu eigenen Seiten durch ein Sputterverfahren gestapelt werden.

[0154] Man beachte, dass es bei diesem Schritt in dem Fall, in dem der Schutzisolierfilm 109 durch ein Sputterverfahren gebildet wird, effektiv ist, den Stoß eines Teilchens zum Bilden des Schutzisolierfilms 109, das mit dem Oxidhalbleiterfilm 103 kollidiert, wie bei der Bildung des Oxidhalbleiterfilmes 103 zu verringern. Damit wird der Bereich 103c in der Umgebung der Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm 103 und dem Schutzisolierfilm 109 gebildet. Durch diesen Schritt kann der Transistor 120 gemäß Darstellung in **Fig. 2A** und **2B** erhalten werden. Der Bereich 103c in dem Oxidhalbleiterfilm 103 ist ein Bereich, in dem eine Konzentration von Silizium mit einer Verteilung von einer Grenzfläche zu dem Schutzisolierfilm 109 hin zu der Innenseite des Oxidhalbleiterfilmes 103 kleiner oder gleich 1,0 At.-% ist. Der Bereich 103c ist vorzugsweise in Kontakt mit dem Schutzisolierfilm 109 vorgesehen und weist eine Dicke kleiner oder gleich 5 nm auf.

[0155] Hierbei kann als Schutzisolierfilm 109 ein Isolierfilm ähnlich zu dem Gate-Isolierfilm 102 verwendet werden. Um zu verhindern, dass Verunreinigungen, so beispielsweise Silizium, in den Oxidhalbleiterfilm 103 eintreten, kann ein Mischen in der Umgebung der Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm 103 und dem Schutzisolierfilm 109 unterdrückt werden. Somit kann das Auftreffen von Silizium, das in dem Schutzisolierfilm 109 vorhanden ist und mit dem Oxidhalbleiterfilm 103 kollidiert, verringert werden. Bei einem praxistauglichen Verfahren wird beispielsweise die Leistung zum Aufbringen des Schutzisolierfilms 109 verringert, es wird der Druck zum Aufbringen des Schutzisolierfilms 109 vergrößert, oder es wird der T-S-Abstand vergrößert.

[0156] Wie vorstehend beschrieben worden ist, kann die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, auch in dem Bereich 103c entsprechend dem Rückkanal des Oxidhalbleiterfilmes 103 verringert werden.

[0157] Nach den vorbeschriebenen Schritten sind die Herstellungsverfahren des Transistors 110 und des Transistors 120 ähnlich zueinander.

[0158] Nachdem der Schutzisolierfilm 109 gebildet ist, wird vorzugsweise eine Wärmebehandlung an dem Oxidhalbleiterfilm 103 durchgeführt. Die Temperatur der Wärmebehandlung ist größer oder gleich 300 °C und kleiner oder gleich 700 °C oder kleiner als der Kühlpunkt (strain point) des Substrates.

[0159] Die Wärmebehandlung kann in einer Atmosphäre aus Stickstoff, Sauerstoff, ultratrockener Luft (der Feuchtigkeitsgehalt ist kleiner oder gleich 20 ppm, vorzugsweise kleiner oder gleich 1 ppm, besonders bevorzugt kleiner oder gleich 10 ppb) oder einem Edelgas (so beispielsweise Argon oder Helium) durchgeführt werden. Man beachte, dass bevorzugt ist, wenn Wasser, Wasserstoff und dergleichen nicht in der Atmosphäre aus Stickstoff, Sauerstoff, ultratrockener Luft, einem Edelgas oder dergleichen enthalten ist. Es ist ebenfalls bevorzugt, wenn die Reinheit des Stickstoffs, des Sauerstoffs oder des Edelgases, der/das in ein Wärmebehandlungsgerät eingeleitet wird, größer oder gleich 6N (99,9999%), vorzugsweise größer oder gleich 7N (99,99999%) ist (was bedeutet, dass die Verunreinigungskonzentration kleiner oder gleich 1 ppm, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1 ppm ist).

[0160] Für den Fall einer Durchführung einer Wärmebehandlung nach der Bildung des Oxidhalbleiterfilmes kann der Sauerstoff, der eines der Hauptkomponentenmaterialien ist, das in dem Oxidhalbleiter beinhaltet ist, verringert bzw. reduziert werden. Während der Wärmebehandlung bei diesem Schritt kann der Sauerstoff jedoch dem Oxidhalbleiterfilm 103 von dem Gateisolierfilm 102 zugeführt werden, der unter Verwendung eines oxidierten Materials, das Silizium enthält, gebildet wird. Daher können Sauerstoffleerstellen in dem Oxidhalbleiterfilm 103 gefüllt werden.

[0161] Mittels Durchführen der Wärmebehandlung gemäß vorstehender Beschreibung kann der Oxidhalbleiterfilm 103 hochgradig gereinigt werden, damit er keine anderen Verunreinigungen, die nicht die Hauptkomponenten sind, so wenig wie möglich enthält. Darüber hinaus beinhaltet der hochgradig gereinigte Oxidhalbleiterfilm 103 äußerst wenige (nahezu 0) Träger, die von einem Donor röhren, wobei die Trägerkonzentration hiervon kleiner als $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$, vorzugsweise kleiner als $1 \times 10^{12} / \text{cm}^3$, besonders bevorzugt kleiner als $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ ist. Auf diese Weise kann der Oxidhalbleiterfilm 103, der ein vom i-Typ (intrinsisch) seiender Oxidhalbleiter wird, gebildet werden.

[0162] Durch die vorbeschriebenen Schritte wird der Transistor 110 gebildet (siehe **Fig. 4E**). In dem Transistor 110 ist die Konzentration von Verunreinigungen, so beispielsweise von Silizium, das in den Bereich 103a des Oxidhalbleiterfilmes 103 hinein genommen wird, klein. Damit kann der Transistor 110 stabile elektrische Eigenschaften aufweisen.

[0163] Eine Planarisierung isolierschicht kann über dem Transistor 110 gebildet werden. Für die Planarisierung isolierschicht kann ein wärmebeständiges organisches Material, so beispielsweise ein Acrylharz, ein Polyimidharz, ein benzocyclobutenbasiertes Harz, ein Polyamidharz oder ein Epoxidharz, verwendet werden. Über diese organischen Materialien hinausgehend ist es ebenfalls möglich, ein eine niedrige dielektrische Konstante aufweisendes Material (niedriges k aufweisendes Material), ein siloxanbasiertes Harz, PSG (Phosphosilikatglas), BPSG (Borophosphosilikatglas) oder dergleichen zu verwenden. Man beachte, dass die Planarisierung isolierschicht durch Stapeln einer Mehrzahl von Isolierfilmen, die aus einem beliebigen dieser Materialien gebildet sind, gebildet werden kann.

Herstellungsprozess des Transistors 130

[0164] Als Nächstes wird ein Beispiel eines Herstellungsprozesses des Transistors 130 in **Fig. 3A** und **3B** anhand **Fig. 5A** bis **5E** beschrieben.

[0165] Zunächst werden über dem Substrat 100 die Gate-Elektrode 101, der Gate-Isolierfilm 102 und der Oxidhalbleiterfilm 103, der den Bereich 103a und den Bereich 103b beinhaltet, durch Schritte gebildet, die ähnlich zu denjenigen (bis zu dem Schritt gemäß Darstellung in **Fig. 4C**) beim Transistor 110 sind (siehe **Fig. 5A**). Hinsichtlich Einzelheiten des Substrates 100, der Gate-Elektrode 101, des Gate-Isolierfilms 102 und des Oxidhalbleiterfilmes 103 kann die Beschreibung zu **Fig. 4A** bis **4C** herangezogen werden.

[0166] Als Nächstes wird ein Isolierfilm 107, der für einen Schutzkanalfilm verwendet wird, mit einer Dicke gebildet, die größer oder gleich 5 nm und kleiner oder gleich 300 nm ist (siehe **Fig. 5B**). Als Isolierfilm 107 wird vorzugsweise ein anorganischer Isolierfilm, der Sauerstoff enthält, verwendet. Beispielsweise kann ein Isolierfilm, so beispielsweise ein Siliziumoxidfilm, ein Siliziumoxynitridfilm, ein Aluminiumoxidfilm, ein Aluminiumoxynitridfilm, ein Galliumoxidfilm oder ein Hafniumoxidfilm verwendet werden. Es besteht keine spezielle Beschränkung hinsichtlich eines Verfahrens zum Bilden des Isolierfilms 107. So können beispielsweise ein Sputterverfahren, ein MBE-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Pulslaseraufbringverfahren, ein ALD-Verfahren oder dergleichen je nach Bedarf verwendet werden.

[0167] Als Nächstes wird eine Resistmaske über dem Isolierfilm 107 durch einen Fotolithografieschritt gebildet, es wird der Kanalschutzfilm 108 durch Ätzen gebildet, woraufhin die Resistmaske entfernt wird (siehe **Fig. 5C**). Man beachte, dass eine Resistmaske, die zum Bilden des Kanalsschutzfilmes 108 verwendet wird, durch ein Tintenstrahlverfahren gebildet werden kann. Die Bildung der Resistmaske durch ein Tintenstrahlverfahren benötigt keine Fotomaske. Damit können die Herstellungskosten verringert werden. Man beachte, dass das Ätzen des Kanalschutzfilmes 108 unter Verwendung entweder eines Trockenätzens oder eines Nassätzens oder unter Verwendung sowohl eines Trockenätzens wie auch eines Nassätzens durchgeführt werden kann.

[0168] Wie in **Fig. 5C** gezeigt ist, weist ein Endabschnitt des Kanalschutzfilmes 108 vorzugsweise einen Verjüngungswinkel auf, der größer oder gleich 10° und kleiner oder gleich 60° ist. Der Kanalschutzfilm 108 wird derart gebildet, dass er eine derartige Form aufweist, durch die die Feldkonzentration in der Umgebung eines unteren Endabschnittes des Kanalschutzfilmes 108 entspannt werden kann.

[0169] Wie vorstehend beschrieben worden ist, ist der Kanalschutzfilm 108 über und in Kontakt mit dem Oxidhalbleiterfilm 103 vorgesehen, sodass eine Beschädigung an der Rückkanalseite des Oxidhalbleiterfilmes 103, die durch Ätzen der Source-Elektrode 105a und der Drain-Elektrode 105b bewirkt wird (beispielsweise eine Beschädigung infolge eines Plasmas oder eines Ätzmittels in dem Ätzschritt), verhindert werden kann. Entsprechend kann eine Halbleitervorrichtung, die einen Oxidhalbleiter beinhaltet und stabile elektrische Eigenschaften aufweist, bereitgestellt werden.

[0170] Als Nächstes wird ein leitfähiger Film, der für eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode (wie auch eine Verdrahtung, die in derselben Schicht wie die Gate-Elektrode gebildet wird) über dem Kanalschutzfilm 108 und dem Oxidhalbleiterfilm 103 gebildet. Sodann wird der leitfähige Film selektiv durch einen Fotolithografieschritt geätzt, sodass die Source-Elektrode 105a und die Drain-Elektrode 105b gebildet werden (siehe **Fig. 5D**). Dieser Schritt kann auf eine Weise durchgeführt werden, die ähnlich zu dem Schritt gemäß Darstellung in **Fig. 4D** ist. Hinsichtlich Details zur Source-Elektrode 105a und der Drain-Elektrode 105b soll daher die Beschreibung zu **Fig. 4D** herangezogen werden.

[0171] Als Nächstes wird der Schutzisolierfilm 109 derart gebildet, dass die Source-Elektrode 105a, die Drain-Elektrode 105b und der Kanalschutzfilm 108 bedeckt sind (siehe **Fig. 5E**). Dieser Schritt kann auf eine Weise durchgeführt werden, die ähnlich zu dem Schritt gemäß Darstellung in **Fig. 4E** ist. Hinsichtlich Details zu dem Schutzisolierfilm 109 kann daher die Beschreibung zu **Fig. 4E** herangezogen werden.

[0172] Wie vorstehend beschrieben worden ist, wird der Oxidhalbleiterfilm gebildet, wodurch die Konzentration von Verunreinigungen, die in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche beinhaltet sind, verringert werden kann. Darüber hinaus kann die Kristallisierung des Oxidhalbleiterfilmes 103 in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gefördert werden. Damit kann die Kristallisierung des Oxidhalbleiterfilmes 103 verbessert werden. In dem Fall, in dem der Oxidhalbleiterfilm 103 ein CAAC-OS-Film ist, kann ein Kristallabschnitt sogar in der Umgebung der gebildeten Filmoberfläche gebildet werden. Man beachte, dass in dem Kristallabschnitt eine c-Achse in einer Richtung senkrecht zu der Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm 103 und dem Gate-Isolierfilm 102 oder der Grenzfläche zwischen dem Oxidhalbleiterfilm 103 und dem Schutzisolierfilm 109 ausgerichtet ist. Unter Verwendung eines derartigen Oxidhalbleiterfilmes kann eine hochgradig zuverlässige Halbleitervorrichtung mit stabilen elektrischen Eigenschaften bereitgestellt werden.

[0173] Die Verfahren und Strukturen aus der Beschreibung bei diesem Ausführungsbeispiel können je nach Bedarf mit beliebigen Verfahren und Strukturen aus der Beschreibung bei den anderen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

Ausführungsbeispiel 2

[0174] Eine Halbleitervorrichtung (auch als Anzeigevorrichtung bezeichnet) mit einer Anzeigefunktion kann unter Verwendung des Transistors hergestellt werden, von dem ein Beispiel bei Ausführungsbeispiel 1 beschrieben worden ist. Einige oder alle der Treiberschaltungen, die den Transistor beinhalten, kann bzw. können über einem Substrat gebildet werden, an dem der Pixelabschnitt gebildet ist, wodurch man ein System-on-Panel erhält.

[0175] Gemäß **Fig. 9A** wird ein Dichtmittel 4005 derart bereitgestellt, dass es einen Pixelabschnitt 4002 umgibt, der über einem Substrat 4001 vorgesehen ist, und es wird der Pixelabschnitt 4002 unter Verwendung eines zweiten Substrates 4006 abgedichtet. Gemäß **Fig. 9A** sind eine Signalleitungstreiberschaltung 4003 und eine Abtastlinientreiberschaltung 4004, die jeweils unter Verwendung eines Einkristallhalbleiterfilmes oder eines polykristallinen Halbleiterfilmes über einem separat präparierten Substrat gebildet werden, in einem Bereich montiert, der von dem Bereich mit umgebendem Dichtmittel 4005 über dem ersten Substrat 4001 verschieden ist. Des Weiteren wird eine Mehrzahl von Signalen und Potenzialen der Signalleitungstreiberschaltung 4003 und der Abtastlinientreiberschaltung 4004, die separat gebildet sind, oder dem Pixelabschnitt 4002 aus flexiblen Leiterplatten (Flexible Printed Circuits FPCs) 4018a und 4018b zugeführt.

[0176] In **Fig. 9B** und **9C** ist das Dichtmittel 4005 derart vorgesehen, dass es den Pixelabschnitt 4002 und die Abtastleitungstreiberschaltung 4004 mit Bereitstellung über dem ersten Substrat 4001 umgibt. Das zweite Substrat 4006 ist über dem Pixelabschnitt 4002 und der Abtastleitungstreibereinheit 4004 vorgesehen. Infolgedessen werden der Pixelabschnitt 4002 und die Abtastlinientreiberschaltung 4004 zusammen mit dem Anzeigeelement durch das erste Substrat 4001, das Dichtmittel 4005 und das zweite Substrat 4006 abgedichtet. Gemäß **Fig. 9B** und **9C** wird die Signalleitungstreiberschaltung 4003, die unter Verwendung eines Einkristallhalbleiterfilmes oder eines polykristallinen Halbleiterfilmes über einem separat präparierten Substrat gebildet ist, in einem Bereich montiert, der von dem Bereich mit dem umgebenden Dichtmittel 4005 über dem ersten Substrat 4001 verschieden ist. Gemäß **Fig. 9B** und **9C** werden verschiedene Signale und ein Potenzial der Signalleitungstreiberschaltung 4003, die separat gebildet ist, der Abtastlinientreiberschaltung 4004 und dem Pixelabschnitt 4002 aus einer FPC 4018 zugeführt.

[0177] Obwohl **Fig. 9B** und **9C** jeweils ein Beispiel zeigen, bei dem die Signalleitungstreiberschaltung 4003 separat gebildet und an dem ersten Substrat 4001 montiert ist, ist ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung nicht auf diese Struktur beschränkt. Die Abtastlinientreiberschaltung kann separat gebildet und sodann montiert werden, oder es kann lediglich ein Teil der Signalleitungstreiberschaltung oder ein Teil der Abtastlinientreiberschaltung separat gebildet und sodann montiert werden.

[0178] Man beachte, dass das Verbindungsverfahren einer separat gebildeten Treiberschaltung keiner speziellen Beschränkung unterliegt, und auch ein COG-Verfahren (Chip on Glas COG, Chip auf Glas), ein Drahtverbindungsverfahren, ein TAB-Verfahren (Tape Automated Bonding TAB, bandautomatisiertes Verbinden) oder dergleichen verwendet werden können.

[0179] **Fig. 9A** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signalleitungstreiberschaltung 4003 und die Abtastlinientreiberschaltung 4004 durch ein COG-Verfahren montiert werden können. **Fig. 9B** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signallinientreiberschaltung 4003 durch ein COG-Verfahren montiert wird. **Fig. 9C** zeigt ein Beispiel, bei dem die Signalleitungstreiberschaltung 4003 durch ein TAB-Verfahren montiert wird.

[0180] Darüber hinaus beinhaltet die Anzeigevorrichtung ein Paneel, in dem das Anzeigeelement abgedichtet ist, und ein Modul, in dem ein IC oder dergleichen mit einer Steuerung an dem Paneel montiert ist.

[0181] Man beachte, dass die Anzeigevorrichtung in der vorliegenden Beschreibung eine Bildanzeigevorrichtung, eine Anzeigevorrichtung, oder eine Lichtquelle (beinhaltend eine Beleuchtungsvorrichtung) bezeichnet.

[0182] Darüber hinaus beinhaltet die Anzeigevorrichtung ebenfalls die nachfolgenden Module in ihrer Kategorie: ein Modul, an dem ein Verbinder, so beispielsweise ein FPC, ein TAB-Band oder ein TCP angebracht ist; ein Modul mit einem TAB-Band oder einem TCP, an dessen Spitze eine Leiterplatte vorgesehen ist; und ein Modul, in dem eine integrierte Schaltung (IC) direkt an einem Anzeigeelement mittels eines COG-Verfahrens montiert ist.

[0183] Der Pixelabschnitt und die Abtastlinientreiberschaltung mit Bereitstellung über dem ersten Substrat beinhalten eine Mehrzahl von Transistoren, wobei der bei Ausführungsbeispiel 1 beschriebene Transistor hierbei Verwendung finden kann.

[0184] Als Anzeigeelement, das bei der Anzeigevorrichtung vorgesehen ist, kann ein Flüssigkristallelement (auch als Flüssigkristallanzeigeelement bezeichnet) oder ein Licht emittierendes Element (auch als Licht emittierendes Anzeigeelement bezeichnet) verwendet werden. Das Licht emittierende Element beinhaltet in seiner Kategorie ein Element, dessen Luminanz durch einen Strom oder eine Spannung gesteuert wird, und beinhaltet speziell in seiner Kategorie ein anorganisches elektrolumineszenzes (EL) Element, ein organisches EL-Element und dergleichen. Des Weiteren kann ein Anzeigemedium, dessen Kontrast durch einen elektrischen Effekt geändert wird, so beispielsweise elektronische Tinte, verwendet werden.

[0185] Ausführungsbeispiele der Halbleitervorrichtung werden nachstehend anhand **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** beschrieben. **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** entsprechen Querschnittsansichten entlang der Linie M-N in **Fig. 9B**.

[0186] Wie in **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** dargestellt ist, beinhaltet die Halbleitervorrichtung eine Verbindungsanschlusselektrode 4015 und eine Anschlusselektrode 4016. Die Verbindungsanschlusselektrode 4015 und die Anschlusselektrode 4016 sind elektrisch mit einem Anschluss, der in der FPC 4018 beinhaltet ist, durch einen anisotropen leitfähigen Film 4019 verbunden.

[0187] Die Verbindungsanschlusselektrode 4015 ist aus demselben leitfähigen Film wie eine erste Elektrodenschicht 4030 gebildet. Die Anschlusselektrode 4016 ist aus demselben leitfähigen Film wie eine Source-Elektrode und eine Drain-Elektrode der Transistoren 4010 und 4011 gebildet.

[0188] Des Weiteren beinhalten der Pixelabschnitt 4002 und die Abtastlinientreiberschaltung 4004 mit Bereitstellung über dem ersten Substrat 4001 jeweils eine Mehrzahl von Transistoren. **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** zeigen jeweils den Transistor 4010, der in dem Pixelabschnitt 4002 beinhaltet ist, und den Transistor 4011, der in der Abtastlinientreiberschaltung 4004 beinhaltet ist.

[0189] Bei diesem Ausführungsbeispiel kann ein beliebiger der bei Ausführungsbeispiel 1 beschriebenen Transistoren bei den Transistoren 4010 und 4011 zum Einsatz kommen. Eine Schwankung der elektrischen Eigenschaften der Transistoren 4010 und 4011 wird unterdrückt, und es sind die Transistoren 4010 und 4011 elektrisch stabil. Damit kann als Halbleitervorrichtungen des in **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** dargestellten Ausführungsbeispiels eine hochgradig zuverlässige Halbleitervorrichtung bereitgestellt werden.

[0190] Der Transistor 4011, der in der Abtastlinientreiberschaltung 4004 beinhaltet ist, weist eine Struktur auf, in der eine zweite Gate-Elektrode über einem Isolierfilm 4034 ausgebildet ist. Eine Spannung, die an der zweiten Gate-Elektrode anliegt, wird gesteuert, wodurch die Schwellenspannung des Transistors 4011 gesteuert werden kann.

[0191] Der Transistor 4010, der in dem Pixelabschnitt 4002 beinhaltet ist, ist elektrisch mit einem Anzeigeelement verbunden, um ein Anzeigepaneel zu bilden. Eine Mehrzahl von Anzeigeelementen kann als Anzeigeelement verwendet werden, solange nur eine Anzeige realisiert werden kann.

[0192] Ein Beispiel für eine Flüssigkristallanzeigevorrichtung unter Verwendung eines Flüssigkristallelementes als Anzeigeelement ist in **Fig. 10** dargestellt. Gemäß **Fig. 10** beinhaltet ein Flüssigkristallelement 4013, das ein Anzeigeelement ist, eine erste Elektrodenschicht 4030, eine zweite Elektrodenschicht 4031 und eine Flüssigkristallschicht 4008. Man beachte, dass die Isolierfilme 4032 und 4033, die als Ausrichtungsfilme wirken, derart vorgesehen sind, dass die Flüssigkristallschicht 4008 dazwischen angeordnet ist. Die zweite Elektrodenschicht 4031 ist an der dem zweiten Substrat 4006 zu eigenen Seite vorgesehen, und die erste Elektrodenschicht 4030 und die zweite Elektrodenschicht 4031 sind mit der dazwischen angeordneten Flüssigkristallschicht 4008 gestapelt.

[0193] Ein Abstandshalter 4035 ist ein säulenartiger Abstandshalter, den man durch selektives Ätzen eines Isolierfilmes erhält und der bereitgestellt wird, um die Dicke (Zellenspalt) der Flüssigkristallschicht 4008 zu steuern. Alternativ kann ein sphärischer Abstandshalter verwendet werden.

[0194] In dem Fall, in dem ein Flüssigkristallelement als Anzeigeelement verwendet wird, können ein thermotroper Flüssigkristall, ein niedrigmolekularer Flüssigkristall, ein hochmolekularer Flüssigkristall, ein poly-

merverteilter Flüssigkristall, ein ferroelektrischer Flüssigkristall, ein antiferroelektrischer Flüssigkristall oder dergleichen verwendet werden. Ein derartiges Flüssigkristallmaterial zeigt in Abhängigkeit von einer Bedingung eine cholesterische Phase, eine smektische Phase, eine kubische Phase, eine chiralnematische Phase, eine isotrope Phase oder dergleichen.

[0195] Alternativ kann ein Flüssigkristall verwendet werden, der eine blaue Phase aufweist, für die ein Ausrichtungsfilm unnötig ist. Eine blaue Phase ist eine der Flüssigkristallphasen, die genau dann erzeugt wird, bevor eine cholesterische Phase in eine isotrope Phase übergeht, während die Temperatur eines cholesterischen Flüssigkristalls zunimmt. Da die blaue Phase nur in einem schmalen Temperaturbereich auftritt, wird eine Flüssigkristallverbindung, in der einige Gewichtsprozent oder mehr eines chiralen Materials gemischt sind, für die Flüssigkristallschicht verwendet, um den Temperaturbereich zu verbessern. Die Flüssigkristallverbindung beinhaltet einen Flüssigkristall, der eine blaue Phase aufweist, wobei ein chirales Material eine kurze Reaktionszeit von 1 msec oder weniger sowie eine optische Isotropie aufweist, was zu der Ausschließung des Ausrichtungsprozesses und einer Verringerung der Sichtwinkelabhängigkeit beiträgt. Da zudem ein Ausrichtungsfilm nicht vorgesehen sein muss und eine Reibbehandlung ebenfalls überflüssig ist, kann eine elektrostatische Entladungsbeschädigung infolge der Reibbehandlung verhindert werden, und es können Defekte und eine Beschädigung der Flüssigkristallanzeigevorrichtung beim Herstellungsprozess verringert werden. Damit kann die Produktivität der Flüssigkristallanzeigevorrichtung vergrößert werden.

[0196] Die Resistivität bzw. der spezifische Widerstand des Flüssigkristallmaterials ist gleich $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, vorzugsweise einmal $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ oder mehr, besonders bevorzugt $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ oder mehr. Der Wert des spezifischen Widerstandes in dieser Beschreibung wird bei 20 °C gemessen.

[0197] Die Größe eines Speicher kondensators, der in der Flüssigkristallanzeigevorrichtung gebildet ist, wird in Anbetracht des Leckstromes des Transistors, der in dem Pixelbereich oder dergleichen bereitgestellt wird, derart eingestellt, dass eine Ladung für eine vorbestimmte Zeitspanne beibehalten werden kann. Unter Verwendung des Transistors, der den hochgradig reinen Oxidhalbleiterfilm beinhaltet, ist ausreichend, einen Speicher kondensator mit einer Kapazitanz bereitzustellen, die 1/3 oder weniger, vorzugsweise 1/5 oder einer Flüssigkristallkapazitanz eines jeden Pixels ist.

[0198] Bei dem bei diesem Ausführungsbeispiel verwendeten Transistor, der den hochgradig gereinigten Oxidhalbleiterfilm beinhaltet, kann der Strom in einem AUS-Zustand (AUS-Zustandsstrom) klein gemacht werden. Entsprechend kann ein elektrisches Signal, so beispielsweise ein Bildsignal, für eine längere Zeitspanne in dem Pixel gehalten werden, und es kann ein Schreibintervall länger in einem EIN-Zustand eingestellt werden. Daher kann die Frequenz des Erneuerungsvorganges verringert werden, was zu einem Effekt des Unterdrückens eines Leistungsverbrauches führt.

[0199] Daher kann der Transistor, der den hochgradig gereinigten Oxidhalbleiterfilm beinhaltet, der bei diesem Ausführungsbeispiel verwendet wird, eine vergleichsweise hohe Feldeffektmobilität aufweisen und daher mit hoher Geschwindigkeit arbeiten. Unter Verwendung des Transistors in einem Pixelabschnitt einer Flüssigkristallanzeigevorrichtung kann daher ein qualitativ hochwertiges Bild bereitgestellt werden. Da darüber hinaus die Transistoren separat in einem Treiberschaltungsabschnitt und einem Pixelabschnitt über einem Substrat bereitgestellt werden können, kann die Anzahl von Komponenten der Flüssigkristallvorrichtung verringert werden.

[0200] Für die Flüssigkristallanzeigevorrichtung verwendet werden können ein TN-Modus (Twisted Nematic TN), ein IPS-Modus (In-Plane-Switching IPS), ein FFS-Modus (Fringe Field Switching FFS), ein ASM-Modus (Axially Symmetrie Aligned Microcell ASM), ein OCB-Modus (Optical Compensated Birefringence OCB), ein FLC-Modus (Ferroelectric Liquid Crystal FLC), ein AFLC-Modus (Antiferroelectric Liquid Crystal AFLC) oder dergleichen.

[0201] Es wird normalerweise eine schwarze Flüssigkristallanzeigevorrichtung, so beispielsweise eine transmissive Flüssigkristallanzeigevorrichtung, bei der ein VA-Modus (Vertical Alignment VA, vertikale Ausrichtung) zum Einsatz kommt, bevorzugt. Der Vertikalausrichtungsmodus ist ein Verfahren zum Steuern einer Ausrichtung von Flüssigkristallmolekülen eines Flüssigkristallanzeigepaneels, in dem Flüssigkristallmoleküle vertikal zu einer Paneeloberfläche ausgerichtet sind, wenn keine Spannung anliegt. Es seien einige Beispiele für den Vertikalausrichtungsmodus angegeben: So können beispielsweise der MVA-Modus (Multi-Domain Vertical Alignment MVA, Multidomänenvertikalausrichtung), der PVA-Modus (Patterned Vertical Alignment PVA, gemusterte Vertikalausrichtung), der ASV-Modus (Advanced Super-View ASV) oder dergleichen eingesetzt werden. Darüber hinaus ist es möglich, ein Verfahren einzusetzen, das Domänenvervielfältigung

(domain multiplication) oder Multidomänendesign (multi-domain design) genannt wird, bei dem ein Pixel in einige Bereiche (Subpixel) unterteilt wird und Moleküle in verschiedenen Richtungen in ihren jeweiligen Bereichen ausgerichtet werden.

[0202] Bei der Anzeigevorrichtung sind je nach Bedarf eine schwarze Matrix (Licht blockierende Schicht), ein optisches Element (optisches Substrat), so beispielsweise ein Polarisierungselement, ein Verzögerungselement oder ein Antireflexionselement und dergleichen vorgesehen. Beispielsweise kann eine zirkulare Polarisierung mittels Verwenden eines polarisierenden Substrates und eines verzögernden Substrates erhalten werden. Darüber hinaus können ein Hintergrundlicht, ein Seitenlicht oder dergleichen als Lichtquelle verwendet werden.

[0203] Darüber hinaus ist es möglich, ein Zeitunterteilungsanzeigeverfahren (time-division display method) (auch feldsequenzielles Antriebsverfahren genannt) unter Verwendung einer Mehrzahl von Licht emittierenden Dioden (LEDs) als Hintergrundlicht einzusetzen. Durch Einsetzen eines feldsequenziellen Antriebsverfahrens kann eine Farbanzeige ohne Verwendung eines Farbfilters gebildet werden.

[0204] Als Anzeigeverfahren in dem Pixelabschnitt können ein progressives Verfahren, ein Interlace-Verfahren oder dergleichen eingesetzt werden. Des Weiteren ist man bei Farbelementen, die in einem Pixel zum Zeitpunkt der Farbanzeige gesteuert werden, nicht auf die drei Farben R, G und B beschränkt (R, G und B entsprechen Rot, Grün beziehungsweise Blau). So können beispielsweise R, G, B und W (W entspricht Weiß), R, G, B und eines oder mehrere von Gelb, Zyan, Magenta und dergleichen, oder auch anderes verwendet werden. Zudem können die Größen der Anzeigebereiche zwischen den jeweiligen Punkten von Farbelementen verschieden sein. Gleichwohl ist man bei einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung nicht auf eine Farbanzeigevorrichtung beschränkt. Es kann auch eine Monochromanzelgevorrichtung verwendet werden.

[0205] Alternativ kann als Anzeigeelement, das in der Anzeigevorrichtung beinhaltet ist, ein Licht emittierendes Element unter Nutzung der Elektrolumineszenz verwendet werden. Licht emittierende Elemente unter Nutzung der Elektrolumineszenz werden entsprechend dem Umstand klassifiziert, ob ein Licht emittierendes Material eine organische Verbindung oder eine anorganische Verbindung ist. Im Allgemeinen wird erstgenanntes als organisches EL-Element bezeichnet, während letztgenanntes als anorganisches EL-Element bezeichnet wird.

[0206] In einem organischen EL-Element werden durch Anlegen einer Spannung an einem Licht emittierenden Element Elektronen und Löcher separat von einem Paar von Elektroden in eine eine Licht emittierende organische Verbindung enthaltende Schicht injiziert, und es fließt ein Strom. Die Träger (Elektronen und Löcher) werden rekombiniert, weshalb die Licht emittierende organische Verbindung angeregt wird. Die Licht emittierende organische Verbindung kehrt von dem angeregten Zustand aus in den Grundzustand zurück, wobei Licht emittiert wird. Infolge dieses Mechanismus wird das Licht emittierende Element als Licht emittierendes Element mit Stromanregung bezeichnet.

[0207] Die anorganischen EL-Elemente werden entsprechend ihren Elementstrukturen in ein vom Dispersionsotyp seiendes anorganisches EL-Element und ein dünnfilmartiges anorganisches EL-Element unterteilt. Ein Transistor und ein Licht emittierendes Element sind über einem Substrat gebildet. Ein vom Dispersionsotyp seiendes anorganisches EL-Element weist eine Licht emittierende Schicht auf, in der Teilchen eines Licht emittierenden Materials in einem Bindemittel verteilt sind, wobei der zugehörige Lichtemissionsmechanismus eine Lichtemission vom Donor-Akzeptor-Rekombinationstyp ist, bei dem ein Donorniveau und ein Akzeptorniveau zum Einsatz kommen. Ein dünnfilmartiges anorganisches EL-Element weist eine Struktur auf, bei der eine Licht emittierende Schicht schichtartig zwischen den elektrischen Schichten eingeschlossen ist, die ihrerseits zwischen Elektroden eingeschlossen sind, wobei der zugehörige Lichtemissionsmechanismus eine Lichtemission vom lokalisierten Typ ist, bei der ein Innenschalenelektronenübergang von Metallionen auftritt. Man beachte, dass hier ein Beispiel für ein organisches EL-Element als Licht emittierendes Element beschrieben wird.

[0208] Um Licht aus der Emission von dem Licht emittierenden Element zu extrahieren, ist es hinnehmbar, solange nur wenigstens eine aus dem Paar von Elektroden transparent ist. Aufweisen kann das Licht emittierende Element eine obere Emissionsstruktur (top emission structure), bei der eine Lichtemissionen durch die Oberfläche entgegengesetzt bzw. gegenüberliegend zu dem Substrat extrahiert wird, eine untere Emissionsstruktur (bottom emission structure), bei der eine Lichtemission durch die Oberfläche auf der Substratseite extrahiert wird, oder eine duale Emissionsstruktur, bei der die Lichtemission durch die Oberfläche entgegen-

gesetzt bzw. gegenüberliegend zu der Oberfläche und die Oberfläche auf der Substratseite extrahiert wird, wobei ein Licht emittierendes Element mit einer beliebigen dieser Emissionsstrukturen zum Einsatz kommen kann.

[0209] Ein Beispiel für eine Licht emittierende Vorrichtung unter Verwendung eines Licht emittierenden Elementes als Anzeigeelement ist in **Fig. 11** dargestellt. Ein Licht emittierendes Element 4513, das ein Anzeigeelement ist, ist elektrisch mit dem Transistor 4010 verbunden, der in dem Pixelabschnitt 4002 vorgesehen ist. Eine Struktur des Licht emittierenden Elementes 4513 ist nicht auf die dargestellte Stapelschichtstruktur beschränkt, die die erste Elektrodenschicht 4030, eine elektrolumineszente Schicht 4511 und die zweite Elektrodenschicht 4031 beinhaltet. Die Struktur des lichtemittierenden Elementes 4513 kann je nach Bedarf in Abhängigkeit von einer Richtung geändert werden, in der Licht aus dem Licht emittierenden Element 4513 oder dergleichen extrahiert wird.

[0210] Eine Trennwand 4510 kann unter Verwendung eines organischen Isoliermaterials oder eines anorganischen Isoliermaterials gebildet werden. Es ist besonders bevorzugt, wenn die Trennwand 4510 unter Verwendung eines fotoempfindlichen Harzmaterials gebildet wird, sodass sie eine Öffnung über der ersten Elektrodenschicht 4030 derart aufweist, dass eine Seitenwand der Öffnung als gekippte Oberfläche mit kontinuierlicher Krümmung ausgebildet ist.

[0211] Die elektrolumineszente Schicht 4511 kann unter Verwendung einer Einzelschicht oder einer Mehrzahl von gestapelten Schichten gebildet werden.

[0212] Ein Schutzfilm kann über der zweiten Elektrodenschicht 4031 und der Trennwand 4510 gebildet werden, um das Eintreten von Sauerstoff, Wasserstoff, Feuchtigkeit, Kohlendioxid oder dergleichen in das Licht emittierende Element 4513 zu verhindern. Als Schutzfilm kann ein Siliziumnitridfilm, ein Siliziumnitridoxidfilm, ein DLC-Film oder dergleichen gebildet werden. Darüber hinaus ist in einem Raum, der mit dem ersten Substrat 4001, dem zweiten Substrat 4006 und dem Dichtmittel 4005 ausgebildet ist, ein Füllstoff 4514 zur Abdichtung vorgesehen. Es wird vorgezogen, wenn ein Paneel mit einem Schutzfilm (so beispielsweise einem Laminatfilm oder einem ultravioletten härtbaren Harzfilm) oder einem Deckmaterial mit hoher Luftdichtigkeit und kleiner Ausgasung gepackt (abgedichtet) ist, damit das Paneel nicht auf diese Weise der Umgebungsluft ausgesetzt ist.

[0213] Als Füllstoff 4514 können ein ultraviolettes härtbares Harz oder ein Thermosetting-Harz wie auch ein Inertgas wie Stickstoff oder Argon verwendet werden. Beispiele für ein derartiges Harz beinhalten Polyvinylchlorid (PVC), ein Acrylharz, ein Polyimidharz, ein Epoxidharz, ein Siliziumharz, Polyvinylbutyral (PVB) und Ethylenvinylazetat (EVA). Stickstoff wird beispielsweise als Füllstoff verwendet.

[0214] Darüber hinaus können je nach Bedarf ein optischer Film, so beispielsweise eine polarisierende Platte, eine zirkular polarisierende Platte (beinhaltend eine elliptisch polarisierende Platte), eine Verzögerungsplatte (eine $\lambda/4$ -Platte oder eine $\lambda/2$ -Platte) oder ein Farbfilter bedingungsabhängig an einer Licht emittierenden Oberfläche des Licht emittierenden Elementes vorgesehen sein. Des Weiteren können die polarisierende Platte oder die zirkular polarisierende Platte mit einem Antireflexionsfilm versehen sein. Es kann eine Antiglanzbehandlung, durch die reflektiertes Licht durch Vorsprünge und Vertiefungen an der Oberfläche diffundiert wird, um so das Glänzen zu verringern, durchgeführt werden.

[0215] Des Weiteren kann elektronisches Papier, in dem eine elektronische Tinte betrieben wird, als Anzeigevorrichtung vorgesehen sein. Das elektronische Papier wird auch als elektrophoretische Anzeigevorrichtung (elektrophoretische Anzeige) bezeichnet und ist dahingehend von Vorteil, dass es dasselbe Niveau an Lesbarkeit wie normales Papier aufweist, jedoch einen niedrigeren Energieverbrauch als andere Anzeigevorrichtungen aufweist sowie dünn und mit geringem Gewicht ausgebildet werden kann.

[0216] Eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung kann verschiedene Modi aufweisen. Eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung enthält eine Mehrzahl von Mikrokapseln, die in einem Lösungsmittel oder einem gelösten Stoff verteilt sind, wobei jede Mikrokapsel erste Teilchen, die positiv geladen sind, und zweite Teilchen, die negativ geladen sind, enthält. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes an den Mikrokapseln bewegen sich die Teilchen in den Mikrokapseln in zueinander entgegengesetzte Richtungen, wobei nur die Farbe der Teilchen, die sich auf einer Seite versammeln, angezeigt wird. Man beachte, dass die ersten Teilchen und die zweiten Teilchen dann jeweils ein Pigment beinhalten und sich nicht ohne elektrisches Feld bewegen. Darüber hinaus weisen die ersten Teilchen und die zweiten Teilchen verschiedene Farben auf (die auch farblos sein können).

[0217] Damit ist eine elektrophoretische Anzeigevorrichtung eine Anzeigevorrichtung, die den sogenannten dielektronischen Effekt nutzt, bei dem sich eine Substanz mit hoher dielektrischer Konstante zu einem Bereich mit hohem elektrischem Feld bewegt.

[0218] Eine Lösung, bei der die vorgenannten Mikrokapseln in einem Lösungsmittel verteilt sind, wird als elektronische Tinte (electronic ink) bezeichnet. Diese elektronische Tinte kann auf eine Oberfläche wie Glas, Kunststoff, Stoff, Papier oder dergleichen gedruckt sein. Des Weiteren kann durch Verwenden eines Farbfilters oder von Teilchen, die ein Pigment aufweisen, ebenfalls eine Farbanzeige realisiert werden.

[0219] Man beachte, dass die ersten Teilchen und die zweiten Teilchen in den Mikrokapseln jeweils aus einem einzelnen Material gebildet sein können, das aus einem leitfähigen Material, einem Isoliermaterial, einem Halbleitermaterial, einem Magnetmaterial, einer Flüssigkristallmaterial, einem ferroelektrischen Material, einem elektrolumineszenten Material, einen elektrochromen Material und einem magnetophoretischen Material ausgewählt sein können, oder aus einem zusammengesetzten Material aus einem beliebigen der genannten Materialien gebildet sein können.

[0220] Als elektronisches Papier kann eine Anzeigevorrichtung unter Verwendung eines Twisting-Ball-Anzeigesystems verwendet werden. Das Twisting-Ball-Anzeigesystem bezeichnet ein Verfahren, bei dem sphärische Teilchen mit jeweiliger Färbung in Schwarz und Weiß zwischen einer ersten Elektrodenschicht und einer zweiten Elektrodenschicht angeordnet sind, die Elektrodenschichten sind, die für ein Anzeigeelement verwendet werden, wobei eine Potenzialdifferenz zwischen der ersten Elektrodenschicht und der zweiten Elektrodenschicht erzeugt wird, um die Orientierung der sphärischen Teilchen zu steuern, damit die Anzeige verwirklicht wird.

[0221] **Fig. 12** zeigt elektronisches Papier mit Aktivmatrix als ein Ausführungsbeispiel einer Halbleitervorrichtung. Das elektronische Papier in **Fig. 12** ist ein Beispiel für eine Anzeigevorrichtung unter Verwendung eines Twisting-Ball-Anzeigesystems.

[0222] Vorgesehen sind zwischen der ersten Elektrodenschicht 4030, die mit dem Transistor 4010 verbunden ist, und der zweiten Elektrodenschicht 4031, die auf dem zweiten Substrat 4006 vorgesehen ist, sphärische Teilchen 4613, die jeweils einen schwarzen Bereich 4615a, einen weißen Bereich 4615b und einen Hohlraum 4612 aufweisen, der mit Flüssigkeit um den schwarzen Bereich 4615a und den weißen Bereich 4615b herum gefüllt ist. Ein Raum um die sphärischen Teilchen 4613 herum ist mit einem Füllstoff 4614, so beispielsweise Harz, gefüllt. Die zweite Elektrodenschicht 4031 entspricht einer allgemeinen Elektrode (Gegenelektrode bzw. Counter-Elektrode). Die zweite Elektrodenschicht 4031 ist elektrisch mit einer gemeinsamen Potenzialleitung verbunden.

[0223] Man beachte, dass in **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** ein flexibles Substrat wie auch ein Glassubstrat als erstes Substrat 4001 und zweites Substrat 4006 verwendet werden können. So kann beispielsweise ein Licht transmittierendes Kunststoffsubstrat oder dergleichen verwendet werden. Als Kunststoff können eine FRP-Platte (Fiberglass-Reinforced Plastics FRP, mit Faserglas bzw. Fiberglas verstärkter Kunststoff), ein PVF-Film (Polyvinylfluorid PVF), ein Polyesterfilm oder ein Acrylharzfilm verwendet werden. Darüber hinaus kann ein Blatt bzw. Bogen mit einer Struktur verwendet werden, bei der eine Aluminiumfolie zwischen PVF-Filmen oder Polyesterfilmen schichtartig eingeschlossen ist.

[0224] Eine isolierende Schicht 4021 kann unter Verwendung eines anorganischen Isoliermaterials oder eines organischen Isoliermaterials gebildet werden. Man beachte, dass die Isolierschicht 4021, die unter Verwendung eines wärmebeständigen organischen Isoliermaterials wie Acrylharz, Polyimidharz, Benzocyclobutenharp, Polyamidharz oder Epoxidharz gebildet ist, vorzugsweise als planarisierender Isolierfilm verwendet wird. Über diese organischen isolierenden Materialien hinaus ist es möglich, ein eine niedrige dielektrische Konstante aufweisendes Material (niedriges k aufweisendes Material), ein siloxanbasiertes Harz, Phosphosilikatglas (PSG), Borophosphosilikatglas (BPSG) oder dergleichen zu verwenden. Die isolierende Schicht kann durch Stapeln einer Mehrzahl von isolierenden Filmen, die aus diesen Materialien gebildet sind, gebildet werden.

[0225] Es gibt keine spezielle Beschränkung hinsichtlich des Verfahrens zum Bilden der Isolierschicht 4021, und es kann die Isolierschicht in Abhängigkeit vom Material durch ein Sputerverfahren, ein Spin-Beschichtungsverfahren, ein Tauchverfahren, ein Sprühbeschichten, ein Tröpfchenabgabeverfahren (beispielsweise ein Tintenstrahlverfahren oder dergleichen), ein Druckverfahren (beispielsweise Siebdrucken, Offsetdrucken

oder dergleichen), Walzbeschichten, Vorhangbeschichten, Rakel- bzw. Klingenbeschichten und dergleichen gebildet werden.

[0226] Die Anzeigevorrichtung zeigt ein Bild mittels Transmittieren von Licht von einer Lichtquelle oder einem Anzeigeelement. Damit weisen die Substrate und die Dünnfilme, so beispielsweise die Isolierfilme und die leitfähigen Filme, die in dem Pixelabschnitt, in dem Licht transmittiert wird, vorgesehen sind, Lichttransmissionseigenschaften in Bezug auf das Licht im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes auf.

[0227] Die erste Elektrodenschicht 4030 und die zweite Elektrodenschicht 4031 (von denen jede Pixelelektrodenschicht, gemeinsame Elektrodenschicht, Gegenelektrodenschicht oder der gleichen genannt werden kann) zum Anlegen einer Spannung an dem Anzeigeelement kann Licht transmittierende Eigenschaften oder Licht reflektierende Eigenschaften aufweisen, was von der Richtung, in der das Licht extrahiert wird, der Position, in der die Elektrodenschicht vorgesehen ist, der Musterstruktur der Elektrodenschicht und der gleichen mehr abhängt.

[0228] Die erste Elektrodenschicht 4030 und die zweite Elektrodenschicht 4031 können unter Verwendung eines Licht transmittierenden leitfähigen Materials gebildet werden, so beispielsweise Indiumoxid, das Wolframoxid enthält, Indiumzinkoxid, das Wolframoxid enthält, Indiumoxid, das Titanoxid enthält, Indiumzinnoxid, das Titanoxid enthält, Indiumzinnoxid (nachstehend als ITO bezeichnet), Indiumzinkoxid oder Indiumzinnoxid, dem Siliziumoxid zugesetzt ist.

[0229] Die erste Elektrodenschicht 4030 und die zweite Elektrodenschicht 4031 können aus einer oder mehreren Arten von Materialien gebildet sein, die aus Metallen wie 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 ausgewählt sind.

[0230] Eine leitfähige Verbindung, die ein leitfähiges hohes Molekül (auch als leitfähiges Polymer bezeichnet) aufweist, kann für die erste Elektrodenschicht 4030 und die zweite Elektrodenschicht 4031 verwendet werden. Als leitfähiges hohes Moleköl kann ein sogenanntes π -Elektronen-konjugiertes leitfähiges Polymer verwendet werden. Polyanilin oder ein Derivativ hiervon, Popypyrol oder ein Derivativ hiervon, Polythiophen oder ein Derivativ hiervon und ein Kopolymer von zweien oder mehreren von Anilin, Pyrrol, Thiophen oder einem Derivativ hiervon können beispielsweise gegeben sein.

[0231] Da der Transistor infolge der statischen Elektrizität oder dergleichen leicht gebrochen werden kann, ist vorzugsweise eine Schutzschaltung zum Schützen der Treiberschaltung vorgesehen. Die Schutzschaltung wird vorzugsweise unter Verwendung eines nichtlinearen Elementes gebildet.

[0232] Wie vorstehend beschrieben worden ist, kann unter Verwendung eines beliebigen der bei Ausführungsbeispiel 1 beschriebenen Transistoren eine Halbleitervorrichtung mit hoher Zuverlässigkeit bereitgestellt werden. Man beachte, dass die bei Ausführungsbeispiel 1 beschriebenen Transistoren nicht nur bei Halbleitervorrichtungen mit den vorbeschriebenen Anzeigefunktionen zum Einsatz kommen können, sondern auch bei Halbleitervorrichtungen mit einer Vielzahl von Funktionen, so beispielsweise einer Leistungsvorrichtung, die an einer Leistungsversorgungsspannung hängt, einer halbleiterintegrierten Schaltung, so beispielsweise einer LSI, und einer Halbleitervorrichtung mit Bildsensorfunktion zum Lesen eines Objektes.

[0233] Die Verfahren und Strukturen aus der Beschreibung bei diesem Ausführungsbeispiel können je nach Bedarf mit beliebigen Verfahren und Strukturen aus der Beschreibung bei den anderen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

Ausführungsbeispiel 3

[0234] Eine Halbleitervorrichtung, die in dieser Druckschrift und dergleichen offenbart ist, kann bei einer Vielzahl von elektronischen Vorrichtungen (einschließlich Spielgeräten) verwendet werden. Beispiele für elektronische Vorrichtungen sind ein Fernsehgerät (auch als Fernseher oder Fernsehempfänger bezeichnet), ein Monitor eines Computers oder dergleichen, eine Kamera, so beispielsweise eine digitale Kamera oder eine digitale Videokamera, ein digitaler Fotorahmen, ein Mobiltelefonhandgerät (auch als Mobiltelefon oder Mobiltelefonvorrichtung bezeichnet), ein tragbares Spielgerät, ein tragbares Informationsendgerät, eine Audiowiedergabevorrichtung, eine großformatiges Spielgerät, so beispielsweise eine Pachinko-Maschine, dergle-

chen. Beispiele für elektronische Vorrichtungen, die jeweils die Flüssigkristallanzeigevorrichtung beinhalten, die beim vorstehenden Ausführungsbeispiel beschrieben worden ist, werden nachstehend beschrieben.

[0235] **Fig.** 13A zeigt einen Laptop-PC, der einen Hauptkörper 3001, ein Gehäuse 3002, einen Anzeigeabschnitt 3003, eine Tastatur 3004 und dergleichen beinhaltet. Durch Einsetzen der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann der Laptop-PC eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen.

[0236] **Fig.** 13B zeigt einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA), der einen Anzeigeabschnitt 3023, eine externe Schnittstelle 3025, einen Betätigungsbutton 3024 und dergleichen in dem Hauptkörper 3021 aufweist. Ein Stift 3022 ist als Zubehörteil zur Betätigung beinhaltet. Durch Anwenden der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann der tragbare digitale Assistent (PDA) eine höhere Zuverlässigkeit aufweisen.

[0237] **Fig.** 13C zeigt ein Beispiel für ein E-Book-Lesegerät. Ein E-Book-Lesegerät 2700 beinhaltet beispielsweise zwei Gehäuse, nämlich ein Gehäuse 2701 und ein Gehäuse 2703. Das Gehäuse 2701 und das Gehäuse 2703 sind durch ein Scharnier 2711 derart miteinander kombiniert, dass das E-Book-Lesegerät 2700 mit dem Scharnier 2711 als Achse geöffnet und geschlossen werden kann. Bei einer derartigen Struktur kann das E-Book-Lesegerät 2700 wie ein gewöhnliches Buch aus Papier wirken.

[0238] Ein Anzeigeabschnitt 2705 und ein Anzeigeabschnitt 2707 sind in dem Gehäuse 2701 beziehungsweise dem Gehäuse 2703 integriert. Der Anzeigeabschnitt 2705 und der Anzeigeabschnitt 2707 können ein Bild oder verschiedene Bilder anzeigen. In dem Fall, in dem der Anzeigeabschnitt 2705 und der Anzeigeabschnitt 2707 verschiedene Bilder aufweisen können, kann beispielsweise ein Anzeigeabschnitt auf der rechten Seite (Anzeigeabschnitt 2705 in **Fig.** 13C) Text anzeigen, während ein Anzeigeabschnitt auf der linken Seite (Anzeigeabschnitt 2707 in **Fig.** 13C) Bilder anzeigen kann. Durch Verwenden der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann das E-Book-Lesegerät 2700 eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen.

[0239] In **Fig.** 13C beinhaltet das Gehäuse 2701 einen Bedienknopf und dergleichen bei einem Beispiel. So ist beispielsweise das Gehäuse 2701 mit einem Leistungsschalter 2721, Bedientasten 2723, einem Lautsprecher 2725 und dergleichen versehen. Mit den Bedientasten 2723 kann umgeblättert werden. Man beachte, dass eine Tastatur, eine Zeigervorrichtung oder dergleichen ebenfalls an der Oberfläche des Gehäuses, auf der der Anzeigeabschnitt vorgesehen ist, bereitgestellt sein kann. Des Weiteren können ein externes Anschlussendgerät (ein Ohrhörerendgerät, ein USB-Endgerät oder dergleichen), ein Aufzeichnungsmediumführabschnitt und dergleichen an der hinteren Oberfläche oder der Seitenoberfläche des Gehäuses vorgesehen sein. Darüber hinaus kann das E-Book-Lesegerät 2700 eine Funktion eines elektronischen Wörterbuches aufweisen.

[0240] Das E-Book Lesegerät 2700 kann eine Ausgestaltung aufweisen, die zum drahtlosen Senden und Empfangen von Daten geeignet ist. Mittels Drahtloskommunikation können gewünschte Buchdaten oder dergleichen erworben und von einem E-Book-Server heruntergeladen werden.

[0241] **Fig.** 13D zeigt ein Smartphone, das ein Gehäuse 2800, einen Knopf 2801, ein Mikrofon 2802, einen Anzeigeabschnitt 2803 mit einem Touchpanel, einen Lautsprecher 2804 und eine Kameralinse 2805 beinhaltet und als Mobiltelefon arbeitet. Durch Verwenden der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann das Smartphone eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen.

[0242] Die Anzeigerichtung des Anzeigeabschnittes 2803 kann in Abhängigkeit vom Nutzungsmuster geändert werden. Da die Kameralinse 2805 in derselben Ebene wie der Anzeigeabschnitt 2803 vorgesehen ist, ist Videophonie möglich. Der Lautsprecher 2804 und das Mikrofon 2802 können für Vorgänge wie Videoanrufe, Tonaufzeichnung und Abspielen - jedoch ohne Beschränkung auf eine Sprachanruffunktion - verwendet werden.

[0243] Ein externer Verbindungsanschluss 2806 kann mit einem AC-Adapter und verschiedenen Typen von Kabeln, so beispielsweise einem USB-Kabel, verbunden werden, wobei das Laden und die Datenkommunikation mit einem PC möglich ist. Des Weiteren kann eine große Datenmenge durch Einführen eines Speichermediums in den externen Speicherschlitz (nicht gezeigt) gespeichert und bewegt werden.

[0244] Des Weiteren kann zusätzlich zu den vorgenannten Funktionen eine Infrarotkommunikationsfunktion, eine Fernseherempfängerfunktion oder dergleichen vorgesehen sein.

[0245] **Fig.** 13E zeigt eine digitale Videokamera, die einen Hauptkörper 3051, einen Anzeigeabschnitt 3057, ein Okular 3053, einen Betätigungsenschalter 3054, einen Anzeigeabschnitt B 3055, eine Batterie 3056 und dergleichen beinhaltet. Durch Verwenden der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann die digitale Videokamera eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen.

[0246] **Fig.** 13F zeigt ein Beispiel für ein Fernsehgerät. Bei einem Fernsehgerät 9600 ist ein Anzeigeabschnitt 9603 in einem Gehäuse 9601 integriert. Der Anzeigeabschnitt 9603 kann Bilder anzeigen. Hierbei wird das Gehäuse 9601 von einem Ständer bzw. Gestell 9605 getragen. Durch Verwenden der bei Ausführungsbeispiel 1 oder 2 beschriebenen Halbleitervorrichtung kann das Fernsehgerät 9600 eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen.

[0247] Das Fernsehgerät 9600 kann durch einen Bedienschalter des Gehäuses 9601 oder eine separate Fernbedienung betätigt werden. Des Weiteren kann die Fernbedienung mit einem Anzeigeabschnitt zum Anzeigen von Daten, die von der Fernbedienung ausgegeben werden, versehen sein.

[0248] Man beachte, dass das Fernsehgerät 9600 mit einem Empfänger, einem Modem und dergleichen versehen ist. Unter Verwendung des Empfängers kann der gängige Fernsehrundfunk empfangen werden. Wenn darüber hinaus die Anzeigevorrichtung drahtgebunden oder drahtlos mit einem Kommunikationsnetzwerk über das Modem verbunden ist, kann ein monodirektonaler (von einem Sender zu einem Empfänger) oder ein bidirektonaler (zwischen einem Sender und einem Empfänger oder zwischen Empfängern) Informationsaustausch durchgeführt werden.

[0249] Die bei diesem Ausführungsbeispiel beschriebenen Verfahren und Strukturen können je nach Bedarf mit den Verfahren und Strukturen aus der Beschreibung bei den anderen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

Beispiel 1

[0250] Bei diesem Beispiel werden Ergebnisse einer SIMS-Messung der Konzentration von Silizium, das in einem Oxidtarget beinhaltet ist, beschrieben.

[0251] Zunächst werden Oxidtargets, die bei diesem Beispiel verwendet werden, beschrieben.

[0252] Als Probe A wurde ein In-Ga-Zn-basiertes Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 2 : 1 : 3$) verwendet. Als Probe B wurde ein In-Ga-Zn-basiertes Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 3 : 1 : 2$) verwendet. Als Probe C wurde ein In-Sn-Zn-basiertes Oxid (mit einem Atomverhältnis von $In : Sn : Zn = 2 : 1 : 3$) verwendet. Darüber hinaus wurde als Standardprobe D ein In-Ga-Zn-basiertes Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$) verwendet, dem Silizium zugesetzt war.

[0253] Eine SIMS-Messung wurde an Probe A, Probe B, Probe C und Standardprobe D durchgeführt, wobei die Konzentration des Siliziums, das in jeder Probe beinhaltet war, gemessen wurde.

[0254] **Fig.** 14 zeigt Ergebnisse einer SIMS-Messung von Proben A bis C und von Standardprobe D.

[0255] Wie aus **Fig.** 14 ersichtlich ist, ist die Konzentration von Silizium in Probe A gleich 4×10^{18} Atome/cm³, die Konzentration von Silizium in Probe B ist gleich 3×10^{17} Atome/cm³, die Konzentration von Silizium in Probe C ist gleich 2×10^{17} Atome/cm³, und die Konzentration von Silizium in der Standardprobe D ist gleich 2×10^{18} Atome/cm³. Beachte, dass die Ergebnisse der SIMS-Messung von Proben A bis C unter Verwendung der Standardprobe D quantifiziert wurden.

[0256] In dem Fall, in dem ein Oxidhalbleiterfilm unter Verwendung einer beliebigen der Proben A bis C sowie der Standardprobe D aufgebracht wurde, können die vorstehenden Daten als Material zur Abschätzung dafür verwendet werden, ob ein Silizium, das kein Silizium in einem Target ist (beispielsweise Silizium, das aus einem Isolierfilm heraus durch Mischen in den Oxidhalbleiterfilm eingetreten ist) in dem Oxidhalbleiterfilm enthalten ist oder nicht.

[0257] In dem Fall beispielsweise, in dem in einem Oxidhalbleiterfilm mit Aufbringung unter Verwendung von Probe A (Oxidtarget mit einem Atomverhältnis von $In : Ga : Zn = 2 : 1 : 3$) als Target die Konzentration von Silizium in dem Film höher als 4×10^{18} Atome/cm³ ist, hat man herausgefunden, dass Silizium von einem Abschnitt aus, der nicht das Target ist, in den Oxidhalbleiterfilm eintritt.

Beispiel 2

[0258] Das vorstehende Ausführungsbeispiel beschreibt, dass das Eintreten eines Elementes, das ein konstituierendes Element eines Isolierfilms ist, in einen Oxidhalbleiterfilm durch ein Mischen bewirkt wird, das bei der Aufbringung des Oxidhalbleiterfilms auftritt. Als weiterer Grund kann jedoch in Erwägung gezogen werden, dass ein Element, das ein konstituierendes Element eines Isolierfilms ist, in den Oxidhalbleiterfilm durch Erwärmen eines Substrates nach der Aufbringung des Oxidhalbleiterfilms diffundiert. Bei diesem Beispiel wird daher ein Experiment zur Untersuchung dessen beschrieben, ob das Eintreten eines Elementes, das ein konstituierendes Element eines Isolierfilms ist, in einen Oxidhalbleiterfilm durch thermische Diffusion bewirkt wird.

[0259] Für das Experiment wurden zunächst drei Substrate (über jedem der Substrate wurden ein Isolierfilm und ein Oxidhalbleiterfilm gebildet) präpariert. Sodann wurden eine Probe, die keiner Wärmebehandlung (nachstehend als Probe E bezeichnet) unterzogen wurde, eine Probe, die einer Wärmebehandlung bei 450 °C (nachstehend als Probe F bezeichnet) unterzogen wurde, und eine Probe, die einer Wärmebehandlung bei 650 °C (nachstehend als Probe G bezeichnet) hergestellt. Anschließend wurde in jeder Probe die Konzentration von Silizium in den Oxidhalbleiter in der Umgebung einer Grenzfläche mit dem Gate-Isolierfilm unter Verwendung eines ToF-SIMS (Time-Of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometer ToF-SIMS, Sekundärionenmassenspektrometer mit Nutzung der Flugzeit) gemessen.

[0260] Eine Struktur einer Probe mit Verwendung für eine ToF-SIMS-Messung ist in **Fig. 15** dargestellt.

[0261] Die in **Fig. 15** dargestellte Probe erhielt man mittels Aufbringen eines Siliziumoxidfilms 202 über einem Siliziumsubstrat 20, Verbessern der Planarität einer Oberfläche unter Verwendung eines CMP-Gerätes (Chemical-Mechanical Polishing CMP, chemisch-mechanisches Polieren), Aufbringen eines IGZO-Filmes 204 und Durchführen einer Wärmebehandlung.

[0262] Der Siliziumoxidfilm 202 wurde mit einem Sputtergerät aufgebracht. Die Bedingungen zum Aufbringen des Siliziumoxidfilms 202 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 100 °C; Gasflussrate Ar/O₂ = 25 sccm/25 sccm; Aufbringleistung: 1,5 kW (Hochfrequenzleistungsversorgung); Aufbringdruck: 0,4 Pa; und Dicke: 100 nm. Als Sputtertarget wurde ein Siliziumoxidtarget verwendet. Man beachte, dass vor der Bildung des Siliziumoxidfilms 202 ein auf der Oberfläche des Siliziumsubstrates 200 gebildeter Oxidfilm unter Verwendung von verdünnter Fluorwasserstoffssäure entfernt wurde.

[0263] Der IGZO-Film 204 wurde mit einem Sputtergerät aufgebracht. Die Bedingungen zum Aufbringen des IGZO-Filmes 204 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 200 °C, Gasflussrate Ar/O₂ = 30 sccm/25 sccm; Aufbringleistung: 0,5 kW (Gleichstromleistungsversorgung); Aufbringdruck: 0,4 Pa; und Dicke: 15 nm. Man beachte, dass als Sputtertarget ein Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 3 : 1 : 2) verwendet wurde.

[0264] Das Substrat wurde in einen Elektroofen eingeleitet, in dem ein Widerstandserwärmer oder dergleichen zum Einsatz kam, woraufhin die Wärmebehandlung durchgeführt wurde. Die Behandlungsbedingungen von Probe F waren folgendermaßen: Erwärmungstemperatur 450 °C; Erwärmungszeit: eine Stunde. Die Behandlungsbedingungen von Probe G waren folgendermaßen: Erwärmungstemperatur 650 °C; Erwärmungszeit: eine Stunde. Man beachte, dass die Erwärmungsatmosphäre von beiden Proben eine Mischartmosphäre aus Sauerstoff und Stickstoff war. Probe E wurde keiner Wärmebehandlung unterzogen.

[0265] Als Nächstes wurden die Proben E bis G einer ToF-SIMS-Messung von der Substratoberflächenseite (auf der dem IGZO-Film 204 zu eigenen Seite) unterzogen, sodass die Konzentration von Silizium in dem IGZO-Film in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Siliziumoxidfilm gemessen wurde. **Fig. 16** zeigt die Ergebnisse hiervon.

[0266] Die in **Fig. 16** gezeigten Ergebnisse geben an, dass bei allen Proben die Konzentration von Silizium in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Siliziumoxidfilm größer als 3×10^{17} Atom-e/cm³ ist, wobei der Wert hiervon die Konzentration des Siliziums ist, das in dem In-Ga-Zn-basierten Oxidtarget (mit dem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 3 : 1 : 2), wie es bei Beispiel 1 beschrieben ist, beinhaltet ist. Damit hat man herausgefunden, dass das in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der Grenzfläche mit dem Siliziumoxidfilm gemessene Silizium nicht aus dem In-Ga-Zn-basierten Oxidtarget stammt.

[0267] Darüber hinaus wurde, wie aus **Fig. 16** ersichtlich ist, ein merklicher Unterschied der Steigung der Konzentration von Silizium (auch als Siliziumkonzentrationsgradient bezeichnet) in dem IGZO-Film in der Umgebung der Grenzfläche zwischen der Probe, die keiner Wärmebehandlung unterzogen worden war (Probe E), und den Proben, die einer Wärmebehandlung unterzogen worden waren (Probe F und Probe G) nicht beobachtet. Damit wird das Eintreten eines Elementes, das ein konstituierendes Element des Isolierfilms ist, in den Oxidhalbleiterfilm nicht durch eine thermische Diffusion, sondern durch Mischen bewirkt.

Beispiel 3

[0268] Es wurde ein Experiment durchgeführt, um zu untersuchen, ob das Eintreten eines konstituierenden Elementes eines Isolierfilms in einen Oxidhalbleiterfilm, das durch Mischen bewirkt wird, mittels Verringern der Leistung zur Aufbringung des Oxidhalbleiterfilms unterdrückt werden kann. Bei diesem Beispiel wird das Experiment beschrieben.

[0269] Bei dem Experiment wurden vier Proben auf folgende Weise hergestellt. Zunächst wurden Isolierfilme über Substraten gebildet; es wurden vier Oxidhalbleiterfilme über den jeweiligen Isolierfilmen unter verschiedenen Leistungsbedingungen (1 kW, 5 kW, 9 kW und (1 kW + 5 kW)) aufgebracht; und es wurde eine Wärmebehandlung an jedem Substrat durchgeführt. Sodann wurde die Konzentration von Silizium in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung einer Grenzfläche zu einem Gate-Isolierfilm einer jeden Probe mittels eines ToF-SIMS-Verfahrens gemessen.

[0270] **Fig. 17** zeigt eine Struktur der für die ToF-SIMS-Messung verwendeten Probe.

[0271] Die Probe gemäß Darstellung in **Fig. 17** erhielt man mittels Aufbringen eines Siliziumoxynitridfilmes 302 über einem Substrat 300, Aufbringen eines IGZO-Filmes 304 und Durchführen einer Wärmebehandlung.

[0272] Der Siliziumoxynitridfilm 302 wurde unter Verwendung einer CVD-Gerätes mit hochdichtem Plasma aufgebracht. Die Bedingungen zur Aufbringung des Siliziumoxynitridfilmes 302 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 325 °C; Gasflussrate SiH₄/N₂O/Ar = 200 sccm; 2500 sccm; 2500 sccm; Aufbringleistung 5 kW (Es wurden vier Mikrowellenleistungsquellen für die jeweiligen Proben verwendet); Aufbringdruck: 30 Pa; Dicke: 100 nm. Man beachte, dass die Oberfläche des Gassubstrates 300 gereinigt wurde, um Teilchen und dergleichen vor der Bildung des Siliziumoxynitridfilmes 302 zu entfernen.

[0273] Der IGZO-Film 304 wurde unter Verwendung eines Sputtergerätes aufgebracht. Die Bedingungen zur Aufbringung des IGZO-Filmes 304 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 170 °C; Gasflussrate: Ar/O₂ = 100 sccm/100 sccm; Aufbringdruck: 0,6 Pa; Dicke: 35 nm; Aufbringleistung: vier Bedingungen von 1 kW, 5 kW, 9 kW und (1 kW + 5 kW) (Es wurde eine Wechselstromleistungsquelle für jede Probe verwendet). Man beachte, dass als Sputtertarget ein Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1) verwendet wurde.

[0274] Man beachte, dass die vorbeschriebene Aufbringleistung „1 kW + 5 kW“ ausdrückt, dass eine Leistung von 1 kW für eine Aufbringung eines 5 nm dicken Filmes aufgewandt wurde, woraufhin eine Leistung von 5 kW für die Aufbringung eines 30 nm dicken Filmes aufgewandt wurde. Nachstehend wird die Probe, bei der ein Oxidhalbleiterfilm mit 9 kW aufgebracht wurde, als Probe H bezeichnet, die Probe, bei der ein Oxidhalbleiterfilm mit 5 kW aufgebracht wurde, wird als Probe I bezeichnet, die Probe, bei der ein Oxidhalbleiterfilm mit 1 kW aufgebracht wurde, wird als Probe J bezeichnet, und die Probe, bei der ein Oxidhalbleiterfilm mit (1 kW + 5 kW) aufgebracht wurde, wird als Probe K bezeichnet.

[0275] Die Substrate wurden in einen Elektroofen unter Verwendung eines Widerstandserwärmers oder dergleichen eingeleitet, und es wurde eine Wärmebehandlung durchgeführt. Die Wärmebehandlung wurde zunächst für eine Stunde bei einer Temperatur von 450 °C in einer N₂-Atmosphäre durchgeführt, woraufhin sie für eine Stunde bei einer Temperatur von 650 °C in einer (N₂ + O₂)-Atmosphäre durchgeführt wurde.

[0276] Als Nächstes wurden die Proben H bis K einer ToF-SIMS-Messung von der Substratoberfläche zu eigenen Seite her (die dem IGZO-Film 304 zu eigene Seite) unterzogen, um die Siliziumkonzentration in dem IGZO-Film in der Umgebung einer Grenzfläche zu dem Siliziumoxynitridfilm zu messen. Die Ergebnisse sind in **Fig. 18A** und **18B** gezeigt. Man beachte, dass **Fig. 18B** einen vergrößerten Teil von **Fig. 18A** zeigt.

[0277] Aus **Fig. 18A** und **18B** ist ersichtlich, dass bei allen Proben die Siliziumkonzentration in dem IGZO-Film in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Siliziumoxynitridfilm größer als 2×10¹⁸ Atome/cm³ ist, wobei

der Wert hiervon die Siliziumkonzentration in dem In-Ga-Zn-basierten Oxidtarget (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1), wie es bei Beispiel 1 beschrieben ist, ist. Damit röhrt der Wert aus der Messung in dem IGZO-Film in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Siliziumoxynitridfilm nicht von dem In-Ga-Zn-basierten Oxidtarget her.

[0278] Darüber hinaus nimmt, wie aus **Fig. 18A** und **18B** ersichtlich ist, die Konzentration des Siliziums in dem IGZO-Film in der Umgebung zu der Grenzfläche zu dem Siliziumoxynitridfilm tendenziell ab, wenn die Aufbringleistung abnimmt. Entsprechend dem Vorgeschriebenen kann das Eintreten eines konstituierenden Elementes des isolierenden Filmes in den Oxidhalbleiterfilm, das durch Mischung verursacht wird, mittels Absenken der Leistung zum Aufbringen des Oxidhalbleiterfilmes unterdrückt werden.

[0279] Des Weiteren sind die Siliziumkonzentrationen von Probe J und Probe K im Wesentlichen gleich, was bedeutet, dass das Eintreten eines konstituierenden Elementes des isolierenden Filmes in den Oxidhalbleiterfilm, das durch Mischung bewirkt ist, sogar dann unterdrückt werden kann, wenn eine Aufbringung des Oxidhalbleiterfilmes in der Anfangsphase mit einer niedrigen Leistung durchgeführt wird, woraufhin der Rest der Aufbringung mit erhöhter Leistung durchgeführt wird.

Beispiel 4

[0280] Bei diesem Beispiel werden die Messergebnisse von Kristallzuständen in den Oxidhalbleiterfilmen beschrieben. Die Kristallzustände werden mittels Eintreten eines Elementes, das ein konstituierendes Element eines Isolierfilmes ist, in die Oxidhalbleiterfilme erzeugt.

[0281] Zunächst wurden zwei Substrate, über denen Oxidhalbleiterfilme unter Verwendung von Targets mit verschiedenen Zusammensetzungen gebildet wurden, präpariert, woraufhin jedes Substrat in drei unterteilt wurde. Anschließend wurden die Substrate, von denen jedes in drei unterteilt worden war, einer Wärmebehandlung unter wechselseitig verschiedenen Bedingungen unterzogen. Im Ergebnis wurden insgesamt sechs Proben unter verschiedenen Bedingungen hergestellt. Sodann wurde ein Kristallzustand des Oxidhalbleiterfilmes in jeder der Proben mittels Röntgenbeugung (X-Ray Diffraction XRD) gemessen.

[0282] Zunächst ist die Struktur der Proben, die für die XRD-Messung verwendet wurden, in **Fig. 19A** dargestellt.

[0283] Die Probe gemäß Darstellung in **Fig. 19A** erhielt man durch Aufbringen eines IGZO-Filmes 402 unter Verwendung eines IGZO-Targets (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1), dem SiO₂ zugefügt wurde, über einem Substrat 400 und Durchführen einer Wärmebehandlung.

[0284] Der IGZO-Film 402 wurde mit einem Sputtergerät aufgebracht. Die Bedingungen zur Aufbringung des IGZO-Filmes 402 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 200 °C; Aufbringleistung: 100 W; Aufbringdruck: 0,4 Pa; Gasflussrate: O₂ = 100 sccm; und Dicke 100 nm. Man beachte, dass als Sputtertargets ein Target (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1), dem SiO₂ mit 2 Gew.-% zugesetzt wurde, und ein Target (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1), dem SiO₂ mit 5 Gew.-% zugesetzt wurde, verwendet wurden. Man beachte, dass vor der Aufbringung des IGZO-Filmes 402 die Oberfläche des Glassubstrates 400 gereinigt wurde, damit Teilchen und dergleichen entfernt wurden.

[0285] Jedes Substrat wurde in einen Elektroofen eingeführt, in dem ein Widerstandserwärmer oder dergleichen Verwendung fand, woraufhin die Wärmebehandlung durchgeführt wurde. Eines der drei Substrate, das man durch Teilen nach Aufbringung des IGZO Filmes erhalten hatte, wurde einer Wärmebehandlung bei 650 °C für eine Stunde in einer N₂-Atmosphäre und sodann einer Wärmebehandlung bei 650 °C für eine Stunde in einer O₂-Atmosphäre unterzogen. Ein weiteres der drei Substrate, die man durch Teilung erhielt, wurde einer Wärmebehandlung bei 450 °C für eine Stunde in einer N₂-Atmosphäre und sodann einer Wärmebehandlung bei 450 °C für eine Stunde in einer O₂-Atmosphäre unterzogen. Des Weiteren wurde das andere der drei Substrate, die man durch Teilung erhielt, keiner Wärmebehandlung unterzogen.

[0286] Unter Verwendung der vorgeschriebenen Targets wurde eine Wärmebehandlung unter den vorgenannten Bedingungen durchgeführt, wobei sechs Arten von Proben (Proben L bis Q, siehe Tabelle 1) hergestellt wurden.

Probe	Target	Wärmebedingung
L	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (2 Gew.-%)	<<650°, N ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>> + <<650°, O ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>>
M	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (2 Gew.-%)	<<450°, N ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>> + <<450°, O ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>>
N	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (2 Gew.-%)	keine Wärmebehandlung
O	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (5 Gew.-%)	<<650°, N ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>> + <<650°, O ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>>
P	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (5 Gew.-%)	<<450°, N ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>> + <<450°, O ₂ -Atmosphäre, eine Stunde>>
Q	In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 + SiO ₂ (5 Gew.-%)	keine Wärmebehandlung

[0287] Als Nächstes wurde eine XRD-Messung an den IGZO-Filmen in Proben L bis Q vorgenommen, sodass ein Kristallzustand eines jeden Filmes gemessen wurde. Die Ergebnisse hieron sind in **Fig. 20A** und **20B** gezeigt. **Fig. 20A** zeigt XRD-Messergebnisse von Proben L bis N, und **Fig. 20B** zeigt XRD-Messergebnisse von Proben O bis Q.

[0288] Wie aus **Fig. 20A** ersichtlich ist, weist Probe L, die einer Wärmebehandlung bei 650 °C innerhalb des vorbeschriebenen Temperaturbereiches unterzogen worden war, ein Extremum auf, das man einem Kristall bei etwa 31° (= 2θ) zuwies. Demgegenüber weisen alle Proben gemäß Darstellung in **Fig. 20B** kein Extremum auf, das man einem Kristall zuweisen kann. Entsprechend den vorstehenden Ergebnissen wird in dem IGZO-Film die Kristallisierung durch eine Wärmebehandlung verhindert, wenn überschüssiges Silizium als Verunreinigung beinhaltet ist.

[0289] Als Nächstes wurde, um die Rate von Silizium in einem IGZO-Film zu messen, der unter Verwendung eines Targets aufgebracht wurde, dem Silizium mit 2 Gew.-% zugesetzt worden war, die Zusammensetzung von Elementen, die in dem IGZO-Film beinhaltet war, mithilfe von Röntgenfotoelektronenspektroskopie (XPS) gemessen.

[0290] Jede Probe, die für die XPS-Messung verwendet wurde, weist eine Struktur auf, bei der ein IGZO-Film 502 über einem Siliziumsubstrat 500, wie in **Fig. 19B** dargestellt ist, aufgebracht ist.

[0291] Der IGZO-Film 502 wurde mithilfe eines Sputtergerätes aufgebracht. Die Bedingungen für die Aufbringung des IGZO-Filmes 502 waren folgendermaßen: Substrattemperatur: 200 °C; Aufbringleistung: 100 W; Aufbringdruck: 0,4 Pa; Gasflussrate: O₂ = 10 sccm; Dicke: 15 nm. Man beachte, dass als Sputtertarget ein Target (mit einem Atomverhältnis von In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1), dem SiO₂ mit 2 Gew.-% zugesetzt worden war, verwendet wurde. Man beachte, dass vor Aufbringung des IGZO-Filmes 502 ein Oxidfilm, der über der Oberfläche des Siliziumsubstrates 500 gebildet war, unter Verwendung einer gelösten Fluorwasserstoffsäure entfernt wurde.

[0292] Aus der XPS-Messung war ersichtlich, dass Si mit 1,1 At.-% in dem IGZO-Film beinhaltet war, der unter Verwendung des Targets aufgebracht worden war, dem SiO₂ mit 2 Gew.-% zugesetzt war.

[0293] Entsprechend dem Vorstehenden wird gegebenenfalls, wenn Verunreinigungen, so beispielsweise Silizium, durch Mischen oder dergleichen in den Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm eintreten, die Kristallisierung eines Kanalbildungsbereiches in dem Oxidhalbleiterfilm verhindert. Im Ergebnis zeigt dieses Beispiel, dass es wichtig ist, die Konzentration von Silizium in dem Oxidhalbleiterfilm in der Umgebung der Grenzfläche zu dem Gate-Isolierfilm zu verringern.

Beschreibung der Bezugszeichen

- 100 Substrat
- 101 Gate-Elektrode
- 102 Gate-Isolierfilm

103 Oxidhalbleiterfilm
103a Bereich
103b Bereich
103c Bereich
105a Source-Elektrode
105b Drain-Elektrode
107 Isolierfilm
108 Kanalschutzfilm
109 Schutzisolierfilm
110 Transistor
120 Transistor
130 Transistor
200 Siliziumsubstrat
202 Siliziumoxidfilm
204 IGZO-Film
300 Glassubstrat
302 Siliziumoxynitridfilm
304 IGZO-Film
400 Glassubstrat
402 IGZO-Film
500 Siliziumsubstrat
502 IGZO-Film
2700 E-Book-Lesegerät
2701 Gehäuse
2703 Gehäuse
2705 Anzeigeabschnitt
2707 Anzeigeabschnitt
2711 Scharnier
2721 Leistungsschalter
2723 Bedientaste
2725 Lautsprecher
2800 Gehäuse
2801 Knopf
2802 Mikrofon
2803 Anzeigeabschnitt
2804 Lautsprecher
2805 Kameralinse
2806 externer Verbindungsanschluss
3001 Hauptkörper
3002 Gehäuse

3003	Anzeigeabschnitt
3004	Tastatur
3021	Hauptkörper
3022	Stift
3023	Anzeigeabschnitt
3024	Bedienknopf
3025	externe Schnittstelle
3051	Hauptkörper
3053	Okular
3054	Bedienschalter
3056	Batterie
4001	Substrat
4002	Pixelabschnitt
4003	Signalleitungstreiberschaltung
4004	Abtastlinientreiberschaltung
4005	Dichtmittel
4006	Substrat
4008	Flüssigkristallschicht
4010	Transistor
4011	Transistor
4013	Flüssigkristallelement
4015	Verbindungsanschlusselektrode
4016	Anschlusselektrode
4019	anisotroper leitfähiger Film
4021	Isolierschicht
4030	Elektrodenschicht
4031	Elektrodenschicht
4032	Isolierfilm
4033	Isolierfilm
4034	Isolierfilm
4510	Trennwand
4511	elektrolumineszente Schicht
4513	Licht emittierendes Element
4514	Füllstoff
4612	Hohlraum
4613	sphärisches Teilchen
4614	Füllstoff
4615a	schwarzer Bereich
4615b	weißer Bereich
9600	Fernsehgerät

9601 Gehäuse
9603 Anzeigeabschnitt
9605 Ständer

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, umfassend:
einen Oxidhalbleiterfilm (103) über einem Substrat (100);
eine Source-Elektrode (105a) und eine Drain-Elektrode (105b), die elektrisch mit dem Oxidhalbleiterfilm (103) verbunden sind;
eine Gate-Elektrode (101); und
einen Gate-Isolierfilm (102) zwischen der Gate-Elektrode (101) und dem Oxidhalbleiterfilm (103); wobei der Gate-Isolierfilm ein Oxid umfasst, das Silizium enthält;
wobei der Oxidhalbleiterfilm (103) einen ersten Bereich (103a) umfasst, in dem eine Konzentration von Kohlenstoff geringer als oder gleich $1,0 \times 10^{19}$ Atome/cm³ ist;
wobei der erste Bereich in Kontakt mit dem Gate-Isolierfilm steht;
wobei eine Konzentration von Silizium in dem ersten Bereich kleiner oder gleich 1.0 At.-% ist;
wobei der erste Bereich einen Kristallabschnitt beinhaltet; und
wobei die Konzentration vom Silizium in einem Bereich des Oxidhalbleiterfilms, der nicht der erste Bereich ist, kleiner ist als die Konzentration von Silizium in dem ersten Bereich.
2. Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Oxidhalbleiterfilm (103) einen kristallinen Abschnitt umfasst, in dem eine c-Achse in eine Richtung senkrecht zu einer Oberfläche des Oxidhalbleiterfilms ausgerichtet ist.
3. Halbleitervorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei ein Endabschnitt des Oxidhalbleiterfilms (103) um einen Winkel von 20° bis 50° verjüngt ist.

Es folgen 25 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

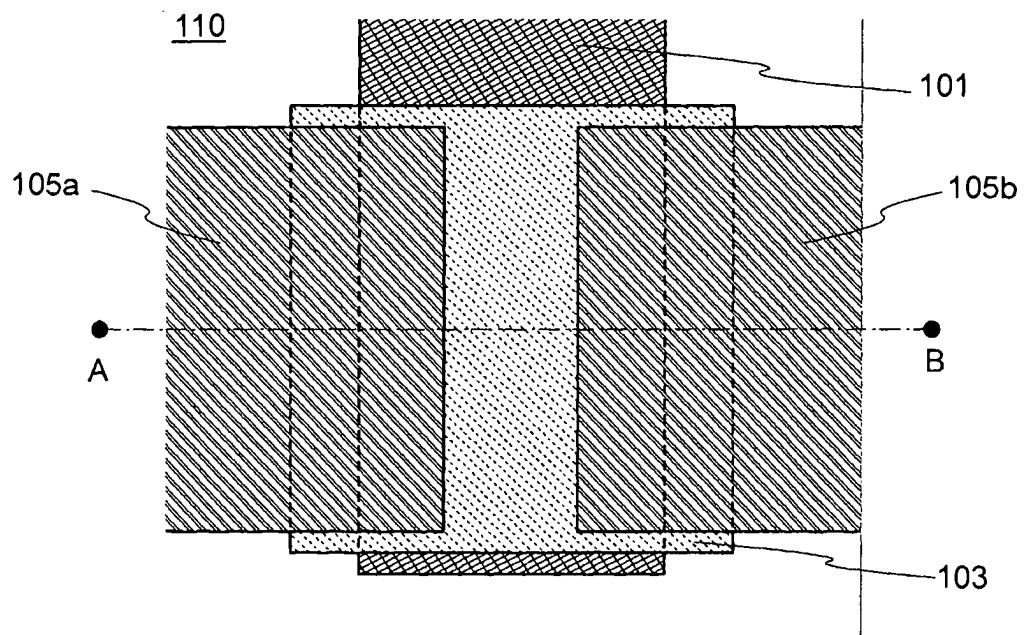


FIG. 1B

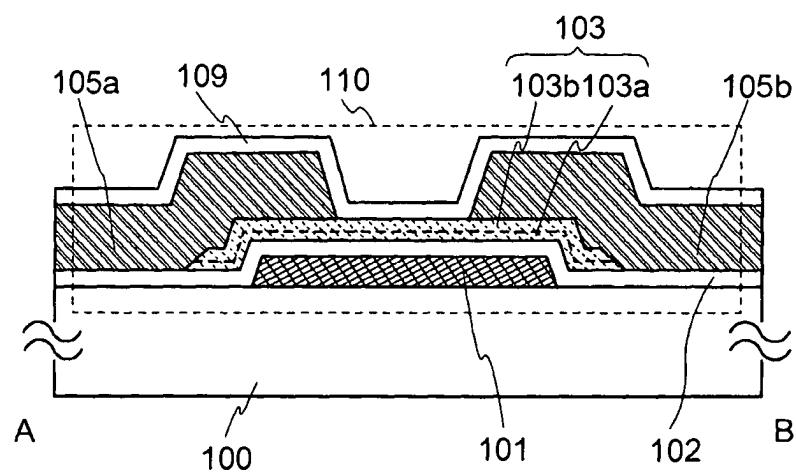


FIG. 2A

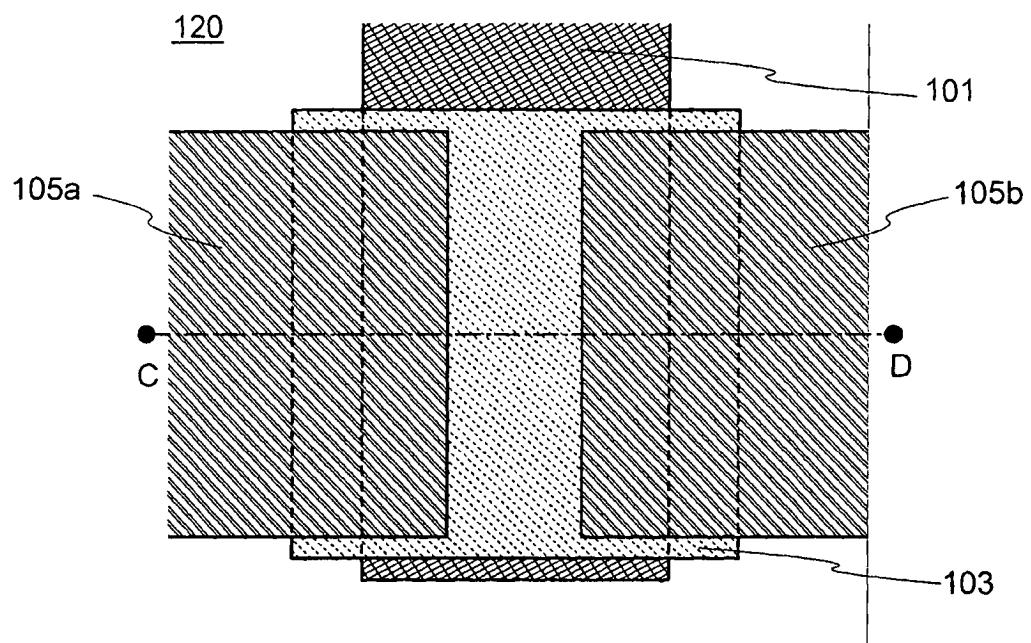


FIG. 2B

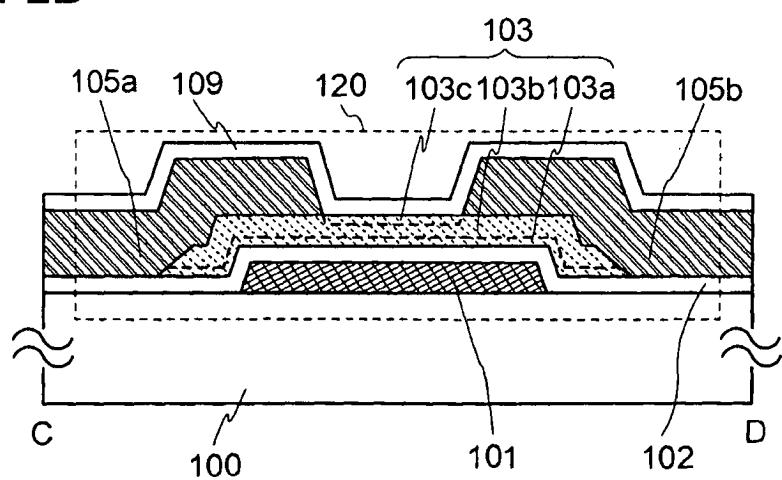


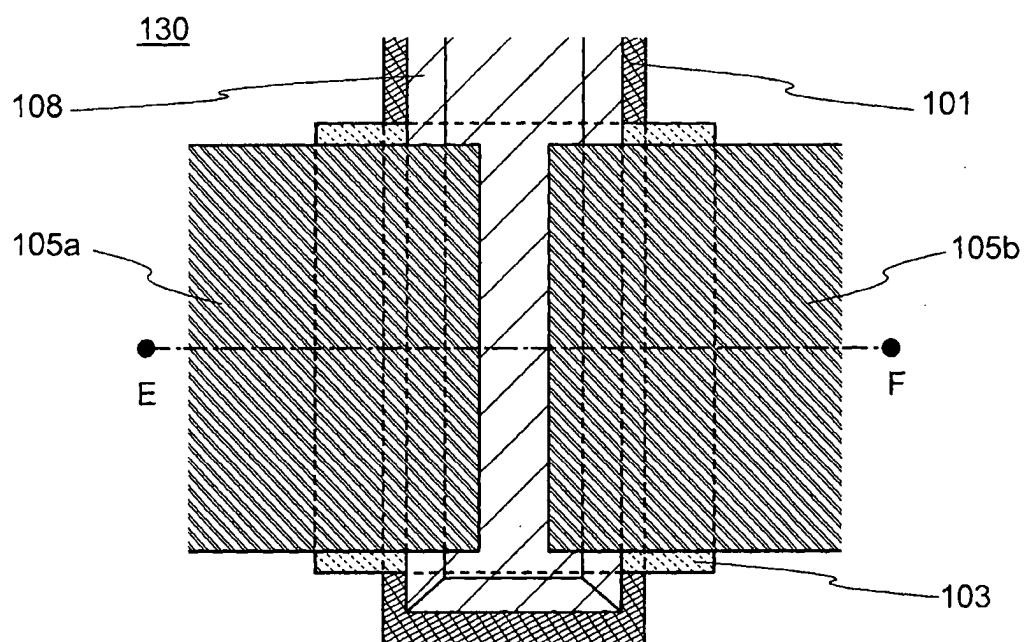
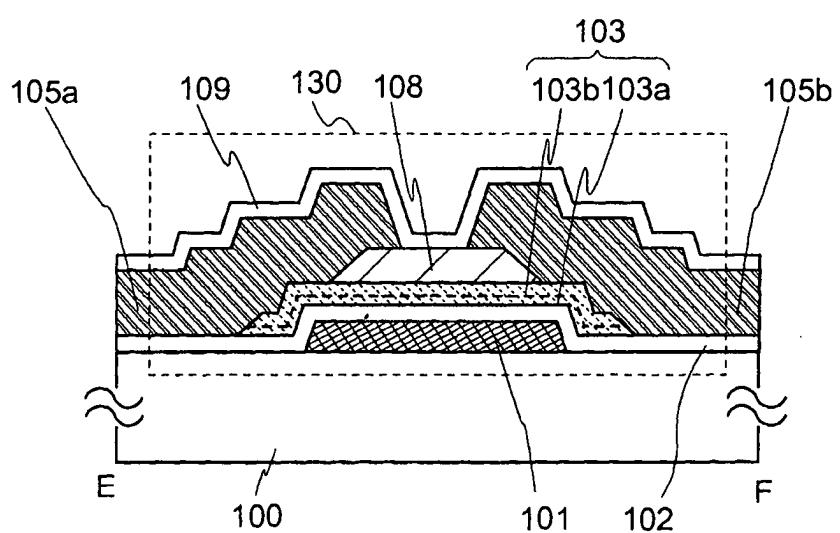
FIG. 3A**FIG. 3B**

FIG. 4A

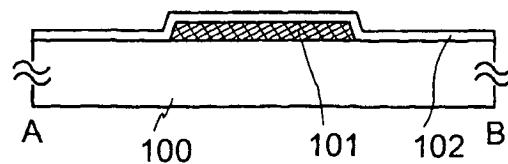


FIG. 4B

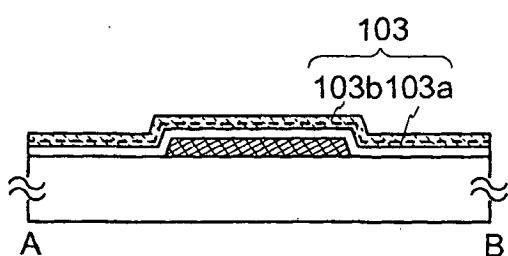


FIG. 4C

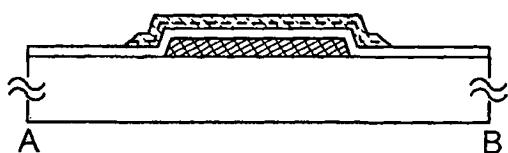


FIG. 4D

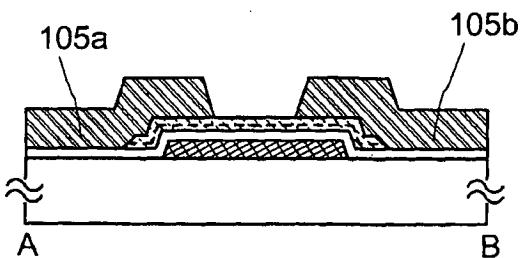


FIG. 4E

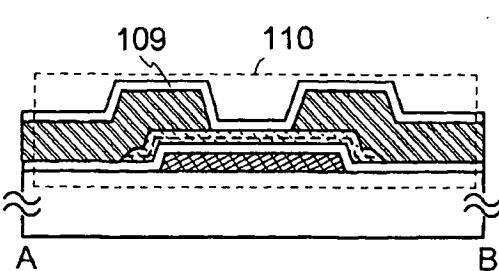


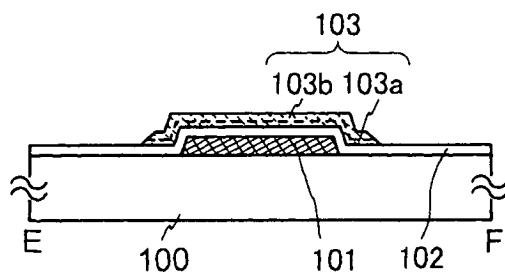
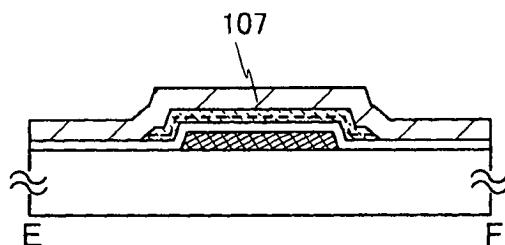
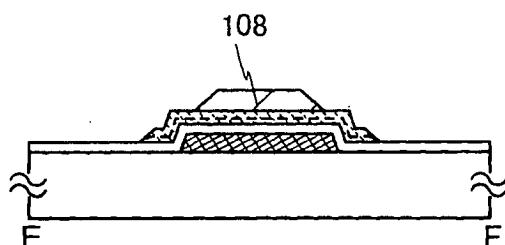
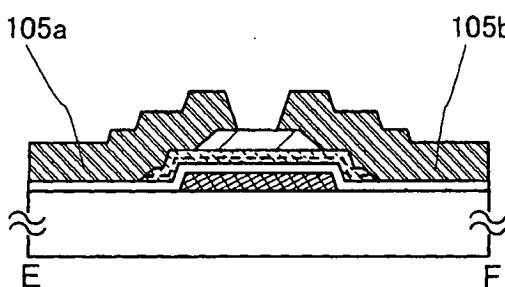
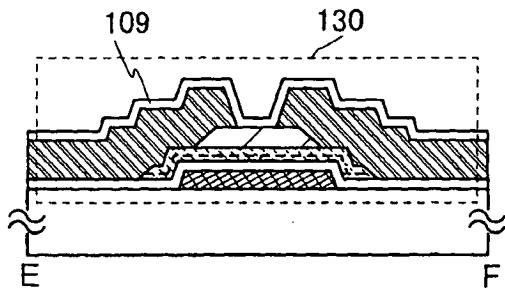
FIG. 5A**FIG. 5B****FIG. 5C****FIG. 5D****FIG. 5E**

FIG. 6

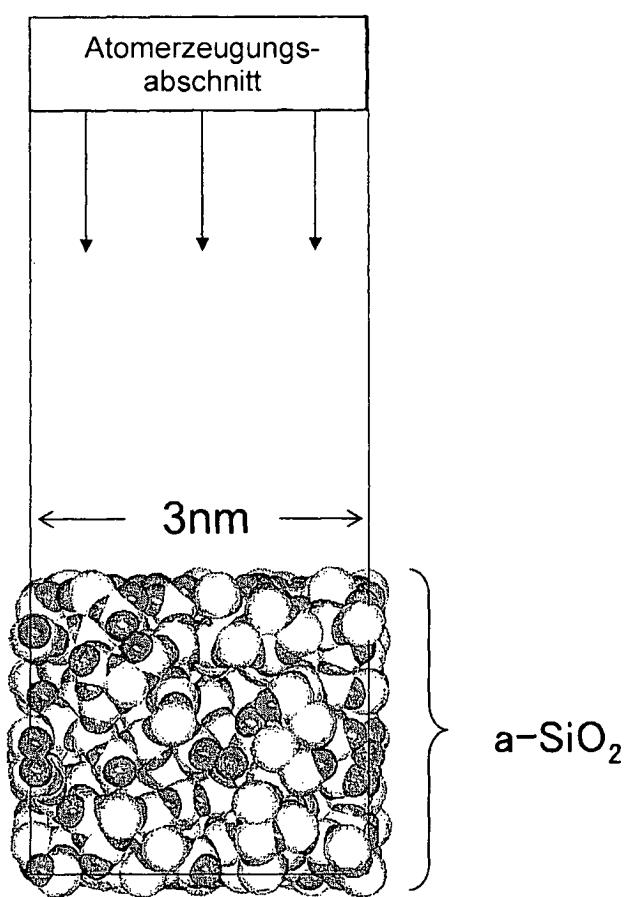


FIG. 7C

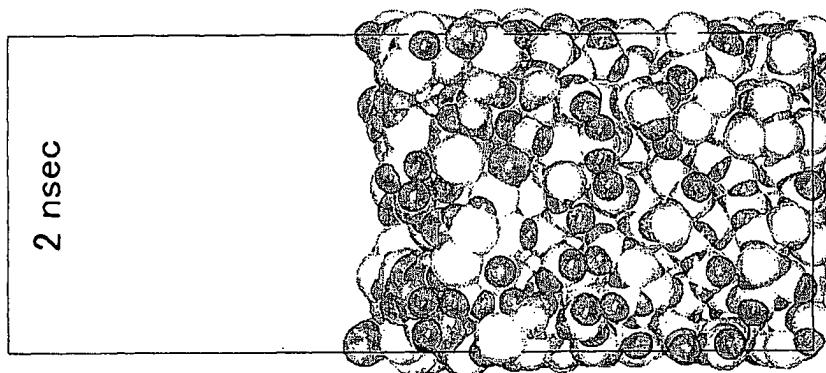


FIG. 7B

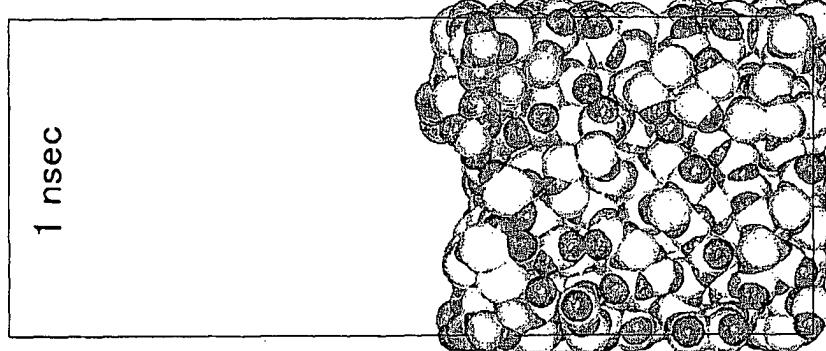
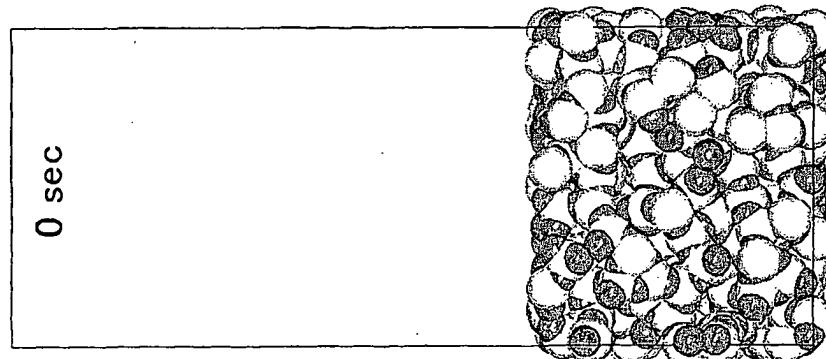


FIG. 7A



○ In ○ Ga ● Zn ● O ○ Si

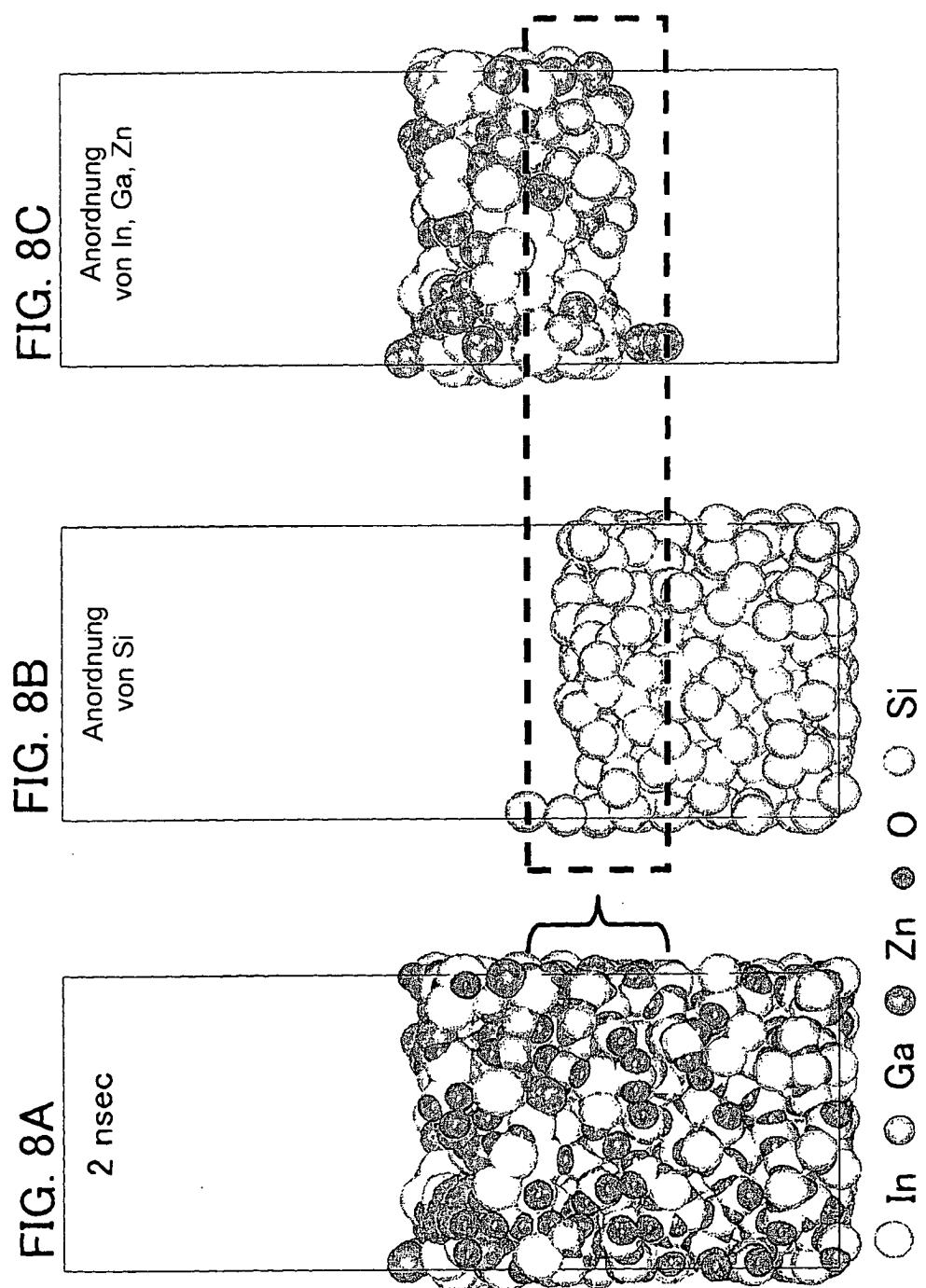


FIG. 9A

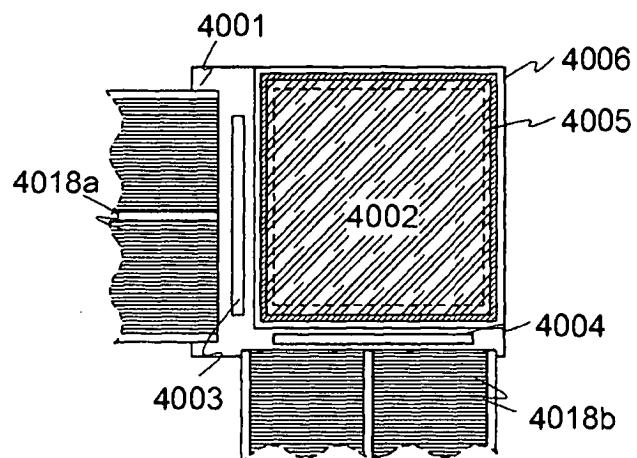


FIG. 9B

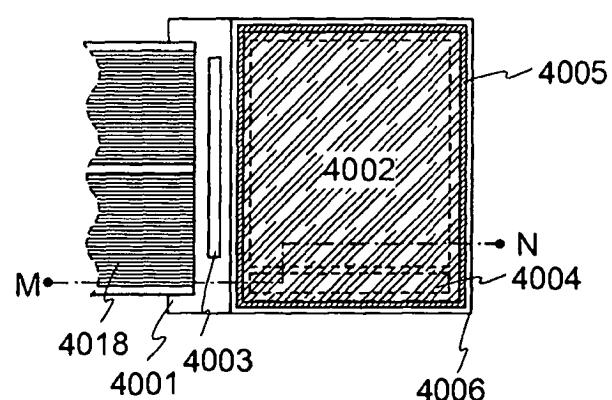


FIG. 9C

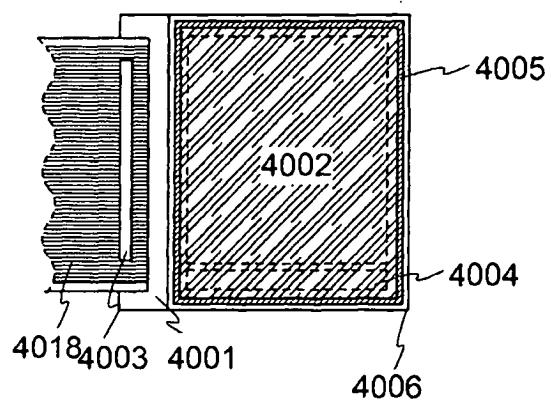


FIG. 10

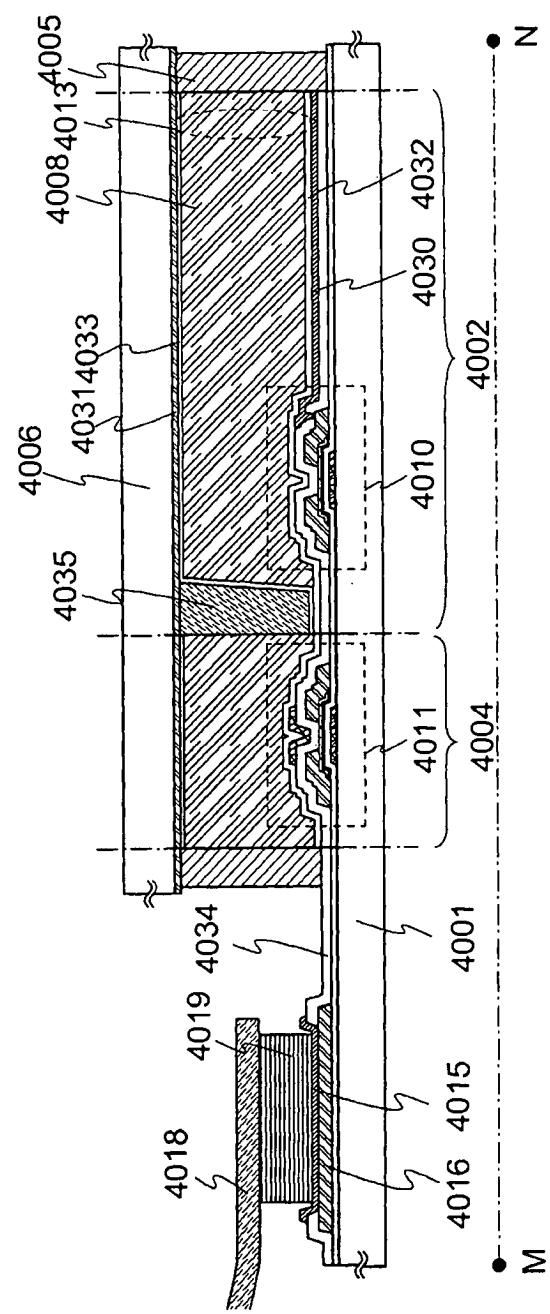


FIG. 11

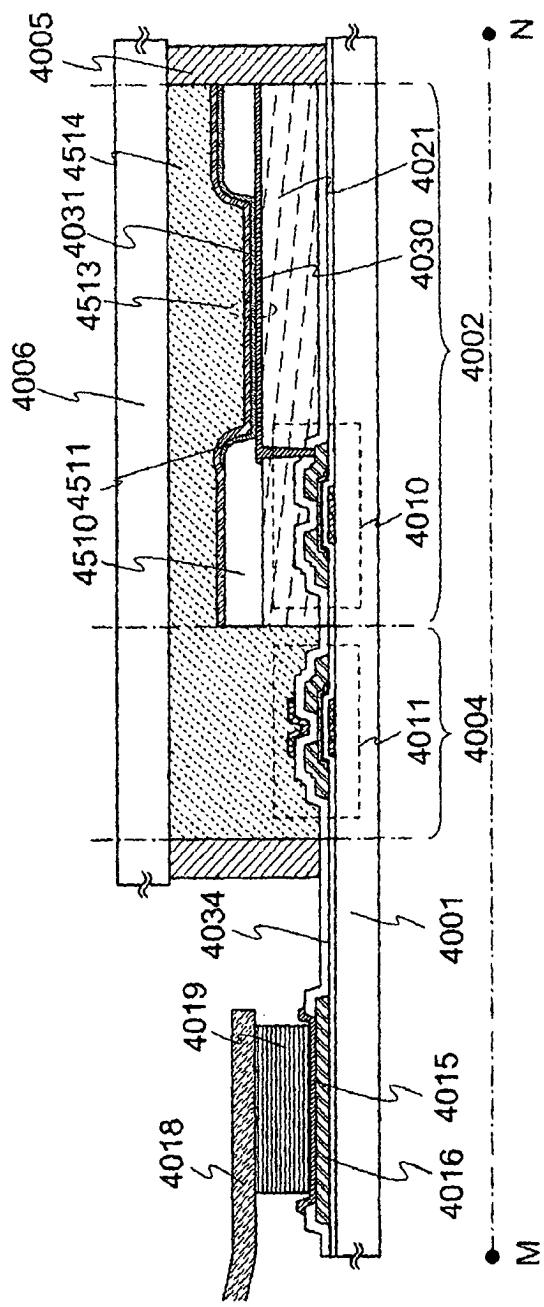


FIG. 12

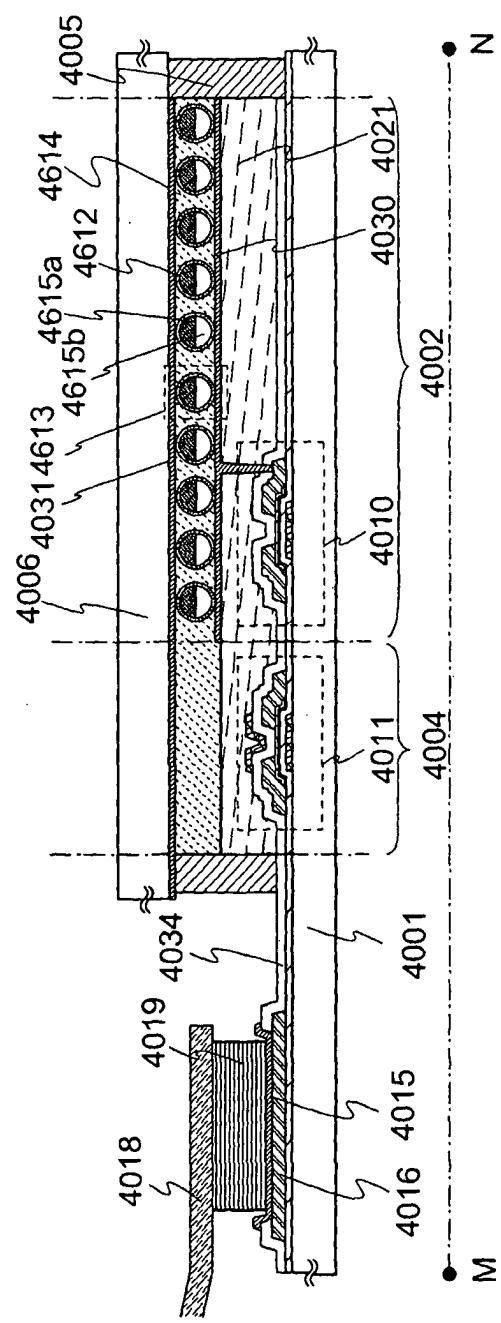


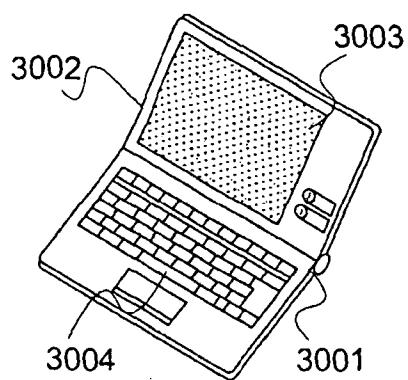
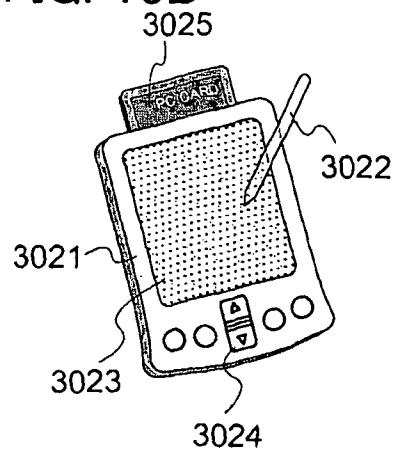
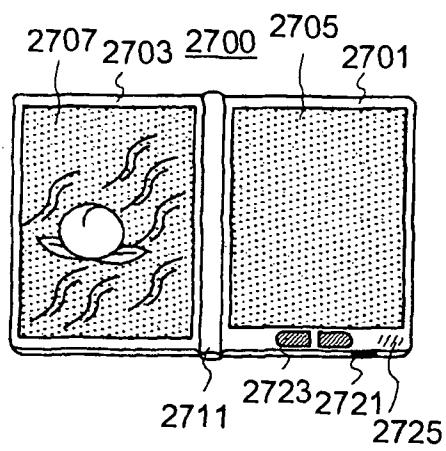
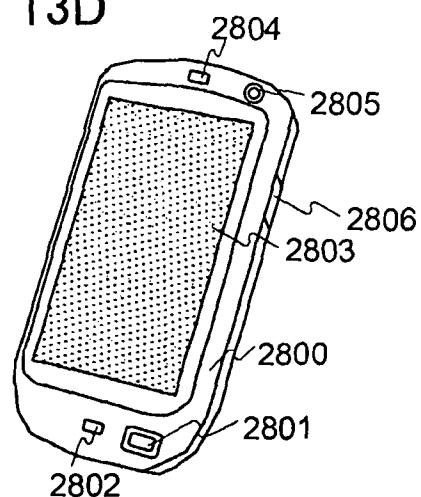
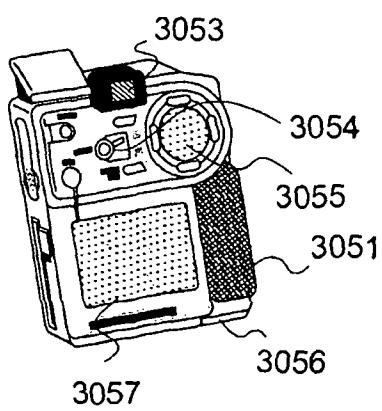
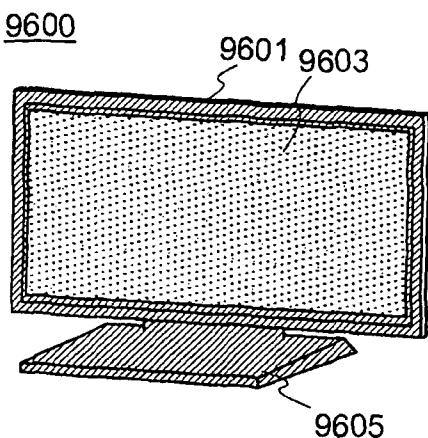
FIG. 13A**FIG. 13B****FIG. 13C****FIG. 13D****FIG. 13E****FIG. 13F**

FIG. 14

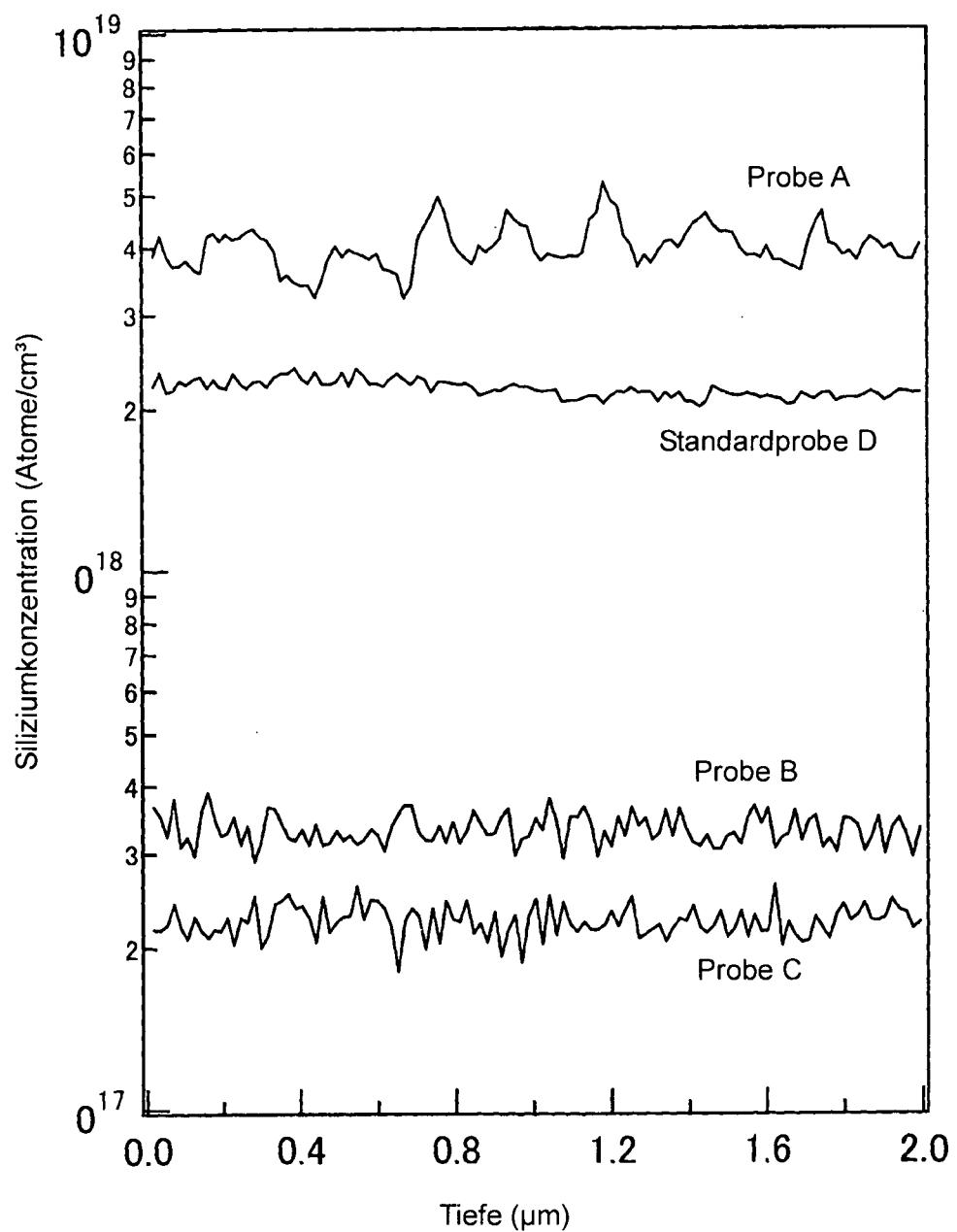


FIG. 15

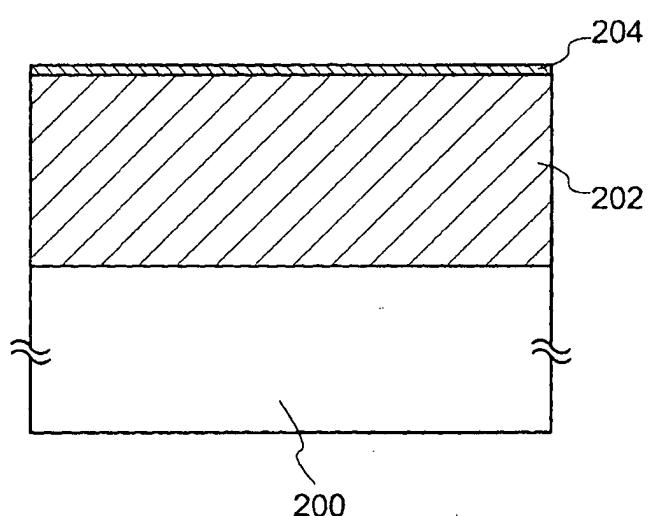


FIG. 16

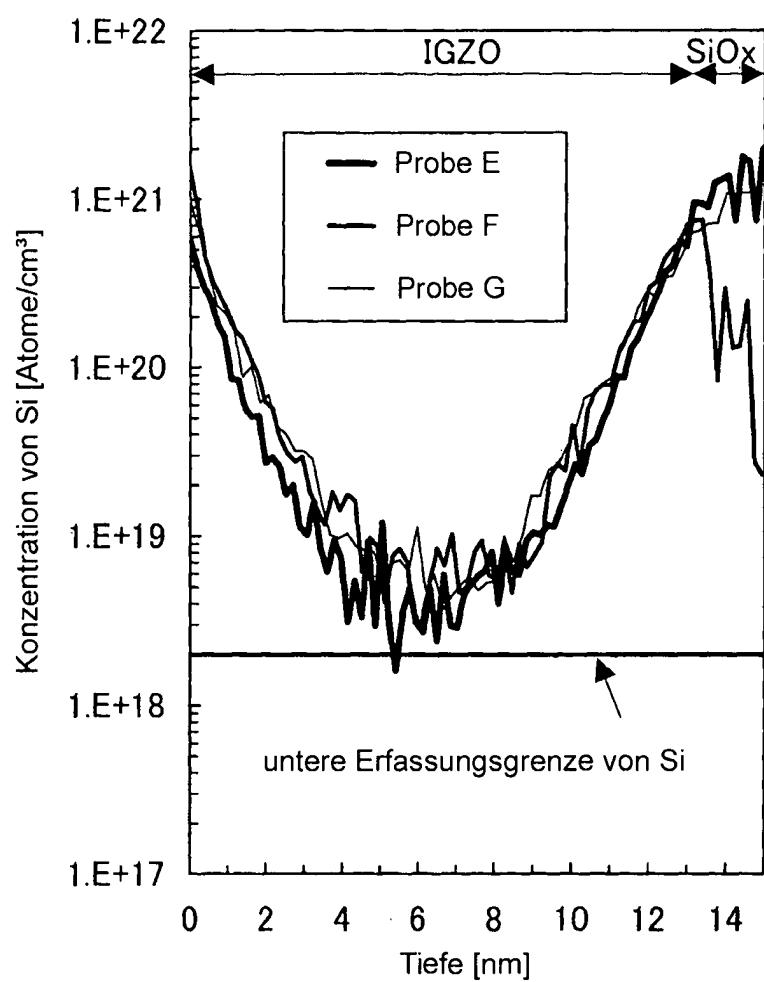


FIG. 17

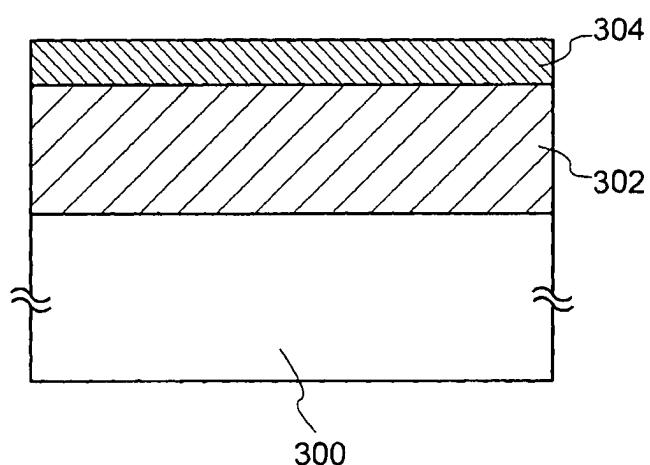


FIG. 18A

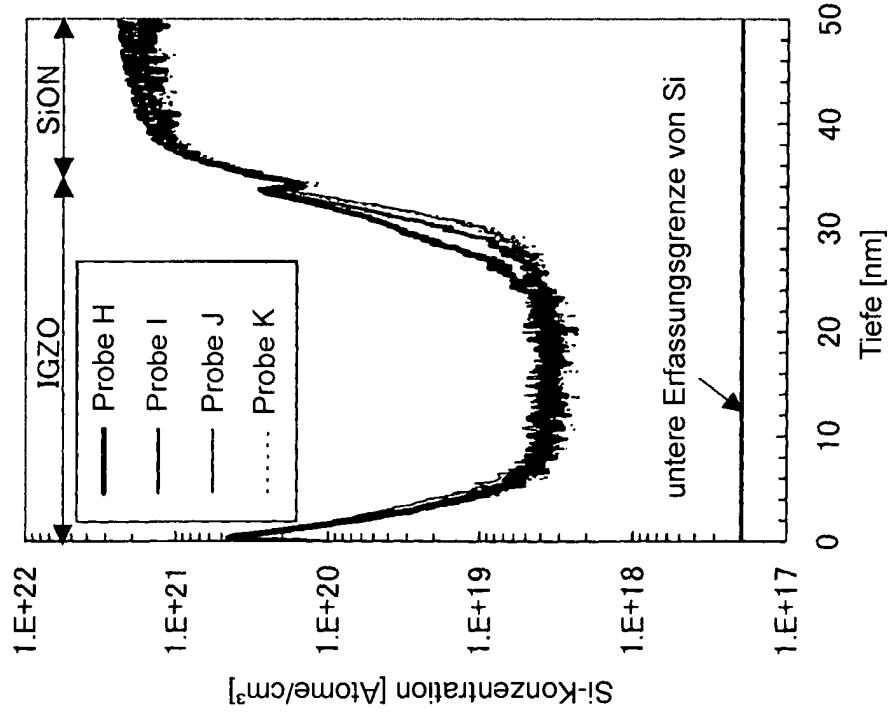


FIG. 18B

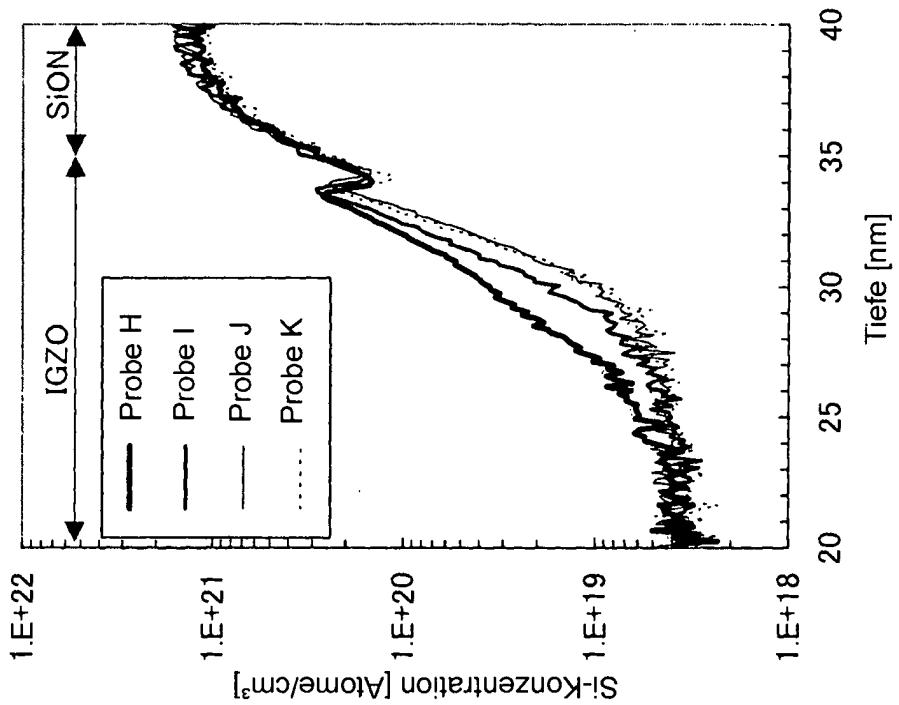


FIG. 19A

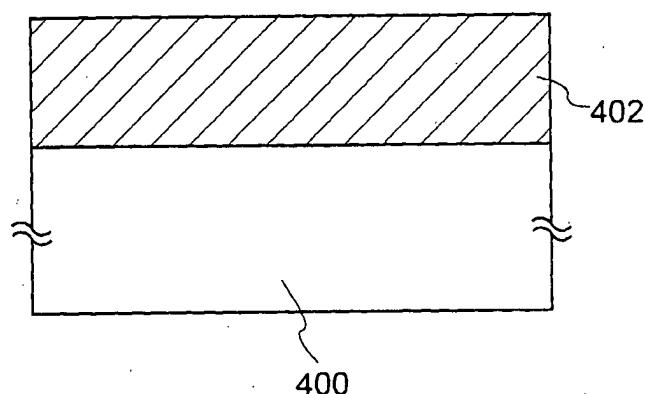


FIG. 19B

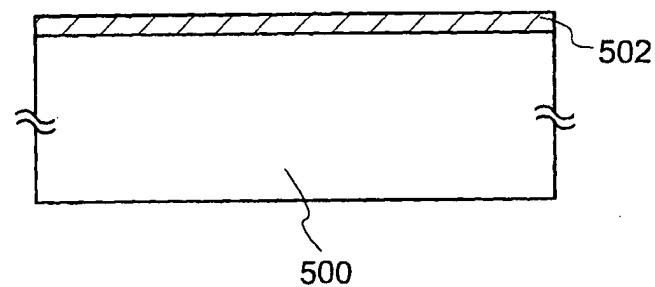


FIG. 20A

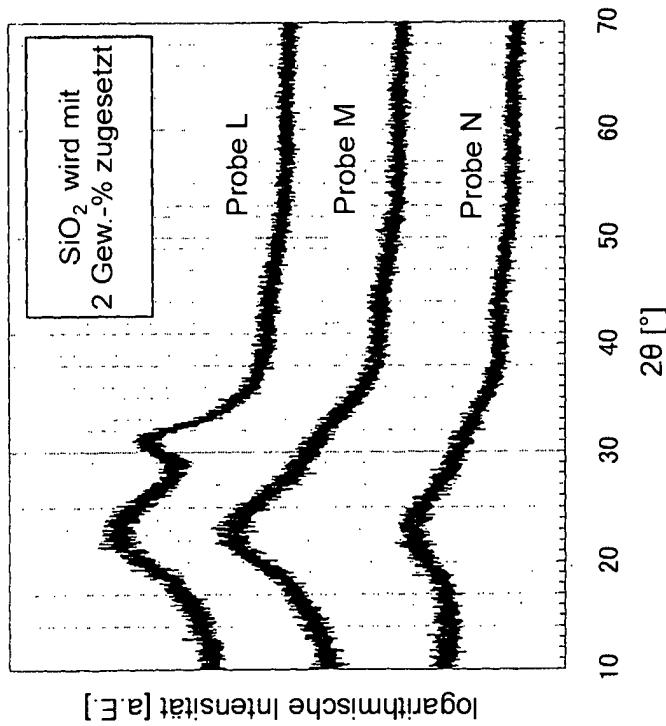


FIG. 20B

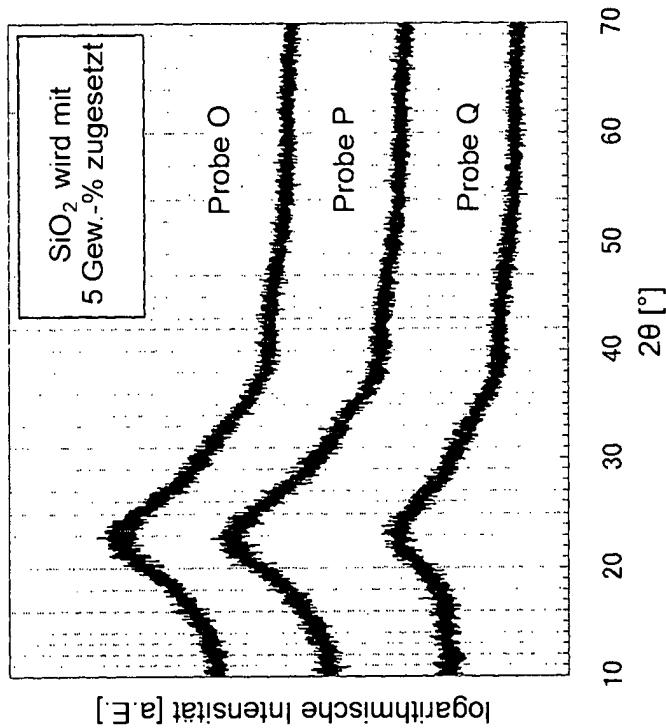


FIG. 21A

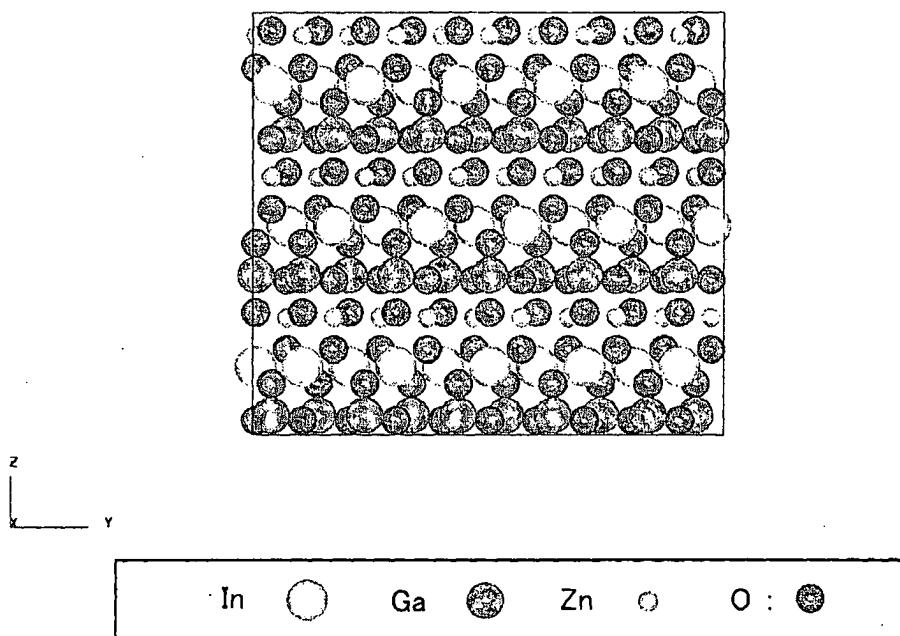


FIG. 21B

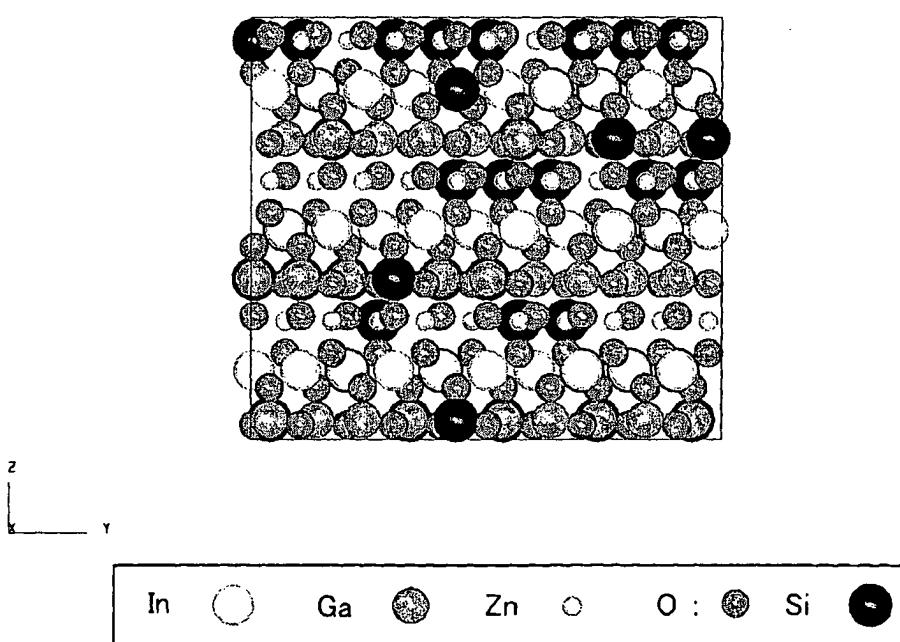


FIG. 22A

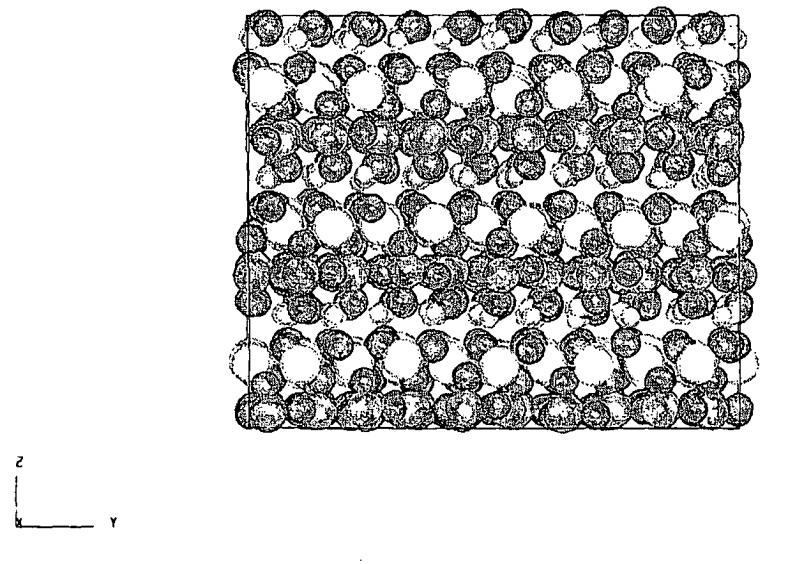


FIG. 22B

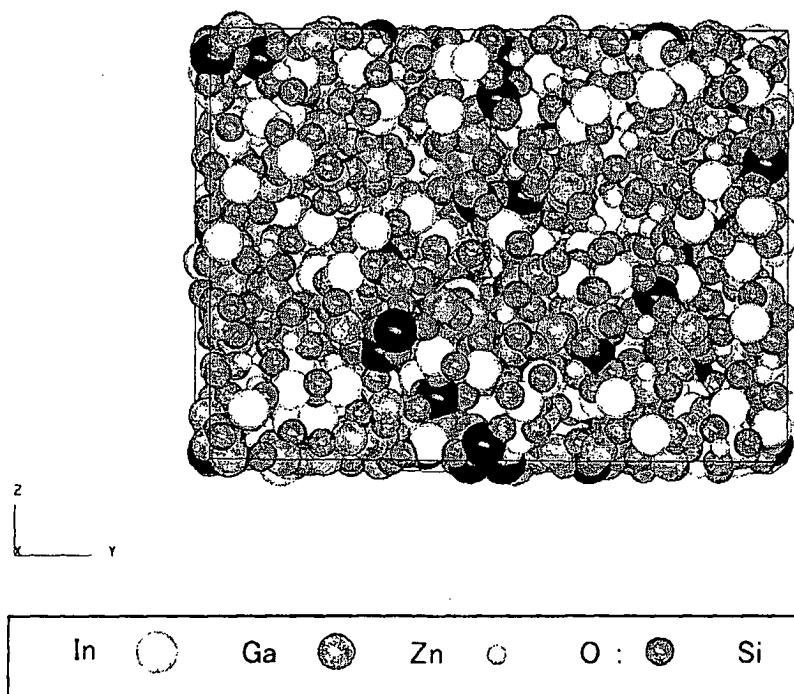


FIG. 23

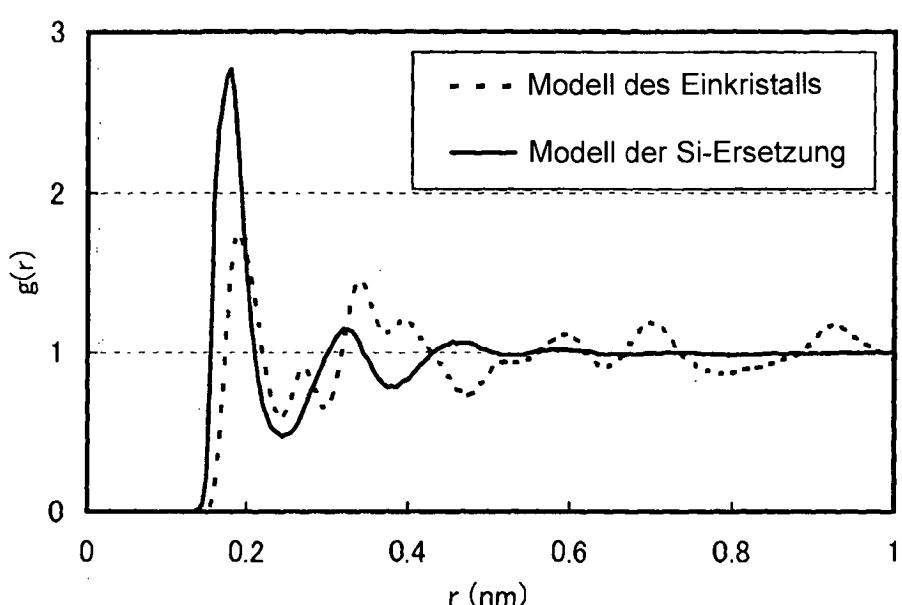


FIG. 24A

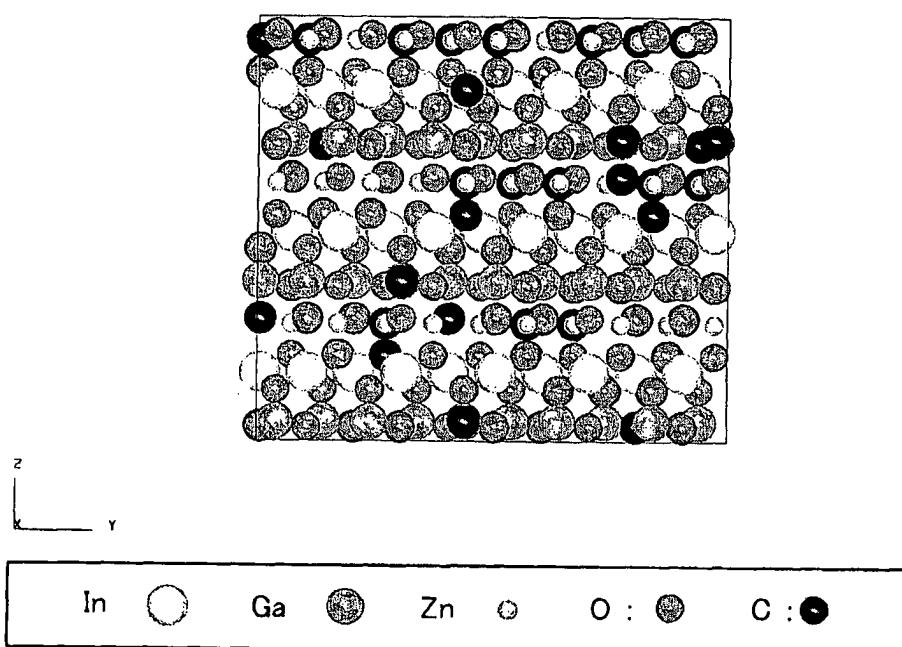


FIG. 24B

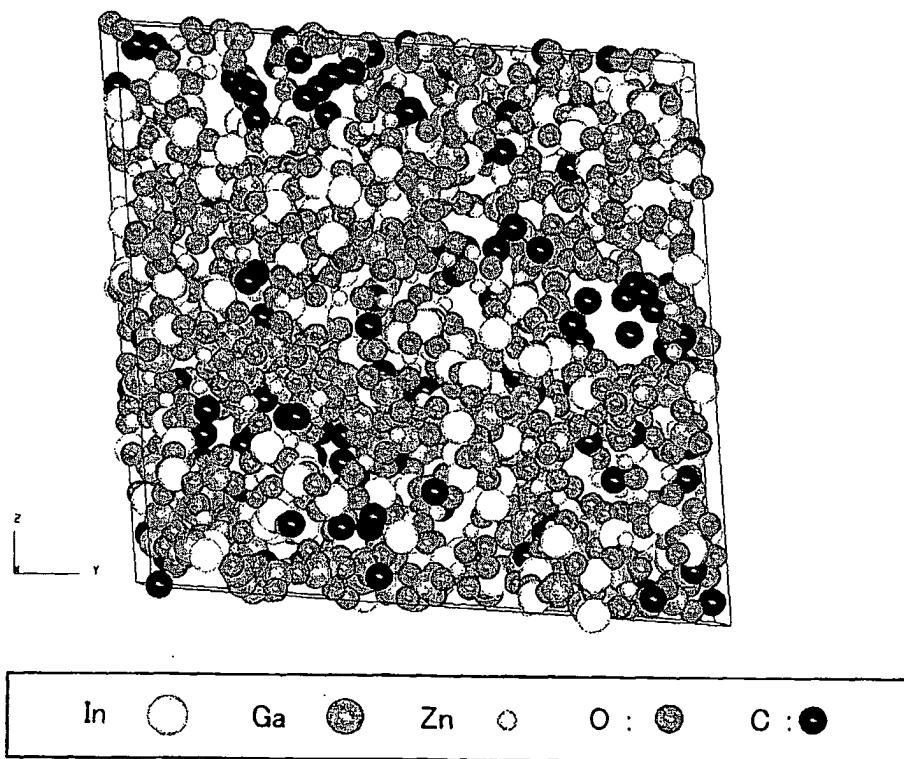


FIG. 25

