



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 000 148.4**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2015/065006**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/186560**  
(86) PCT-Anmeldetag: **26.05.2015**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **10.12.2015**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **19.05.2016**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **02.11.2023**

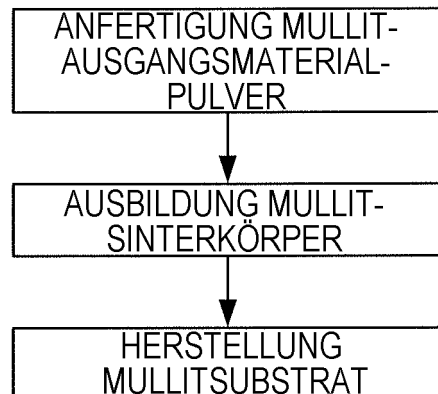
(51) Int Cl.: **C04B 35/18 (2006.01)**  
**C04B 37/00 (2006.01)**  
**H05K 1/03 (2006.01)**

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: <b>2014-117926</b> <b>06.06.2014</b> <b>JP</b> <b>2015-053190</b> <b>17.03.2015</b> <b>JP</b>	(72) Erfinder: <b>Isoda, Yoshinori, Nagoya-city, Aichi, JP; Sato, Yosuke, Nagoya-city, Aichi, JP; Katsuda, Yuji, Nagoya-city, Aichi, JP</b>
(73) Patentinhaber: <b>NGK INSULATORS, LTD., Nagoya-city, Aichi, JP</b>	(56) Ermittelter Stand der Technik: <b>JP</b> <b>S63- 89 455</b> <b>A</b>
(74) Vertreter: <b>TBK, 80336 München, DE</b>	

(54) Bezeichnung: **Verbundsubstrat und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Verbundsubstrat (10) mit:  
einem Trägersubstrat (14); und  
einem Substrat (12), das aus Lithiumtantalat, Lithiumniobat, Galliumnitrid oder Silicium besteht und an das Trägersubstrat (14) gebunden ist,  
wobei das Trägersubstrat (14) ein Mullitsubstrat ist, das aus einem Mullitsinterkörper besteht, der einen Verunreinigungselementgehalt von 1 Masse% oder weniger hat und der gesinterte Mullitkörner enthält, die eine mittlere Korngröße von 8 µm oder weniger haben, und  
wobei Poren, die in einer planarisierten Oberfläche des Trägersubstrats (14) vorhanden sind, eine mittlere Länge der längsten Abschnitte der Poren von 0,4 µm oder weniger haben und die Glättungstiefe Rp der Oberfläche 30 nm oder weniger beträgt.



**Beschreibung**

Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verbundsubstrat, das ein Mullitssubstrat als Trägersubstrat nutzt, und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Stand der Technik

**[0002]** Ein Mullitsinterkörper ist ein Material mit hervorragender Temperaturwechselbeständigkeit, das durch Sintern von Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Siliciumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) in einem Verhältnis von 3 bis 2 hergestellt wird und durch  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  ausgedrückt wird. Zum Beispiel offenbart die PTL 1 einen Mullitsinterkörper, der hergestellt wurde, indem ein Pulver, das durch Mischen von 30 Masse% Yttrium-stabilisierten Zirconiumoxidpulvers (YSZ-Pulver) mit Mullitpulver angefertigt wurde, gepresst wurde und der Presskörper gesintert wurde. In der PTL 1 wird der Mullitsinterkörper in ein Mullitssubstrat geschnitten, und die Hauptfläche des Mullitsubstrats wird zur Verwendung als Grundsubstrat, das an ein GaN-Substrat gebunden werden soll, poliert. Es wird angenommen, dass die Wärmeausdehnungskoeffizienten von GaN und Mullit in einem Temperaturbereich von Raumtemperatur bis  $1000^\circ\text{C}$  jeweils  $6,0 \text{ ppm/K}$  und  $5,2 \text{ ppm/K}$  betragen. Angesichts dessen, dass diese Substrate zum Gebrauch miteinander verbunden werden sollen, ist es vorzuziehen, den Wärmeausdehnungskoeffizienten von Mullit zu erhöhen, damit er nahe am Wärmeausdehnungskoeffizienten des GaN-Substrats liegt. Zu diesem Zweck wird YSZ-Pulver mit Mullitpulver gemischt, und das Gemisch wird gesintert. Darüber hinaus ist aus der PTL 2 ein Mullitsinterkörper mit geringer Korngröße und Porosität bekannt, der sich unter anderem als Leiterplatte eignen soll.

Entgegenhaltungsliste

Patentliteratur

PTL 1: JP 5585570 B2

PTL 2: JP S63-89455 A

Kurzdarstellung der Erfindung

Technisches Problem

**[0003]** Obwohl die PTL 1 einen Mullitsinterkörper offenbart, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient erhöht wird, indem eine recht hohe Menge eines anderen Bestandteils zum Mullit zugegeben wird, erwähnt sie keinen Mullitsinterkörper mit hoher Mullitreinheit (keinen hochgradig reinen Mullitsinterkörper). Ein solcher hochreiner Mullitsinterkörper ist bislang nicht bekannt, noch weniger, dass er durch Polieren endbearbeitet eine hochgradig flache Oberfläche hat.

**[0004]** Die Erfindung soll sich dieses Themas annehmen, und eine Aufgabe der Erfindung ist, ein Verbundsubstrat, das ein Mullitssubstrat als Trägersubstrat nutzt, das eine hohe Bindungsfähigkeit gegenüber einem anderen Substrat hat, das an das Trägersubstrat gebunden ist, und ein Verfahren zu dessen Herstellung zur Verfügung zu stellen.

Lösung des Problems

**[0005]** Ein erfindungsgemäßes Verbundsubstrat weist die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale auf. Die Bindungsgrenzfläche dieses Verbundsubstrats zeigt eine gute Bindungsfähigkeit, da der Prozentanteil der an der eigentlichen Bindung beteiligten Fläche (Bindungsflächenprozentanteil) zur Fläche der Bindungsgrenzfläche groß ist.

**[0006]** Ein erfindungsgemäßes Herstellungsverfahren weist die im Anspruch 7 angegebenen Merkmale auf.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**Fig. 1** ist ein Herstellungsablauf eines Mullitsubstrats.

**Fig. 2** ist eine Perspektivansicht eines Verbundsubstrats 10.

**Fig. 3** ist eine Perspektivansicht eines elektronischen Bauelements 30, das mit dem Verbundsubstrat 10 hergestellt wurde.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen

**[0007]** Nun werden zwar bestimmte Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben, doch ist die Erfindung nicht auf die folgenden Ausführungsbeispiele beschränkt.

**[0008]** Der für das erfindungsgemäße Verbundsubstrat verwendete Mullitsinterkörper hat einen Verunreinigungselementgehalt von 1 Masse% oder weniger, wobei die mittlere Korngröße der gesinterten Mullitkörner  $8\ \mu\text{m}$  oder weniger (vorzugsweise  $5\ \mu\text{m}$  oder weniger) beträgt. Außerdem haben, wenn eine Oberfläche des Mullitsinterkörpers durch Polieren endbearbeitet wird, Poren in der Oberfläche längste Abschnitte, die eine mittlere Länge von  $0,4\ \mu\text{m}$  oder weniger (vorzugsweise  $0,3\ \mu\text{m}$  oder weniger) haben. Bei der Erfindung beziehen sich die Verunreinigungselemente auf andere Elemente als Al, Si und O, und der Gehalt an Verunreinigungselementen wird durch hochfrequente, induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektroskopie festgestellt. Die mittlere Korngröße der gesinterten Mullitkörner wird festgestellt, indem die Oberfläche des Mullitsinterkörpers, die durch Polieren auf Hochglanz endbearbeitet wird, chemisch mit Phosphorsäure geätzt wird, die Korngrößen von 200 oder mehr gesinterten Mullitkörnern in der Oberfläche mittels eines REM gemessen werden und der Mittelwert der Korngrößen durch eine Segment-Methode berechnet wird. Außerdem wird die mittlere Länge der längsten Abschnitte der Poren festgestellt, indem eine auf die gleiche Weise endbearbeitete Oberfläche mittels eines AFM untersucht wird, die mittlere Länge der längsten Abschnitte berechnet wird und die mittlere Länge in einen Wert pro Flächeneinheit (Fläche eines Quadrats mit  $1\ \mu\text{m}$  auf jeder Seite) umgewandelt wird. Gesinterte Mullitkörner mit einer mittleren Partikelgröße von mehr als  $8\ \mu\text{m}$  sind unerwünscht. Solche Sinterkörner unterscheiden sich hinsichtlich der Leichtigkeit, mit der sie poliert werden, und dies führt wahrscheinlich zu Höhendifferenzen zwischen den Körnern. Wenn die mittlere Körnergröße der längsten Abschnitte der Poren  $0,4\ \mu\text{m}$  überschreitet, nimmt die Fläche der Poren und um die Poren herum übermäßig zu, was einen Bindungsfehler hervorruft, und dies ist unerwünscht. Da der für das erfindungsgemäße Verbundsubstrat verwendete Mullitsinterkörper sehr wenig andere Heterophasenbestandteile als die Mullitbestandteile enthält, kann seine auf Hochglanz endbearbeitete Oberfläche eine hohe Oberflächenflachheit haben. Die Oberflächenflachheit kann zum Beispiel beurteilt werden, indem der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  oder die Glättungstiefe  $R_p$  der auf Hochglanz endbearbeiteten Oberfläche oder die Anzahl an Poren in der Oberfläche geschätzt wird. Eine große Menge an Heterophasenbestandteilen führt in diesem Zusammenhang zu einer unzureichenden Oberflächenflachheit, da die Leichtigkeit des Polierens zwischen der Mullitphase und den Heterophasenbestandteilen verschieden ist. Heterophasenbestandteile lassen sich nämlich schwer polieren und bleiben wahrscheinlich in einer vorstehenden Weise zurück, was die Erhöhung der Oberflächenflachheit verhindert.

**[0009]** Der für das erfindungsgemäße Verbundsubstrat verwendete Mullitsinterkörper hat vorzugsweise einen arithmetischen Mittenrauwert  $R_a$  von  $3\ \text{nm}$  oder weniger, besser noch  $2,5\ \text{nm}$  oder weniger. Außerdem beträgt die Glättungstiefe  $R_p$   $30\ \text{nm}$  oder weniger und vorzugsweise  $25\ \text{nm}$  oder weniger. Die Anzahl an Poren in der Oberfläche beträgt vorzugsweise 10 oder weniger, besser noch 7 oder weniger pro Flächeneinheit von  $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ . Der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  und die Glättungstiefe  $R_p$ , die in der Erfindung verwendet werden, sind Werte, die ermittelt werden, indem eine durch Polieren auf Hochglanz endbearbeitete Oberfläche mit einem dreidimensionalen optischen Profilmessgerät gemessen wird. Die Messfläche beträgt  $100\ \mu\text{m} \times 140\ \mu\text{m}$ . Der arithmetische Mittenrauwert  $R_a$  und die Glättungstiefe  $R_p$ , die hier erwähnt werden, entsprechen jeweils dem arithmetischen Mittenrauwert  $R_a$  und der Glättungstiefe  $R_p$  eines Rauheitsprofils, die jeweils in der JIS B 0601: 2013 spezifiziert sind.

**[0010]** Der für das erfindungsgemäße Verbundsubstrat verwendete Mullitsinterkörper hat vorzugsweise eine 4-Punkt-Biegefestigkeit von  $280\ \text{MPa}$  oder mehr, besser noch  $300\ \text{MPa}$  oder mehr. Ein solcher Mullitsinterkörper ist so stark, dass er nicht einfach verformt wird, wenn er benutzt wird. Die hier erwähnte 4-Punkt-Biegefestigkeit bezieht sich auf einen Wert, der durch eine Messung in Übereinstimmung mit JIS R 1601 ermittelt wird.

**[0011]** Der Gehalt an Verunreinigungselementen in dem für das erfindungsgemäße Verbundsubstrat verwendeten Mullitsinterkörper beträgt vorzugsweise  $0,5\ \text{Masse}\%$  oder weniger, besser noch  $0,1\ \text{Masse}\%$  oder weniger. Ein solcher Mullitsinterkörper enthält eine weiter verringerte Menge an Heterophasenbestandteilen, die sich schwer polieren lassen und wahrscheinlich in einer vorstehenden Weise zurückbleiben. Dementsprechend wird die Oberflächenflachheit weiter erhöht.

**[0012]** Wenn der für das erfindungsgemäßen Verbundsubstrat verwendete Mullitsinterkörper zu einer Platte ausgebildet wird, die eine Dicke von 0,1 mm hat, hat die Platte vorzugsweise eine Gesamlichtdurchlässigkeit von 20% oder mehr gegenüber Licht mit einer Wellenlänge von 550 nm. Diese Gesamlichtdurchlässigkeit ist ein Wert, der erzielt wird, indem die Gesamlichtdurchlässigkeit eines Teststücks des Mullitsinterkörpers, das eine vorbestimmte Dicke hat, gegenüber Licht mit Wellenlängen von 200 nm bis 3000 nm gemessen wird und die Gesamlichtdurchlässigkeit des Teststücks gegenüber Licht mit einer Wellenlänge von 550 nm abgeschätzt wird und der Wert für eine Dicke von 0,1 mm berechnet wird. Ein solcher Mullitsinterkörper erlaubt eine leichte Untersuchung des Bindungszustands des Mullitsubstrats. Wenn der Mullitsinterkörper zum Beispiel zu einem Mullitsubstrat bearbeitet wird und an ein lichtundurchlässiges Substrat, etwa ein Si-Substrat, gebunden wird, kann der Bindungszustand überprüft werden, indem der Bindungsaufbau visuell oder mittels eines Mikroskops durch das Mullitsubstrat hindurch untersucht wird.

**[0013]** In dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Verbundsubstrats wird ein Mullitsinterkörper hergestellt, indem ein Mullit Ausgangsmaterialpulver mit einer Reinheit von 99,0 Masse% oder mehr (Substanzen, die durch Erhitzen freigesetzt werden, werden nicht als Verunreinigungen angesehen) zu einer vorbestimmten Form verdichtet wird und die Form dann durch Heißpressbrennen bei einem Pressdruck von 20 kgf/cm<sup>2</sup> bis 300 kgf/cm<sup>2</sup> und einer Brenntemperatur (der höchsten Temperatur während des Brennens) von 1525°C bis 1700°C gesintert wird.

**[0014]** Unter Bezugnahme auf den in **Fig. 1** gezeigten Prozessablauf wird nun ein exemplarischer Prozess zur Herstellung eines Mullitsubstrats beschrieben.

- Anfertigung Mullit Ausgangsmaterialpulver -

**[0015]** Obwohl als das Mullit Ausgangsmaterialpulver jedes kommerziell verfügbare Mullitpulver verwendet werden kann, wird ein hochgradig reines Pulver mit einer kleinen mittleren Partikelgröße bevorzugt. Zum Beispiel beträgt die Reinheit des Mullitpulvers vorzugsweise 99,0% oder mehr, besser noch 99,5% oder mehr und noch besser 99,8% oder mehr. Die Reinheit wird auf Masseprozentbasis angegeben. Außerdem beträgt die mittlere Partikelgröße (D50) vorzugsweise 3 µm oder weniger, besser noch 2 µm oder weniger und noch besser 1 µm oder weniger. Die mittlere Partikelgröße (D50) wird durch Laserbeugung gemessen. Mit einem solchen hochgradig reinen und feinen Ausgangsmaterial kann Mullit bei geringer Temperatur durch Heißpressbrennen verdichtet werden, und es ist möglich, Verunreinigungen daran zu hindern, heterogene Phasen auszubilden oder anomal zu Körnern anzuwachsen, was zu einem Sinterkörper führt, der feine, homogen gesinterte Mullitkörner enthält.

**[0016]** Alternativ können zunächst grobe Mullitkörner angefertigt werden, indem ein Mischpulver gebrannt wird, das in einem vorbestimmten Verhältnis hochgradig reines Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> enthält. Dann werden die groben Körner zu Mullit Ausgangsmaterialpulver pulverisiert. Damit auch in diesem Fall Verunreinigungen verringert werden, ist es vorzuziehen, hochgradig reines Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> zu verwenden und zum Pulverisieren der groben Körner ein Aluminiumoxidmedium (Kugeln und Behälter) zu verwenden. Es kann auch ein hochgradig verschleißbeständiges Zirkoniumoxidmedium verwendet werden. In diesem Fall muss jedoch darauf angepasst werden, eine Kontamination des Ausgangsmaterialpulvers mit Zirkoniumoxid zu minimieren, indem die Pulverisierungszeit verringert wird. Metallische Medien sind nicht geeignet, da sie verschleifen können und somit die Menge an Verunreinigungen im Mullit Ausgangsmaterial erhöhen. Substanzen, die durch Erhitzen freigesetzt werden, etwa CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, müssen nicht als die Verunreinigungen im Ausgangsmaterialpulver berücksichtigt werden. In dem Mischpulver zum Anfertigen einer Mullitzusammensetzung können Prekursoren verwendet werden, die durch Erhitzen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> erzeugen.

- Ausbildung Mullitsinterkörper -

**[0017]** Dann wird das oben beschriebene Mullit Ausgangsmaterialpulver zu einer vorbestimmten Form verdichtet, und der Presskörper wird durch Heißpressen zu einem dichten Mullitsinterkörper gesintert. Für das Verdichten kann jede bekannte Technik verwendet werden, etwa Pressformen unter Verwendung einer Form, kaltisostatisches Pressen (CIP), Extrusion eines Tons des Ausgangsmaterialpulvers oder Gießen oder Bandformen eines Schlickers. In diesem Fall ist es wünschenswert, durch ein Erhitzen vor dem Brennen organische Bestandteile aus dem Bindemittel oder dergleichen zu entfernen, das als ein Hilfsmittel zum Verdichten des Ausgangsmaterialpulvers, des Tons oder des Schlickers zugegeben wird. Somit kann der Verunreinigungsgehalt in dem sich ergebenden Mullitsubstrat verringert werden.

**[0018]** Der sich ergebende Presskörper des Mullit Ausgangsmaterialpulvers wird durch Erhitzen und Brennen zu einem dichten Mullitsinterkörper gesintert. Bei diesem Vorgang ist es unter dem Gesichtspunkt, ein Mullitsubstrat mit einer hohen Oberflächenflachheit herzustellen, wichtig, während des Sinterns Poren zu entfernen, während die Sinterkörner fein gehalten werden. Zu diesem Zweck ist das Brennen durch Heißpressen besonders vorteilhaft. Heißpressen erfolgt, indem ein Presskörper, der in einer Graphitform platziert wird, gebrannt wird, während der Presskörper zwischen Stanzstäben und -formen gepresst wird. Somit werden Mullitkörner, während sie fein gehalten werden, bei einer geringeren Temperatur als beim allgemeinen Normaldrucksintern verdichtet. Dieses Verfahren kann die Ausbildung bleibender großer Poren, die oft durch Normaldrucksintern ausgebildet werden, und grober Mullitkörner, die durch das Wachstum von Mullitkörnern ausgebildet werden, minimieren/verhindern. Die Brenntemperatur des Heißpressens beträgt vorzugsweise 1525°C bis 1700°C und besser noch 1550°C bis 1650°C. Außerdem beträgt der Pressdruck für das Heißpressen vorzugsweise 20 kgf/cm<sup>2</sup> bis 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Die Haltezeit der Brenntemperatur (Maximaltemperatur), die entsprechend der Form und den Abmessungen des Presskörpers und den Merkmalen des Heizofens eingestellt wird, beträgt zum Beispiel vorzugsweise 1 bis 12 Stunden und besser noch 2 bis 8 Stunden. Die Atmosphäre für das Heißpressbrennen kann ein Inertgas, etwa Stickstoff oder Argon, oder Vakuum sein.

- Herstellung Mullitsubstrat -

**[0019]** Aus dem wie oben ausgebildeten Mullitsinterkörper wird ein Mullitsubstrat hergestellt. Für diesen Vorgang wird der Umfang des Sinterkörpers zunächst in eine vorbestimmte Form bearbeitet, und dann wird der sich ergebende Körper in eine dünne Platte zerschnitten, wodurch er zu einem Mullitsubstrat ausgeschnitten wird. Anschließend werden beide Seiten des sich ergebenden Mullitsubstrats durch Diamantläppen, CMP-Polieren oder dergleichen planarisiert. Dann wird das Mullitsubstrat mit einer herkömmlichen Reinigungslösung, etwa einer Aminlösung, SPM (Schwefelsäure-/Wasserstoffperoxidgemisch) oder einer RCA-Reinigungslösung, gewaschen, um von der Oberfläche des Substrats metallische oder organische Kontaminationen, Partikel und dergleichen zu entfernen. Somit hat das Mullitsubstrat eine saubere Oberfläche, die die Anforderungen zur Herstellung eines Verbundsubstrats erfüllt.

**[0020]** Das erfindungsgemäße Verbundsubstrat weist ein Trägersubstrat und ein funktionelles Substrat auf, die miteinander verbunden sind. Das Trägersubstrat ist ein Mullitsubstrat, das aus dem oben beschriebenen Mullitsinterkörper besteht. Das funktionelle Substrat kann ein piezoelektrisches Substrat, etwa ein Lithiumtantalat-(LT-)Substrat oder ein Lithiumniobat-(LN-)Substrat, oder ein Halbleitersubstrat, etwa ein Galliumnitrid-(GaN-)Substrat oder ein Silicium-(Si-)Substrat, sein. Die zwei Substrate werden direkt miteinander verbunden oder mit einer Haftschrift dazwischen. Vorzugsweise werden sie direkt verbunden. Um direkt verbunden zu werden, werden die Bindungsoberflächen des funktionellen Substrats und des Mullitträgersubstrats aktiviert, und dann werden sie einander gegenübergesetzt und gegeneinander gepresst. Die Aktivierung der Bindungsoberflächen erfolgt, indem zum Beispiel die Bindungsoberflächen mit einem Ionenstrahl eines Inertgases (wie Argon) oder mit einem Plasma oder einem neutralen Atomstrahl bestrahlt werden. Für die Verbindung mit einer Haftschrift kann die Haftschrift aus zum Beispiel einem Epoxidharz oder einem Acrylharz ausgebildet werden. **Fig. 2** zeigt ein exemplarisches Verbundsubstrat. Das Verbundsubstrat 10 ist ein Substrat, das hergestellt wurde, indem ein piezoelektrisches Substrat 12, das ein funktionelles Substrat ist, und ein Trägersubstrat 14 direkt miteinander verbunden wurden.

**[0021]** Da in dem erfindungsgemäßen Verbundsubstrat das Trägersubstrat das oben beschriebene Mullitsubstrat ist, ist die Oberflächenflachheit des Trägersubstrats hoch. Daher kann der Prozentanteil der bei der eigentlichen Bindung beteiligten Fläche (Bindungsflächenprozentanteil) zur Fläche der Bindungsgrenzfläche groß sein (zum Beispiel 80% oder mehr). Da das wie oben beschrieben hergestellte Verbundsubstrat gute Bindungsfähigkeit zeigt, können das funktionelle Substrat und das Mullitträgersubstrat bei Bedarf auf eine geringe Dicke poliert werden.

**[0022]** Das erfindungsgemäße Verbundsubstrat weist als das Trägersubstrat das bei mechanischen Eigenschaften hervorragende Mullitsubstrat auf und kann dementsprechend auf die Nachfrage nach miniaturisierten elektronischen Bauelementen oder Bauelementen mit niedrigem Profil reagieren. Solche elektronischen Bauelemente schließen akustische Wellenbauelemente (etwa akustische Oberflächenwellenbauelemente, Lambdawellenelemente und FBAR-Resonatoren (FBAR: engl. für Film Bulk Acoustic Resonator)), LED-Bauelemente, Lichtleiterbauelemente, Schaltelemente und Halbleiterbauelemente ein. Wenn das oben beschriebene Verbundsubstrat in einem akustischen Bauelement verwendet wird, können die Ausdehnung und die Kontraktion des akustischen Bauelements aufgrund einer Temperaturänderung verringert werden, da das Mullitsubstrat, das als das Trägersubstrat agiert, einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa 4,4 ppm/K (40°C bis 400°C) und ein hohes Elastizitätsmodul von 220 GPa oder mehr hat. Folglich

kann die Temperaturabhängigkeit der Frequenz des Bauelements stark verringert werden. Da das Mullitsubstrat feine Körner enthält und wenige Poren oder andere Fehler hat und somit dicht ist, hat es außerdem eine hohe Festigkeit von 280 MPa oder mehr und kann als zuverlässiges Trägersubstrat dienen. **Fig. 3** zeigt ein exemplarisches elektronisches Bauelement 30, das mit dem Verbundsubstrat 10 hergestellt wurde. Das elektronische Bauelement 30 ist ein AOW-Resonator mit 1-Port-Struktur, d. h. ein akustisches Oberflächenwellenbauelement. Zunächst wird im piezoelektrischen Substrat 12 des Verbundsubstrats 10 durch herkömmliche Fotolithografie ein Muster einer großen Anzahl von elektronischen Bauelementen 30 ausgebildet, und dann werden die elektronischen Bauelemente 30 durch Dicing ausgeschnitten. Das elektronische Bauelement 30 wird hergestellt, indem auf der Oberfläche des piezoelektrischen Substrats 12 IDT-Elektroden (IDT: engl. für Interdigital Transducer) 32 und 34 und Reflexionselektroden 36 ausgebildet werden.

**[0023]** Beim Vergleich des Mullitsubstrats mit einem Siliciumsubstrat hat das Mullitsubstrat einen Wärmeausdehnungskoeffizienten, der im Wesentlichen gleich dem des Lithiumsubstrats ist, und eine höhere Festigkeit und einen höheren Elastizitätsmodul. Das Mullitsubstrat wird daher nicht leicht gebogen oder gebrochen und ist somit vorteilhaft. Außerdem zeigt das Mullitsubstrat eine viel höhere elektrische Isolierung als Silicium oder Silicium hohen Widerstands, weswegen es als ein isolierendes Trägersubstrat verwendet wird. Auch in dem Fall, dass es als ein Trägersubstrat für ein GaN-Substrat verwendet wird, ermöglicht das Mullitsubstrat eine Fertigung mit geringen Kosten, da es hervorragende mechanische Eigenschaften hat und hochgradig zuverlässig ist. Das ein Mullitträgersubstrat aufweisende Verbundsubstrat hat einen Wärmeausdehnungskoeffizienten nahe an dem von Silicium und GaN und lässt sich daher leicht bei bekannten Fertigungsprozessen anwenden, die Silicium oder GaN verwenden.

### Beispiele

**[0024]** Es werden nun ausführlich Beispiele der Erfindung beschrieben. Allerdings ist die Erfindung nicht auf die Beispiele unten beschränkt.

#### 1. Anfertigung Mullit Ausgangsmaterialpulver

**[0025]** Ein kommerziell erhältliches Mullitpulver mit einer Reinheit von 99,9% oder mehr und einer mittleren Partikelgröße von 0,7  $\mu\text{m}$  wurde als Mullit Ausgangsmaterialpulver A verwendet. Für ein Mullit Ausgangsmaterialpulver B wurden als Ausgangsmaterialien kommerziell erhältliche Aluminiumoxid- und Siliciumoxidpulver verwendet, die jeweils eine mittlere Partikelgröße von 1  $\mu\text{m}$  oder weniger und eine Reinheit von 99,9% oder mehr hatten. Diese Ausgangsmaterialien wurden mit einem Aluminiumoxidmedium nass gemischt, gefolgt von einem Trocknen. Das getrocknete Misch Ausgangsmaterial wurde erhitzt, um Mullit zu synthetisieren. Nachdem es mit einem Aluminiumoxidmedium nass pulverisiert und getrocknet worden war, wurde das Mullit als Mullit Ausgangsmaterialpulver B verwendet. Das Mullit Ausgangsmaterialpulver B hatte eine Reinheit von 99,9% oder mehr und eine mittlere Partikelgröße D50 von 0,9  $\mu\text{m}$ . Als Ausgangsmaterialpulver C wurde ein Pulver mit einer Reinheit von 99,0% und einer mittleren Partikelgröße von 2,2  $\mu\text{m}$  verwendet. Als Ausgangsmaterialpulver D wurde ein Pulver mit einer Reinheit von 98,5% und einer mittleren Partikelgröße von 3,6  $\mu\text{m}$  verwendet. Die in den Ausgangsmaterialpulvern C und D enthaltenen Hauptverunreinigungen schließen Fe, Ti, Ca und Na ein. Die obigen Reinheiten werden auf Masseprozentbasis durch den Gehalt der Bestandteile Si, Al und O von Mullit angegeben, und andere Elemente als diese drei Elemente sind Verunreinigungen.

#### 2. Ausbildung Mullitsinterkörper

**[0026]** Jedes der oben angefertigten Mullit Ausgangsmaterialpulver wurde in einer Form mit etwa 125 mm Durchmesser platziert und bei einem Druck von 200  $\text{kgf/cm}^2$  zu einer Scheibe gepresst, die eine Dicke von etwa 10 mm bis 15 mm hatte, womit ein Mullitpresskörper ausgebildet wurde. Anschließend wurde der Mullitpresskörper in einer Graphit-Heißpressform platziert, die einen Innendurchmesser von etwa 125 mm hatte, und in einem Heißpressofen gebrannt, sodass sich ein Mullitsinterkörper ergab, der einen Durchmesser von etwa 125 mm und eine Dicke von etwa 5 mm bis 8 mm hatte. Die maximale Temperatur während des Brennens (Brenntemperatur) betrug 1500°C bis 1750°C, und die Haltezeit der Brenntemperatur betrug 5 Stunden. Die Aufheizrate und die Abkühlrate betragen jeweils 200°C/h. Die Presslast während des Erhitzens betrug bei 900°C oder mehr 200  $\text{kgf/cm}^2$ . Die Ofenatmosphäre war Vakuum, bevor 900°C erreicht wurde. Nach dem Erreichen von 900°C wurde Ar eingelassen und das Sintern erfolgte in einer Ar-Atmosphäre. Der Presskörper wurde für eine vorbestimmte Zeit bei einer Brenntemperatur gehalten und dann auf 1200°C abgekühlt. Dann wurden die Steuerungen der Presslast und Atmosphäre angehalten, und der Presskörper wurde natürlich abgekühlt.

## 3. Auswertungen Eigenschaften

**[0027]** Für Auswertungen wurden aus dem sich ergebenden Sinterkörper 4 mm × 3 mm × 40 mm große Biegebruchstäbe oder dergleichen ausgeschnitten. Für die Auswertung der Oberflächeneigenschaften des Sinterkörpers wurde durch Polieren eine Oberfläche eines etwa 4 mm × 3 mm × 10 mm großen Teststücks auf Hochglanz endbearbeitet. Das Polieren erfolgte unter Verwendung von 3 µm großen Diamantschleifkörnern und 0,5 µm großen Diamantschleifkörnern in dieser Reihenfolge. Für die Endbearbeitung wurde ein Aufräuen mit kolloidaler Kieselsäureschlämme (pH = 11, Partikelgröße: 80 nm) und einem Vliespad durchgeführt.

## (1) Rohdichte, Porosität

**[0028]** Diese Eigenschaften wurden unter Verwendung destillierten Wassers durch die Archimedes-Methode gemessen.

## (2) Mittlere Korngröße gesinterte Mullitkörner

**[0029]** Die auf Hochglanz endbearbeitete Oberfläche wurde mit Phosphorsäure chemisch geätzt. Dann wurden durch ein REM in der Oberfläche die Größen von 200 oder mehr gesinterten Mullitkörnern gemessen, und die mittlere Korngröße wurde durch eine Segment-Methode berechnet. Die Anzahl an Zählungen der Segment-Methode betrug 1,5, und die Korngröße jedes gesinterten Korn wurde festgestellt, indem die durch das REM gemessene Länge und 1,5 multipliziert wurden.

## (3) Anzahl an Poren, mittlere größte Porenlänge

**[0030]** Die auf Hochglanz endbearbeitete Oberfläche wurde durch ein AFM untersucht. Die Anzahl an Poren, die eine größte Länge von 0,1 µm oder mehr hatten, wurde als die Anzahl an Poren definiert, und die mittlere Länge der längsten Abschnitte der Poren wurde als die mittlere längste Porenlänge definiert. Jede Flächeneinheit wird als ein 4 µm × 4 µm großes Quadrat (Fläche eines Quadrats mit 4 µm auf jeder Seite) angegeben.

## (4) Oberflächenflachheit

**[0031]** Der arithmetische Mittenrauwert Ra und die Glättungstiefe Rp der mit Hochglanz endbearbeiteten Oberfläche wurden mit einem dreidimensionalen optischen Profilmessgerät Zygo gemessen. Diese Werte wurden als Oberflächenflachheit bewertet. Die Messfläche betrug 100 µm × 140 µm.

## (5) Biegefestigkeit

**[0032]** Die 4-Punkt-Biegefestigkeit wurde bei Zimmertemperatur in Übereinstimmung mit JIS R 1601 gemessen.

## (6) Zusammensetzungsanalyse (Menge an Verunreinigungen)

**[0033]** Die Mengen an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> und Verunreinigungen in dem Ausgangsmaterialpulver und dem pulverisierten Sinterkörper wurden durch hochfrequente, induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektroskopie gemessen.

## (7) Optische Eigenschaft (Gesamtlichtdurchlässigkeit)

**[0034]** Die Gesamtlichtdurchlässigkeiten jedes Teststücks, das eine Dicke von 0,3 mm bis 0,5 mm hatte, wurde gegenüber Licht mit Wellenlängen von 200 nm bis 3000 nm gemessen, und die Gesamtlichtdurchlässigkeit gegenüber Licht mit einer Wellenlänge von 550 nm wurde als der repräsentative Wert für die Berechnung des Werts für eine Dicke von 0,1 mm verwendet. Für diese Messung wurde ein Spektrophotometer verwendet. Auf der Oberfläche der Probe wurde in einer Richtung senkrecht zur Oberfläche ein Bündel im Wesentlichen paralleler Lichtstrahlen auffallen gelassen, um die Gesamtlichtdurchlässigkeit der Probe zu messen. Als Bezugsmaterial wurde in dem Strahlengang, in dem die Probe nicht eingeführt war, Luft verwendet. Der spektrale Transmissionsgrad des Bezugsmaterials wurde als 1 definiert, und die Gesamtlichtdurchlässigkeit der Probe wurde erzielt, indem das durchgelassene Licht mit einer Integrationskugel aufgeteilt wurde.

## (8) Kristallphase

**[0035]** Die Kristallphase des pulverisierten Sinterkörpers wurde mit einem Röntgenbeugungsgerät identifiziert. Das Röntgenbeugungsgerät war eine von Rigaku angefertigte Rotating Anticathode RINT, und die Messung erfolgte unter den Bedingungen CuK $\alpha$ , 50 kV, 300 mA und  $2\theta = 5 - 70^\circ$ .

## 4. Herstellung Mullitssubstrat

**[0036]** Der sich ergebene Mullitsinterkörper wurde so bearbeitet, dass er in Diskussubstrate geschnitten wurde, die einen Durchmesser von etwa 100 mm und eine Dicke von etwa 600  $\mu\text{m}$  hatten. Nachdem beide Oberflächen jedes Substrats durch CMP endbearbeitet worden waren, wurden die Substrate gereinigt, um von den Oberflächen Partikel und Kontaminationen zu entfernen, und somit wurden Mullitssubstrate hergestellt.

**[0037]** Anschließend wurde jedes der sich ergebenden Mullitssubstrate als das Trägersubstrat direkt mit einem der folgenden funktionellen Substrate verbunden: einem LT-Substrat, einem LN-Substrat und einem Si-Substrat. Genauer gesagt wurden die Bindungsoberflächen der funktionellen Substrate und der Mullitträgersubstrate mit einem Argonionenstrahl aktiviert, und dann wurden die Bindungsoberflächen jeder Kombination der Substrate einander gegenübergestellt und miteinander durch Pressen bei 10 Tonnen-f verbunden.

## - Versuchsbeispiele 1 bis 6 -

**[0038]** In den Versuchsbeispielen 1 bis 6 wurden, wie in Tabelle 1 angegeben ist, aus einem Ausgangsmaterialpulver A bei einer Brenntemperatur von 1500°C bis 1750°C Mullitsinterkörper hergestellt, und aus den sich ergebenden Mullitsinterkörpern wurden Substrate hergestellt. Die Tabelle 1 gibt die Eigenschaften der Mullitsinterkörper und ihrer Substrate an.



- Tabelle 1 -

Versuchsbeispiele	Brennbedingungen		Mullitsinterkörper										Mullitsubstrat
	Ausgangsmaterialpulver	Höchste Temperatur (°C)	Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )	Porosität (%)	Mullitsinterkomgröße (µm)	Mittlere größte Porenlänge (µm)	*1 Anzahl an Poren (Anzahl)	Flachheit polierte Oberfläche (nm)		Biegefestigkeit (MPa)	*2 Verunreinigungselementgehalt (Masse %)	Gesamtdurchlässigkeit (%)	*3 Bindungsfähigkeit
								Ra	Rp				
1	A	1500	2,84	8,7	1,5	1,2	> 100	-	-	176	<0,1	<1	X
2	A	1550	3,15	<0,003	2	0,4	7	1,5	19	302	<0,1	22	O (LT)
3	A	1600	3,15	<0,003	3	0,2	6	1,8	20	332	<0,1	27	O (LT)
4	A	1650	3,15	<0,003	5	0,3	5	2,3	22	325	<0,1	32	O (LT)
5	A	1700	3,15	<0,003	7	0,4	3	2,9	28	288	<0,1	38	O (LT)
6	A	1750	3,15	<0,003	10	0,5	2	5,6	46	253	<0,1	43	x (LT)
7													O (LT)
8	B	1600	3,15	<0,003	3	0,2	5	1,6	18	335	<0,1	29	O (LN)
9													O (Si)
10	C	1600	3,14	0,05	7	0,6	13	5,1	52	245	0,8	<10	x
11	D	1600	3,14	0,08	9	0,6	16	5,4	95	210	1,2	<10	x

\*1: Die Anzahl an Poren bezieht sich hier auf die pro Flächeneinheit eines 4 µm x µm großen Quadrats.  
 \*2: Die Verunreinigungselemente beziehen sich hier auf andere Elemente als Al, Si und O.  
 \*3: Die Bindungsfähigkeit bezieht sich hier auf die, wenn ein Mullitsubstrat und ein funktionelles Substrat (siehe Klammern) verbunden werden. „O“ gibt exzellekt an, und „x“ gibt ein Versagen ein.

**[0039]** Im Versuchsbeispiel 1 wurde die Brenntemperatur auf 1500°C eingestellt, und der Sinterkörper hatte eine geringe Rohdichte von 2,84 g/cm<sup>3</sup> und eine hohe Porosität von 8,7%, weswegen es ihm an Verdichtung mangelte. In einer Bruchoberfläche des Sinterkörpers war eine große Anzahl von 1 µm bis 2 µm großen Poren zu erkennen. Somit befand sich das Substrat in einem Zustand, in dem es nicht dazu imstande war, als ein Trägersubstrat verwendet zu werden, mit dem eine Bindung eingegangen werden soll (100 Poren in einem 100 µm × 100 µm großen Quadrat). Das Ergebnis einer Kristallphasenanalyse des Sinterkörpers zeigte eine sehr geringe Menge heterogener Phasen, die wahrscheinlich Cristobalit oder Korund waren.

**[0040]** Im Versuchsbeispiel 2 wurde die Brenntemperatur auf 1550°C eingestellt. Der Sinterkörper hat eine Rohdichte von 3,15 g/cm<sup>3</sup> und eine Porosität von 0,1% oder weniger. Es bestätigte sich somit, dass die polierte Oberfläche auf Hochglanz endbearbeitet war. Die Untersuchung der polierten Oberfläche zeigte, dass die verbliebenen Poren sehr klein waren und ihre Anzahl ebenfalls klein war und dass das Substrat bei einer Mullitsinterkorngroße von sehr kleinen 2 µm ausreichend verdichtet war. Die Röntgenbeugung zeigte, dass es keine Phasen außer der Mullitphase gab. Die Anzahl an Poren in der mittels eines AFM untersuchten polierten Oberfläche betrug nur 7 pro Flächeneinheit eines 4 µm × 4 µm großen Quadrats; Ra und Rp betragen jeweils 1,5 nm und 19 nm, und waren somit klein. Das sich ergebende Mullitsubstrat war somit hochgradig flach. Dieses Substrat und ein LT-Substrat wurden direkt miteinander verbunden. Der Prozentanteil der zur eigentlichen Bindung beitragenden Fläche (Bindungsflächenprozentanteil) zur Fläche der Bindungsgrenzfläche betrug etwa 100%, was einen hervorragenden Bindungszustand zeigte.

**[0041]** In den Versuchsbeispielen 3, 4 und 5 wurden die Brenntemperaturen jeweils auf 1600°C, 1650°C und 1700°C eingestellt. Jede Probe zeigte eine hohe Rohdichte und eine geringe Porosität, wobei sie wie im Versuchsbeispiel 2 ausreichend verdichtet worden war. Obwohl die Anzahl an Poren, Ra, und Rp in der polierten Oberfläche jeweils gut waren, zeigte sich bei zunehmender Brenntemperatur die Tendenz, dass die Porosität abnahm und Ra und Rp zunahm. Der Grund dafür ist wahrscheinlich der folgende. Wenn die Brenntemperatur zunimmt, schreitet das Wachstum von Mullitkörnern voran, sodass sich die Anzahl an Poren verringert. Andererseits haben Mullitkörner, die eine zunehmende Korngroße haben, wahrscheinlich voneinander verschiedene Höhen und bilden somit eine unebene Oberfläche aus, wenn die Oberfläche des Substrats auf Hochglanz endbearbeitet wird. Angesichts dessen beträgt die Brenntemperatur wünschenswerter Weise bis zu 1700°C. Die Sinterkörper der Versuchsbeispiele 3, 4 und 5 enthalten keine Heterophasen außer der Mullitphase. Die Mullitsubstrate der Versuchsbeispiele 3, 4 und 5 wurden jeweils wie beim Beispiel 2 exzellent direkt mit einem LT-Substrat verbunden, und der Bindungsflächenprozentanteil betrug 90% bis 100%.

**[0042]** Im Versuchsbeispiel 6 wurde die Brenntemperatur auf 1750°C eingestellt. Da die Brenntemperatur höher als die in den Versuchsbeispielen bis zum Versuchsbeispiel 5 war, schritt das Wachstum von Mullitkörnern bis zu einer Sinterkorngroße von 10 µm voran, und die Anzahl großer Poren erhöhte sich. Infolgedessen hatte die durch Polieren endbearbeitete Oberfläche Werte Ra von 5,6 nm und Rp von 46 nm, was eine schlechte Oberflächenflachheit zeigte. Das Mullitsubstrat des Versuchsbeispiels 6 wurde auf die gleiche Weise wie im Versuchsbeispiel 2 einer Bindung unterzogen. Allerdings erreichte der Bindungsflächenprozentanteil keine 40%, und es wurde nicht zur Herstellung eines Verbundsubstrats verwendet.

**[0043]** Was die Biegefestigkeiten der Mullitsinterkörper der Versuchsbeispiele 1 bis 6 betrifft, so zeigte das Versuchsbeispiel 1, bei dem die Verdichtung unzureichend war, eine geringe Biegefestigkeit von 130 MPa, während die Versuchsbeispiele 2 bis 6, bei denen die Verdichtung zufriedenstellend war, hohe Biegefestigkeiten von 250 MPa oder mehr zeigten. Insbesondere die Versuchsbeispiele 2 bis 5 zeigten hohe Festigkeiten von mehr als 280 MPa. Das legt nahe, dass Verbundsubstrate, die eines dieser Mullitsubstrate als das Trägersubstrat verwenden, gegenüber einer wiederholten Aufbringung von Wärme oder dergleichen mechanisch stark und stabil und somit zuverlässig sein können. Unter diesem Gesichtspunkt lässt sich sagen, dass die Mullitsubstrate der Versuchsbeispiele 2 bis 4, die eine Festigkeit von 300 MPa oder mehr hatten, noch vorteilhafter sind.

- Versuchsbeispiele 7 bis 9 -

**[0044]** Aus dem Ausgangsmaterialpulver B wurde durch Heißpressbrennen, das auf die gleiche Weise wie im Versuchsbeispiel 3 durchgeführt wurde, ein Mullitsinterkörper hergestellt. Der Sinterkörper war mit einer Rohdichte von hohen 3,15 g/cm<sup>3</sup> und einer Porosität von geringen 0,03% zufriedenstellend verdichtet worden. Die Sinterkorngroße, die Porengröße, die Anzahl an Poren und Ra und Rp in der polierten Oberfläche waren jeweils so klein wie im Beispiel 3 und somit gut. Es wurde keine Kristallphase außer Mullitphasen erfasst. Aus diesem Mullitsinterkörper wurden drei Mullitsubstrate ausgeschnitten. Ein erstes Mullitsubstrat wurde mit einem LT-Substrat direkt verbunden (Versuchsbeispiel 7); ein zweites Mullitsubstrat wurde mit

einem LN-Substrat direkt verbunden (Versuchsbeispiel 8); und ein drittes Mullitsubstrat wurde mit einem Si-Substrat direkt verbunden. Im Ergebnis betrug der Bindungsflächenprozentanteil jeder Probe im Wesentlichen 100%, was somit einen exzellenten Bindungszustand zeigte.

- Versuchsbeispiele 10 und 11 -

**[0045]** In den Versuchsbeispielen 10 und 11 wurden aus den Ausgangsmaterialpulvern C und D durch Heißpressbrennen, das auf die gleiche Weise wie im Versuchsbeispiel 3 erfolgte, Mullitsinterkörper hergestellt. Obwohl diese Mullitsinterkörper bei hohen Rohdichten hoch verdichtet waren, waren die Porositäten recht hoch. Dies legt nahe, dass sich diese Sinterkörper in einem Zustand befanden, in dem in ihnen Poren eingeschlossen waren. Die mittlere Korngröße der gesinterten Mullitkörner war größer als die des Versuchsbeispiels 3. Dies legt nahe, dass während des Sinterns irgendein Verunreinigungselement, das in dem Ausgangsmaterial enthalten war, das Wachstum der Körner gefördert haben könnte. Die durch Polieren endbearbeitete Oberfläche hatte große Werte Ra und Rp und zeigte, dass das Kornwachstum vorangeschritten war. Außerdem erschienen bei der Kristallphasenanalyse kleine Peaks, die von einer anderen Substanz als Mullit stammten. Diese Ergebnisse legen nahe, dass Verunreinigungselemente in der polierten Oberfläche auf vorstehende Weise Heterophasenabschnitte ausbilden. Diese Proben wurden als für das Trägersubstrat des Verbundsubstrats ungeeignet beurteilt.

**[0046]** Die Mullitsinterkörper der Versuchsbeispiele 2 bis 9 waren gleichmäßig mit hoher Reinheit und hoher Dichte verdichtet, weswegen sie eine hohe Gesamtdurchlässigkeit von mehr als 20% zeigten. Wenn diese Mullitsinterkörper mit einem nicht lichtdurchlässigen Substrat wie einem Si-Substrat verbunden werden, können fehlerhafte Bindungsabschnitte, etwa Blasenabschnitte, erfasst werden, indem der Bindungsaufbau visuell oder mit einem Mikroskop durch das Mullitsubstrat hindurch untersucht wird.

**[0047]** Die Versuchsbeispiele 2 bis 5 und 7 bis 9 der Versuchsbeispiele 1 bis 11 entsprechen Beispielen der Erfindung, und die Beispiele 1, 6, 10 und 11 entsprechen Vergleichsbeispielen.

**[0048]** Die obigen Beispiele beschränken die Erfindung natürlich in keiner Weise.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit

**[0049]** Ein erfindungsgemäßes Verbundsubstrat kann als ein elektronisches Bauelement wie ein akustisches Oberflächenwellenbauelement eingesetzt werden.

#### Bezugszeichenliste

**[0050]** 10 Verbundsubstrat, 12 piezoelektrisches Substrat, 14 Trägersubstrat, 30 elektronisches Bauelement, 32, 34 IDT-Elektrode, 36 Reflexionselektrode

#### Patentansprüche

1. Verbundsubstrat (10) mit:  
einem Trägersubstrat (14); und  
einem Substrat (12), das aus Lithiumtantalat, Lithiumniobat, Galliumnitrid oder Silicium besteht und an das Trägersubstrat (14) gebunden ist,  
wobei das Trägersubstrat (14) ein Mullitsubstrat ist, das aus einem Mullitsinterkörper besteht, der einen Verunreinigungselementgehalt von 1 Masse% oder weniger hat und der gesinterte Mullitkörner enthält, die eine mittlere Korngröße von 8  $\mu\text{m}$  oder weniger haben, und  
wobei Poren, die in einer planarisierten Oberfläche des Trägersubstrats (14) vorhanden sind, eine mittlere Länge der längsten Abschnitte der Poren von 0,4  $\mu\text{m}$  oder weniger haben und die Glättungstiefe Rp der Oberfläche 30 nm oder weniger beträgt.

2. Verbundsubstrat (10) nach Anspruch 1, wobei die planarisierte Oberfläche des Trägersubstrats (14) einen arithmetischen Mittenrauwert Ra von 3 nm oder weniger hat.

3. Verbundsubstrat (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Anzahl an Poren in der planarisierten Oberfläche des Trägersubstrats (14) 10 oder weniger pro Flächeneinheit von 4  $\mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$  beträgt.

4. Verbundsubstrat (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Mullitsinterkörper eine 4-Punkt-Biegefestigkeit von 280 MPa oder mehr hat.

5. Verbundsubstrat (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Verunreinigungselementgehalt des Mullitsinterkörpers 0,5 Masse% oder weniger beträgt.

6. Verbundsubstrat (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei, wenn der Mullitsinterkörper zu einer Platte ausgebildet wird, die eine Dicke von 0,1 mm hat, die Platte eine Gesamlichtdurchlässigkeit von 20% oder mehr gegenüber Licht mit einer Wellenlänge von 550 nm hat.

7. Verfahren zur Herstellung eines Verbundsubstrats gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, welches die folgenden Schritte umfasst:

Verdichten eines Mullit Ausgangsmaterialpulvers mit einer Reinheit von 99,0 Masse% oder mehr zu einer vorbestimmten Form, wobei Substanzen, die durch Erhitzen freigesetzt werden, nicht als Verunreinigungen angesehen werden;

Sintern der Form durch Heißpressbrennen bei einem Pressdruck von 20 kgf/cm<sup>2</sup> bis 300 kgf/cm<sup>2</sup> und einer Brenntemperatur von 1525°C bis 1700°C, um einen Mullitsinterkörper zu erzielen;

Herstellen eines Mullitsubstrats aus dem Mullitsinterkörper, wobei der Umfang des Mullitsinterkörpers zunächst in eine vorbestimmte Form bearbeitet wird und der sich ergebende Körper dann in eine dünne Platte zerschnitten wird, wodurch er zu einem Mullitsubstrat ausgeschnitten wird;

Planarisieren beider Oberflächen des Mullitsubstrats, bis die Glättungstiefe Rp der Oberflächen 30 nm oder weniger beträgt;

Reinigen des Mullitsubstrats; und

Verbinden eines aus Lithiumtantalat, Lithiumniobat, Galliumnitrid oder Silicium bestehenden Substrats mit dem Mullitsubstrat als Trägersubstrat.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

FIG. 1

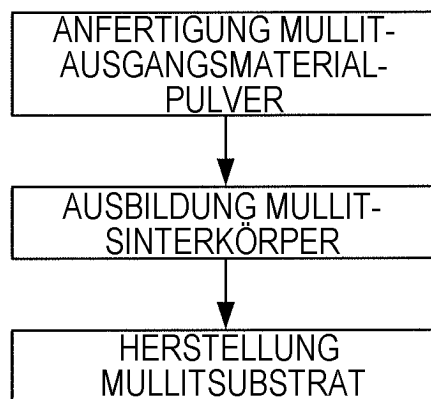


FIG. 2

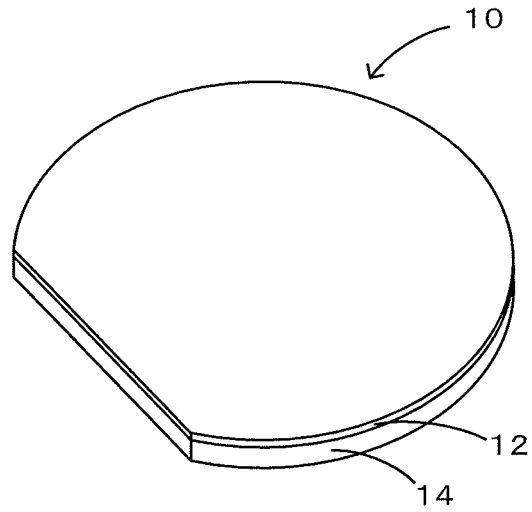


FIG. 3

