(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 11 176 T2** 2004.10.14

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 044 756 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 11 176.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 302 689.5**
(96) Europäischer Anmeldetag: **30.03.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.10.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **02.06.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.10.2004**

(51) Int Cl.[7]: **B23K 31/00**
B23K 9/028

(30) Unionspriorität:
9706099 **02.04.1999** **JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Nippon Sanso Corp., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Fuchs, Mehler, Weiß & Fritzsche, 65201 Wiesbaden

(72) Erfinder:
Kimura, Yutaka, Minato-ku, Tokyo 105-0003, JP;
Makamura, Koji, Minato-ku, Tokyo 105-0003, JP

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Verbinden eines rostfreien Stahlrohres**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG GEBIET DER ERFINDUNG

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein rostfreies Stahlrohr und ein Verfahren zum Verbinden desselben, welches zur Verwendung in einer Halbleiterherstellungsvorrichtung ausgebildet ist, ein Rohr oder dergleichen zum Zuführen eines Gases dazu, wobei das Einmischen von Unreinheiten aus Oxiden oder dergleichen, welche durch Kontakte mit einer Innenwand eines Rohres verursacht werden, tunlichst verhindert werden muss.

[0002] Da ein Gas, welches in einer Halbleiterherstellungsvorrichtung oder einem Rohr zum Zuführen eines wesentlichen Gases dazu verwendet wird, starke Korrosivität aufweist, wurde in einer Vorrichtung oder einem Rohr, mit welchen das Gas in Berührung kam, in vielen Fällen ein rostfreier Stahl mit einer hohen Korrosionsbeständigkeit verwendet. Bei derartigem Verbindungsschweißen in Fällen, in denen rostfreie Stahlrohre in einer vorgegebenen Länge verbindend angeordnet werden, wurde im Allgemeinen WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgas-Lichtbogenschweißen) verwendet.

[0003] Ferner wird es bei Halbleiterherstellungseinrichtungen oder Rohren, die zum Zuführen eines Gases daran angeschlossen sind, vorgezogen, dass nach Möglichkeit kein unnötiger Raum, der als "Totraum" bezeichnet wird, in einem Kanalrohr, durch welches das Gas hindurchströmt, vorhanden ist. Das heißt, dass sich, wenn ein Totraum in dem Rohr vorliegt, Staub oder Teilchen in dem Totraum ansammeln, derart, dass die Teilchen infolge einer Erschütterung davon abgelöst werden und dadurch in einem durchströmenden Gas mitgeführt und dann damit ausgetragen werden.

[0004] Ferner ist es, wenn in einem derartigen Rohr, durch welches ein korrosives Gas zugeführt wird, ein Totraum vorliegt, schwierig, Wasser, welches im Totraum vorhanden ist, zu entfernen, und ein korrosives Gas wird in dem Wasser gelöst und fördert dadurch die Entstehung von Spaltkorrosion. Wenn es zu der Spaltkorrosion kommt, platzen metallische Korrosionsprodukte von einer inneren Wand ab und werden zu Unreinheiten, welche dann ein Gas verunreinigen.

[0005] Allerdings wird der Totraum häufig während des Verrohrens oder Herstellens von Einrichtungen, insbesondere beim Verbindungschweißvorgang, geschaffen. Falls es beispielsweise einem geschweißten Abschnitt zum Verbinden von rostfreien Stahlrohren an Einbrand fehlt, bleibt ein ungeschmolzener Stoßverbindungsabschnitt in einem inneren Wandoberflächenabschnitt eines Rohres zurück, so dass ein mikroskopischer Hohlraum davon zu Totraum wird. Demnach wurde gefordert, eine Schweißung mit vollständigem Einbrand durchzuführen, derart, dass Schweißmetall zum Schweißen eine Innenwandoberfäche eines geschweißten Abschnittes erreicht.

[0006] Allerdings wurde vor kurzem bekanntgemacht, dass, wenn Schweißmetall eine Innenwandoberfläche eines geschweißten Abschnittes eines Rohres erreicht, ultramikroskopische metallische Teilchen, die als Schweißrauch bezeichnet werden, aus dem Schweißmetall zum Inneren eines Rohres hin erzeugt werden, so dass die Teilchen eine Ursache der Verunreinigung eines vorbeiströmenden Gases werden.

[0007] Wenngleich gefordert wurde, auf Grund des oben genannten Problems ein rostfreies Stahlrohr mit einem niedrigen Gehalt an Unreinheiten und einem hohen Preis zu verwenden, bleibt dann immer noch ein Problem der Erzeugung von Schweißrauch bestehen.

[0008] Darüber hinaus besteht auch noch, da Schweißmetall und eine durch Wärme beeinflusste Zone mit einer niedrigen Korrosionsbeständigkeit in einem geschweißten Abschnitt mit vollständigem Einbrand vorliegen, ein anderes Problem der Entstehung von Korrosion in jenem Bereich.

[0009] Die vorliegende Erfindung wird bereitgestellt, um die oben genannten Probleme zu lösen, und es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein rostfreies Stahlrohr bereitzustellen, welches verhindert, dass auf einem inneren Wandoberflächenabschnitt eines Verbindungsabschnitts davon ein Totraum geschaffen wird, und welches verhindert, dass ein Gas durch Schweißrauch aus metallischen Teilchen verunreinigt wird, welche aus einem geschweißten Abschnitt eines Rohres erzeugt werden, derart, dass ein vorbeiströmendes zuzuführendes Gas nicht mit Unreinheiten verunreinigt wird. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein rostfreies Stahlrohr bereitzustellen, welches in einem Verbindungsabschnitt eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit aufweist. Noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verbindungsver-

fahren zum Herstellen der oben genannten Rohre bereitzustellen.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0010] Gemäß Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung wird, um die oben genannten Probleme zu lösen, ein rostfreies Stahlrohr bereitgestellt, das Abschnitte umfasst, welche in der axialen Richtung durch Stumpfschweißen verbindend verbunden sind, wobei das rostfreie Stahlrohr einen Verbindungsabschnitt umfasst, welcher einen Stoßverbindungsabschnitt aufweist, wobei der Stoßverbindungsabschnitt aufweist: einen äußeren Stoßverbindungsabschnitt in einem äußeren Wandoberflächenabschnitt, welcher mit Einbrand verbunden ist; und einen inneren Stoßverbindungsabschnitt in einem inneren Wandoberflächenabschnitt, welcher im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden ist; derart, dass der Verbindungsabschnitt den Stoßverbindungsabschnitt umfasst, der durch Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden ist.

[0011] Darüber hinaus wird gemäß Anspruch 2 der vorliegenden Erfindung ein rostfreies Stahlrohr nach Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung bereitgestellt, wobei eine Abmessung t_s des ungeschmolzenen, im festen Zustand vorliegenden inneren Wandoberflächenabschnittes innerhalb des Bereiches $\mathbf{0} < t_s \leq 0{,}7$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche hin in Bezug auf eine Dicke t, wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres größer als 1 mm ist, eingestellt wird.

[0012] Darüber hinaus wird gemäß Anspruch 3 der vorliegenden Erfindung ein rostfreies Stahlrohr nach Anspruch 1 der vorliegenden Erfindung bereitgestellt, wobei eine Abmessung t_s des ungeschmolzenen, im festen Zustand vorliegenden inneren wandoberflächenabschnittes innerhalb des Bereiches $\mathbf{0} < t_s \leq 0{,}7t$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche hin in Bezug auf die Dicke t, wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres kleiner als 1 mm ist, eingestellt wird.

[0013] Darüber hinaus wird gemäß Anspruch 4 der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum verbindenden Verbinden von Abschnitten eines rostfreien Stahlrohres in axialer Richtung bereitgestellt, umfassend die Schritte des: Befestigens von Stoßverbindungsabschnitten von zu verbindenden rostfreien Stahlrohren; und des Schweißens der Stoßverbindungsabschnitte unter Wurzelschutzgasatmosphäre oder umgebendem Vakuum, derart, dass: innere Wandoberflächenabschnitte des Stoßverbindungsabschnitts im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden werden; und äußere Wandoberflächenabschnitte des Stoßverbindungsabschnitts mit Einbrand verbunden werden; um dadurch den ungeschmolzenen inneren Wandoberflächenabschnitt als einen Festzustand-Verbindungsabschnitt auszubilden.

[0014] Darüber hinaus wird gemäß Anspruch 5 der vorliegenden Erfindung ein Verbindungsverfahren nach Anspruch 4 der vorliegenden Erfindung bereitgestellt, wobei der Gehalt eines oxidativen Gases unter einer Wurzelschutzgasatmosphäre oder umgebendem Vakuum kleiner als 10 ppm ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] Zu Gunsten eines umfassenderen Verstehens des Wesens und der Aufgaben der vorliegenden Erfindung sollte auf die folgende ausführliche Beschreibung in Zusammenschau mit den beiliegenden Zeichnungen verwiesen werden. Es zeigen:

[0016] **Fig.** 1 eine teilweise vergrößerte Querschnittansicht zum veranschaulichen eines Verbindungsabschnitts eines rostfreien Stahlrohres gemäß der vorliegenden Erfindung, welches entlang dessen axialer Richtung durchgeschnitten ist;

[0017] **Fig.** 2 eine Querschnittstrukturansicht zum Veranschaulichen eines Verbindungsabschnitts eines rostfreien Stahlrohres gemäß der vorliegenden Erfindung, das entlang dessen diametraler Richtung durchgeschnitten ist;

[0018] **Fig.** 3 ein Schaubild, welches eine Variation der Zugfestigkeit T in Abhängigkeit einer Variation der Einbrandtiefe t_w darstellt; und

[0019] **Fig.** 4 ein Schaubild, welches eine Beziehung zwischen einer Sauerstoffkonzentration in Wurzelschutzgas und der Zugfestigkeit T darstellt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0020] Nunmehr wird eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung mit Bezugnahme auf **Fig.** 1 und **Fig.** 2 beschrieben. **Fig.** 1 ist eine teilweise vergrößerte Querschnittansicht zum Veranschaulichen eines Verbindungsabschnitts eines rostfreien Stahlrohres gemäß der vorliegenden Erfindung, welches entlang dessen axialer Richtung durchgeschnitten ist, und **Fig.** 2 ist eine Querschnittstrukturansicht zum Veranschaulichen eines Verbindungsabschnitts eines rostfreien Stahlrohres gemäß der vorliegenden Erfindung, das entlang dessen diametraler Richtung durchgeschnitten ist.

[0021] Das durch eine Stumpfschweißung verbundene rostfreie Stahlrohr umfasst: einen Verbindungsabschnitt, welcher einen Stoßverbindungsabschnitt aufweist; wobei der Stoßverbindungsabschnitt einen äußeren Stoßverbindungsabschnitt in einem äußeren Wandoberflächenabschnitt aufweist, welcher mit Einbrand verbunden wird; und einen inneren Stoßverbindungsabschnitt in einem inneren Wandoberflächenabschnitt, welcher im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden wird, derart, dass der Verbindungsabschnitt den Stoßverbindungsabschnitt umfasst, welcher durch die Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand verbunden wird. Es ist demnach möglich, ein rostfreies Stahlrohr zu erhalten, welches satt verbunden ist, ohne an der Innenwandoberfläche **4** des Rohres einen Totraum zu bilden oder Schweißrauch zu erzeugen.

[0022] Ferner wird das Stumpfschweißen mit Einbrand derart durchgeführt, dass eine Abmessung t_s des im festen Zustand vorliegenden ungeschmolzenen inneren Wandoberflächenabschnitts (ungeschmolzener Stoßverbindungsabschnitt: 2b) innerhalb des Bereiches von $0 < t_s \leq 0{,}7$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche **4** in dem Stoßverbindungsabschnitt **2** als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche **3** hin, eingestellt wird, beim Schweißen des Verbindungsabschnitts **2** durch Anlegen eines Lichtbogens von der Außenwandoberfläche **3** zur Innenwandoberfläche **4**, insbesondere wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres größer als 1 mm ist. Dann wird die Einbrandtiefe t_w des äußeren Wandoberflächenabschnitts (Stoßverbindungsabschnitt mit Einbrand: 2a) innerhalb des Bereiches von $0{,}3 < t_w \leq 1$(mm), beginnend von der Außenwandoberfläche **3** als Bezugsoberfläche zur Innenwandoberfläche **4** hin, eingestellt. Es ist demnach möglich, ein rostfreies Stahlrohr mit einem Festzustand-Verbindungsabschnitt S, der durch Druckschweißen gebildet wird, zu erhalten, wobei das rostfreie Stahlrohr verhindert, dass an der Innenwandoberfläche **4** des Stoßverbindungsabschnitts **2** ein Totraum gebildet wird, und weiterhin verhindert, dass Schweißrauch am Verbindungsabschnitt des inneren Wandoberflächenabschnitts **2b** erzeugt wird.

[0023] Ferner wird das Stumpfschweißen mit Einbrand derart durchgeführt, dass die Abmessung t_s des ungeschmolzenen, im festen Zustand vorliegenden inneren Wandoberflächenabschnitts (ungeschmolzener Stoßverbindungsabschnitt: 2b) innerhalb des Bereiches von $0 < t_s \leq 0{,}7xt$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche **4** im Stoßverbindungsabschnitt **2** als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche **3** hin, eingestellt wird, wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres kleiner als 1 mm ist. Dann wird die Einbrandtiefe t_W des äußeren wandoberflächenabschnitts (Stoßverbindungsabschnitt mit Einbrand: 2a) innerhalb des Bereiches von $1xt > t_w \geq 0{,}3xt$(mm), beginnend von der Außenwandoberfläche **3** als Bezugsoberfläche zur Innenwandoberfläche **4** hin, eingestellt. Es ist demnach möglich, einen Verbindungsabschnitt eines rostfreien Stahlrohrs mit einem Festzustand-Verbindungsabschnitt S, welcher durch Druckschweißen gebildet wird, zu erhalten, was verhindern kann, dass an der Innenwandoberfläche **4** des Stoßverbindungsabschnitts **2** ein Totraum gebildet wird, und weiterhin verhindern kann, dass Schweißrauch erzeugt wird.

[0024] Ferner ein Verbindungsverfahren zum Herstellen des oben genannten rostfreien Stahlrohres mittels Durchführen einer Stumpfschweißung des rostfreien Stahlrohres, wobei das Verfahren die Schritte des Befestigens von Stoßverbindungsabschnitten von zu verbindenden rostfreien Stahlrohren; des Schweißens der Stoßverbindungsabschnitte unter wurzelschutzgasatmosphäre oder Vakuumumgebung, derart, dass innere Wandoberflächenabschnitte des Stoßverbindungsabschnitts im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden werden, und äußere Wandoberflächenabschnitte des Stoßverbindungsabschnitts mit Einbrand verbunden werden.

[0025] Ferner ist es möglich, ein bevorzugtes Verbinden zu realisieren, wenn eine Oberflächenrauheit des Stoßverbindungsabschnitts **2** des zu verbindenden rostfreien Stahlrohres auf unter etwa 30 μm eingestellt wurde.

[0026] Das heißt, dass in einem derartigen Festzustand-Verbindungsabschnitt S die ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitte **2b** durch eine Druckbelastung, welche zu Gunsten des Kontakts der Rohre entsprechend der Schrumpfung einer Schmelzzone von Schweißmetall wirkt, miteinander druckverschweißt werden. Da eine Temperatur des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts **2b** entsprechend der Wärmeleitung

vom Schweißmetall ansteigt, wird der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** unter Aufrechterhaltung seines festen Zustands verbunden, und die inneren Wandoberflächenabschnitte der Rohre werden satt verbunden, ohne daran einen Totraum zu schaffen.

[0027] Schweißen, beispielsweise Lichtbogenschweißen, Elektronenstrahlschweißen oder Laserschweißen, wird umlaufend einmal oder mehrmals unter Konstanthaltung einer Einbrandtiefe des Stoßverbindungsabschnitts **2a**(W) des Schweißmetallabschnitts entlang der Umfangswand des Stoßverbindungsabschnitts durchgeführt, und eine aufgebrachte Gesamtwärmemenge wird erhöht, um die Erhitzdauer des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts zu erhöhen, um dadurch den Festzustand-Verbindungsabschnitt S des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts **2b** zuverlässiger herzustellen.

[0028] Das Stumpfschweißen mit Einbrand wird entsprechend einer Dicke eines Rohres unterschiedlich durchgeführt. Vorzugsweise wird Schweißen mit einer Schweißgeschwindigkeit unter 600 mm/min, insbesondere mit 50-300 mm/min, durchgeführt. Da die Temperaturhaltezeit im Fall, dass eine Schweißgeschwindigkeit über 600 mm/min liegt, kürzer ist, wird der ungeschmolzene Verbindungsabschnitt **2b** ungenügend erhitzt, und es ist schwierig, einen zufriedenstellenden Festzustand-Verbindungsabschnitt S zu erhalten. Unterdessen ist es, da es erforderlich ist, Schweißen unter Schweißbedingungen mit überaus niedriger Stromstärke durchzuführen, um das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand durchzuführen, welches vorzugsweise den ungeschmolzenen Festzustand-Verbindungsabschnitt S mit einer Geschwindigkeit unter 50 mm/min bildet, schwierig, stabil zu schweißen. Ferner ist es gemäß Schweißbedingungen, bei denen wie bei den herkömmlichen Stumpfschweißbedingungen Schweißmetall zum Schweißen im Stoßverbindungsabschnitt **2** die Innenwandoberfläche **4** erreicht, unmöglich, eine Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand zu erzielen, welche den ungeschmolzenen Festzustand-Verbindungsabschnitt S bildet.

[0029] Bei einer Schweißarbeit wird ein rostfreies Stahlrohr vorzugsweise in einer Wurzelschutzgasatmosphäre oder einer Vakuumumgebung geschweißt. Wenn ein oxidatives Gas, beispielsweise Luft oder dergleichen, welches Sauerstoff enthält, innerhalb eines Rohres vorhanden ist, ist es unmöglich, den bevorzugten Festzustand-Verbindungsabschnitt S zu bilden, da eine dicke Oxidschicht auf dem ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitt **2b** gebildet wird, wo der Festzustand-Verbindungsabschnitt S auszubilden ist. Daher ist es vorzuziehen, den Gehalt an oxidativem Gas auf unter 10 ppm einzustellen.

[0030] Als Wurzelschutzgas wird vorzugsweise ein Gas verwendet, welches sich aus mindestens einem aus der Gruppe, umfassend Argongas, Stickstoffgas, Heliumgas oder ein Gas mit zugesetztem Wasserstoffgas, zusammensetzt.

[0031] Ferner wird das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand vorzugsweise unter Herstellen einer Oberflächenrauheit R_y des Stoßverbindungsabschnitts **2** des zu verbindenden rostfreien Stahlrohres von unter 30um durchgeführt. Wenn eine Oberflächenrauheit R_y des Stoßverbindungsabschnitts **2** über 30um liegt, haften die Verbindungsabschnitte nicht satt aneinander und es können sich daran Leerräume oder Hohlräume bilden. Ferner ist es, wenn eine Oberflächenrauheit Ry des Stoßverbindungsabschnitts **2** unter 30 μm liegt, möglich, einen überaus vorteilhaften Festzustand-Verbindungsabschnitt S zu erhalten.

[0032] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Erzeugung ultramikroskopischer Metallpartikel, welche als Schweißrauch bezeichnet werden, innerhalb eines Rohres erheblich zu reduzieren, da durch Durchführen der Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand unter den oben genannten Bedingungen Schweißmetall auf hoher Temperatur zum Schweißen nicht die Innenwandoberfläche **4** des Rohres erreichen kann.

[0033] Ferner ist es möglich, das Ausmaß der Verringerung der Korrosionsbeständigkeit durch Wärmebeeinflussung erheblich zu reduzieren, da es möglich ist, die Temperatur des Verbindungsabschnitts **2b** in der Innenwandoberfläche des Stoßverbindungsabschnitts **2** derart zu senken, dass sie niedriger als jene des Stoßverbindungsabschnitts mit voll-ständigem Einbrand ist. Ferner ist es auch möglich, ein rostfreies Stahlrohr zu erhalten, welches eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit aufweist, zumal Schweißmetall zum Schweißen, das eine mindere Korrosionsbeständigkeit aufweist, die Innenwandoberfläche **4** des Rohres nicht erreichen kann. Ferner ist es, da Restspannung in einem geringen Maß unterdrückt werden kann, auch möglich, nicht nur die Gefahr des Verursachens von Spannungsrisskorrosion zu reduzieren, sondern auch Kantenverformung zu unterdrücken.

[0034] Als nächstes wurden, um Schweißbedingungen zu schaffen, derart, dass der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** der Innenwandoberfläche **4** des Rohres als ein Festzustand-Verbindungsabschnitt S

ausgebildet wird, welcher ein Merkmal des rostfreien Stahlrohres gemäß der vorliegenden Erfindung ist, Experimente durchgeführt wie folgt:

(i) Um eine Einbrandtiefe t_w(mm) des Stoßverbindungsabschnitts **2a** von der Außenwandoberfläche **3** ausgehend anzugeben (Experiment 1).
(ii) Um eine Schweißgeschwindigkeit anzugeben (Experiment **2**).
(iii) Um eine Schweißumgebung anzugeben (Experiment 3).
(iv) Um eine Oberflächenrauheit R_y des Stoßverbindungsabschnitts **2** anzugeben (Experiment 4).

[0035] Die Spezifikationen und Abmessungen von Schweißvorrichtungen und die Schweißbedingungen und Rohrprüflinge, welche gemeinhin in Experimenten verwendet wurden, waren folgende:

[Schweißvorrichtungen]

Automatische Schweißvorrichtung: Modell Nr. 207, hergestellt von Arc Machine Corporation
Schweißkopf: Modell Nr. 750, hergestellt von Arc Machine Corporation
Stromversorgung: angeschlossener Impulsgenerator, Impulsgenerierzeit: 0,1/0,1 Sekunden

[Schweißbedingungen]

Lichtbogenlänge (Spannungsreferenz): 0,8 mm(8V)
Schweißgeschwindigkeit: 120 mm/min
Startposition des Schweißens und dessen Bewegung: Start an einer Uhrposition 3 Uhr und Schweißen entlang der horizontal abwärtsgerichteten Richtung.
Wurzelschutzgas: Argongas 4 l/min
Schutzgas: Argongas 10 l/min
Spülzeit vor und nach dem Schweißen: mehr als 30 Sekunden

[Rohrprüflinge]

Material: rostfreier Stahl SUS 316 L
Außendurchmesser: 9,53 mm (3/8 Inch)
Dicke: 1 mm

[Experiment **1]**

[0036] 8 rostfreie Stahlrohrprüflinge wurden vorbereitet, welche aus dem oben genannten SUS 316 L herstellt waren, eine Dicke von 1 mm und einen Außendurchmesser von 9,53 mm aufwiesen, und von denen jedem eine Nummer von 1-8 zugewiesen wurde. Dann wurde eine Schweißbewegung mit Schweißstromwerten in den jeweiligen Ebenen, welche in Tabelle 1 aufgelistet sind, durchgeführt, um die jeweilige gewünschte Einbrandtiefe t_W in mm zu erreichen.

[0037] Ferner kann ein Schweißmittel, welches in diesem Stumpfschweißen mit Einbrand verwendet wird, durch Wählen eines geeigneten, beispielsweise Lichtbogenschweißen wie WIG-Schweißen, Laser-Schweißen, Elektronenstrahlschweißen oder dergleichen, durchgeführt werden.

[0038] Ferner wurde, wie in **Fig.** 2 dargestellt ist, eine Schweißung anhand dieser Schweißverfahren durch Teilen des Querschnitts des Stoßverbindungsabschnitts **2** und geeignetes Einstellen des Schweißströme gemäß dem aufgeteilten Abschnitt durchgeführt. Das heißt, dass, wenn ein Mittelpunkt des Querschnitts des Rohres als Ursprung angenommen wird und der Querschnitt durch zwei Achsen (X-X') und (Y-Y') in 4 Ebenen geteilt wird, wobei der erste Quadrant als Ebene 1, der zweite Quadrant als Ebene 2, der dritte Quadrant als Ebene 3 bzw. der vierte Quadrant als Ebene 4 angenommen wird. Dann wurde mit dem Schweißen an der Uhrposition 3 Uhr begonnen, an welcher die Achse (X-X') den Querschnitt des Verbindungsabschnitts **1** des Rohres schneidet, und die Bewegung erfolgte im Uhrzeigersinn die Umfangsoberfläche der Außenwandoberfläche **3** des Rohres entlang, um sich die Reihefolge Ebene 2 – Ebene 3 – Ebene 4 – Ebene 1 – Ebene 2 entlang zu bewegen.

[0039] Das Schweißen wurde durch geeignetes Einstellen des Schweißstromes für die oben genannten jeweiligen Ebenen durchgeführt.

[Tabelle 1]

Prüfling	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8
Ebene 1	17/11	18/11	19/12	21/13	23/14	25/15	25/16	26/16
Ebene 2	16/11	17/11	18/12	20/13	22/14	24/15	24/16	25/16
Ebene 3	13/11	14/11	16/12	18/13	20/14	22/15	22/16	22/16
Ebene 4	12/11	13/11	14/12	16/13	18/14	20/15	20/16	21/16

Durchschnittliche Einbrandtiefe tw(mm)	0,11	0,20	0,30	0,37	0,49	0,70	0,75	1,00
Ungeschmolzener Festzustand-Verbindungsabschnitt ts(mm)	0,89	0,80	0,70	0,63	0,51	0,30	0,25	0

[0040] Die Prüfung wurde zur Feststellung einer Variation der Zugfestigkeit T gemäß der Differenz zwischen entsprechenden Einbrandtiefen t_w, welche in der oben genannten Tabelle angegeben sind, durchgeführt.

[0041] Die Zugfestigkeitsprüfung wurde mittels Zugprüfgerät (AG . 5000D hergestellt von Shimadzu Corp.) durchgeführt, indem der Stoßverbindungsabschnitt von Rohrprüflingen, welche jeweils eine Länge von 700 mm aufwiesen, unter Aufrechterhaltung eines Zwischenraums eines Halteabschnitts von 45 mm zentriert wurde und indem Kernmetall unter Aufrechterhaltung eines Zwischenraums von 20 mm eingeführt wurde. Die Prüfung wurde unter Verwendung einer Kraftmessdose von 5 Tonnen mit einer Zugspannungsgeschwindigkeit von 20 mm/min durchgeführt.

[0042] Das Ergebnis der Prüfung wurde in **Fig.** 3 mittels eines Schaubildes dargestellt, welches eine Variation der Zugfestigkeit T(kgf/mm^2) in Abhängigkeit von einer Variation der Einbrandtiefe t_w (mm) veranschaulicht.

[0043] Wie aus **Fig.** 3 zu ersehen ist, erreichte, wenn eine durchschnittliche Einbrandtiefe 0,3 mm (30 % der Dicke des zu verwendenden Rohres) wurde, die Zugfestigkeit T etwa 54 kgf/mm^2 und überstieg demnach 50 kgf/mm^2. Die Zugfestigkeit T nahm im Fall einer durchschnittlichen Einbrandtiefe t_w von über 0,3 mm kaum zu und wies dieselbe Zugfestigkeit T wie eine Verbindung mit vollständigem Einbrand (Einbrand gleich 100 % Dicke des zu verbindenden Rohres), bei welcher die Einbrandtiefe t_w 1,0 mm ist, auf.

[0044] Zudem überstieg der Zugfestigkeitswert T die vorgegebene Zugfestigkeit von 480 N/mm^2 (48,89kgf/mm^2) , welche in JIS G3459 für "ein rostfreies Stahlrohr zur Verrohrung" vorgegeben ist.

[0045] Anhand des oben genannten Ergebnisses wurde festgestellt, dass, wenn der Stoßverbindungsabschnitt **2a** mit Einbrand von einer durchschnittlichen Tiefe t_w von über 0,3 mm (30 % der Dicke t des zu verwendenden Rohres) gebildet wurde, ein im festen Zustand verbundenes Rohr mit einer Zugfestigkeit T, die gleich jener bei vollständiger Einbrandtiefe ist, erreicht werden kann. Das heißt, es wurde festgestellt, dass vorzuziehen ist, eine Schweißung mit teilweisem Einbrand durchzuführen, derart, dass die Abmessung t_s des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts **2b** des inneren Wandoberflächenabschnitts des Stoßverbindungsabschnitts unter 0,7 mm (70 % der Dicke des zu verwendenden Rohres) ausmacht.

[Experiment 2]

[0046] Als nächstes wurde eine andere Prüfung zum Feststellen der geeigneten Schweißgeschwindigkeit, mit

welcher ein zufriedenstellender Festzustand-Verbindungsabschnitt S hergestellt werden kann, durchgeführt.

[0047] In dem Experiment wurden Rohrprüflinge mit jeweils einem Außendurchmesser von 9,53 mm und einer Dicke von 1 mm verwendet, und die Schweißgeschwindigkeit wurde jeweils zwischen drei Werten, nämlich 15 mm/min, 120 mm/min bzw. 600 mm/min, variiert. Das Schweißen mit teilweisem Einbrand wurde mit einem Argongas als Wurzelschutzgas von hohem Reinheitsgrad und durch Einstellen der Schweißströme, wie in Tabelle 2 dargestellt ist, durchgeführt, um jeweils eine Einbrandtiefe t_w von 0,3 mm zu erzielen. Dann wurde eine Prüfung der Zugfestigkeit des erhaltenen Verbindungsabschnitts durchgeführt. Zudem wurde die Zugfestigkeitsprüfung anhand desselben Verfahrens wie Experiment 1 durchgeführt. Das Ergebnis wurde in Tabelle 2 darlegt.

[Tabelle 2]

Schweißgeschwindigkeit (mm/min)	15	120	600
Durchschnittlicher Schweißstrom (A)	10	14	50
Zugfestigkeit(kgf/mm²)	53,7	53,6	52,9

[0048] Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, wurde festgestellt, dass es möglich ist, ein zufriedenstellendes stoßverbundenes Rohr mit einem Festzustand-Verbindungsabschnitt von 0,7 mm, wobei eine geeignete Einbrandtiefe von 0,3 mm einen Wert über 480 N/mm^2 (48,98kgf/mmz) ergibt, durch geeignetes Einstellen eines Schweißstroms gemäß einer Schweißgeschwindigkeit bei jedweder Schweißgeschwindigkeit zu erhalten. Allerdings lag die Zugfestigkeit, die mit einer Schweißgeschwindigkeit von 600 mm/min erzielt wurde, etwas unter jener, welche mit einer anderen Schweißgeschwindigkeit erzielt wurde. Es wurde unterstellt, dass dies darauf zurückzuführen sei, dass die Temperaturhaltezeit des Festzustand-Verbindungsabschnitts infolge der schnellen Schweißgeschwindigkeit verkürzt wurde.

[Experiment 3]

[0049] Als nächstes wurde ein Experiment bezüglich einer Wirkung von Wurzelschutzgas von Atmosphärengas während des Schweißens durchgeführt. Bei dem Experiment wurden Rohrprüflinge, die jeweils einen Außendurchmesser von 9,53 mm und eine Dicke von 1 mm aufwiesen, verwendet, und ein Argongas von hohem Reinheitsgrad wurde als Wurzelschutzgas verwendet, zu welchem ein Sauerstoffgas zugegeben wurde, um. seine Konzentration auf 10 % – 10 ppm zu variieren. Dann wurde eine Stumpfschweißung mit einer Schweißgeschwindigkeit von 120 mm/min durchgeführt, derart, dass in einer Argongasatmosphäre mit der entsprechenden Sauerstoffkonzentration eine Einbrandtiefe t_w 0,3 mm betrug. Dann wurde die Zugprüfung an dem hergestellten Rohr anhand desselben Verfahrens wie bei Experiment 1 durchgeführt. Das Ergebnis wurde in **Fig.** 4 als Schaubild dargestellt, welches eine Beziehung zwischen einer Sauerstoffkonzentration in einem Wurzelschutzgas und der Zugfestigkeit T darstellt.

[0050] Wie aus **Fig.** 4 hervorgeht, wurde festgestellt, dass, wenn eine Sauerstoffkonzentration, die in einem Wurzelschutzgas enthalten war, über 10 ppm (0,001 %) lag, die Zugfestigkeit T maximal 49 kgf/mm^2 betrug, und dass, um mit Sicherheit eine Zugfestigkeit T von über 480 N/mm^2 (48,98 kgf/mm^2) , wie in der JIS vorgegeben ist, zu erreichen, eine Sauerstoffkonzentration auf unter 10 ppm (0,001 %) gedrückt werden muss.

[0051] Ferner wurde, wenn ein Querschnitt des Verbindungsabschnitts untersucht wurde, festgestellt, dass die Bruchstellen der Rohrprüflinge, welche mit einem Argongas als Wurzelschutzgas, welches eine Sauerstoffkonzentration über 1 % aufwies, geschweißt wurden, vollständig oxidiert waren, während die Bruchstellen der Rohrprüflinge, welche mit einem Argongas als Wurzelschutzgas, welches eine Sauerstoffkonzentration über 10 ppm (0,001 %) und unter 1 % aufwies, geschweißt wurden, teilweise oxidiert waren, um dadurch ein Nicht-

verbindungsabschnitt zu bleiben.

[0052] Zudem wurde in Bezug auf den Fall, dass ein Stickstoffgas als Reduktionsgas (Argongas + 7 Volumsprozent Wasserstoffgas) oder ein Inertgas an Stelle des oben genannten Argongases von hohem Reinheitsgrad als Wurzelschutzgas verwendet wurde, die Wirkung, welche auf eine in dem Gas enthaltene Sauerstoffkonzentration zurückzuführen ist, ebenfalls untersucht. Das erhaltene Ergebnis war dasselbe, wenn das oben genannte Argongas von hohem Reinheitsgrad verwendet wurde. Folglich wurde festgestellt, dass der Gehalt eines oxidativen Gases, beispielsweise Sauerstoff, in einem Wurzelschutzgas auf unter 10 ppm gedrückt werden muss.

[Experiment 4]

[0053] Eine Feststellung einer Wirkung der Oberflächenrauheit des Stoßverbindungsabschnitts **2** im Verbindungsabschnitt **1** des Rohres wurde zum Erhalten eines bevorzugten Festzustand- Verbindungsabschnitts S durchgeführt. Bei dem Experiment wurden Rohrprüflinge, die jeweils einen Außendurchmesser von 9,53 mm und eine Dicke von 1 mm aufwiesen, verwendet. Rohre, bei denen eine Oberflächenrauheit R_y ihres Ver- bindungsabschnitts **2** jeweils variiert wurde, wurden durch eine Stumpfschweißung verschweißt. Die Schweißung wurde mit einem Argongas von hohem Reinheitsgrad und einer Schweißgeschwindigkeit von 120 mm/min durchgeführt, derart, dass eine Einbrandtiefe t_w 0,3 mm betragen sollte. Dann wurde die Zugprüfung der verbundenen Rohre mit entsprechender Oberflächenrauheit anhand desselben Verfahrens wie bei Experiment **1** durchgeführt. Das Ergebnis wurde in Tabelle 3 dargestellt, welche eine Variation der Zugfestigkeit entsprechend einem Unterschied in der Oberflächenrauheit R_y darstellt.

[Tabelle 3]
(Einheit µm)

Oberflächenrauheit R_y	52	38	29	20	3
Zugfestigkeit (kgf/mm²)	21	43	51	54	52

[0054] Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, wurde festgestellt, dass die Zugfestigkeit mit abnehmender Oberflächenrauheit zusehends ansteigt, und die Oberflächenrauheit R_y auf unter ungefähr 30um für eine flache Oberfläche eingestellt werden muss, um mit Sicherheit einen Vorgabewert für die Zugfestigkeit von 480N/mm2 (48,98 kgf/mm^2), welcher in der JIS vorgegeben ist, zu erreichen.

[0055] Als nächstes wurde, um die Leistungseigenschaften des Rohres gemäß der vorliegenden Erfindung festzustellen, das rostfreie Stahlrohr als eine Ausführungsform durch Verwendung eines rostfreien Stahlrohres (SUS 316 L) hergestellt, welches einen Außendurchmesser von 9,53 mm (3/8 Inch) und eine Dicke von 1mm aufwies, entsprechend der Ergebnisse der Experimente 1 bis 4, durch Ausbilden eines Stoßverbindungsabschnitts mit Einbrand (W), welcher mit einer Einbrandtiefe t_w von 0,3 mm von der Außenwandoberfläche **3** ausgehend geschmolzen ist, und durch Ausbilden eines Festzustand-Verbindungsabschnitts, welcher einen ungeschmolzenen Abschnitt mit einer Erstreckung von 0,7 mm aufweist.

[0056] Ferner wurden (A) eine Sichtkontrolle des Querschnitts des geschweißten Abschnitts, (B) eine Zugprüfung, (C) ein Biegeversuch, (D) eine Messung der erzeugten Teilchenmenge und (E) eine Korrosionsprüfung durchgeführt.

[0057] Zudem wurde, um einen deutlicheren Vergleich zwischen Leistungseigenschaften ziehen zu können, ein rostfreies Stahlrohr, welches dieselben Spezifikationen wie die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aufweist und mittels des herkömmlichen Schweißverfahrens mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, als Rohrprüfling eines Vergleichsbeispiels verwendet. Zudem wurden nach dem Durchführen der oben genannten entsprechenden Prüfungen und Sichtkontrolle die Ergebnisse der Prüfung der Leistungseigenschaften des rostfreien Stahlrohres der vorliegenden Erfindung mit jenen eines Vergleichsbeispiels verglichen.

[Ausführungsform]

[0058] Das rostfreie Stahlrohr gemäß der vorliegenden Erfindung wurde gemäß den folgenden Schweißbedingungen hergestellt:

(Schweißbedingungen)

• Lichtbogenlänge (Spannungsreferenz): 0,8 mm (8V)
• Schweißgeschwindigkeit: 120 mm/min
• Startposition für das Schweißen und dessen Bewegung:
Start an der Uhrposition 3 Uhr und Schweißen entlang der horizontalen Abwärtsrichtung
• Wurzelschutzgas: Argongas, 4 l/min, von hohem Reinheitsgrad
• Schutzgas: Argongas, 10 l/min, von hohem Reinheitsgrad
• Spülzeit vor und nach dem Schweißen: über 30 Sekunden
• Oberflächenrauheit des Stoßverbindungsabschnittes **2**: durchschnittliche Oberflächenrauheit (R_{yav}) 0,29um, maximale Oberflächenrauheit (R_{ymax}) 0,31 µm
• Schweißvorrichtung: dieselbe automatische Schweißmaschine, welche beim oben genannten Experiment verwendet wurde
• Stromversorgung: angeschlossener Impulsgenerator, Impulsgenerierzeit: 0,1/0,1 Sekunden

[0059] Schweißen wurde beginnend an der Uhrposition 3 Uhr im Stoßverbindungsabschnitt **2**, der in **Fig.** 2 dargestellt ist, und sich entlang der horizontalen Abwärtsrichtung weiterbewegend durchgeführt. Der Schweißstrom und die Schweißzeit in der jeweiligen Ebene wurden entsprechend den in Tabelle 4 dargestellten Werten eingestellt.

[Tabelle 4]

[Ausführungsform]	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Schweißverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung	19/12A	18/12A	15/12A	14/12A
Schweißstrom (Zeit)	(5,5 Sekunden)	(3,7 Sekunden)	(3,7 Sekunden)	(5,0 Sekunden)

[Vergleichsbeispiel]

[0060] Ein rostfreies Stahlrohr, welches dieselben Spezifikationen wie die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aufweist und gemäß dem herkömmlichen Schweißverfahren mit voll-ständigem Einbrand verbunden wurde, wurde als Rohrprüfling eines Vergleichsbeispiels verwendet. Die Schweißbedingungen waren wie folgt:

(Schweißbedingungen)

[0061] Dieselben Schweißbedingungen wie bei der oben genannten Ausführungsform wurden verwendet. Allerdings wurden die Schweißströme und Schweißzeiten gemäß den Werten, die in Tabelle 5 angeführt sind, eingestellt, derart, dass die Breite des inneren Wulsts, welcher durch die Schweißung mit vollständigem Einbrand gebildet wurde, 2 mm betrug.

[Tabelle 5]

[Vergleichsbeispiel]	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Schweißverfahren mit vollständigem Einbrand	31/17A	30/17A	25/17A	24/17A
Schweißstrom (Zeit)	(5,5 Sekunden)	(3,7 Sekunden)	(3,7 Sekunden)	(5,0 Sekunden)

[Prüfung der Leistungseigenschaften)

[0062] Die Leistungseigenschaften des rostfreien Stahlrohres, welches durch die Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand verbunden und in der oben genannten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde, wurden mit jenen des rostfreien Stahlrohres, welches im Vergleichsbeispiel hergestellt und durch das Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, welches im Stand der Technik durchgeführt wurde, verglichen.

[0063] (A) Sichtkontrolle des Querschnitts des geschweißten Abschnitts Das rostfreie Stahlrohr gemäß der vorliegenden Erfindung, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand mit einer Einbrandtiefe von 0,3 mm hergestellt wurde, wurde entlang seiner Längsachse am seinem Stoßverbindungsabschnitt **1** aufgeschnitten, und daraufhin wurde die Struktur des Stoßverbindungsabschnitts **1** betrachtet. Aus der Betrachtung ergab sich, dass der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** (welcher innerhalb der punktierten Linie liegt) des Innenwandoberflächenabschnitts **4** des Rohres ins Innere von Kristallkörnern eindringt und die ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitte **2b** miteinander im festen Zustand verbunden waren.

(B) Zugprüfung

[0064] Die Zugprüfung des rostfreien Stahlrohres, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden und in der oben genannten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde, und jene des rostfreien Stahlrohres, welches durch das Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand, welches im Stand der Technik durchgeführt wurde, verbunden wurde, wurden gemäß folgenden Zugprüfungskriterien durchgeführt:

(Zugprüfungskriterien)

• Länge des Rohrprüflings: 700 mm • Zwischenraum zwischen Haltepositionen: 45 mm • Zwischenraum des eingefügten Kernmetalls: 20 mm • Zuggeschwindigkeit: 20 mm/min • Kraftmessdose: 5 Tonnen

[0065] AC-5000D, hergestellt von Shimadzu Corp., wurde als Zugprüfgerät verwendet, und 3 Prüflinge wurden hergestellt und geprüft. Das Ergebnis der Prüfung wurde in Tabelle 6 gemeinsam mit der Zugfestigkeit von Grundmetall dargestellt.

[Tabelle 6]
(Einheit kgf/mm^2)

	Grundmetall	Schweißverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung (Ausführungsform)	Schweißverfahren mit vollständigem Einbrand (Vergleichsbeispiel)
Durchschnittswert der Zugfestigkeit	54,3	53,6	53,7
Maximalwert der Zugfestigkeit	54,4	54,4	54,0
Minimalwert der Zugfestigkeit	54,1	52,1	53,4

[0066] Wie aus Tabelle 6 hervorgeht, war die Zugfestigkeit des rostfreien Stahlrohres der Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden wurde, mit 52,1 bis 54,4 kgf/mm^2 etwas niedriger als die Zugfestigkeit des Grundmetalls von 54,1 bis 54,3 kgf/mm^2, entsprach jedoch der Zugfestigkeit von 53,4 bis 54,4 kgf/mm^2 des rostfreien Stahlrohres, welches durch das herkömmliche Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand verbunden und im Vergleichsbeispiel hergestellt wurde. Zudem lag der Wert über der Vorgabe von 480N/mm^2 (48,98kgf/mm^2) aus der JIS, so dass festgestellt wurde, dass die Werte für eine Verwendung geeignet sind.

[0067] Ferner wurde bei der oben genannten Zugprüfung der Stoßverbindungsabschnitt **2** durch Aufbringen von Last daran gebrochen und die Bruchstelle wurde mittels eines Rasterelektronenmikroskops (SEM) untersucht. Es wurde festgestellt, dass die zurückbleibende offene Endoberfläche (ungeschmolzener Stoßverbindungsabschnitt (**2a**)) mit Grübchen bedeckt war und sich in einem Zustand befand, in dem ein Temperaturanstieg im Verbindungsabschnitt **2** infolge der Wärmeleitung beim Schweißen, eine Wärmeausdehnung im Verbindungsabschnitt **2** infolge des Temperaturanstiegs und eine Schrumpfungsbelastung gemäß der Verfestigung der Schmelzzone zusammenwirkten, um dadurch einen Festzustand-Stoßverbindungsabschnitt S zu bilden, wo der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** der Stoßverbindungsabschnitte **2** druckgeschweißt wurde. Ferner wurde festgestellt, dass eine Schneidespur, welche beim Schneiden eines Rohres an dem ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitt **2b** des Stoßverbindungsabschnittes **2** geschaffen wurde, verschwand und die ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitte **2b** miteinander und vollständig im festen Zustand verbunden wurden.

[0068] Ferner wurde, da das rostfreie Stahlrohr des Vergleichsbeispiels mittels eines herkömmlichen Verfahrens geschweißt wurde, lediglich anhand des Erscheinungsbildes festgestellt, ob eine Stumpfschweißung mit vollständigem Einbrand geeignet durchgeführt wurde oder nicht.

(C) Biegeversuch

[0069] Eine Rohrwand des Verbindungsabschnitts des rostfreien Stahlrohres, welches durch eine Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand gemäß der vorliegenden Erfindung verbunden wurde und in der Ausführungsform hergestellt wurde, wurde (um ungefähr 1/4 ihres Umfangs) entlang der axialen Richtung des Rohres in einer kleinen länglichen Form eingeschnitten und um ungefähr 180° nach außen gebogen, wobei der Stoßverbindungsabschnitt mit Einbrand **2a** im Außenwandoberflächenabschnitt **3** zu einem tragenden Punkt gemacht wurde. Eine externe Kraft wurde auf den ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitt aufgebracht, um dadurch den Verbindungsabschnitt zu öffnen. Allerdings wurde festgestellt, dass der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** trotz der Durchführung dieses Versuchs nicht abplatzte, sogar nicht geöffnet wurde,

und der ungeschmolzene Stoßverbindungsabschnitt **2b** in einem haltbaren festen Zustand ausgebildet war.

(D) Messung von erzeugter Teilchenmenge

[0070] Als nächstes wurde hinsichtlich jedes Falles des rostfreien Stahlrohres, welches durch eine Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand verbunden und in der oben genannten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde, und des rostfreien Stahlrohres, welches durch eine Stumpfschweißung mit vollständigem Einbrand, welche im Stand der Technik durchgeführt wurde, verbunden wurde, die Menge an Schweißrauch, welche beim Schweißen erzeugt wird, mit einem Prüfzielsetzung, die in Tabelle 7 dargestellt ist, mittels eines Teilchenzählers gemessen, der Teilchen im Wurzelschutzgas zählt, welches während des jeweiligen Schweißvorgangs zum Inneren des Rohres gerichtet wird.

(Tabelle 7]

Teilchenzähler	UCPC-2010 von KANOMAX
Maximalwert eines gemessenen Teilchendurchmessers	3nm
Maximalwert einer gemessenen Teilchenanzahl	100000/cm³
Messverfahren	Saugverfahren mit gleichmäßiger Geschwindigkeit

Innendurchmesser eines Diffusionsrohres	7,53 mm
Innendurchmesser eines Saugrohres	etwa 1,7 mm
Fluss von Wurzelschutzgas	11,7 l/min
Saugmenge	1,5 l/min

[0071] Ferner wurde, wenn die Umfangswand des Rohres ein Mal entlang ihrer Umfangsrichtung gemäß der Stumpfschweißung der dargestellten herkömmlichen Bedingung geschweißt wurde, eine große Menge an Teilchen erzeugt, und die Anzahl von Teilchen lag jenseits eines Teilchenzählers. Demnach wurde die Anzahl von Teilchen durch Beenden des Schweißens, nachdem die Schweißung teilweise durchgeführt worden war, mit 1/4 der Umfangswand des Rohres und durch Erhöhen des Flusses von Wurzelschutzgas bis zu 27 l/min gemessen. Schließlich wurde nach der Messung die Gesamtanzahl an Teilchen durch Umrechnen der ursprünglichen Anzahl in den Gesamtwert für die gesamte Schweißung gezählt.

[0072] Daraus ergab sich, dass im Fall des Stumpfschweißens mit teilweisem Einbrand der Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung der Durchschnittswert der Teilchenanzahl aus drei Prüfungen 8,128/cm^3

betrug.

[0073] Andererseits betrug im Fall des herkömmlichen Stumpfschweißens mit vollständigem Einbrand des Vergleichsbeispiels der Durchschnittswert der Teilchenanzahl aus drei Prüfungen 208,569/cm^3. Das heißt, dass festgestellt wurde, dass das Verbindungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung einen erheblichen Vorteil insofern aufweist, als die Menge an erzeugten Teilchen beim Verbinden mittels der Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand gemäß der vorliegenden Erfindung erheblich bis auf 4 % von jener beim Verbinden mittels der herkömmlichen Stumpfschweißung mit vollständigem Einbrand verringert werden kann.

(E) Korrosionsprüfung

[0074] Als nächstes wurden Korrosionsprüfungen des Stoßverbindungsabschnitts des rostfreien Stahlrohres der Ausführungsform, welches gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde, und jenes des rostfreien Stahlrohres des Vergleichsbeispiels, welches anhand des herkömmlichen Verfahren hergestellt wurde, durchgeführt. Die Prüfzielsetzung war, dass das Korrosionsausmaß nach dem Korrodieren der jeweiligen Verbindungsabschnitte in einer in Tabelle 8 dargelegten Korrosionsatmosphäre quantitativ analysiert wurde.

[Tabelle 8]

Korrosionsmedium	Stickstoffgas + 50 % Wasserstoff-chlorid
Wasserkonzentration	100ppm
Druck	1,5 x 10^5Pa
Zeit	168 Stunden
Prüftemperatur	298K

[0075] Nachdem die quantitative Analyse des Korrosionsausmaßes in der Korrosionsatmosphäre, welche in Tabelle 8 beschrieben ist, durchgeführt worden war, wurde 5 %-ige Essigsäure in den korrodierten inneren Abschnitt injiziert, und durch 5 Minuten langes Aufrechterhalten im korrodierten inneren Abschnitt wurde ein Korrosionsprodukt durch Exsudation erhalten. Dann wurde das exsudierte Metallelement quantitativ analysiert.

[0076] Ferner wurde das exsudierte Element aus dem Grundmetallprodukt (nicht der in Tabelle 8 dargelegten Korrosionsatmosphäre ausgesetzt), mit welchem keine Korrosionsprüfung durchgeführt wurde, als Referenz gewonnen und auf dieselbe Weise wie beim oben genannten Exsudierverfahren quantitativ analysiert.

[0077] Die analysierten Elemente waren Chrom(Cr), Nickel(Ni) und Eisen(Fe), bei denen es sich um die Hauptelemente von rostfreiem Stahl handelt, und das Element Mangan(Mn) aus dem geschmolzenen Schweißrauch.

[0078] Ferner wurde die Analysevorrichtung, welche als Analysemittel verwendet wurde, durch Verwendung von Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) zum Analysieren der Elemente Chrom(Cr), Nickel(Ni) und Mangan(Mn) und durch Verwendung von Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) zum Analysieren des Elements Eisen(Fe) betrieben.

[0079] Das Ergebnis wurde in Tabelle 9 dargestellt.

[Tabelle 9] (Einheit µg)

	Mn	Cr	Ni	Fe	Gesamt
Grundmetall	0,021	6,13	5,47	22,55	33,67
Schweißverfahren der vorliegenden Erfindung (Ausführungsform)	0,029	7,12	5,30	29,75	42,20
Schweißverfahren mit vollständigem Einbrand (Vergleichsbeispiel)	1,200	11,17	14,10	63,93	90,40

[0080] Bei den in Tabelle 9 angeführten Mengen an exsudiertem Metall ist zu bemerken, dass, wenn die Menge des exsudierten Metalls als Referenz ermittelt wurde, der Mengenwert des exsudierten Metalls des jeweiligen Metallelements, welches von dem Rohrprüfling des rostfreien Stahlrohres der Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden wurde, exsudiert wurde, und jener des entsprechenden exsudierten Metallelements, welches von dem Rohrprüfling des rostfreien Stahlrohres mit herkömmlichem Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand exsudiert wurde, größer als jener des Grundmetalls waren. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Oberflächen der Prüflinge der Ausführungsform und des Vergleichsbeispiels durch Schweißungen oder durch die Erzeugung von Schweißrauch oder die Ausbildung einer instabilen Metalloberfläche verunreinigt waren.

[0081] Wie aus Tabelle 9 hervorgeht, ist es, da das rostfreie Stahlrohr der Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung, welches die Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand verbunden wurde, mittels Schweißen verarbeitet wurde, natürlich, dass die Menge des entsprechenden exsudierten Metalls größer ist als die Menge des entsprechenden exsudierten Metalls, welches vom Grundmetall exsudiert wird, jedoch bestand zwischen diesen kein so großer Unterschied hinsichtlich der Menge des exsudierten Metalls.

[0082] Andererseits versteht es sich, dass beim rostfreien Stahlrohr des Vergleichsbeispiels, welches durch herkömmliches Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, die Menge des exsudierten Metalls vergleichsweise weit größer als die Menge des exsudierten Metalls vom Grundmetall war. Insbesondere waren der Anstieg des Metallelements Mn infolge der durch Schweißrauch erzeugten Menge und der Anstieg des Metallelements Fe infolge des Ausbildens der instabilen Metalloberfläche überaus beträchtlich.

[0083] Wie oben beschrieben wurde, erreichte ein rostfreies Stahlrohr, das durch die Stumpfschweißung mit teilweisem Einbrand gemäß der vorliegenden Erfindung verbunden wurde, nicht ganz die gleichen Ergebnissen wie das Grundmetall selbst, jedoch waren Ausmaße von Oberflächenverunreinigung, Schweißraucherzeugung und auch das Ausmaß des Ausbildens einer instabilen Metalloberfläche verglichen mit dem rostfreien Stahlrohr, welches durch das herkömmliche Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, stark reduziert. Insbesondere war die Reduktion der durch Schweißrauch erzeugten Menge erheblich. Demnach wurde festgestellt, dass das rostfreie Stahlrohr, welches durch die Schweißung mit teilweisem Einbrand verbunden wurde, welche den Festzustand-Verbindungsabschnitt S gemäß der vorliegenden Erfindung bildet, eine überlegene Korrosionsbeständigkeit verglichen mit dem rostfreien Stahlrohr, welches durch das herkömmliche Schweißen mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, aufweist.

[0084] wie oben beschrieben wurde, ist das rostfreie Stahlrohr, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand gemäß der vorliegenden Erfindung verbunden wurde, verglichen mit dem rostfreien Stahlrohr, welches mittels des herkömmlichen Stumpfschweißens mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Reduktion der Erzeugung von Teilchen und des Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit hervorragend. Ferner kommt es, da in dem rostfreien Stahlrohr, welches durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden wurde, im Gegensatz zu dem Rohr, welches durch das herkömmliche Stumpfschweißen mit vollständigem Einbrand verbunden wurde, kein Totraum vorliegt, zu keinen unzumutbaren Problemen wie einer Spaltkorrosion oder einer Verunreinigung des zugeführten Gasstroms, welche durch das Vorliegen eines Totraums verursacht werden.

[0085] Zudem wurde bei der oben genannten Ausführungsform das rostfreie Stahlrohr mit einem Außendurchmesser von 9,53 mm(3/8 Zoll Rohr) und einer Dicke von 1 mm beschrieben, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Rohr von dünner Dicke beschränkt, sondern auch auf ein Rohr mit einer anders ausgelegten Dicke anwendbar und eignet sich insbesondere zur Verwendung in einem rostfreien Stahlrohr. Beispielsweise ist es selbst in dem Fall eines Rohres mit einer großen Dicke und einem Durchmesser von 250A (267,4 mm) und einem Plan von 10S(Dicke von 4 mm), welches äußerst schwierig in einer Schicht zu schweißen ist, möglich, ein rostfreies Stahlrohr gemäß der vorliegenden Erfindung mit einem Festzustand-Verbindungsabschnitt durch eine V-förmige, U-förmige oder L-förmige Nut und Ausbilden der Abmessung des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts des Stoßverbindungsabschnitts unter 0,7 mm ausgehend von dem inneren Wandoberflächenabschnitt zu dem äußeren Wandoberflächenabschnitt hin und dann durch Verbinden durch das Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand gemäß der vorliegenden Erfindung zu erhalten.

[0086] In der oben genannten Beschreibung wurde eine Bezeichnung 'Rohr' in einer Bedeutung verwendet, welche ein gerades Rohr, ein knieförmiges Rohr und ein T-förmiges Rohr miteinschließt.

[0087] Das rostfreie Stahlrohr und das Verfahren zum Verbinden desselben gemäß der vorliegenden Erfindung werden auf die oben genannte Weise realisiert und weisen folgende Vorteile auf .

[0088] Das heißt, dass beim Verbinden rostfreier Stahlrohre miteinander durch das Stumpfschweißen, indem der innere Wandoberflächenabschnitt des Rohres ungeschmolzen gelassen wird und durch Ausbilden des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts mit einer Länge von über O mm und unter 0,7 mm von dem inneren Wandoberflächenabschnitt aus zum äußeren Wandoberflächenabschnitt hin, falls die Dicke des Rohres mehr als 1mm beträgt, und durch Ausbilden des ungeschmolzenen Stoßverbindungsabschnitts mit einer Länge von über 0 % und unter 70 % einer Rohrdicke von dem inneren Wandoberflächenabschnitt aus zum äußeren Wandoberflächenabschnitt hin, wenn die Dicke des Rohres kleiner als 1 mm ist, und durch Durchführen von Schweißen mit teilweisem Einbrand, der ungeschmolzene Verbindungsabschnitt als ein Festzustand-Verbindungsabschnitt ausgebildet werden kann und es keine Schmelzzone in der Innenwandoberfläche des Rohres gibt, und da kein Totraum vorliegt, es möglich ist, ein Rohr herzustellen; welches einen haltbaren Festzustand-Verbindungsabschnitt aufweist, welcher dem Verbindungsabschnitt, der durch das herkömmliche Schweißverfahren mit vollständigem Einbrand hergestellt wird, überlegen ist.

[0089] Ferner kann, da die Schmelzzone die Innenwandoberfläche des Rohres nicht erreicht, eine Erzeugung von Schweißrauch innerhalb des Rohres verhindert werden und eine Verunreinigung infolge von Unreinheiten innerhalb des Rohres vermieden werden. Ferner wird, da die direkte Hitzeeinwirkung durch Erhitzen die Innenwandoberfläche des Rohres nicht erreicht, verhindert, dass die Korrosionsbeständigkeit der Innenwandoberfläche des Rohres in Mitleidenschaft gezogen wird, wodurch eine gute Korrosionsbeständigkeit über lange Zeit aufrechterhalten wird.

[0090] Demnach kann das rostfreie Stahlrohr gemäß der vorliegenden Erfindung in hohem Maß verhindern, dass ein Gas durch Unreinheiten verunreinigt wird, und kann ein Gas von hohem Reinheitsgrad zum Herstellen eines Halbleiters zuführen, welchem ein Gas ohne Unreinheiten zugeführt werden muss, um dadurch sehr effektiv verwendet zu werden. Insbesondere weist das Rohr gemäß der vorliegenden Erfindung eine hervorragende Wirkung auf, welche in der Lage ist, die Halbleiterfertigungsbranche, welche Tag für Tag ein höheres Maß an Integration erfährt, mit einem Gas von hohem Reinheitsgrad zu versorgen.

Patentansprüche

1. Rostfreies Stahlrohr (**1**), umfassend Abschnitte, welche verbindend in der axialen Richtung durch Stumpfschweißen verbunden sind, wobei das rostfreie Stahlrohr (**1**) einen Verbindungsabschnitt umfasst, der einen Stoßverbindungsabschnitt (**2**) aufweist, wobei der Stoßverbindungsabschnitt (**2**) aufweist:

einen äußeren Stoßverbindungsabschnitt (**2a**) in einem äußeren Wandoberflächenabschnitt, welcher mit Einbrand verbunden ist; und

einen inneren Stoßverbindungsabschnitt (**2b**) in einem inneren Wandoberflächenabschnitt, welcher im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden ist; derart, dass der Verbindungsabschnitt den Stoßverbindungsabschnitt (**2**) umfasst, der durch Stumpfschweißen mit teilweisem Einbrand verbunden ist.

2. Rostfreies Stahlrohr (**1**) nach Anspruch 1, wobei eine Abmessung t_s des ungeschmolzen, im festen Zustand vorliegenden inneren Wandoberflächenabschnitts (**2b**) innerhalb des Bereichs $0 < t_s \leq 0{,}7$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche (**4**) als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche (**3**) hin in Bezug auf eine Dicke t, eingestellt wird, wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres (**1**) größer als 1 mm ist.

3. Rostfreies Stahlrohr (**1**) nach Anspruch 1, wobei eine Abmessung t_s des ungeschmolzenen, im festen Zustand vorliegenden inneren Wandoberflächenabschnittes (**2b**) innerhalb des Bereichs $0 < t_s \leq 0{,}7t$(mm), beginnend von der Innenwandoberfläche (**4**) als Bezugsoberfläche zur Außenwandoberfläche (**3**) hin in Bezug auf die Dicke t, eingestellt wird, wenn die Dicke t des rostfreien Stahlrohres (**1**) kleiner als 1 mm ist.

4. Verfahren zum verbindenden Verbinden von Abschnitten eines rostfreien Stahlrohrs (**1**) in der axialen Richtung, umfassend die Schritte des:

Befestigen von Stoßverbindungsabschnitten (**2**) von zu verbindenden rostfreien Stahlrohren (**1**); und

Schweißen der Stoßverbindungsabschnitte (**2**) unter Wurzelschutzgasatmosphäre oder umgebendem Vakuum, derart, dass:

innere Wandoberflächenabschnitte (**2b**) des Stoßverbindungsabschnitts (**2**) im festen Zustand, ohne geschmolzen zu werden, verbunden werden; und

äußere Wandoberflächenabschnitte (**2a**) des Stoßverbindungsabschnitts (**2**) mit Einbrand verbunden werden;

um dadurch den ungeschmolzenen inneren Wandoberflächenabschnitt (**2b**) als einen Festzustand-Verbindungsabschnitt auszubilden.

5. Verbindungsverfahren nach Anspruch 4, wobei der Gehalt eines oxidativen Gases unter einer Wurzelgasatmosphäre oder umgebendem Vakuum kleiner als 10 ppm ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

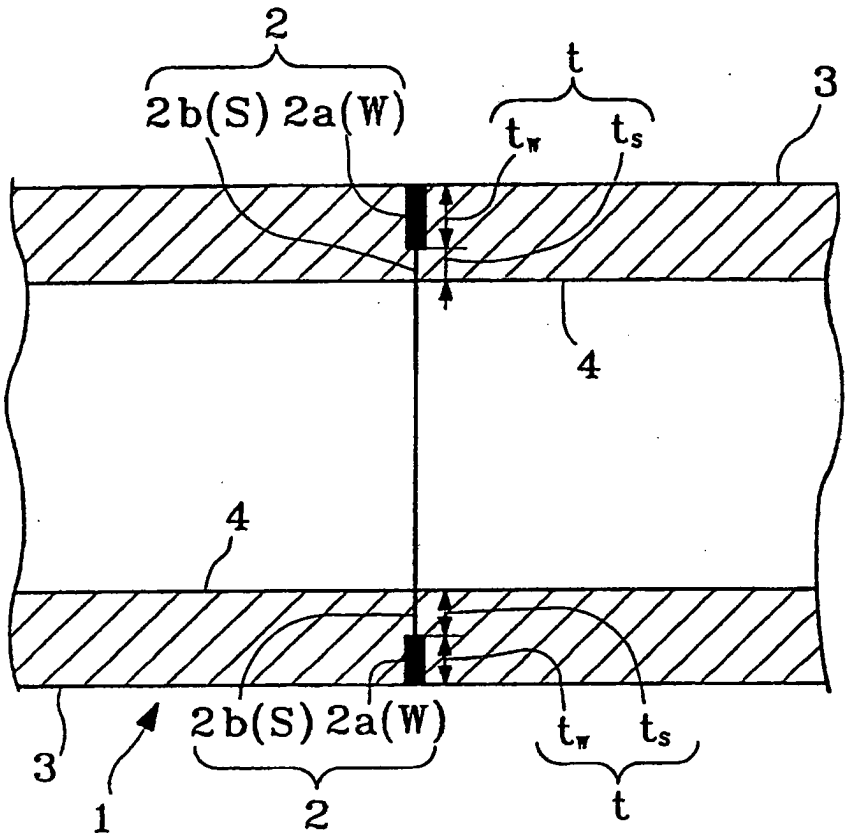
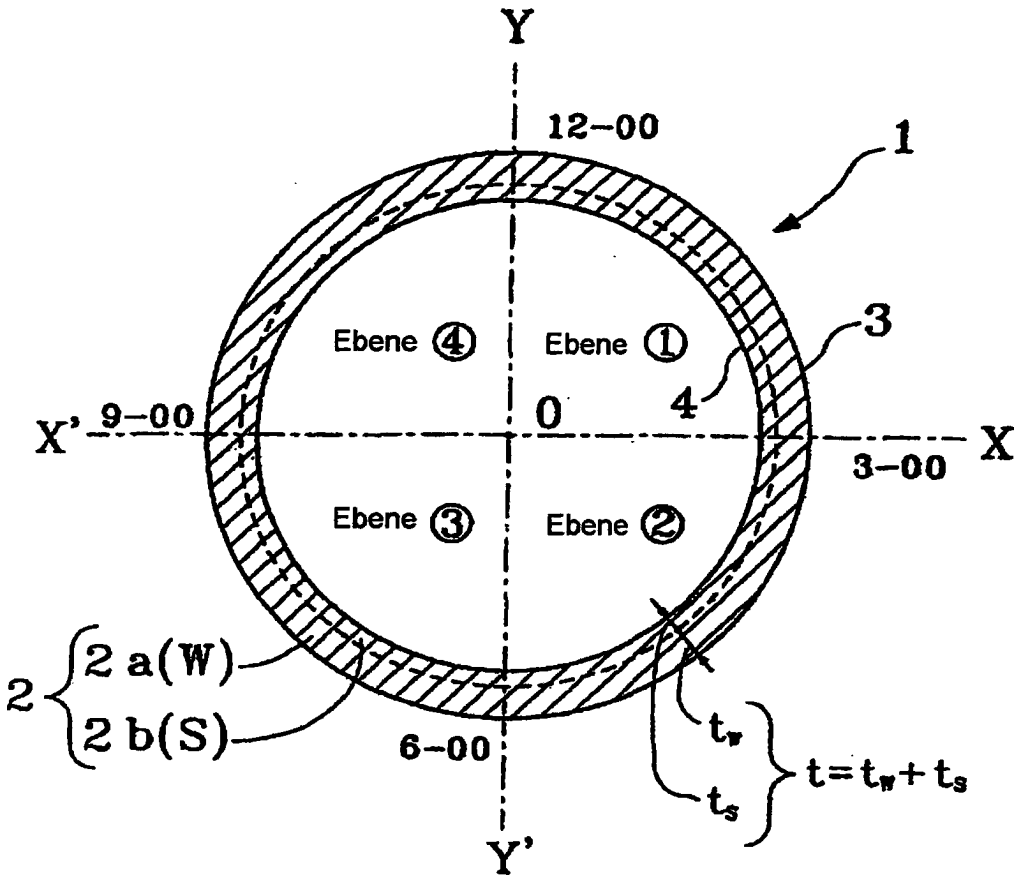


FIG.2


Y
12-00
1
Ebene ④
Ebene ①
3
4
X'
9-00
0
3-00
X
Ebene ③
Ebene ②
2
2 a(W)
2 b(S)
6-00
t_w
t_s
$t = t_w + t_s$
Y'

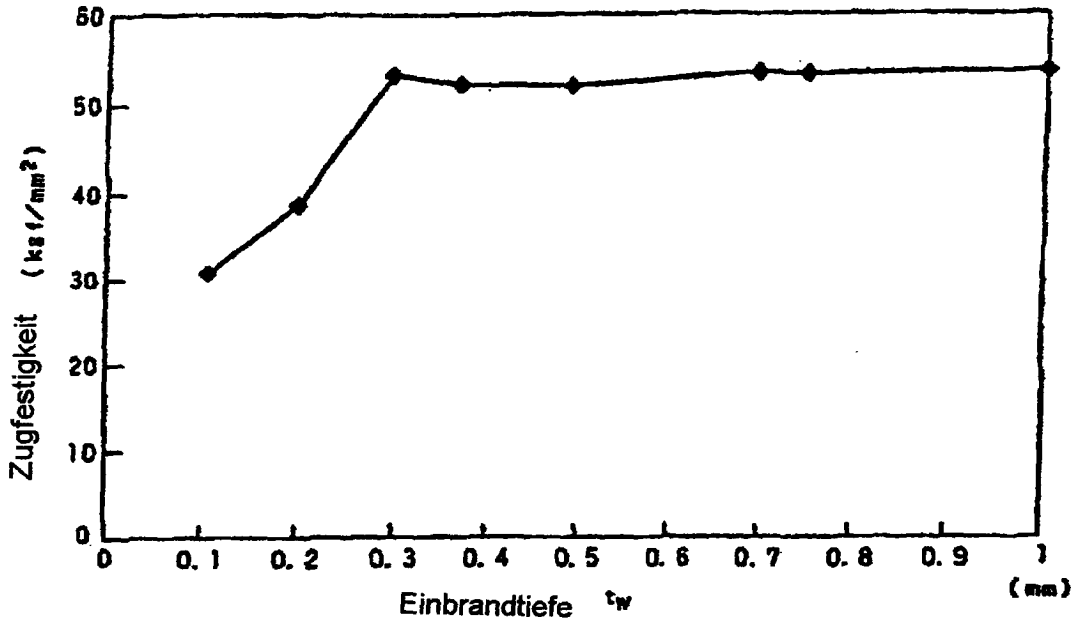

60
50
40
30
20
10
0
Zugfestigkeit (kgf/mm²)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
(mm)
Einbrandtiefe t_W

FIG. 3

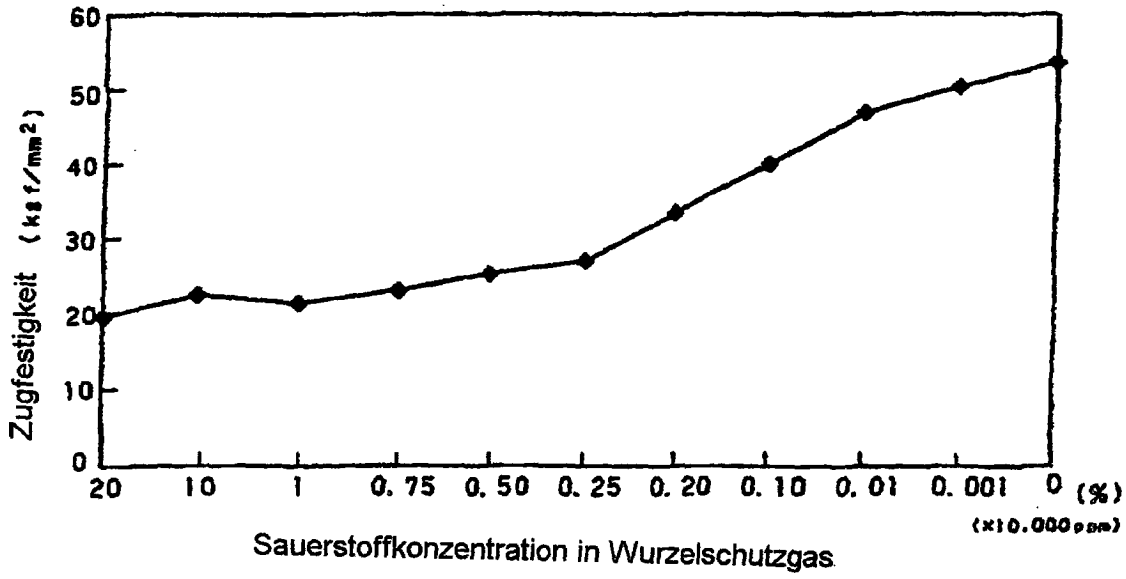

60
50
40
30
20
10
0
Zugfestigkeit (kgf/mm²)
20
10
1
0.75
0.50
0.25
0.20
0.10
0.01
0.001
0 (%)
(×10.000ppm)
Sauerstoffkonzentration in Wurzelschutzgas

FIG. 4