



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 036 264 A1** 2006.03.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 036 264.8**

(22) Anmeldetag: **02.08.2005**

(43) Offenlegungstag: **16.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B81B 7/00** (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

H01L 23/29 (2006.01)

G01N 3/42 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2004-227841 04.08.2004 JP

(71) Anmelder:
DENSO CORPORATION, Kariya, Aichi, JP

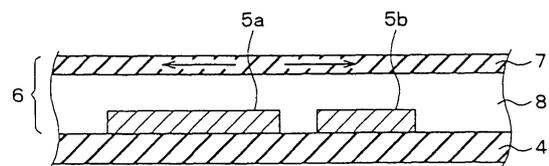
(74) Vertreter:
**WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising**

(72) Erfinder:
**Hasebe, Yuta, Kariya, Aichi, JP; Ito, Toshiki,
Kariya, Aichi, JP; Suzuki, Yasutoshi, Kariya, Aichi,
JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur und Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Zusammenfassung: Eine Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur (2) enthält einen Schutzfilm (6), der auf der Mikrosystemstruktur (2) zum Schutz vor einem Teilchen angeordnet ist. Der Schutzfilm (6) enthält einen ersten Schutzfilm (7) mit einer Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder einer Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als 13,64 GPa. Der erste Schutzfilm (7) weist eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 μm und 30 μm auf. Der Schutzfilm (6) weist eine Gesamtspannung auf, die als ein Produkt aus einer Filmspannung und einer Filmstärke definiert ist, und die Gesamtspannung ist gleich oder kleiner als 700 N/m.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur und ein Verfahren zur Herstellung einer Mikrovorrichtung.

[0002] Seit kurzem wird eine Mikrosystemstruktur, das heißt ein mikroelektromechanisches System (MEMS) für viele Produkte verwendet. Wenn die Mikrosystemstruktur in der Atmosphäre verwendet wird, bei der die Struktur einem Zusammenstoß mit Teilchen wie zum Beispiel Staub ausgesetzt ist, ist es notwendig, die Struktur vor einer Beschädigung durch den Zusammenstoß mit den Teilchen zu schützen.

[0003] Wenn ein Film auf der Mikrosystemstruktur ausgebildet wird, kann die Innenseitenspannung im Film eine Verformung der Mikrosystemstruktur bewirken, so dass der Entwurf der Struktur begrenzt ist. [Fig. 10](#) zeigt zum Beispiel eine Mikrosystemstruktur J2 mit einer Membran J1. Die Membran J1 wird nur durch einen Dünnsfilm bereitgestellt. In dieser Struktur J2 biegt sich die Membran J1, wenn eine Druckspannung auf einen Teil der Dünnsfilmmembran J1 ausgeübt wird, so dass die Membran gewellt wird. Daher ist es notwendig, den Dünnsfilm derart zu entwerfen, dass eine Zugspannung auf die Dünnsfilmmembran J1 ausgeübt wird.

Stand der Technik

[0004] Im Allgemeinen ist ein Verfahren zum Schützen der Mikrosystemstruktur J2 wie folgt beschaffen. Wie es in [Fig. 11A](#) gezeigt ist, ist ein Verfahren derart beschaffen, dass die Mikrosystemstruktur J2 in einem Gehäuse J3 versiegelt wird. Außerdem ist ein anderes Verfahren derart beschaffen, dass die Mikrosystemstruktur J2 durch Aushärten eines Harzmaterials J4 versiegelt wird, wie es in [Fig. 11B](#) gezeigt ist. In diesem Fall wird die Mikrosystemstruktur J2 in ein geschmolzenes Harzmaterial J4 eingeführt. Außerdem wird, wie es in [Fig. 11C](#) gezeigt ist, ein Gel J5 auf die Mikrosystemstruktur J2 aufgebracht, so dass die Struktur J2 vor der Außenumgebung geschützt ist.

[0005] Die obige Mikrosystemstruktur kann jedoch nicht zum Erfassen einer Umgebungstemperatur und zur Verwendung bei einer chemischen Reaktion, die durch die Umgebung verursacht wird, verwendet werden. Dieses kommt daher, dass die Mikrosystemstruktur von der Umgebung getrennt ist.

[0006] Außerdem wird die Mikrosystemstruktur J2 mit einem Schutzfilm wie folgt geschützt. Die japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. H06-216121 beschreibt einen Schutzfilm aus einem Siliziumnitridfilm. Das US-Patent Nr. 6 388 310 beschreibt einen Schutzfilm aus einem Siliziumoxidfilm und einem Siliziumnitridfilm. Die japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 2001-44190 beschreibt einen Schutzfilm aus einem organischen Film und einem Siliziumnitridfilm. Die obigen Schutzfilme verbessern die Festigkeit und den Feuchtigkeitswiderstand der Mikrosystemstruktur. Außerdem weist der Film eine niedrige Spannung auf.

[0007] Die obigen Schutzfilme weisen jedoch keine Schutzfunktion gegen einen Zusammenstoß mit Teilchen auf. Daher ist es notwendig, die Mikrosystemstruktur gegenüber einem Zusammenstoß stärker zu schützen, wenn die Mikrosystemstruktur in einer rauen Umgebung verwendet wird.

Aufgabenstellung

[0008] Im Hinblick auf das oben beschriebene Problem ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Mikrovorrichtung anzugeben, die eine Mikrosystemstruktur aufweist. Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer Mikrovorrichtung zu schaffen, die eine Mikrosystemstruktur aufweist.

[0009] Die Aufgaben werden mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Die abhängigen Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

[0010] Eine Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur enthält einen Schutzfilm mit einer mehrschichtigen Struktur. Der Schutzfilm ist auf der Mikrosystemstruktur angeordnet, um die Mikrosystemstruktur vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen zu schützen. Der Schutzfilm enthält einen ersten Schutzfilm. Der erste Schutzfilm besitzt eine Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als 13,64 GPa. Die Nano-Eindruckhärte wird mit einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf gemessen. Der erste Schutzfilm weist eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 µm und 30 µm auf. Der Schutzfilm besitzt eine Gesamtspannung, die als Produkt aus einer Filmspannung und einer Filmdicke definiert ist. Die Gesamtspannung des Schutzfilms ist gleich oder kleiner als 700 N/m.

[0011] In der Vorrichtung schützt der Schutzfilm die Mikrosystemstruktur, so dass die Mikrovorrichtung in einer Umgebung verwendet werden kann, in der ein Teilchen mit der Mikrovorrichtung zusammenstoßen kann. Außerdem weist der Schutzfilm eine niedrige Spannung auf.

[0012] Außerdem enthält eine Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur einen Schutzfilm einschließlich einem ersten Schutzfilm und einem zweiten Schutzfilm zum Schützen der Mikrosystemstruktur vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen. Der erste Schutzfilm ist auf der Mikrosystemstruktur über dem zweiten Schutzfilm angeordnet. Der zweite Schutzfilm weist eine Verflüssigungstemperatur auf, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms ist. Der erste Schutzfilm weist eine Nano-Eindruckhärte auf, die als H_a in kgf/m^2 definiert ist, die die folgende Beziehung erfüllt:

$$Ha > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \epsilon_B}$$

Die Nano-Eindruckhärte wird unter Verwendung einer Berkovich-Spitze und Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten. c' stellt in der Beziehung eine Konstante in einem Bereich von $5,5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7,6 \times 10^{-6}$ dar. d in Metern stellt eine Abmessung des Teilchens dar. ρ in kg/m^3 stellt eine Dichte des Teilchens dar. v in m/s stellt eine Zusammenstoßgeschwindigkeit des Teilchens dar. h in Metern stellt eine Dicke des ersten Schutzfilms dar. ϵ_B stellt eine Fließspannung (yielding strain) des ersten Schutzfilms dar.

[0013] In der Vorrichtung schützt der Schutzfilm die Mikrosystemstruktur, so dass die Mikrovorrichtung in einer Umgebung verwendet werden kann, in der ein Teilchen mit der Mikrovorrichtung zusammenstoßen kann. Außerdem weist der Schutzfilm eine niedrige Spannung auf.

[0014] Außerdem enthält eine Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur einen ersten Schutzfilm zum Schützen der Mikrosystemstruktur vor dem Zusammenstoß mit einem Teilchen. Das Teilchen weist eine Abmessung von d in Metern, eine Dichte von ρ in kg/m^3 und eine Zusammenstoßgeschwindigkeit von v in m/s auf. Der erste Schutzfilm weist eine Dicke von h in Metern auf. Der erste Schutzfilm besteht aus einem Material mit einer Fließspannung von ϵ_B und einer Nano-Eindruckhärte von H_a in kgf/m^2 . Die Nano-Eindruckhärte wird unter Verwendung einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten. Die Nano-Eindruckhärte des ersten Schutzfilms erfüllt die folgende Beziehung:

$$Ha > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \epsilon_B}$$

In der Beziehung stellt c' eine Konstante in einem Bereich von $5,5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7,6 \times 10^{-6}$ dar.

[0015] In der Vorrichtung schützt der Schutzfilm die Mikrosystemstruktur, so dass die Mikrovorrichtung in einer Umgebung verwendet werden kann, in der ein Teilchen mit der Mikrovorrichtung zusammenstoßen kann. Außerdem weist der Schutzfilm eine niedrige Spannung auf.

[0016] Außerdem enthält ein Verfahren zum Herstellen einer Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur die folgenden Schritte: Ausbilden der Mikrosystemstruktur auf einem Trägersubstrat und Ausbilden eines ersten Schutzfilms auf der Mikrosystemstruktur. Der erste Schutzfilm wird durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Bedampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet, so dass der erste Schutzfilm die Mikrosystemstruktur vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen schützt. Das Teilchen weist eine Abmessung von d in Metern auf, eine Dichte von ρ in kg/m^3 und eine Zusammenstoßgeschwindigkeit von v in m/s . Der erste Schutzfilm weist eine Dicke von h in Metern auf. Der erste Schutzfilm besteht aus einem Material mit einer Fließspannung von ϵ_B und einer Nano-Eindruckhärte von H_a in kgf/m^2 . Die Nano-Eindruckhärte wird unter Verwendung einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten. Die Nano-Eindruckhärte des ersten Schutzfilms erfüllt die folgende Beziehung:

$$Ha > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \epsilon_B}$$

. In der Beziehung stellt c' eine Konstante in einem Bereich von $5,5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7,6 \times 10^{-6}$ dar.

[0017] Das obige Verfahren schafft die Vorrichtung. In der Vorrichtung schützt der Schutzfilm die Mikrosystemstruktur, so dass die Mikrovorrichtung in einer Umgebung verwendet werden kann, in der ein Teilchen mit

der Mikrovorrichtung zusammenstoßen kann. Außerdem weist der Schutzfilm eine niedrige Spannung auf.

[0018] Vorzugsweise enthält das Verfahren außerdem die folgenden Schritte: Ausbilden eines zweiten Schutzfilms auf der Mikrosystemstruktur vor dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms; Erhitzen des ersten und zweiten Schutzfilms bis zu einer vorbestimmten Temperatur nach dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms; und Abkühlen des ersten und zweiten Schutzfilms auf Raumtemperatur. Der zweite Schutzfilm weist eine Verflüssigungstemperatur auf, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms ist. Der Schutzfilm wird auf dem zweiten Schutzfilm ausgebildet. Die vorbestimmte Temperatur in dem Schritt des Aufheizens des ersten und zweiten Schutzfilms ist gleich oder größer als die Verflüssigungstemperatur des zweiten Schutzfilms.

Ausführungsbeispiel

[0019] Die obige und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der folgenden detaillierten Beschreibung mit Bezug auf die zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

[0020] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht einer Mikrovorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

[0021] [Fig. 2](#) eine vergrößerte Teilquerschnittsansicht eines Teils der Vorrichtung, der in [Fig. 1](#) als von einer gestrichelten Linie umgeben dargestellt ist,

[0022] [Fig. 3](#) eine schematische Querschnittsansicht zur Erläuterung des Zusammenstoßes eines Teilchens mit einem Schutzfilm gemäß der ersten Ausführungsform,

[0023] [Fig. 4](#) einen Graph einer Beziehung zwischen der Beanspruchung bzw. Dehnung, das heißt der Verschiebung von Material, und der Last gemäß der ersten Ausführungsform,

[0024] [Fig. 5](#) einen Graph einer Beziehung zwischen der Nano-Eindruckhärte und der Vickershärte gemäß der ersten Ausführungsform,

[0025] [Fig. 6](#) einen Graph einer Beziehung zwischen der Beschädigungsdichte und der Vickershärte gemäß der ersten Ausführungsform,

[0026] [Fig. 7](#) eine perspektivische Ansicht des Schutzfilms, der mehrere Polygone aufweist, gemäß einer Modifikation der ersten Ausführungsform,

[0027] [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8H](#) Querschnittsansichten zur Erläuterung eines Verfahrens zur Herstellung der Vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform,

[0028] [Fig. 9](#) eine vergrößerte Teilquerschnittsansicht eines Teils einer Mikrovorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

[0029] [Fig. 10](#) eine perspektivische Ansicht einer Mikrovorrichtung gemäß dem Stand der Technik, und

[0030] [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) Querschnittsansichten von Mikrovorrichtungen gemäß dem Stand der Technik.

(Erste Ausführungsform)

[0031] Eine Mikrovorrichtung **1** gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die einen Schutzfilm **6** aufweist, ist in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt.

[0032] Die Mikrovorrichtung **1** enthält eine Mikrosystemstruktur **2** mit einer Dünnschichtmembran **4**, die aus einem Siliziumsubstrat **3** und einer Konkavität **3a** besteht. Die Konkavität **3a** ist auf der Rückseite des Substrats **3** ausgebildet. Die Dünnschichtmembran **4** ist aus einem Siliziumnitridfilm ausgebildet. Außerdem ist, wie es in [Fig. 2](#) gezeigt ist, eine integrierte Schaltung **5a** einschließlich einem Messwiderstand auf der Vorderseite des Siliziumsubstrats **3** angeordnet. Weiterhin ist eine Extraktionselektrode **5b** für eine externe Schaltung auf der Vorderseite des Substrats **3** ausgebildet.

[0033] Ein Schutzfilm **6** ist auf der Vorderseite des Substrats **3** ausgebildet. Der Schutzfilm **6** enthält einen

ersten Schutzfilm **7** und einen zweiten Schutzfilm **8**. Somit ist die Mikrovorrichtung **1** mit dem Schutzfilm **6** ausgebildet.

[0034] Der erste Schutzfilm **7** besteht zum Beispiel aus Metalloxid, Borid, Nitrid, Oxid oder Carbid. Insbesondere besteht der erste Schutzfilm **7** aus DLC (d. h. diamantähnlicher Kohlenstoff), CBN, TiC, SiC, CrN, TiCN, TiN, Ti-AlN, SiON, oder SiN.

[0035] Der zweite Schutzfilm **8** besteht zum Beispiel aus einem organischen Material, Siliziumoxid oder Metalloxid. Insbesondere besteht der zweite Schutzfilm **8** aus einem organischen Material wie zum Beispiel Polyimid, Polyamidimid, Epoxid, Fluorkohlenwasserstoffharz und thermoplastisches Polyimid. Außerdem kann der Film **8** aus Siliziumoxid wie zum Beispiel einem niedrighschmelzendem Glas, Sodaglas und SiO₂ oder anderen Oxiden wie zum Beispiel Bleioxid, Siliziumdioxid, Boroxid und Zinnoxid bestehen. Außerdem kann der zweite Schutzfilm **8** aus einem Kompositmaterial, das aus den obigen Materialien zusammengesetzt ist, ausgebildet sein.

[0036] Der Schutzfilm **6** mit dem ersten und zweiten Schutzfilm **7**, **8** erfüllt die folgende Beziehung, so dass der Schutzfilm **6** die Mikrosystemstruktur **2** ausreichend vor einem Zusammenstoß mit Teilchen schützt, wenn die Mikrovorrichtung **1** in einer rauen Umgebung verwendet wird. Insbesondere können in der rauen Umgebung Teilchen mit der Mikrovorrichtung **1** zusammenstoßen.

[0037] Wenn ein Teilchen mit einem Körper zusammenstößt, wird ein Stoßkratzer, das heißt ein Zusammenstoßschaden auf der Oberfläche des Körpers erzeugt. In diesem Fall verursacht der Zusammenstoß sogar dann, wenn der Körper mit einem Schutzfilm bedeckt ist, eine Verzerrung des Schutzfilms. Hier überschreitet die Verzerrung eine elastische Verformung des Schutzfilms. Diese permanente Verzerrung tritt in einem winzigen Bereich des Schutzfilms auf. Somit bedeutet dieses eine Zerstörung des Schutzfilms. Dementsprechend wird, wenn der Schutzfilm **6** mindestens einen Teil des Filmes **6** zur Verhinderung, dass ein Zusammenstoßschaden entsteht, enthält, in einem Fall, in dem ein Teilchen mit dem Film **6** zusammenstößt, die Mikrosystemstruktur **2** vor einer Beschädigung durch den Zusammenstoß mit dem Teilchen geschützt. In der ersten Ausführungsform dient der erste Schutzfilm **7** als der Teil des Filmes **6** zur Verhinderung, dass ein Zusammenstoßschaden der Vorrichtung **1** entsteht.

[0038] Hier entsteht ein Zusammenstoßschaden am Film, wenn die folgende Beziehung erfüllt ist. Insbesondere entsteht, wenn die folgende Formel erfüllt ist, der Zusammenstoßschaden am Film in einem Fall, in dem die Verzerrung des Schutzfilms **6**, der durch den Zusammenstoß mit dem Teilchen verursacht wird, eine Fließspannung bzw. Fließgrenze (yield strain) eines Materials, das den Film **6** ausbildet, überschreitet.

$$c \cdot \frac{a}{h} < \varepsilon_B \quad (F1)$$

[0039] Hier stellt ε_B die Fließspannung des Materials, das den Schutzfilm **6** ausbildet, dar. Die Zerstörung des Schutzfilms **6** ist als Betrag der Verformung des Materials definiert, das heißt $c \cdot a/h$. In der Formel F1 stellt a [m] den Betrag des Einstoßes des Teilchens in das Material dar. h [m] stellt eine Dicke des Schutzfilms **6** dar, wenn keine Verzerrung im Schutzfilm **6** auftritt. c stellt eine Konstante dar.

[0040] Ein Modellfall, bei dem das Teilchen mit dem Schutzfilm **6** zusammenstößt, ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Das Teilchen B, das eine scharfe Spitze aufweist, stößt zum Beispiel mit dem Schutzfilm **6** zusammen, der eine Dicke von h aufweist. Bei diesem Zusammenstoß wird der Schutzfilm **6** durch den Verformungsbetrag a nach innen gestoßen bzw. gedrückt. Dann zerbricht das Teilchen B mit einer Größe b , so dass die Länge der Spitze durch das Maß b gekürzt wird. Hier ist das Gewicht des Teilchens B als m [kgf] definiert, die Geschwindigkeit des Teilchens B ist als v [m/s] definiert und der Durchmesser des Teilchens B ist als d [m] definiert. Der Grad der Härte des Schutzfilms **6** ist als H_a [kgf/m²] definiert, und der Grad der Härte des Teilchens B ist als H_b [kgf/m²] definiert. Der Kontaktbereich zwischen dem Schutzfilm **6** und dem Teilchen B ist als S [m²] definiert.

[0041] In diesem Fall wird die Dynamikgleichung des Zusammenstoßes zwischen dem Teilchen B und dem Schutzfilm **6** wie folgt beschrieben:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot c \cdot (S \cdot H_a \cdot a + S \cdot H_b \cdot b) \quad (F2)$$

[0042] Die obige Formel F2 wird durch Aufstellen eines Gleichgewichts zwischen der Zusammenstoßenergie des Teilchens B und der Verformungsenergie zwischen dem Teilchen B und dem Schutzfilm **6** erhalten. Hier

ist die Verformungsenergie als ein Integrationswert aus einem Produkt des Gewichts und dem Dehnungsbetrag des Materials erhalten, das über den Bereich eines Dehnungsbereiches integriert wird. Wenn das Material elastisch verformt wird, wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist, ist der Dehnungsbetrag des Materials proportional zur Last. Daher wird die Dehnungsenergie durch die rechte Seite der Formel F2 berechnet.

[0043] Wenn das Teilchen B mit dem Schutzfilm **6** zusammenstößt, wird die scharfe Spitze des Teilchens B in den Schutzfilm **6** gedrückt. In diesem Fall wird die Last auf den Schutzfilm **6** mit der scharfen Spitze ausgeübt. Somit ist es angemessen, wenn die Last als ein Repräsentativwert unter Verwendung der Härte, die durch Standardisierung der Last und des Kontaktbereiches für einen Fall, in dem die scharfe Spitze in das Material gedrückt wird, erhalten wird, dargestellt wird. Folglich wird die Verformungsenergie durch einen Wert eines Produktes aus der Härte, des Kontaktbereiches mit dem Teilchen B, dem Verformungsbetrag und der Konstante, das heißt aus $H_a \times S \times a \times c$ erhalten. Die Härte wird durch ein Nano-Eindruckverfahren gemessen, das zum Messen der Härte eines Mikrobereiches geeignet ist. Insbesondere wird eine Berkovich-Spitze für das Nano-Eindruckverfahren verwendet, und eine Last von 0,5 gf wird auf das Material ausgeübt. Außerdem wird die Härte derselben Standardprobe durch einen Vickershärte test als Standardmessverfahren gemäß dem japanischen Industriestandard, das heißt dem JIS gemessen. Dann werden die Härte, die durch das Nano-Eindruckverfahren (das heißt die Nano-Eindruckhärte) gemessen wurde, und die Härte, die durch den Vickershärte test gemessen wurde (d. h. die Vickershärte) verglichen. Wie es in [Fig. 5](#) gezeigt ist, ist die Härte, die durch das Nano-Eindruckverfahren gemessen wird, proportional zur Härte, die durch den Vickershärte test gemessen wird.

[0044] Die Formel F2 wird umgewandelt, so dass der Verformungsbetrag a erhalten wird. Außerdem wird der Verformungsbetrag a für die Formel F2 ersetzt. Danach wird die Formel F2 umgewandelt, um die Härte H_a des Schutzfilms **6** zu erhalten, so dass die Formel F3 erhalten wird.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot c \cdot (S \cdot H_a \cdot a + S \cdot H_b \cdot b) \quad (\text{F2})$$

$$\frac{a}{b} \approx \frac{H_a}{H_b}$$

$$\therefore m v^2 = c \cdot S \cdot a (H_a + H_b)$$

$$a = \frac{m v^2}{c \cdot S \cdot H_a}$$

$$a = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{c' \cdot h^2 \cdot H_a} = c'' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^2 \cdot H_a}$$

$$\therefore c \cdot \frac{a}{h} = c''' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot H_a} < \varepsilon_B$$

$$H_a > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \varepsilon_B} \quad (\text{F3})$$

[0045] Hier erfüllt die Konstante c' die folgende Beziehung:

$$5,5 \times 10^6 \leq c' \leq 7,6 \times 10^6.$$

[0046] In der obigen Umwandlung, insbesondere in der Umwandlung der Formel F2 werden die folgenden Werte für nicht direkt gemessene Werte in der Formel F2 ersetzt.

$$S \text{ [m}^2\text{]} \times c = c' \times h^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$m \text{ [kg]} \gg \frac{\pi}{6} \times d^3 \times \rho \text{ [kg]}$$

[0047] Hier wird der Kontaktbereich $S \text{ [m}^2\text{]}$ durch ein Produkt aus dem Quadrat der Dicke des Schutzfilms **6** und der Konstante erhalten. Das Gewicht $m \text{ [kg]}$ des Teilchens B wird durch ein Produkt des Volumens des Teilchens B und der Dichte des Teilchens B erhalten. Das Volumen des Teilchens wird durch ein Volumen einer Kugel geschätzt, die einen Durchmesser des Teilchens B aufweist. Die Konstanten c' , c'' , c''' weisen die Beziehung

$$c'' = \frac{\pi}{6 \times c'}$$

und $c''' = c \times c''$ auf.

[0048] Anschließend wird ein Zusammenstoßtest derart durchgeführt, dass ein Standardteilchen für einen Standardtest gemäß dem JIS mit dem Schutzfilm **6** zusammenstößt. Entsprechend dem Ergebnis dieses Tests wird die Konstante c in der Formel F2 geschätzt. Unter Verwendung dieser Schätzung werden die Abmessungen und das Gewicht des Teilchens B, die Härte und die Dicke des Schutzfilms **6** zur Verhinderung einer Beschädigung durch einen Zusammenstoß mit dem Teilchen B, das bestimmte Abmessungen und ein bestimmtes Gewicht aufweist, bestimmt.

[0049] Die Härte H_a des Schutzfilms **6** wird zum Beispiel durch die Formel F2 in einem Fall erhalten, in dem der Schutzfilm **6** vor einem Teilchen aus einem natürlichem Quarz, das eine Hauptkomponente des Teilchens B in der Atmosphäre ist, geschützt wird. Das Teilchen B weist zum Beispiel eine Dichte von $2,2 \text{ g/cm}^2$, eine Größe von $100 \text{ }\mu\text{m}$ und eine Geschwindigkeit von 40 m/s auf. In diesem Fall wird eine Bedingung dafür, dass kein Zusammenstoßschaden an dem Schutzfilm **6** entsteht, wie folgt berechnet. Hier beträgt die Dicke des Schutzfilms **6** $0,1 \text{ }\mu\text{m}$, und die Fließspannung des Schutzfilms **6** beträgt $0,03$. Wenn die Vickershärte des Schutzfilms **6** gleich oder größer als 1800 Hv bis 2500 Hv ist, oder wenn die Härte, die durch das Nano-Eindruckverfahren gemessen wird, gleich oder größer als $9,8 \text{ GPa}$ bis $13,6 \text{ GPa}$ ist, wird vermieden, dass der Schutzfilm **6** einen Zusammenstoßschaden erleidet.

[0050] [Fig. 6](#) zeigt Ergebnisse eines Tests, bei dem ein Standardtestteilchen, das ein Testteilchen ersten Grades gemäß dem JIS aufweist, mit dem Schutzfilm **6** zusammenstößt. Insbesondere wird das Teilchen als gleich oder kleiner als $100 \text{ }\mu\text{m}$ ausgewählt, und das Teilchen weist eine Geschwindigkeit von 40 m/s auf. In diesem Fall wird die Anzahl der Zusammenstoßbeschädigungen auf dem Schutzfilm **6** gemessen. [Fig. 6](#) zeigt die Beziehung zwischen der Zusammenstoßbeschädigungsdichte (in Beschädigungen pro mm^2) und der Vickershärte (in Hv) des Schutzfilms **6**. Die Anzahl der Zusammenstoßbeschädigungen der Teilchen wird um zwei Dezimalstellen oder mehr beim Erreichen der Vickershärte von 2000 Hv verringert. In [Fig. 6](#) stellt der Bereich VI eine Grenze der Vickershärte dar, die durch die Formel F3 berechnet wird, das heißt der Bereich VI zeigt die Vickershärte in einem Bereich zwischen 1800 Hv und 2500 Hv .

[0051] Es wurden folgende Experimente durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Schutzfilm **6** vorzugsweise einen Teil des Filmes **6** enthält, der eine Dicke in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ und $30 \text{ }\mu\text{m}$ und eine Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als $13,64 \text{ GPa}$ aufweist. In diesem Fall wird der Schutzfilm **6** vor dem Teilchen aus natürlichem Quarz geschützt, das eine Hauptkomponente des Teilchens in der Atmosphäre ist. Hier wird die Nano-Eindruckhärte unter Verwendung der Berkovich-Spitze mit der Last von $0,5 \text{ gf}$ gemessen.

[0052] In dieser Ausführungsform erfüllt der erste Schutzfilm **7** in dem Schutzfilm **6** die obigen Bedingungen.

[0053] Hier ist es nicht bevorzugt, dass der Schutzfilm **6** eine Vickershärte von weniger als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von weniger als $13,64 \text{ GPa}$ aufweist, da ansonsten das Teilchen den Schutzfilm **6** beschädigen kann, so dass die Mikrosystemstruktur **2** beschädigt wird. Außerdem ist es nicht bevorzugt, dass der Schutzfilm eine Dicke von weniger als $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ aufweist, da ansonsten das Teilchen den Schutzfilm **6** beschädigen kann, so dass die Mikrosystemstruktur **2** beschädigt wird. Außerdem ist es nicht bevorzugt, dass die Dicke des Schutzfilms **6** dicker als $30 \text{ }\mu\text{m}$ ist, da ansonsten die Homogenität der Filmdicke des Schutzfilms **6** geringer wird. Dementsprechend weist der erste Schutzfilm **7** eine Dicke in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ und $30 \text{ }\mu\text{m}$ und eine Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als $13,64 \text{ GPa}$ auf.

[0054] Außerdem ist die Gesamtspannung, die auf den Schutzfilm **6** ausgeübt wird, gleich oder kleiner als 700 N/m, und die Gesamtspannung ist eine Druckspannung. Es ist notwendig, dass die Dünnschichtmembran **4** so ausgelegt ist, dass sie eine Gesamtspannung in Zugrichtung aufweist. Zum Beispiel erzeugt ein SiN-Film, der durch ein LP-CVD-Verfahren ausgebildet wird, eine Spannung in Zugrichtung. Dieser SiN-Film weist eine Spannung in einem Bereich zwischen -1 GPa und 1,4 GPa auf. Daher liegt, wenn die Dicke des SiN-Filmes $0,5 \mu\text{m}$ beträgt, die Gesamtspannung im Allgemeinen in einem Bereich zwischen 500 N/m und 700 N/m. Somit ist, wenn der Schutzfilm **6** aus dem SiN-Film besteht, der eine Spannung in Zugrichtung aufweist, die Gesamtspannung des Schutzfilms **6** in Druckrichtung gleich oder kleiner als 700 N/m.

[0055] Zur Erhöhung der Gesamtspannung des Schutzfilms **6** aus dem SiN-Film auf gleich oder größer als 700 N/m ist es notwendig, den SiN-Film wiederholt zu schichten, um die Zugspannung zu erzeugen. In diesem Fall erhöhen sich jedoch die Herstellungsschritte der Mikrosystemstruktur, so dass die Herstellungskosten der Struktur höher werden. Daher ist dieses nicht vorzuziehen.

[0056] Dementsprechend ist es vorzuziehen, dass die Gesamtspannung des Schutzfilms **6** kleiner als 700 N/m beträgt. Der erste Schutzfilm **7** in dem Schutzfilm **6** erfüllt diese Bedingung.

[0057] Wenn jedoch die Filmspannung als eine Membranspannung des Filmes **7** kleiner als -1 GPa oder größer als 4 GPa ist, kann die Filmspannung die Mikrosystemstruktur **2** beschädigen. Daher ist es vorzuziehen, dass die Filmspannung des ersten Schutzfilms **7** in einem Bereich zwischen -1 GPa und 4 GPa liegt.

[0058] In der Struktur **2** ist der Schutzfilm **6** aus einem geschichteten Film ausgebildet, das heißt aus einem mehrschichtigen Film, der den ersten und zweiten Schutzfilm **7**, **8** aufweist. In diesem Fall ist es vorzuziehen, dass der zweite Schutzfilm **8** aus einem Material mit einer Schwellentemperatur besteht, bei der das Material sein Kontinuum nicht halten kann. Die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** ist niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms **7**. Hier ist die Schwellentemperatur zum Beispiel eine Glasübergangstemperatur des zweiten Schutzfilms oder eine Verflüssigungstemperatur des zweiten Schutzfilms **8**. Der zweite Schutzfilm **8** ist unter dem ersten Schutzfilm **7** angeordnet. In diesem Fall wird, wenn der Schutzfilm **6** bis zu einer vorbestimmten Temperatur aufgeheizt wird, die größer als die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** ist, der zweite Schutzfilm **8** flüssig, das heißt der Film **8** weist einen flüssigen Zustand auf, so dass die Dehnung in dem ersten Schutzfilm **7** freigegeben wird. Somit wird die Spannung in dem ersten Schutzfilm **7** verringert. Obwohl der Schutzfilm **6** einen einzigen ersten Schutzfilm **7** und einen einzigen zweiten Schutzfilm **8** aufweist, kann der Schutzfilm **6** mehrere erste Schutzfilme **7** und mehrere zweite Schutzfilme **8** enthalten. Diese Konstruktion ist in einem Fall wirksam, in dem eine Zielfilmdicke nicht durch einen einschichtigen ersten Schutzfilm **7** und einen einschichtigen zweiten Schutzfilm **8** erhalten werden kann. Dieses kommt daher, dass die Dicke des einschichtigen ersten Schutzfilms **7** durch die Filmspannung und Ähnliches begrenzt ist, wenn der erste Schutzfilm **7** aus irgendeinem Material besteht. Daher werden in diesem Fall der erste und zweite Schutzfilm **7**, **8** wiederholt geschichtet. Dann wird der Schutzfilm **6** mit der Vielzahl der ersten Schutzfilme **7** und der Vielzahl der zweiten Schutzfilme **8** bis zu einer Temperatur aufgeheizt, die größer als die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** ist, so dass der Schutzfilm **6** geschaffen wird. Außerdem wird die Dehnung des ersten Schutzfilms **7** freigegeben, so dass sich der Bereich des Filmes **6** ausdehnt. Zu diesem Zeitpunkt nimmt der erste Schutzfilm **7** einen Widerstand einer Schubspannung auf, die durch die Viskosität des verflüssigten zweiten Schutzfilms **8** bewirkt wird. Diese Schubspannung ist proportional zu einem Bereich des ersten Schutzfilms **7**, der den zweiten Schutzfilm **8** bedeckt. Daher ist es vorzuziehen, dass der erste Schutzfilm **7** in mehrere Abschnitte geteilt wird, so dass die Spannung des ersten Schutzfilms **7** leicht freigegeben wird.

[0059] Somit wird, wie es in [Fig. 7](#) gezeigt ist, der erste Schutzfilm **7** in mehrere Polygoneile unterteilt, die jeweils voneinander getrennt sind. Der Umfang eines jeweiligen Polygoneils ist von einem anderen jeweils um einen vorbestimmten Abstand in einem Bereich zwischen $1 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$ getrennt. Der erste Schutzfilm **7** wird zum Beispiel, wie es in [Fig. 7](#) gezeigt ist, in mehrere quadratische Teile geteilt.

[0060] Wenn hier der Bereich des Polygoneils des ersten Schutzfilms **7** kleiner als $1 \mu\text{m}^2$ ist, kann der Polygoneil verschoben werden, wenn der Schutzfilm **6** bis zu einer Temperatur von gleich oder größer als die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** aufgeheizt wird. Wenn außerdem der Bereich des Polygoneils des ersten Schutzfilms **7** größer als 25mm^2 ist, wird die Spannung des ersten Schutzfilms **7** nicht ausreichend freigegeben, da der Bereich zu groß ist. Somit ist es vorzuziehen, dass der Bereich des Polygoneils in einem Bereich zwischen $1 \mu\text{m}^2$ und 25mm^2 liegt.

[0061] Außerdem ist es vorzuziehen, dass die Dicke des zweiten Schutzfilms **8** in einem Bereich zwischen $0,1 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$ liegt. In diesem Fall wird die Dehnung des ersten Schutzfilms **7** wirksam freigegeben, wenn

der Schutzfilm **6** bis zu einer Temperatur von gleich oder größer als die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** aufgeheizt wird. Insbesondere wenn die Dicke des zweiten Schutzfilms **8** kleiner als $0,1\ \mu\text{m}$ beträgt, wird die Dehnung des ersten Schutzfilms **7** nicht ausreichend freigegeben, wenn der Schutzfilm **6** bis zu einer Temperatur von gleich oder größer als die Schwellentemperatur des zweiten Schutzfilms **8** aufgeheizt wird. Dieses kommt daher, dass die Oberflächenkonkavität und -konvexität der Mikrosystemstruktur **2** die Verschiebung des zweiten Schutzfilms **8** verhindert, so dass der zweite Schutzfilm **8** nicht ausreichend verschoben wird. Wenn außerdem die Dicke des zweiten Schutzfilms **8** größer als $100\ \mu\text{m}$ beträgt, kann der dicke Schutzfilm **6** die physikalischen Eigenschaften der Mikrosystemstruktur **2** wie zum Beispiel mechanische und thermische Eigenschaften beeinflussen. Daher ist es vorzuziehen, dass die Dicke des zweiten Schutzfilms **8** in einem Bereich zwischen $0,1\ \mu\text{m}$ und $100\ \mu\text{m}$ liegt.

[0062] Somit schützt der Schutzfilm **6** auf sichere Weise die Mikrosystemstruktur **2** vor einem Zusammenstoß mit dem Teilchen B, und zwar sogar dann, wenn die Mikrosystemstruktur **2** in einer Umgebung angeordnet ist, in der das Teilchen B, das Abmessungen von gleich oder größer als $200\ \mu\text{m}$ und eine Geschwindigkeit von gleich oder weniger als $50\ \text{m/s}$ aufweist, mit der Mikrosystemstruktur **2** zusammenstoßen kann.

[0063] Im Folgenden wird ein Verfahren zur Herstellung der Mikrovorrichtung **1** mit dem Schutzfilm **6** beschrieben.

[0064] Zunächst wird, wie es in [Fig. 8A](#) gezeigt ist, das Siliziumsubstrat **3** als ein Trägersubstrat vorbereitet. Danach wird ein SiN-Film **10** auf dem Siliziumsubstrat **3** durch das LP-CVD-Verfahren ausgebildet. Der SiN-Film **10** weist eine Membranspannung von etwa $-1\ \text{GPa}$ auf. Ein Teil dieses SiN-Films **10** schafft die Dünnfilmmembran **4**.

[0065] Wie es in [Fig. 8B](#) gezeigt ist, werden ein Funktionselement (nicht gezeigt), die integrierte Schaltung **5a** als eine Halbleiter-IC und die Extraktionselektrode **5b** auf dem SiN-Film **10** unter Verwendung eines Filmabscheideverfahrens und eines Bemusterprozesses ausgebildet. Somit ist die Mikrosystemstruktur **2** ausgebildet.

[0066] Danach wird der Schutzfilm **6** ausgebildet, um das Funktionselement, die integrierte Schaltung **5a** und die Extraktionselektrode **5b** zu bedecken. Insbesondere wird, wie es in [Fig. 8c](#) gezeigt ist, ein Polyamidimidfilm **11** als der zweite Schutzfilm **8** auf das Substrat **3** durch ein Rotationsbeschichtungsverfahren abgeschieden. Danach wird das Substrat **3** bei 180°C während einer Stunde aufgeheizt, so dass der zweite Schutzfilm **8** eine Dicke in einem Bereich zwischen $0,1\ \mu\text{m}$ und $30\ \mu\text{m}$ aufweist. Hier weist der Polyamidimidfilm **11** im Allgemeinen eine Glasübergangstemperatur von etwa 250°C auf. Somit wird, wenn der Polyamidimidfilm **11** bis zu einer Temperatur von gleich oder größer als die Glasübergangstemperatur aufgeheizt wird, das Kontinuum des Filmes **11** nicht aufrechterhalten.

[0067] Danach wird ein DLC-Film (das heißt Film aus diamantähnlichem Kohlenstoff) **12** als erster Schutzfilm **7** auf dem zweiten Schutzfilm **8** durch ein Verdampfungsverfahren abgeschieden, wie es in [Fig. 8D](#) gezeigt ist. Hier wird der DLC-Film **12** derart ausgebildet, dass der DLC-Film **12** eine Vickershärte von gleich oder größer als $2500\ \text{Hv}$ oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als $13,64\ \text{GPa}$, eine Dicke in einem Bereich zwischen $0,1\ \mu\text{m}$ und $30\ \mu\text{m}$ und eine Gesamtspannung von gleich oder kleiner als $700\ \text{N/m}$ aufweist. Somit sind der erste und zweite Schutzfilm **7**, **8** ausgebildet.

[0068] Wie es in [Fig. 8E](#) gezeigt ist, wird das Substrat **3** bis auf 300°C während zwei Stunden aufgeheizt, so dass die Dehnung in dem ersten Schutzfilm **7** freigegeben wird. Hier ist 300°C größer als die Glasübergangstemperatur des zweiten Schutzfilms **8** aus einem Polyamidimidfilm. Diese Dehnungsfreigabebedingung, die eine Aufheiztemperatur von 300°C und eine Aufheizzeit von zwei Stunden aufweist, ist optimiert, da die notwendige Temperatur und die notwendige Prozesszeit zum ausreichenden Freigeben der Dehnung unterschiedlich sind, wenn das Material, das den ersten Schutzfilm **7** bildet, und die Herstellungsbedingungen des ersten Schutzfilms **7** unterschiedlich sind. Außerdem kann der erste Schutzfilm **7** in mehrere Polygonteile unterteilt werden, die jeweils voneinander getrennt sind, so dass die Dehnung in dem ersten Schutzfilm **7** auf leichte Weise freigegeben wird. Hier ist der Bereich eines jeweiligen Polygonteils optimiert.

[0069] Anschließend wird die Mikrosystemstruktur **2**, die eine hohe Temperatur aufweist, bis auf Raumtemperatur abgekühlt. Somit wird der Dehnungsfreigabeprozess des ersten Schutzfilms **7** beendet, so dass der Schutzfilm **6** ausgebildet ist.

[0070] Nach der Ausbildung des Schutzfilms **6** wird, wie es in [Fig. 8F](#) gezeigt ist, ein Teil des Schutzfilms **6**,

der auf der Extraktionselektrode **5b** zur Verbindung zwischen der Struktur **2** und der externen Schaltung angeordnet ist, durch ein Photolithographieverfahren und ein Trockenätzverfahren entfernt.

[0071] Danach wird die Dünnschichtmembran auf dem Substrat **3** ausgebildet. Insbesondere wird, wie es in **Fig. 8G** gezeigt ist, eine Ätzmaske **13** auf der Rückseite des Substrats **3** ausgebildet. Es wird zum Beispiel ein SiO₂-Film oder ein SiN-Film auf dem Substrat **3** abgeschieden. Danach wird ein Teil der Ätzmaske **13** durch ein Photolithographieverfahren und ein Ätzverfahren entfernt. Hier wird der Teil der Ätzmaske **13** auf einem Abschnitt abgeschieden, bei dem die Dünnschichtmembran auszubilden ist.

[0072] Wie es in **Fig. 8H** gezeigt ist, wird das Substrat **3** von der Rückseite des Substrats **3** durch ein anisotropes Ätzverfahren unter Verwendung einer KOH- oder TMAH-Alkalilösung geätzt. Somit ist das Substrat **3** geätzt, so dass die Konkavität **3a** den SiN-Film **10**, der auf der Vorderseite des Substrats **3** abgeschieden ist, erreicht. Die Dünnschichtmembranstruktur, die den Schutzfilm **6** aufweist, ist ausgebildet. Danach wird das Substrat **3** in mehrere Chips unterteilt, so dass die Mikrovorrichtung **1** vollendet ist.

(Zweite Ausführungsform)

[0073] Eine Mikrovorrichtung **1** gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in **Fig. 9** gezeigt. Die Vorrichtung **1** enthält den dritten Schutzfilm **9** anstelle des zweiten Schutzfilms **8**. Der dritte Schutzfilm **9** besteht aus einem organischen Material, einem Metallmaterial, Siliziumoxiden, Siliziumnitriden oder Siliziumkarbiden. Der dritte Schutzfilm **9** besteht zum Beispiel aus Polyimid, Polyamidimid, Epoxid, Fluorharz, thermoplastischem Polyimid, Al₂O₃, SiO₂, SiN, TiC, SiC, TiCN, TiN, TiAlN oder SiON. Außerdem wird der dritte Schutzfilm **9** durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein Ionenplattierverfahren oder ein Beschichtungsverfahren ausgebildet. Hier wird in dem Beschichtungsverfahren eine Mischung des Materials, das den dritten Schutzfilm **9** ausbildet, oder eine Mischung eines Zwischenprodukts des dritten Schutzfilms **9** auf das Substrat **3** aufgebracht, und dann wird die Mischung getrocknet und gesintert. Außerdem kann der dritte Schutzfilm **9** durch eine Kombination der obigen Verfahren ausgebildet werden.

[0074] Der dritte Schutzfilm **9** weist eine Zugspannung auf. Da der Schutzfilm **7** eine große Härte aufweist, wird insbesondere die Druckspannung auf den dritten Schutzfilm **9** ausgeübt. Der erste Schutzfilm **7** weist jedoch eine große Druckspannung auf, so dass die Gesamtspannung der gesamten Dünnschichtmembran in Zugrichtung verläuft.

[0075] In diesem Fall ist es vorzuziehen, dass die Dicke des dritten Schutzfilms **9** in einem Bereich zwischen 0,1 µm und 100 µm liegt. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn die Filmspannung des dritten Schutzfilms **9** so ausgelegt ist, dass sie in einem Bereich zwischen -1,4 GPa und 0 GPa liegt. Die Gründe dafür sind dieselben wie die bei der ersten Ausführungsform in Bezug auf den ersten Schutzfilm **7** beschriebenen Gründe.

(Modifikationen)

[0076] Obwohl der zweite Schutzfilm **8** durch das Rotationsbeschichtungsverfahren abgeschieden wird und der erste Schutzfilm **7** durch das Verdampfungsverfahren abgeschieden wird, können der erste und zweite Schutzfilm **7**, **8** durch andere Verfahren ausgebildet werden. Der erste Schutzfilm **7** kann zum Beispiel durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren, ein Druckverfahren oder ein Beschichtungsverfahren ausgebildet werden. Hier wird in dem Beschichtungsverfahren eine Mischung des Materials, das den ersten Schutzfilm **7** ausbildet, oder eine Mischung eines Zwischenprodukts des ersten Schutzfilms **7** auf das Substrat **3** aufgebracht, und danach wird die Mischung getrocknet und gesintert. Außerdem kann der erste Schutzfilm **7** durch eine Kombination der obigen Verfahren ausgebildet werden.

[0077] Außerdem kann der zweite Schutzfilm **8** durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren oder ein Beschichtungsverfahren ausgebildet werden. Hier wird in dem Beschichtungsverfahren eine Mischung des Materials, aus dem der zweite Schutzfilm **8** ausgebildet wird, oder eine Mischung eines Zwischenprodukts des zweiten Schutzfilms **8** auf das Substrat **3** aufgebracht, und danach wird die Mischung getrocknet und gesintert. Außerdem kann der zweite Schutzfilm **8** durch eine Kombination der obigen Verfahren ausgebildet werden.

[0078] Obwohl die Mikrovorrichtung **1** die Mikrostruktur **2** mit der Dünnschichtmembran **4** enthält, kann die Mikrovorrichtung **1** eine integrierte Halbleiterschaltung, die durch ein Bemusterungsverfahren eines Dünnschichtfilmes ausgebildet wird, eine dreidimensionale Struktur, die durch ein Ätzverfahren von Silizium ausgebildet wird,

und ein Element, das durch Verfestigung unter Verwendung von Strahlung von Licht auf ein photoempfindliches Material wie zum Beispiel ein photoempfindliches Harz ausgebildet wird, enthalten.

[0079] Die obige Mikrovorrichtung **1** wird zum Beispiel durch einen Verunreinigungsimplantationsprozess des Substrats **3**, einen Dünnschichtabscheideprozess, einen Belichtungsprozess, einen Entwicklungsprozess, einen Ätzprozess und einen Siliziummikrobearbeitungsprozess ausgebildet. Danach wird der Schutzfilm **6** auf dem Substrat **3** durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, eine Verdampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet. Somit ist die Mikrovorrichtung **1**, die den Schutzfilm **6** aufweist, vollendet.

[0080] Außerdem kann die Mikrosystemstruktur eine integrierte Halbleiterschaltung bereitstellen. Außerdem kann die Mikrosystemstruktur eine dreidimensionale Struktur bereitstellen. Außerdem kann die Mikrosystemstruktur eine dreidimensionale Struktur aus einem photoempfindlichen Harz bereitstellen. Außerdem kann die Mikrosystemstruktur eine Dünnschichtmembran bereitstellen.

[0081] Während die Erfindung mit Bezug auf die bevorzugten Ausführungsformen beschrieben wurde, ist es selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf die bevorzugten Ausführungsformen und Konstruktionen beschränkt ist. Die Erfindung deckt verschiedene Modifikationen und äquivalente Anordnungen bzw. Aufbauten ab.

Patentansprüche

1. Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur (**2**), die aufweist:
einen Schutzfilm (**6**) mit einer mehrschichtigen Struktur, wobei
der Schutzfilm (**6**) auf der Mikrosystemstruktur (**2**) angeordnet ist, um die Mikrosystemstruktur (**2**) vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen zu schützen,
der Schutzfilm (**6**) einen ersten Schutzfilm (**7**) enthält,
der erste Schutzfilm (**7**) eine Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als 13,64 GPa aufweist,
die Nano-Eindruckhärte durch eine Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf gemessen ist,
der erste Schutzfilm (**7**) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 µm und 30 µm aufweist,
der Schutzfilm (**6**) eine Gesamtspannung aufweist, die als ein Produkt aus einer Filmspannung und einer Filmdicke definiert ist, und
die Gesamtspannung des Schutzfilms (**6**) gleich oder kleiner als 700 N/m ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei
der Schutzfilm (**6**) außerdem einen zweiten Schutzfilm (**8**) enthält,
der zweite Schutzfilm (**8**) zwischen dem ersten Schutzfilm (**7**) und der Mikrosystemstruktur (**2**) angeordnet ist,
und
der zweite Schutzfilm (**8**) eine Verflüssigungstemperatur aufweist, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms (**7**) ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Verflüssigungstemperatur eine Glasübergangstemperatur ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Schutzfilm (**6**) außerdem einen dritten Schutzfilm (**9**) enthält, und der dritte Schutzfilm (**9**) eine Zugspannung aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mikrosystemstruktur (**2**) eine integrierte Halbleiterschaltung (**5a**) bereitstellt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mikrosystemstruktur (**2**) eine dreidimensionale Struktur (**4**) bereitstellt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mikrosystemstruktur (**2**) eine dreidimensionale Struktur (**4**) aus einem photoempfindlichen Harz bereitstellt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Mikrosystemstruktur (**2**) eine Dünnschichtmembran (**4**) bereitstellt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der erste Schutzfilm (**7**) eine Filmspannung in ei-

nem Bereich zwischen –1 GPa und 4 GPa aufweist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der zweite Schutzfilm (8) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 µm und 100 µm aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der erste Schutzfilm (7) mehrere Polygone aufweist, wobei jedes Teil einen Bereich zwischen 1 µm² und 25 mm² aufweist, und zwei benachbarte Teile durch eine Breite in einem Bereich zwischen 1 µm und 100 µm getrennt sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei der Polygoneil des ersten Schutzfilms (7) eine dreieckige Gestalt, eine quadratische Gestalt, eine hexagonale Gestalt oder eine achteckige Gestalt aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei der dritte Schutzfilm (9) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 µm und 100 µm aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 13, wobei der dritte Schutzfilm (9) eine Filmspannung in einem Bereich zwischen –1,4 GPa und 0 GPa aufweist.

15. Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur (2), die aufweist:
einen Schutzfilm (6) einschließlich einem ersten Schutzfilm (7) und einem zweiten Schutzfilm (8) zum Verhindern, dass die Mikrosystemstruktur (2) mit einem Teilchen zusammenstößt, wobei der erste Schutzfilm (7) auf der Mikrosystemstruktur (2) über dem zweiten Schutzfilm (8) angeordnet ist, der zweite Schutzfilm (8) eine Verflüssigungstemperatur aufweist, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms (7) ist, der erste Schutzfilm (7) eine Nano-Eindruckhärte aufweist, die als H_a in kgf/m² definiert ist und die die folgende Beziehung erfüllt:

$$H_a > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \varepsilon_B},$$

die Nano-Eindruckhärte unter Verwendung einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten wird,

c' in der Beziehung eine Konstante in einem Bereich von $5, 5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7, 6 \times 10^{-6}$, darstellt,

d in Metern eine Abmessung des Teilchens darstellt,

ρ in kg/m³ eine Dichte des Teilchens darstellt,

v in m/s eine Zusammenstoßgeschwindigkeit des Teilchens darstellt,

h in Metern eine Dicke des ersten Schutzfilms (7) darstellt, und

ε_B eine Fließspannung des ersten Schutzfilms (7) darstellt.

16. Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur (2), die aufweist einen ersten Schutzfilm (7) zum Schützen der Mikrosystemstruktur (2) vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen, wobei

das Teilchen eine Abmessung von d in Metern, eine Dichte von ρ in kg/m³ und eine Zusammenstoßgeschwindigkeit von v in m/s aufweist,

der erste Schutzfilm (7) eine Dicke von h in Metern aufweist,

der erste Schutzfilm (7) aus einem Material besteht, das eine Fließspannung von ε_B und eine Nano-Eindruckhärte von H_a in kgf/m² aufweist,

die Nano-Eindruckhärte unter Verwendung einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten wird,

die Nano-Eindruckhärte des ersten Schutzfilms (7) die folgende Beziehung erfüllt:

$$H_a > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \varepsilon_B},$$

und c' in der Beziehung eine Konstante in einem Bereich von $5,5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7,6 \times 10^{-6}$ darstellt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, die außerdem einen zweiten Schutzfilm (8) aufweist, so dass der erste und zweite Schutzfilm (7, 8) einen mehrschichtigen Schutzfilm (6) bereitstellen.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Mikrosystemstruktur (2) eine integrierte Halbleiterschaltung (5a) bereitstellt.
19. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Mikrosystemstruktur (2) eine dreidimensionale Struktur (4) bereitstellt.
20. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Mikrosystemstruktur (2) eine dreidimensionale Struktur (4) aus einem photoempfindlichen Harz bereitstellt.
21. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Mikrosystemstruktur (2) eine Dünnschichtmembran (4) bereitstellt.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei der erste Schutzfilm (7) eine Vickershärte von gleich oder größer als 2500 Hv oder eine Nano-Eindruckhärte von gleich oder größer als 13,64 GPa aufweist, und die Nano-Eindruckhärte durch eine Berkovich-Spitze und Ausübung einer Last von 0,5 gf gemessen ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei der erste Schutzfilm (7) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 μm und 30 μm aufweist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der erste und zweite Schutzfilm (7, 8) eine Gesamtspannung aufweisen, die als ein Produkt aus einer Filmspannung und einer Filmdicke definiert ist, und die Gesamtspannung des ersten und zweiten Schutzfilms (7, 8) gleich oder kleiner als 700 N/m ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei der erste Schutzfilm (7) eine Filmspannung in einem Bereich zwischen -1 GPa und 4 GPa aufweist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der zweite Schutzfilm (8) zwischen dem ersten Schutzfilm (7) und der Mikrosystemstruktur (2) angeordnet ist, und der zweite Schutzfilm (8) eine Verflüssigungstemperatur aufweist, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms (7) ist.
27. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der erste und zweite Schutzfilm (7, 8) abwechselnd auf der Mikrosystemstruktur (2) geschichtet sind, und der zweite Schutzfilm (8) eine Verflüssigungstemperatur aufweist, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms (7) ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der zweite Schutzfilm (8) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 μm und 100 μm aufweist.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 28, wobei der erste Schutzfilm (7) mehrere Polygone aufweist, die jeweils einen Bereich zwischen 1 μm^2 und 25 mm^2 aufweisen, und zwei benachbarte Teile durch eine Breite in einem Bereich zwischen 1 μm und 100 μm getrennt sind.
30. Vorrichtung nach Anspruch 29, wobei das Polygoneil des ersten Schutzfilms (7) eine dreieckige Gestalt, eine quadratische Gestalt, eine hexagonale Gestalt oder eine achteckige Gestalt aufweist.
31. Vorrichtung nach Anspruch 16, die außerdem aufweist: einen dritten Schutzfilm (9), so dass der erste und dritte Schutzfilm (7, 9) einen mehrschichtigen Schutzfilm (6) bereitstellen, wobei der dritte Schutzfilm (9) eine Druckspannung aufweist.
32. Vorrichtung nach Anspruch 31, wobei der dritte Schutzfilm (9) eine Dicke in einem Bereich zwischen 0,1 μm und 100 μm aufweist.
33. Vorrichtung nach Anspruch 31 oder 32, wobei der dritte Schutzfilm (9) eine Filmspannung in einem Bereich zwischen $-1,4$ GPa und 0 GPa aufweist.

34. Verfahren zum Herstellen einer Mikrovorrichtung mit einer Mikrosystemstruktur (2), das aufweist:
 Ausbilden der Mikrosystemstruktur (2) auf einem Trägersubstrat (3), und
 Ausbilden eines ersten Schutzfilms (7) auf der Mikrosystemstruktur (2), wobei
 der erste Schutzfilm (7) durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet wird, so dass der erste Schutzfilm (7) die Mikrosystemstruktur (2) vor einem Zusammenstoß mit einem Teilchen schützt,
 das Teilchen eine Abmessung von d in Metern, eine Dichte von ρ in kg/m^3 und eine Zusammenstoßgeschwindigkeit von v in m/s aufweist,
 der erste Schutzfilm (7) eine Dicke von h in Metern aufweist,
 der erste Schutzfilm (7) aus einem Material besteht, das eine Fließspannung von ε_B und eine Nano-Eindruckhärte von H_a in kgf/m^2 aufweist,
 die Nano-Eindruckhärte unter Verwendung einer Berkovich-Spitze unter Ausübung einer Last von 0,5 gf erhalten wird,
 die Nano-Eindruckhärte des ersten Schutzfilms (7) die folgende Beziehung erfüllt:

$$Ha > c' \cdot \frac{d^3 \cdot \rho \cdot v^2}{h^3 \cdot \varepsilon_B},$$

und c' in der Beziehung eine Konstante in einem Bereich von $5,5 \times 10^{-6} \leq c' \leq 7,6 \times 10^{-6}$ darstellt.

35. Verfahren nach Anspruch 34, das außerdem den folgenden Schritt aufweist:
 Ausbilden einer Membranstruktur (4) durch anisotropes Ätzen des Substrats (3) von einer Rückseite des Substrats (3) nach dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms (7).

36. Verfahren nach Anspruch 35, wobei die Membran (4) eine Siliziummembran oder eine Dünnschichtmembran ist.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36, das außerdem den Schritt des anisotropen Ätzens des Substrats (3) von einer Rückseite des Substrats (3) unter Verwendung einer KOH-Lösung oder einer TMAH-Lösung aufweist.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 37, das außerdem die folgenden Schritte aufweist:
 Ausbilden eines zweiten Schutzfilms (8) auf der Mikrosystemstruktur (2) vor dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms (7),
 Aufheizen des ersten und zweiten Schutzfilms (7, 8) bis zu einer vorbestimmten Temperatur nach dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms (7), und
 Abkühlen des ersten und zweiten Schutzfilms (7, 8) auf Raumtemperatur, wobei
 der zweite Schutzfilm (8) eine Verflüssigungstemperatur aufweist, die niedriger als diejenige des ersten Schutzfilms (7) ist,
 der erste Schutzfilm (7) auf dem zweiten Schutzfilm (8) ausgebildet wird, und
 die vorbestimmte Temperatur in dem Schritt des Aufheizens des ersten und zweiten Schutzfilms (7, 8) gleich oder größer als die Verflüssigungstemperatur des zweiten Schutzfilms (8) ist.

39. Verfahren nach Anspruch 38, wobei der zweite Schutzfilm (8) durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet wird.

40. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 37, das außerdem die folgenden Schritte aufweist:
 Ausbilden eines dritten Schutzfilms (9) auf der Mikrosystemstruktur (2) vor dem Schritt des Ausbildens des ersten Schutzfilms (7), wobei
 der erste Schutzfilm (7) auf dem dritten Schutzfilm (9) ausgebildet wird, und
 der dritte Schutzfilm (9) eine Druckspannung aufweist.

41. Verfahren nach Anspruch 40, wobei der dritte Schutzfilm (9) durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rotationsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet wird.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 41, wobei der erste Schutzfilm (7) durch ein PVD-Verfahren, ein CVD-Verfahren, ein Ionenplattierverfahren, ein Verdampfungsverfahren, ein ALD-Verfahren, ein Rota-

tionsbeschichtungsverfahren oder ein Druckverfahren ausgebildet wird.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

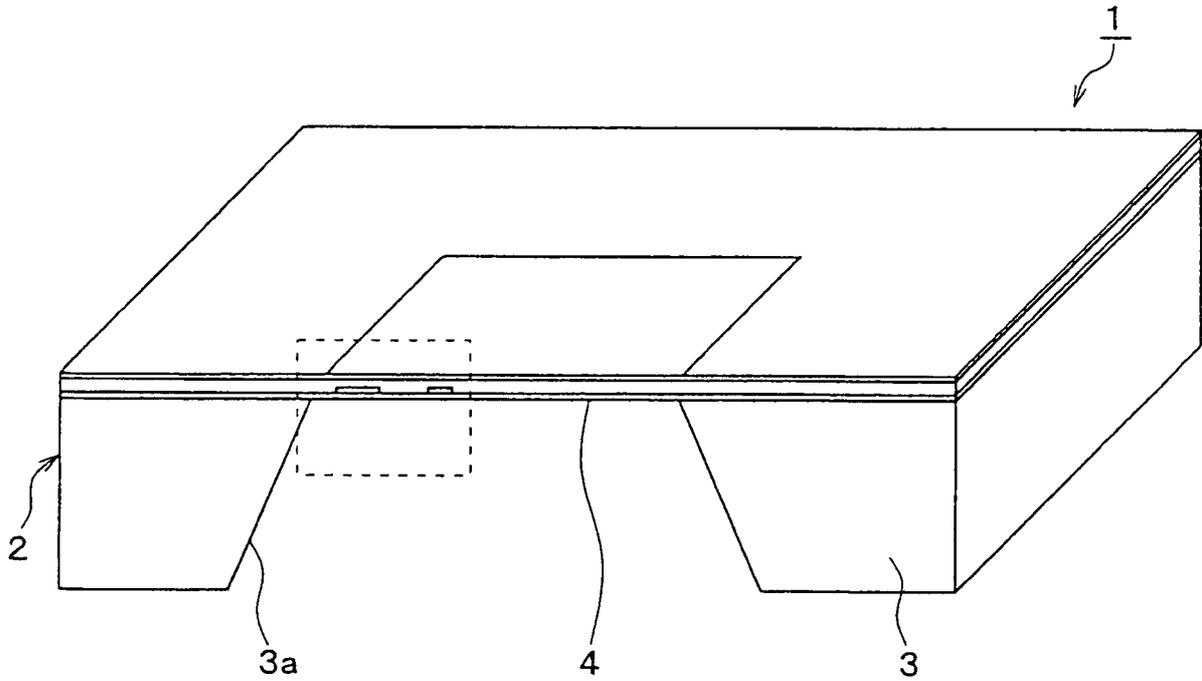


FIG. 2

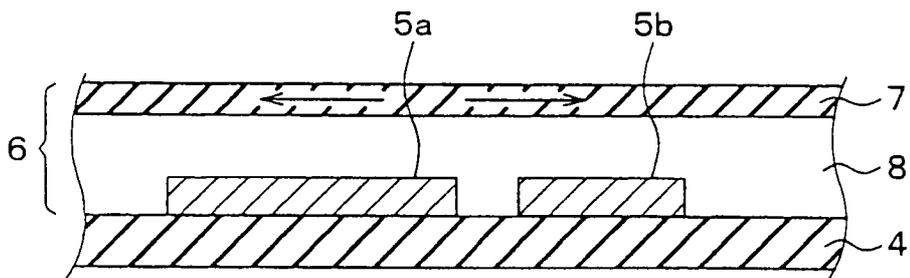


FIG. 3

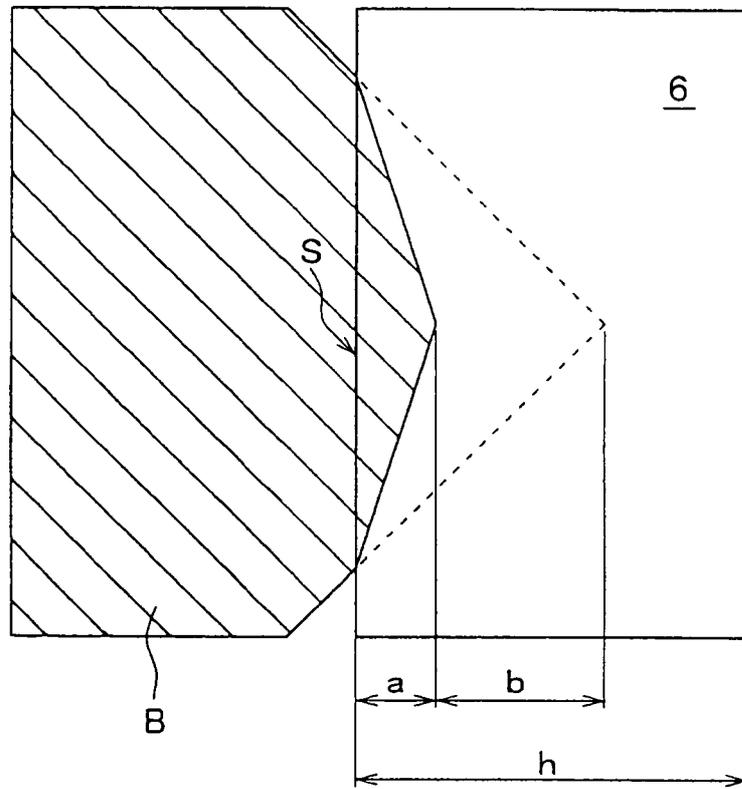


FIG. 4

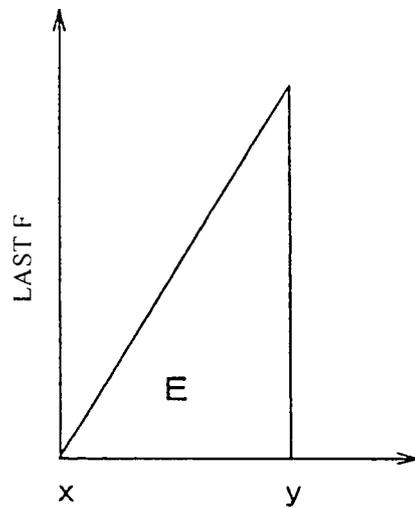


FIG. 5

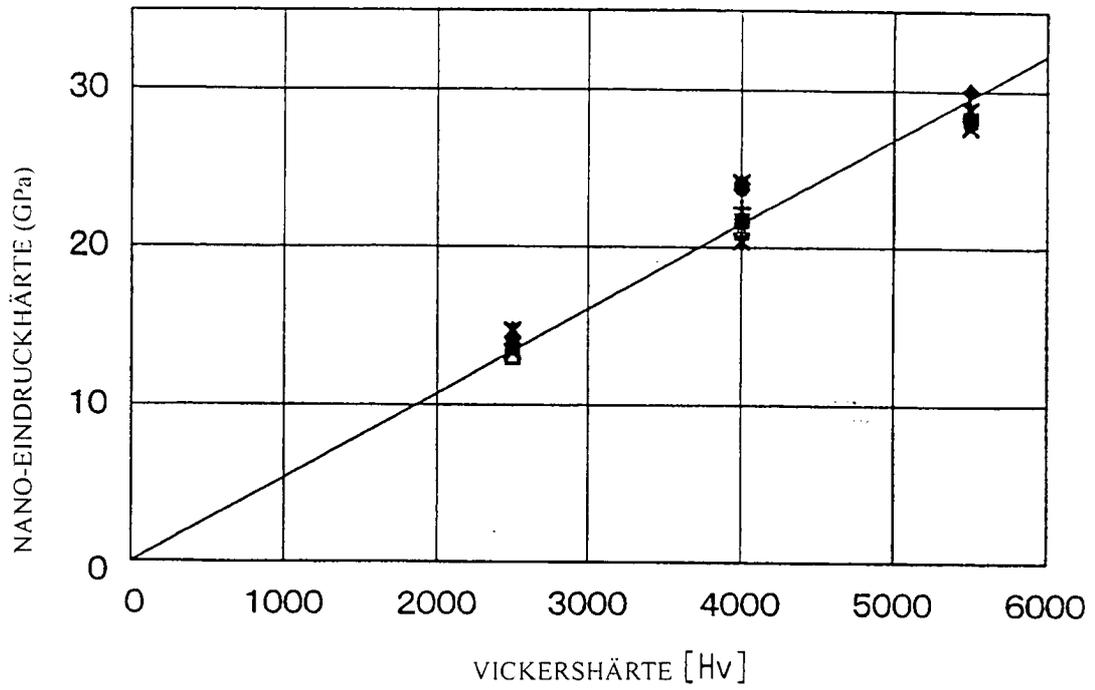


FIG. 6

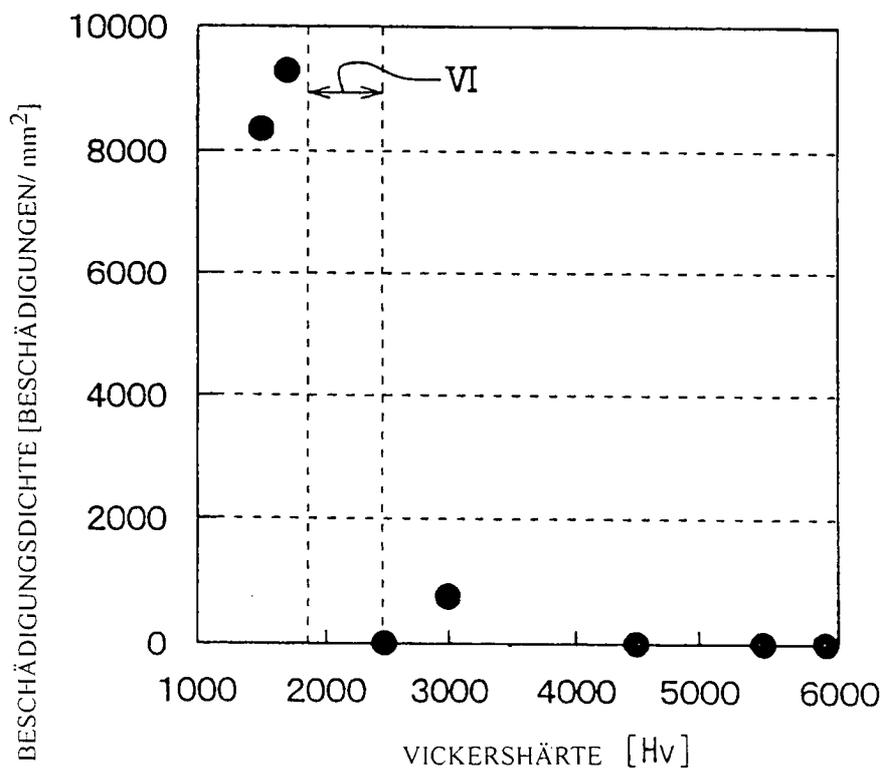


FIG. 7

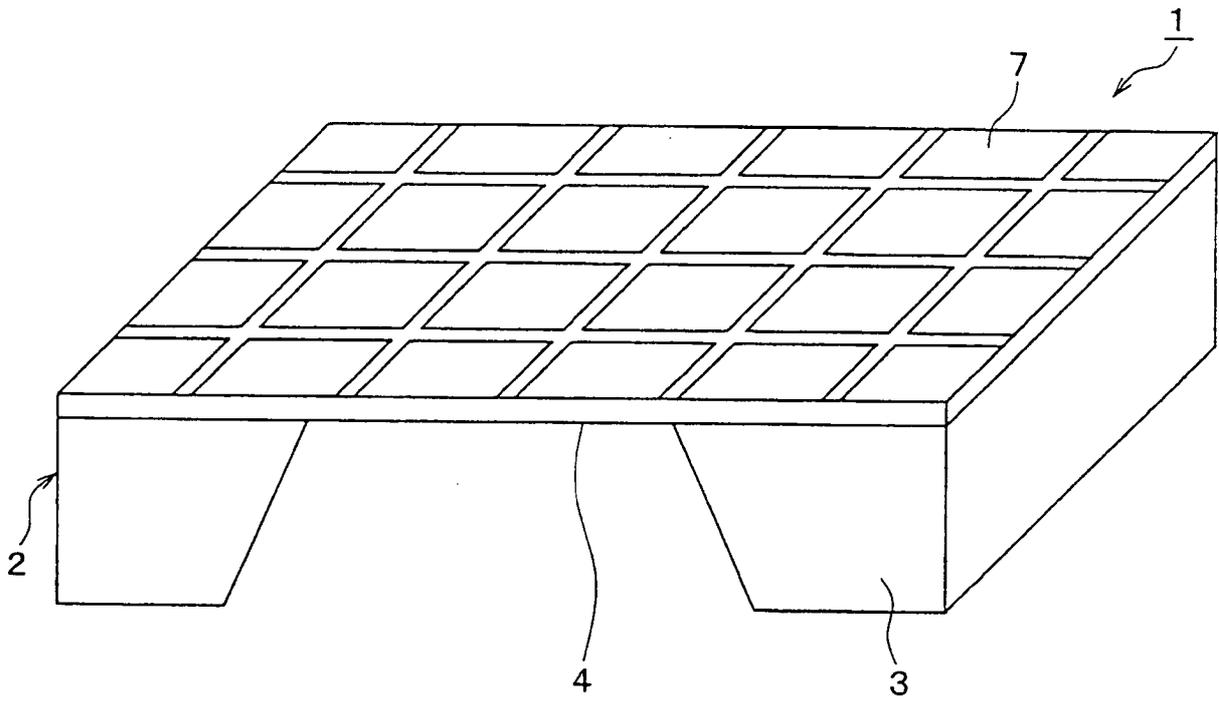


FIG. 8A

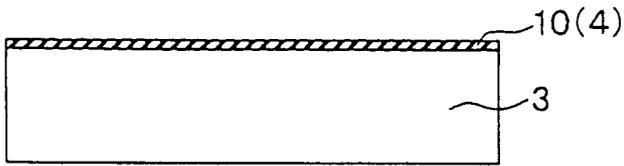


FIG. 8E

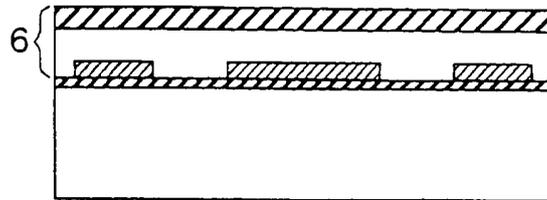


FIG. 8B

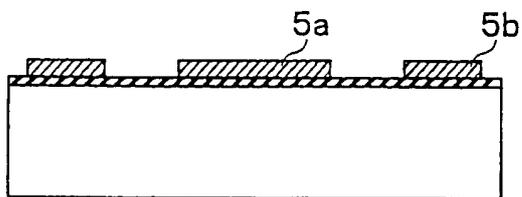


FIG. 8F

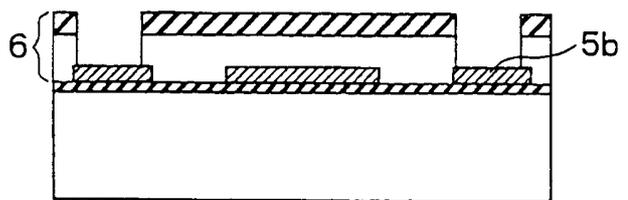


FIG. 8C

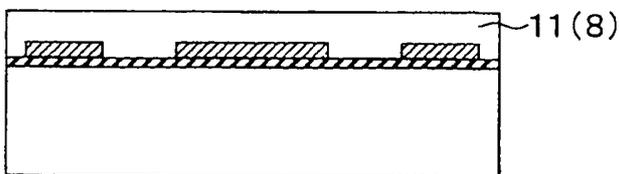


FIG. 8G

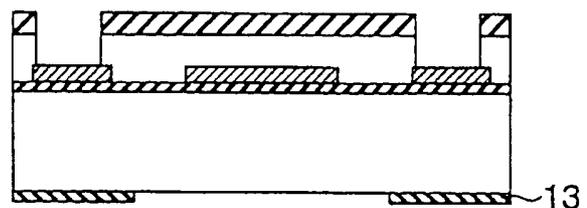


FIG. 8D

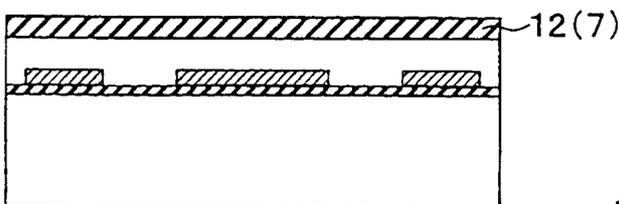


FIG. 8H

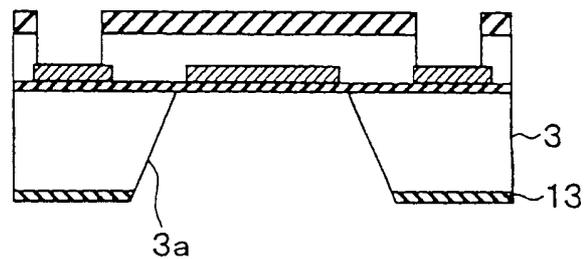


FIG. 9

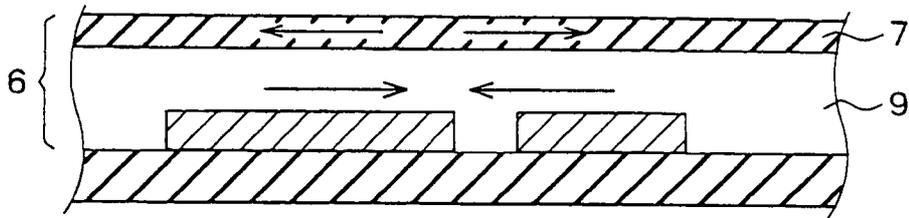


FIG. 10 STAND DER TECHNIK

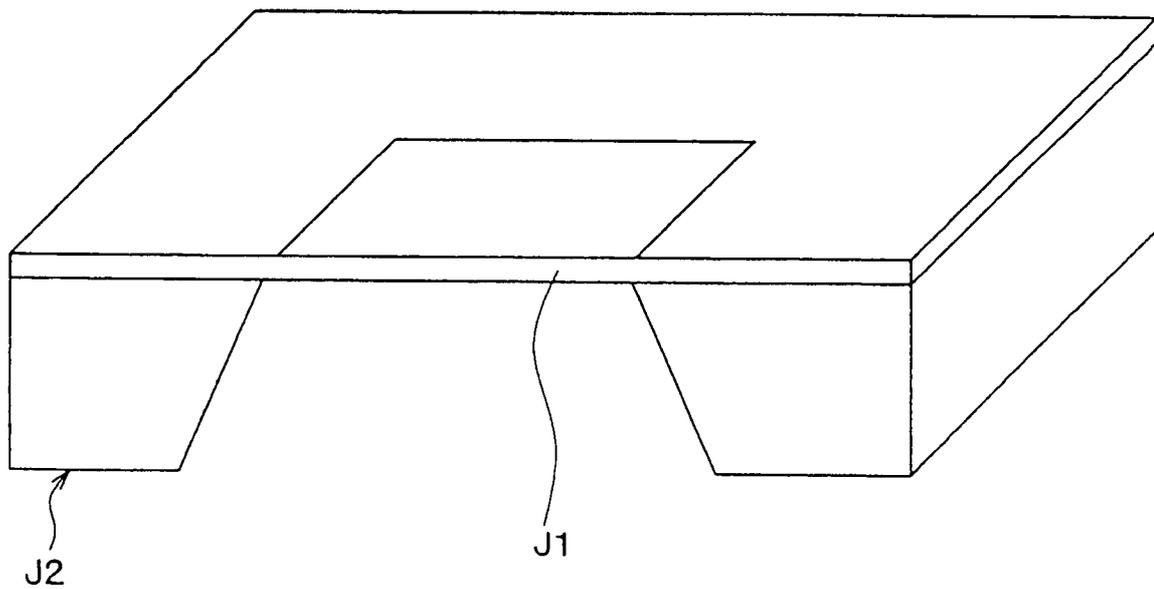


FIG. 11A STAND DER TECHNIK

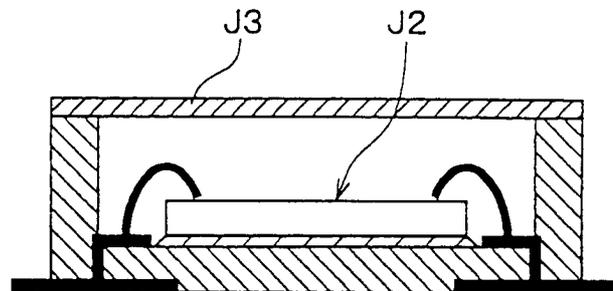


FIG. 11B STAND DER TECHNIK

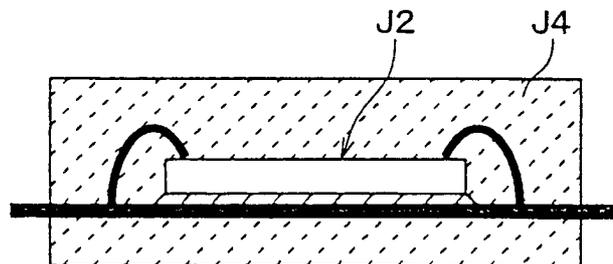


FIG. 11C STAND DER TECHNIK

