

①9



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

①1 CH 665 428 A5

⑤1 Int. Cl. 4: C 23 C 14/28
H 01 J 27/22

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

①2 PATENTSCHRIFT A5

②1 Gesuchsnummer: 3256/85

②2 Anmeldungsdatum: 26.07.1985

②4 Patent erteilt: 13.05.1988

④5 Patentschrift
veröffentlicht: 13.05.1988⑦3 Inhaber:
Balzers Aktiengesellschaft, Balzers (LI)⑦2 Erfinder:
Buhl, Rainer, Dr., Sargans
Lardon, Marcel, Dr., Maienfeld
Bader, Hans-Peter, Dr., Sargans

⑤4 Verfahren zur Beschichtung von Mikrovertiefungen.

⑤7 Bei der Beschichtung von Substratoberflächen, die sogenannte Mikrovertiefungen (Gräben, Löcher) mit einer lateralen Ausdehnung von weniger als 5 µm aufweisen, insbesondere solchen, die tiefer als breit sind, besteht die Gefahr der Hohlraumbildung in den Vertiefungen unterhalb einer aufgedampften Schicht. Um dies zu vermeiden, wird die Beschichtung mit Molekularstrahlen des Schichtmaterials durchgeführt, die eine Divergenz von höchstens 10° aufweisen dürfen und wird das Schichtmaterial in den Vertiefungen durch Ionenbeschuss teilweise wieder abgestäubt und dadurch besser auf die Seitenwände derselben verteilt.

Dieses Beschichtungsverfahren wird vor allem in der Mikroelektronik angewendet.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Beschichtung von Mikrovertiefungen mit einer Ausdehnung von weniger als 5 µm in einer Substratoberfläche, wobei diese unter Vakuum mit einer Substanz beschichtet und die in den Vertiefungen abgelagerte Schichtsubstanzen stellenweise durch Ionenbeschuss wieder zerstäubt und an anderen Stellen der Vertiefungen abgelagert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten mit einer Anordnung durchgeführt wird, bei welcher die auf die Vertiefungen auftreffenden Molekularstrahlen der Schichtsubstanzen eine Divergenz von höchstens 10° aufweisen.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte des Beschichtens und Zerstäubens nacheinander wenigstens zweimal an ein- und demselben Substrat durchgeführt werden.

3. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten und Rückzerstäuben gleichzeitig durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung mittels eines Ionenstrahls durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückzerstäubung mittels eines Ionenstrahls durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere freie Weglänge während der Beschichtung mehr als ein Drittel des Abstandes zwischen Quelle und Substrat beträgt.

7. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Molekularstrahlquelle aufweist, die von jedem Punkt der zu beschichtenden Mikrovertiefungen aus gesehen unter einem Winkel von weniger als 10° erscheint.

BESCHREIBUNG

Die Metallisierung in der Mikroelektronik hat u.a. die Aufgabe zu erfüllen, den elektrischen Kontakt zwischen der Ebene der Leiterbahnen und den ausserhalb dieser Ebene liegenden, durch eine isolierende Schicht davon getrennten Bauelementen zu gewährleisten. Dazu müssen die Leiterbahnen auch über steile Stufen hinweg einen möglichst geringen elektrischen Widerstand aufweisen, was eine gute Stufenbedeckung (Verhältnis zwischen Schichtdicke in der Flanke einer Vertiefung zur Schichtdicke in der Ebene der Leiterbahnen) voraussetzt.

Das Problem der Stufenbedeckung zu lösen, wurde bisher durch geeignete Orientierung des zu beschichtenden Substrates bezüglich der Beschichtungsquelle, durch erhöhte Temperatur und durch geeignete Wahl des Flankenwinkels (I.A. Blech and H.A. Vander Plas, J. Appl. Phys. 54, 3489 (1983), I.A. Blech, D.B. Fraser, S.E. Haszko, J. Vac. Sci. Technol. 15, 13 [1978]) zu lösen versucht. Es sind Anordnungen bekannt (C.H. Ting and A.R. Neureuther, Solid State Technology, February 1982, p. 115) bei denen Verdampfungsquellen mit auf Planetengetriebenen montierten Substraten kombiniert wurden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Stufen durch Aufdampfen dielektrischer Schichten abzuflachen oder einzuebnen, bevor die Metallisierung erfolgt. Dieser Prozess wurde vor allem für SiO₂-Schichten beschrieben (John S. Lechaton, Leo P. Richard and Daryl C. Smith, US-Patent 3 804 738, April 16, 1974). Man hat versucht, ausgedehnte Dampfquellen zu benützen, damit die Dampf-moleküle möglichst aus allen Richtungen auf das Substrat auftreffen, um auf diese Weise Flächen aller Neigungen möglichst gleichmässig zu beschichten. Einen ähnlichen Effekt erzielt man

infolge Gasstreuung auch durch Beschichten bei relativ hohem Druck (> 0.5 Pa), z.B. mit sogenannten Magnetron-Quellen (D.B. Fraser, Chapter «Metallization» in «VLSI Technology», Ed. S.M. Sze, McGraw Hill 1983).

Alle bekannten Verfahren haben aber den Nachteil, dass sie zur Erzielung einer besseren Stufenbedeckung wohl geeignet sind, solange die Vertiefung breit ist im Verhältnis zu ihrer Tiefe, dass sie aber versagen, wenn das Verhältnis von Tiefe zu Breite etwa 1 oder mehr beträgt. Solche Stufenverhältnisse werden aber für die in neuerer Zeit an Bedeutung immer mehr zunehmende sogenannte VLSI-Technik (Very Large Scale Integration) in der Mikroelektronik immer wichtiger.

Zwar ist es gelungen, durch die Kombination von Sputter-Deposition und gleichzeitigem Sputterätzen (Bias-Sputtern) Gräben mit einem Verhältnis von 1:1 praktisch mit Aluminium einzuebnen, doch beim Beschichten von Vertiefungen, Gräben oder Löcher mit einem Verhältnis (aspect ratio) von mehr als eins (tiefer als breit) treten auch beim Bias-Sputtern Schwierigkeiten auf. Weil die Sputterquelle nämlich stets eine bestimmte Ausdehnung hat, treffen die Teilchen unter verschiedenen Winkeln auf die zu beschichtende Substratoberfläche auf. Dadurch werden zwar, wie beschrieben, weit auseinanderliegende einzelne Kanten von Stufen allseitig gut beschichtet, bei den hier betrachteten schmalen Vertiefungen aber ist diese Beschichtung von allen Seiten ein Nachteil. Eingehende Untersuchungen haben nämlich ergeben, dass die Schicht an den Kanten rascher als an den übrigen Stellen der Vertiefungen wächst. Dadurch entstehen Überhänge an den Kanten, welche die Vertiefungen an ihrer Öffnung allmählich verengen, bis sich schliesslich Höhlen bilden. Solche Höhlen sind unerwünscht, weil sie leicht zu Defekten in den Mikroschaltungen Anlass geben können, und die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, die Höhlenbildung beim Beschichten von Mikrovertiefungen sicher zu vermeiden.

Unter Mikrovertiefungen werden im Sinne dieser Beschreibung Vertiefungen in einer Substratoberfläche verstanden, die eine Breite von 5 µm oder weniger aufweisen, und vorzugsweise solche, bei denen das Verhältnis von Breite zu Tiefe grösser als 1 ist. Das erfindungsgemässe Verfahren zur Beschichtung von Mikrovertiefungen mit einer Ausdehnung von weniger als 5 µm in einer Substratoberfläche, wobei diese unter Vakuum mit einer Substanz beschichtet und die in den Vertiefungen abgelagerte Schichtsubstanzen stellenweise durch Ionenbeschuss wieder zerstäubt und an anderen Stellen der Vertiefungen abgelagert wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten mit einer Anordnung durchgeführt wird, bei welcher die auf die Vertiefungen auftreffenden Molekularstrahlen der Schichtsubstanzen eine Divergenz von höchstens 10° aufweisen.

Überraschenderweise zeigt sich, dass mit dem erfindungsgemässen Verfahren Boden und Seitenwände von Mikrovertiefungen viel gleichmässiger beschichtet werden können, als bisher möglich erschien, und dass dabei auch Vertiefungen mit einem Verhältnis von Breite zu Tiefe von grösser als 1 eher vollständig mit dem Beschichtungsmaterial ausgefüllt werden können, als dass sie an ihrer Öffnung durch Überhangbildung zusammenwachsen und dadurch Hohlräume bilden.

Bei Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens kann das Beschichten und Zerstäuben entweder gleichzeitig oder in mehreren alternierenden Einzelschritten durchgeführt werden. Vorzugsweise wird eine Anordnung verwendet, bei der die Dampfteilchen senkrecht auf die Substratoberfläche auftreffen, wobei sich zunächst hauptsächlich am Boden der Vertiefungen die Schichtsubstanzen niederschlägt und diese erst durch die gleichzeitig stattfindende oder nachfolgend durchgeführte Umverteilung durch Zerstäubung an die Seitenwände der Vertiefungen gelangt. Dies geschieht, wie gesagt,

ohne dass Hohlräume bildende Überhänge an den die Vertiefung umrandenden Kanten gebildet werden, wie dies früher bei der Beschichtung mittels Dampfteilchen, die von allen Seiten her auf das Substrat einfallen konnten, der Fall war.

Eine gewisse Ausdehnung der Beschichtungsquelle kann auch im Rahmen der Erfindung nützlich sein, indem dadurch schon von Anfang an eine erste Beschichtung auch der Seitenwände der Vertiefungen erreicht wird. Diese Ausdehnung darf aber höchstens so gross sein, dass die Molekularstrahlquelle von jedem Punkt der zu beschichtenden Mikrovertiefungen aus gesehen unter einem Winkel von höchstens 10° erscheint.

Förderlich dafür, dass alle Teilchen weitgehend gleichgerichtet auf der Substratoberfläche auftreten ist neben einer entsprechenden Quelle und einem entsprechenden Abstand eine hinreichend grosse mittlere freie Weglänge im Vakuum der Beschichtungskammer, d.h. ein niedriger Druck von der Grössenordnung von etwa 0,001 Pa.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand der anliegenden Zeichnung und durch Ausführungsbeispiele näher erläutert werden:

In der anliegenden Zeichnung zeigt

Fig. 1 schematisch eine Vakuumbeschichtungsanlage;

Fig. 2 in ebenfalls bloss schematischer Darstellung die eine Schicht, die gemäss Erfindung über eine Vertiefung aufgebracht wird, aufwächst.

In der Fig. 1 bezeichnet 1 die Vakuumkammer, welche mittels einer Vakuumpumpe 2 auf einen gewünschten Unterdruck leergepumpt werden kann. 3 deutet eine beliebige Quelle von Molekularstrahlen an. Diese kann z.B. ein gewöhnlicher thermischer Verdampfer sein oder, wie in der Zeichnung schematisch dargestellt, ein sogenannter Elektronenstrahlverdampfer, wobei der Elektronenstrahl 4 durch ein Magnetfeld in den Verdampfungstiegel umgelenkt wird. 5 bedeutet ein zu beschichtendes Substrat mit Mikrovertiefungen, auf welches die von der Quelle 3 ausgehenden Molekularstrahlen auftreffen. Das Substrat 5 ist von einer Haltevorrichtung 6 getragen und über eine vakuumdichte Spannungsdurchführung mit einem Spannungsversorgungsgerät 8 verbindbar. Ferner ist eine Gaszuleitung 9 vorgesehen, über welche mittels eines Ventils 10 aus einem Vorratsbehälter 11 ein Hilfsgas, z.B. Argon in gewünschter Menge in die Beschichtungskammer eingelassen werden kann.

Für die Durchführung der Erfindung ist nun bei einer solchen Beschichtungsanordnung wichtig, dass die Divergenz der auf die Vertiefungen auftreffenden Molekularstrahlen des aufzubringenden Schichtmaterials genügend klein ist, d.h. höchstens 10° beträgt. Diese Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Molekularstrahlquelle von jedem Punkt der zu beschichtenden Mikrovertiefungen aus gesehen unter einem Winkel von weniger als 10° erscheint. Aus dieser Bedingung kann bei gegebener Ausdehnung der die Molekularstrahlen liefernden Quelle der erforderliche Abstand zwischen Quelle und Substrat leicht errechnet werden. Für einen Abstand von 50 cm beispielsweise errechnet sich, dass die Ausdehnung der Quelle höchstens 8,7 cm betragen darf, um die genannte Divergenzbedingung zu erfüllen.

Unter welchem Winkel die Molekularstrahlen auf das Substrat auftreffen, wird allerdings nicht allein durch die geometrische Anordnung bestimmt. Wenn die Beschichtung bei einem höheren Gasdruck in der Beschichtungskammer durchgeführt wird, wie dies z.B. bei Beschichtung mittels Kathodenzerstäubung oder mittels eines sogenannten Planarmagnetrons der Fall ist, findet im Gasraum eine Streuung der Moleküle des Schichtmaterials aus dem Strahl statt, und diese gestreuten Moleküle können durch Mehrfachstreuung schliesslich unter den verschiedensten Winkeln auf das Substrat einfallen, nicht nur aus der durch den Strahl vorgegebe-

nen Richtung. Eine nennenswerte Störung durch die Streuung ist jedoch nicht zu erwarten, wenn die mittlere freie Weglänge der Strahlmoleküle im Raum zwischen der Quelle und den Substraten mindestens ein Drittel des Abstandes zwischen Quelle und Substrat beträgt oder – noch besser – grösser als dieser Abstand ist.

In einem ersten Ausführungsbeispiel wurde reines Aluminium bei einem Vakuum von $2,5 \cdot 10^{-3}$ Pa verdampft und auf die Substratoberfläche mit einer Beschichtungsgeschwindigkeit von 0,26 μm pro Minute eine Schicht von 0,2 μm Dicke niedergeschlagen. Sodann wurde in die Kammer 1 Argon eingelassen bis zu einem Druck von 0,5 Pa und das Substrat auf eine negative Spannung von etwa 2000 V gegenüber der Dampfquelle (und damit gegenüber den Wänden der Beschichtungskammer) gelegt. Dabei bildete sich eine elektrische Gasentladung aus, durch welche das Aluminium vom Substrat durch Kathodenzerstäubung teilweise wieder abgestäubt wurde. Durch diese sogenannte Rückzerstäubung wurde auf dem Substrat das Aluminium in an sich bekannter Weise umverteilt, d.h. ein Teil des abgestäubten Schichtmaterials schlug sich auf den Seitenwänden der Vertiefung nieder und bildete an diesen eine elektrisch leitende Metallbelegung.

In einer anderen Variante wurde die Rückzerstäubung mittels sogenannter Hochfrequenzzerstäubung bei 13,56 MHz und mit einer Leistung von etwa 1,5 W pro cm^2 vorgenommen und das gleiche Ergebnis erzielt (Hochfrequenzzerstäubung bietet jedoch den Vorteil, dass auch elektrisch nicht leitende Schichtmaterialien zerstäubt werden können).

Die beiden beschriebenen Schritte der Beschichtung und Rückzerstäubung werden vorteilhafterweise wiederholt, wodurch eine gleichmässige und dickere Schicht auch an den Seitenwänden der Mikrovertiefungen erzielt werden kann. Für die Vertiefung von rechteckigem Querschnitt und einer Tiefe von 1 μm hat es sich z.B. als optimal (in bezug auf Zeitaufwand für die Herstellung und Qualität der Beschichtung) erwiesen, pro Beschichtung höchstens 0,2 μm auf dem Boden der Vertiefung aufzutragen und diesen Beschichtungsschritt und die Rückzerstäubung 5mal zu wiederholen.

Die Fig. 2 zeigt die berechnete Materialverteilung für diese 5 Schritte. In Fig. 2 bezeichnet 20 einen Ausschnitt aus dem Substrat, 22 einen SiO_2 -Belag, in den ein Graben von rechteckigem Querschnitt mit einem Verhältnis von Breite zu Tiefe gleich 1 eingraviert worden war. Darauf wurde die im vorgenannten Ausführungsbeispiel beschriebene Beschichtung in 5 Bedampfungs- und Rückzerstäubungsschritten wie beschrieben aufgebracht. In Fig. 2 sind die Profile dargestellt, die sich nach je einem Zyklus Aufdampfen/Rückzerstäuben ergeben. Man ersieht, dass keine Überhänge gebildet wurden und vor allem keine Hohlräume. Vielmehr ist die ursprüngliche Vertiefung mit dem Schichtmaterial völlig ausgefüllt, und es ist eine sichere Verbindung zwischen dem auf der Unterlage aufgetragenen Aluminiumbelag und dem in der Vertiefung abgelagerten Aluminium gegeben.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurde wiederum Aluminium aus einem Schiffchen in einer Argonatmosphäre von $5 \cdot 10^{-2}$ Pa verdampft und damit in der gegebenen Aufdampfanlage eine Beschichtungsgeschwindigkeit von 0,09 Mikrometer/min. erreicht. In zwei Minuten Aufdampfzeit pro Aufdampfschritt wurde also eine Aluminiumschicht von 0,18 Mikrometer Dicke auf dem Vertiefungen aufweisenden Testsubstrat niedergeschlagen. Darauf folgend wurde mittels einer Hochfrequenzgasentladung, wie oben beschrieben (13,56 MHz, 1,6 Watt/ cm^2 ; $5 \cdot 10^{-1}$ Pa Argon) der Rückzerstäubungsschritt durchgeführt und dadurch ein wesentlicher Teil des im Aufdampfschritt am Boden der Vertiefungen deponierten Aluminiums wieder abgetragen. Durch die Zeitdauer der Rückzerstäubung kann bestimmt werden, wie gross der rückzerstäubte Teil ist. Im vorliegenden Beispielsfalle

wurden von der im Beschichtungsschritt aufgetragenen 0,18 µm dicken Aluminiumbeschichtung bei der Rückzerstäubung jeweils wieder 0,13 µm abgetragen. Aufdampfen und Abätzen wurden 7mal wiederholt und damit eine gleichmässige Beschichtung der Flächen der Vertiefungen erreicht.

Für das Abätzen (Rückzerstäuben) können die verschiedensten bekannten Verfahren auch im Rahmen der vorliegen-

den Erfindung eingesetzt werden. Das Abätzen kann also nicht nur durch HF-Zerstäubung, sondern, wie im ersten Beispiel erwähnt, auch mittels einer Gleichspannungsentladung erfolgen, oder es kann die teilweise Abtragung der im
5 Beschichtungsschritt aufgetragenen Schichtsubstanz mittels eines Ionenstrahls, der auf die abzuätzenden Stellen auftrifft, bewerkstelligt werden.

Fig. 1

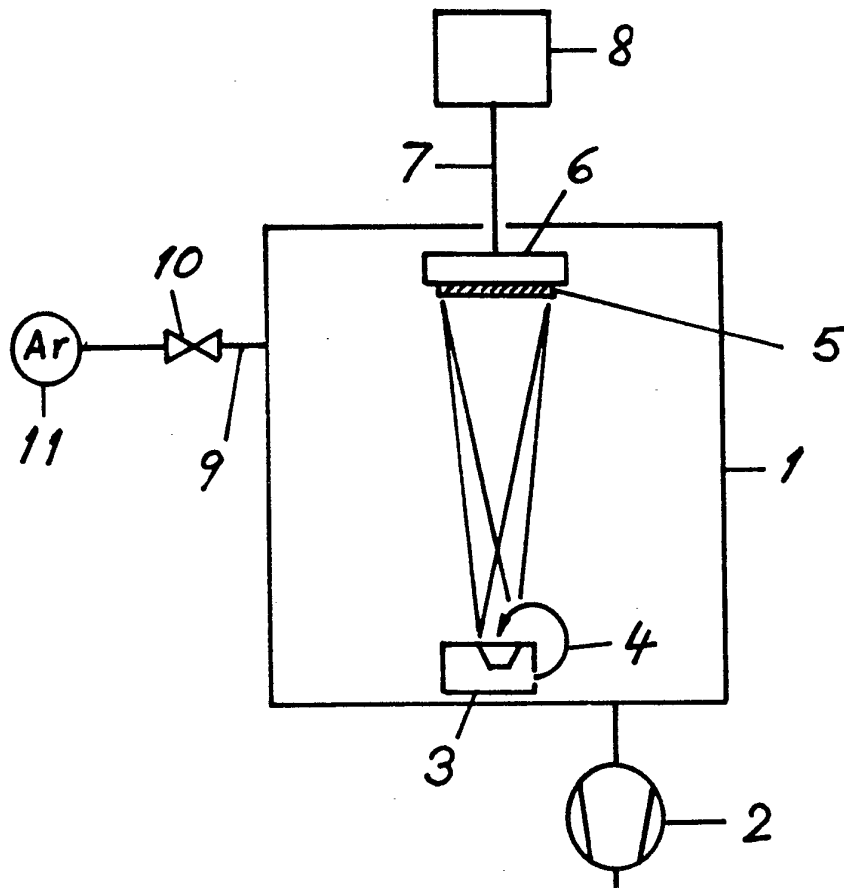


Fig. 2

