

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Oktober 2011 (20.10.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/128387 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03H 3/10 (2006.01) **H03H 9/02** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/055850

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. April 2011 (13.04.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 014 919.5
14. April 2010 (14.04.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53,
81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BINNERER,
Charles** [FR/DE]; Landwehrstr. 32c, 80336 München
(DE). **EGGS, Christoph** [DE/DE]; Unterhagn 11a,
84431 Rattenkirchen (DE). **FÜRBACHER, Bruno** [DE/
DE]; Osnabrücker Str. 19, 85051 Ingolstadt (DE).
KNAUER, Ulrich [DE/DE]; Lanzentstielweg 4, 81739
München (DE). **MAISCH, Manfred** [DE/DE]; v. Voll-
marstr. 8, 82008 Unterhaching (DE). **ZOTTL, Helmut**
[AT/DE]; Elsässerstr. 25, 81667 München (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENT-
ANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55,
80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,
IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

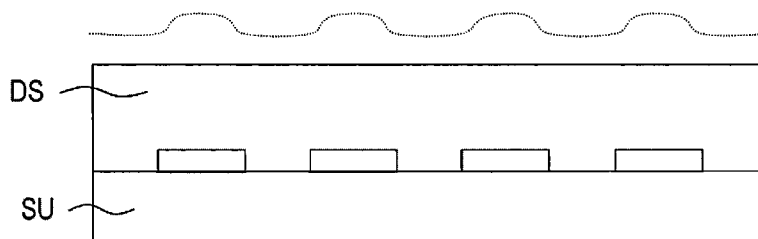
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A DIELECTRIC LAYER ON A COMPONENT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER DIELEKTRISCHEN SCHICHT AUF EINEM BAUELE-
MENT

Fig 4C



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a dielectric layer on the surface of a component, by means of which a desired topography can be set. In particular, a dielectric layer having a planar surface can be generated over a substrate topography having raised structures. In a trimming process, a component property, which depends on the thickness or the third topography of the dielectric layer, is adjusted.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Schicht auf der Oberfläche eines Bauelements vorgeschlagen, mit dem sich eine gewünschte Topografie einstellen lässt. Insbesondere kann über einer Substrat-Topografie mit erhabenen Strukturen eine dielektrische Schicht mit planer Oberfläche erzeugt werden. In einem Trimmverfahren wird eine Bauelementeigenschaft, die von der Dicke oder der dritten Topografie der dielektrischen Schicht abhängig ist, nachjustiert.

WO 2011/128387 A1

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Schicht auf einem Bauelement

5

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung insbesondere relativ dicker dielektrischer Schichten auf Bauelementen, für die eine bestimmte Schichtdicke oder eine bestimmte Oberflächentopografie gefordert wird. Während
- 10 relativ geringe Schichtdicken mit bekannten Schichtabscheidungsverfahren durch entsprechende Einstellung der Parameter zuverlässig reproduziert werden können, besteht gerade bei dicken und großflächig aufgetragenen dielektrischen Schichten das Problem, dass Schichtdickenschwankungen
- 15 auftreten können, die das Toleranzintervall überschreiten. Eine gewünschte Topografie an der Oberfläche der dielektrischen Schicht kann eine plane Oberfläche sein oder eine Oberfläche, die bestimmte Strukturen aufweist.
- 20 Ein spezielles Problem tritt immer dann auf, wenn die Schichtdicke der dielektrischen Schicht eine direkte Auswirkung auf die Bauelementeigenschaften aufweist und durch bislang kaum vermeidbare Schichtdickenschwankung auch die Bauelementeigenschaften in nicht hinnehmbarem Umfang
- 25 Abweichungen zeigen.

- Eine spezielle Anwendung, die dicke dielektrische Schichten erfordert, die teilweise auf eine Topografie mit erhabenen Strukturen aufzubringen sind, betrifft Temperaturkompensationsschichten auf MEMS-Bauelementen und insbesondere auf mit
- 30 akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen. Dazu werden insbesondere Siliziumdioxidschichten in einer Schichtdicke, die z. B. 30 % der Wellenlänge der im Substrat sich

ausbreitenden akustischen Welle direkt über den Elektroden aufgebracht, sodass sich für ein bei 2 GHz arbeitendes Bauelement beispielsweise eine Schichtdicke von ca. 600nm ergibt. Wird diese SiO₂-Schicht mittels Sputtern aufgebracht, 5 so kann durch Einstellen einer höheren BIAS-Spannung ein gewisser Grad an Rückätzung eingestellt werden, mit dessen Hilfe die ausbildende Topografie an der Oberfläche der SiO₂-Schicht nivelliert werden kann. Dabei tritt jedoch das Problem auf, dass in einem Bauelement zwar ausreichend ebene 10 Oberflächenbereiche der SiO₂-Schicht erhalten werden können, die Schichtdicke über einen gesamten Wafer gesehen jedoch so stark schwankt, dass die Toleranzbereiche dennoch überschritten werden.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Schicht anzugeben, bei dem eine gewünschte Topografie, insbesondere eine plane Oberfläche der dielektrischen Schicht, erhalten werden kann.

20 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Es wird ein Verfahren angegeben, bei dem die dielektrische 25 Schicht zunächst in einem beliebigen Abscheideverfahren auf der Oberfläche eines Bauelements, das eine erste Topografie mit erhabenen Strukturen aufweist, aufgebracht wird. Das Verfahren wird so eingestellt, dass die Abscheidung kantenbedeckend erfolgt, sodass in der Schicht keine Hohlräume 30 entstehen. In der Folge bildet die dielektrische Schicht jedoch auf ihrer Oberfläche eine Topografie aus, die die erhabenen Strukturen der ersten Topografie auf der Bauelementoberfläche auf der zweiten Topografie nachzeichnet, so

dass die erhabenen Strukturen dort noch sichtbar sind und zumindest Erhebungen ausbilden.

Um diese zweite Topografie nun in eine gewünschte Topografie
5 überzuführen, wird ein spezielles Ätzverfahren eingesetzt.
Dazu wird zunächst auf die dielektrische Schicht ganzflächig
eine Polymerschicht, z.B. eine Lackschicht, so aufgebracht,
dass sie die gesamte Oberfläche der dielektrischen Schicht
bedeckt und eine plane Oberfläche ausbildet. Dazu kann ein
10 Lack geeigneter Viskosität beispielsweise auf die Oberfläche
aufgeschleudert werden.

Anschließend wird ein Ätzverfahren durchgeführt. Dabei wird
ein Ätzratenverhältnis von dielektrischer Schicht zur
15 Polymerschicht eingestellt, mit dem nach dem Ätzverfahren
eine gewünschte dritte Topografie erhalten werden kann.

In einer Ausführungsform wird ein Ätzratenverhältnis von ca.
1 eingestellt. Dieses garantiert, dass die Lackschicht mit
20 der gleichen Geschwindigkeit geätzt wird wie die dielektri-
sche Schicht. Dies führt dazu, dass die bei der Polymer-
schicht einstellbare plane Oberfläche während des gesamten
Ätzens erhalten bleibt und so in die dielektrische Schicht
übertragen wird. Mit einem Ätzratenverhältnis von ca. 1 kann
25 also eine plane Oberfläche der dielektrischen Schicht erzeugt
werden.

Im letzten Schritt des Verfahrens wird eine Bauelement-
eigenschaft, die von der Dicke der dielektrischen Schicht
30 oder der dritten Topografie (= Topografie der dielektrischen
Schicht nach dem Ätzen) abhängig ist, mittels eines Trimmver-
fahrens nachjustiert. Damit ist das Verfahren fehlertolerant
und führt sicher zu einem Bauelement mit klar definierten

Eigenschaften. Abweichungen insbesondere im Abscheideverfahren, die zu Abweichungen in Schichtdicke oder Abweichungen dritter Topografie führen, können mittels des Trimmverfahrens behoben werden. Da im Trimmverfahren Frequenzabweichungen
5 korrigiert werden, können auf diese Weise auch Folgen anderer Fehlerquellen im Verfahren kompensiert werden, die zu einem unerwünschten Frequenzshift führen.

In einer Ausführungsform wird das Verfahren bei einem Bauelement eingesetzt, welches ein piezoelektrisches Substrat
10 oder eine piezoelektrische Schicht auf einem Substrat aufweist. Auf der Oberfläche des Substrats bzw. auf der Oberfläche der piezoelektrischen Schicht sind erhabene Elektrodenstrukturen angeordnet, die zusammen mit der übrigen
15 Oberfläche eine erste Topografie ausbilden. Die Elektrodenstrukturen sind zur Anregung akustischer Wellen im Bauelement ausgebildet und stellen beispielsweise Interdigitalwandler von SAW-Bauelementen (SAW = Surface Acoustic Wave) oder Elektroden von BAW-Bauelementen (BAW = Bulk Acoustic Wave) dar.
20 Bei derartigen mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen wird mit einer dielektrischen Schicht die Temperaturabhängigkeit der Frequenz des Bauelements beeinflusst und insbesondere durch geeignete Wahl des Materials der dielektrischen Schicht reduziert.

25 Während des Trimmverfahrens wird nun eine nachträgliche Veränderung der über der ersten Topografie und damit über den Elektroden abgeschiedenen Schichtdicke vorgenommen und so die Mittenfrequenz oder die genaue Lage einer Flanke des Passbands des Bauelements nachjustiert. Die Mittenfrequenz des
30 Bauelements ist die Frequenz in der Mitte eines Passbandes, eine Resonanzfrequenz eines Resonators oder eine sonstige

Arbeitsfrequenz, bei der das Bauelement Hochfrequenzsignale passieren lässt.

Zur Erniedrigung der Temperaturgangs der Mittenfrequenz wird bei mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen als dielektrische Schicht eine Siliziumdioxidschicht aufgebracht. Diese zeigt einen Temperaturgang mit einem Vorzeichen, das dem Vorzeichen des Temperaturgangs des piezoelektrischen Substrats entgegengesetzt ist.

10

Im Trimmverfahren wird eine Trimmschicht, die eine höhere Steifigkeit als die dielektrische Schicht aufweist, auf die dritte Topografie aufgebracht. In dieser Schicht erfährt die akustische Welle eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit, so dass sich die Frequenz des Bauelements erhöht. Das Ausmaß dieser Frequenzerhöhung ist von der Dicke der Trimmschicht abhängig. Um die die Frequenz des Bauelements genau einzustellen bzw. nachzujustieren, wird anschließend die Dicke der Trimmschicht und damit auch die Mittenfrequenz solange reduziert, bis eine vorgegebene Mittenfrequenz erreicht ist.

20

Das Verfahren kann vor der Durchführung des Trimmverfahrens eine Bestimmung der zu justierenden Bauelementeigenschaften umfassen. Insbesondere kann mit dabei einem Messverfahren bestimmt werden, ob eine Abweichung der Mittenfrequenz vorliegt. Dementsprechend kann das Trimmverfahren dann so durchgeführt werden, dass genau diese Abweichung ausgeglichen wird.

25

In einer Ausführung wird das Verfahren zur Herstellung der dielektrischen Schicht so durchgeführt, dass nach dem zur Planarisierung führenden Ätzverfahren eine Mittenfrequenz erhalten wird, die unterhalb der gewünschten Mittenfrequenz

30

liegt. Damit ist garantiert, dass sämtliche Abweichungen von der gewünschten Mittenfrequenz durch eine Abscheiden und Rückätzen einer Trimmschicht und der damit verbundenen Erhöhung der Mittenfrequenz ausgeglichen werden können.

5

In einer weiteren Ausführungsform werden sämtliche Verfahrensschritte auf einem Wafer durchgeführt, der Elektrodenstrukturen mehrerer Bauelemente aufweist und in einem späteren Verfahrensschritt in eine Vielzahl einzelner Bauelemente vereinzelbar ist. Auf einer Verfahrensstufe, die zwischen dem Herstellen der dritten Topografie und dem Rückätzen der Trimmschicht liegt, wird hierbei die Mittenfrequenz einzelner Bauelemente bestimmt. Dazu ist es nicht erforderlich, jedes einzelne Bauelement zu vermessen. Ausreichend ist es, an bestimmten Punkten, die verfahrens- und anlagenbedingt kritisch sind, die Mittenfrequenz zu bestimmen und für die übrigen nicht direkt gemessenen Bauelemente eine Interpolation der Mittenfrequenz durchzuführen, sodass für jeden Ort auf der Waferoberfläche bzw. für jedes der Bauelemente eine gemessene oder interpolierte Abweichung erhalten wird.

Das Trimmverfahren wird dann so durchgeführt, dass die Dicke der Trimmschicht ortsselektiv in Abhängigkeit von der ermittelten oder interpolierten Abweichung am jeweiligen Ort reduziert wird. Auf diese Weise gelingt es im Trimmverfahren, sämtliche Abweichungen von der gewünschten Mittenfrequenz auszugleichen, auch wenn diese über den Wafer verteilt unterschiedliche Ausmaße aufweisen. Die gewünschte Mittenfrequenz kann daher entweder genau oder innerhalb einer vorgegeben Toleranz auf den gewünschten Wert eingestellt werden.

Als Trimmschichten besonders geeignet sind Schichten, die die Oxidschicht passivieren. Dies hat den Vorteil, dass die Trimmschicht noch die zusätzliche Funktion als Passivierungsschicht übernehmen kann. Geeignet sind dazu insbesondere harte Schichten, die aus der Gruppe der Nitride, Oxinitride, Oxide oder Karbide ausgewählt sind. Geeignete Verbindungen sind beispielsweise Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, Aluminiumoxid, DLC (= diamond like carbon) oder Diamant. Alle diese Schichten können auch in gut kontrollierbaren Prozessen und vor allem mit hoher Schichtdickengenauigkeit aufgebracht werden.

Die Reduktion der Schichtdicke der Trimmschicht gelingt beispielsweise mittels scannender Einwirkung eines Ionenstrahls, der auf die Oberfläche der Trimmschicht gerichtet wird. In Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit, mit der Ionenstrahl und Wafer gegeneinander bewegt werden, wird die Einwirkdauer des Ionenstrahls auf die Oberfläche und damit die Ätzwirkung bestimmt. Die scannende Einwirkung des Ionenstrahls kann also so eingestellt werden, dass durch an verschiedenen Orten der Waferoberfläche jeweils unterschiedlich angepasste Geschwindigkeiten der angestrebte Ätzerfolg bzw. die gewünschte Reduzierung der Trimmschicht erfolgen kann. Das Scan-Verfahren kann also unter Berücksichtigung der ermittelten Abweichungen von der Mittenfrequenz und der genauen Kenntnis des Ätzprozesses der Trimmschicht eingestellt werden. Die mit dem Ionenstrahl erreichbare Ätzgeschwindigkeit wird dazu in Vergleichsversuchen bei einer gegebenen Anlage unter gegebenen Konditionen bestimmt und zur entsprechenden Einstellung des Trimmverfahrens verwendet.

Wird beim Ätzen der dielektrischen Schicht eine dritte Topografie angestrebt, die von einer planen Oberfläche

abweicht, so kann das Ätzzratenverhältnis auch auf andere Werte als 1 eingestellt werden. Mit einem Ätzzratenverhältnis > 1 kann die Polymerschicht als Resist eingesetzt werden. Dies hat zur Folge, dass die dielektrische Schicht nur an den Stellen geätzt wird, an denen keine Polymerschicht verbleibt. Da die Polymerschicht sich üblicherweise an den tiefsten Stellen der zweiten Topografie absetzt, kann auf diese Weise eine zur zweiten Topografie inverse Topografie erhalten werden. An Stellen, an denen die zweite Topografie Erhebungen aufweist, werden auf diese Weise in der dritten Topografie Vertiefungen erzeugt. Dies hat jedoch zur Folge, dass bei einem geeignet eingestellten Ätzzratenverhältnis > 1 ebenfalls eine plane dritte Topografie der dielektrischen Schicht erhalten werden kann, zumindest annähernd und als Zwischenstufe. Ein Ätzzratenverhältnis < 1 dagegen hat wenig Effekt und führt zwar zu einer gewissen Einebnung der dritten Topografie gegenüber der zweiten Topografie, kann jedoch nicht zu einer planen Oberfläche der dielektrischen Schicht führen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren dienen allein der Veranschaulichung der Erfindung und sind daher nur schematisch und nicht maßstabsgetreu ausgeführt. Einzelne Dimensionen können verzerrt dargestellt sein, sodass den Figuren weder absolute noch relative Maßangaben zu entnehmen sind. Es zeigen:

Figur 1 ein Substrat, auf dem erhabene Strukturen angeordnet sind, im schematischen Querschnitt,

Figur 2 die Anordnung, nach dem darüber eine dielektrische Schicht mit verschiedenen Topografien abgeschieden worden ist,

5 Figur 3 die Anordnung nach der Aufbringung einer Polymerschicht,

Figur 4A bis 4C die Anordnung bei verschiedenen Verfahrensstufen während des Rückätzens der
10 Polymerschicht,

Figur 5 die Anordnung nach dem Aufbringen einer Trimmschicht,

15 Figur 6 die Anordnung nach dem Trimmen,

Figur 7 in einem Diagramm die Abhängigkeit der Verschiebung der Mittenfrequenz von der Dicke der Trimmschicht,

20 Figuren 8A bis 8C verschiedene Verfahrensstufen beim Rückätzen der Polymerschicht mit einem Ätzratenverhältnis > 1 .

Figur 1 zeigt im schematischen Querschnitt eine allgemeine
25 Darstellung eines Substrats SU, auf dem erhabene Strukturen ES angeordnet sind. Vorteilhaft ist das Substrat SU ein piezoelektrisches Substrat und die erhabenen Strukturen ES sind Elektrodenfinger eines Interdigitalwandlers. Damit zeigt Figur 1 ausschnittsweise ein SAW-Bauelement.

30

Die erhabenen Strukturen sind in einer Ausführung aus einem Material, welches eine größere Härte oder eine höhere Dichte als Aluminium aufweist. Sie umfassen entweder eine Aluminium-

legierung mit einem Schwermetall oder weisen einen ein- oder mehrschichtigen Aufbau mit Teilschichten, die schwerer als Al und z. B. kupferhaltig sind, auf. Ein schweres oder dichtes Metall für die Elektroden bzw. die erhabenen Strukturen. Es ist vorteilhaft, um im späteren fertig gestellten SAW-Bauelement mit Temperaturkompensationsschicht eine bessere Reflexion der akustischen Welle an den Elektrodenkanten zu erhalten.

Auf die Anordnung nach Figur 1 wird nun eine dielektrische Schicht DS aufgebracht. Dabei kann beispielsweise einer SiO_2 -Schicht beispielsweise durch Sputtern oder durch ein CVD-Verfahren aufgebracht werden. Vorteilhaft wird zum Sputtern eine BIAS-Spannung eingestellt. In einer Ausführung wird beispielsweise bei einer Leistung von 1,5 kW und einer BIAS-Spannung von 85 W gesputtert. Der Sputterprozess wird so eingestellt, dass sich die SiO_2 -Schicht kantenbedeckend über den erhabenen Strukturen ES abscheidet. Dadurch bildet die dielektrische Schicht DS eine zweite Topografie aus.

Figur 2 zeigt verschiedene beispielhafte die zweite Topografie bildende Profillinien PL1 bis PL3, die unter verschiedenen Sputterbedingungen und insbesondere unter verschiedenen BIAS-Spannungen zustande gekommen sind. Die BIAS-Spannung nimmt von der Profillinie PL1 zur Profillinie PL3 hin ab. Es zeigt sich, dass eine höhere BIAS-Spannung eine bessere Einebnung der zweiten Topografie bewirkt. Nachteilig ist jedoch, dass eine höhere BIAS-Spannung zu einer ungünstigeren, weil stärker schwankenden Schichtdickenverteilung über den gesamten Wafer gesehen führt. Für das weitere Verfahren wird im Folgenden eine dielektrische Schicht DS mit einer der Profillinie PL2 entsprechenden zweiten Topografie genutzt.

Auf die dielektrische Schicht DS wird nun als Polymerschicht eine Lackschicht LS so aufgebracht, dass sie eine plane Oberfläche ausbildet. Dazu wird ein Lack geeigneter Viskosität verwendet und insbesondere aufgeschleudert. Die Dicke der Lackschicht wird so hoch gewählt, dass die höchsten Erhebungen der zweiten Topografie geringer sind als die Schichtdicke der Lackschicht LS. Gegebenenfalls wird die Lackschicht anschließend noch thermisch ausgehärtet. Figur 3 zeigt die Anordnung auf dieser Verfahrensstufe.

Im nächsten Schritt wird in die in Figur 3 dargestellte Anordnung einem Ätzverfahren unterzogen. Es wird ein Verfahren gewählt, welches einen homogenen Schichtabtrag über große Flächen ermöglicht. Gut geeignet ist beispielsweise ein reaktives Ionenstrahlätzen, wobei die Ätzatmosphäre bzw. der Ionenstrahl Komponenten enthält, die zum Abtragen der dielektrischen Schicht und gleichzeitig zum Abtragen der Lackschicht geeignet sind. Für eine SiO_2 umfassende dielektrische Schicht können fluorhaltige Stoffe eingesetzt werden, beispielsweise $\text{CH}_{4-x}\text{F}_x$ ($x = 1, 2, 3$ oder 4) oder höhere Fluor-Kohlenwasserstoffe. Das Ätzen der Lackschicht LS kann auch durch Sauerstoff in der Ätzatmosphäre unterstützt werden. Die Ätzgasatmosphäre wird anschließend so eingestellt, dass sich unter den gegebenen Ätzbedingungen gleiche Ätzraten für die Lackschicht und für die dielektrische Schicht ergeben. Eine Einstellung des Ätzratenverhältnisses gelingt beispielsweise über Variation des Verhältnisses Fluor zu Sauerstoff in der Ätzatmosphäre oder durch Variation des Substituentenverhältnisses C/F in fluorhaltigen Verbindung.

Durch das reaktive Ionenstrahlätzen wird nun ein gleichmäßiger Schichtabtrag vorgenommen, wobei zunächst ausschließlich die Lackschicht geätzt wird, bis die Oberfläche der die

zweite Topografie der dielektrischen Schicht bildenden Erhebungen freigelegt ist. Dies ist in Figur 4A dargestellt.

Im weiteren Verlauf der Ätzung werden nun dielektrische
5 Schicht und Lackschicht mit gleicher Geschwindigkeit geätzt, sodass sich die eingestellte Planarität der Lackschicht über das gesamte Ätzverfahren erhält. Figur 4B zeigt die Anordnung in einem Verfahrensstadium, bei dem die Oberfläche sowohl freigelegte Bereiche der dielektrischen Schicht als auch
10 Reste der Lackschicht LS aufweist.

Die Ätzung wird anschließend weitergeführt, bis zumindest die Lackschicht vollständig entfernt ist und die dielektrische Schicht DS mit einer planen Oberfläche verbleibt, die die
15 dritte Topografie darstellt. Figur 4C zeigt die Anordnung auf dieser Verfahrensstufe. Die gepunktete Konturlinie stellt die Lage (Höhe) der zweiten Topografie dar und zeigt, wie weit das Ätzverfahren im Vergleich zur Ausgangsschichtdicke geführt werden kann. Die dielektrische Schicht weist bei-
20 spielsweise über den erhabenen Strukturen ES eine Schichtdicke von 430 nm auf, zwischen den erhabenen Strukturen eine Schichtdicke von ca. 530 nm. Bei einer Gesamthöhe der erhabenen Strukturen von ca. 110 nm ergibt dies eine minimale Schwankung der Schichtdicke von +/- 5 nm, was im Rahmen der
25 Toleranz liegt und die Bauelementeigenschaften des SAW-Bauelements nicht negativ beeinträchtigt. Die Dicke der dielektrischen Schicht ist ausreichend, um für das SAW-Bauelement eine gewünschte Temperaturkompensation der Frequenz zu erzielen. Eine vollständige Kompensation ist zwar möglich,
30 wird aber normalerweise gegen eine Verschlechterung anderer Eigenschaften, z.B. eine Reduktion der Kopplung optimiert. Die Temperaturkompensation gelingt dadurch, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle in der

dielektrischen Schicht DS sich bei steigender Temperatur genau entgegengesetzt verändert wie die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle im piezoelektrischen Substrat, welches beispielsweise ein Substrat aus Lithiumniobat oder Lithiumtantalat ist. Eine für eine gewünschte Temperaturkompensation geeignete Schichtdicke ist im Übrigen auch abhängig von der Mittenfrequenz des Bauelements. Die auf die Wellenlänge bezogene relative Schichtdicke ist ein Kriterium für den erreichbaren Grad der Temperaturkompensation.

Mit dem Planarisierungsverfahren wird zwar eine weitgehend ebene Oberfläche der dielektrischen Schicht DS erhalten, wobei jedoch aufgrund der hohen abgetragenen Schichtdicke die Zielschichtdicke der dielektrischen Schicht DS nicht sicher erreicht wird. Außerdem können sich aufgrund von Inhomogenitäten in der Ätzanlage über den Wafer verteilt unterschiedliche Ätzgeschwindigkeiten einstellen, die zu einer gewissen Schichtdickenverteilung der dielektrischen Schicht über einen oder mehrere Wafer führen. Auch andere Streumechanismen können lokal zu Frequenzabweichungen führen, die außerhalb einer gewünschten Toleranz liegen.

In einem Trimmverfahren wird nun die Abweichung der Schichtdicke der dielektrischen Schicht oder allgemein die Abweichung der Frequenz von einem Zielwert insgesamt ausgeglichen. Zusätzlich können mit dem Trimmverfahren auch Schwankungen innerhalb des gleichen Wafers ausgeglichen werden, indem das Trimmverfahren ortsselektiv durchgeführt wird und die Schichtdickenschwankung an einem gewünschten Ort auf einen bestimmten Wert eingestellt wird.

Zum Ausgleichen von Schichtdickenschwankungen der dielektrischen Schicht DS über den Wafer und damit zum Ausgleichen von Bauelementeigenschaften, die von der Schichtdicke der dielektrischen Schicht abhängig sind, werden zunächst diese

5 Bauelementeigenschaften an verschiedenen Orten des Wafers bestimmt. Die Bestimmung der Eigenschaften kann selektiv an ausgewählten Orten erfolgen. Aus ausgewählten Messungen lässt sich durch Interpolation die Verteilung der Bauelementeigenschaften über die Waferoberfläche ermitteln. Aus dieser
10 Verteilung der Bauelementeigenschaften wird nun die Abweichung bestimmt und die Dicke einer Trimmschicht errechnet, die zum Ausgleich der Abweichung erforderlich ist.

In einem Trimmverfahren wird als Trimmschicht TS beispielsweise
15 weise eine ca. 100 nm dicke Siliziumnitridschicht aufgebracht, beispielsweise durch ein Sputter- oder ein CVD-Verfahren. Mittels eines reaktiven Ionenstrahlätzens wird nun die Schichtdicke der Trimmschicht TS so lange reduziert, bis die gewünschte bzw. aus der Abweichung errechnete Rest-
20 schichtdicke erhalten ist. Durch ein geeignetes Scan-Programm, mit dem ortsabhängig eine gewünschte Scan-Geschwindigkeit eingestellt werden kann, gelingt es, an jedem Ort des Wafers eine gewünschte Schichtdicke zu entfernen bzw. eine gewünschte Restschichtdicke der Trimmschicht zu belassen und
25 damit die Schichtdickenschwankungen über den gesamten Wafer auszugleichen. Figur 5 zeigt die Anordnung nach dem Aufbringen der Trimmschicht TS. Figur 6 zeigt die Anordnung nach Abätzen eines Schichtdickenbereichs der Dichte Δd , sodass eine Resttrimmschicht TS' von genau der gewünschten Dicke
30 verbleibt, die zum Ausgleich der Bauelementeigenschaftsabweichung erforderlich ist.

Um sämtliche Abweichungen mit einer einzigen Trimmschicht und einem einzigen Trimmverfahren ausgleichen zu können, wird bereits im Planarisierungsverfahren die Dicke der dielektrischen Schicht DS so eingestellt, dass in jedem Fall an jedem Ort ein Aufdicken der Schichtdicke bzw. eine Erhöhung der Frequenz durch eine die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit erhöhende Trimmschicht erforderlich ist.

In einer Ausführung sind die Schichtdicken so bemessen, dass die Trimmschicht TS' im Mittel in einer Zielschichtdicke von ca. 40 nm auf der Oberfläche der dielektrischen Schicht DS verbleiben kann. In dieser Schichtdicke erfüllt die Trimmschicht gleichzeitig die Funktion einer Passivierungsschicht, sodass die dielektrische Schicht (hier die Siliziumdioxidschicht) z. B. gegen Aufnahme von Feuchtigkeit geschützt ist, was anderenfalls zu einer weiteren Verschiebung der Mittenfrequenz führen würde. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Resonanzfrequenz bzw. die Mittenfrequenz des Bauelements sowohl gegenüber Temperaturschwankungen als auch gegenüber Umweltbedingungen, insbesondere gegenüber Feuchtigkeit stabil bleibt.

Im Diagramm nach Figur 7 ist dargestellt, wie sich die Mittenfrequenz des Bauelements durch Aufbringen einer Trimmschicht unterschiedlicher Dicke verschieben lässt. Die für eine Trimmschicht aus Siliziumnitrid ermittelten Werte zeigen, dass sich mit einer ca. 45 nm dicken Trimmschicht eine Frequenzverschiebung um ca. 9000 ppm erreichen lässt. Diese Verschiebung ist ausreichend, um mit einer maximal ca. 50 nm dicken Trimmschicht produktionsbedingte Schwankungen der Mittenfrequenz auszugleichen.

Figuren 8A bis 8C zeigen eine Variante des Verfahrens, wie beim Rückätzen der dielektrischen Schicht mit einem Ätzratenverhältnis > 1 eine von der Planarität abweichende dritte Topografie der dielektrischen Schicht DS erhalten

5 werden kann. Figur 8A zeigt die Anordnung während des Ätzverfahrens auf der Stufe, an der gerade eben die Oberfläche der dielektrischen Schicht DS freigelegt ist. Bereiche der dielektrischen Schicht DS mit geringerer Schichtdicke sind mit der Lackschicht LS bedeckt. Durch das
10 Ätzratenverhältnis > 1 wird nun bevorzugt das Material der dielektrischen Schicht DS geätzt, wobei die Bereiche, die mit Lackschicht LS bedeckt sind, als Ätzmaske dienen. Figur 8B zeigt die Anordnung nach Erzeugung entsprechender Vertiefungen in der dielektrischen Schicht DS. In einem
15 abschließenden Schritt werden noch verbliebene Reste der Lackschicht LS entfernt, wobei die in Figur 8C gezeigte Struktur erhalten wird.

Mit dem angegebenen Verfahren können dielektrische Schichten

20 für unterschiedliche Anwendungen mit einer geeigneten Topografie versehen werden. Zusätzlich ermöglicht es das Verfahren, insbesondere plane Oberflächen zu erzeugen und Abweichungen von einer gewünschten Schichtdicke sowohl über die Charge als auch über den einzelnen Wafer mit einem
25 geeigneten Trimmverfahren auszugleichen. Auf diese Weise lassen sich Bauelemente erhalten, deren von der Schichtdicke der dielektrischen Schicht abhängigen Bauelementeigenschaften mit großer Konstanz über verschiedene Chargen und über die Oberfläche des Wafers einstellbar sind.

Bezugszeichenliste

SU	piezoelektrisches Substrat
ES	erhabenen Strukturen
DS	dielektrischen Schicht
PL1-PL3	unterschiedliche Profillinien der zweiten Topografie
LS	Polymerschicht
TS	Trimmschicht vor dem Trimmverfahren
TS'	Trimmschicht nach dem Trimmverfahren
Δd	abgetragene Schichtdicke der Trimmschicht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Schicht (DS) auf der Oberfläche eines Bauelements, die eine
5 erste Topografie mit erhabenen Strukturen aufweist,
 - bei dem über den Strukturen ganzflächig eine dielektrische Schicht mit Hilfe eines Schichtabscheidungsprozesses in kantenbedeckender Weise aufgebracht wird, so dass die Oberfläche der
10 abgeschiedenen dielektrischen Schicht eine zweite Topografie aufweist
 - bei dem auf die dielektrische Schicht ganzflächig eine Polymerschicht (LS) ausreichender Dicke und mit einer planen Oberfläche aufgebracht wird
 - 15 - bei dem ein Ätzverfahren durchgeführt wird, wobei ein gewünschtes Ätzratenverhältnis von dielektrischer Schicht zu Lackschicht eingestellt wird
 - bei dem das Ätzverfahren so lange durchgeführt wird, bis die Oberfläche der dielektrischen Schicht nach
20 vollständigem Entfernen der Lackschicht eine gewünschte dritte Topografie aufweist
 - bei dem eine Bauelementeigenschaft, die von der Dicke oder der dritten Topografie der dielektrischen Schicht abhängig ist, mittels eines Trimmverfahrens nachjustiert
25 wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
 - bei dem das Bauelement eine piezoelektrische Schicht auf einem Substrat oder ein piezoelektrisches Substrat (SU)
30 aufweist, wobei eine über der Substratoberfläche erhabene Elektrodenstruktur (ES) die erste Topografie ausbildet

- bei dem die Elektrodenstruktur zur Anregung akustischer Wellen im Bauelement ausgebildet ist
- bei dem mit der dielektrischen Schicht (DS) die Temperaturabhängigkeit der Frequenz des Bauelements reduziert wird
- bei dem durch das Trimmverfahren mittels nachträglicher Veränderung einer Schichtdicke die Mittenfrequenz des Bauelements nachjustiert wird.

10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem als dielektrische Schicht (DS) eine Siliziumdioxidschicht aufgebracht wird
- bei dem im Trimmverfahren eine Trimmschicht (TS), die eine höhere Steifigkeit als die dielektrische Schicht aufweist, auf die dritte Topografie aufgebracht wird
- bei dem die Dicke der Trimmschicht und damit auch die Mittenfrequenz solange reduziert wird, bis eine vorgegebene Mittenfrequenz erreicht ist.

20 4. Verfahren nach Anspruch 3,

- bei dem sämtliche Verfahrensschritte auf einem Wafer durchgeführt werden, auf dem Elektrodenstrukturen mehrerer Bauelemente angeordnet sind
- bei dem auf einer Verfahrensstufe zwischen dem Herstellen der dritten Topografie und dem Rückätzen der Trimmschicht (TS) die Mittenfrequenz einzelner Bauelemente bestimmt wird
- bei dem eine Verteilung der Abweichungen von der gewünschten Mittenfrequenz ermittelt wird,
- bei dem die Dicke der Trimmschicht ortsselektiv in Abhängigkeit von der ermittelten Abweichung am jeweiligen Ort reduziert wird, so dass die Abweichungen nivelliert werden und die Mittenfrequenzen aller

Bauelemente innerhalb einer Toleranz auf einen gewünschten Wert eingestellt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4,
5 bei dem als Trimmschicht (TS) eine Schicht aus Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, Aluminiumoxid, DLC oder Diamant aufgebracht wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5,
10 bei dem die Dicke der Trimmschicht (TS) mittels scannender Einwirkung eines Ionenstrahls auf die Oberfläche der Trimmschicht reduziert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
15 bei dem gewünschte Änderung der Mittenfrequenz an einem bestimmten Ort durch eine entsprechende Expositionszeit gegenüber dem Ionenstrahl an diesem Einwirkort bewirkt wird, wobei die Expositionszeit über die jeweilige Geschwindigkeit eingestellt wird, mit der der Wafer am
20 jeweiligen Einwirkort unter dem Ionenstrahl vorbeigeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-7
bei dem das Ätzratenverhältnis auf einen Wert von 1
25 eingestellt wird, so dass als zweite Topografie eine plane Oberfläche der verbleibenden dielektrischen Schicht erhalten wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-7
30 bei dem das Ätzratenverhältnis auf einen Wert größer 1 eingestellt wird, so dass die verbleibende dielektrische Schicht eine zur ersten Topografie inverse zweite Topo-

grafie erhält, die oberhalb der erhabenen Strukturen der ersten Topografie Vertiefungen aufweist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-7
5 bei dem das Ätzratenverhältnis auf einen Wert kleiner 1 eingestellt wird, so dass die Strukturen der zweiten Topografie zum Teil eingeebnet werden.

1/4

Fig 1

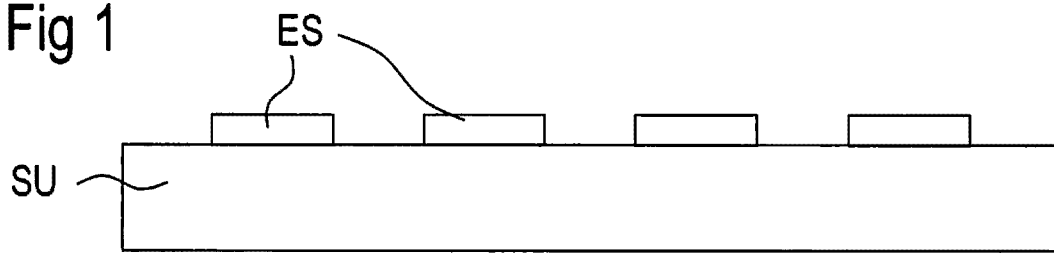


Fig 2

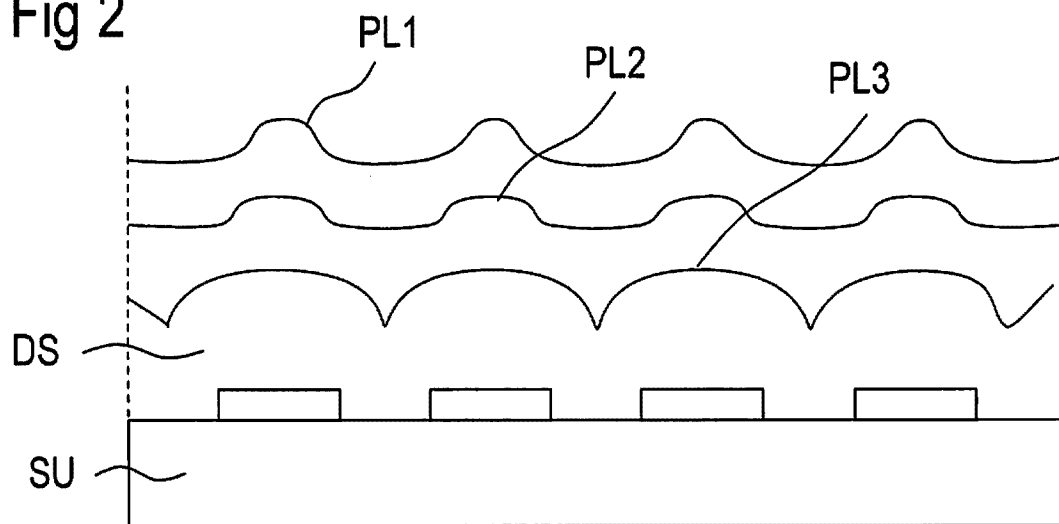
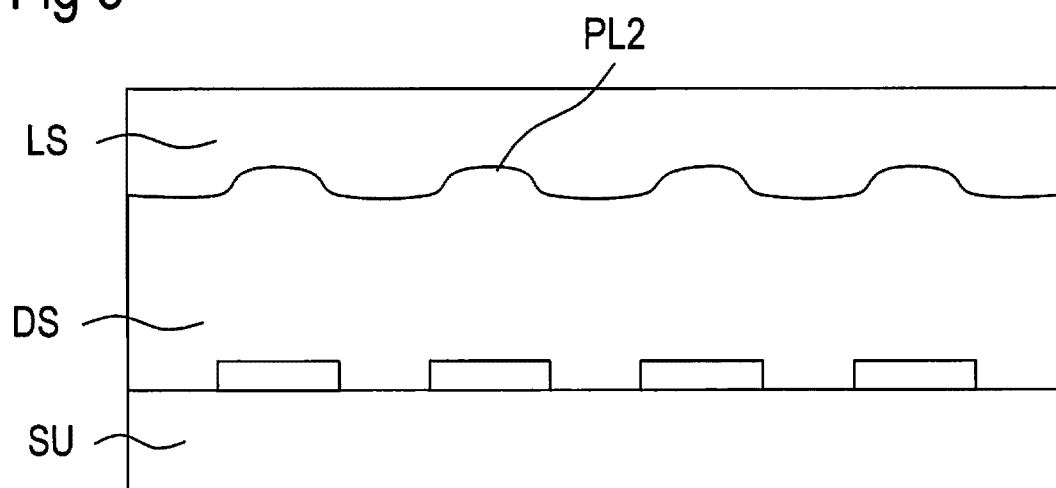


Fig 3



2/4

Fig 4A

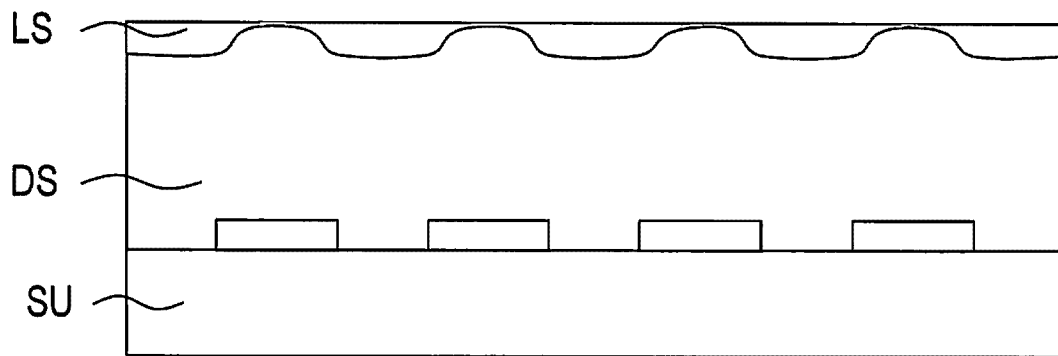


Fig 4B

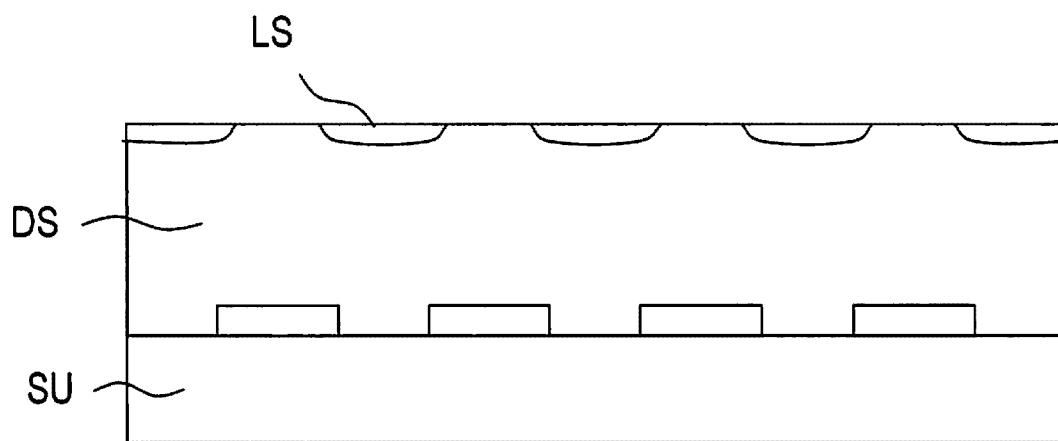
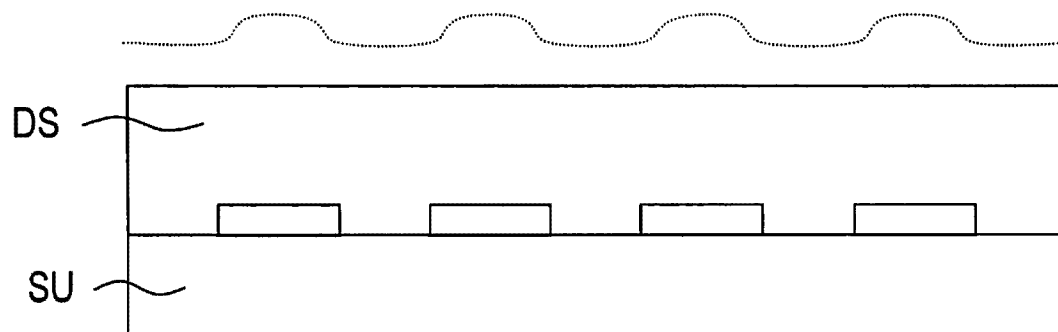


Fig 4C



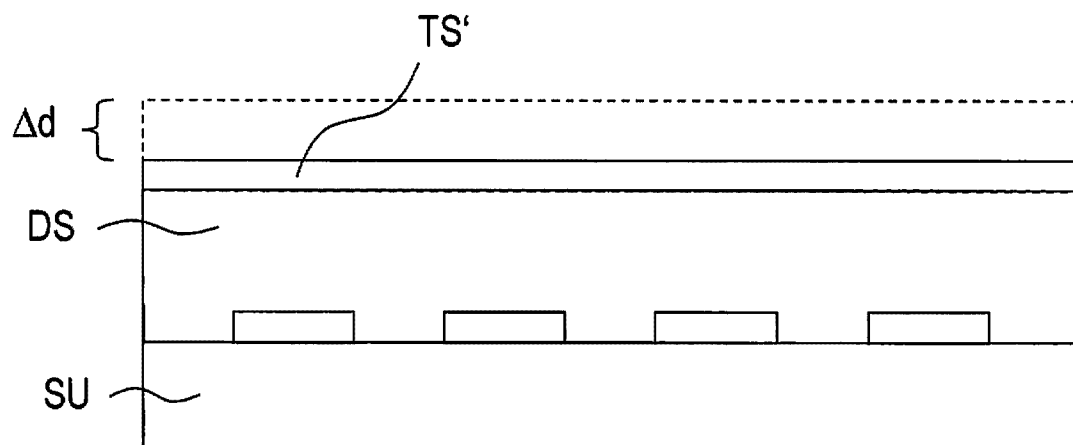
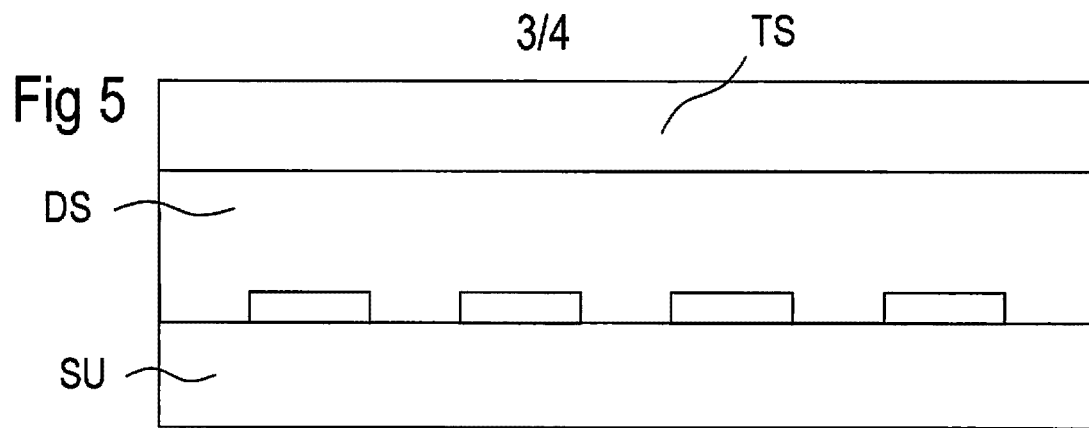
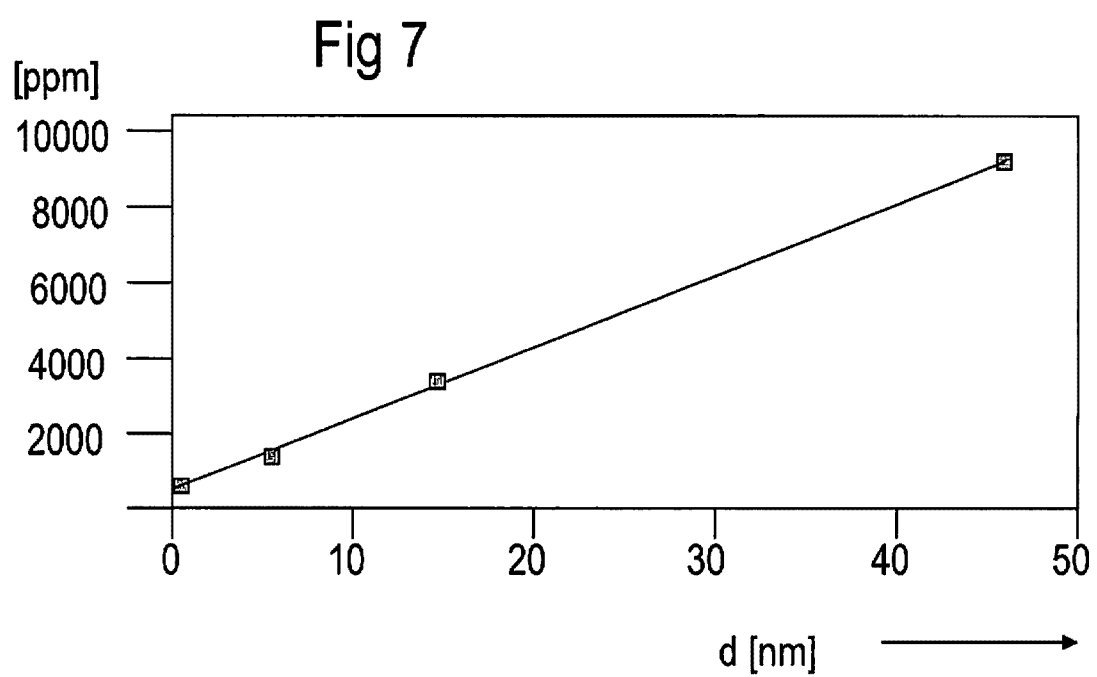


Fig 6



4/4

Fig 8A

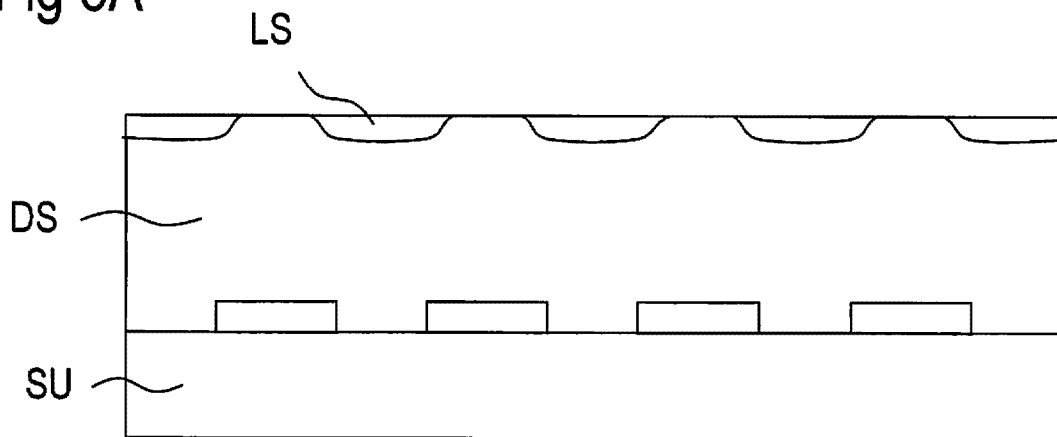


Fig 8B

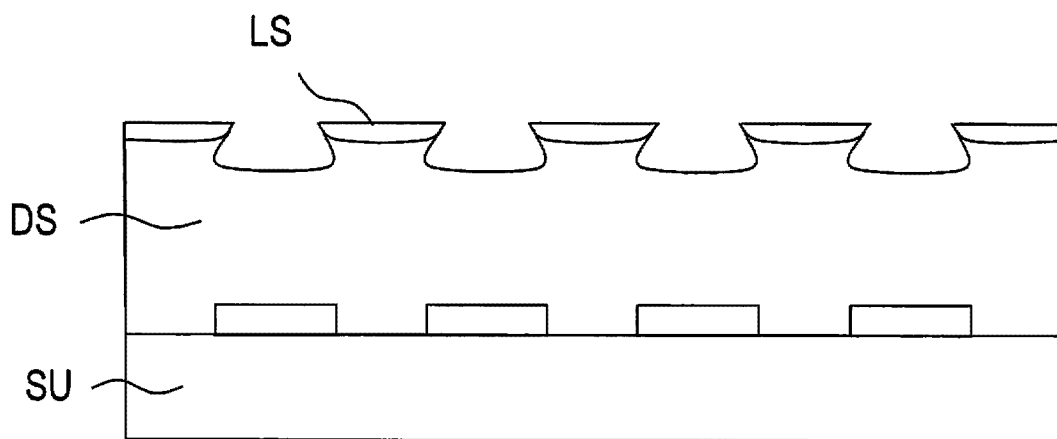
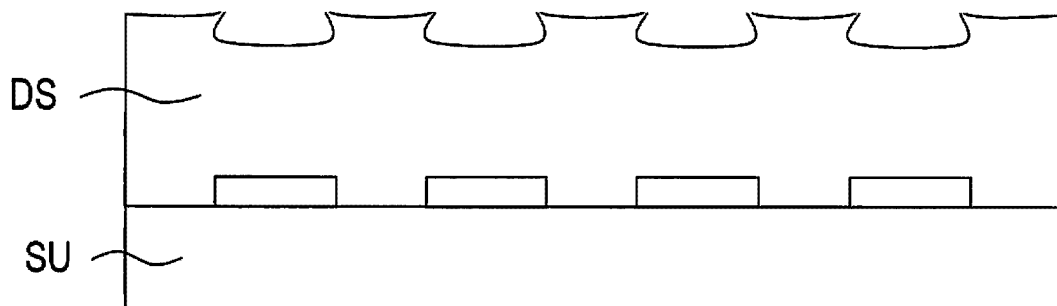


Fig 8C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/055850

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H03H3/10 H03H9/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/146674 A1 (JACOT PHILIPPE [CH] ET AL) 7 August 2003 (2003-08-07) paragraph [0044] - paragraph [0052]; figure 4	1-10
X	----- US 5 923 231 A (OHKUBO YUKIO [JP] ET AL) 13 July 1999 (1999-07-13) column 14, line 14 - column 16, line 26; figures 27-29 -----	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 September 2011

Date of mailing of the international search report

21/09/2011

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lecoutre, Renaud

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/055850

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003146674	A1	07-08-2003	AT 511240 T 15-06-2011
			CA 2468724 A1 07-08-2003
			WO 03065577 A1 07-08-2003
			CN 1625835 A 08-06-2005
			EP 1470639 A1 27-10-2004
			JP 2005516517 A 02-06-2005

US 5923231	A	13-07-1999	WO 9604713 A1 15-02-1996

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H03H3/10 H03H9/02
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H03H

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/146674 A1 (JACOT PHILIPPE [CH] ET AL) 7. August 2003 (2003-08-07) Absatz [0044] - Absatz [0052]; Abbildung 4 -----	1-10
X	US 5 923 231 A (OHKUBO YUKIO [JP] ET AL) 13. Juli 1999 (1999-07-13) Spalte 14, Zeile 14 - Spalte 16, Zeile 26; Abbildungen 27-29 -----	1-10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. September 2011

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/09/2011

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lecoutre, Renaud

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/055850

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2003146674	A1	07-08-2003	AT	511240 T	15-06-2011
			CA	2468724 A1	07-08-2003
			WO	03065577 A1	07-08-2003
			CN	1625835 A	08-06-2005
			EP	1470639 A1	27-10-2004
			JP	2005516517 A	02-06-2005

US 5923231	A	13-07-1999	WO	9604713 A1	15-02-1996
