(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 20 702 A1** 2004.11.25

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 20 702.3**
(22) Anmeldetag: **08.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **25.11.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H03H 3/00**
H03H 3/08, H03H 3/02, B81C 1/00
// H03H 9/64,9/54

(71) Anmelder:
EPCOS AG, 81669 München, DE

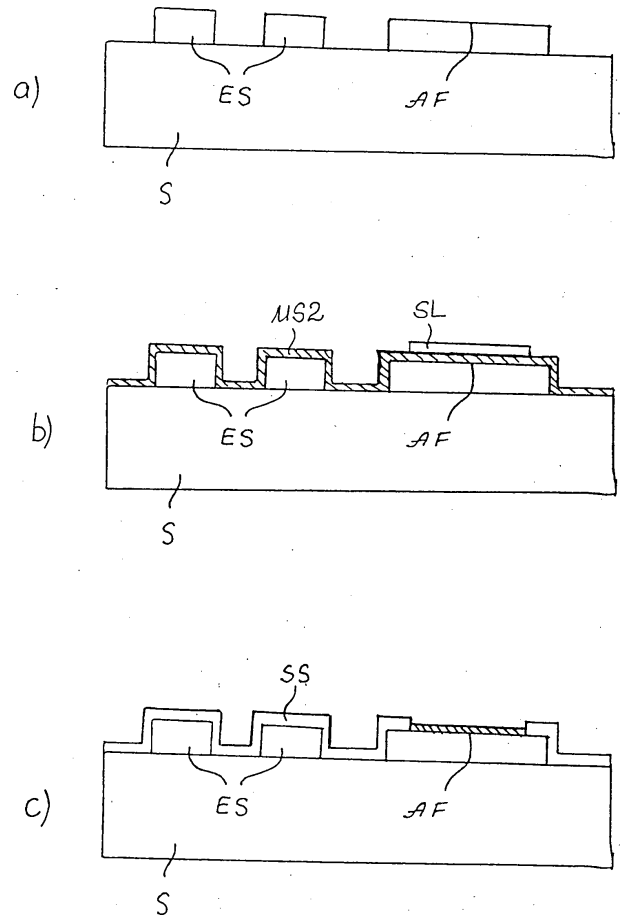
(74) Vertreter:
Epping Hermann Fischer, Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80339 München

(72) Erfinder:
Kirschner, Hans-Peter, 83026 Rosenheim, DE; Ruile, Werner, Dr., 80636 München, DE; Leidl, Anton, Dr,, 85662 Hohenbrunn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Herstellungsverfahren für ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement mit verbesserter Leistungsverträglichkeit**

(57) Zusammenfassung: Für ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement wird vorgeschlagen, auf das Substrat mit Metallstrukturen ganzflächig eine Metallschicht aufzubringen, die vorzugsweise durch eine Oxidation, insbesondere durch Anlegen elektrischen Potentials (bei anodischer Oxidation) bzw. den dadurch hervorgerufenen Stromfluß mit an der freiliegenden Metalloberfläche vorhandenen Sauerstoff chemisch reagiert und dabei in eine elektrisch isolierende Oxidationsschicht (Schutzschicht) überführt wird. Sobald die Metallschicht, welche zunächst die darunter liegenden Metallstrukturen elektrisch verbindet, durchoxidiert ist und komplett in die Schutzschicht übergeht, werden die ursprünglich miteinander nicht elektrisch verbundenen Metallstrukturen voneinander elektrisch isoliert. Dabei fällt bei anodischer Oxidation der Stromfluß rapide ab, wodurch eine weitere Oxidation verhindert wird bzw. kontrolliert werden kann. Die Schutzschicht umgibt die Metallstrukturen und schließt mit dem Substrat dicht ab.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement mit einem piezoelektrischen Substrat, auf dem Elektrodenstrukturen und elektrische Anschlüsse aufgebracht sind.

Stand der Technik

[0002] Unter mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen sind insbesondere Oberflächenwellenbauelemente (OFW- oder SAW-Bauelemente) und FBAR-Resonatoren (thin film bulk acoustic resonator) zu verstehen. SAW-Filter und Filter aus FBAR-Resonatoren werden zunehmend im Front-End von Mobilfunkgeräten als Sende- und Empfangsfilter eingesetzt. Durch das Sendefilter fließt dabei die gesamte Sendeleistung des Mobilfunkgerätes, so daß die Elektrodenstrukturen dieser Bauelemente einer maximalen Strombelastung ausgesetzt sind. Hinzu kommt, daß durch die zunehmende Miniaturisierung und durch die Einführung neuer Mobilfunkstandards die Leistungsdichte in den Bauelementen immer höher wird. Neben der geforderten hohen Stromtragfähigkeit der Elektrodenstrukturen sind diese außerdem durch die akustische Welle einer starken mechanischen Belastung ausgesetzt, die auf Dauer zur Zerstörung der Elektrodenstruktur und damit zum Ausfall des Bauelementes bzw. des Filters führen kann.

[0003] Untersuchungen an mechanisch und elektrisch stark belasteten Filtern zeigen, daß die Elektroden durch Materialwanderung von Elektrodenmaterial (Akusto- und Elektromigration) zerstört werden. Diese äußert sich in der Bildung von Hohlräumen (voids) und an der Oberfläche der Elektrodenstrukturen in der Ausbildung von Auswüchsen, sogenannten Hillocks. Eine so veränderte Elektrodenstruktur besitzt eine veränderte Geometrie, deren elektromechanische Eigenschaften verändert sind. Sind zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Elektrodenfingern Auswüchse entstanden, so können diese zum Ausgangspunkt eines Kurzschlusses oder eines Überschlags zwischen den beiden Elektrodenfingern werden. Neben den veränderten Eigenschaften der geschädigten Elektrodenstruktur führt ein elektrischer Überschlag zwischen unterschiedlich polarisierten Elektrodenfingern üblicherweise zur Zerstörung und damit zum Totalausfall des Filters. Die unter Streßbelastung zunehmende Veränderung der elektromechanischen Eigenschaften von Elektrodenstrukturen dagegen führt zu einer kontinuierlichen Änderung der Resonanzfrequenz und zu einem unerwünschten Ansteigen der Einfügedämpfung.

[0004] Als Elektrodenmaterial wird bei SAW-Bauelementen üblicherweise Aluminium eingesetzt. Zur Einschränkung der schädlichen Akustomigration werden zunehmend Legierungen wie beispielsweise AlCu, AlMg, AlCuMg, AlCuSc, AlZrCu, AlTi, AlSi und andere eingesetzt. Diese Legierungen reduzieren die Migration, indem sie an den Aluminiumkorngrenzen Ausscheidungen bilden, die die Diffusionspfade blockieren. In Abhängigkeit von dem Aluminium zugesetzten Metall oder Element führt dies dazu, daß sich das zugesetzte Element zum Teil in den Aluminiumkörnern festsetzt, diese verfestigt und dem Materialwanderung in den Elektroden reduziert.

[0005] Durch die Unterdrückung der Akustomigration wird sowohl der kontinuierlichen Änderung der Resonanzfrequenz und der Einfügedämpfung als auch der Gefahr der Kurzschlußbildung und der Überschläge entgegengewirkt. Allerdings haben die verwendeten Legierungen einen höheren spezifischen elektrischen Widerstand als nicht legierte Metalle. Dies beeinträchtigt die Filterperformance und bewirkt eine höhere Einfügedämpfung. Außerdem wird die Selbsterwärmung gesteigert, die sich wiederum negativ auf die Leistungsverträglichkeit der Elektrodenstrukturen und damit des Filters auswirkt. Damit ist auch mit den vorgeschlagenen Legierungen die maximale Leistungsverträglichkeit begrenzt.

[0006] Weiterhin wurde bereits vorgeschlagen, an Stelle einer homogenen Schicht aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung Schichtsysteme aus unterschiedlichen Metallen und Aluminiumlegierungen einzusetzen. Die Elektrodenstrukturen mit Mehrschichtaufbau, wobei der Mehrschichtaufbau aneinander grenzende Metallschichten aus Metallen mit stark unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, haben den Nachteil, daß an der Grenzfläche solcher Metallschichten interne mechanische Spannungen entstehen, welche die Leistungsfestigkeit des Bauelements beeinträchtigen. Es wurde bereits vorgeschlagen, zwischen den Metallschichten mit stark unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten a_1 und a_2 eine Ausgleichsschicht vorzusehen, deren Ausdehnungskoeffizient zwischen a_1 und a_2 liegt.

[0007] Um die Haftung der Elektrodenstrukturen auf dem Substrat zu erhöhen, kann zwischen der untersten Aluminium- oder Aluminiumslegierungsschicht eine Haftschicht aus Titan aufgebracht werden. Diese Titan-Haftschicht verbessert die <111>-Textur und inplane Orientierung der Aluminiumschicht und damit die Leistungsverträglichkeit.

[0008] Weiterhin wurde bereits vorgeschlagen, reines Kupfer zur Herstellung von Elektrodenstrukturen oder alternativ ein Schichtsystem Kupfer-Aluminium oder Kupfer-Aluminium-Kupfer zu verwenden. Unabhängig davon wurde vorgeschlagen, ganzflächige Passivierungsschichten über den Elektrodenstrukturen zu erzeugen, um die Elektrodenstrukturen gegen äußere Einwirkungen wie Korrosion zu schützen und

die Migration zu verhindern. Als Material für solche Passivierungsschichten wurde bereits Siliziumdioxid, Siliziumnitrid und Aluminiumnitrid vorgeschlagen. Die Passivierungsschichten haben gegenüber alternativen Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfestigkeit der Elektrodenstrukturen den Vorteil, daß sie gleichzeitig die ESD-Eigenschaften des Bauelements (ESD = electrostatic discharge) verbessern und die Elektrodenstrukturen vor fremden Partikeln schützen.

[0009] Um die Oberfläche des Bauelements mit einer gleichmäßigen Passivierungsschicht zu überziehen, werden aufwendige Fertigungsverfahren wie z. B. Chemical Vapor Deposition oder Sputtertechnik herangezogen.

[0010] Bekannt sind darüber hinaus Passivierungsschichten, die sich durch anodische Oxidation der Elektrodenstrukturen an der Oberfläche der letzteren bilden. Bei Schichtsystemen aus unterschiedlichen Metallen hat man aufgrund unterschiedlicher Oxidationsgeschwindigkeiten der eingesetzten Metalle allerdings Schwierigkeiten, eine Passivierungsschicht homogener Dicke an den Kanten der Elektrodenstrukturen durch deren Oxidation auszubilden.

Aufgabenstellung

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Herstellungsverfahren für ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement mit verbesserter Leistungsverträglichkeit anzugeben.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

[0013] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, auf die Oberfläche des Bauelements mit darauf angeordneten Metallstrukturen oder unter diesen eine weitere Metallschicht aufzubringen und diese in einem späteren Verfahrensschritt vollständig in einen elektrisch isolierenden Zustand zu überführen.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren umfaßt insbesondere im Folgenden angegebene Schritte.

[0015] Zunächst werden (beim Herstellen eines Oberflächenwellenbauelements) auf der Oberfläche eines (in diesem Fall piezoelektrischen) Substrats Metallstrukturen erzeugt, die Elektrodenstrukturen und elektrisch mit ihnen verbundene, jeweils eine Anschlußfläche aufweisende Anschlüsse umfassen. Das Substrat liegt beispielsweise als Wafer vor, der zur Herstellung von mehreren Bauelementen vorgesehen ist, welche in späteren Verfahrensschritten z. B. durch Sägen vereinzelt werden. Die Metallstrukturen können auf Waferebene beispielsweise mittels Abhebetechnik, Aufdampftechnik oder Sputtern und Ätztechnik hergestellt werden.

[0016] Beim Herstellen eines mit Volumenwellen arbeitenden Bauelements werden im ersten Verfahrensschritt auf der Oberfläche eines Substrats Resonatoren ausgebildet. Dabei werden auf der Substratoberfläche nacheinander eine untere Elektrodenschicht, eine piezoelektrische Schicht und eine obere Elektrodenschicht ausgebildet. In der oberen Elektrodenschicht werden die oben schon erwähnten Metallstrukturen gebildet.

[0017] Die Metallstrukturen können z. B. aus Al oder einer Schichtenfolge von Al und Cu gebildet werden. Als Substratmaterial eignen sich beispielsweise $LiTaO_3$ (mit einem Schnittwinkel von 30° bis 38° oder 42°), $LiNbO_3$ oder SiO_2.

[0018] In einem weiteren Verfahrensschritt wird auf die Substratoberseite ganzflächig (so daß die Elektrodenstrukturen sowie die nicht von den Elektrodenstrukturen bedeckten Bereiche des Substrates überdeckt werden), vorzugsweise homogen und kantenbedeckend, eine Metallschicht geringer Dicke aufgebracht, wobei deren absolute Dicke vorzugsweise kleiner als 100 nm ist. Die Metallschicht kann eine oder mehrere Lagen aufweisen, wobei das Metall jeder Lage durch elektrochemische oder andere geeignete Prozesse in eine elektrisch isolierende Verbindung umgewandelt werden kann. Die Metallschicht kann z. B. aus Al, Ti oder Mg oder deren Schichtenfolge gebildet werden. Gut geeignet sind als Metallschicht außerdem oxidierbare Metalle oder Schichtenfolgen dieser Metalle. Die Metallschicht schließt vorübergehend die Metallstrukturen des Bauelements kurz.

[0019] Die aufgebrachte Metallschicht wird in freiliegenden Bereichen vollständig, das heißt über die gesamte Schichtdicke der Metallschicht in eine elektrisch isolierende Schutzschicht überführt. Dieser Verfahrensschritt wird im Weiteren als Passivierung der Metallschicht bezeichnet. Dabei werden die ursprünglich voneinander räumlich getrennten bzw. elektrisch nicht verbundenen, vorübergehend kurzgeschlossenen Metallstrukturen wieder elektrisch voneinander isoliert. Das Erzeugen der Schutzschicht (oder Passivierungsschicht) wird im Folgenden als Passivierung bezeichnet.

[0020] Die Dicke der Schutzschicht weicht in der Regel von der Dicke der Metallschicht aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften, insbesondere variierender Dichte oder Massezunahme ab. Die Dicke der Schutzschicht kann jedoch erfindungsgemäß über die Dicke der Metallschicht eingestellt werden. Bei einer Schutzschicht aus Aluminiumoxid wird ihre relative Dicke vorzugsweise auf weniger als 30% der Gesamtdicke der Metallstrukturen einschließlich der

Schutzschicht eingestellt.

[0021] Der Vorteil des im erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Bauelements, z. B. gegenüber einem Bauelement mit durch eine Siliziumoxidschicht überzogenen Metallstrukturen, liegt darin, daß eine durch Passivierung einer Metallschicht (z. B. Al-Schicht) erzeugte Schutzschicht (Al_2O_3) besonders gut an der Oberfläche der Metallstrukturen haftet. Die zu passivierende Metallschicht kann im Gegensatz zu Siliziumoxid einfach und z.B. durch kaltes Aufdampfen (besonders kostengünstig) auf die Substratoberseite aufgetragen werden. Dagegen erfolgt die Passivierung der Metallstrukturen mittels einer Siliziumoxid-Schicht bei hohen Temperaturen, wobei stets die Gefahr der pyroelektrischen Entladungen zwischen den auf unterschiedlichen elektrischen Potentialen liegenden Metallstrukturen besteht. Eine hohe Temperatur kann die Kristallstruktur der Metallstrukturen (Elektroden) dahingehend beeinflussen, daß Kornbildung ausgelöst und damit die Leistungsverträglichkeit der Metallstrukturen verringert wird.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren hat außerdem den Vorteil, daß die ganzflächig aufgetragene, in die Schutzschicht zu überführende Metallschicht die darunter angeordneten Metallstrukturen elektrisch leitend verbindet und diese, solange die elektrische Verbindung besteht, dadurch vor pyroelektrischen Überschlägen schützt. Die pyroelektrischen Überschläge entstehen auf Wafer-Ebene z. B. bei einer Erwärmung der Bauelemente während photolithographischer Prozesse, weswegen bei bisher bekannten Bauelementen Gegenmaßnahmen wie z. B. Kurzschließen aller Elektrodenstrukturen durch später aufzutrennende Verbindungsstrukturen erforderlich waren. Im erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren kann auf zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen pyroelektrische Überschläge verzichtet werden.

[0023] Daher ist es von Vorteil, wenn man in einer Variante der Erfindung bei durch die Metallschicht kurzgeschlossenen Metallstrukturen eine Aufdickung der als Anschlüsse vorgesehenen Stellen vornimmt und erst danach die Metallschicht in die Schutzschicht überführt. Für die Aufdickung der Anschlüsse wird zumindest eine weitere Metallschicht verwendet, die einen guten elektrischen Kontakt gewährleistet. Die Aufdickung kann auch als Schichtaufbau, z. B. aus Ti/Pt/Au, NiV/Cu, Ni/Cu, NiP/Au realisiert werden.

[0024] In bevorzugter Variante der Erfindung wird die Passivierung der Metallschicht vorzugsweise mittels anodischer Oxidation der (zuletzt aufgebrachten) Metallschicht durchgeführt. Beispielsweise kann eine als Al-Schicht ausgeführte Metallschicht beginnend an der Oberfläche bis zum Substrat hin zu einer Al_2O_3-Schicht oxidiert werden. Je nach Schichtdicke der Metallschicht, Reaktionsdauer, angelegter Spannung und von dieser abhängigem Stromfluß oxidiert die Metallschicht bis zum Substrat durch. Z. B. bei einer Spannung von 60 V und einer Al-Schichtdicke von 50 nm werden bei Raumtemperatur (in einem Elektrolytsystem) einige Minuten gebraucht, um die Al-Schicht durch zu oxidieren. Sind die Kontaktstellen für die anodische Oxidation nicht über einer der Metallstrukturen angeordnet, stoppt der Oxidationsprozeß, sobald die Metallschicht auf der freiliegenden Substratoberfläche durchoxidiert ist. Sobald die Metallschicht, welche zunächst die darunter liegenden Metallstrukturen elektrisch verbindet, durchoxidiert ist und komplett in die Schutzschicht übergeht, werden die ursprünglich nicht elektrisch miteinander verbundenen Metallstrukturen voneinander elektrisch isoliert. Dabei fällt der Stromfluß rapide ab, wodurch eine weitere Oxidation verhindert wird bzw. kontrolliert werden kann. Die Verwendung der anodischen Oxidation im erfindungsgemäßen Verfahren hat somit gegenüber bisher bekannten Passivierungsverfahren den Vorteil, daß die ursprüngliche Dicke der Metallstrukturen bei Erzeugung einer Schutzschicht erhalten werden kann.

[0025] Bei bisher bekannten Verfahren zur Passivierung von Elektrodenstrukturen in Bauelementen mußten alle Elektrodenstrukturen mit den Kontaktstellen für die anodische Oxidation verbunden und danach aufgetrennt werden. Bei anodischer Oxidation der erfindungsgemäß ganzflächig aufgetragenen, die Elektrodenstrukturen verbindenden Metallschicht ist es nicht notwendig, die Verbindungen zwischen den Elektrodenstrukturen extra herzustellen bzw. aufzutrennen.

[0026] Bei bisher bekannten Bauelementen war es problematisch, die aus verschiedenen, zum Teil nicht oxidierbaren Metallen (z. B. Kupfer) bestehenden Metallstrukturen im Kantenbereich durch die anodische Oxidation zu passivieren. Im erfindungsgemäßen Verfahren kann durch eine gute Kantenbedeckung beim Auftragen der zu oxidierenden Metallschicht hingegen nicht nur die Oberseite, sondern auch die Kanten der Metallstrukturen durch eine homogene Oxidationsschicht bedeckt werden.

[0027] Ein weiterer Vorteil dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß beim Oxidieren der Metallschicht mehrere Wafer gleichzeitig behandelt bzw. an eine Spannungsquelle angeschlossen werden können, was Fertigungszeit reduziert.

[0028] Möglich ist es auch, die Passivierung der Metallschicht durch thermische Oxidation oder alternativ durch Innenimplantation, z. B. Innenstrahl-Implantation von Stickstoff durchzuführen. Geeignet sind grundsätzlich alle Verfahren, welche eine Metallschicht in eine elektrisch nicht leitende Schicht überführen.

[0029] Eine weitere vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, unterhalb der Elektrodenstruktur eine vorzugsweise mechanisch stabile, zum späteren Aufwachsen einer hochtexturierten Metallschicht geeignete Anpassungsschicht auszubilden. Die hochtexturierte Metallschicht umfaßt dabei die Metallstrukturen des Bauelements. Es ist an sich bekannt, daß mechanischem Streß ausgesetzte Elektrodenstrukturen besonders leistungsbeständig sind, wenn sie aus hochtexturierten Metallen bestehen. Darüber hinaus weisen die hochtexturierten Schichten geringere akustische Verluste als die nichttexturierten Schichten auf, was zusätzlich zu einer niedrigeren Einfügedämpfung und Selbsterwärmung und damit zu einer besseren Leistungsverträglichkeit führt.

[0030] Als Anpassungsschicht wird vorzugsweise ein Material eingesetzt, welches eine gute Haftung zum Substrat und/oder zum darüber aufgebrachten Elektrodenmaterial gewährleistet. Besonders geeignet für die Anpassungsschicht ist Titan, das eine gute Haftung zum Material der übrigen Elektrostruktur aufweist. Die Dicke der Anpassungsschicht liegt vorzugsweise zwischen 1 und 50 nm.

[0031] Zwischen der Anpassungsschicht und dem Substrat kann eine Haftvermittlerschicht vorgesehen sein, welche eine gute Haftung sowohl zu Substrat als auch zur Anpassungsschicht vermittelt. Eine solche Haftvermittlerschicht kann eine Aluminiumoxidschicht umfassen. Darüber hinaus sind weitere Haftvermittlerschichten geeignet, die neben der Haftung keine weiteren besonderen Eigenschaften aufweisen müssen. Die Haftvermittlerschicht kann dementsprechend in äußerst geringer Schichtdicke von wenigen Atomlagen und beispielsweise in einer Schichtdicke von 1 bis 10 nm aufgebracht werden.

[0032] Neben dem Titan werden für die Anpassungsschicht z.B. Titanlegierungen, Magnesium und Titannitrit vorgeschlagen.

[0033] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird in den Elektrodenstrukturen zwischen jeweils zwei Aluminium oder eine Aluminiumlegierung umfassenden Schichten eine Zwischenschicht angeordnet, welche eine Diffusionssperrwirkung entfalten kann. Mit Hilfe solcher Zwischenschichten gelingt es, die Akustomigration senkrecht zu diesen Sperrschichten, also üblicherweise vertikal zum Substrat, zu unterdrücken. Als Material für solche Zwischenschichten sind insbesondere Kupfer, Magnesium, Magnesiumoxid, Titan, Titannitrid oder eine Titanlegierung geeignet. Der Dickenanteil der Zwischenschicht wird vorzugsweise auf ca. 10 bis 50 Prozent bezogen auf die Gesamtschichtdicke der Elektrodenstruktur eingestellt.

[0034] Bei entsprechender Dicke der gesamten Elektrodenstruktur, die vorzugsweise abhängig von der Frequenz eingestellt wird, bei der das Bauelement arbeitet, können auch mehrere Zwischenschichten in der Elektrodenstruktur vorgesehen werden, um über die Diffusionssperrwirkung sowohl eine verringerte Vertikaldiffusion als auch über die bei dünneren Schichten geringeren Korndurchmesser eine verringerte horizontale Diffusion zu bewirken.

[0035] Grundsätzlich können alle hier genannten Schichten und Metallstrukturen einen Mehrschichtaufbau aufweisen.

[0036] Besonders vorteilhaft ist es, die ganzflächig aufgebrachte Schutzschicht gezielt über den Anschlüssen zu ätzen, bis dort die Passivierungsschicht entfernt ist und die Anschlußflächen freigelegt sind.

[0037] Eine andere Möglichkeit besteht darin, vor dem Überführen der Metallschicht in einen elektrisch isolierenden Zustand die über den Anschlüssen angeordneten Bereiche mit einem Schutzlack zu überdecken. Der Schutzlack verhindert den Zutritt von Sauerstoff zur darunter liegenden Oberfläche der Metallschicht. Dadurch bleiben die Zusammensetzung und die elektrischen Eigenschaften der geschützten Bereiche der Metallschicht auch nach Oxidation unverändert. Nach dem Entfernen des Schutzlacks stehen die so gebildeten Anschlußflächen zur Verfügung.

[0038] Bei ganzflächiger Erzeugung der Passivierungsschicht über den Elektrodenstrukturen wird die Diffusion von Elektrodenmaterial in alle Richtungen unterdrückt.

[0039] Eine weitere vorteilhafte Ausführung der Erfindung wird durch folgendes Verfahren realisiert. Zunächst wird auf die Oberseite eines Substrats eine Anpassungsschicht der Dicke < 50 nm ganzflächig aufgebracht. Auf der Anpassungsschicht werden Metallstrukturen, welche Elektrodenstrukturen und elektrisch mit ihnen verbundene, jeweils eine Anschlußfläche aufweisende Anschlüssen umfassen, erzeugt. Ein oberflächennaher Bereich (der Dicke < 100 nm) der Metallstrukturen und der freiliegenden Bereiche der Anpassungsschicht wird in eine elektrisch isolierende Schutzschicht überführt. Dabei bilden die passivierten Bereiche der Metallstrukturen zusammen mit passivierten Bereichen der Anpassungsschicht eine ganzflächige Schutzschicht.

Ausführungsbeispiel

[0040] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelements anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen jeweils anhand schematischer und nicht maßstabsgetreuer Zeich-

nungen verschiedene Verfahrensschritte.

[0041] **Fig.** 1 zeigt ein Bauelement im schematischen Querschnitt während aufeinander folgender erfindungsgemäßer Verfahrensschritte bei der Herstellung

[0042] **Fig.** 2, 3 zeigen jeweils die Herstellung eines Bauelements mit einer Anpassungsschicht anhand schematischer Querschnitte in einzelnen Verfahrensstufen

[0043] **Fig.** 1 zeigt Verfahrensschritte einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens.

[0044] **Fig.** 1a zeigt den Aufbau des Bauelements nach dem Ausbilden der Metallstrukturen (Elektrodenstrukturen und elektrischer Anschlüsse) auf der Oberseite eines piezoelektrischen Substrats S. Auf dem Substrat S, beispielsweise einem piezoelektrischen kristallinen Wafer aus Lithiumtantalat oder Lithiumniobat oder einer piezoelektrischen Dünnschicht, beispielsweise aus Zinkoxid oder Aluminiumnitrid, sind Elektrodenstrukturen ES angeordnet. Je nach Art des Bauelementes ist dies im Falle eines SAW-Bauelementes beispielsweise eine streifenförmige Fingerelektrode, im Fall eines FBAR-Resonators eine flächig aufgebrachte Elektrode. Die Elektrodenstruktur ES umfaßt überwiegend Aluminium oder eine Aluminiumlegierung, beispielsweise eine Aluminiumkupferlegierung mit ein bis zwei Prozent Kupferanteil. Zur Erzielung einer optimalen Kopplung mit dem Substrat weist die Elektrodenstruktur ES eine von der Wellenlänge abhängige optimale Dicke auf. Für ein 1 GHz Bauelement, beispielsweise ein 1 GHz SAW-Filter liegt die optimale Dicke bei ca. 400 nm. Für ein 2 GHz Filter ist die optimale Schichtdicke geringer und liegt bei ca. 180 nm.

[0045] In **Fig.** 1a ist nur ein elektrischer Anschluß schematisch dargestellt. Dieser weist eine Anschlußfläche AF auf.

[0046] In **Fig.** 1b ist der Aufbau des Bauelements nach dem Aufbringen einer Metallschicht MS2 gezeigt. Die Metallschicht MS2 kann z. B. durch kaltes Aufdampfen erzeugt werden.

[0047] Der über der Anschlußfläche AF angeordnete Bereich der Metallschicht MS2 wird mit einem Schutzlack SL überdeckt. Der Schutzlack SL verhindert, daß bei Oxidation das darunter angeordnete Metall oxidiert und elektrisch isolierend wird.

[0048] Bei Oxidation wird die Metallschicht MS2 in von dem Schutzlack SL ungeschützten Bereichen vollständig in eine Oxidschicht – Schutzschicht SS – umgesetzt. In **Fig.** 1c, die die Anordnung nach der Entfernung des Schutzlacks zeigt, ist angedeutet, daß bei einer solchen Umwandlung sich auch das Volumen der umgewandelten Schicht verändern kann.

[0049] Bei anodischer Oxidation der Metallschicht MS2 wird an die letztere vorzugsweise eine Spannung von 20 bis 100 Volt angelegt. Die Oxidation kann bei Raumtemperatur oder bei höheren Temperaturen durchgeführt werden.

[0050] Die Metallstrukturen können eine oder mehrere voneinander unterschiedliche Metallagen aufweisen. Bei Temperaturänderungen entstehen bei mehreren Metallagen an deren Grenzflächen aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten interne mechanische Zug- oder Druckspannungen, welche – insbesondere die Druckspannungen – die Leistungsbeständigkeit des Bauelements beeinträchtigen.

[0051] Das gleiche Problem entsteht aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten des Substrats, der Metallstrukturen und der Schutzschicht bei Temperaturänderungen des Bauelements. Die Abscheidung der Schichten und die Oxidation der Metallschicht wird daher vorzugsweise unter solchen Bedingungen durchgeführt, daß im hergestellten Bauelement keine Druckspannungen zwischen den Schichten entstehen oder auftretende Druckspannungen minimiert werden.

[0052] Der Ausdehnungskoeffizient von Substrat, z. B. $LiTaO_3$ mit Schnittwinkel 42YX beträgt längs der Metallstrukturen 9,5 ppm/K und senkrecht zu den Metallstrukturen 16,1 ppm/K. Der Ausdehnungskoeffizient von Metallstrukturen, die z. B. Al- und Cu-Schichten enthalten, beträgt 22,4 bzw. 16,4 ppm/K. Der Ausdehnungskoeffizient von einer aus Al_2O_3 gebildeten Schutzschicht beträgt 5 bis 9 ppm/K.

[0053] Da die Metallstrukturen meist bei erhöhten Temperaturen hergestellt werden und das Bauelement bei erhöhten Temperaturen gelagert wird, kontrahiert sich das Metall beim Abkühlen stärker als das Substrat bzw. die Schutzschicht. Das Metall kommt dabei in den Zugspannungsbereich. Um der Entstehung von ungünstigen Druckspannungen vorzubeugen, ist es daher von Vorteil, die Temperatur, bei welcher das Bauelement zunächst gelagert wird, sowie die Temperatur der Oxidation etwas über der späteren Einsatztemperatur (welche maximal 85°C bei der vorgegebenen maximalen Leistungsbeständigkeit beträgt) zu wählen. Da durch die Selbsterwärmung des Bauelements eine Temperatur bis 130 oder sogar 150°C erreicht werden kann, ist es sinnvoll, die Temperatur der Oxidation und die Lagerungstemperatur zwischen 85°C und 150°C zu wählen.

[0054] Es ist möglich, die Metallstrukturen und die Metallschicht MS2 aus dem gleichen Material auszu-

bilden. Möglich ist es aber auch, sie aus unterschiedlichen Materialien herzustellen.

[0055] In einer weiteren, in **Fig.** 2 gezeigten vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird zuerst auf das Substrat S eine Anpassungsschicht AS ganzflächig aufgetragen. Die Anpassungsschicht kann direkt auf dem Substrat aufgebracht werden und besitzt eine Dicke von beispielsweise 1 bis 50, vorzugsweise mehr als 2 nm und weniger als 30 nm. Möglich ist es jedoch grundsätzlich, die Anpassungsschicht auch dicker zu machen.

[0056] Die Anpassungsschicht AS dient als Unterlage zum Aufwachsen hochtexturierter Schichten, hier der (ersten) Schicht der Metallstrukturen. Vorzugsweise besteht die Anpassungsschicht aus Titan, das besonders gut zum Aufwachsen hochtexturierter Al-Schichten oder Schichten aus Al-Legierungen geeignet ist. Die Anpassungsschicht kann auch alternativ aus W, einer Ti/W Legierung oder einer Schichtenfolge aus Ti und W ausgebildet sein.

[0057] Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf das Substrat zuerst eine hier nicht dargestellte Haftvermittlungsschicht und danach die Anpassungsschicht jeweils ganzflächig aufzutragen.

[0058] Für die Dicke der Haftvermittlungsschicht sind wenige Atomlagen ausreichend, eine bevorzugte Schichtdicke liegt daher im Bereich von 1 bis 5 nm. Die Haftvermittlerschicht besteht beispielsweise aus einen dünnen Aluminiumoxidschicht, zu deren Aufbringung es ausreichend ist, eine entsprechend dünne Aluminiumschicht auf dem oxidischen piezoelektrischen Substrat aufzubringen. Mit Sauerstoff aus dem oxidischen Substrat oxidiert diese Aluminiumschicht vollständig durch und wird so in eine Aluminiumoxidschicht überführt. Für die Haftvermittlerschicht sind auch andere Materialien geeignet, die ausreichend Haftung zum Substrat und zur Anpassungsschicht aufweisen. Größere Schichtdicken sind möglich, aber nicht nötig Auf der Anpassungsschicht AS werden die Elektrodenstrukturen ES und die elektrischen Anschlüsse ausgebildet, siehe **Fig.** 2a). Die Anpassungsschicht verbindet zunächst alle Metallstrukturen elektrisch leitend. Die freiliegenden, zwischen den Metallstrukturen angeordneten Bereiche der Anpassungsschicht können später z. B. durch ein Oxidationsverfahren in einen elektrisch isolierenden Zustand überführt werden.

[0059] In dieser Variante der Erfindung wird nach dem Ausbilden der Metallstrukturen gemäß **Fig.** 2b) eine Metallschicht MS2, z. B. eine Ti-Schicht, auf die Metallstrukturen und die freiliegenden Bereiche der Anpassungsschicht AS, z. B. eine Al-Schicht, ganzflächig aufgebracht. Die zwischen den Metallstrukturen angeordneten Bereiche der Metallschicht MS2 wachsen vorzugsweise, wie auch die Metallstrukturen, hochtexturiert auf.

[0060] Auf über den Anschlußflächen AF vorgesehene Kontaktstellen der Metallschicht MS2 wird ein Schutzlack SL aufgetragen, um die darunter liegende Fläche vor dem Oxidieren zu schützen.

[0061] Anschließend werden die freiliegenden Bereiche der Metallschicht MS2 z. B. durch anodische Oxidation in eine elektrisch isolierende Schutzschicht SS überführt, wobei die anodische Oxidation so lange durchgeführt wird, bis auch die Anpassungsschicht AS in den von den Metallstrukturen nicht überdeckten Bereichen ASI, falls nicht bereits erfolgt, vollständig durch oxidiert und dadurch elektrisch isolierend wird, siehe **Fig.** 2c).

[0062] Anschließend wird der Schutzlack SL entfernt, wobei die beim Oxidieren ausgesparten Kontaktstellen freigelegt werden.

[0063] Alternativ dazu ist es möglich, die Metallschicht MS2 ohne Aussparungen vollständig zu oxidieren und die Anschlußflächen AF der Anschlüsse erst nach der Oxidation durch ein phototechnisches Verfahren und Ätzen der Oxidationsschicht freizulegen.

[0064] **Fig.** 3 zeigt eine Variante des in **Fig.** 2 beschriebenen Verfahrens. **Fig.** 3a) entspricht der **Fig.** 2a). Im Gegensatz zur **Fig.** 2 wird hier auf die Metallschicht MS2 verzichtet und die Anpassungsschicht AS wird in den freiliegenden Bereichen zusammen mit der Oberfläche der Metallstrukturen direkt dem Oxidieren ausgesetzt. Durch die Oxidation der Oberfläche der Metallstrukturen wird eine Passivierunsschicht SS1 gebildet, die zusammen mit isolierenden Bereichen AS1 der ursprünglichen Anpassungsschicht AS eine ganzflächige Schutzschicht bildet, siehe **Fig.** 3b).

[0065] Durch Ätzung der über der Anschlußfläche AF des Anschlusses angeordneten Schutzschicht SS für einen Zeitraum, der ausreichend ist, die Schichtdicke der Passivierungsschicht zu entfernen, wird die Anschlußfläche RF freigelegt, siehe **Fig.** 3c).

[0066] Neben den in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen ist es auch möglich, für einzelne Schichten andere als die angegebenen Materialien zu verwenden, die dann den eingangs in der Beschreibung erwähnten Randbedingungen genügen sollten. Möglich ist es auch, einzelne der dargestellten Schichten wegzulassen. Sämtliche Schichten sind in Dünnschichtverfahren (beispielsweise durch Sputtern, Aufdampfen oder CVD Verfahren) aufgebracht, wobei zur Strukturierung der Elektrodenstruktur ES sowohl ein Lift off Verfahren als auch ein Ätzverfahren eingesetzt werden kann. Während beim Lift off Verfahren in den Bereichen der Substratober-

fläche, die von Elektroden frei bleiben sollen, eine Opferschicht aufgebracht wird, die nach ganzflächigem Aufbringen der gewünschten Elektroden- und anderen Schichten samt darüberliegender Schichtbereiche wieder entfernt wird, werden bei der Ätztechnik zunächst sämtliche Schichten ganzflächig übereinander erzeugt und anschließend durch Ätzen strukturiert, beispielsweise mit Hilfe einer Photolackmaske.

[0067] Besonders bevorzugt wird die Erfindung bei SAW-Bauelementen, insbesondere bei SAW-Filtern eingesetzt, die hohem elektromechanischem Streß, erhöhter Materialermüdung mit den Folgen wie Kurzschlußanfälligkeit und kontinuierlicher Veränderung der Filtereigenschaften ausgesetzt sind. Mit der Erfindung wird bei diesen Bauelementen eine verbesserte Leistungsverträglichkeit erzielt, die sich in einer höheren Konstanz der Bauelementeigenschaften sowie in einer erhöhten Kurzschlußfestigkeit zeigt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementes, mit folgenden Schritten
– Erzeugen von Metallstrukturen, die Elektrodenstrukturen (ES) und elektrisch mit ihnen verbundene, jeweils eine Anschlußfläche (AF) aufweisende Anschlüsse umfassen, auf der Oberfläche eines Substrats (S),
– ganzflächiges Aufbringen einer Metallschicht (MS2) geringer Dicke < 100 nm auf die Substratoberfläche vor oder nach Erzeugen der Metallstrukturen,
– Überführen der Metallschicht (MS2) in freiliegenden Bereichen in eine elektrisch isolierende Schutzschicht (SS).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Metallstrukturen durch eine strukturierte Al-Schicht gebildet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Metallschicht (MS2) aus Al, Ti oder Mg oder aus einer mehrere dieser Metalle umfassenden Schichtenfolge gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Metallstrukturen jeweils durch eine zumindest zwei Metallagen umfassende Schichtenfolge gebildet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Metallstrukturen aus einer Schichtenfolge von Al und Cu gebildet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem als Metallschicht (MS2) ein oxidierbares Metall oder eine Schichtenfolge oxidierbarer Metalle aufgebracht wird,
bei dem zum Überführen der Metallschicht (MS2) in die Schutzschicht (SS) ein Oxidationsverfahren durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem als Oxidationsverfahren anodische oder thermische Oxidation verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Überführen der Metallschicht (MS2) in die Schutzschicht (SS) in einem Ionenbeschuß- oder Ionenimplantationsverfahren durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Anschlußflächen (AF) vor oder nach dem Überführen der Metallschicht (MS2) in die Schutzschicht (SS) freigelegt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
bei dem nach dem Aufbringen der Metallschicht (MS2) auf die über den Anschlußflächen (AF) angeordneten, als Kontaktflächen vorgesehenen Bereichen der Metallschicht (MS2) ein Schutzlack (SL) aufgetragen wird,
bei dem nach dem Überführen der Metallschicht (MS2) in die Schutzschicht (SS) der Schutzlack (SL) entfernt wird und die Kontaktflächen freigelegt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem nach dem Überführen der Metallschicht (MS2) in die Schutzschicht (SS) die über den Anschlußflächen (AF) angeordneten Bereiche der Schutzschicht (SS) durch ein Ätzverfahren entfernt und dadurch die Anschlußflächen (AF) freigelegt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem auf die Anschlußflächen (AF) zumindest eine weitere Metallschicht aufgebracht wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem vor dem Erzeugen von Metallstrukturen auf der Oberseite des Substrats (S) eine Anpassungsschicht (AS) in einer Dicke < 50 nm aufgetragen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13,
bei dem die Anpassungsschicht (AS) aus elektrisch leitendem Material ausgebildet wird,
wobei beim Überführen der Metallschicht (MS2) in die elektrisch isolierende Schutzschicht (SS) auch zwischen den Elektrodenstrukturen (ES) angeordnete Bereiche der Anpassungsschicht (AS) in eine elektrisch isolierende Modifikation überführt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem die Metallstrukturen und/oder die Metallschicht (MS2) als eine hochtexturierte Schicht ausgebildet werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
– bei dem auf die Oberseite eines Substrats (**5**) eine Anpassungsschicht (AS) der Dicke < 50 nm vor Erzeugen der Metallstrukturen ganzflächig aufgebracht wird,
– bei dem anschließend die Metallstrukturen auf der Anpassungsschicht (AS) erzeugt werden,
– bei dem ein oberflächennaher Bereich < 100 nm der Metallstrukturen und freiliegende Bereiche (AS1) der Anpassungsschicht (AS) in eine elektrisch isolierende Modifikation überführt werden und die miteinander eine ganzflächige Schutzschicht bilden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem die Anpassungsschicht (AS) aus Ti, W, einer Ti/W Legierung oder einer Schichtenfolge aus Ti und W ausgebildet wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

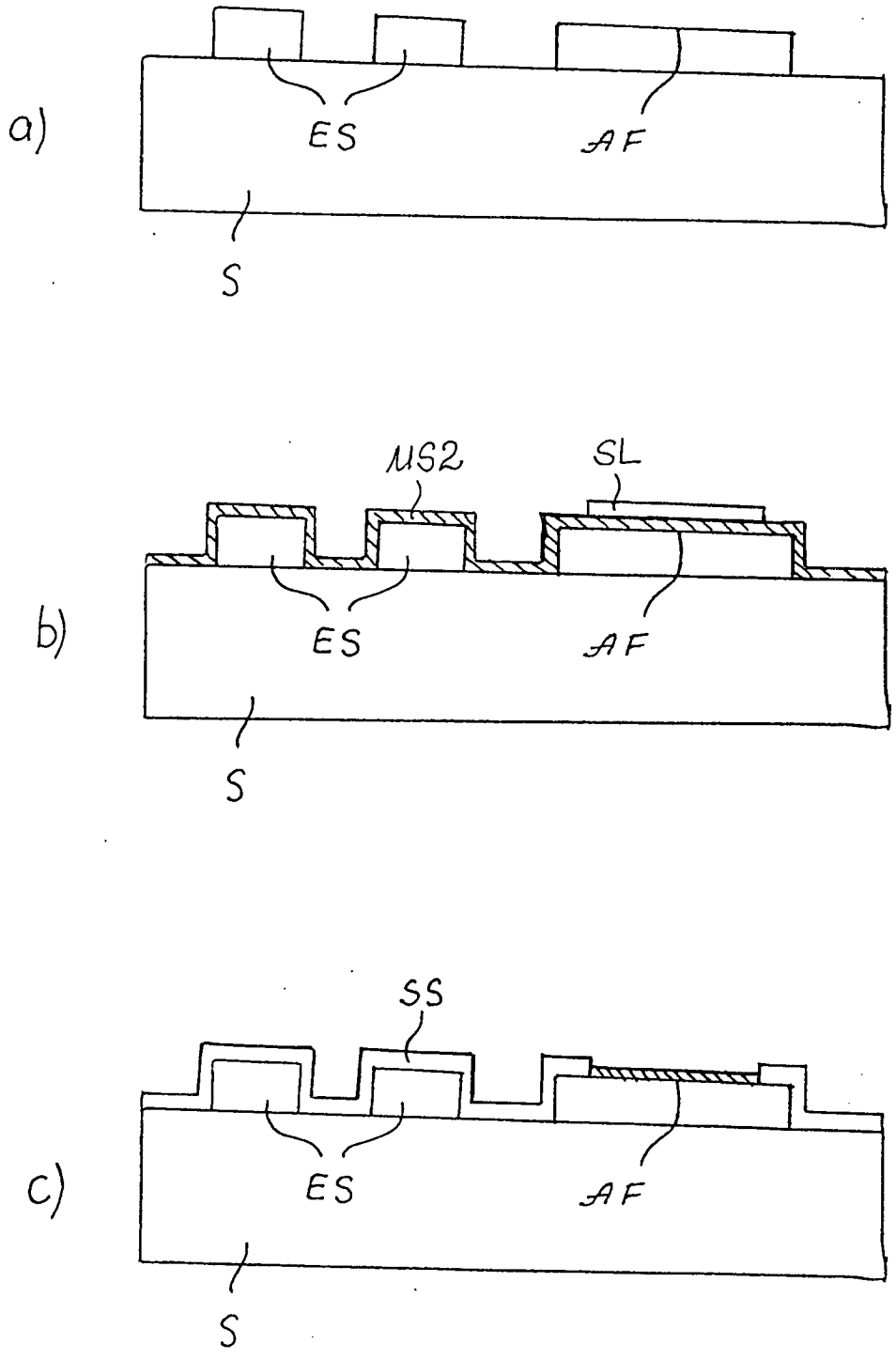


Fig. 1

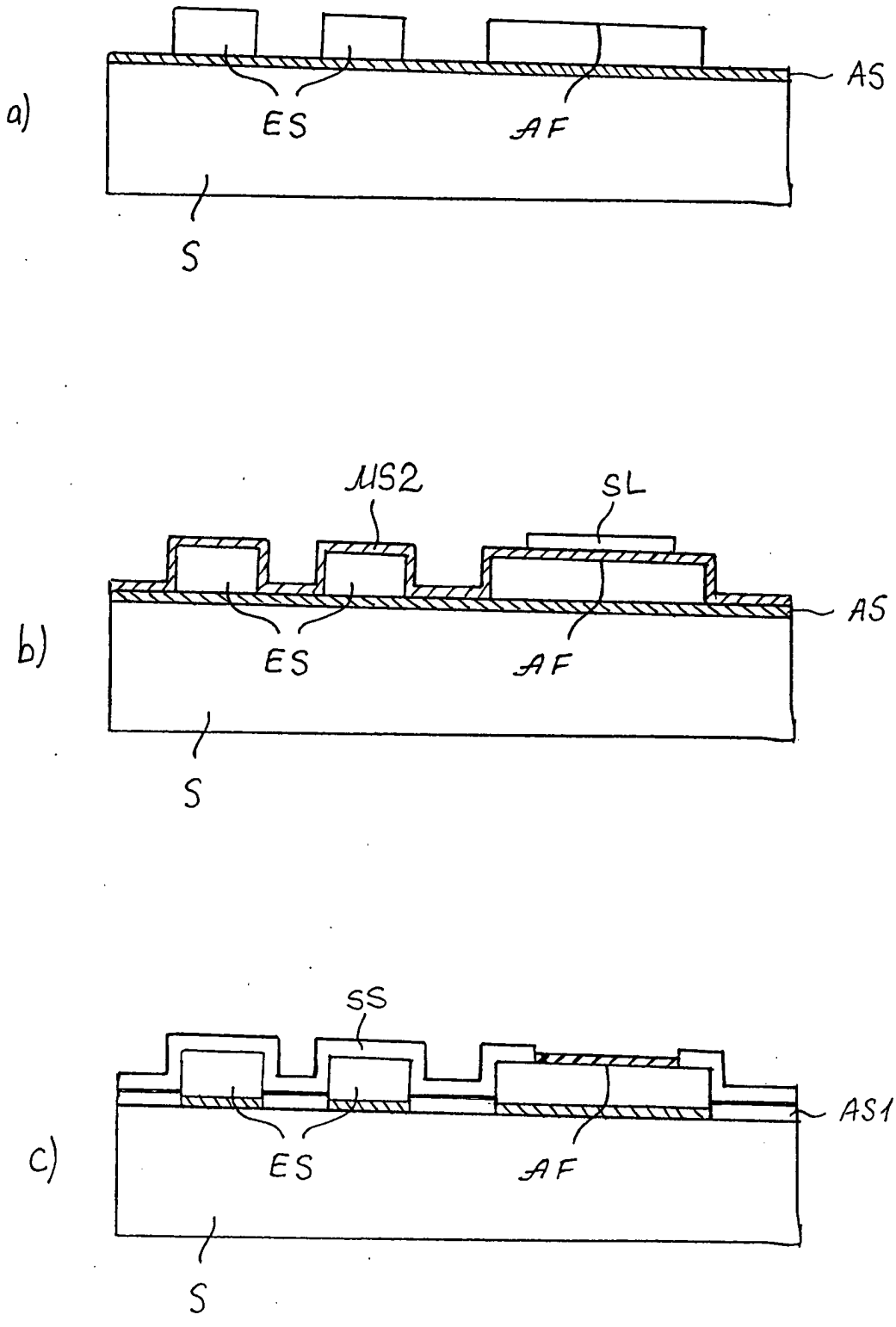


Fig. 2

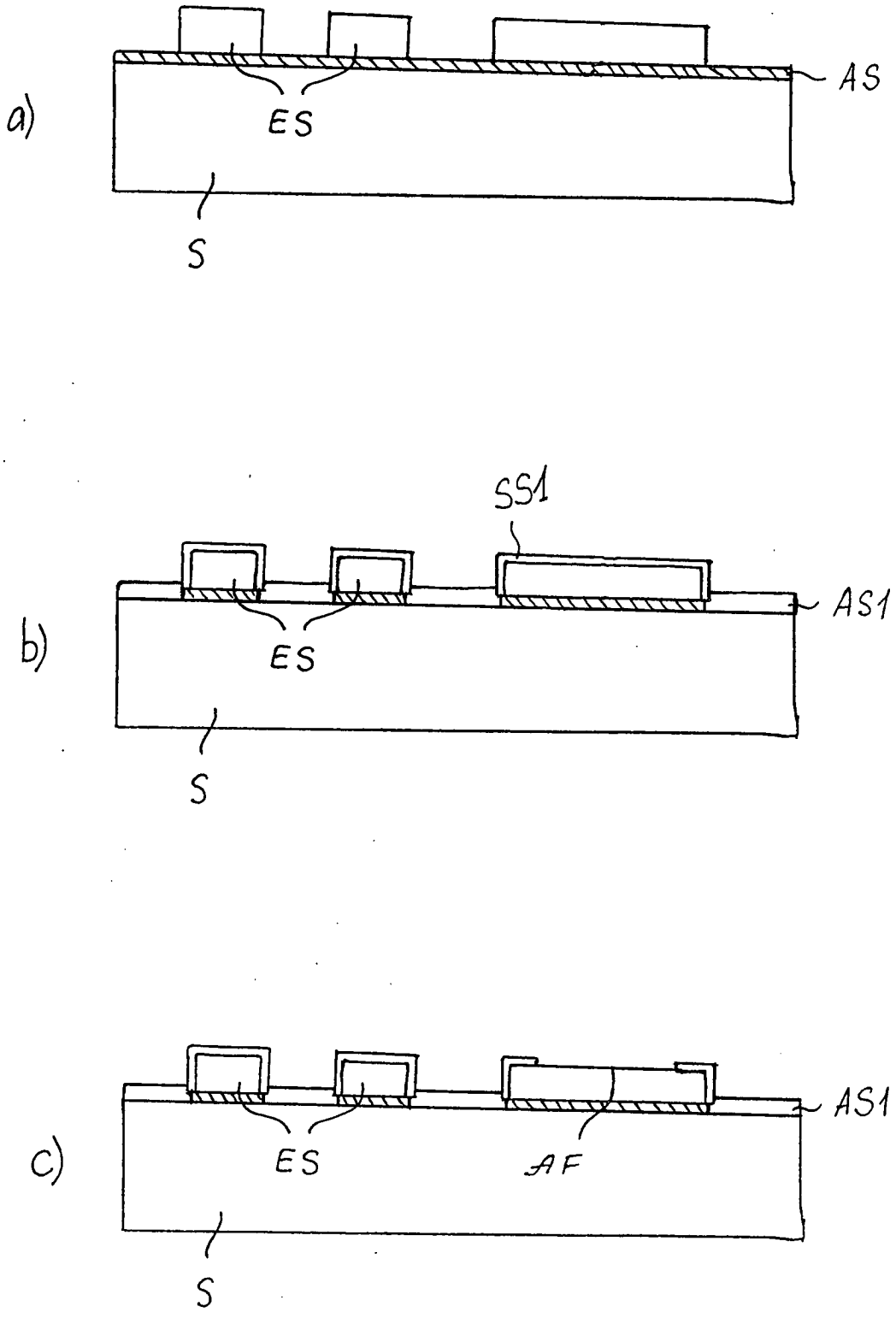


Fig. 3