



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 55 112 B4** 2006.02.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 55 112.6**
(22) Anmeldetag: **09.11.2001**
(43) Offenlegungstag: **26.06.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.02.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G03F 1/14** (2006.01)
G03F 1/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

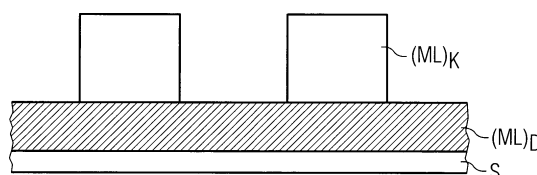
(74) Vertreter:
Wilhelm & Beck, 80636 München

(72) Erfinder:
Schwarzl, Siegfried, 85579 Neubiberg, DE; Wurm, Stefan, Dublin, Calif., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 38 56 054 T2
US 53 04 437 A

(54) Bezeichnung: **Reflexionsmaske für die EUV-Lithographie und Herstellungsverfahren dafür**

(57) Hauptanspruch: Reflexionsmaske für die Photolithographie, mit einer Mehrlagenschicht ((ML)_K) zur Reflexion eingestrahelter Strahlung mittels konstruktiver Interferenz der reflektierten Teilstrahlen und einer weiteren Mehrlagenschicht ((ML)_D), deren Periodizität (d) eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen bewirkt und die im Zusammenwirken mit der Mehrlagenschicht ((ML)_K) zur konstruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen zu einer lokalen Absorption der eingestrahelten Strahlung führt, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsmaske aus einem Substrat (S), einer unstrukturierten Mehrlagenschicht ((ML)_D) zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen auf dem Substrat (S) und einer strukturierten Mehrlagenschicht ((ML)_K) zur konstruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen auf der Mehrlagenschicht ((ML)_D) zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen besteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Reflexionsmaske für die EUV-Lithographie und ein Herstellungsverfahren dafür.

Stand der Technik

[0002] Bisher wurde zur Massenherstellung von integrierten Halbleiterschaltungen die optische Projektionslithographie mit Wellenlängen bis in den ultravioletten Bereich von ca. 200 nm sehr erfolgreich eingesetzt. Diese Lithographietechnik stößt allerdings bei Strukturabmessungen in der Größenordnung von 100 nm und weniger an ihre Grenzen; kleinere Strukturen können damit nicht mehr abgebildet werden. In der Entwicklung befinden sich jedoch bereits Schaltungen mit Strukturabmessungen zwischen 70 nm und 35 nm. Dazu müssen auch neue Lithographieverfahren entwickelt werden, die die bisherige lichtoptische Lithographietechnik ablösen.

[0003] Eines der neuen Verfahren ist die EUV-Lithographie (EUVL, Extreme Ultraviolet Lithography), die für die Projektionsabbildung der Schaltungsstrukturen Wellenlängen im Bereich der weichen Röntgenstrahlen zwischen 10 nm und 15 nm verwendet.

[0004] In gewisser Weise läßt sich die EUV-Lithographie als eine natürliche Erweiterung der lichtoptischen Projektionslithographie betrachten, da sie Strahlung mit kürzerer Wellenlänge als bisher dazu verwendet, feinere Strukturen abzubilden. Es gibt jedoch eine ganze Reihe von grundsätzlichen Unterschieden zur alten Technologie. Viele dieser Unterschiede beruhen darauf, daß sich die optischen Eigenschaften von Körpern im EUV-Bereich des elektromagnetischen Spektrums erheblich von den Eigenschaften dieser Körper im sichtbaren und UV-Bereich unterscheiden.

[0005] So wird EUV-Strahlung in vielen Materialien, auch Gasen, stark absorbiert. Anlagen zur Erzeugung von Abbildungen unter Verwendung der extremen Ultraviolettstrahlung müssen daher im Vakuum betrieben werden. Die Absorption macht auch die Verwendung von refraktiven optischen Elementen wie Linsen und Transmissionsmasken so gut wie unmöglich. Die Abbildungssysteme im EUV-Bereich müssen daher aus reflektiven Elementen aufgebaut werden. Bei senkrechtem oder nahezu senkrechtem Einfall ist jedoch auch die Reflektivität vieler Materialien für EUV-Strahlung sehr gering. Um vernünftige Reflektivitäten zu erreichen, müssen die Oberflächen der Reflektoren mit einer Vielzahl dünner Schichten versehen werden, um die sogenannte Bragg-Reflexion zu erhalten.

[0006] Die Masken für die EUV-Lithographie sind daher Reflexionsmasken mit einer Mehrlagenreflexi-

onsschicht. Die Strukturen auf einer solchen Reflexionsmaske werden durch auf die Maske gerichtete und dort selektiv reflektierte EUV-Strahlung und eine Spiegeloptik mit mehreren Spiegeln auf den Wafer abgebildet. Die Reflektivität der Maske muß selbstverständlich sehr genau auf das verwendete Abbildungssystem abgestimmt sein.

[0007] Reflexionsmasken können natürlich nicht nur bei der EUV-Lithographie Anwendung finden, sondern im Prinzip generell bei allen projektionslithographischen Verfahren.

[0008] Bisher sind zwei EUV-Maskenkonfigurationen mit den entsprechenden Herstellungsprozessen bekannt geworden:

(a) Standardmasken, bei denen eine Absorberschicht aus z.B. Cr über einer reflektierenden Mehrlagenschicht angeordnet ist und durch einen Absorber-Ätzprozeß strukturiert wird (John E. Bjorkholm, "EUV Lithography – The Successor to Optical Lithography?", Intel Technology Journal, 3rd quarter 1998); und

(b) Masken, die mit der sogenannten Damascene-Technik strukturiert werden (Pei-Yang Yan et al., "EUV Mask Patterning Approaches", SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. 1999, Bd. 3676, Teil 1–2, Seiten 309–313).

[0009] Beide Konfigurationen haben jeweils eine ganze Reihe von Nachteilen.

[0010] Die Nachteile der Konfiguration (a) sind neben Abschattungseffekten durch die strukturierten Absorber- und Pufferschichten Verzerrungen und Overlayfehler durch die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien in bzw. auf der Maske (Substrat, Mehrlagenreflexionsschicht, Pufferschicht und Absorber) aufgrund von Temperaturgradienten innerhalb der Maske und unterschiedlichen Temperaturen beim Abscheiden der Materialien, beim Strukturieren des Absorbers und beim Einsatz der fertigen Maske. Außerdem induzieren und beschleunigen die thermischen Spannungen Strukturveränderungen wie Rekristallisation und Diffusion in der Mehrlagenreflexionsschicht, wodurch sich die Reflektivität der Mehrlagenschicht lokal und global verändert. Das Verfahren zur Maskenstrukturierung ist bei dieser Konfiguration sehr komplex, wodurch die Maskenkosten sehr hoch sind.

[0011] Die Nachteile der Konfiguration (b) sind Abschattungseffekte wie bei (a), wenn auch in geringerem Ausmaß, und thermische Effekte wie bei (a), diese sogar erheblich verstärkt. Vor allem führt jedoch hier die Anwendung neuer, in der Maskentechnik bisher nicht üblicher Verfahren wie die hochkonformen CVD-Prozesse für die Absorberabscheidung und dem chemisch-mechanischen Polieren (CMP) der Damascene-Technik zu Problemen wie dem Erzeu-

gen von Defekten in der Mehrlagenreflexionsschicht durch das CMP und einer problematischen Defektrepatur nach dem CMP-Schritt. Auch hier ist wieder die Maske sehr komplex aufgebaut und damit sehr teuer.

[0012] Die DE 38 56 054 T2 beschreibt eine Reflexionsmaske für die Herstellung von Halbleitervorrichtungen, die für weiche Röntgenstrahlung mit Wellenlängen im Bereich von 0,5 nm bis 30 nm geeignet ist (Seite 1, Zeilen 13 bis 20). Auf einem nicht-reflektierenden flachen Substrat **1** ist ein Reflexionsbereich **10** aus einer Mehrzahl von Schichten **2, 4** eines ersten Typs und einer Mehrzahl von Schichten **3, 5** eines zweiten Typs angeordnet (Fig. 4 und Seite 12, Zeilen 9 bis 21). Auf dem Reflexionsbereich **10** ist ein nicht-reflektierender Bereich D aus alternierend aufgebrauchten Schichten aus verschiedenen Materialien angeordnet (Seite 13, Zeilen 8 bis 11). Der nicht-reflektierende Bereich D wurde auf einem PMMA-Resistmuster und mittels eines Lift-Off-Schrittes lateral strukturiert (Seite 15, Zeilen 12 bis 25).

[0013] Die US 5,304,437 A beschreibt eine Maske für eine Röntgenstrukturierung. Auf einer zunächst lateral unstrukturierten Absorberschicht **16** wird eine Resiststruktur **18** erzeugt, die als Ätzmaske zur Strukturierung der Absorberschicht **16** verwendet wird (Fig. 2 bis 5, Spalte 5, Zeile 51 bis Spalte 6, Zeile 38).

Aufgabenstellung

[0014] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine verbessert auch und besonders für die EUV-Lithographie geeignete Maske und ein Herstellungsverfahren dafür zu schaffen.

[0015] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit der im Patentanspruch 1 beschriebenen Reflexionsmaske bzw. dem im Patentanspruch 4 beschriebenen Herstellungsverfahren für eine solche Maske gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angeführt.

[0016] Die erfindungsgemäße Reflexionsmaske weist damit nicht nur eine Mehrlagen-Reflexionsschicht zur Reflexion eingestrahelter Strahlung mittels konstruktiver Interferenz der reflektierten Teilstrahlen, sondern darüber hinaus eine weitere Mehrlagenschicht auf, die im Prinzip der Mehrlagen-Reflexionsschicht entspricht, deren Periodizität jedoch keine konstruktive, sondern eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen bewirkt und die die Funktion des Absorbers ausübt. Eine der beiden Mehrlagenschichten ist entsprechend der abzubildenden bzw. auf den Halbleiterwafer zu übertragenden Struktur strukturiert, so dass im Zusammenwirken der beiden Mehrlagenschichten, der konstruktiven und der destruktiven, die gewünschte lokale Absorption der auf

die Maske eingestrahelten Strahlung erhalten wird.

[0017] Die Mehrlagen-Reflexionsschicht oder Mehrlagenschicht zur Reflexion eingestrahelter Strahlung mittels konstruktiver Interferenz der reflektierten Teilstrahlen wird hier auch verkürzt konstruktive Mehrlagenschicht genannt und die Mehrlagenschicht zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen destruktive Mehrlagenschicht.

[0018] Beide Arten von Mehrlagenschichten lassen sich mit derselben Methode kontinuierlich abscheiden, zum Beispiel durch Sputtern mit unterschiedlichen Sputterzeiten oder verschiedenen Substratgeschwindigkeiten.

[0019] Als Absorberschichten werden bei der vorliegenden Erfindung demnach Mehrlagenschichten verwendet, die hinsichtlich der verwendeten Materialien und deren Abscheidung identisch mit den Materialien und den Abscheideverfahren für die konventionellen Mehrlagen-Reflexionsschichten sind. Es werden lediglich durch eine geeignete Wahl der Dicke der Doppelschichten, aus denen die Mehrlagenschichten bestehen, das heißt der Periodizität der Mehrlagenschichten, diese Mehrlagenschichten als reflektierende oder als absorbierende Schichten ausgebildet.

[0020] In den absorbierenden Mehrlagenschichten wird die Periodizität so gewählt, dass die reflektierte Strahlung durch destruktive Interferenz geschwächt oder ausgelöscht wird. Die Dicke d der einzelnen Doppelschichten oder deren Periodizität muss dazu für senkrechten Lichteinfall ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda/4$ sein. Für schrägen Lichteinfall (Einfallswinkel $\delta > 0$) muss gelten: $d = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \cdot \cos\delta$ ($n = 0, 1, 2, 3 \dots$).

[0021] Für eine konstruktive Interferenz der reflektierten Strahlen beträgt die Periodizität dagegen ein ganzzahliges Vielfaches von $\lambda/2$ bzw. $\lambda/2 \cdot \cos\delta$, das heißt es ist $d = n \cdot \lambda/2 \cdot \cos\delta$ mit $n = 1, 2, 3$ usw.

[0022] Bereits für 16 Doppellagen mit Auslöschungsbedingung ($d = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \cdot \cos\delta$ ($n = 0, 1, 2, 3 \dots$)) lassen sich unter Berücksichtigung der Phasenlage der Teilstrahlen reflektierte und transmittierte Intensitäten kleiner 1% erhalten.

[0023] Um die reflektierte Strahlungsintensität zu minimieren, müssen nicht notwendigerweise alle Doppelschichten der destruktiven Mehrlagenschicht eine Dicke $d = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \cdot \cos\delta$ ($n = 0, 1, 2, 3 \dots$) haben, es genügt, wenn die 1., 3., 5. usw. Doppelschicht, von oben gezählt, diese Dicke aufweist, damit die Teilstrahlen **1** und **2, 3** und **4, 5** und **6** usw. zueinander gegenphasig sind und sich kompensieren.

[0024] Die Vorteile der Erfindung liegen zum einen darin, dass kein besonderes Absorbermaterial erfor-

derlich ist und damit kein separater Abscheideprozeß mit eigener Anlage dafür. Die Gefahr von Fehlern wie Fremdpartikeln auf den Masken verringert sich, da kein Anlagenwechsel etc. anfällt. Die Abscheidung der konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten erfolgt in einem kontinuierlichen Abscheideprozeß, wobei die Umstellung von konstruktiv zu destruktiv und umgekehrt sehr einfach durchzuführen ist. Die erreichte Absorptivität ist sehr gut (Restreflektivität kleiner 1%). Durch die Einsparung von Zeit, Material und Ausrüstung verringern sich die Kosten für die Masken erheblich.

[0025] Außerdem sind bei der erfindungsgemäßen Reflexionsmaske für die EUV-Lithographie die Intensitätsverluste durch Schattenwirkung wegen der positiven Auswirkungen des seitlich austretenden Streulichts, der "leaky waves", an den Schattenseiten der obenauf liegenden, strukturierten Mehrlagenschicht gering.

[0026] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0027] **Fig. 1** das Schema der Bragg-Reflexion an einer Mehrlagenschicht;

[0028] **Fig. 2** eine Darstellung zur Ableitung der rekursiven Gleichungen für die reflektierten und transmittierten Feldstärken für eine aus zwei Doppellagen bestehende Mehrlagenschicht;

[0029] **Fig. 3** eine Darstellung zur Ableitung der rekursiven Gleichungen für die reflektierten und transmittierten Feldstärken für eine aus drei Doppellagen bestehende Mehrlagenschicht;

[0030] **Fig. 4** eine Darstellung zur Ableitung der rekursiven Gleichungen für die reflektierten und transmittierten Feldstärken für eine aus n Doppellagen bestehende Mehrlagenschicht;

[0031] **Fig. 5(a) bis 5(c)** schematische Querschnitte durch eine herkömmliche Maske für die EUV-Lithographie in verschiedenen Herstellungsstadien, wobei die Maske aus einer unstrukturierten konstruktiven Mehrlagenschicht und einer strukturierten destruktiven Mehrlagenschicht besteht;

[0032] **Fig. 6(a) bis 6(e)** schematische Querschnitte durch eine herkömmliche Maske für die EUV-Lithographie in verschiedenen Herstellungsstadien, wobei die Maske eine unstrukturierte konstruktive Mehrlagenschicht, eine strukturierte destruktive Mehrlagenschicht und eine oder zwei strukturierte Hilfsschichten umfaßt;

[0033] **Fig. 7(a) bis 7(c)** schematische Querschnitte durch eine Maske für die EUV-Lithographie in ver-

schiedenen Herstellungsstadien, wobei die Maske aus einer unteren, unstrukturierten destruktiven Mehrlagenschicht und einer oberen, strukturierten konstruktiven Mehrlagenschicht besteht; und

[0034] **Fig. 8(a) bis 8(f)** schematische Querschnitte durch eine Maske für die EUV-Lithographie in verschiedenen Herstellungsstadien bei einem der **Fig. 6(a) bis 6(e)** entsprechenden Herstellungsprozeß, wobei jedoch die Reihenfolge der konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten vertauscht ist.

[0035] Die **Fig. 1** der Zeichnungen zeigt schematisch einen Strahl L , der unter dem Einfallswinkel δ auf eine Mehrlagenschicht (**ML**) **10** einfällt. Die Mehrlagenschicht **10** besteht aus einer Vielzahl von abwechselnden Einzellagen **12**, **14** aus Materialien mit unterschiedlichen optischen Konstanten im EUV-Bereich. Jeweils eine Einzellage **12** aus dem einen Material und die darauffolgende Einzellage **14** aus dem anderen Material ergeben eine Doppelschicht **16**. In Abhängigkeit von der Dicke d der einzelnen Doppelschichten **16**, das heißt von der Periodizität d der Doppelschichten zeigt die aus vielen solcher Doppelschichten bestehende Mehrlagenschicht hinsichtlich der eingestrahlt Strahlung ein konstruktives oder destruktives Resonanzverhalten. Dieses Resonanzverhalten ist als Bragg-Reflexion bekannt.

[0036] Die abwechselnden Einzellagen **12**, **14** der Doppelschichten **16** eines EUV-Mehrlagenreflektors bestehen zum Beispiel aus den Materialien Si und Mo. Solche Lagen lassen sich für Wellenlängen zwischen 10 und 15 nm gut optimieren.

[0037] Die Dicke d der Doppelschichten **16**, das heißt die Periodizität d der aus vielen solchen Doppelschichten **16** bestehenden Mehrlagenschicht **10**, muss für eine konstruktive Interferenz der an den einzelnen Doppelschichten **16** der Mehrlagenschicht **10** reflektierten Teilstrahlen **1**, **2**, **3**, **4**, **5** ... die Bedingung $d = n \cdot \lambda / 2 \cdot \cos \delta$ mit $n = 1, 2, 3 \dots$ erfüllen, damit die Phasendifferenzen der Teilstrahlen ein ganzzahliges Vielfaches von 2π bzw. deren Gangunterschiede Δ gleich einem ganzzahligen Vielfache von λ sind, das heißt dass $\Delta = n \cdot 2d / \cos \delta = n \lambda$ ($n = 1, 2, 3 \dots$) ist. δ ist der Einfallswinkel des einfallenden Strahls L .

[0038] Wenn die Periodizität d der Mehrlagenschicht ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda / 4 \cdot \cos \delta$ ist, das heißt wenn die Dicke oder Periodizität d der Doppelschichten **16** die Bedingung $d = (2n + 1) \cdot \lambda / 4 \cdot \cos \delta$ erfüllt mit $n = 0, 1, 2, 3 \dots$, sind die Teilstrahlen **1** und **2** (und die Teilstrahlen **3** und **4**, **5** und **6** usw.) mit einer Phasenverschiebung π in Gegenphase und löschen sich nahezu aus, da der Gangunterschied Δ zwischen diesen Teilstrahlen ein ungeradzahliges Vielfaches von $\lambda / 2$ ist ($\Delta = 2d / \cos \delta = (2n + 1) \lambda / 2$), ihre Amplituden aber etwas verschieden sind.

[0039] Für diese destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen müssen nicht notwendigerweise alle Doppellagen **16** eine Dicke $d = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \cdot \cos\delta$ haben, es genügt, wenn die 1., 3., 5. usw. Doppelschicht **16**, von oben gezählt, diese Dicke aufweist, damit die Teilstrahlen **1** und **2**, **3** und **4**, **5** und **6** usw. zueinander gegenphasig sind.

[0040] Anhand der [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) erfolgt nun eine Erläuterung der Ableitung der rekursiven Gleichungen für die reflektierten Feldstärken R und die einfallenden bzw. transmittierten Feldstärken E für eine aus zwei ([Fig. 2](#)), drei ([Fig. 3](#)) oder n ([Fig. 4](#)) Doppelschichten **16** bestehende Mehrlagenschicht.

[0041] Der erste Index zweifach indizierter Größen bezieht sich dabei auf die Nummer m der Doppelschicht und der zweite Index auf die Gesamtzahl der Doppelschichten. Die Größen r_m und t_m geben die für alle Doppelschichten dem Betrag nach als identisch angenommenen, auf die Feldstärke bezogenen Reflektivitäten bzw. Transmissivitäten an ($|r_m| = r$, $|t_m| = t$). Zu beachten sind die Vorzeichen von r_m und t_m , die sich aus der Stetigkeitsbedingung der Tangentialfeldstärkekomponenten an den Grenzflächen ergeben.

[0042] Mit der Absorptivität a_m gilt für die folgenden Betrachtungen generell:

$$|r_m| + |t_m| + |a_m| = 1$$

$$\begin{aligned} |r_m| &< 1 \\ |t_m| &> 1 \end{aligned}$$

[0043] Durch die Wahl des Schichtdickenverhältnisses der Einzellagen **12**, **14** in einer Doppelschicht **16** können die Reflektivität r, die Transmissivität t und die Absorptivität a in weiten Bereichen variiert werden.

[0044] Für die transmittierten Feldstärken E und die reflektierten Feldstärken R ergeben sich für den Fall der [Fig. 2](#) von zwei Doppelschichten folgende Beziehungen:

$$R_{1,2} = E_{1,2}r_1 + R_{2,2}t_1 \quad (1)$$

$$E_{2,2} = E_{1,2}t_1 + R_{2,2}r_1 \quad (2)$$

$$R_{2,2} = E_{2,2}r_2 \quad (3)$$

$$E_{3,2} = E_{2,2}t_2 \quad (4).$$

[0045] Aus der Verbindung der Gleichungen (2) und (3) bzw. der Gleichungen (5) und (3) folgt

$$E_{2,2} = E_{1,2}t_1/(1-r_1r_2) \quad (5)$$

$$R_{2,2} = E_{1,2}t_1r_2/(1-r_1r_2) \quad (6).$$

[0046] Aus (6) und (1) bzw. (5) und (4) ergibt sich

dann

$$R_{1,2}/E_{1,2} \equiv r_{1,2} = r_1 + t_1^2r_2/(1-r_1r_2) \quad (7)$$

$$E_{3,2}/E_{1,2} \equiv t_{1,2} = t_1t_2/(1-r_1r_2) \quad (8).$$

[0047] Für den Fall der [Fig. 3](#) von drei Doppelschichten folgt mit den Zuordnungen $E_{1,2} \leftrightarrow E_{1,3}$, $R_{1,2} \leftrightarrow R_{1,3}$, $E_{2,2} \leftrightarrow E_{3,3}$, $R_{2,2} \leftrightarrow R_{3,3}$, $E_{3,2} \leftrightarrow E_{4,3}$, $r_{1,1} = r_1 = r \leftrightarrow r_{1,2}$, $t_{1,1} = t_1 = t \leftrightarrow t_{1,2}$, $r_2 \leftrightarrow r_3$, $t_2 \leftrightarrow t_3$, $r_{1,2} \leftrightarrow r_{1,3}$ und $t_{1,2} \leftrightarrow t_{1,3}$ aus den obigen Gleichungen (1) bis (4):

$$R_{1,3} = E_{1,3}r_{1,2} + R_{3,3}t_{1,2} \quad (1')$$

$$E_{3,3} = E_{1,3}t_{1,2} + R_{3,3}r_{1,2} \quad (2')$$

$$R_{3,3} = E_{3,3}r_3 \quad (3')$$

$$E_{4,3} = E_{3,3}t_3 \quad (4')$$

[0048] Aus den Gleichungen (7) und (8) werden die folgenden Gleichungen (9) und (10):

$$R_{1,3}/E_{1,3} \equiv r_{1,3} = r_{1,2} + t_{1,2}^2r_3/(1-r_{1,2}r_3) \quad (9)$$

$$E_{4,3}/E_{1,3} \equiv t_{1,3} = t_{1,2}t_3/(1-r_{1,2}r_3) \quad (10).$$

[0049] Beim Übergang zu n Doppelschichten ([Fig. 4](#)) folgt mit den Zuordnungen $E_{1,2} \leftrightarrow E_{1,n}$, $R_{1,2} \leftrightarrow R_{1,n}$, $E_{2,2} \leftrightarrow E_{n,n}$, $R_{2,2} \leftrightarrow R_{n,n}$, $E_{3,2} \leftrightarrow E_{n+1,n}$, $r_{1,1} = r_1 = r \leftrightarrow r_{1,n-1}$, $t_{1,1} = t_1 = t \leftrightarrow t_{1,n-1}$, $r_2 \leftrightarrow r_n = r$, $t_2 \leftrightarrow t_n = t$, $r_{1,2} \leftrightarrow r_{1,n}$ und $t_{1,2} \leftrightarrow t_{1,n}$ aus den Gleichungen (1) bis (4):

$$R_{1,n} = E_{1,n}r_{1,n-1} + R_{n,n}t_{1,n-1} \quad (1'')$$

$$E_{n,n} = E_{1,n}t_{1,n-1} + R_{n,n}r_{1,n-1} \quad (2'')$$

$$R_{n,n} = E_{n,n}r_n \quad (3'')$$

$$E_{n+1,n} = E_{n,n}t_n \quad (4'')$$

und daraus

$$R_{1,n}/E_{1,n} \equiv r_{1,n} = r_{1,n-1} + t_{1,n-1}^2r_n/(1-r_{1,n-1}r_n) \quad (11)$$

$$E_{n+1,n}/E_{1,n} \equiv t_{1,n} = t_{1,n-1}t_n/(1-r_{1,n-1}r_n) \quad (12).$$

[0050] Um die entsprechenden Intensitäten zu erhalten, sind die Ausdrücke (7), (8), (9), (10), (11), (12) für die Feldstärken zu quadrieren.

[0051] Setzt man $t_m = te^{-im\pi/2}$, so wird die einer Weglänge von $\lambda/4$ entsprechende Phasenverschiebung von -90° berücksichtigt. Eine zweimalige (oder sechsmalige usw.) Anwendung von t_m ergibt Gegenphasigkeit (-180° , -540° usw.).

[0052] Aus der Gleichung (7) folgt zum Beispiel für die Reflektivität an zwei Doppelschichten mit der Auslöschungsbedingung $d = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \cdot \cos\delta$ ($n = 0$,

1, 2, 3 ...), dass $r_{1,2} = r - t^2r/(1 - r^2)$ ist. Bei hoher Transparenz der Doppelschichten ($t \approx r$) ergibt sich $r_{1,2} \approx 0$, das heißt das Schichtsystem hat eine verschwindend kleine Reflektivität. Durch wiederholte Anwendung der Rekursionsformeln (11) und (12) folgt, dass für weite Wertebereiche der Parameter r , t und a bereits ab **10** bis **16** Doppellagen reflektierte und transmittierte Intensitäten kleiner als 10 % erreicht werden.

[0053] Die **Fig. 5(a)** bis **5(c)** zeigen schematisch Querschnitte durch eine herkömmliche Maske für die EUV-Lithographie (EUVL) mit konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten in verschiedenen Herstellungsstadien. Bei dieser herkömmlichen Ausführungsform einer EUVL-Maske befindet sich über einer unstrukturierten Mehrlagenschicht ($ML)_K$ für eine konstruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen eine strukturierte Mehrlagenschicht ($ML)_D$ für eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen, die lokal die Funktion einer Absorberschicht ausübt.

[0054] Zur Herstellung einer solchen Maske werden nacheinander auf einem Substrat S die beiden Mehrlagenschichten ($ML)_K$ und ($ML)_D$ abgeschieden. Wie weiter oben erwähnt, unterscheiden sich diese beiden Schichtarten nur in der Periodizität d der aufeinanderfolgenden Doppelschichten. Die Mehrlagenschichten ($ML)_K$ und ($ML)_D$ bestehen somit beide zum Beispiel jeweils aus einer Abfolge von Mo/Si-Doppelschichten, die kontinuierlich nacheinander aufgebracht werden.

[0055] Zur Erzeugung des Maskenblanks der **Fig. 5(a)** wird auf das Substrat S , das zum Beispiel aus Quarz oder einem anderen Material mit niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten besteht, durch Sputtern zuerst die konstruktive Mehrlagenschicht ($ML)_K$ und dann die destruktive Mehrlagenschicht ($ML)_D$ abgeschieden. Die Periodizität d erfüllt dabei die anhand der **Fig. 1** erläuterte Bedingung für eine konstruktive bzw. destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen. Die konstruktive Mehrlagenschicht ($ML)_K$ besteht zum Beispiel wie üblich aus etwa 40 Mo/Si-Doppelschichten von je 6,8 nm Dicke entsprechend der halben Wellenlänge der verwendeten EUV-Strahlung. Die Gesamtdicke der destruktiven Mehrlagenschicht ($ML)_D$ ist einerseits möglichst klein, um Abschattungseffekte gering zu halten, andererseits ist sowohl die Gesamtdicke der destruktiven Mehrlagenschicht ($ML)_D$, das heißt die Anzahl der Mo/Si-Doppelschichten, wie auch die Dicke der Mo- und Si-Einzellagen hinsichtlich einer minimalen Intensität der reflektierten Strahlung optimiert.

[0056] Auf die obere, destruktive Mehrlagenschicht ($ML)_D$ wird dann Photolack aufgebracht und mittels Elektronenstrahlithographie eine Photolackstruktur P ausgebildet (**Fig. 5(b)**).

[0057] Durch anisotropes Plasmaätzen (zum Bei-

spiel mit RIE, MERIE, ICP unter Verwendung von F- oder Cl-haltigen Ätzgasen wie CF_4 , CF_4/O_2 , SF_6 , Cl_2 , Cl_2/O_2 , BCl_3/Cl_2) wird die obere, destruktive Mehrlagenschicht ($ML)_D$ mit der Photolackstruktur P als Ätzmaske strukturiert. Der Endpunkt des möglichst homogenen Ätzprozesses kann interferometrisch durch eine in-situ-Messung der Reflektivität bei 13,5 nm oder emissionsspektroskopisch durch Detektion der Anzahl der geätzten Doppelschichten der Mehrlagenschicht ($ML)_D$, deren Gesamtzahl bekannt ist, während der Ätzung festgestellt werden.

[0058] Nach Entfernen der Photolackstruktur P ergibt sich die in der **Fig. 5(c)** dargestellte EUVL-Maske, bei der auf der unteren, unstrukturierten Mehrlagenschicht ($ML)_K$, deren Periodizität d die Bedingung $d = n \cdot \lambda / 2 \cdot \cos \delta$ mit $n = 1, 2, 3 \dots$ für eine konstruktive Interferenz der an den einzelnen Doppelschichten reflektierten Teilstrahlen erfüllt, die strukturierte Mehrlagenschicht ($ML)_D$ liegt, deren Periodizität d die Bedingung $d = (2n + 1) \cdot \lambda / 4 \cdot \cos \delta$ mit $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ für eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen erfüllt und die damit lokal die reflektierten Strahlen nahezu auslöscht.

[0059] Die **Fig. 6(a)** bis **6(e)** zeigen schematisch Querschnitte durch eine weitere herkömmliche Maske für die EUV-Lithographie mit konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten ($ML)_K$, ($ML)_D$ in verschiedenen Herstellungsstadien. Diese weitere Ausführungsform einer EUVL-Maske entspricht der anhand der **Fig. 5(a)** bis **5(c)** beschriebenen Ausführungsform, wobei jedoch bei der vorliegenden Ausführungsform eine oder zwei zusätzliche Pufferschichten zur Endpunkterkennung und/oder Defektreparatur vorgesehen sind.

[0060] Zur Herstellung des Maskenblanks der **Fig. 6(a)** wird auf das Substrat S aus zum Beispiel Quarz durch Sputtern zuerst die konstruktive Mehrlagenschicht ($ML)_K$, darauf eine erste Pufferschicht $B1$ aus zum Beispiel 50 nm SiO_2 , darauf die destruktive Mehrlagenschicht ($ML)_D$ und darauf wiederum eine zweite Pufferschicht $B2$ abgeschieden. Die zweite Pufferschicht $B2$ kann zum Beispiel aus 50 nm Si_3N_4 , CVD-C, einem Polymer, einer metallischen Hartmaske aus Ti, Ta, TiN, TaN, Al, W usw. bestehen.

[0061] Für die Periodizität und die Zusammensetzung der konstruktiven und der destruktiven Mehrlagenschichten ($ML)_K$ und ($ML)_D$ gelten wieder die oben genannten Bedingungen.

[0062] Wie in der **Fig. 6(b)** gezeigt, wird dann auf die obenliegende Pufferschicht $B2$ Photolack aufgebracht und mittels Elektronenstrahlithographie eine Photolackstruktur P ausgebildet.

[0063] Durch anisotropes und selektives Plasmaätzen zum Beispiel mit RIE, MERIE, ICP unter Verwen-

derung von materialabhängigen Ätzgasen/Ätzgasgemischen wird anschließend die Photolackstruktur P in die Pufferschicht B2 übertragen. Danach wird der Photolack der Photolackstruktur P nasschemisch und/oder im Plasma wieder entfernt, so dass sich die in der Fig. 6(c) gezeigte Anordnung mit der strukturierten Pufferschicht B2 über der destruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_D$ ergibt.

[0064] Daraufhin wird die destruktive Mehrlagenschicht $(ML)_D$ mittels reaktivem Ionenätzen (RIE) oder dergleichen und unter Verwendung der strukturierten Pufferschicht B2 als Ätzmaske anisotrop und selektiv zur Pufferschicht B1 geätzt, wobei als Ätzgase zum Beispiel CF_4 , CF_4/O_2 , SF_6 , Cl_2 , Cl_2/O_2 , BCl_3/Cl_2 dienen können.

[0065] Anschließend wird die zwischen der destruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_D$ und der konstruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_K$ liegende Pufferschicht B1 selektiv zu den Mehrlagenschichten $(ML)_D$ und $(ML)_K$ zum Beispiel nasschemisch in verdünnter HF-Säure entfernt.

[0066] Es ergibt sich damit die in der Fig. 6(d) gezeigte Struktur. Nach Entfernen der obenauf liegenden Hilfs- oder Pufferschicht B2 wird dann die in der Fig. 6(e) dargestellte EUVL-Maske erhalten, die sich durch die zwischen den beiden Mehrlagenschichten $(ML)_K$ und $(ML)_D$ liegende Hilfs- oder Pufferschicht B1 von der Maske der Fig. 5(c) unterscheidet.

[0067] Wahlweise kann bei dieser Ausführungsform auch eine der beiden Hilfs- oder Pufferschicht B1 und B2 weggelassen werden.

[0068] Die Fig. 7(a) bis 7(c) zeigen schematisch Querschnitte durch ein erstes Ausführungsbeispiel einer Maske für die EUV-Lithographie mit konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten in verschiedenen Herstellungsstadien. Dieses erste Ausführungsbeispiel einer EUVL-Maske entspricht der anhand der Fig. 5(a) bis 5(c) beschriebenen herkömmlichen Ausführungsform, wobei bei dem vorliegenden ersten Ausführungsbeispiel jedoch die Reihenfolge der Mehrlagenschichten $(ML)_K$ und $(ML)_D$ vertauscht ist. Es befindet sich somit über einer unstrukturierten Mehrlagenschicht $(ML)_D$ für eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen eine strukturierte Mehrlagenschicht $(ML)_K$ für eine konstruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen. Die auf die Maske eingestrahlte Strahlung wird damit nur dort reflektiert, wo sich lokal die konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ befindet.

[0069] Zur Erzeugung des Maskenblanks der Fig. 7(a) wird auf das Substrat S aus zum Beispiel Quarz durch Sputtern zuerst die destruktive Mehrlagenschicht $(ML)_D$ und dann darauf die konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ abgeschieden. Auf die oben-

liegende konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ wird dann Photolack aufgebracht und mittels Elektronenstrahlolithographie eine Photolackstruktur P ausgebildet, wie es in der Fig. 7(b) gezeigt ist.

[0070] Durch anisotropes Plasmaätzen zum Beispiel mit RIE, MERIE, ICP unter Verwendung von F- oder Cl-haltigen Ätzgasen wie CF_4 , CF_4/O_2 , SF_6 , Cl_2 , Cl_2/O_2 , BCl_3/Cl_2 wird analog zum ersten Ausführungsbeispiel dann die obere, konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ mit der Photolackstruktur P als Ätzmaske strukturiert. Der Endpunkt des möglichst homogenen Ätzprozesses kann wieder interferometrisch durch eine in-situ-Messung der Reflektivität bei 13,5 nm oder emissionsspektroskopisch durch Detektion der Anzahl der geätzten Doppelschichten in der Mehrlagenschicht $(ML)_K$, deren Gesamtzahl bekannt ist, während der Ätzung festgestellt werden.

[0071] Nach Entfernen der Photolackstruktur P ergibt sich die in der Fig. 7(c) dargestellte EUVL-Maske, bei der auf der unteren, unstrukturierten, destruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_D$, die die Bedingung $d = (2n + 1) \cdot \lambda / 4 \cdot \cos \delta$ mit $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ für eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen erfüllt und damit dort, wo sie freiliegt, eine Reflexion der eingestrahlten Strahlung verhindert, die anisotrop strukturierte, konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ liegt, die die Bedingung $d = n \cdot \lambda / 2 \cdot \cos \delta$ mit $n = 1, 2, 3 \dots$ für eine konstruktive Interferenz der an den einzelnen Doppelschichten reflektierten Teilstrahlen erfüllt, so dass sie selektiv die eingestrahlte Strahlung zurückreflektiert.

[0072] Dieses erste Ausführungsbeispiel hat die besonderen Vorteile, dass die Abschattung minimal ist und dass geringere thermische Spannungen und Verzerrungen auftreten. Zwischen den Strukturen der konstruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_K$ können eventuelle Defekte entfernt werden.

[0073] Die Fig. 8(a) bis 8(f) zeigen schematisch Querschnitte durch ein zweites Ausführungsbeispiel für eine Maske für die EUV-Lithographie mit konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten $(ML)_K$, $(ML)_D$ und einer oder zwei zusätzlichen Pufferschichten B1, B2 zur Endpunkterkennung und/oder Defektreparatur in verschiedenen Herstellungsstadien. Dieses zweite Ausführungsbeispiel einer EUVL-Maske entspricht der anhand der Fig. 6(a) bis 6(e) beschriebenen herkömmlichen Ausführungsform, wobei jedoch bei dem vorliegenden zweiten Ausführungsbeispiel ähnlich wie beim ersten Ausführungsbeispiel die Reihenfolge der konstruktiven und destruktiven Mehrlagenschichten $(ML)_K$ und $(ML)_D$ vertauscht ist.

[0074] Zur Herstellung des Maskenblanks der Fig. 8(a) wird daher auf das Substrat S aus zum Beispiel Quarz durch Sputtern zuerst die destruktive

Mehrlagenschicht $(ML)_D$, darauf die erste Pufferschicht B1 aus zum Beispiel SiO_2 , dann darauf die konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ und schließlich darauf die zweite Pufferschicht B2 abgeschieden.

[0075] Wie in der **Fig. 8(b)** gezeigt, wird dann auf die obenliegende Pufferschicht B2 Photolack aufgebracht und mittels Elektronenstrahlithographie eine Photolackstruktur P ausgebildet.

[0076] Durch anisotropes und selektives Plasmaätzen wird anschließend die Photolackstruktur P in die Pufferschicht B2 übertragen und der Photolack der Photolackstruktur P wieder entfernt, so dass sich die in der **Fig. 8(c)** gezeigte Anordnung mit der strukturierten Pufferschicht B2 über der konstruktiven Mehrlagenschicht $(ML)_K$ ergibt.

[0077] Daraufhin wird die konstruktive Mehrlagenschicht $(ML)_K$ unter Verwendung der strukturierten Pufferschicht B2 als Ätzmaske anisotrop und selektiv zur darunterliegenden Pufferschicht B1 geätzt, so dass die in der **Fig. 8(d)** gezeigte Struktur entsteht.

[0078] Anschließend wird die Pufferschicht B1 selektiv zu den Mehrlagenschichten $(ML)_D$ und $(ML)_K$ und unter Verwendung der strukturierten Mehrlagenschicht $(ML)_D$ als Ätzmaske geätzt. Es ergibt sich damit die in der **Fig. 8(e)** gezeigte Struktur. Nach Entfernen der obenauf liegenden Pufferschicht B2 wird dann die in der **Fig. 8(f)** dargestellte EUVL-Maske erhalten.

[0079] Dieses zweite Ausführungsbeispiel hat die gleichen besonderen Vorteile wie das erste Ausführungsbeispiel, das heißt es weist eine geringe Abschattung und geringe thermische Spannungen und Verzerrungen auf. Defekte zwischen den $(ML)_K$ -Strukturen lassen sich relativ einfach beseitigen.

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| $(ML)_K$ | konstruktive Mehrlagenschicht |
| n | Anzahl der Doppelschichten |
| P | Photolackstruktur |
| r | Reflektivität |
| R | reflektierte Feldstärke |
| S | Substrat |
| t | Transmissivität |

Patentansprüche

1. Reflexionsmaske für die Photolithographie, mit einer Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ zur Reflexion eingestrahelter Strahlung mittels konstruktiver Interferenz der reflektierten Teilstrahlen und einer weiteren Mehrlagenschicht $((ML)_D)$, deren Periodizität (d) eine destruktive Interferenz der reflektierten Teilstrahlen bewirkt und die im Zusammenwirken mit der Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ zur konstruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen zu einer lokalen Absorption der eingestrahelten Strahlung führt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reflexionsmaske aus einem Substrat (S), einer unstrukturierten Mehrlagenschicht $((ML)_D)$ zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen auf dem Substrat (S) und einer strukturierten Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ zur konstruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen auf der Mehrlagenschicht $((ML)_D)$ zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen besteht.

2. Reflexionsmaske nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der unstrukturierten und der strukturierten Mehrlagenschicht $((ML)_K)$, $(ML)_D)$ eine Pufferschicht (B1) liegt.

3. Reflexionsmaske nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass auf der strukturierten Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ eine zweite strukturierte Pufferschicht (B2) liegt, die als Ätzmaske zur Strukturierung dieser Mehrlagenschicht diene und für die Defektreparatur nützlich ist.

4. Verfahren zur Herstellung einer Reflexionsmaske nach Anspruch 1, mit folgenden Schritten: Aufbringen einer ersten Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ auf ein Substrat (S); Aufbringen einer zweiten Mehrlagenschicht auf der ersten Mehrlagenschicht; Ausbilden einer Photolackstruktur (P) auf der zweiten Mehrlagenschicht; Strukturieren der zweiten Mehrlagenschicht mit der Photolackstruktur (P) als Maske; und Entfernen der Photolackstruktur (P), **dadurch gekennzeichnet**, dass die unstrukturierte erste Mehrlagenschicht eine Mehrlagenschicht $((ML)_D)$ zur destruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen und die strukturierte zweite Mehrlagenschicht eine Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ zur konstruktiven Interferenz der reflektierten Teilstrahlen ist.

Bezugszeichenliste

| | |
|-----------------------------|--|
| 1, 2, 3, 4, 5 ... | reflektierte Teilstrahlen |
| 10 | Mehrlagenschicht (ML) |
| 12, 14 | Einzellagen aus unterschiedlichem Material |
| 16 | Doppelschicht |
| δ | Einfallswinkel |
| Δ | Gangunterschied |
| λ | Wellenlänge |
| a | Absorptivität |
| B1, B2 | Pufferschichten |
| d | Dicke, Periodizität |
| E | transmittierte Feldstärke |
| L | einfallender Strahl |
| m | Nummer der Doppelschicht |
| $(ML)_D$ | destruktive Mehrlagenschicht |

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den beiden Mehrlagenschichten $((ML)_K, (ML)_D)$ eine Pufferschicht (B1) ausgebildet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Aufbringen der ersten Mehrlagenschicht $((ML)_D)$ eine erste Pufferschicht (B1) und nach dem Aufbringen der zweiten Mehrlagenschicht $((ML)_K)$ eine zweite Pufferschicht (B2) ausgebildet wird.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

FIG 1

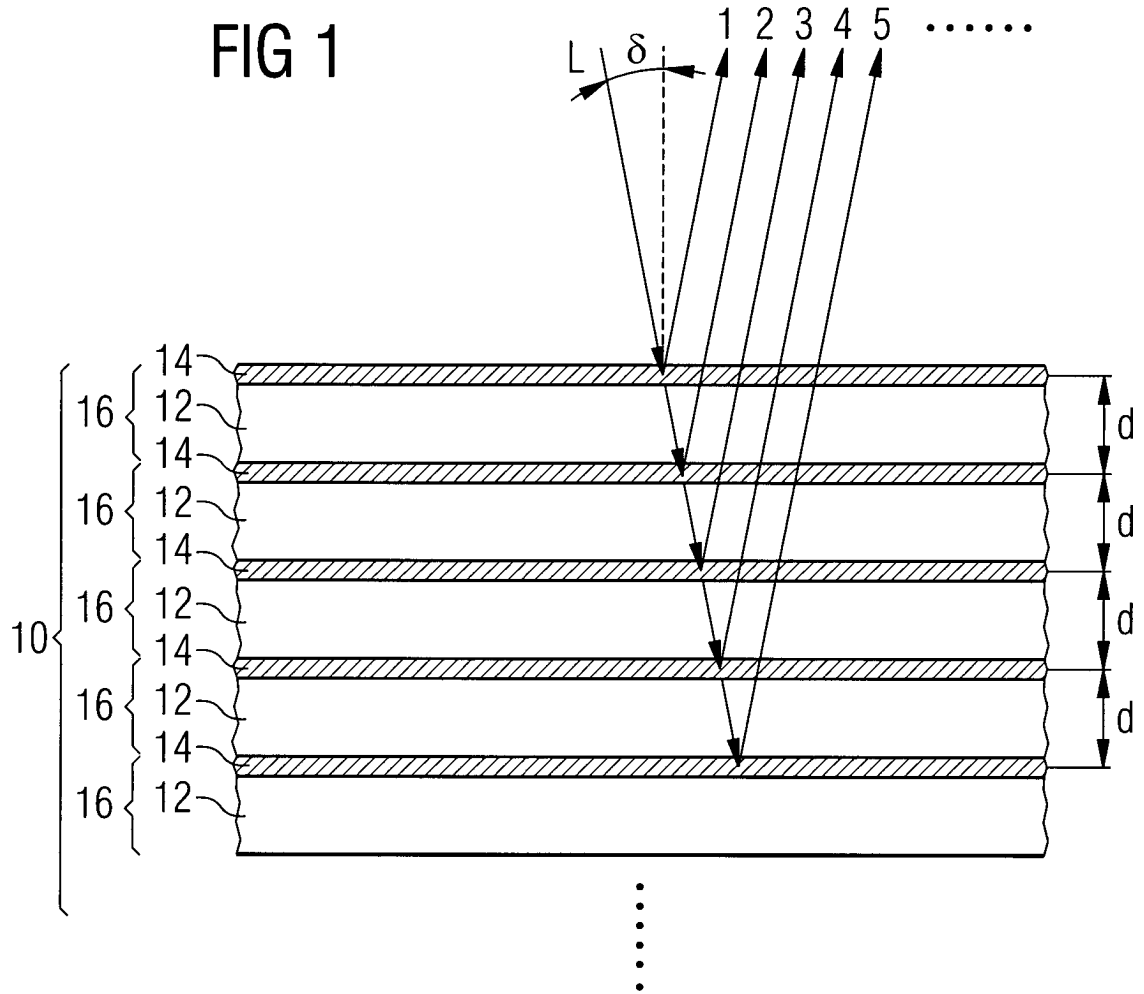


FIG 2

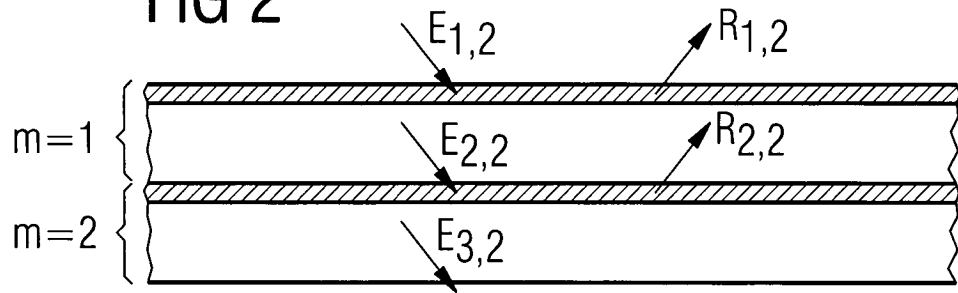


FIG 3

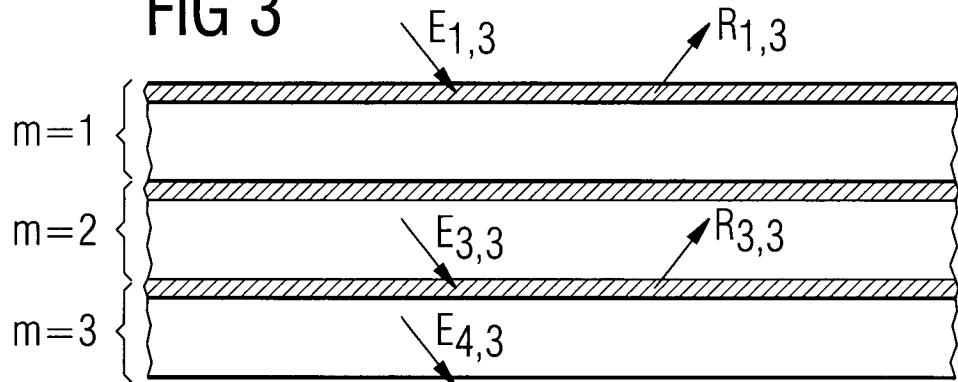


FIG 4

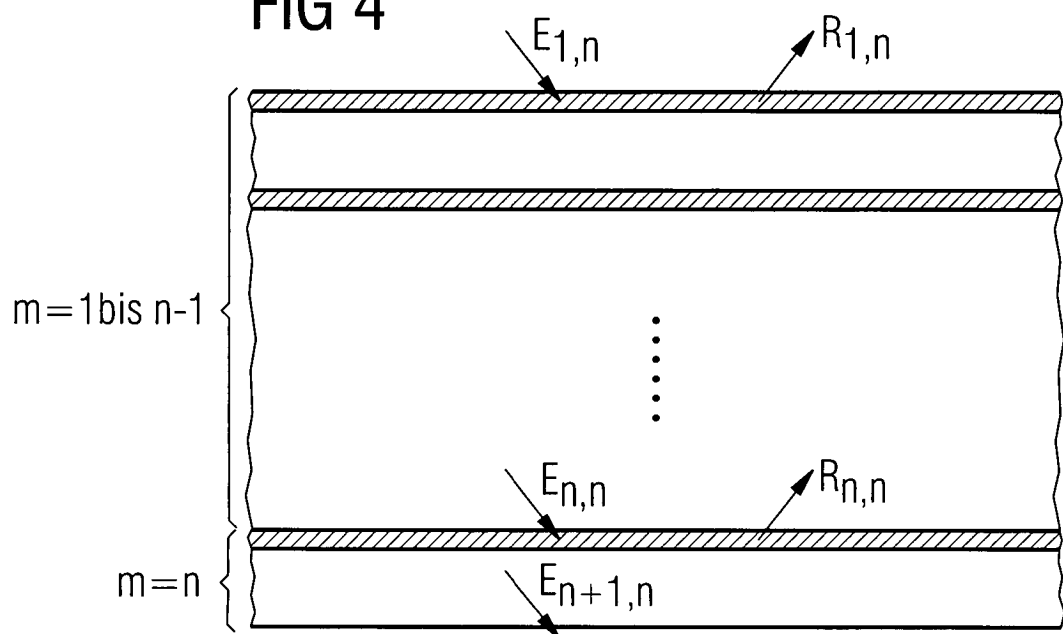


FIG 5a

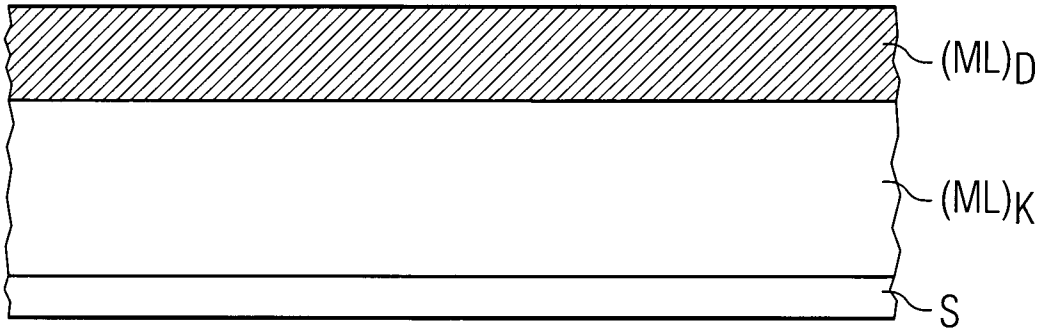


FIG 5b

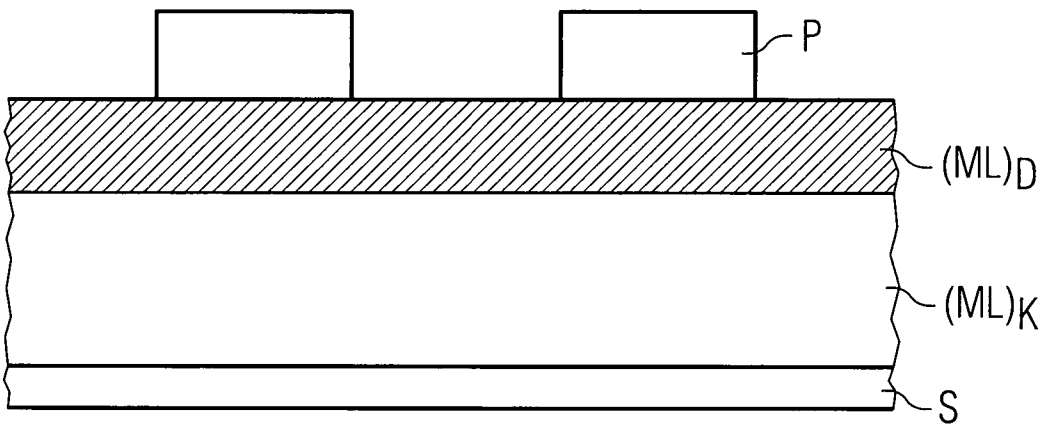


FIG 5c

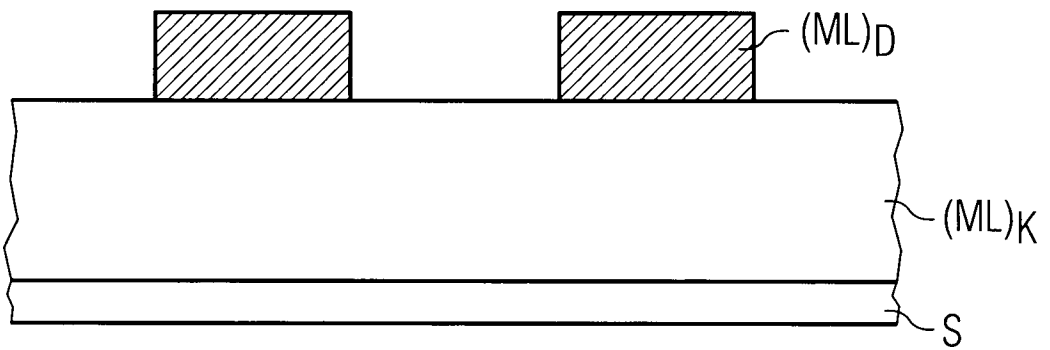


FIG 6a

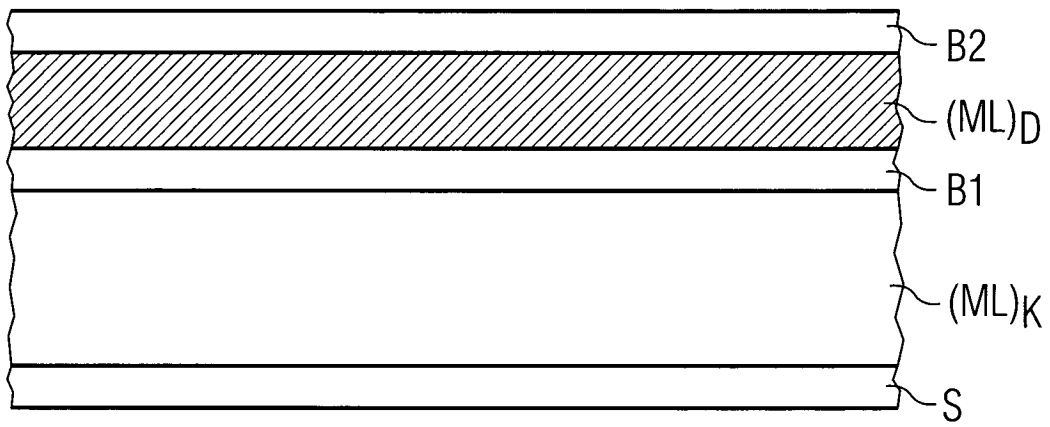


FIG 6b

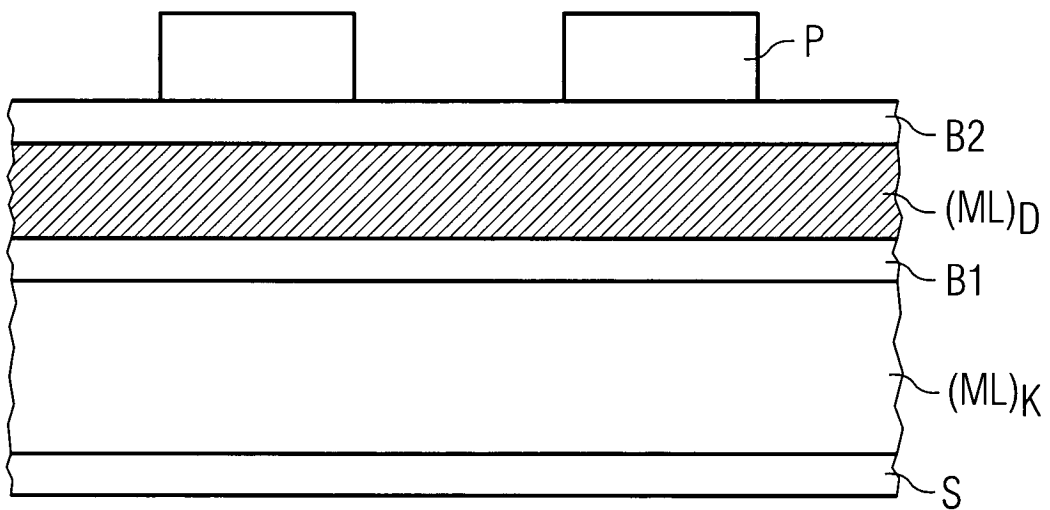


FIG 6c

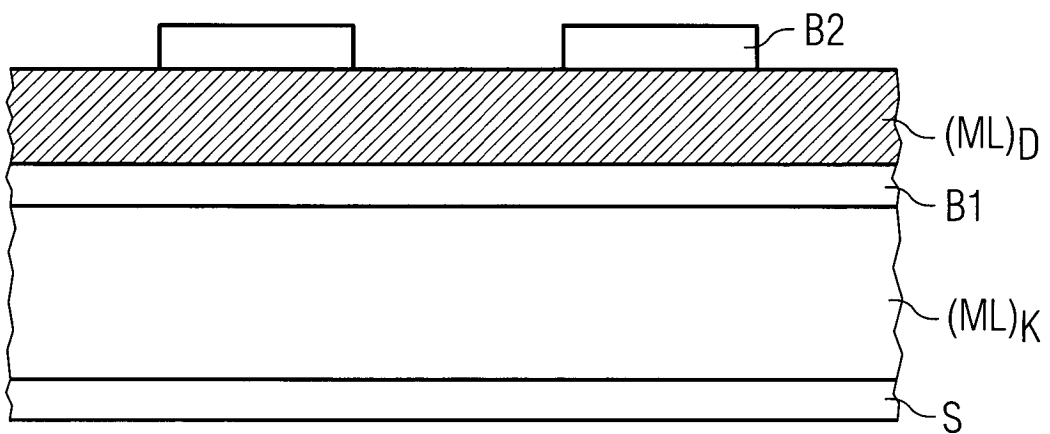


FIG 6d

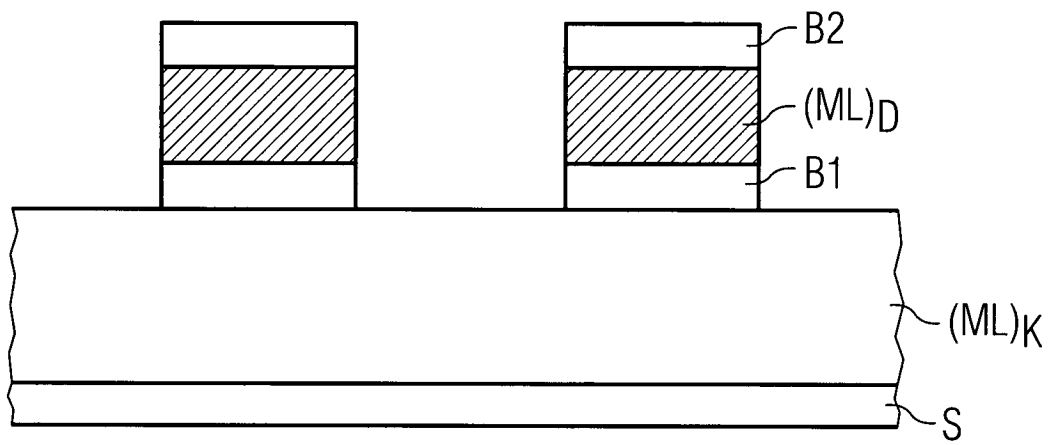


FIG 6e

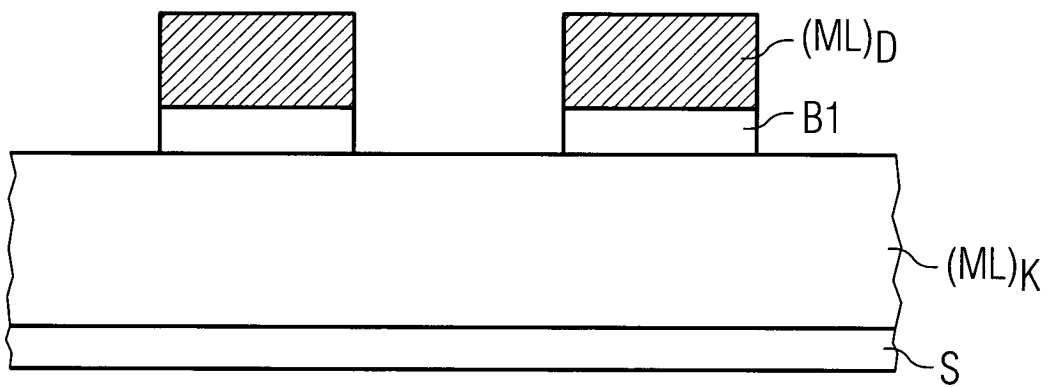


FIG 7a

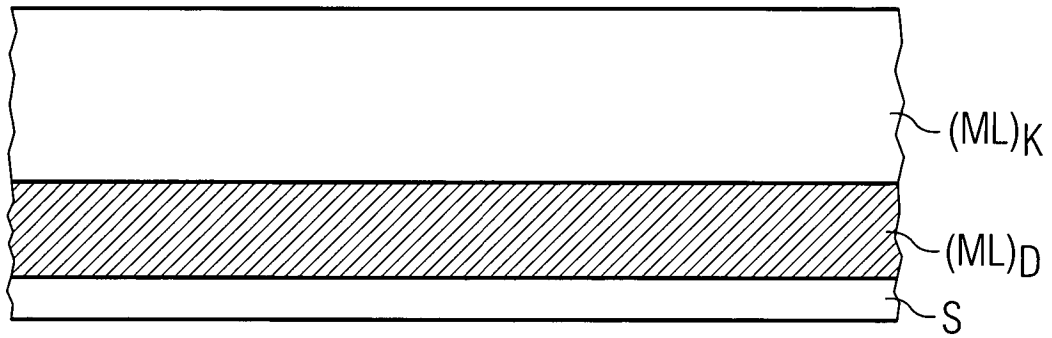


FIG 7b

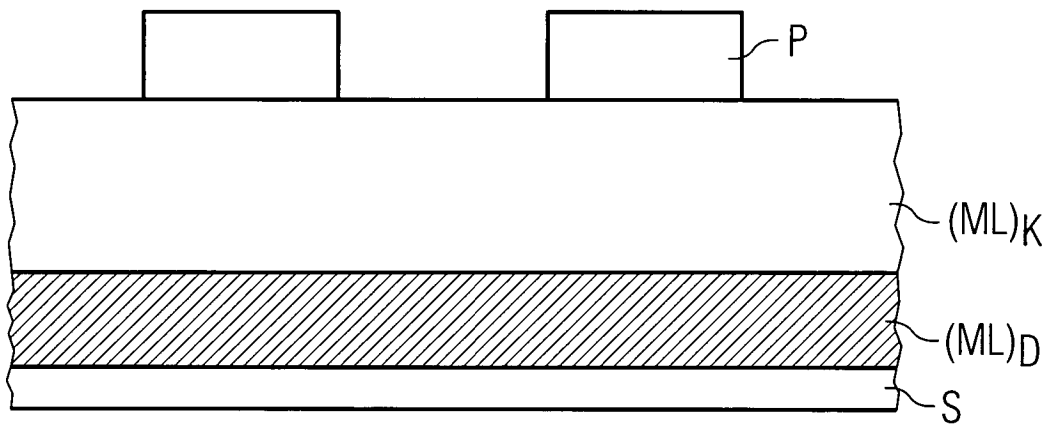


FIG 7c

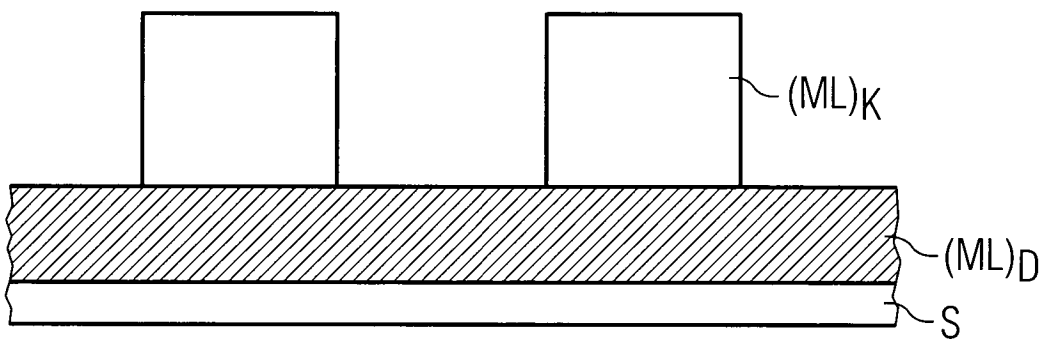


FIG 8a

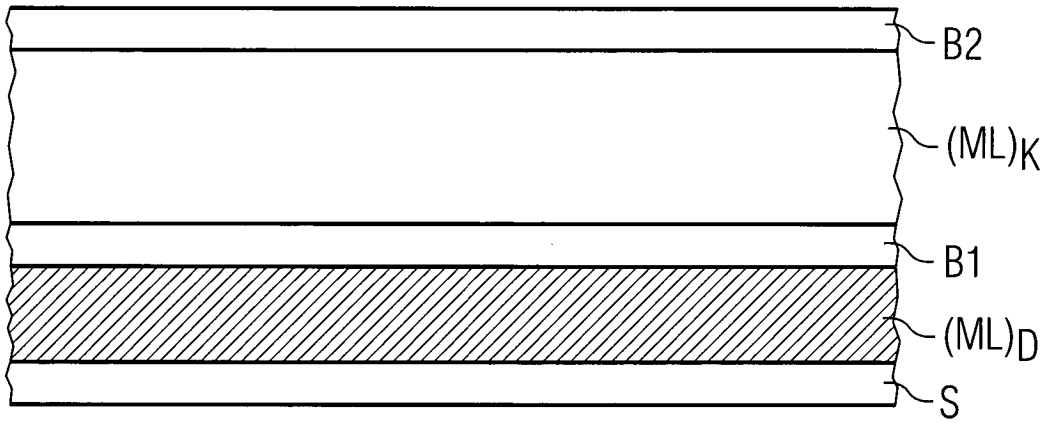


FIG 8b

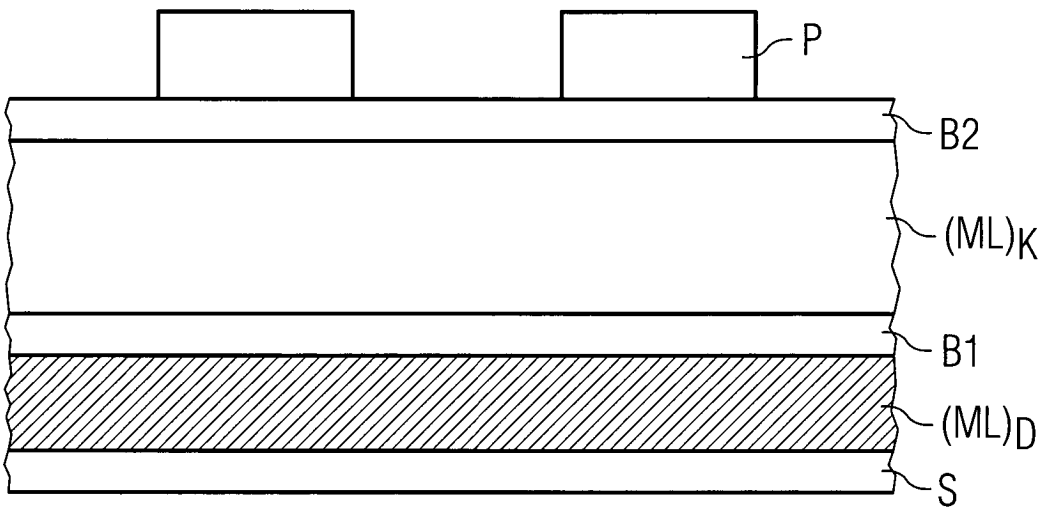


FIG 8c

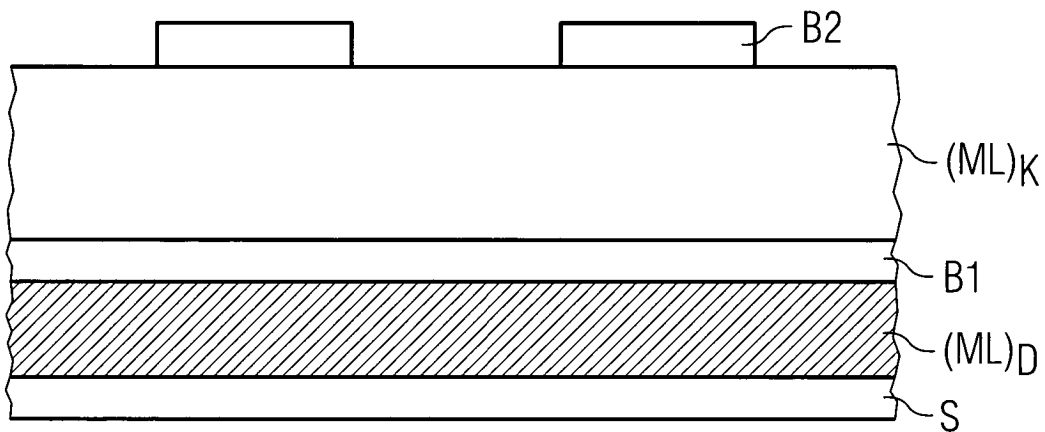


FIG 8d

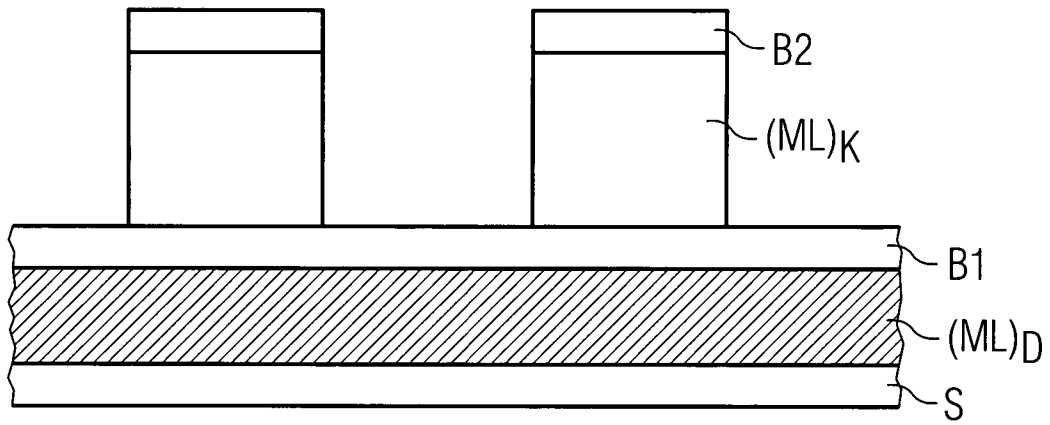


FIG 8e

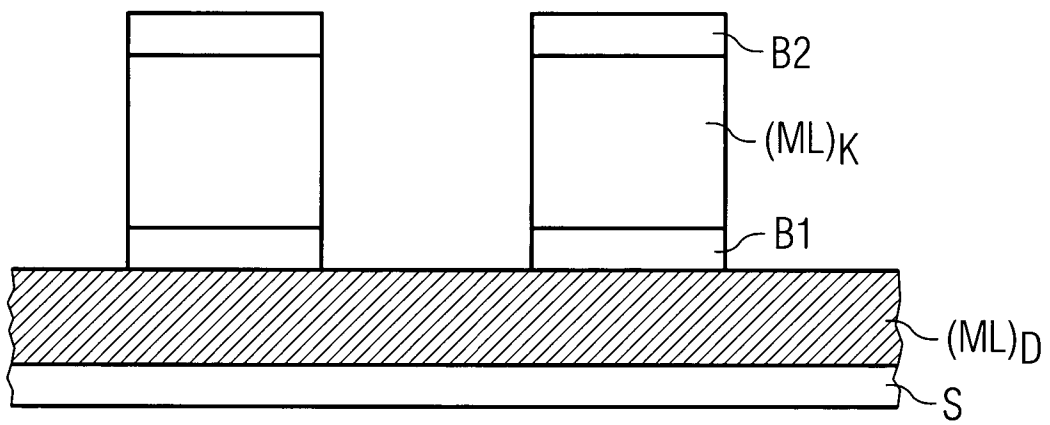


FIG 8f

