(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2009 001 086 T5** 2012.01.12

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2010/005888**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2009 001 086.5**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2009/049675**
(86) PCT-Anmeldetag: **06.07.2009**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.01.2010**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **12.01.2012**

(51) Int Cl.: ***H01H 59/00*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
12/218,368 **11.07.2008** **US**

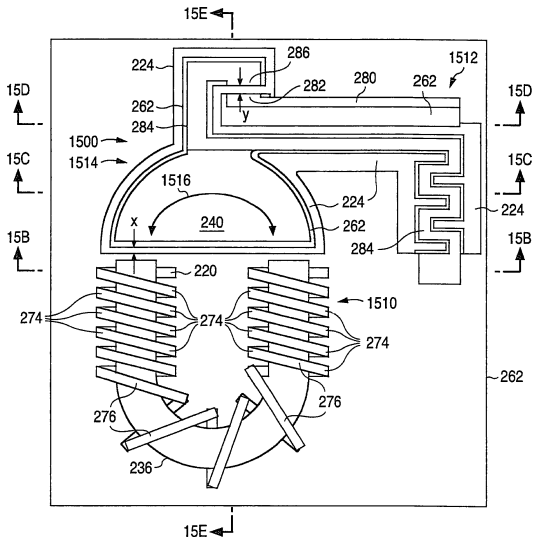
(71) Anmelder:
National Semiconductor Corp., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 80336, München, DE

(72) Erfinder:
Niblock, Trevor, Venice, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Mikrosystem-Relais**

(57) Zusammenfassung: Ein Mikrosystem-Relais (1500) entkoppelt einen Flusspfad von einem elektrischen Pfad durch eine Schaltstruktur (1512), um von Schwankungen des magnetischen Flusses hervorgerufene Signalverzerrungen zu beheben. Die Schwankungen des magnetischen Flusses werden durch Schwankungen eines Stromes durch eine Spule (1510) um einen Kern (236) hervorgerufen, welche während der magnetischen Betätigung auftreten.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Relais und insbesondere auf ein mikroelektromechanisches (MEMS) Relais mit einem Flusspfad der magnetischen Betätigung, welcher von einem elektrischen Pfad durch den Schalter entkoppelt ist, und mit einer von der Kernstruktur unabhängigen Aufhängungsstruktur, sowie auf ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Relais.

STAND DER TECHNIK

[0002] Ein Schalter ist eine wohlbekannte Vorrichtung, welche Verbindungen zwischen Bauelementen herstellt, trennt oder ändert. Ein elektrischer Schalter ist ein Schalter, welcher in einem „geschlossenen" Zustand des Schalters eine elektrische Verbindung niedrigen Widerstands und in einem „geöffneten" Zustand eine Verbindung hohen Widerstands bereitstellt. Ein mechanisch-elektrischer Schalter ist eine Schalterart, bei der die elektrische Verbindung niedrigen Widerstands durch körperliches Zusammenführen zweier elektrischer Kontakte und die elektrische Verbindung hohen Widerstands durch körperliches Trennen der beiden elektrischen Kontakte voneinander ausgebildet wird.

[0003] Ein Betätigungselement ist ein wohlbekanntes mechanisches Bauteil, welches ein mechanisches Element bewegt oder steuert, um ein anderes Bauteil zu bewegen oder zu steuern. Betätigungselemente werden üblicherweise bei mechanisch-elektrischen Schaltern verwendet, um ein mechanisches Element zu bewegen oder zu steuern, welches den Schalter schließt bzw. öffnet und dadurch in Reaktion auf das Betätigungselement die elektrischen Verbindungen niedrigen bzw. hohen Widerstands herstellt.

[0004] Ein Relais ist eine Kombination eines Schalters und eines Betätigungselements, wobei das mechanische Element in dem Betätigungselement sich in Reaktion auf elektromagnetische Änderungen in den Zuständen eines elektrischen Schaltkreises bewegt. Beispielsweise können elektromagnetische Änderungen aufgrund der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Stromflusses in einer Spule das mechanische Element in dem Betätigungselement zum Öffnen und Schließen des Schalters veranlassen.

[0005] Eine Möglichkeit zum Implementieren von Betätigungselementen und Relais ist die Verwendung der Mikrosystemtechnik (micro-electromechanical technology, MEMS). Mikrosystemtechnik-Bauelemente werden unter Verwendung derselben Herstellungsverfahren ausgebildet, welche zum Herstellen konventioneller Halbleiterstrukturen verwendet werden, wie beispielsweise der Verbinderstrukturen, welche die elektrische Verbindung zu den Transistoren auf einem Die herstellen.

[0006] Ein Nachteil konventioneller Mikrosystem-Relais besteht darin, dass der das Bauelement ansteuernde Flusspfad typischerweise auch dem elektrischen Pfad durch den Schalter folgt. Üblicherweise werden Relais zum Leistungsschalten eingesetzt, so dass die Signalschwächung durch den Schalter aufgrund von Schwankungen der Stromstärke um den Kern und also des Flusses keine Probleme bereitet hat.

[0007] Wenn jedoch Mikrosystem-Relais Signale mit sehr kleinen Amplituden durch den Schalter übertragen, können Schwankungen der Stromstärke um den Kern und also des Flusses zu einer inakzeptablen Verschlechterung des durch den Schalter übertragenen Signals führen. Es besteht daher ein Bedarf nach einem Mikrosystem-Relais mit einem Flusspfad, welcher von dem elektrischen Pfad durch den Schalter entkoppelt ist.

[0008] Ein weiterer Nachteil herkömmlicher Mikrosystem-Relais liegt darin begründet, dass die Aufhängungsstruktur typischerweise als Teil der Kernstruktur ausgebildet ist. An die Aufhängungs- und die Kernstrukturen werden jedoch üblicherweise einander entgegenstehende Anforderungen gestellt. Die Idealgeometrie der Kernstruktur ist ein kurzer Flusspfad mit großem Querschnittsbereich. Die Idealgeometrie der Aufhängungsstruktur ist dagegen ein langer Pfad mit kleinem Querschnittsbereich, weil dies die Federsteifigkeit des Trägers und daher die zum Schließen des Schalters erforderliche Kraft herabsetzt. Es besteht daher auch ein Bedarf nach einem Mikrosystem-Relais mit einer von der Kernstruktur unabhängigen Aufhängungsstruktur.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0009] Ein mikro-elektromechanisches (MEMS) Relais gemäß der vorliegenden Erfindung entkoppelt einen Flusspfad von einem elektrischen Pfad durch eine Schalterstruktur, um von Schwankungen des magnetischen Flusses hervorgerufene Signalverschlechterungen zu beseitigen. Die Schwankungen des magnetischen Flusses werden durch Schwankungen des elektrischen Stromes durch eine Spule um einen Kern, welche während der magnetischen Betätigung auftreten, hervorgerufen.

[0010] Das Mikrosystem-Relais der vorliegenden Erfindung umfasst einen Kern, welcher eine dielektrische Struktur berührt, sowie eine Spule, welche die dielektrische Struktur berührt. Der Kern weist ein magnetisch leitfähiges Material auf. Die Spule ist um den Kern gewickelt. Das Mikrosystem-Relais umfasst auch ein Schaltelement, welches die dielektrische Struktur berührt, sowie ein Aufhängungsele-

ment, welches die dielektrische Struktur berührt. Das Aufhängungselement weist ein magnetisch leitfähiges Material auf. Kein Abschnitt des Aufhängungselements berührt den Kern, wenn kein Strom durch die Spule fließt. Das Aufhängungselement ist in Reaktion auf einen durch die Spule fließenden Strom in Richtung auf den Kern hin beweglich.

[0011] Ein Verfahren zum Ausbilden des Mikrosystem-Relais gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst das Ausbilden mehrerer beabstandeter unterer Spulenelemente, welche mehrere untere Horizontalabschnitte einer Spule bilden, sowie das Ausbilden einer unteren dielektrischen Schicht, welche die beabstandeten unteren Spulenelemente berührt. Das Verfahren umfasst auch das Ausbilden einer Opferstruktur, welche die untere dielektrische Schicht berührt, sowie das Ausbilden eines Kerns, eines Schaltelementes und eines Aufhängungselementes, welche die untere dielektrische Schicht berühren. Das Aufhängungselement berührt die Opferschicht. Kein Bereich des Schaltelementes berührt den Kern.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0012] Fig. 1 ist eine Ansicht, welche ein Beispiel eines Verfahrens **100** zum Ausbilden eines Mikrosystem-Relais gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

[0013] Die Fig. 2A–Fig. 15A, Fig. 2B–Fig. 15B, Fig. 2C–Fig. 15C, Fig. 2D–Fig. 15D und Fig. 2E–Fig. 15E sind eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Die Fig. 2A–Fig. 15A sind. Aufsichten. Die Fig. 2B–Fig. 15B sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 2B-2B der Fig. 2A bis Fig. 15B–Fig. 15B der Fig. 15A. Die Fig. 2C–Fig. 15C sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 2C-2C der Fig. 2A bis Fig. 15C–Fig. 15C der Fig. 15A. Die Fig. 2D–Fig. 15D sind. Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 2D-2D der Fig. 2A bis Fig. 15D–Fig. 15D der Fig. 15A. Die Fig. 2E–Fig. 15E sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 2E-2E der Fig. 2A bis Fig. 15E–Fig. 15E der Fig. 15A.

[0014] Die Fig. 16A–Fig. 18A, Fig. 16B–Fig. 18B, Fig. 16C–Fig. 18C, Fig. 16D–Fig. 18D und Fig. 16E–Fig. 18E sind eine Serie von Ansichten, welche ein erstes Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren von Element **110** des Verfahrens **100** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Die Fig. 16A–Fig. 18A sind Aufsichten. Die Fig. 16B–Fig. 18B sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 16B-16B der Fig. 16A bis Fig. 18B–Fig. 18B der Fig. 18A. Die Fig. 16C–Fig. 18C sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 16C-16C der Fig. 16A bis Fig. 18C–Fig. 18C der Fig. 18A. Die Fig. 16D–Fig. 18D sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 16D-16D der Fig. 16A bis Fig. 18D–Fig. 18D der Fig. 18A. Die Fig. 16E–Fig. 18E sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 16E-16E der Fig. 16A bis Fig. 18E–Fig. 18E der Fig. 18A.

[0015] Die Fig. 19A–Fig. 21A, Fig. 19B–Fig. 21B, Fig. 19C–Fig. 21C, Fig. 19D–Fig. 21D und Fig. 19E–Fig. 21E sind eine Serie von Ansichten, welche ein zweites Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren von Element **110** des Verfahrens **100** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Die Fig. 19A–Fig. 21A sind Aufsichten. Die Fig. 19B–Fig. 21B sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 19B-19B der Fig. 19A bis Fig. 21B–Fig. 21B der Fig. 21A. Die Fig. 19C–Fig. 21C sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 19C-19C der Fig. 19A bis Fig. 21C–Fig. 21C der Fig. 21A. Die Fig. 19D–Fig. 21D sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 19D-19D der Fig. 19A bis Fig. 21D–Fig. 21D der Fig. 21A. Die Fig. 19E–Fig. 21E sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 19E-19E der Fig. 19A bis Fig. 21E–Fig. 21E der Fig. 21A.

[0016] Die Fig. 22A–Fig. 26A, Fig. 22B–Fig. 26B, Fig. 22C–Fig. 26C, Fig. 22D–Fig. 26D und Fig. 22E–Fig. 26E sind eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren von Element **118** des Verfahrens **100** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Die Fig. 22A–Fig. 26A sind Aufsichten. Die Fig. 22B–Fig. 26B sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 22B-22B der Fig. 22A bis Fig. 26B–Fig. 26B der Fig. 26A. Die Fig. 22C–Fig. 26C sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 22C-22C der Fig. 22A bis Fig. 26C–Fig. 26C der Fig. 26A. Die Fig. 22D–Fig. 26D sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 22D-22D der Fig. 22A bis Fig. 26D–Fig. 26D der Fig. 26A. Die Fig. 22E–Fig. 26E sind Querschnittsansichten entlang der Schnittlinien 22E-22E der Fig. 22A bis Fig. 26E–Fig. 26E der Fig. 26A.

[0017] Die Fig. 27A–Fig. 27E sind eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel einer Opferstruktur **230** und eines Federelementes **254** mit unterschiedlicher Form gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0018] Die Fig. 28A–Fig. 28E sind eine Serien von Ansichten, welche ein Beispiel einer Opferstruktur **230**, eines Kerns **236**, eines Zwischenelementes **246** und eines Federelementes **254** mit einer unterschied-

lichen Form gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

ARTEN DER AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0019] Wie nachstehend in weiteren Einzelheiten beschrieben ist, ist die vorliegende Erfindung ein MEMS-Relais mit einem Flusspfad der magnetischen Betätigung, welcher von dem elektrischen Pfad durch den Schalter entkoppelt ist, sowie ein Verfahren zum Ausbilden des Relais. Das MEMS-Relais hat zusätzlich eine Aufhängungsstruktur, welche von der Kernstruktur unabhängig ist.

[0020] Fig. 1 zeigt ein Beispiel eines Verfahrens **100** zum Ausbilden des MEMS-Relais gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, beginnt das Verfahren **100** in Schritt **110** mit dem Ausbilden mehrerer beabstandeter unterer Spulenelemente, welche die unteren Horizontalabschnitte einer auszubildenden Spule bilden. Zusätzlich kann gleichzeitig mit den unteren Spulenelementen optional ein Paar unterer Eingangs-/Ausgangs-Elemente ausgebildet werden.

[0021] Die Fig. 2A–Fig. 15A, Fig. 2B–Fig. 15B, Fig. 2C–Fig. 15C, Fig. 2D–Fig. 15D und Fig. 2E–Fig. 15E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Die Fig. 2A–Fig. 3A, Fig. 2B–Fig. 3B, Fig. 2C–Fig. 3C, Fig. 2D–Fig. 3D und Fig. 2E–Fig. 3E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Ausbilden mehrerer beabstandeter unterer Spulenelemente gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0022] Wie in den Fig. 2A–Fig. 2E gezeigt, verwendet das Verfahren **100** einen auf herkömmliche Weise ausgebildeten einkristallinen Silizium-Halbleiterwafer **210**, welcher eine darüberliegende dielektrische Grundschicht **212** aufweist. Die dielektrische Grundschicht **212** kann eine dielektrische Schicht ohne Metallstrukturen oder eine dielektrische Schicht mit Metallstrukturen, beispielsweise die dielektrische Schicht einer Metallverbinderstruktur, darstellen.

[0023] Wenn sie als dielektrische Schicht einer Metallverbinderstruktur ausgebildet ist, umfasst die dielektrische Schicht **212** Schichten von Metallspuren, typischerweise Aluminium, eine große Anzahl von Kontakten, welche die unteren Metallspuren mit elektrisch leitenden Bereichen auf dem Wafer **210** verbinden, sowie eine große Anzahl von intermetallischen Durchkontaktierungen, welche die Metallspuren in benachbarten Schichten miteinander verbinden. Außerdem fungieren ausgewählte Bereiche auf den Oberflächen der Metallspuren in der obersten Metallschicht als Plättchen, welche externe Verbindungspunkte bereitstellen.

[0024] In dem vorliegenden Beispiel repräsentiert die dielektrische Grundschicht **212** die dielektrische Schicht einer Metallverbinderstruktur, welche auch die Plättchen P1–P4 umfasst. Die Plättchen P1 und P2 sind ausgewählte Bereiche auf den Oberflächen von zwei der Metallspuren in der obersten Schicht der Metallspuren, welche elektrische Verbindungen für eine auszubildende Spule bereitstellen, während die Plättchen P3 und P4 ausgewählte Bereiche auf den Oberflächen der Metallspuren sind, die elektrische Eingangs-/Ausgangs-Verbindungen für einen auszubildenden Schalter bereitstellen. (Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur die Plättchen P1–P4, nicht die gesamte metallische Verbinderstruktur, im Querschnitt gezeigt).

[0025] Mit Bezug wiederum auf die Fig. 2A–Fig. 2E beginnt das Verfahren **100** mit dem Ausbilden einer Metallschicht **214** auf der Oberfläche der dielektrischen Grundschicht **212**. Da die dielektrische Grundschicht **212** die dielektrische Schicht einer Metallverbinderstruktur darstellt, wird die Metallschicht **214** in dem vorliegenden Beispiel auch auf den Oberflächen der Plättchen P1–P4 ausgebildet.

[0026] Die Metallschicht **214** kann beispielsweise eine Titanschicht (beispielsweise 100 Å dick), eine Titannitridschicht (beispielsweise 200 Å dick), eine Aluminium-Kupfer-Schicht (beispielsweise 1,2 µm dick), eine Titanschicht (beispielsweise 44 Å dick) und eine Titannitridschicht (beispielsweise 250 Å dick) umfassen. Sobald die Metallschicht **214** ausgebildet worden ist, wird eine untere Maske **216** ausgebildet und auf der Oberfläche der Metallschicht **214** strukturiert.

[0027] Wie in den Fig. 3A–Fig. 3E gezeigt ist, wird die Metallschicht **214** im Anschluss an das Ausbilden und Strukturieren der Maske **216** geätzt, um die freiliegenden Bereiche der Metallschicht **214** zu entfernen und mehrere voneinander beabstandete untere Spulenelemente **220** auszubilden. Die unteren Spulenelemente **220**, welche eine Hufeisenform aufweisen, bilden die unteren Seiten der auszubildenden Spule. Da die dielektrische Grundschicht **212** in dem vorliegenden Beispiel die dielektrische Schicht einer Metallverbinderstruktur darstellt, sind die Enden der unteren Spulenelemente **220**, welche den gegenüberliegenden Enden der auszubildenden Spule entsprechen, körperlich und elektrisch mit den Plättchen P1 und P2 verbunden.

[0028] Zusätzlich kann das Ätzen optional ein Paar unterer Eingangs-/Ausgangs-Elemente **222** ausbilden, welche körperlich und elektrisch mit den Eingangs-/Ausgangs-Plättchen P3 und P4 verbunden sind. Nachdem die unteren Spulenelemente **220** und das Paar unterer Eingangs-/Ausgangs-Elemente **222** ausgebildet worden sind, wird die Maske **216** entfernt.

[0029] Unter Bezug wiederum auf die Fig. 1 wird das Verfahren **100** nach dem Ausbilden der unteren Spulenelemente und des Paares der unteren Eingangs-/Ausgangs-Elemente bei Schritt **112** fortgesetzt, um eine untere dielektrische Schicht auszubilden, welche die unteren Spulenelemente und das Paar von Eingangs-/Ausgangs-Elementen berührt. Die Fig. 4A, Fig. 4B, Fig. 4C, Fig. 4D und Fig. 4E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Ausbilden einer unteren dielektrischen Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0030] Wie in den Fig. 4A–Fig. 4E gezeigt, wird eine untere dielektrische Schicht **224**, beispielsweise eine Oxidschicht, auf der dielektrischen Grundschicht **212**, den unteren Spulenelementen **220** und dem Paar unterer Eingangs-/Ausgangs-Elemente **222** ausgebildet. Die untere dielektrische Schicht kann beispielsweise durch Ablagern eines Oxids und nachfolgendes chemisch-mechanisches Polieren des Oxids mit einer Zieldicke von beispielsweise 2000 Å über der dielektrischen Grundschicht **212** ausgebildet werden.

[0031] Bezugnehmend wiederum auf Fig. 1, wird das Verfahren **100** nach dem Ausbilden der unteren dielektrischen Schicht bei Schritt **114** fortgesetzt, um eine Opferstruktur auszubilden, welche die untere dielektrische Schicht berührt. Die Fig. 5A–Fig. 6A, Fig. 5B–Fig. 6B, Fig. 5C–Fig. 6C, Fig. 5D–Fig. 6D und Fig. 5E–Fig. 6E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Ausbilden einer Opferstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0032] Wie in den Fig. 5A–Fig. 5E gezeigt, wird nach dem Ausbilden der unteren dielektrischen Schicht **224** auf der Oberfläche der unteren dielektrischen Schicht **224** eine Opferschicht **226** ausgebildet. Beispielsweise kann auf der Oberfläche der unteren dielektrischen Schicht **224** eine Schicht amorphen Siliziums mit einer Dicke von beispielsweise 2000 Å ausgebildet werden. Nach dem Ausbilden der Opferschicht **226** wird auf der Oberfläche der Opferschicht **226** eine Maske **228** ausgebildet und strukturiert.

[0033] Wie in den Fig. 6A–Fig. 6E gezeigt, wird die Opferschicht **226** nach dem Ausbilden und Strukturieren der Maske **228** geätzt, um die freiliegenden Bereiche der Opferschicht **226** zu entfernen und eine Opferstruktur **230** auszubilden. Nach dem Ätzen der Opferschicht **226** zum Ausbilden der Opferstruktur **230** wird die Maske **228** entfernt.

[0034] Bezugnehmend wiederum auf Fig. 1, wird das Verfahren **100** nach dem Ausbilden der Opferstruktur bei Schritt **116** mit dem Ausbilden eines Kerns, eines Schaltelements und eines Aufhängungselements, welche die untere dielektrische Schicht berühren, fortgesetzt. Kein Abschnitt des Schaltelements berührt den Kern. Die Fig. 7A–Fig. 9A, Fig. 7B–Fig. 9B, Fig. 7C–Fig. 9C, Fig. 7D–Fig. 9D und Fig. 7E–Fig. 9E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Ausbilden eines Kerns, eines Schaltelementes und eines Aufhängungselementes gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0035] Wie in den Fig. 7A–Fig. 7E gezeigt, wird nach dem Ausbilden der Opferstruktur **230** auf der Oberfläche der unteren dielektrischen Schicht **224** und der Opferstruktur **230** eine Keimschicht **232** ausgebildet. Die Keimschicht kann beispielsweise durch Abscheiden von 300 Å Titan, 3000 Å Kupfer und 300 Å Titan ausgebildet werden. Nachdem die Keimschicht **232** ausgebildet worden ist, wird eine Beschichtungsform **234** (kreuzschraffiert gezeigt) auf der Oberfläche der Keimschicht **232** ausgebildet und strukturiert.

[0036] Wie in den Fig. 8A–Fig. 8E veranschaulicht, wird im Anschluss an das Ausbilden der Beschichtungsform **234** als nächstes die oberste Titanschicht entfernt und ein magnetisches Material, beispielsweise eine Legierung von Nickel und eisenähnlichem Permalloy, durch elektro-chemisches Beschichten in einer Dicke von beispielsweise 10 µm aufgebracht, um einen Kern **236**, ein Schaltelement **238** und ein Aufhängungselement **240** auszubilden.

[0037] Danach wird die Beschichtungsform **234** entfernt, gefolgt von dem Entfernen der darunterliegenden Bereiche der Keimschicht **232**. Wie in den Fig. 9A–Fig. 9E gezeigt, weist der Kern **236**, welcher die Form der auszubildenden Spule widerspiegelt, gleichfalls eine Hufeisenform auf, welche über den unteren Spulenelementen **220** liegt, während das Schaltelement **238** eine Kontaktseitenwand **244** aufweist.

[0038] Wie in den Fig. 9A–Fig. 9E weiter gezeigt, weist das Aufhängungselement **240** ein Zwischenelement **246** auf. Das Zwischenelement **246** liegt zwischen dem Kern **236** und dem Schaltelement **238** und ist der Kontaktseitenwand **244** des Schaltelements **238** benachbart. Als Ergebnis ist das Zwischenelement **246** von dem Kern **236** durch einen Betätigungsspalt **250** getrennt, während das Zwischenelement **246** von der Kontaktseitenwand **244** des Schaltelements **238** durch einen Kontaktspalt **252** getrennt ist.

[0039] Der Betätigungsspalt **250** kann geringfügig größer als der Kontaktspalt **252** ausgebildet werden, um auf diese Weise sicherzustellen, dass eine elektrische Verbindung beim Aktivieren des Relais stets hergestellt wird. Die Abmessungen des Betätigungsspalts **250** und des Kontaktspaltes **252** werden durch die Struktur in der Beschichtungsform **234** definiert. In dem vorliegenden Beispiel wird das Zwischenelement **246** auch in einer Halbkreisform aus-

gebildet und zu dem Kern **236** ausgerichtet, um eine Rennbahnform auszubilden. Das Aufhängungselement **240** umfasst auch ein Federelement **254**. Wie in den Fig. 9A–Fig. 9E gezeigt, ist das Federelement **254** in dem vorliegenden Beispiel mit einem Basisabschnitt **256** ausgebildet, welcher den einzigen Punkt darstellt, an dem das Aufhängungselement **240** die untere dielektrische Schicht **224** berührt, und mit einem Fortsetzungsabschnitt **260**, welche zusammen mit dem Zwischenelement **246** von der dielektrischen Schicht **224** beabstandet sind.

[0040] Unter Bezugnahme wiederum auf Fig. 1, wird das Verfahren **100** nach dem Ausbilden des Kerns, des Schaltelements und des Aufhängungselements bei Schritt **118** fortgesetzt mit der Ausbildung von Deckelementen und Seitenelementen, welche die unteren Spulenelemente zum Ausbilden einer Spule berühren, einer leitfähigen ersten Schaltspur, welche über dem Schaltelement sitzt, und einer leitfähigen zweiten Schaltspur, welche oberhalb und auf dem Aufhängungselement sitzt. Kein Bereich der Spule ist um das Aufhängungselement gewickelt.

[0041] Die Fig. 10A–Fig. 14A, Fig. 10B–Fig. 14B, Fig. 10C–Fig. 14C, Fig. 10D–Fig. 14D und Fig. 10E–Fig. 14E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Ausbilden von Deckelementen und Seitenelementen, welche die unteren Spulenelemente zum Ausbilden einer Spule berühren, einer leitfähigen ersten Schaltspur, welche über dem Schaltelement sitzt, und einer leitfähigen zweiten Schaltspur, welche oberhalb und auf dem Aufhängungselement sitzt, gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

[0042] Wie in den Fig. 10A–Fig. 10E gezeigt, wird nach dem Ausbilden des Kerns **236**, des Schaltelements **238** und des Aufhängungselements **240** und nach dem Entfernen der Beschichtungsform **234** und der darunterliegenden Bereiche der Keimschicht **232** auf der unteren dielektrischen Schicht **224**, dem Kern **236**, dem Schaltelement **238** und dem Aufhängungselement **240** eine obere dielektrische Schicht **262**, beispielsweise eine Oxidschicht, ausgebildet. Die obere dielektrische Schicht **262** kann beispielsweise durch konformes Abscheiden eines Oxids in einer Dicke von beispielsweise 1 µm über der unteren dielektrischen Schicht **224** ausgebildet werden. Nach dem Ausbilden der oberen dielektrischen Schicht **262** wird dann eine Maske **264**, beispielsweise eine Schicht Photolack, auf der Oberfläche der oberen dielektrischen Schicht **262** ausgebildet und strukturiert.

[0043] Im Anschluss an das Ausbilden und Strukturieren der Maske **264** werden die freiliegenden Bereiche der oberen dielektrischen Schicht **262** und der darunterliegenden unteren dielektrischen Schicht **224** zum Ausbilden mehrerer Vertikalöffnungen **266** geätzt, wie in den Fig. 11A–Fig. 11E gezeigt. Die Vertikalöffnungen **266** umfassen durchgangskontaktierungsartige Öffnungen, welche die Oberflächen der Enden der unteren Spulenelemente **220**, welche die Unterseiten der auszubildenden Spule ausbilden, freilegen. Die Vertikalöffnungen **266** legen auch das Paar von unteren Eingangs-/Ausgangselementen **222** frei. Zusätzlich bilden die Vertikalöffnungen **266** auch einen Graben, welcher sich von dem Basisabschnitt **256** um das Aufhängungselement **240** und zurück zum Basisabschnitt **256** erstreckt.

[0044] Gemäß der vorliegenden Erfindung sollen die freigelegten Bereiche der Opferstruktur **230** während dieses Ätzvorgangs nicht entfernt werden. Daher werden die Vertikalöffnungen **266** mit einem Ätzmittel ausgebildet, welches hochselektiv für das zum Ausbilden der Opferstruktur **230** verwendete Material ist. Die Opferstruktur **230**, welche in derselben Dicke wie die untere dielektrische Schicht **224** ausgebildet wurde, kann auch dicker als die untere dielektrische Schicht **224** ausgebildet werden, um sicherzustellen, dass ein erheblicher Anteil der freigelegten Bereiche der Opferstruktur **230** nach dem Ätzen übrigbleiben. Nach dem Ätzen wird die Maske **264** dann entfernt.

[0045] Nach dem Entfernen der Maske **264** wird auf den freigelegten Enden der unteren Spulenelemente **220**, den freigelegten Eingangs-/Ausgangselementen **222**, der unteren dielektrischen Schicht **224**, der Opferstruktur **230** und der Oberfläche der oberen dielektrischen Schicht **262** eine Keimschicht **270** ausgebildet, wie in den Fig. 12A–Fig. 12E gezeigt. Die Keimschicht kann beispielsweise durch Abscheiden von 300 Å Titan, 3000 Å Kupfer und 3000 Å Titan ausgebildet werden. Nach dem Ausbilden der Keimschicht **270** wird auf der Oberfläche der Keimschicht **270** eine Beschichtungsform **272** (kreuzschraffiert gezeigt) ausgebildet und strukturiert. Die Struktur der Beschichtungsform **272** ist in Fig. 12A schraffiert gezeigt.

[0046] Im Anschluss an das Ausbilden und Strukturieren der Beschichtungsform **272** wird als Nächstes die oberste Titanschicht entfernt und elektrochemisch Kupfer abgeschieden, um mehrere Kupferseitenabschnitte **274** und mehrere Kupferoberabschnitte **276** der Spule auszubilden, wie in den Fig. 13A–Fig. 13E gezeigt. Das elektrochemische Abscheiden bildet zudem auch eine erste Schaltspur **280** mit einem Seitenwandkontakt **282** und eine zweite Schaltspur **284** mit einem Seitenwandkontakt **286** aus. Die erste und zweite Schaltspur **280** und **284** berühren auch die Eingangs-/Ausgangselemente **222** zum Herstellen einer elektrischen Verbindung. Wie in den Fig. 13A–Fig. 13E weiter gezeigt, bilden die unteren Spulenelemente **220-1**, Seitenabschnitte **274-1** und Oberabschnitte **276-1** drei Seiten einer Spulenwindung. Im Anschluss werden die Beschichtungsform **272** und die darunterliegen-

den Bereiche der Keimschicht **270** entfernt, wie in den Fig. 14A–Fig. 14E gezeigt.

[0047] Bezugnehmend wiederum auf Fig. 1, wird das Verfahren **100** nach dem Ausbilden der Spule, der leitfähigen ersten Schaltspur und der leitfähigen zweiten Schaltspur bei Schritt **120** mit dem Entfernen der Opferstruktur fortgesetzt, so dass sich das Aufhängungselement in Reaktion auf Änderungen eines durch die Spule fließenden Stromes bewegt.

[0048] In anderen Worten stellt die leitfähige zweite Schaltspur eine elektrische Verbindung mit der ersten leitfähigen Schaltspur her bzw. unterbricht eine solche elektrische Verbindung, wenn sich das Aufhängungselement in Reaktion auf Änderungen eines durch die Spule fließenden Stromes bewegt. Zusätzlich fließt ein magnetischer Fluss durch einen Bereich des Aufhängungselements und fließt im Wesentlichen kein magnetischer Fluss durch die erste und zweite leitfähige Schaltspur, wenn ein Strom durch die Spule fließt.

[0049] Die Fig. 15A–Fig. 15E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel des Verfahrens **100** zum Entfernen der Opferstruktur **230** gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. Nach dem Ausbilden der Spule, der ersten Schaltspur **280** und der zweiten Schaltspur **284** wird die Opferstruktur **230** entfernt, wie in den Fig. 15A–Fig. 15E gezeigt. Das Entfernen der Opferstruktur **230** lässt das Zwischenelement **246** und den Fortsetzungsabschnitt **260** des Federelements **254** schweben. In dem in den Fig. 15A–Fig. 15E gezeigten Beispiel schweben beispielsweise sowohl das Zwischenelement **246** als auch der Fortsetzungsabschnitt **260** und sind mit den unteren dielektrischen Schicht **224** nur über den Basisabschnitt **256** verbunden.

[0050] Der schwebende Fortsetzungsbereich **260** war durch die darunterliegende Opferstruktur **230** von der unteren dielektrischen Schicht **224** in Vertikalrichtung getrennt und schwebt deshalb, nachdem die darunterliegende Opferstruktur **230** entfernt wurde. Daher bestimmt die Dicke der Opferstruktur **230** einen Versatzspalt **290**, d. h. den vertikalen Abstand zwischen der unteren dielektrischen Schicht **224** und dem schwebenden Fortsetzungsabschnitt **260**.

[0051] Das Verfahren der vorliegenden Erfindung bildet deshalb ein MEMS-Relais **1500** aus, welches einen Kern **236** und eine um den Kern **236** gewickelte Spule **1510** umfasst, wie in den Fig. 15A–Fig. 15E gezeigt. Die Spule **1510** kann mit den unteren Spulenelementen **220**, den Kupferseitenabschnitten **274** und den Kupferoberabschnitten **276** ausgebildet sein. Zusätzlich berühren sowohl der Kern **236** als auch die Spule **1510** die untere dielektrische Schicht **224**.

[0052] Wie weiter in den Fig. 15A–Fig. 15E gezeigt ist, umfasst das MEMS-Relais **1500** auch eine Schaltstruktur **1512** und eine Aufhängungsstruktur **1514**. Die Schaltstruktur **1512** kann mit dem Schaltelement **238** ausgebildet sein, welches die untere dielektrische Schicht **224** und die obere dielektrische Schicht **262** berührt. Die Aufhängungsstruktur **1514** kann mit einem Aufhängungselement **240** ausgebildet sein, welches die untere dielektrische Schicht **224** und die obere dielektrische Schicht **262** berührt. Weiterhin ist kein Bereich der Spule **1510** um die Aufhängungsstruktur **1514** gewickelt.

[0053] Wie in den Fig. 15A–Fig. 15E weiter gezeigt, umfasst das MEMS-Relais **1500** eine erste Schaltspur **280**, welche die Schaltstruktur **1512** berührt und sich entlang der Schaltstruktur **1512** erstreckt, sowie eine zweite Schaltspur **284**, welche die Aufhängungsstruktur **1514** berührt und sich entlang der Aufhängungsstruktur **1514** erstreckt. Die erste Schaltspur **280** hat ferner einen ersten Seitenwandkontakt **282**, während die zweite Schaltspur **284** einen zweiten Seitenwandkontakt **286** aufweist.

[0054] Während des Betriebs liegt die Aufhängungsstruktur **1514** in einer in Fig. 15A gezeigten Ruheposition, wenn in der Spule **1510** kein Strom fließt. Zusätzlich sind die Aufhängungsstruktur **1514** und der Kern **236** durch einen Minimalabstand X getrennt, wenn in der Spule **1510** kein Strom fließt, wohingegen der erste Seitenwandkontakt **282** und der zweite Seitenwandkontakt **286** durch einen Minimalabstand Y getrennt sind, wenn in der Spule **1510** kein Strom fließt, wobei der Minimalabstand Y nicht größer als der Minimalabstand X ist. Der Minimalabstand Y stellt einen elektrischen Pfad hohen Widerstands bereits.

[0055] Einer der Vorteile des MEMS-Relais **1500** besteht daher darin, dass die Aufhängungsstruktur **1514** unabhängig von dem Kern **236** ist (d. h., kein Abschnitt der Aufhängungsstruktur **1514** berührt den Kern **236**, wenn durch die Spule **1514** kein Strom fließt). Die Aufhängungsstruktur **1514** kann deshalb zur Reduzierung der Steifigkeit der Feder optimiert werden, während der Kern **236** hinsichtlich eines kurzes Flusspfades optimiert werden kann.

[0056] Wenn ein Strom durch die Spule **1510** fließt und ein elektromagnetisches Feld erzeugt, welches stärker als die Federkraft der Aufhängungsstruktur **1514** ist, bewegt sich andererseits die Aufhängungsstruktur **1514** in Richtung auf den Kern **236**, so dass der erste und zweite Seitenwandkontakt **282** und **286** einander berühren und auf diese Weise einen elektrischen Pfad geringen Widerstands bereitstellen.

[0057] Der zweite Seitenwandkontakt **286** der zweiten Schaltspur **284** bewegt sich daher auf den ersten Seitenwandkontakt **282** der ersten Schaltspur **280** zu und berührt ihn, wenn ein Strom durch die Spule **1510**

fließt, und entfernt sich von dem ersten Seitenwandkontakt **282** der ersten Schaltspur **280**, wenn durch die Spule **1510** kein Strom fließt. Folglich berührt kein Abschnitt der Aufhängungsstruktur **1514** den Kern **236**, wenn durch die Spule **1510** kein Strom fließt.

[0058] Wie in Fig. 15A weiter gezeigt ist, fließt gemäß der vorliegenden Erfindung ein magnetischer Fluss **1516** durch einen Abschnitt des Aufhängungselements **240**, wenn durch die Spule **1510** ein Strom fließt, während durch die erste und zweite Schaltspur **280** und **284** im Wesentlichen kein magnetischer Fluss fließt, wenn ein Strom durch die Spule **1510** fließt. Einer der Vorteile der vorliegenden Erfindung besteht folglich darin, dass das MEMS-Relais **1500** unempfindlich gegenüber Schwankungen des Stromes um den Kern und daher des Flusses ist. Im Ergebnis können Signale sehr kleiner Amplituden durch das Relais **1500** geleitet werden, ohne dass eine flussbasierte Verzerrung auftritt.

[0059] Beschrieben wurde ein Verfahren zum Ausbilden eines MEMS-Relais gemäß der vorliegenden Erfindung. Die in Fig. 1 gezeigten Elemente können auf mehrere unterschiedliche Arten implementiert werden. Beispielsweise können die voneinander beabstandeten unteren Spulenelemente, welche die im Element **110** der Fig. 1 beschriebenen unteren Horizontalabschnitte der Spule ausbilden, auf alternative Weise ausgebildet werden.

[0060] Die Fig. 16A–Fig. 18A, Fig. 16B–Fig. 18B, Fig. 16C–Fig. 18C, Fig. 16D–Fig. 18D und Fig. 16E–Fig. 18E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein erstes Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren von Element **110** des Verfahrens **100** veranschaulichen, welches gemäß der vorliegenden Erfindung mehrere beabstandete untere Spulenelemente der auszubildenden Spule ausbildet.

[0061] Wie das in den Fig. 2A–Fig. 3E gezeigte Beispiel verwendet auch das in den Fig. 16A–Fig. 18E gezeigte Beispiel einen einkristallinen Siliziumhalbleiterwafer **210** mit darüberliegender dielektrischer Grundschicht **212**. Das Beispiel der Fig. 16A–Fig. 18E beginnt mit dem Ausbilden einer Keimschicht **1610** auf der dielektrischen Grundschicht **212** und der Plättchen P1–P4, welche über Öffnungen in der dielektrischen Grundschicht **212** freigelegt sind.

[0062] Nach dem Ausbilden der Keimschicht **1610** wird auf der Oberfläche der Keimschicht **1610** eine Beschichtungsform **1612** ausgebildet. Im Anschluss an das Ausbilden der Beschichtungsform **1612** wird Kupfer elektrochemisch abgeschieden, um die mehreren voneinander beabstandeten unteren Spulenelemente **220** und das Paar unterer Eingangs-/Ausgangselemente **222** auszubilden, wie in den Fig. 17A–Fig. 17E gezeigt.

[0063] Nach dem Ausbilden der unteren Spulenelemente **220** und dem Paar unterer Eingangs-/Ausgangselemente **222** wird die Beschichtungsform **1612** entfernt, gefolgt von dem Entfernen der darunterliegenden Bereiche der Keimschicht **1610**, wie in den Fig. 18A–Fig. 18E gezeigt. Wie gezeigt, ist die in den Fig. 18A–Fig. 18E veranschaulichte Struktur der in den Figuren Fig. 3A–Fig. 3E gezeigten Struktur ähnlich.

[0064] Die Fig. 19A–Fig. 21A, Fig. 19B–Fig. 21B, Fig. 19C–Fig. 21C, Fig. 19D–Fig. 21D und Fig. 19E–Fig. 21E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein zweites Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren des Elements **110** des Verfahrens **100**, welches mehrere voneinander beabstandete untere Spulenelemente der auszubildenden Spule ausbildet, gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert.

[0065] Wie das in den Fig. 2A–Fig. 3E gezeigte Beispiel verwendet auch das in den Fig. 19A–Fig. 21E gezeigte Beispiel einen einkristallinen Siliziumhalbleiterwafer **210** mit darüberliegender dielektrischer Grundschicht **212**. Das Beispiel der Fig. 19A–Fig. 21E beginnt mit dem Ausbilden einer Maske **1910** auf der Oberfläche der dielektrischen Grundschicht **212**. Im Anschluss werden die freiliegenden Bereiche der dielektrischen Grundschicht **212** geätzt, um mehrere voneinander beabstandete Gräben **1912** auszubilden, welche die voneinander beabstandeten unteren Spulenelemente der auszubildenden Spule in der Oberfläche der dielektrischen Grundschicht **212** definieren werden. Einer der Gräben **1912** legt das Plättchen P1 frei, während ein anderer der Graben **1912** das Plättchen P2 freilegt. Zusätzlich bildet das Ätzen auch ein Paar von Öffnungen **1914** in der dielektrischen Grundschicht **212** aus, welche das Paar der Plättchen P3 und P4 freilegen.

[0066] Im Anschluss an das Ätzen und bei positionierter Maske **1910** wird eine Kupferstruktur **1916** in den Gräben **1912** und den Öffnungen **1914** auf den freigelegten Bereichen der dielektrischen Grundschicht **212**, der Plättchen P1–P4 und der Maske **1910** ausgebildet, wie in den Fig. 20A–Fig. 20E gezeigt. Die Kupferstruktur **1916** kann beispielsweise durch aufeinanderfolgendes Aufdampfen von 300 Å Titan, 1 µm Kupfer und 300 Å Titan ausgebildet werden.

[0067] Wie in den Fig. 21A–Fig. 21E gezeigt ist, wird nach dem Ausbilden der Kupferstruktur **1916** als Nächstes die Maske **1910** entfernt, welche wiederum die darüberliegende Schicht der Kupferstruktur **1916** abhebt. Das Entfernen der Maske **1910** belässt die Kupferstruktur **1916** nur auf der dielektrischen Grundschicht **212** und bildet auf diese Weise die mehreren voneinander beabstandeten unteren Spulenelemente **220** und das Paar unterer Eingangs-/Aus-

gangselemente **222** aus. Wie gezeigt, ist die in den Fig. 21A–Fig. 21E veranschaulichte Struktur bis auf Einlassungen ähnlich zu der in den Fig. 3A–Fig. 3E gezeigten Struktur.

[0068] Die Fig. 22A–Fig. 26A, Fig. 22B–Fig. 26B, Fig. 22C–Fig. 26C, Fig. 22D–Fig. 26D und Fig. 22E–Fig. 26E zeigen eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel einer Alternativlösung zum Implementieren von Element **118** des Verfahrens **100**, welches die Deckelemente und Seitenelemente der auszubildenden Spule und die Spuren für den Schalter ausbildet, gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0069] Das Beispiel der Fig. 22A–Fig. 26E stimmt bis zum Ausbilden der Keimschicht **270** mit dem Beispiel der Fig. 2A–Fig. 15E überein, unterscheidet sich aber durch das Ausbilden einer Beschichtungsform **2210** auf der Oberfläche der Keimschicht **270** anstelle der Beschichtungsform **272**. Die Beschichtungsform **2210** unterscheidet sich von der Beschichtungsform **272** darin, dass die Beschichtungsform **2210** die Ausbildung des ersten und zweiten Seitenwandkontaktes **282** und **286** aus dem auszubildenden Kupfer verhindert. Die Struktur in der Form **2210** ist in Fig. 22A schraffiert gezeigt.

[0070] Im Anschluss an die Ausbildung der Form **2210** wird als Nächstes Kupfer elektrochemisch abgeschieden, um die mehreren Kupferseitenabschnitte **274** der Spule und die mehreren Kupferoberabschnitte **276** der Spule auszubilden. Zusätzlich wird durch das elektrochemische Abscheiden auch eine erste Schaltspur **2212** ausgebildet, welche sich nur insofern von der Schaltspur **280** unterscheidet, dass kein Seitenwandkontakt **282** vorgesehen ist, sowie eine zweite Schaltspur **2214** ausgebildet, welche sich von der Schaltspur **284** nur insofern unterscheidet, dass kein Seitenwandkontakt **286** vorgesehen ist. Im Anschluss daran werden die Form **2210** und die darunterliegenden Bereiche der Keimschicht **270** entfernt, wie in den Fig. 23A–Fig. 23E gezeigt ist.

[0071] Im Anschluss wird eine Maske **2216** ausgebildet und auf der oberen dielektrischen Schicht **262**, den Kupferoberabschnitten **276**, der ersten Schaltspur **2212** und der zweiten Schaltspur **2214** strukturiert, wie in den Fig. 24A–Fig. 24E gezeigt. Nach dem Ausbilden und Strukturieren der Maske **2216** wird eine leitfähige Schicht **2220**, wie beispielsweise eine Schicht aus Titan, Nickel oder Chrom, und eine darüberliegende Goldschicht auf den das Schaltelement **238** umgebenden freiliegenden Bereichen der oberen dielektrischen Schicht **262**, den das Aufhängungselement **240** umgebenden freiliegenden Bereichen der oberen dielektrischen Schicht **262**, den freiliegenden Bereichen der Opferstruktur **230** sowie der Maske **2260** abgeschieden. Wenn sie gesputtert werden, liefern Titan, Nickel, Chrom und Gold eine gute Abdeckung der (vertikalen) Seitenwände mit hohem Aspektverhältnis des Schaltelements **238** und des Aufhängungselements **240**, welche einander gegenüberliegen. Titan, Nickel und Chrom verbessern ihrerseits die Adhäsion von Gold.

[0072] Wie in den Fig. 25A–Fig. 25E gezeigt, wird die Maske **2216** nach dem Ausbilden der leitfähigen Schicht **2220** entfernt, wodurch wiederum die darüberliegende Schicht der leitfähigen Schicht **2220** abgehoben wird. Das Entfernen der Maske **2216** belässt die leitfähigen Schicht **2220** auf den Seitenwänden der oberen dielektrischen Schicht **262** über dem Schaltelement **238** und der ersten Schaltspur **2212** und den Seitenwänden der oberen dielektrischen Schicht **262** über dem Aufhängungselement **240** und der zweiten Schaltspur **2214** und bildet auf diese Weise einen Seitenwandkontakt **2222** der ersten Schaltspur **2212** und einen Seitenwandkontakt **2224** der zweiten Schaltspur **2214**, welche dem Seitenwandkontakt **2222** gegenüberliegt.

[0073] Wie in den Fig. 26A–Fig. 26E gezeigt, wird im Anschluss daran die Opferstruktur **230** entfernt. Das Entfernen der Opferstruktur **230** lässt das Zwischenelement **246** und den Fortsetzungsabschnitt **260** des Federelements **254** schweben wie zuvor, jedoch mit Goldkontakten.

[0074] Die Strukturen können zusätzlich auch in unterschiedlichen Formen ausgebildet werden. Beispielsweise kann die Maske **228** in unterschiedlichen Formen ausgebildet werden, so dass die Opferstruktur **230** unterschiedliche Formen aufweist. Zusätzlich kann die Beschichtungsform **234** in unterschiedlichen Formen ausgebildet werden, welche den Formen der Opferstruktur **230** entsprechen, so dass der Kern **236**, das Schaltelement **238** und das Aufhängungselement **240** unterschiedliche Formen aufweisen.

[0075] Beispielsweise zeigen die Fig. 27A–Fig. 27E eine Serie von Ansichten, welche ein Beispiel einer Opferstruktur **230** und eines Federelements **254** mit einer verschiedenen Form gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. In dem Beispiel der Fig. 27A–Fig. 27E ist das Federelement **254** mit einem Paar gegenüberliegender Strukturen ausgebildet, die jeweils einen Basisabschnitt **256** und einen C-förmigen Fortsetzungsabschnitt **260** aufweisen.

[0076] Die Fig. 28A–Fig. 28E zeigen weiterhin eine Serie von Ansichten, die ein Beispiel einer Opferstruktur **230**, eines Kerns **236**, eines Zwischenelements **246** und eines Federelements **254** mit einer verschiedenen Form gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulichen. In dem Beispiel der Fig. 28A–Fig. 28E ist der Kern **236** als nahezu geschlossene Torusform ausgebildet, während das Zwischenelement **246** in einer Keilform oder Torten-

stückform ausgebildet ist, die in die Öffnung der nahezu geschlossenen Torusform passt. Zusätzlich ist auch das Federelement **254** mit einem Paar gegenüberliegender Strukturen, welche jeweils einen Basisabschnitt **256** und einen C-förmigen Abschnitt **260** aufweisen, ausgebildet.

[0077] Wie vorstehend ausgeführt, kann die dielektrische Schicht **212** eine dielektrische Schicht ohne Metallstrukturen darstellen. Wenn keine Metallstrukturen vorliegen, können die elektrischen Verbindungen zur Spule **1510** beispielsweise mittels Drahtbonden zu Punkten auf den Kupferoberabschnitten **276**, welche gegenüberliegende Enden der Spule **1510** darstellen, ausgeführt werden. Zusätzlich können Verbindungen zu der ersten und zweiten Schaltspur **280** und **284** beispielsweise durch Drahtbonden ausgebildet werden. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die vorliegende Erfindung verhältnismäßig niedrige Verarbeitungstemperaturen erfordert. Daher ist die vorliegende Erfindung kompatibel mit herkömmlichen Backend-CMOS-Verfahren.

[0078] Es versteht sich, dass die vorangegangenen Beschreibungen Beispiele der vorliegenden Erfindung sind und dass verschiedene Alternativen der hier beschriebenen Erfindung beim Ausführen der Erfindung eingesetzt werden können. Beispielsweise können die verschiedenen Keimschichten als Kupfer-Keimschichten oder als Wolfram-, Chrom- oder Kombinationskeimschichten ausgeführt sein, um die richtigen ohmschen und mechanischen (Abzieh-)Eigenschaften bereitzustellen. Zusätzlich kann ein Umschalter einfach hergestellt werden, indem zwei MEMS-Relais **1500** verwendet werden, die zueinander spiegelbildlich angeordnet werden. Es ist daher beabsichtigt, dass die nachfolgenden Ansprüche den Umfang der Erfindung bestimmen und dass Strukturen und Verfahren innerhalb des Umfangs dieser Ansprüche ebenso wie ihre Äquivalente umfasst werden.

Patentansprüche

1. Mikrosystem(MEMS)-Relais mit:
einem Kern, welcher eine dielektrische Struktur berührt, wobei der Kern ein magnetisch leitfähiges Material umfasst;
einer Spule, welche die dielektrische Struktur berührt und um den Kern gewickelt ist;
einem Schaltelement, welches die dielektrische Struktur berührt; und
einem Aufhängungselement, welches die dielektrische Struktur berührt und ein magnetisch leitfähiges Material aufweist, wobei kein Abschnitt des Aufhängungselements den Kern berührt, wenn kein Strom durch die Spule fließt, und wobei das Aufhängungselement in Reaktion auf einen durch die Spule fließenden Strom in Richtung auf den Kern beweglich ist.

2. Relais nach Anspruch 1 mit zusätzlich:
einer ersten leitfähigen Spur, welche das Schaltelement berührt; und
einer zweiten leitfähigen Spur, welche das Aufhängungselement berührt.

3. Relais nach Anspruch 2, bei welchem die zweite leitfähige Spur einen elektrischen Kontakt mit der ersten leitfähigen Spur herstellt und trennt, wenn sich das Aufhängungselement in Reaktion auf Änderungen eines durch die Spule fließenden Stromes bewegt.

4. Relais nach Anspruch 3, bei welchem ein magnetischer Fluss einen Abschnitt des Aufhängungselementes durchsetzt und im Wesentlichen kein magnetischer Fluss die erste und die zweite leitfähige Spur durchsetzt, wenn ein Strom durch die Spule fließt.

5. Relais nach Anspruch 2, bei welchem die erste leitfähige Spur eine erste Kontaktoberfläche aufweist und die zweite leitfähige Spur eine zweite Kontaktoberfläche aufweist.

6. Relais nach Anspruch 5, bei welchem die zweite Kontaktoberfläche der zweiten leitfähigen Spur sich in Richtung auf die erste Kontaktoberfläche der ersten leitfähigen Spur bewegt und die erste Kontaktoberfläche berührt, wenn ein Strom durch die Spule fließt, und sich von der ersten Kontaktoberfläche der ersten leitfähigen Spur entfernt, wenn kein Strom durch die Spule fließt.

7. Relais nach Anspruch 6, bei welchem ein magnetischer Fluss einen Abschnitt des Aufhängungselementes durchsetzt und im Wesentlichen kein magnetischer Fluss die erste und die zweite leitfähige Spur durchsetzt, wenn ein Strom durch die Spule fließt.

8. Relais nach Anspruch 7, bei welchem das Aufhängungselement und der Kern einen ersten minimalen Trennungsabstand aufweisen, wenn kein Strom durch die Spule fließt, und die erste Kontaktoberfläche der ersten leitfähigen Spur und die zweite Kontaktoberfläche der zweiten leitfähigen Spur einen zweiten minimalen Trennungsabstand aufweisen, wenn kein Strom durch die Spule fließt, wobei der zweite minimale Trennungsabstand nicht größer als der erste maximale Trennungsabstand ist.

9. Relais nach Anspruch 6, bei welchem der Kern U-fömig ist.

10. Relais nach Anspruch 6, bei welchem kein Abschnitt der Spule um das Aufhängungselement gewickelt ist.

11. Verfahren zum Ausbilden eines Mikrosystem (MEMS)-Relais mit nachfolgenden Schritten:
Ausbilden mehrerer voneinander beabstandeter unterer Spulenelemente, welche mehrere untere Horizontalabschnitte einer Spule bilden;
Ausbilden einer unteren dielektrischen Schicht, welche die voneinander beabstandeten unteren Spulenelemente berührt;
Ausbilden einer Opferstruktur, welche die untere dielektrische Schicht berührt; und
Ausbilden eines Kerns, eines Schaltelements und eines Aufhängungselements, welche die untere dielektrische Schicht berühren, wobei das Aufhängungselement die Opferstruktur berührt und kein Abschnitt des Schaltelements den Kern berührt.

12. Verfahren nach Anspruch 11 mit den Schritten des Ausbildens von Deckbereichen und Seitenbereichen, welche die unteren Spulenelemente zum Ausbilden einer Spule berühren, einer ersten leitfähigen Spur, welche über dem Schaltelement sitzt, und einer zweiten leitfähigen Spur, welche über und auf dem Aufhängungselement sitzt, wobei kein Abschnitt der Spule um das Aufhängungselement gewickelt ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12 mit dem Schritt des Entfernen der Opferstruktur nach dem Ausbilden der Spule, der ersten leitfähigen Spur und der zweiten leitfähigen Spur, so dass sich das Aufhängungselement in Reaktion auf Änderungen eines durch die Spule fließenden Stromes bewegt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei welchem die zweite leitfähige Spur einen elektrischen Kontakt mit der ersten leitfähigen Spur herstellt und trennt, wenn sich das Aufhängungselement in Reaktion auf Änderungen eines durch die Spule fließenden Stromes bewegt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei welchem ein magnetischer Fluss einen Abschnitt des Aufhängungselementes durchsetzt und im Wesentlichen kein magnetischer Fluss die erste und die zweite leitfähige Spur durchsetzt, wenn ein Strom durch die Spule fließt.

Es folgen 55 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

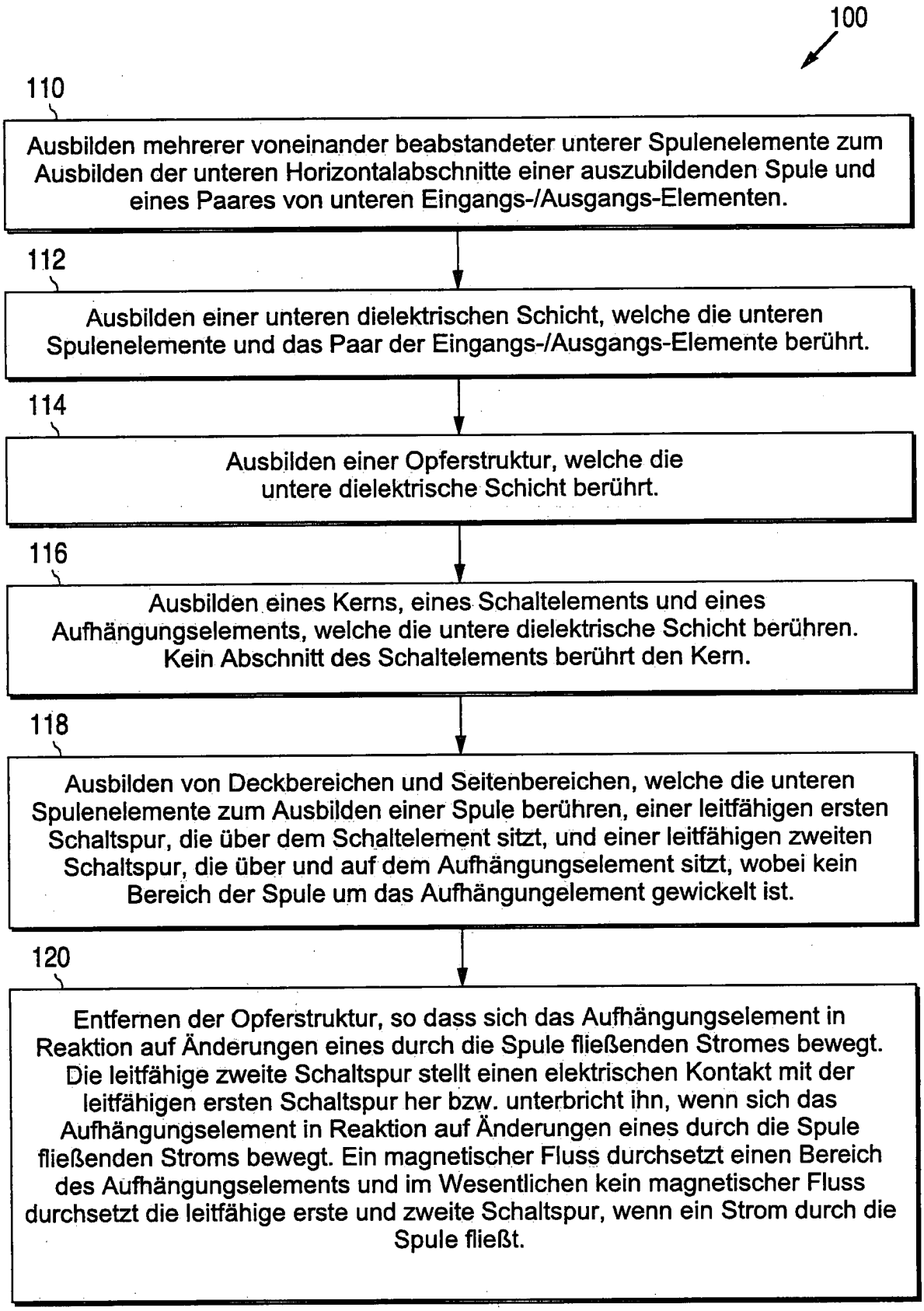


FIG. 1

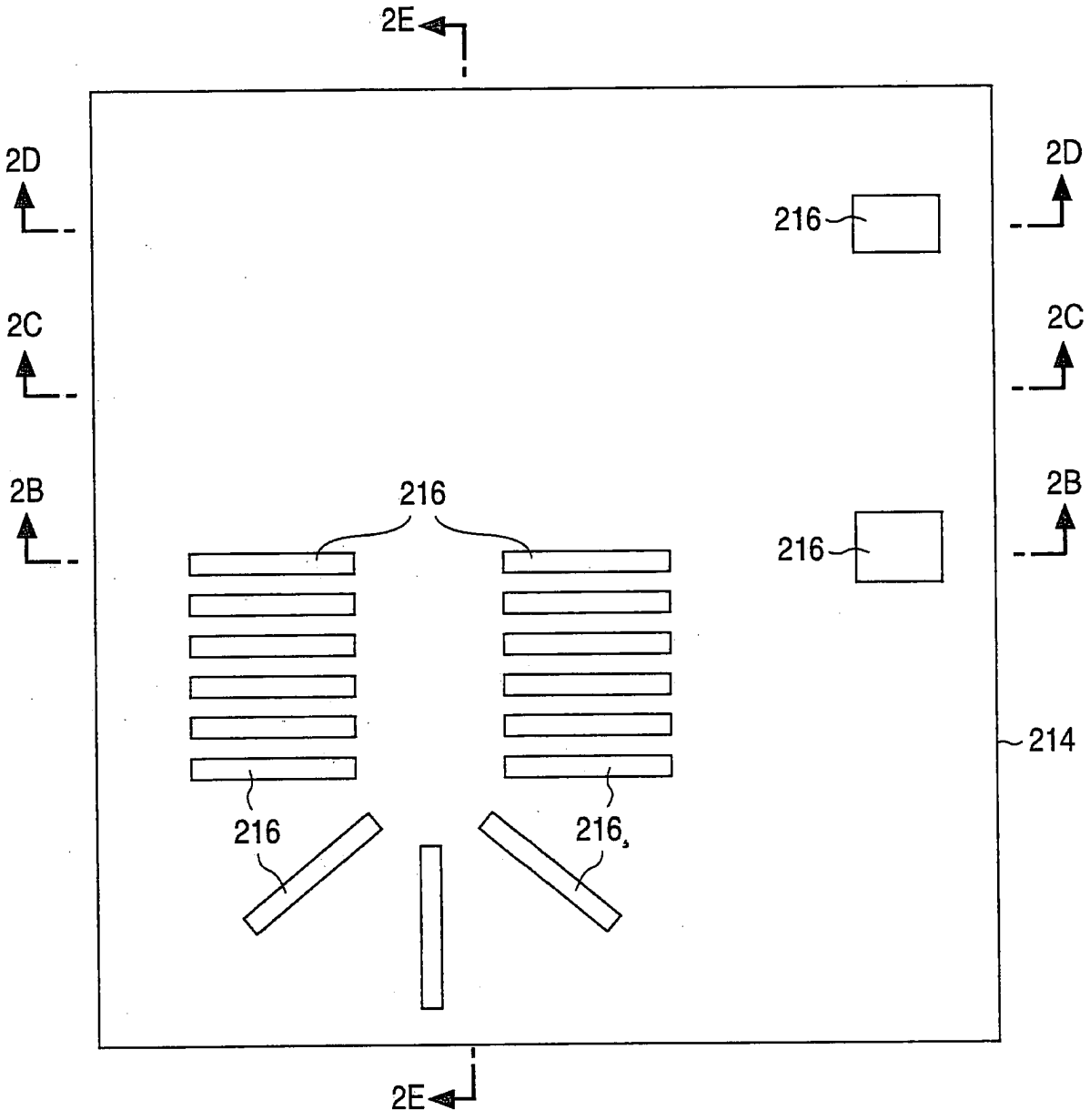


FIG. 2A

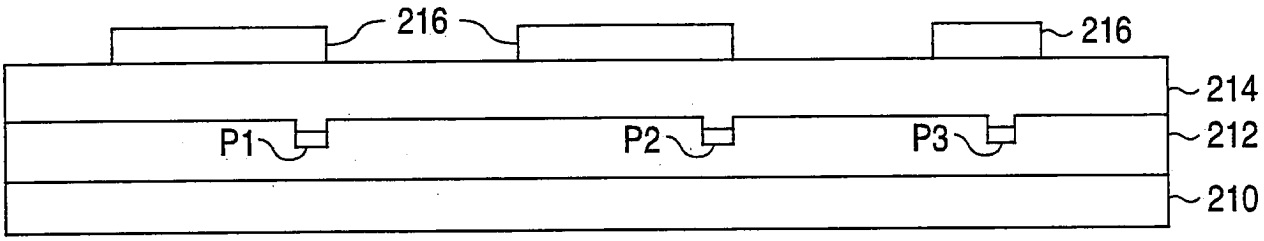


FIG. 2B

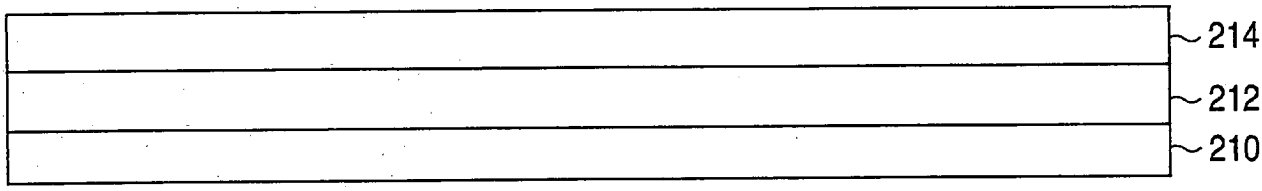


FIG. 2C

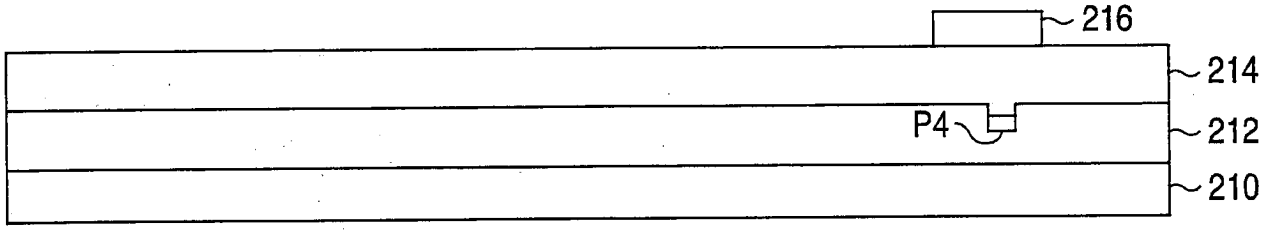


FIG. 2D

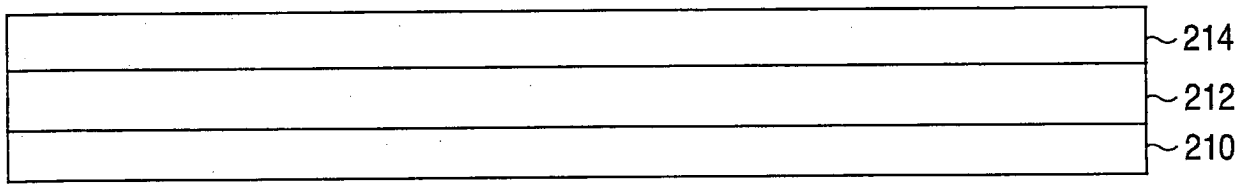


FIG. 2E

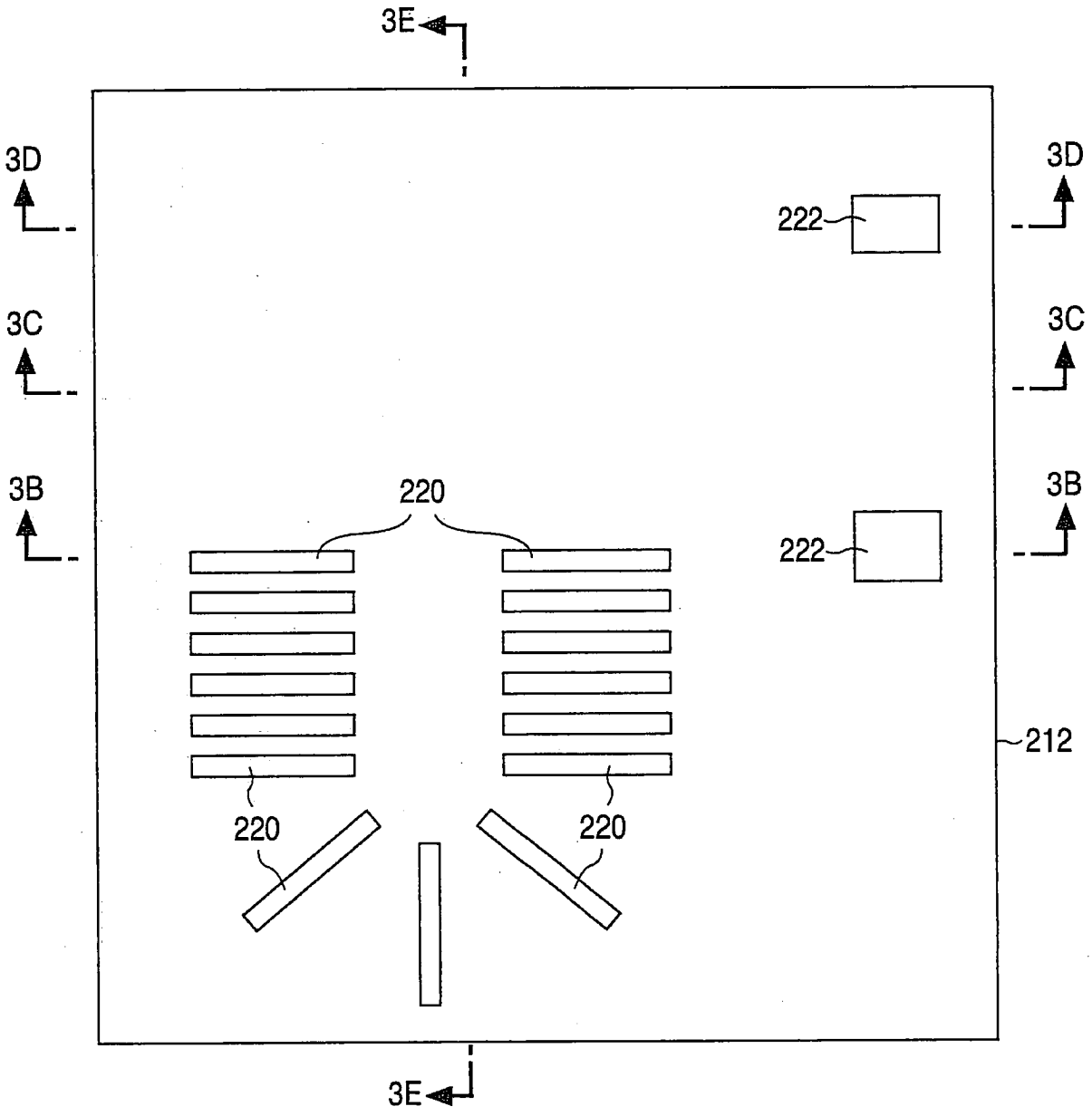


FIG. 3A

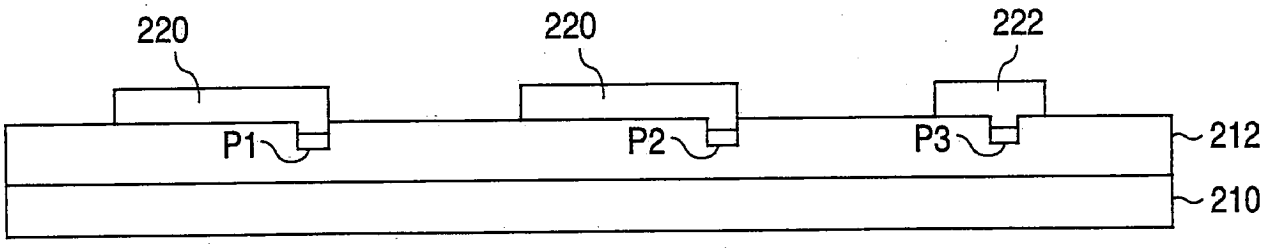


FIG. 3B

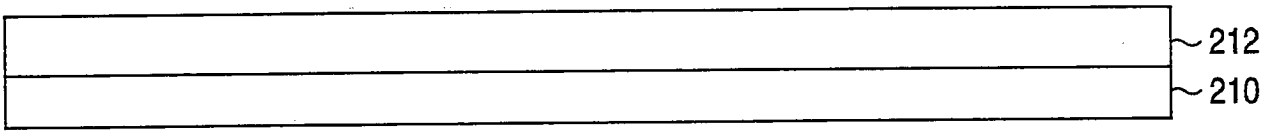


FIG. 3C

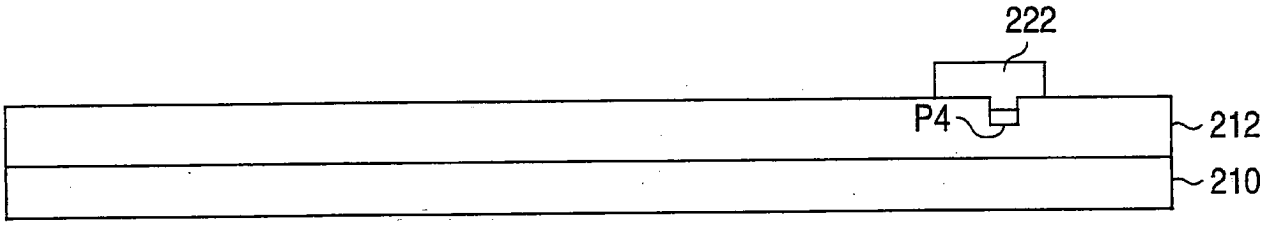


FIG. 3D

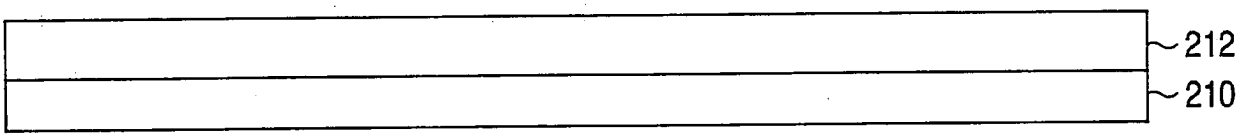


FIG. 3E

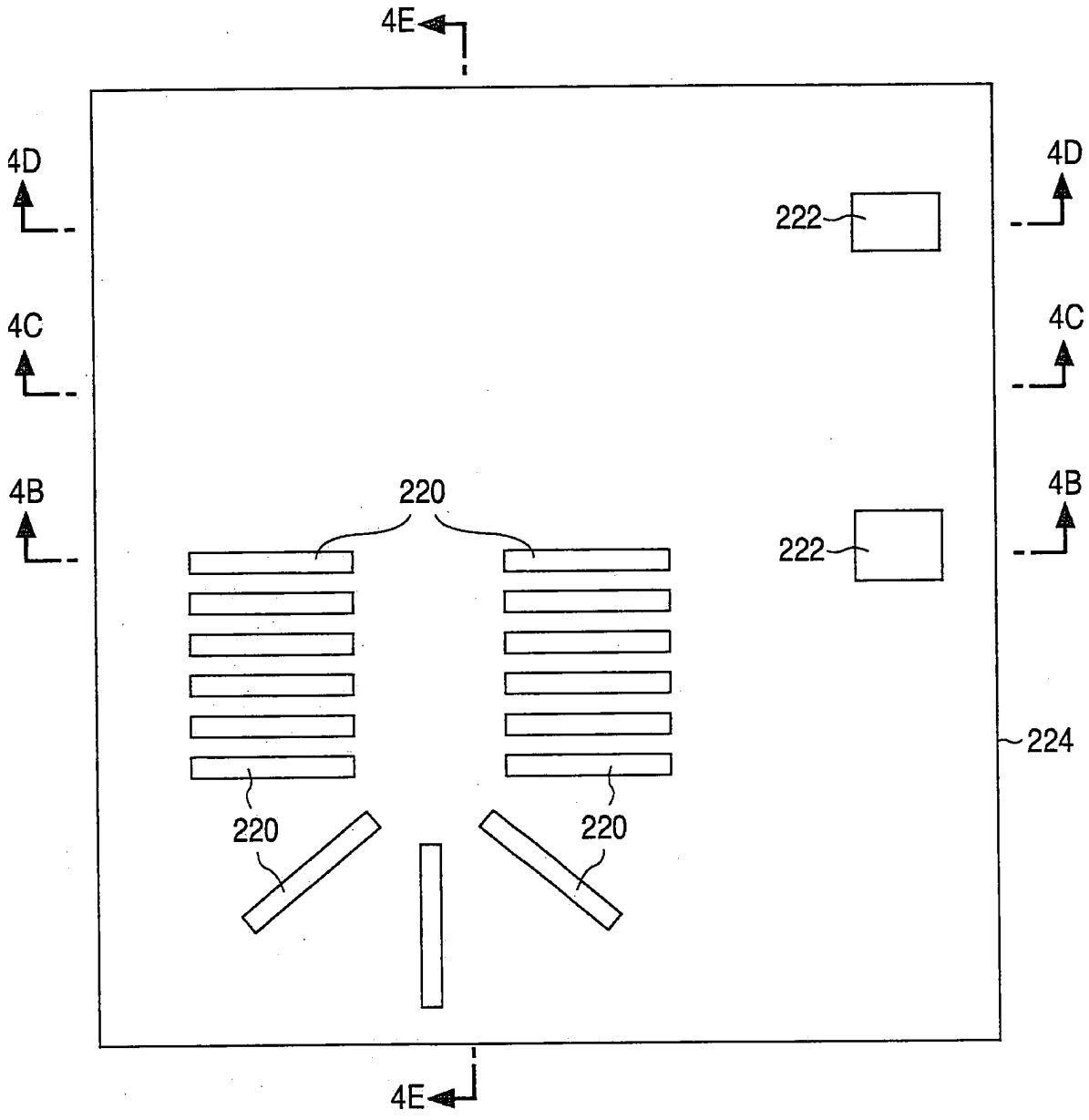


FIG. 4A

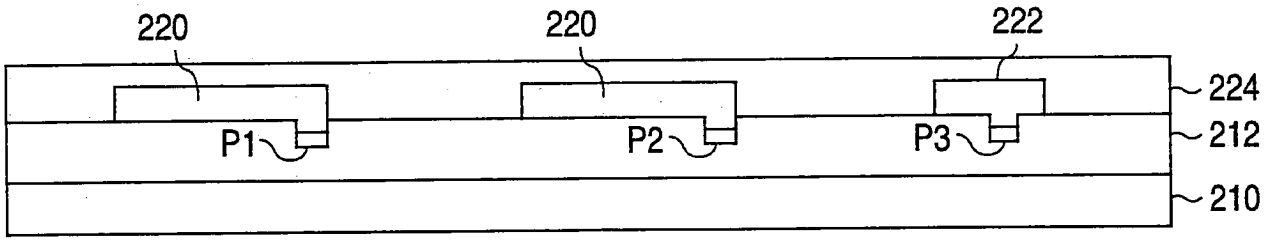


FIG. 4B

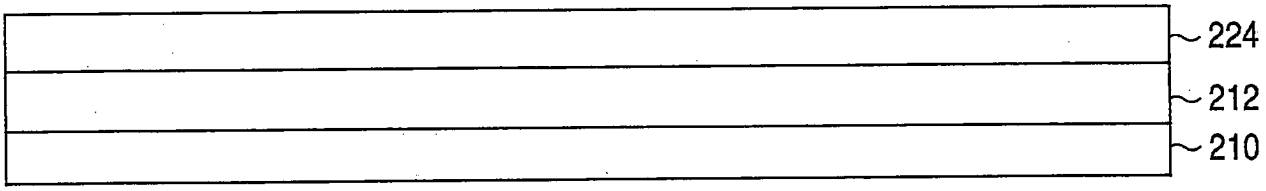


FIG. 4C

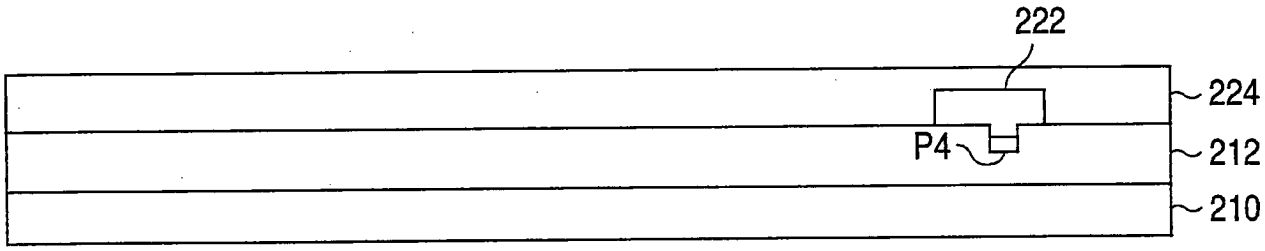


FIG. 4D

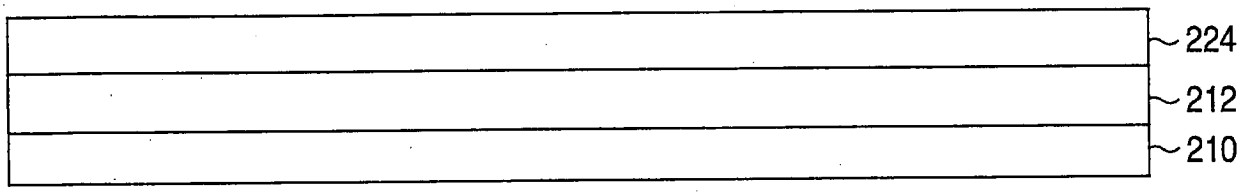


FIG. 4E

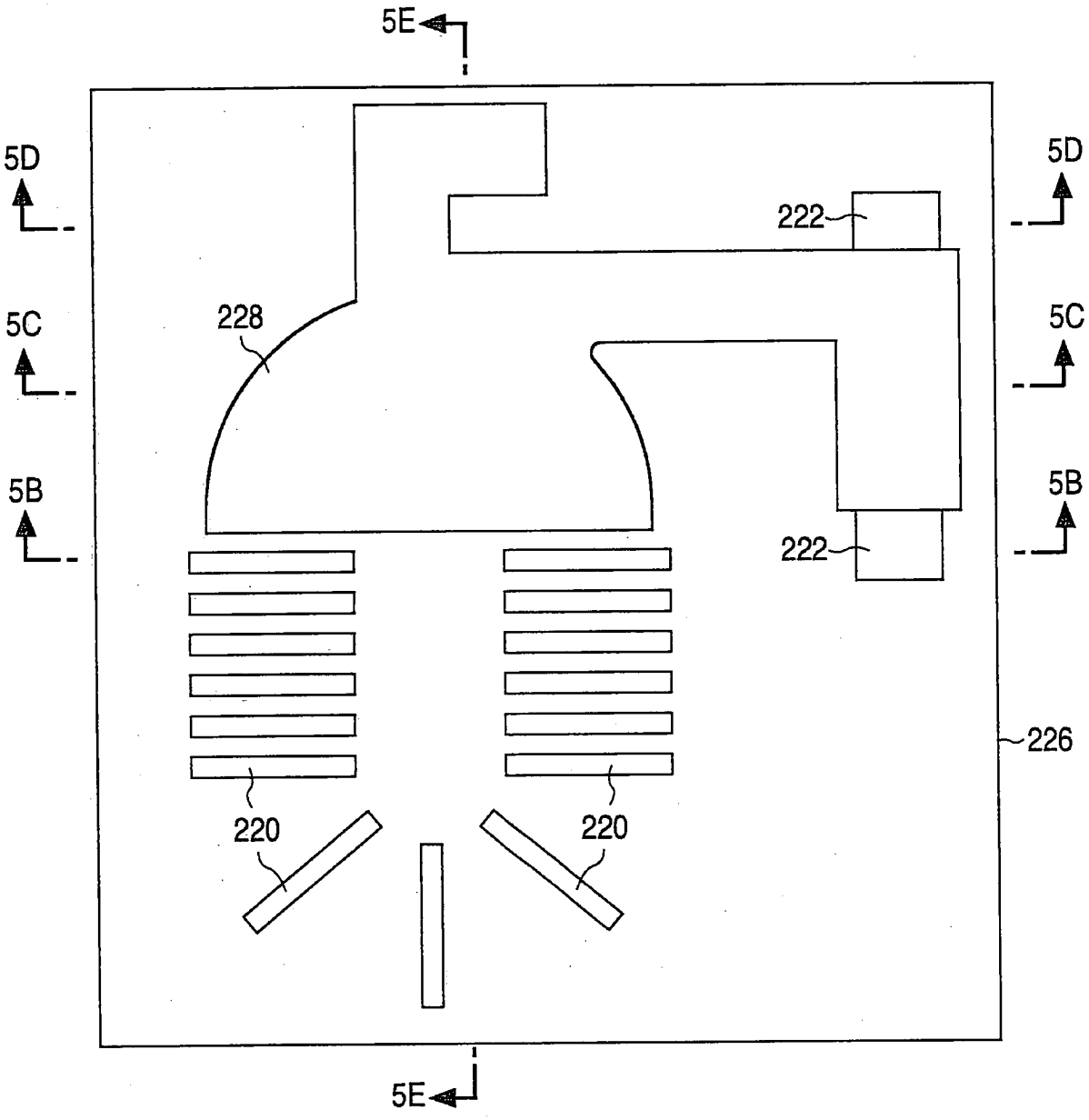


FIG. 5A

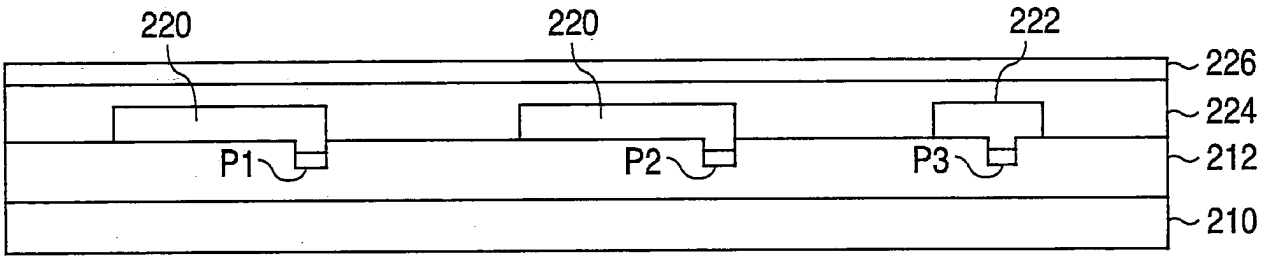


FIG. 5B

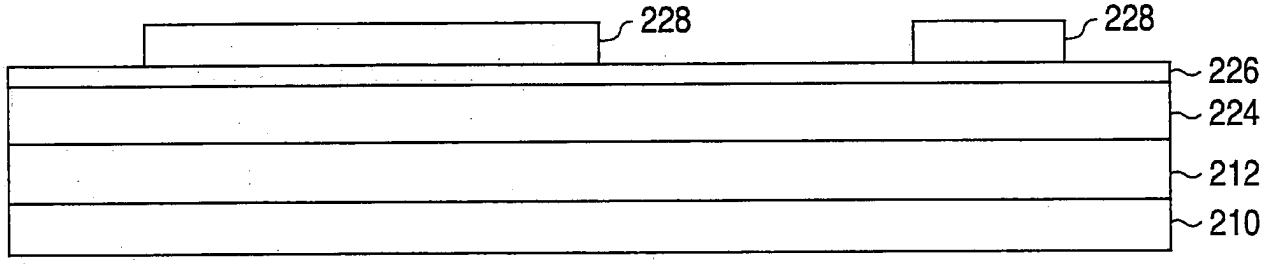


FIG. 5C

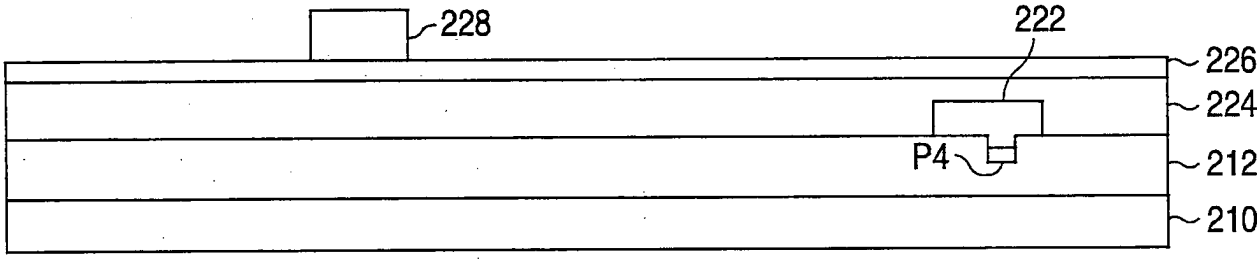


FIG. 5D

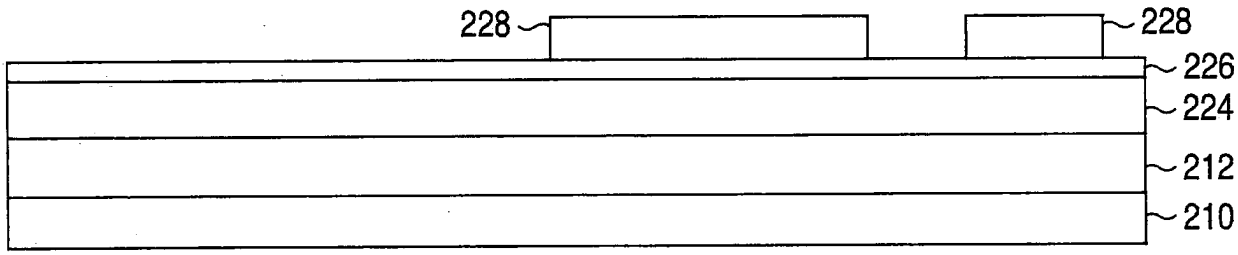


FIG. 5E

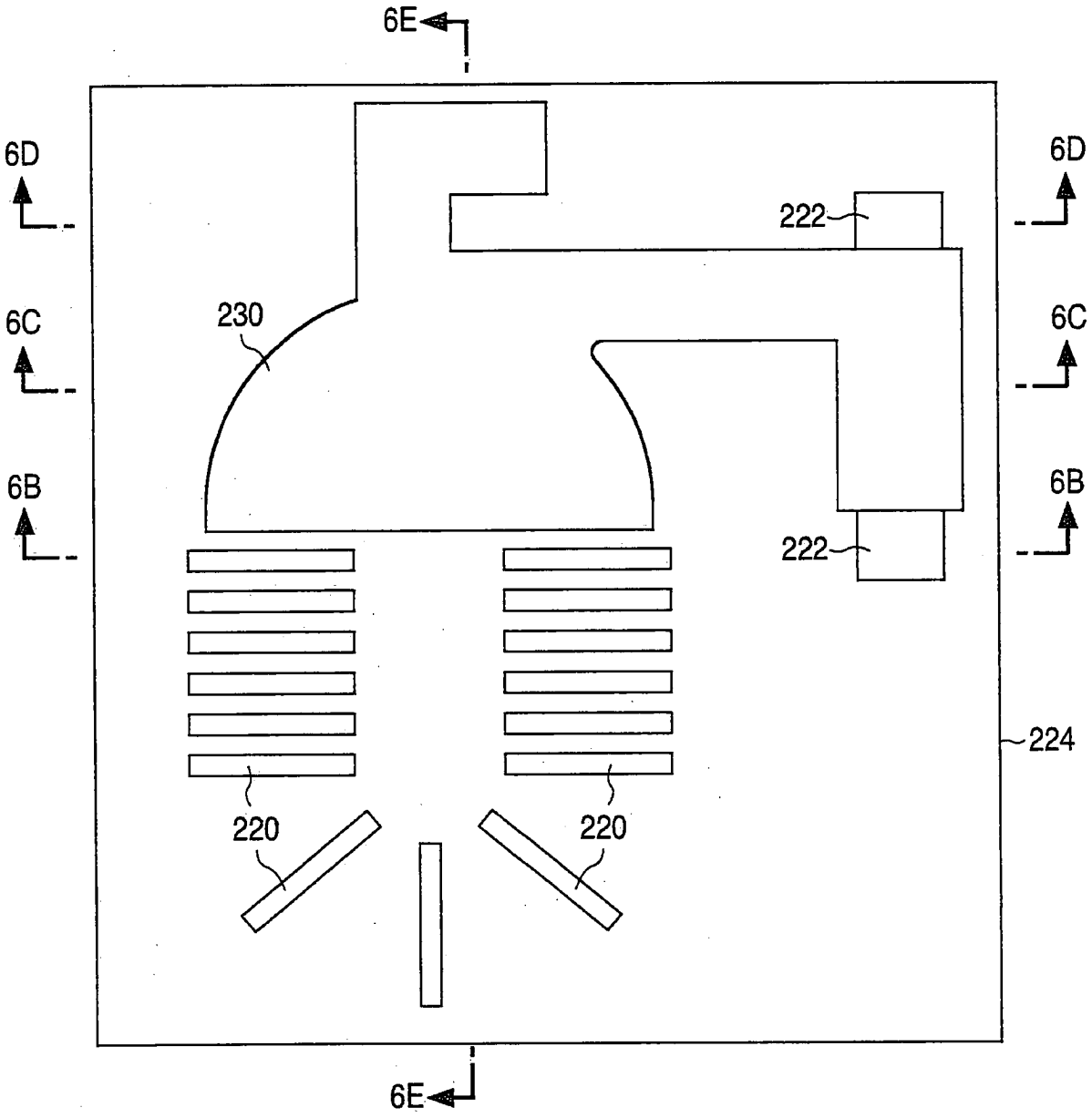


FIG. 6A

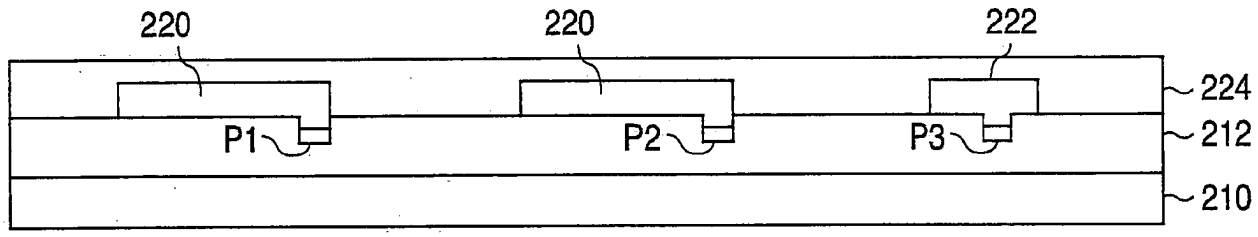


FIG. 6B

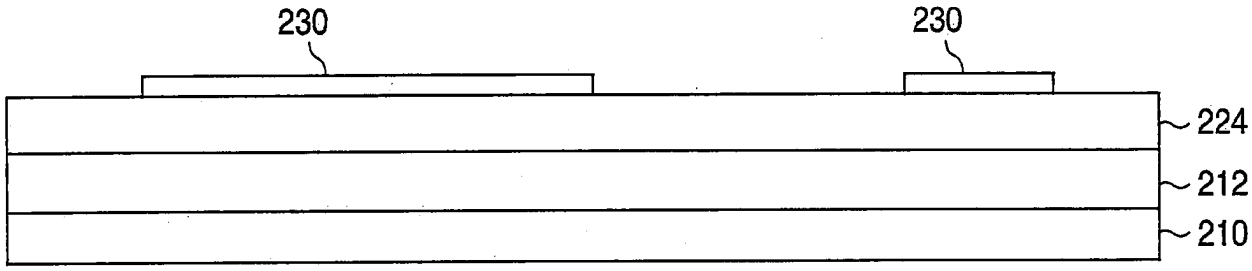


FIG. 6C

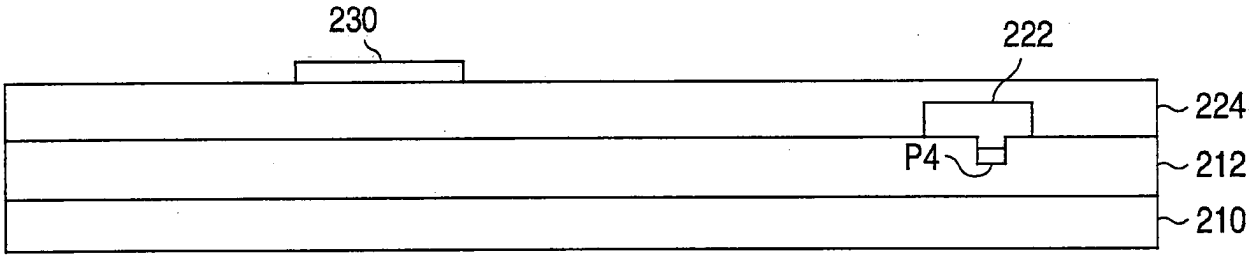


FIG. 6D

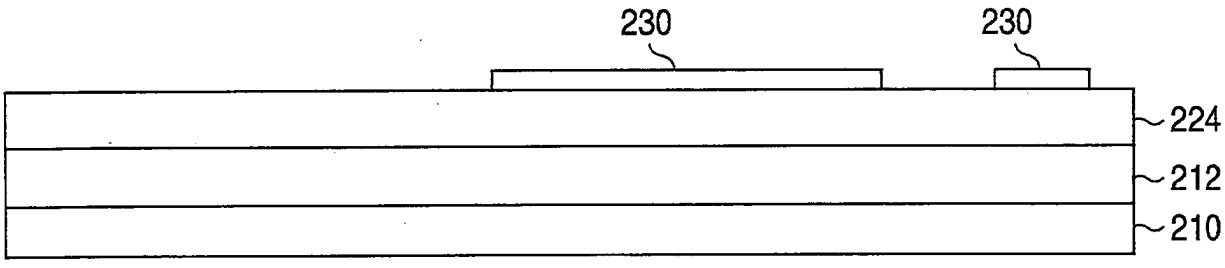


FIG. 6E

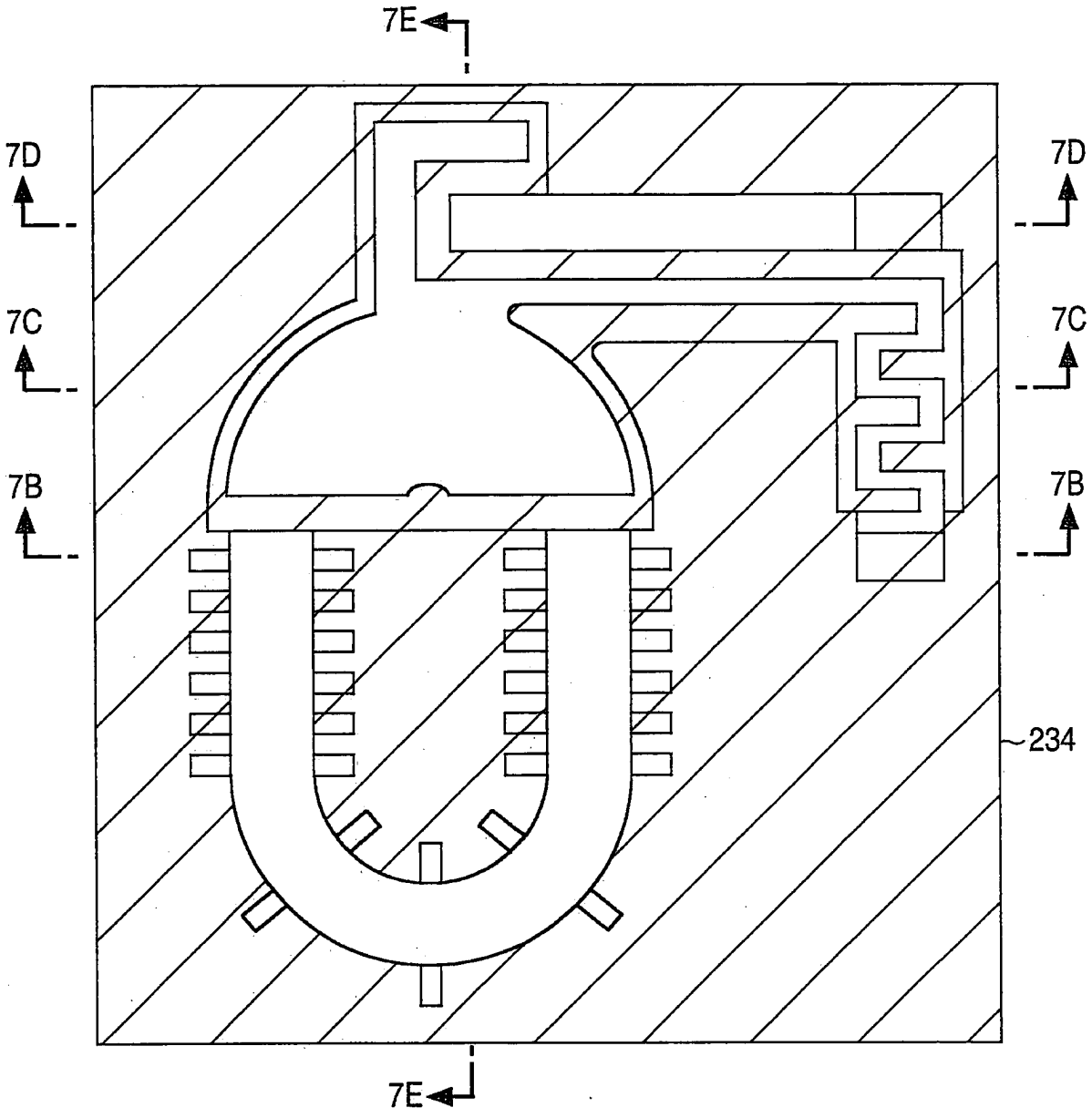


FIG. 7A

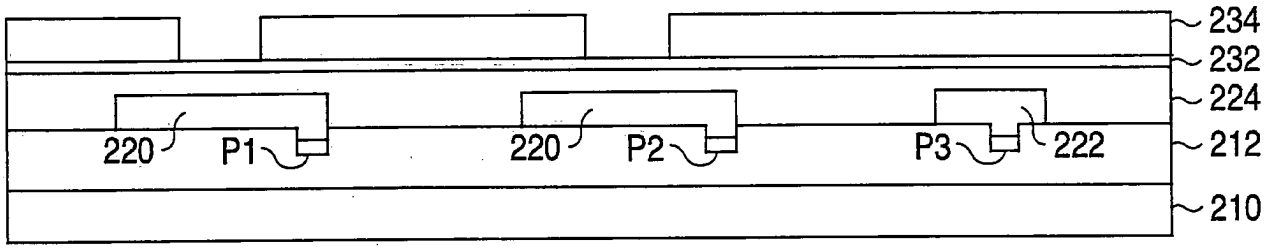


FIG. 7B

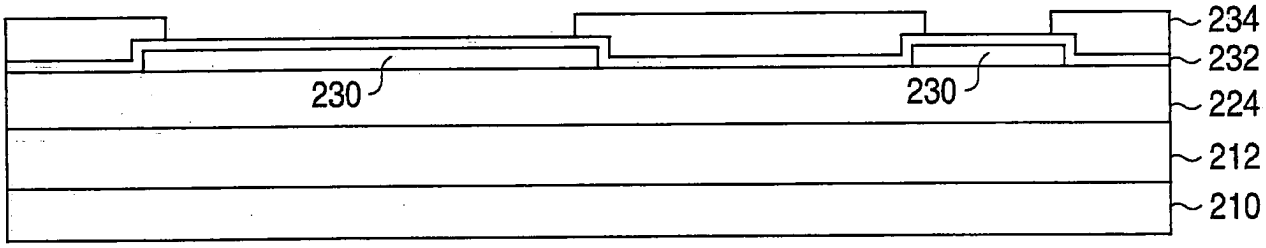


FIG. 7C

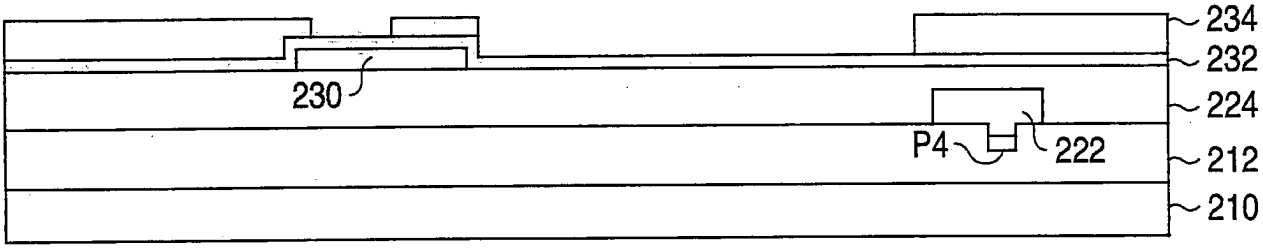


FIG. 7D

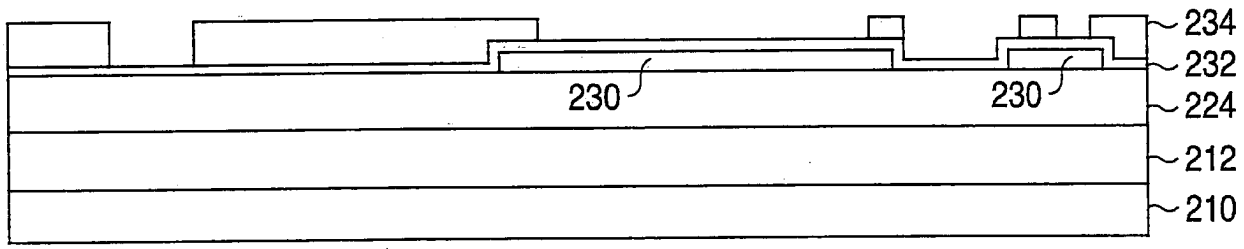


FIG. 7E

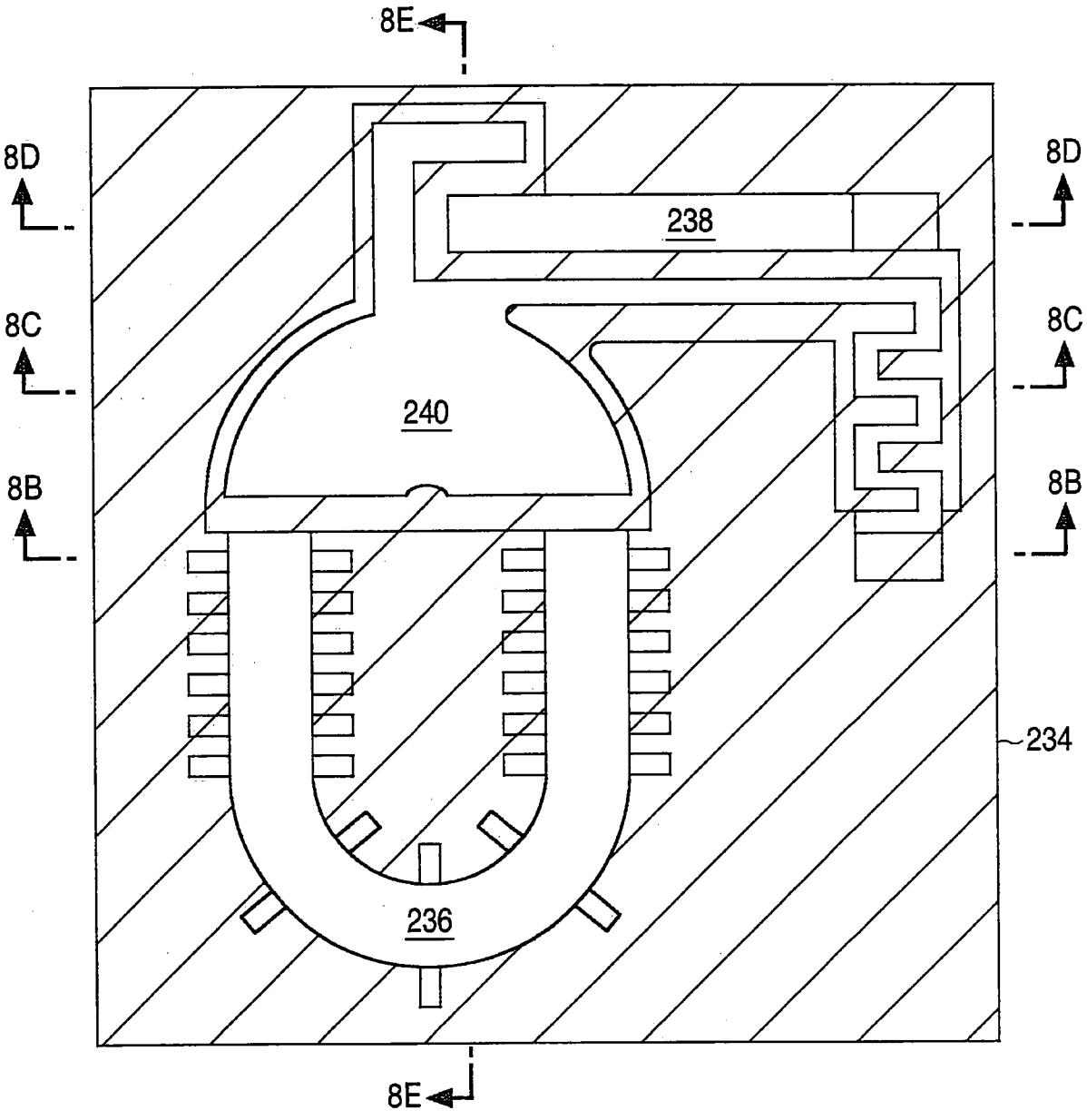


FIG. 8A

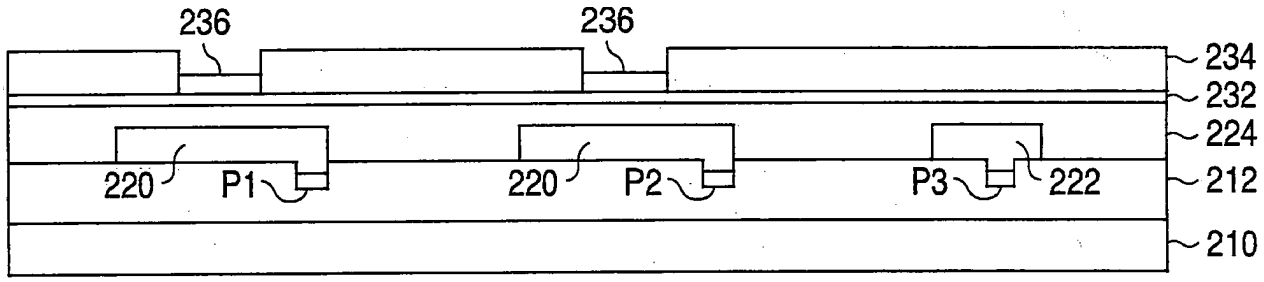


FIG. 8B

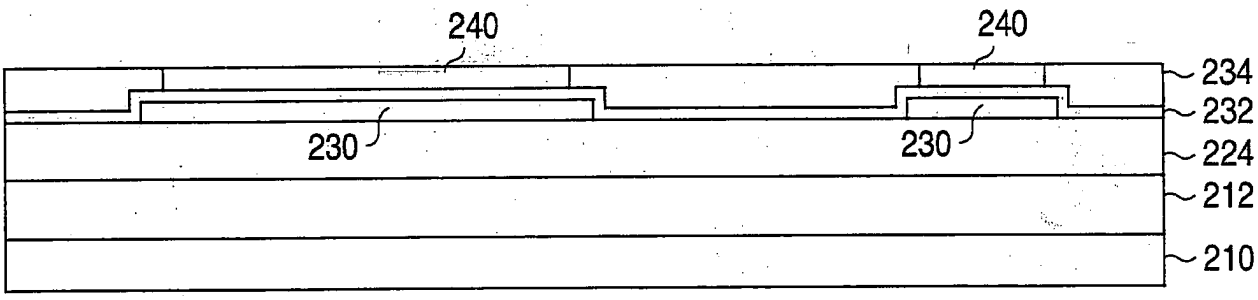


FIG. 8C

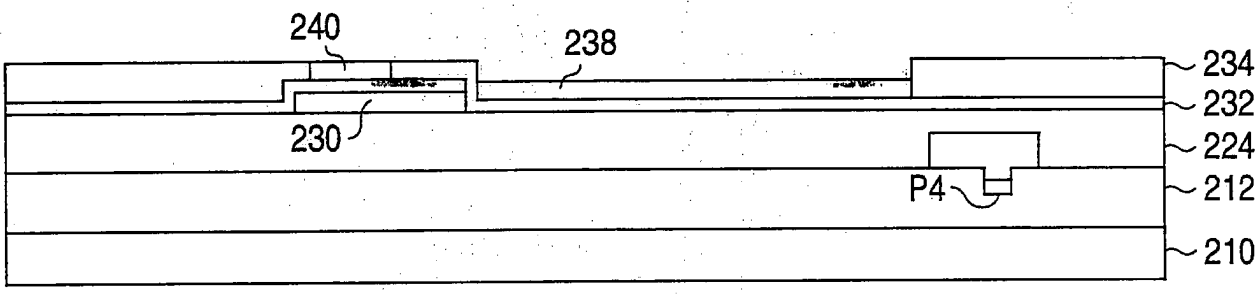


FIG. 8D

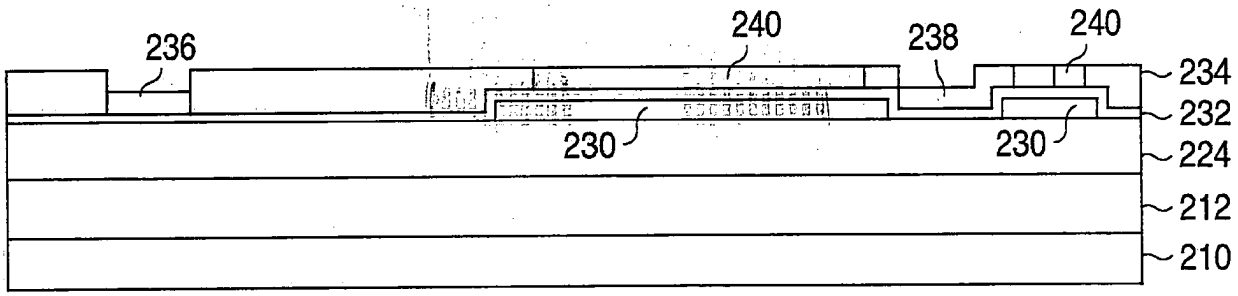


FIG. 8E

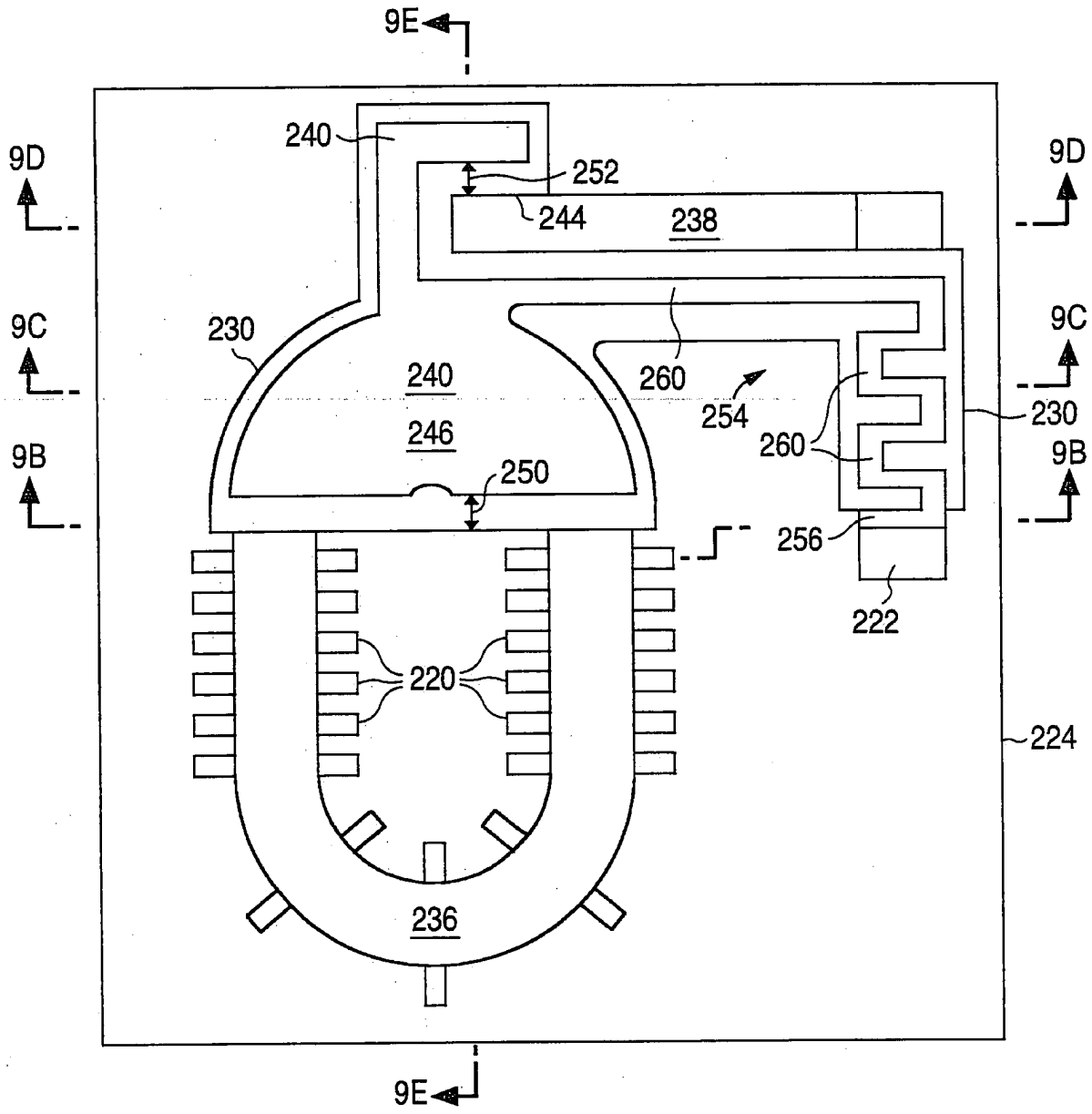

9E
9D
9C
9B
240
252
244
238
230
240
246
250
260
254
260
230
256
222
220
224
236
9E

FIG. 9A

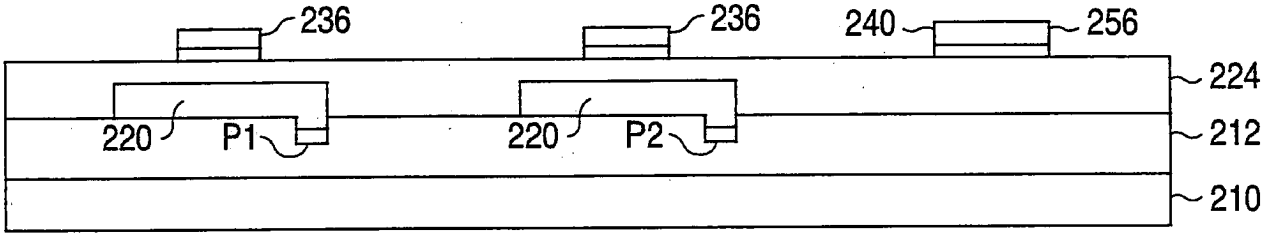


FIG. 9B

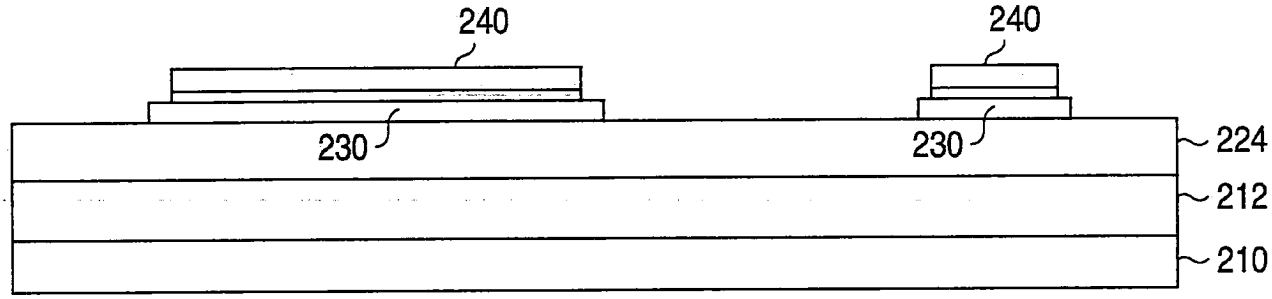


FIG. 9C

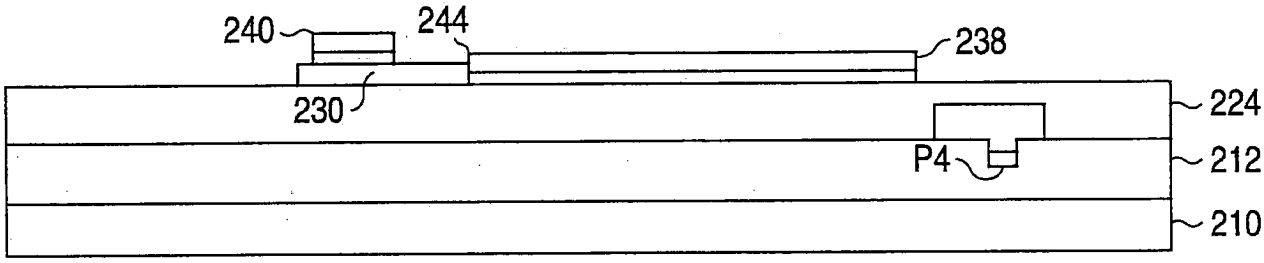


FIG. 9D

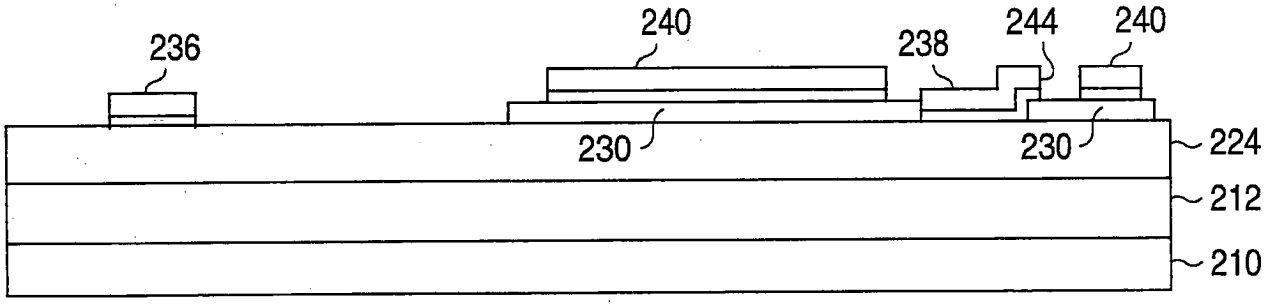


FIG. 9E

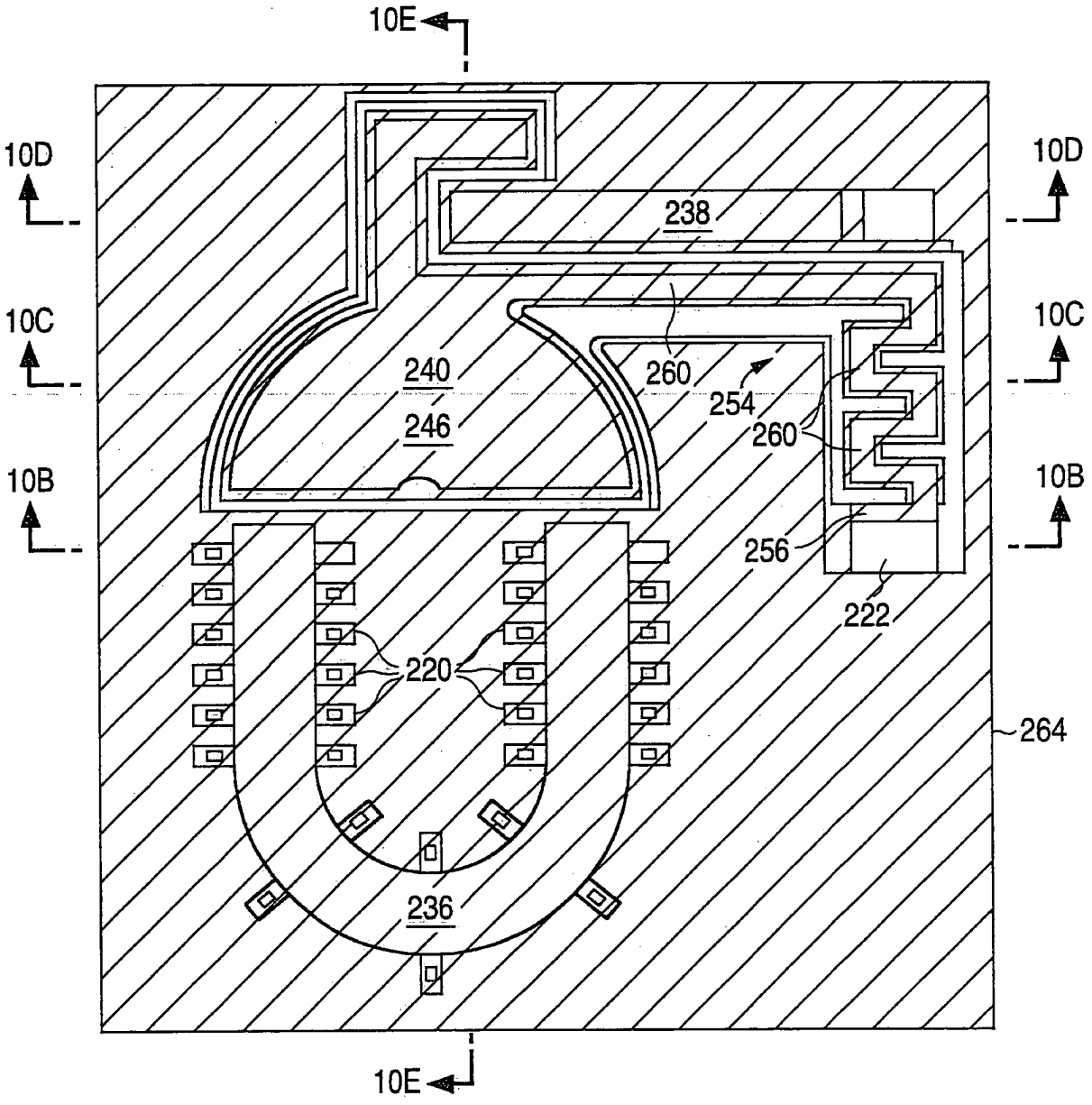

10E
10D
10C
10B
238
240
246
260
254
260
256
222
220
264
236
10E
10D
10C
10B

FIG. 10A

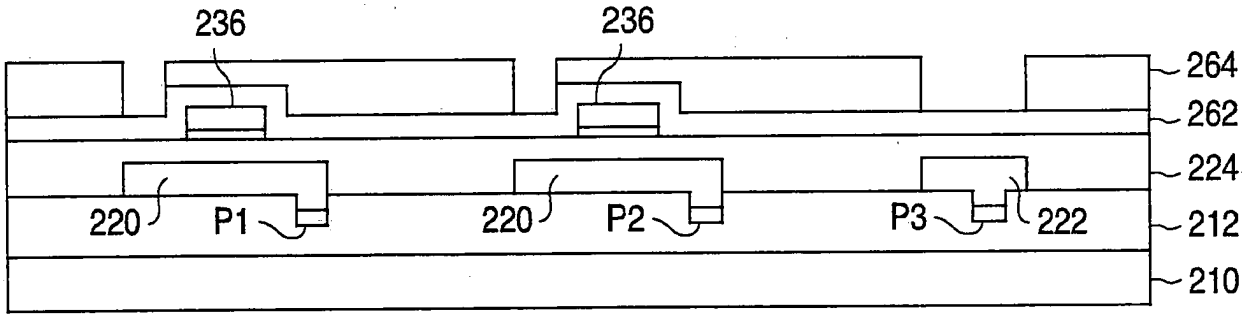


FIG. 10B

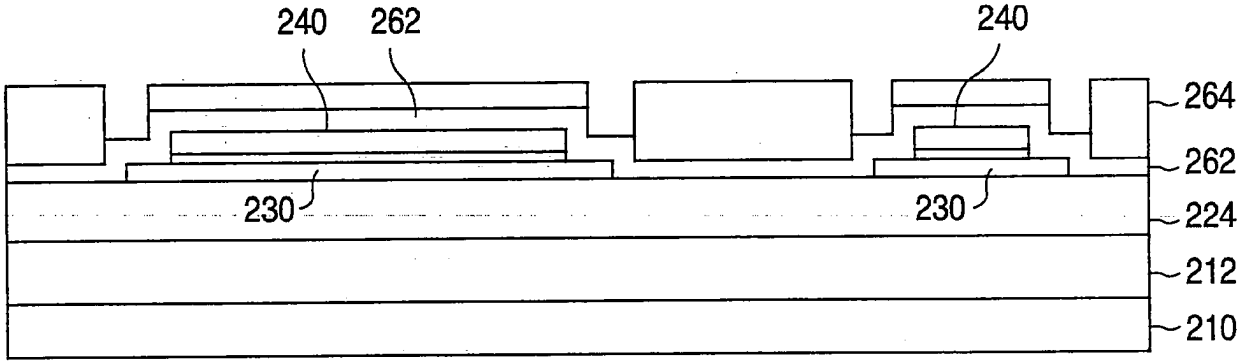


FIG. 10C

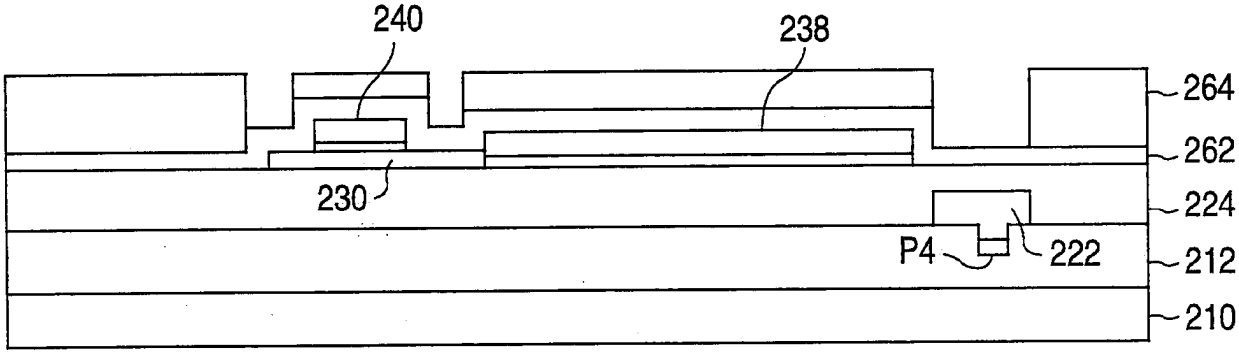


FIG. 10D

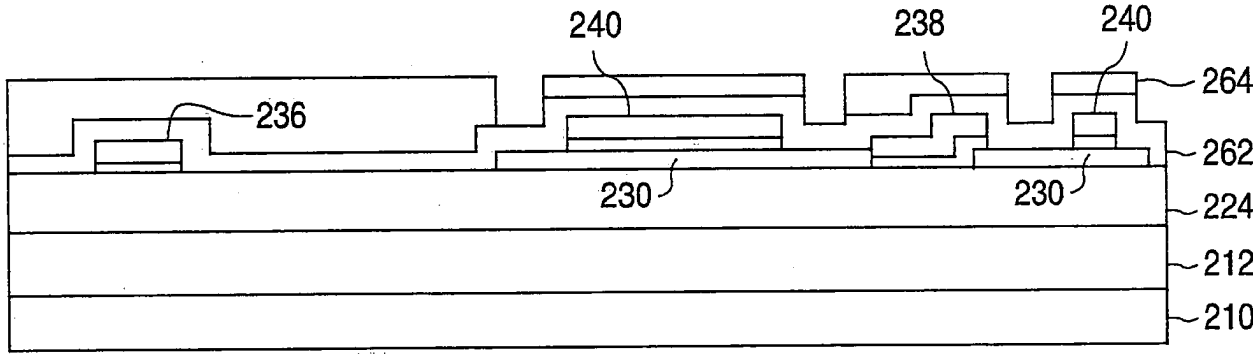


FIG. 10E

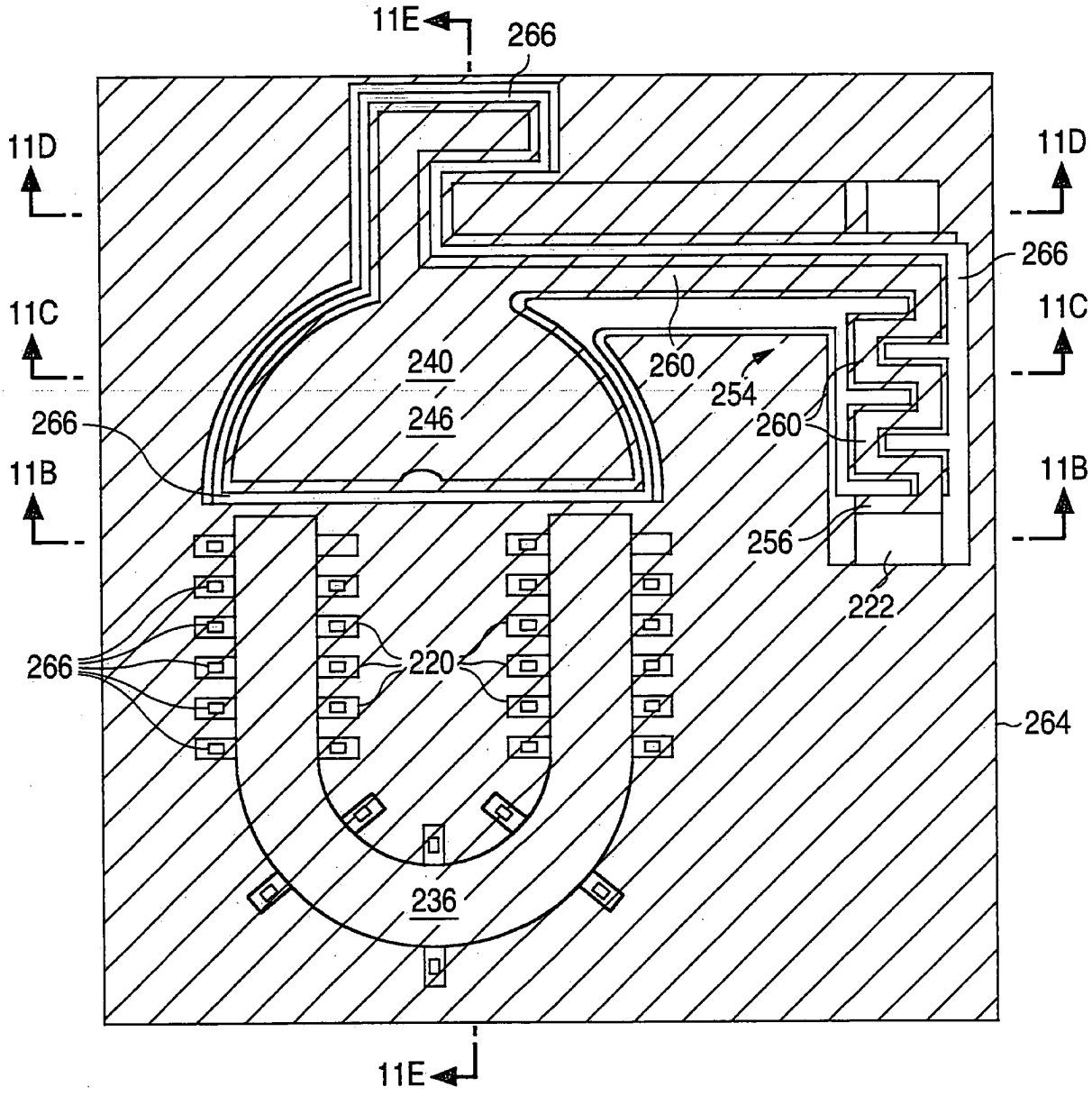

11E
266
11D
11D
266
11C
11C
240
246
260
254
260
266
11B
11B
256
222
266
220
264
236
11E

FIG. 11A

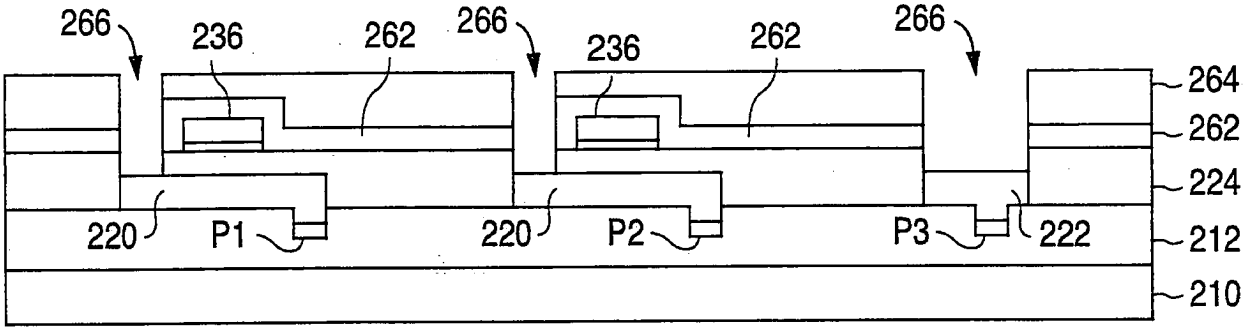


FIG. 11B

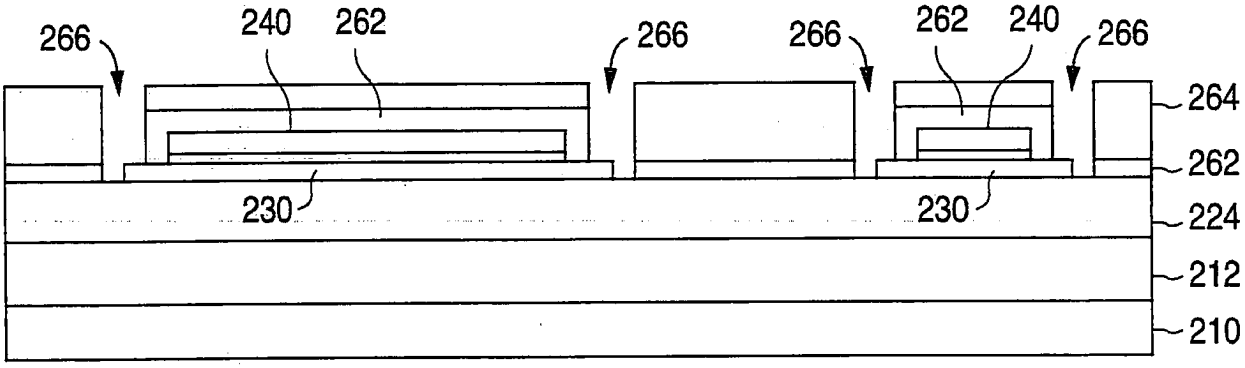


FIG. 11C

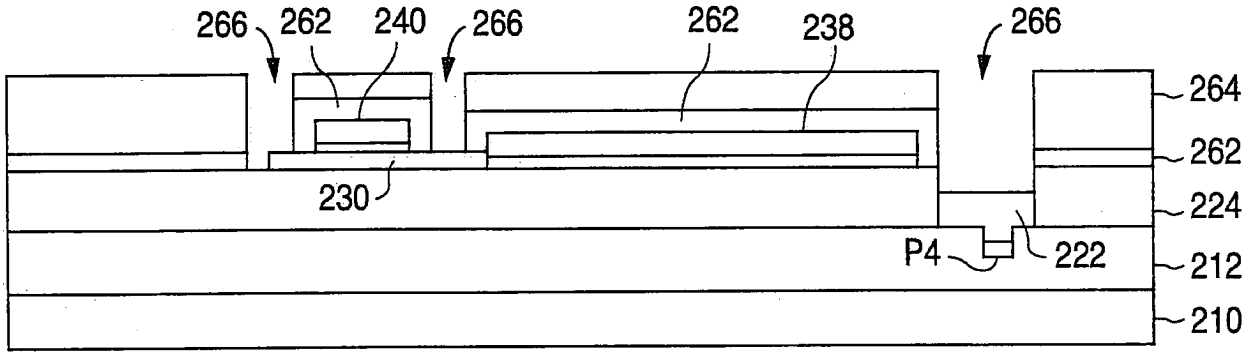


FIG. 11D

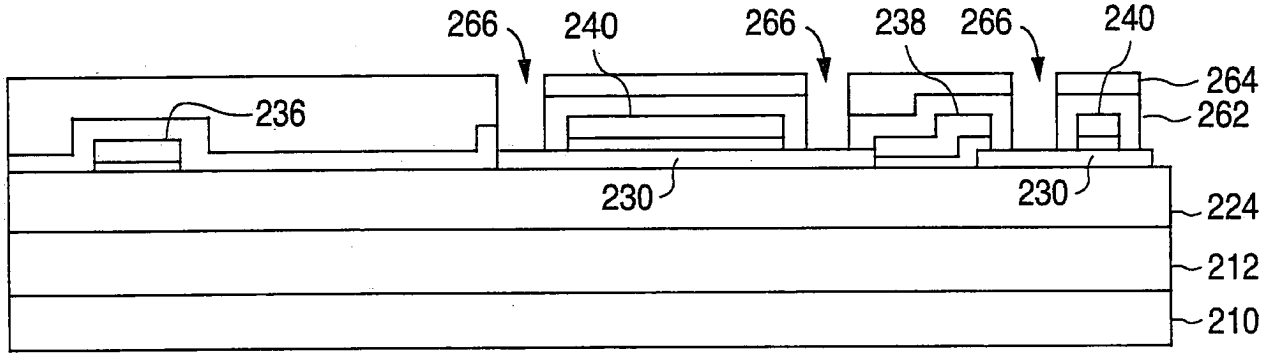


FIG. 11E

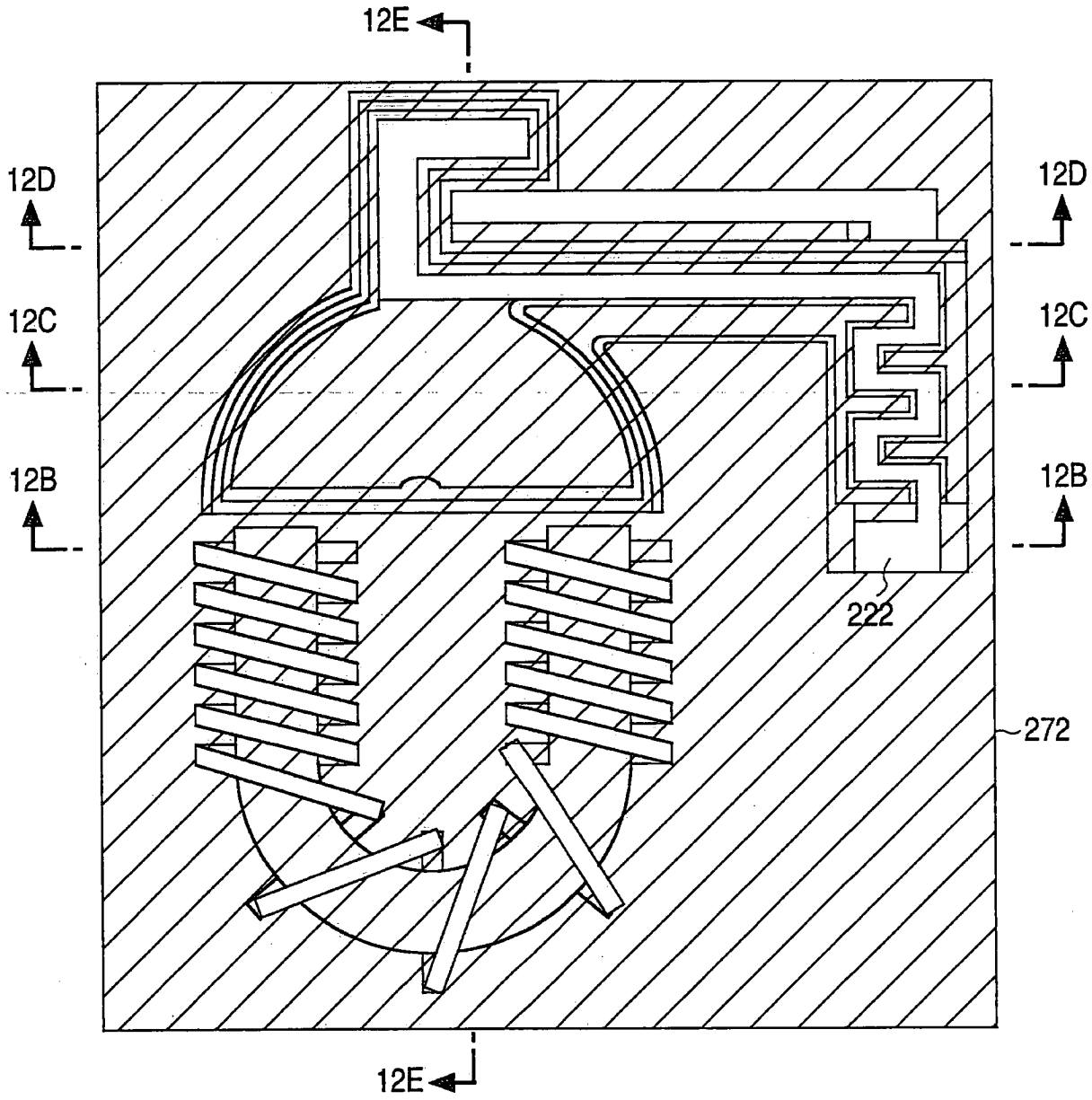


FIG. 12A

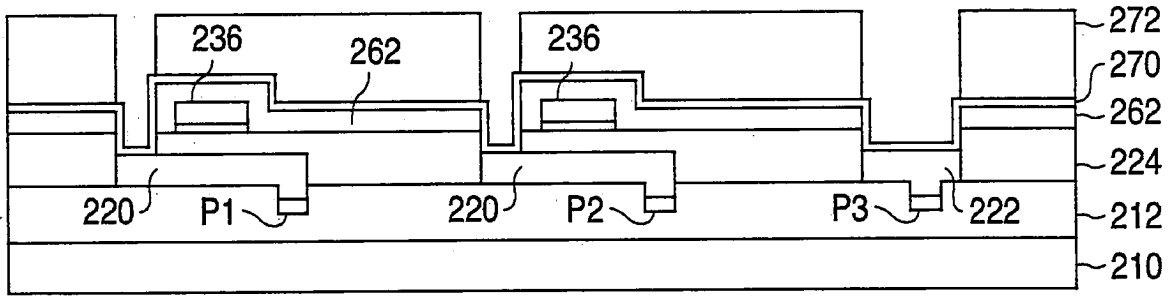


FIG. 12B

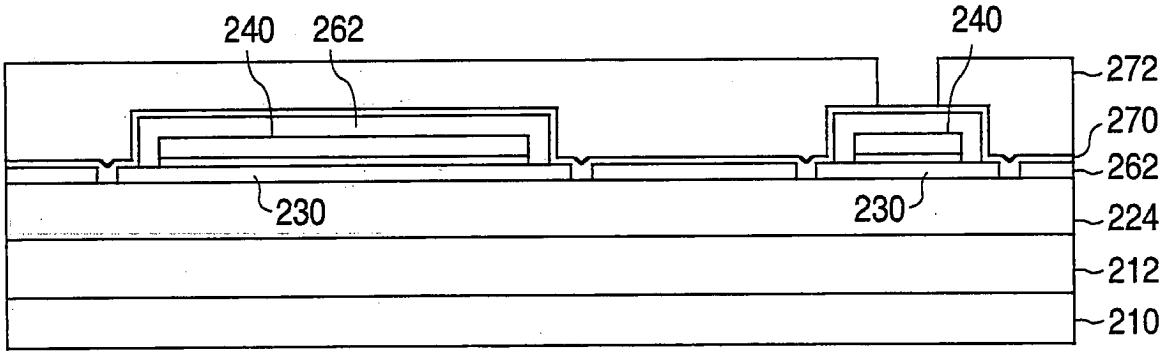


FIG. 12C

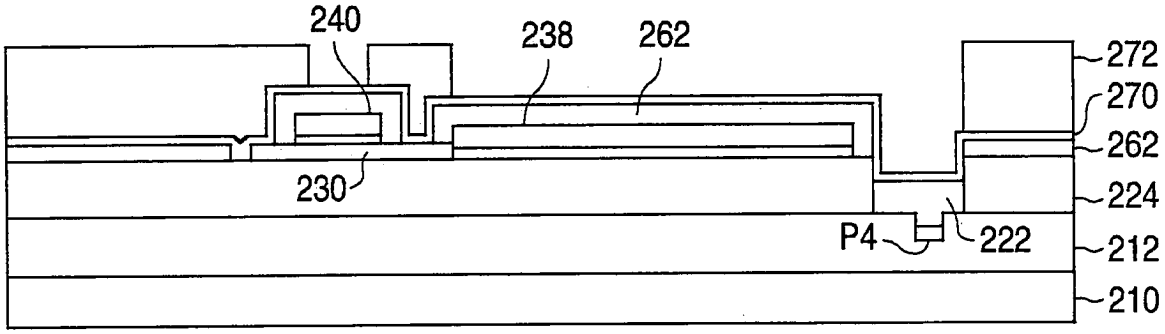


FIG. 12D

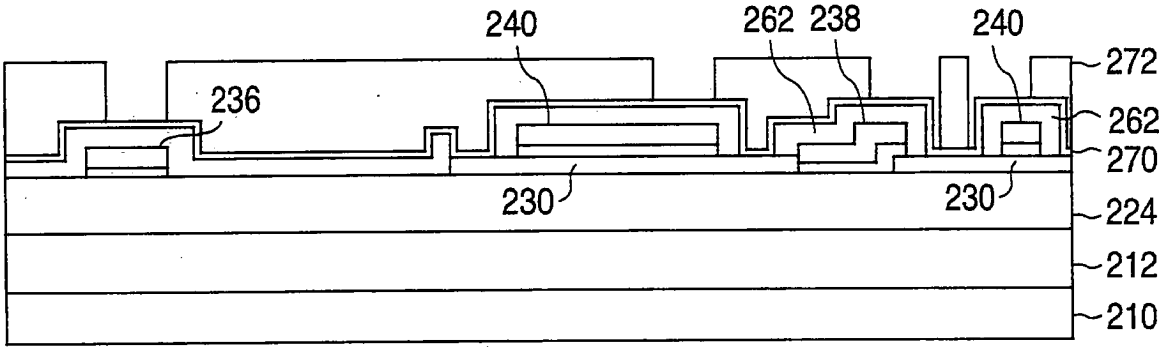


FIG. 12E

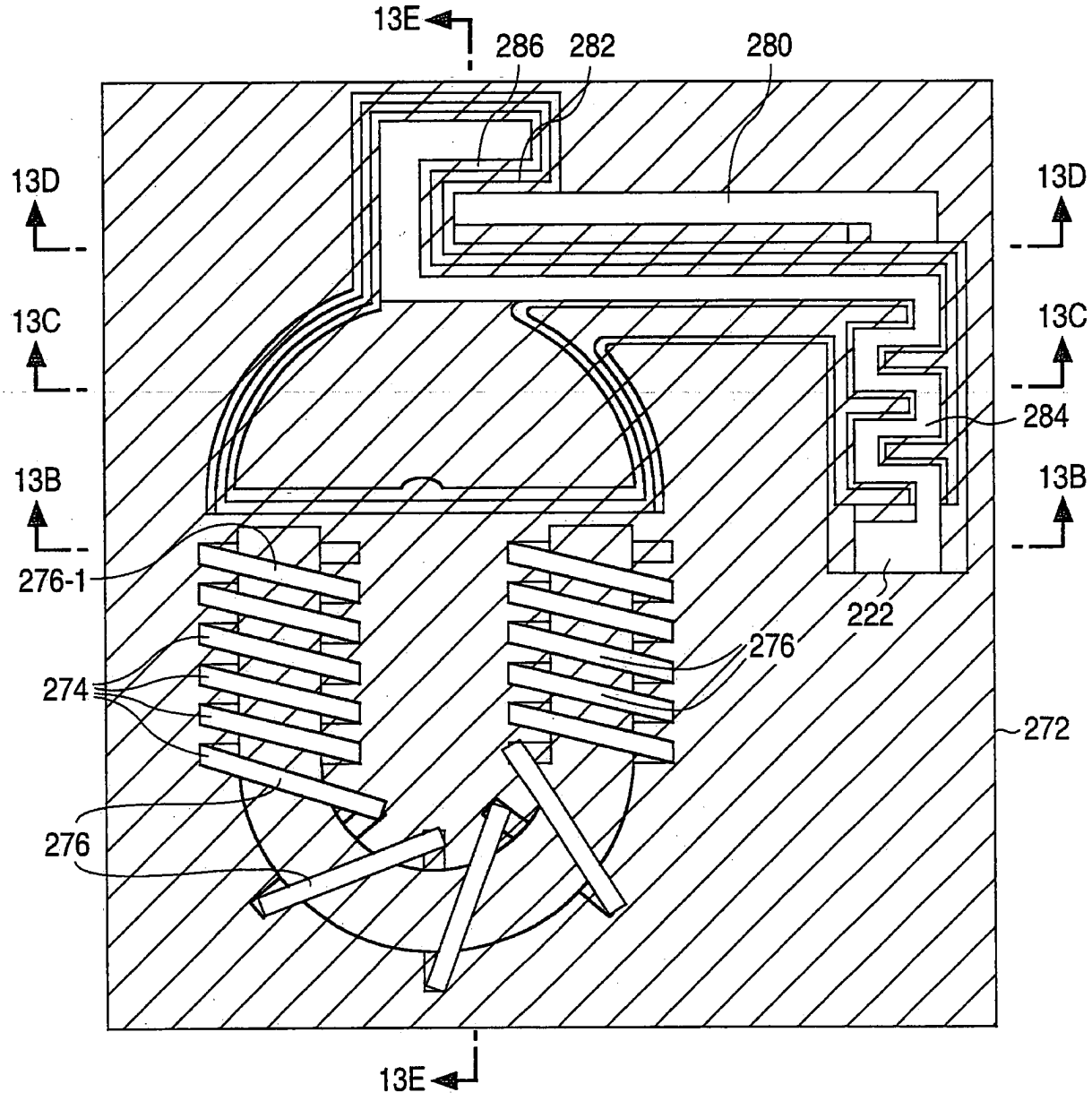

13E
286
282
280
13D
13C
13B
276-1
274
276
13E
13D
13C
284
13B
222
276
272

FIG. 13A

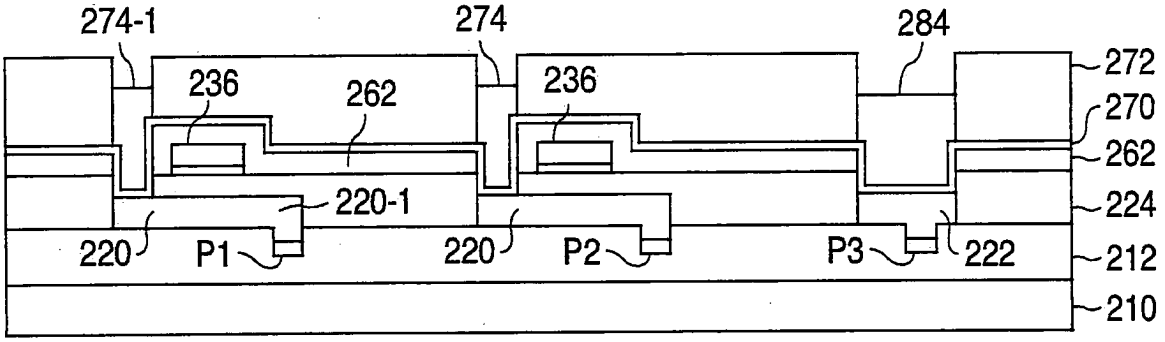


FIG. 13B

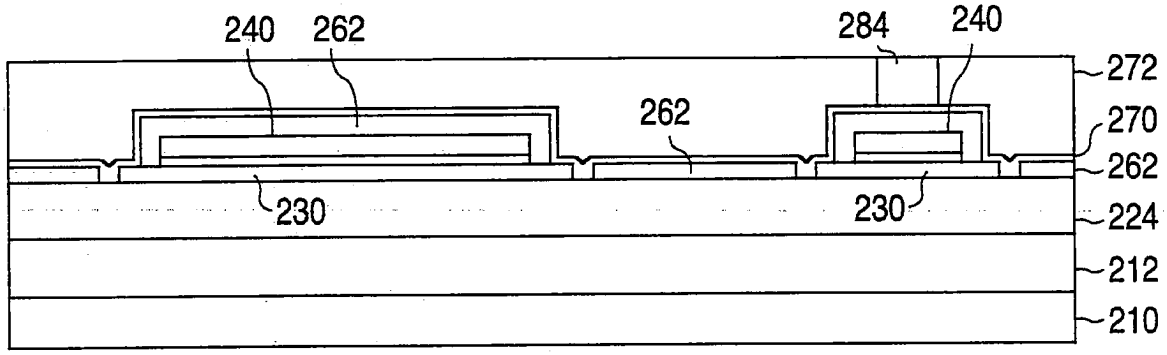


FIG. 13C

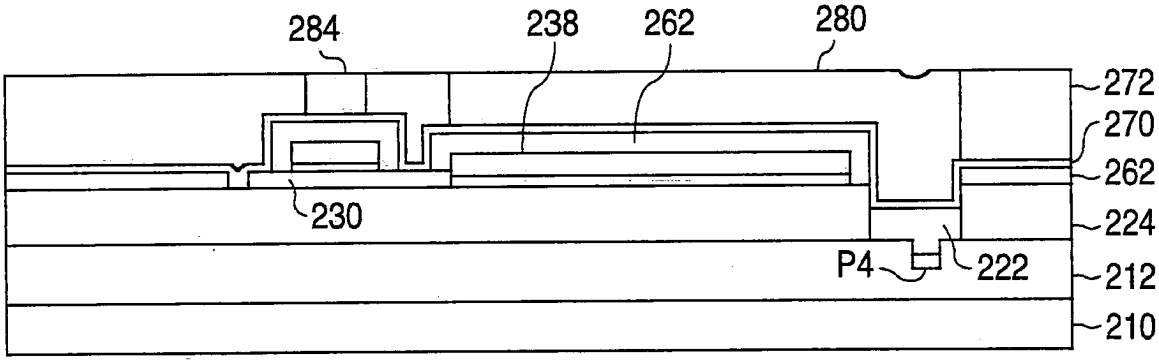


FIG. 13D

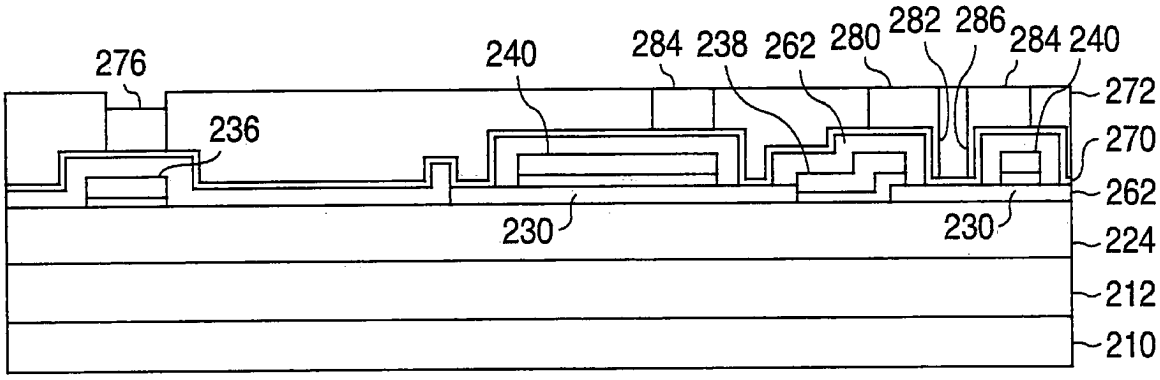


FIG. 13E

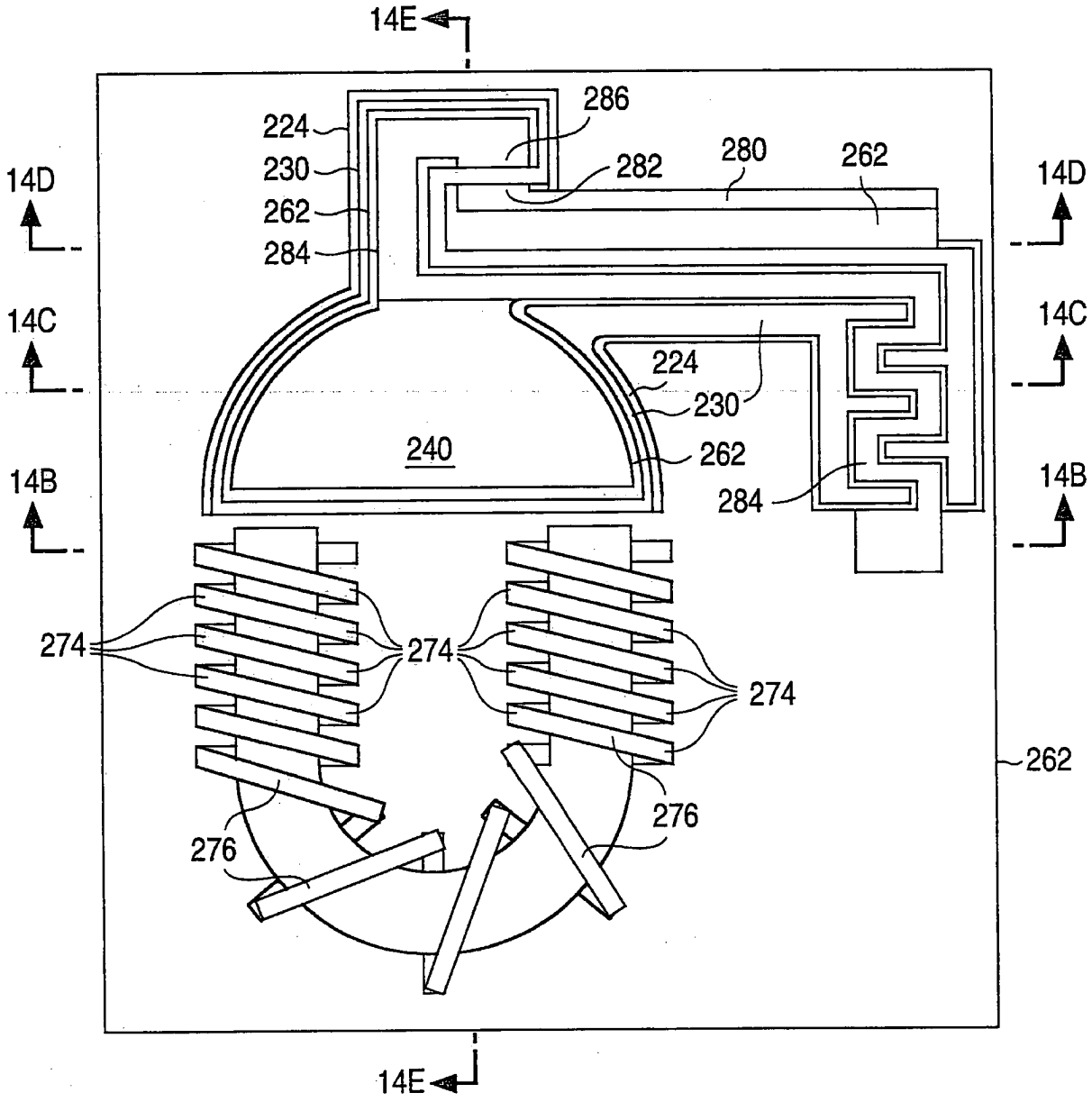

14E
286
224
230
262
284
282
280
262
14D
14D
14C
14C
224
230
240
262
284
14B
14B
274
274
274
262
276
276
14E

FIG. 14A

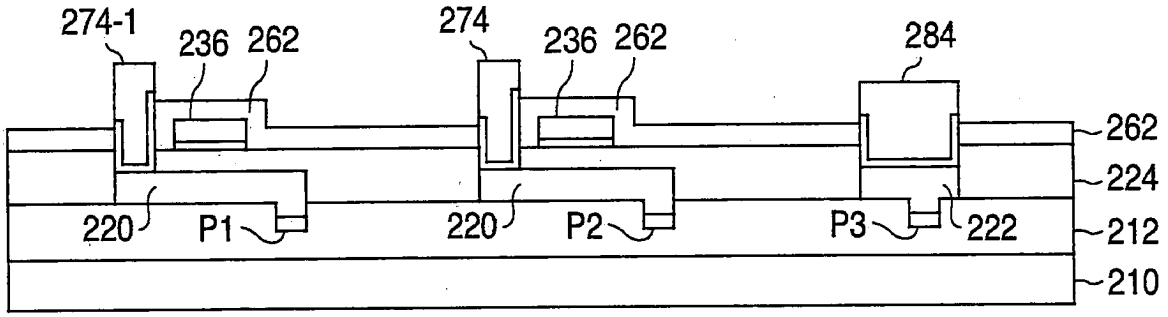


FIG. 14B

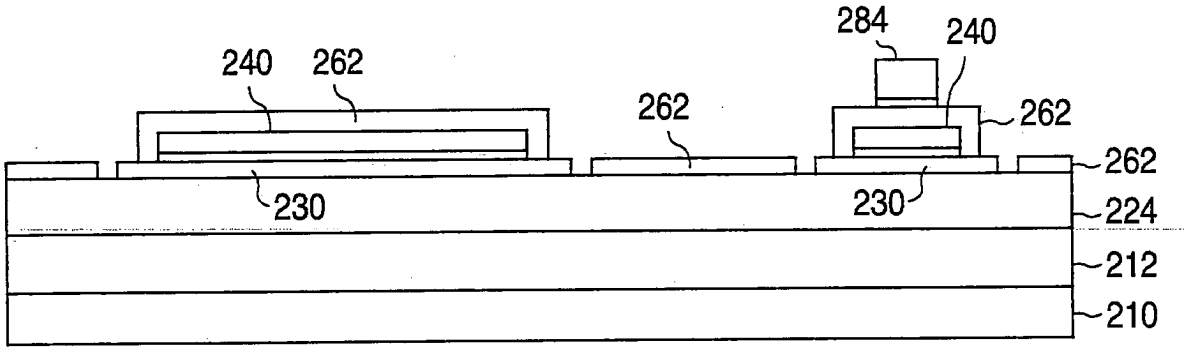


FIG. 14C

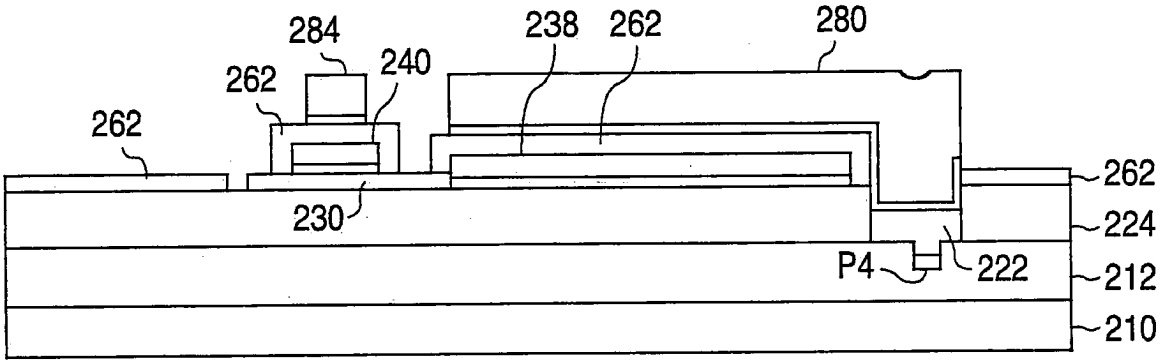


FIG. 14D

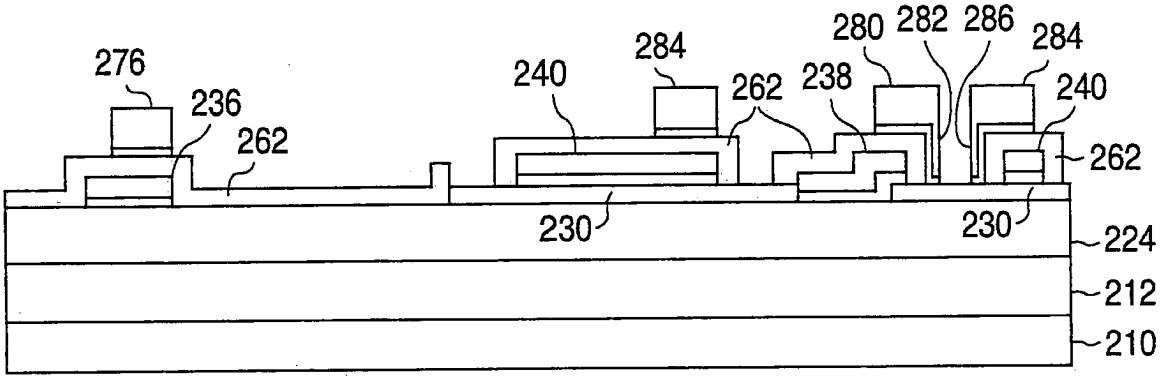


FIG. 14E

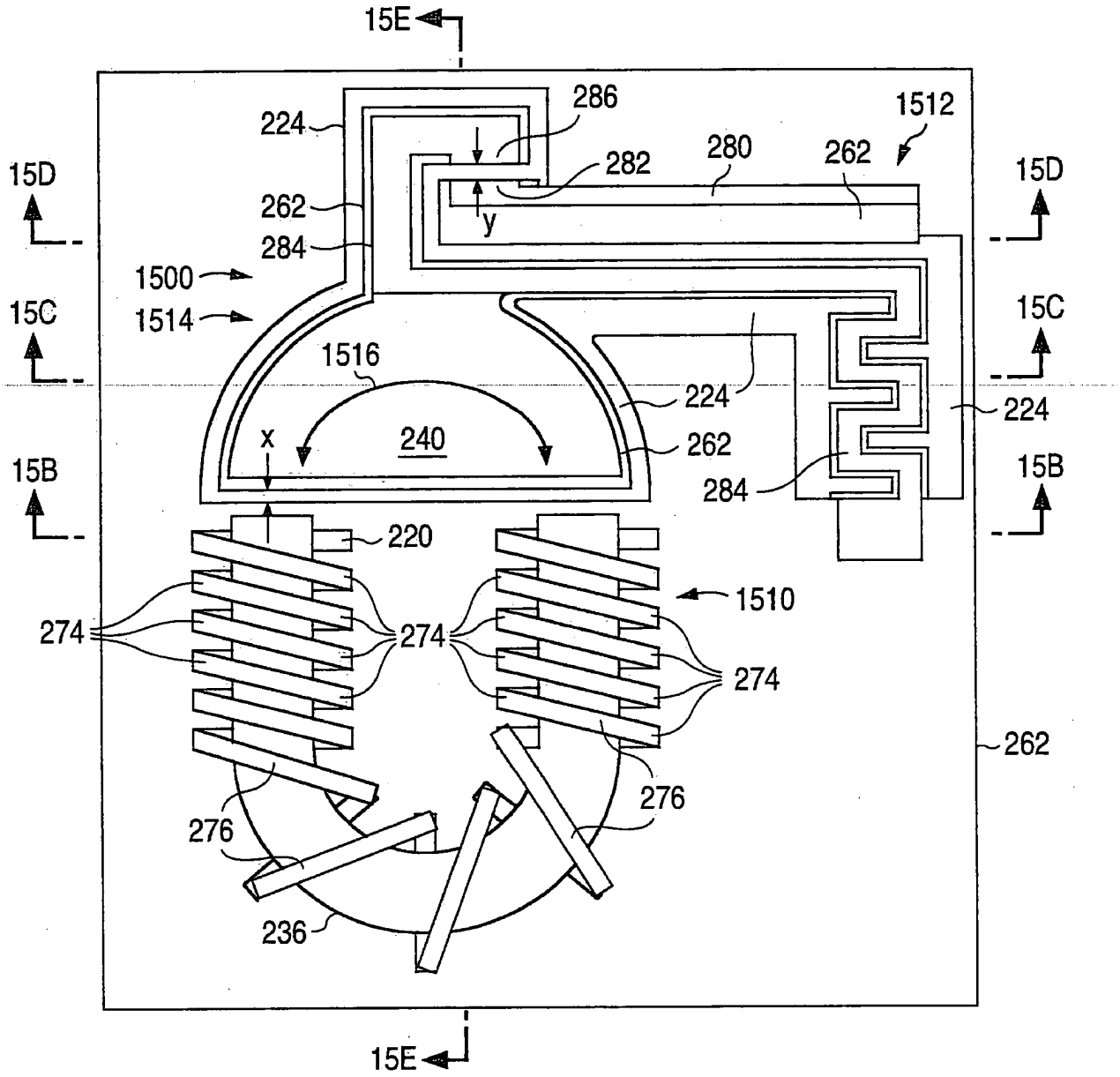

15E
15D
15C
15B
224
286
1512
282
280
262
y
284
1500
1514
1516
x
240
220
1510
274
276
236

FIG. 15A

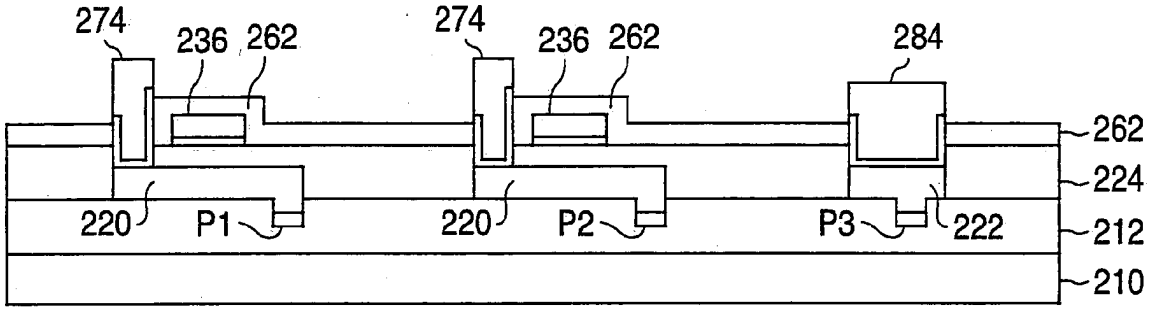


FIG. 15B

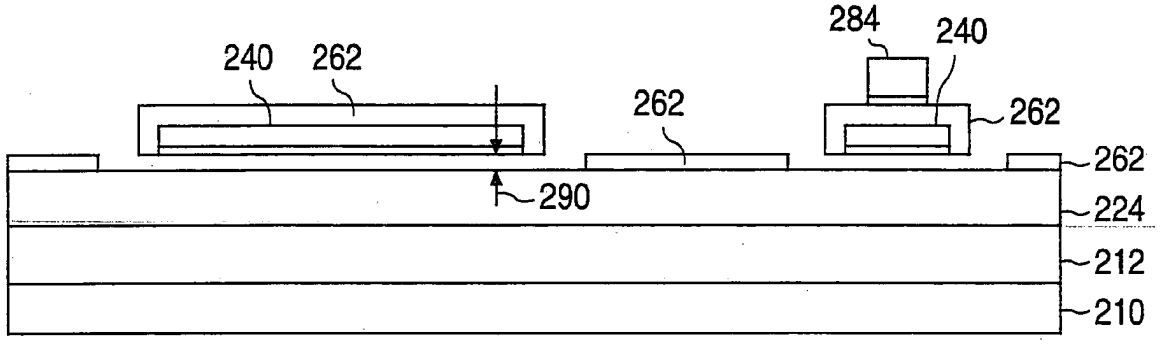


FIG. 15C

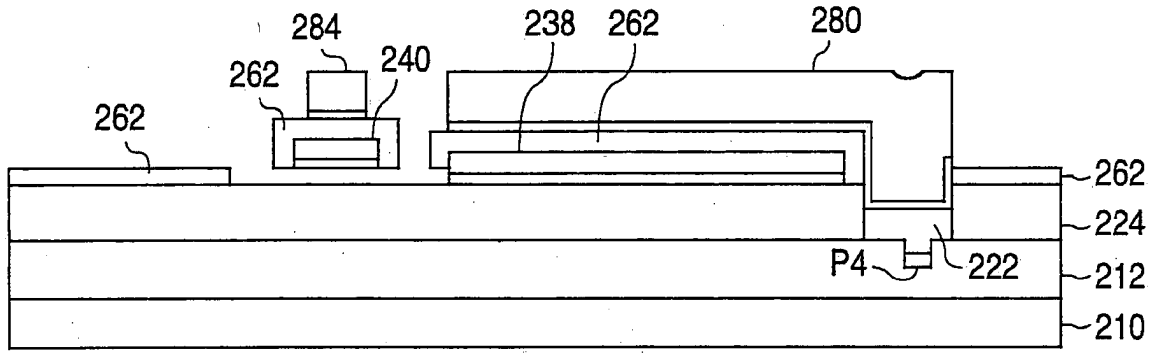


FIG. 15D

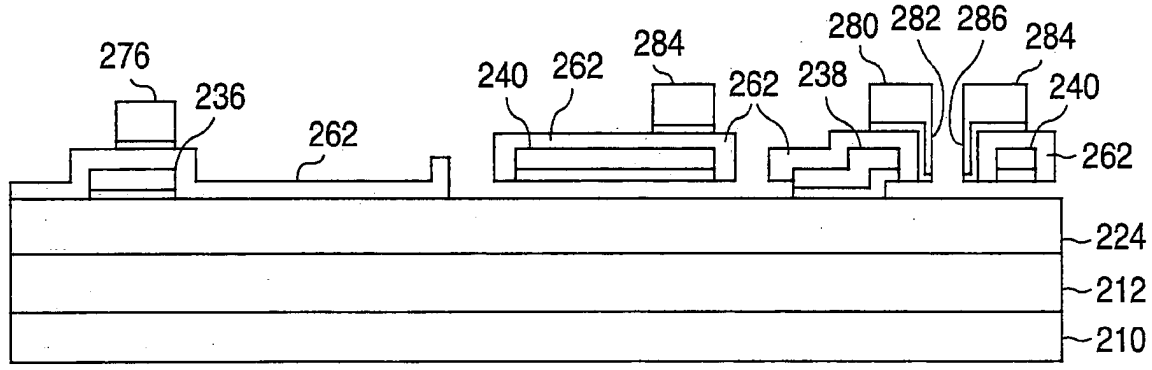


FIG. 15E

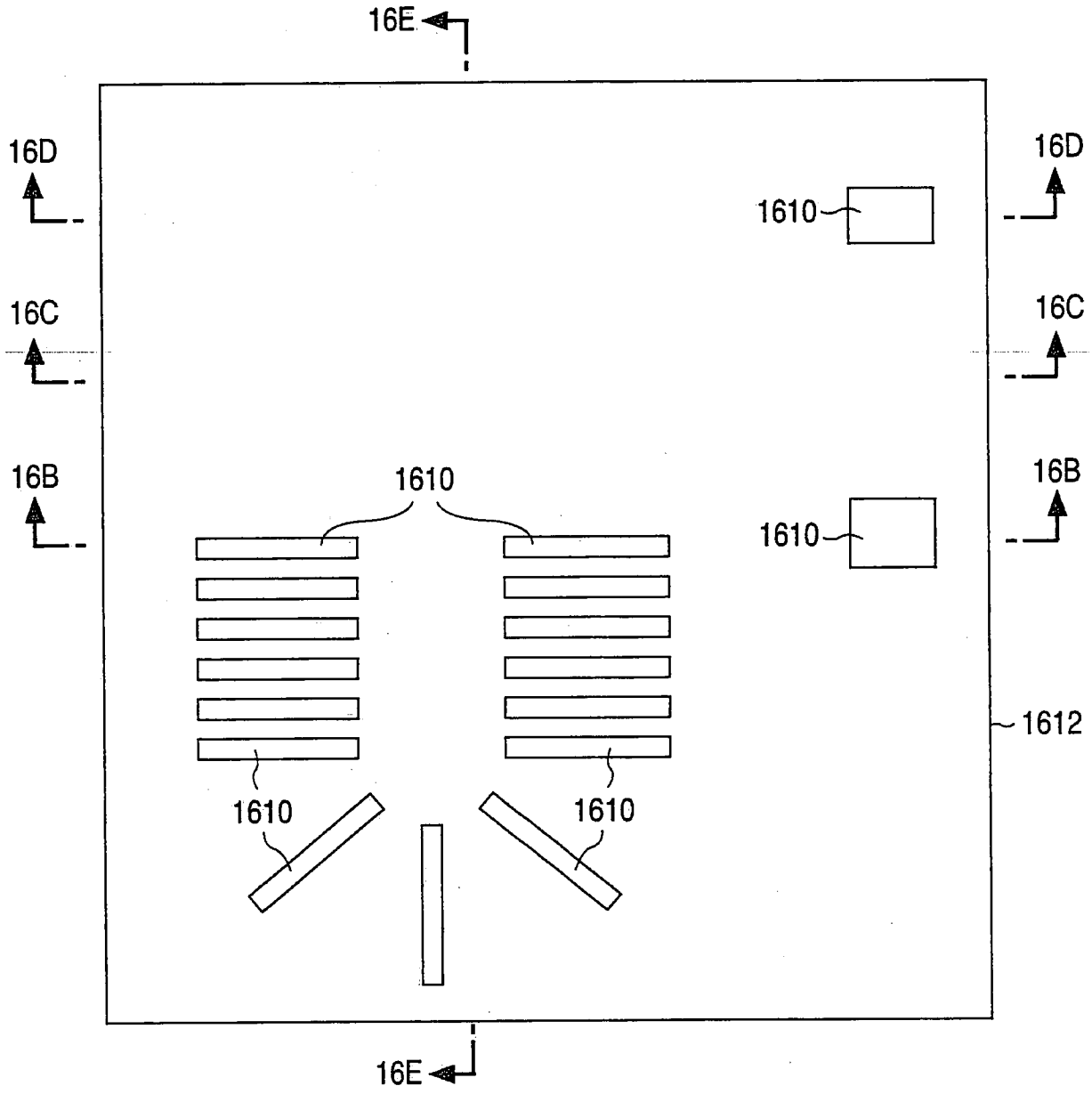


FIG. 16A

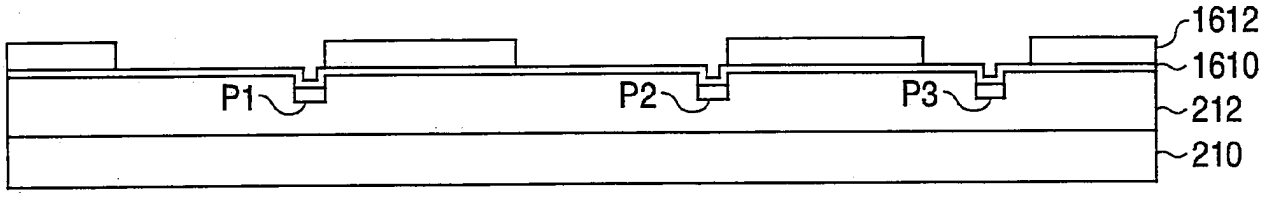


FIG. 16B

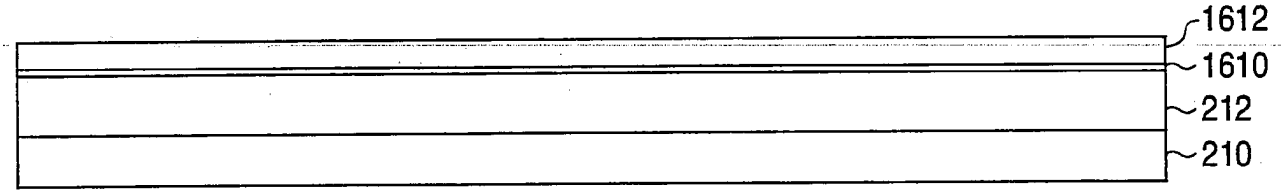


FIG. 16C

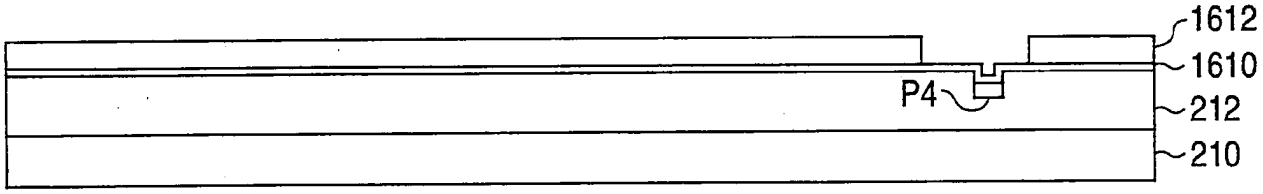


FIG. 16D

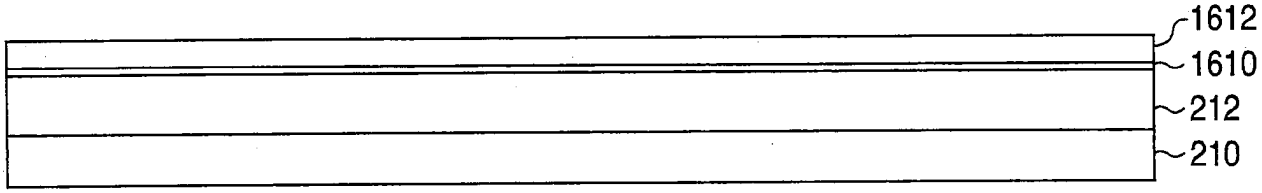


FIG. 16E

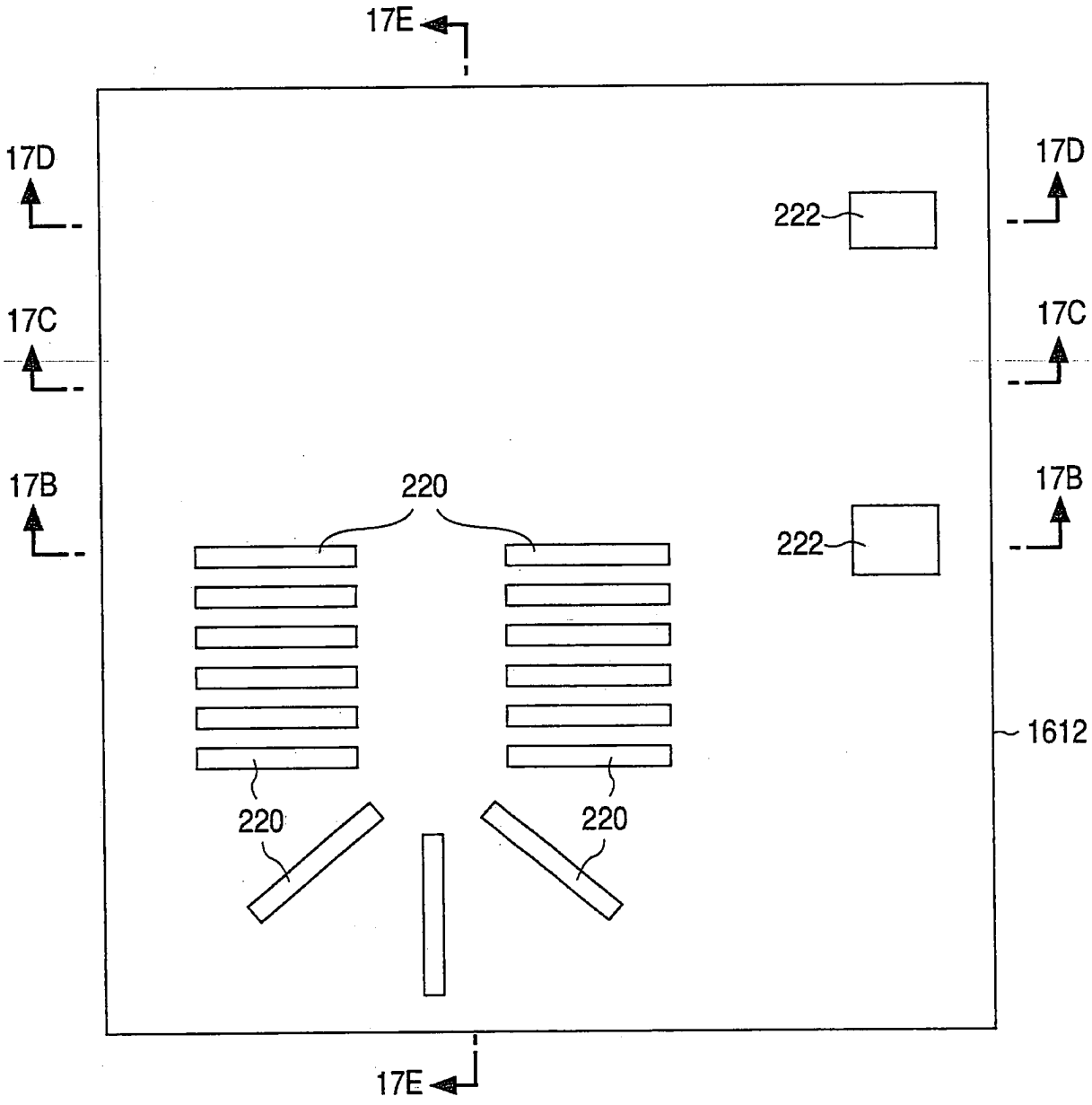


FIG. 17A

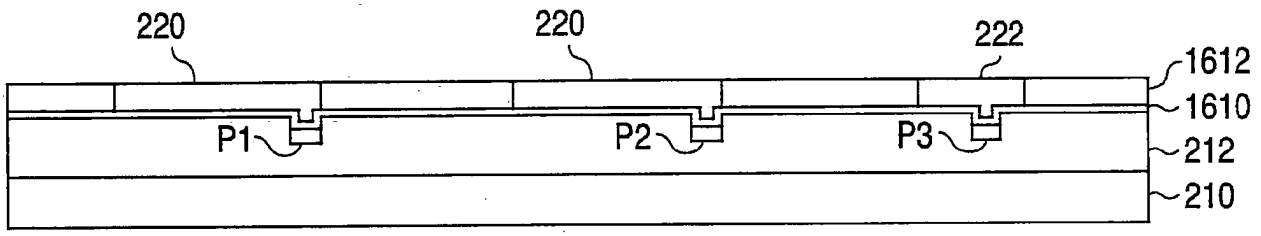


FIG. 17B

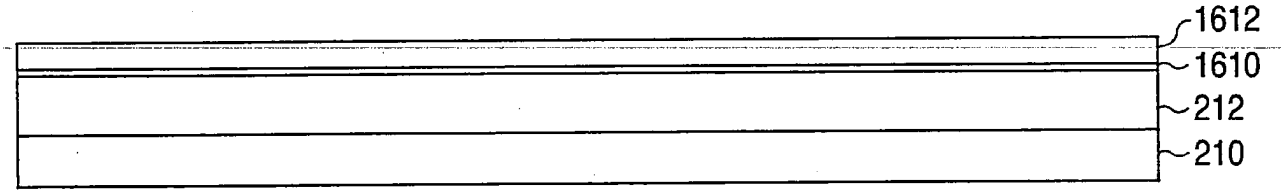


FIG. 17C

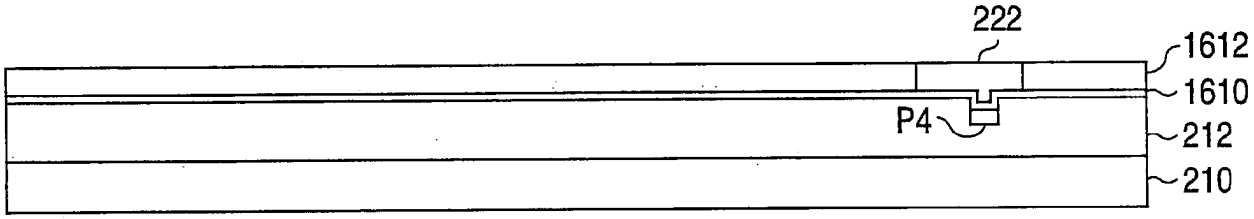


FIG. 17D

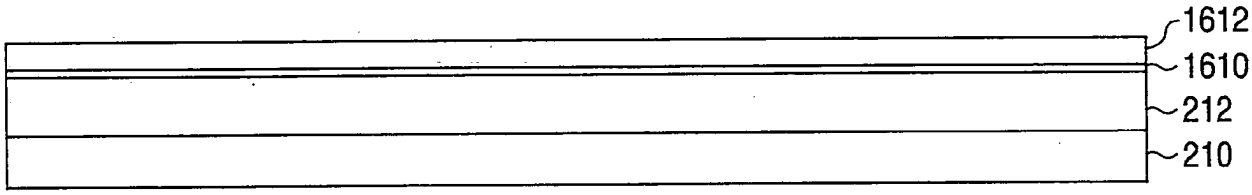


FIG. 17E

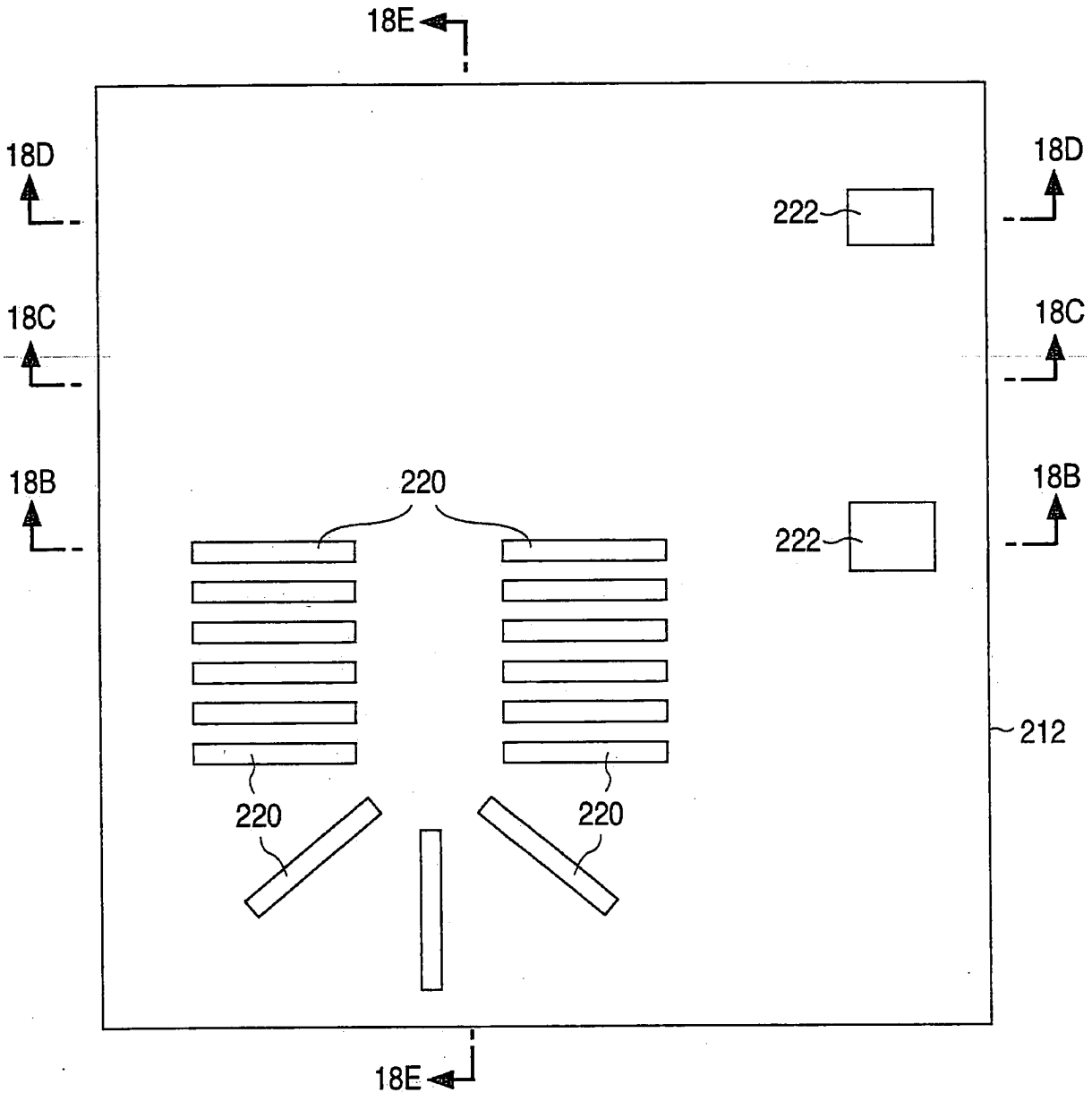


FIG. 18A

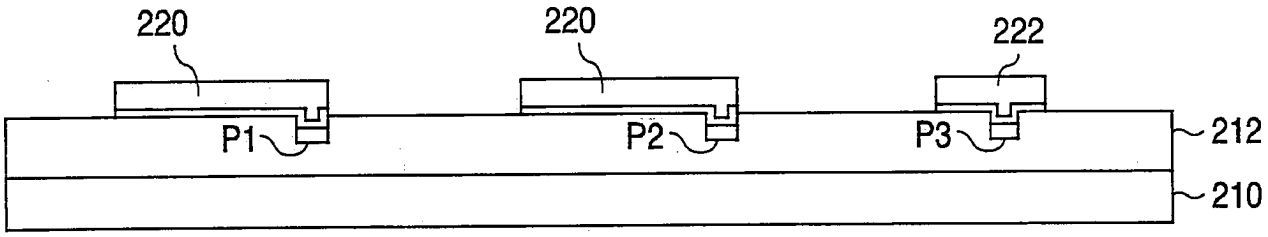


FIG. 18B

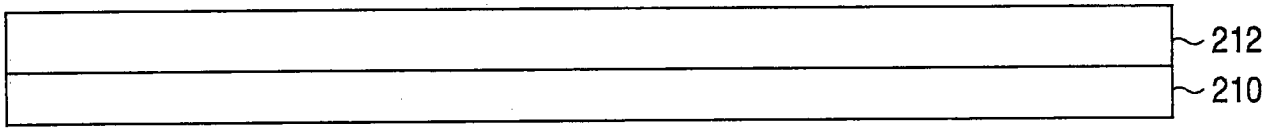


FIG. 18C

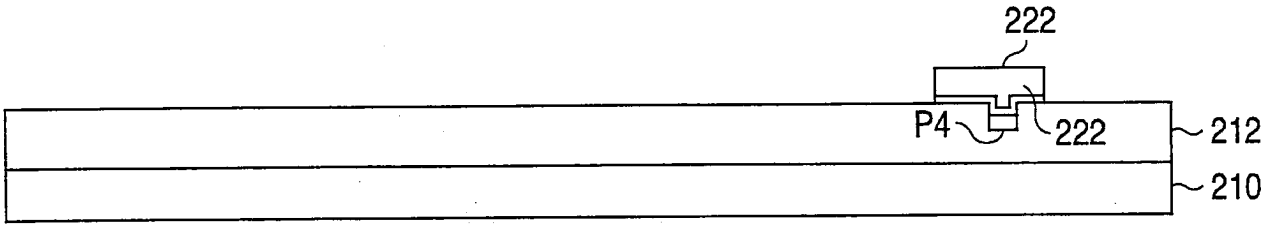


FIG. 18D

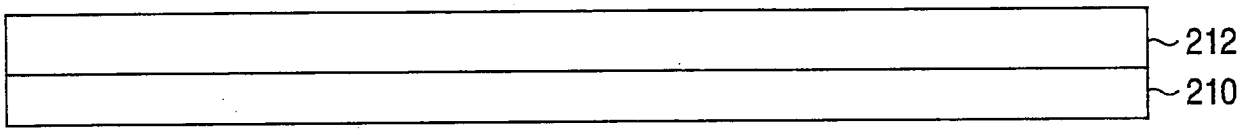


FIG. 18E

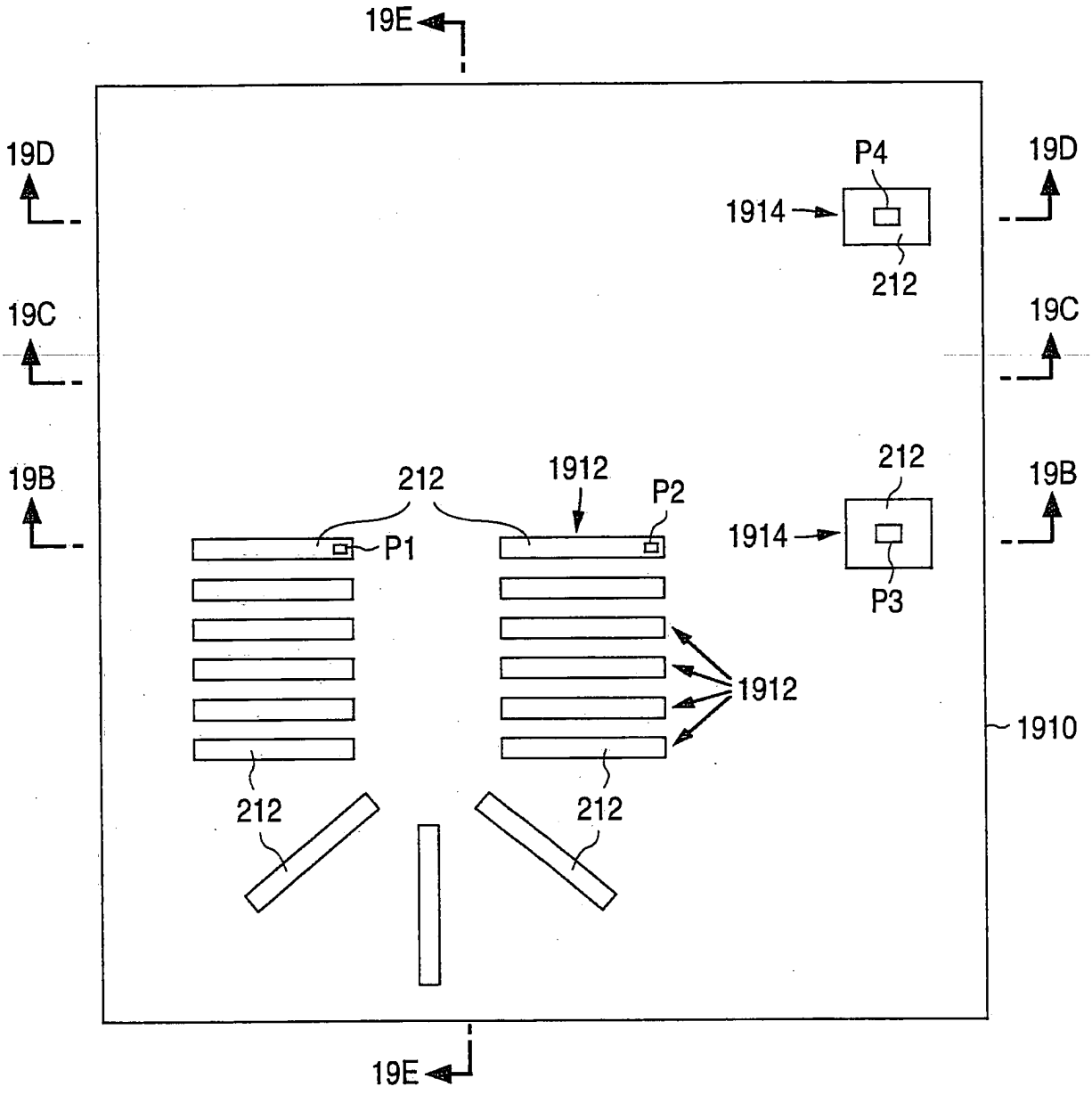

19E
19D
19C
19B
P4
1914
212
19D
19C
19B
212
1912
P2
P1
212
1914
P3
1912
1910
212
212
19E

FIG. 19A

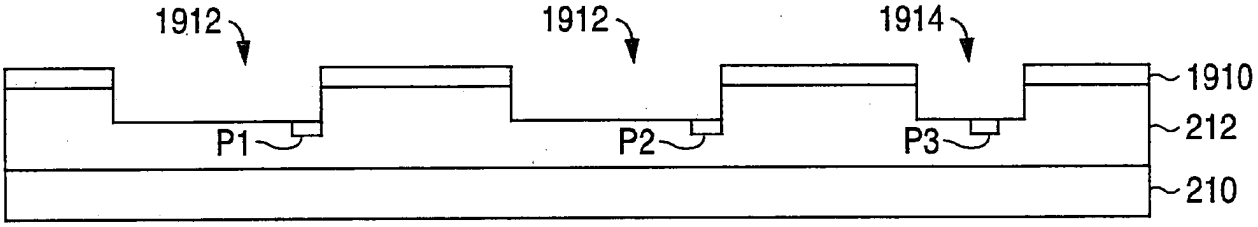


FIG. 19B

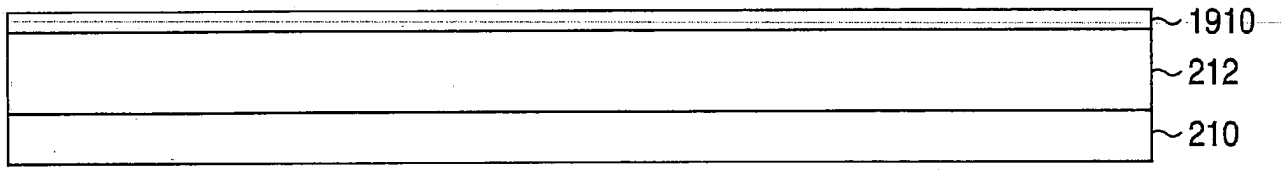


FIG. 19C

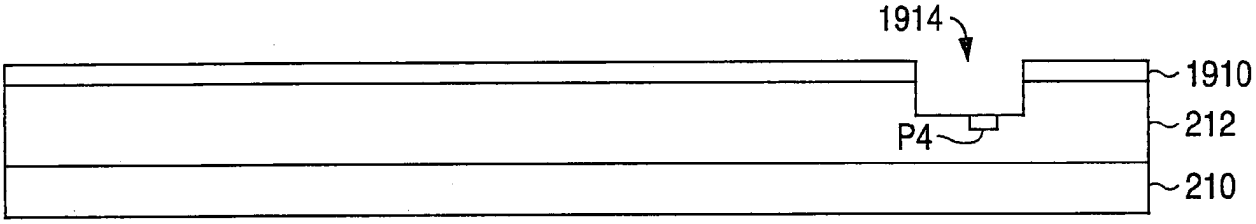


FIG. 19D

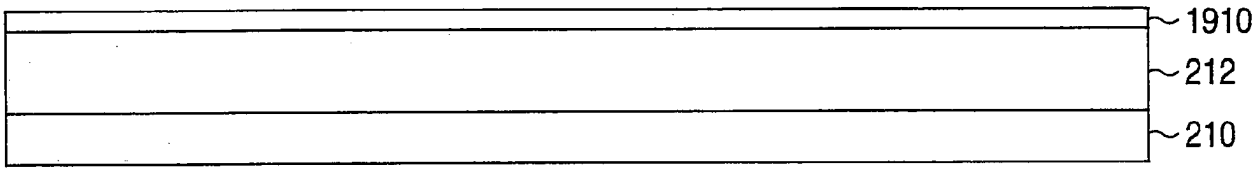


FIG. 19E

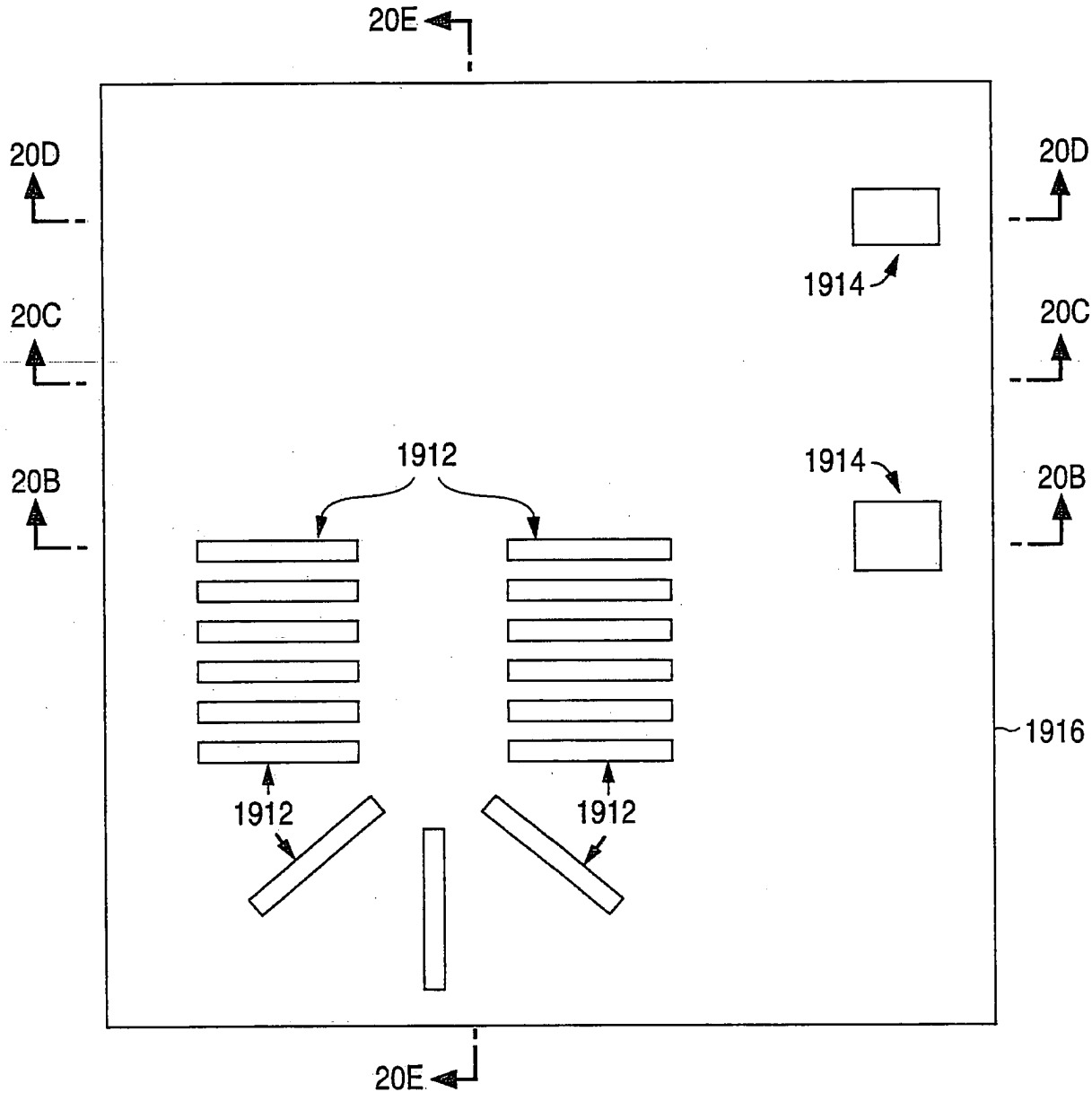


FIG. 20A

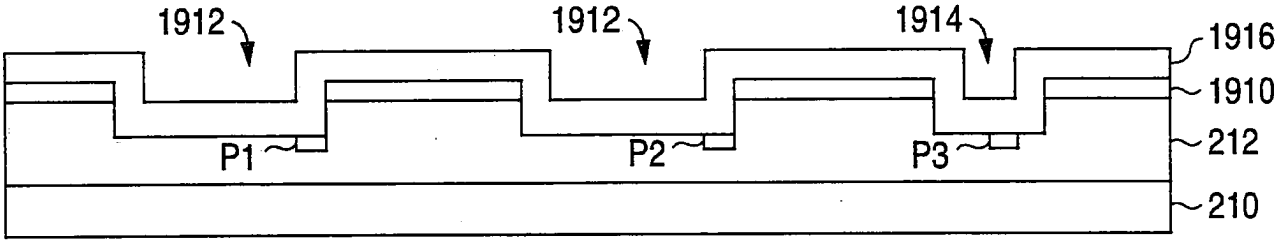


FIG. 20B

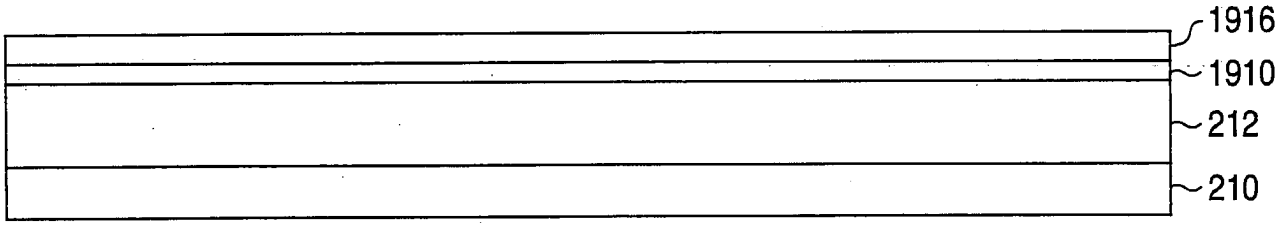


FIG. 20C

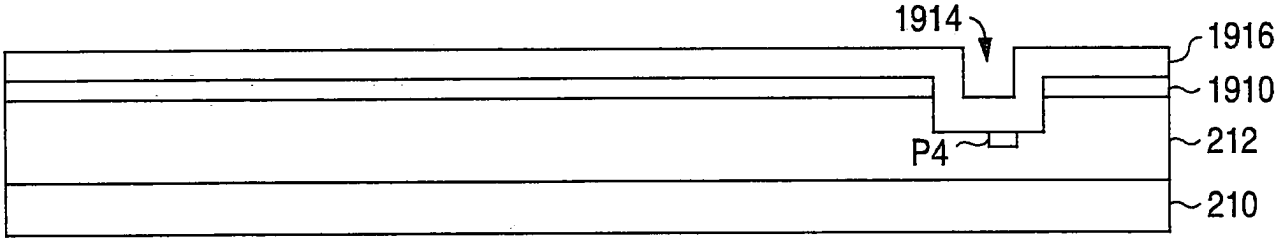


FIG. 20D

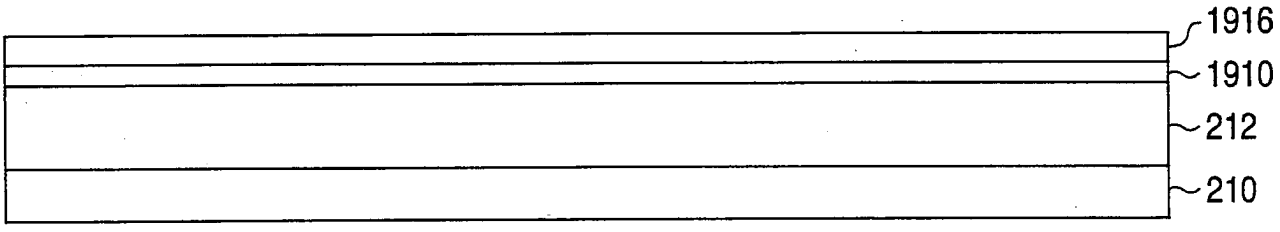


FIG. 20E

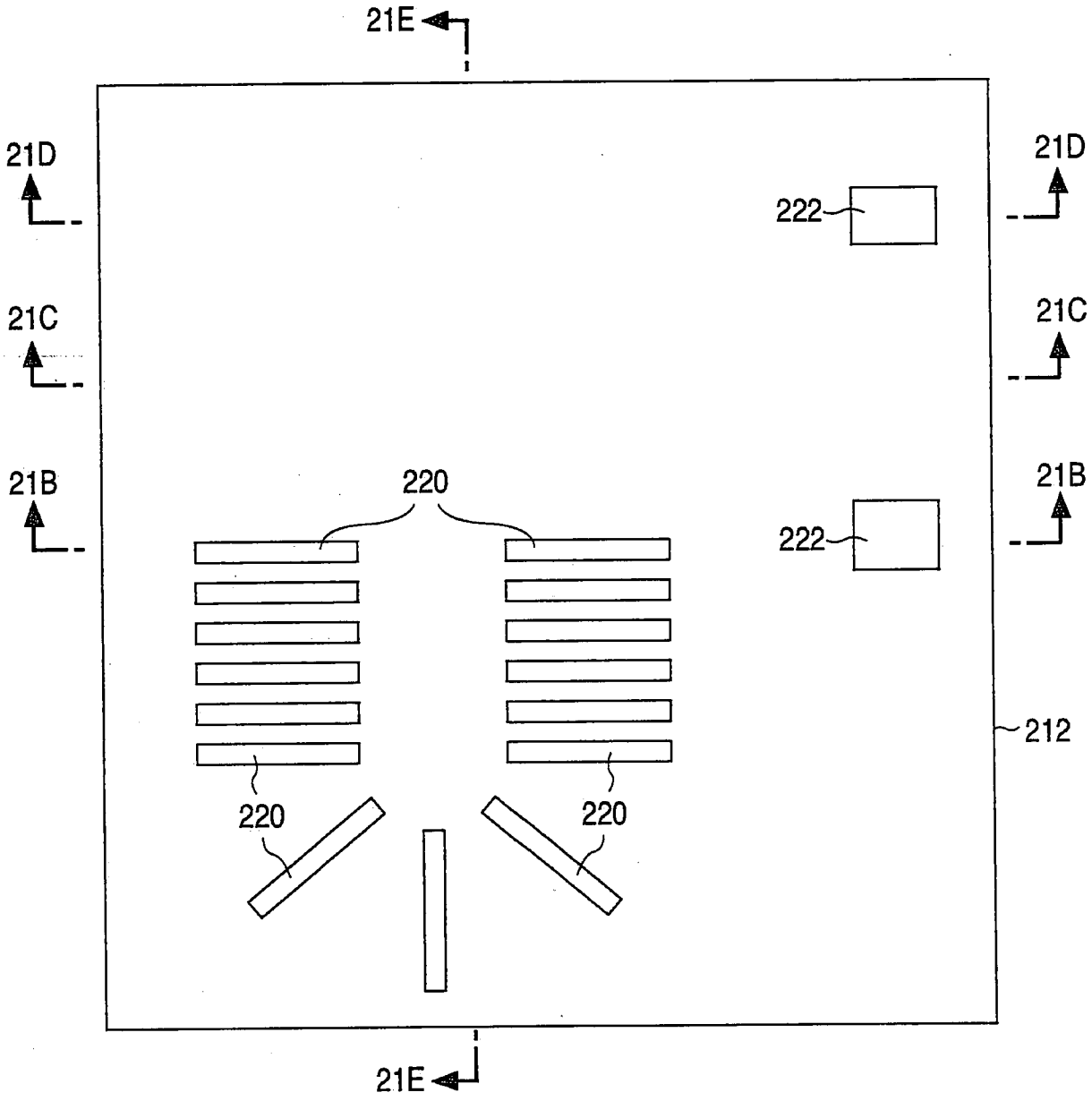


FIG. 21A

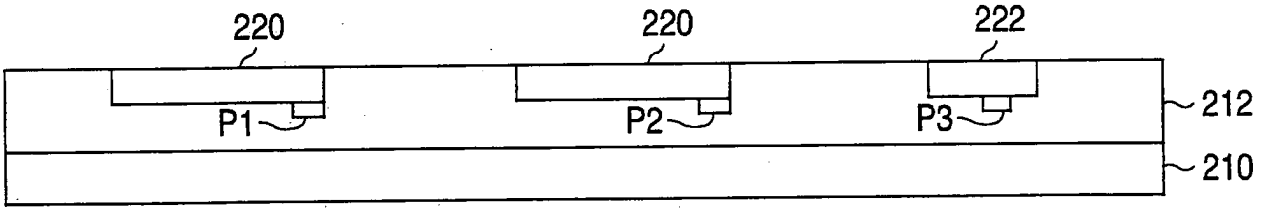


FIG. 21B

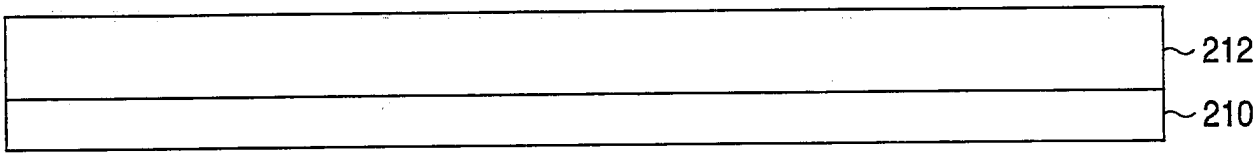


FIG. 21C

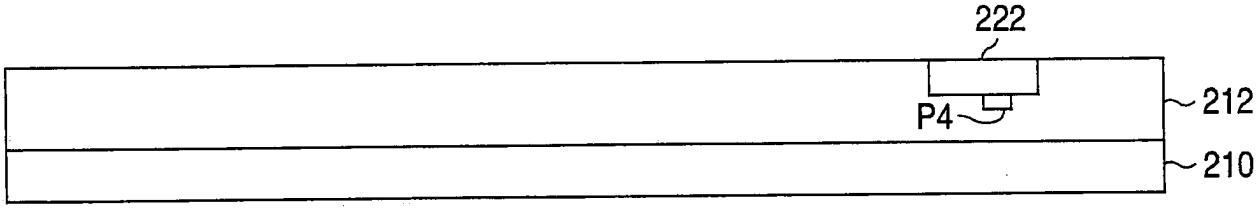


FIG. 21D

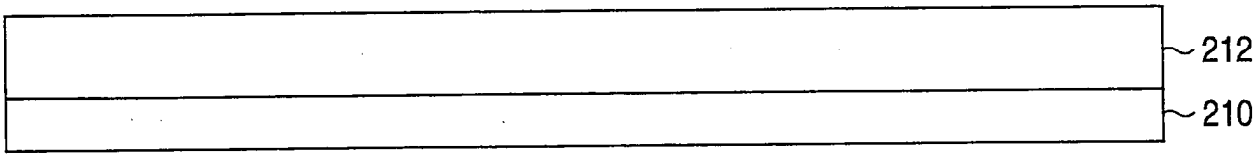


FIG. 21E

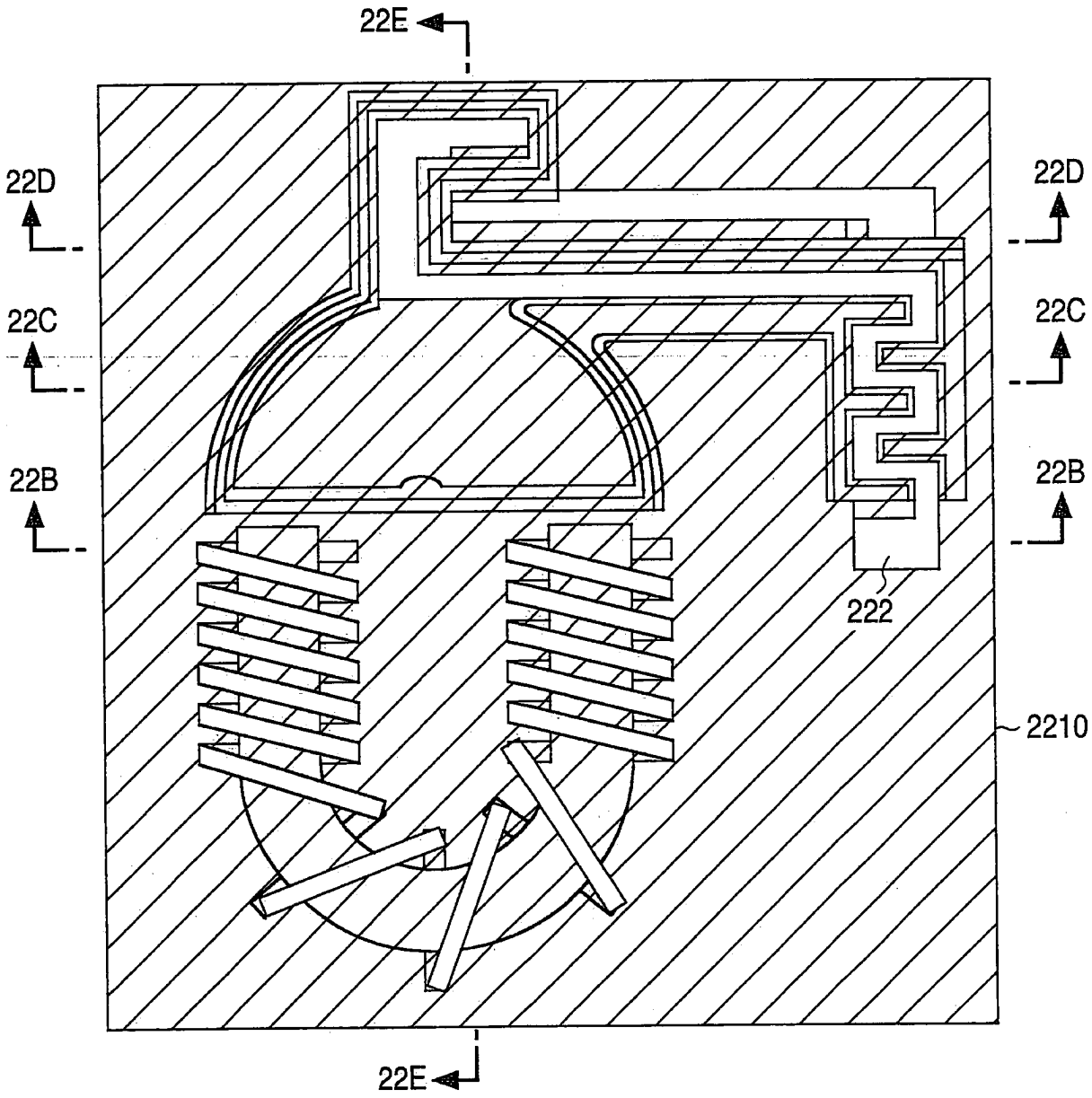


FIG.22A

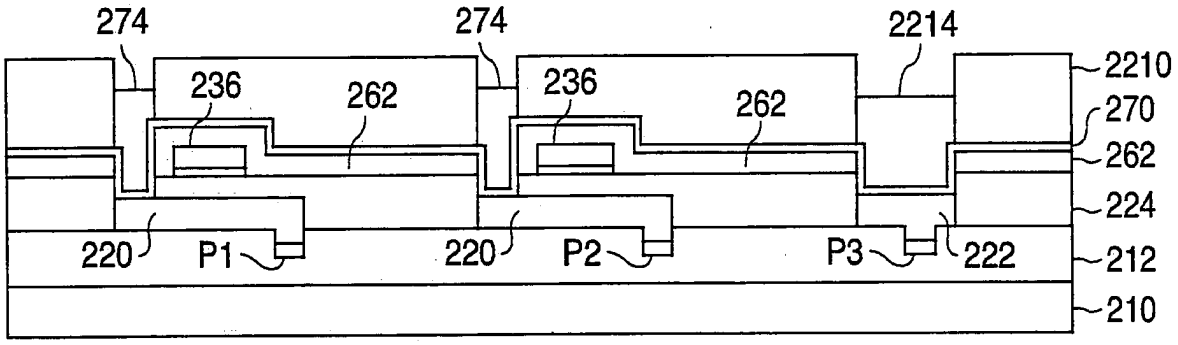


FIG. 22B

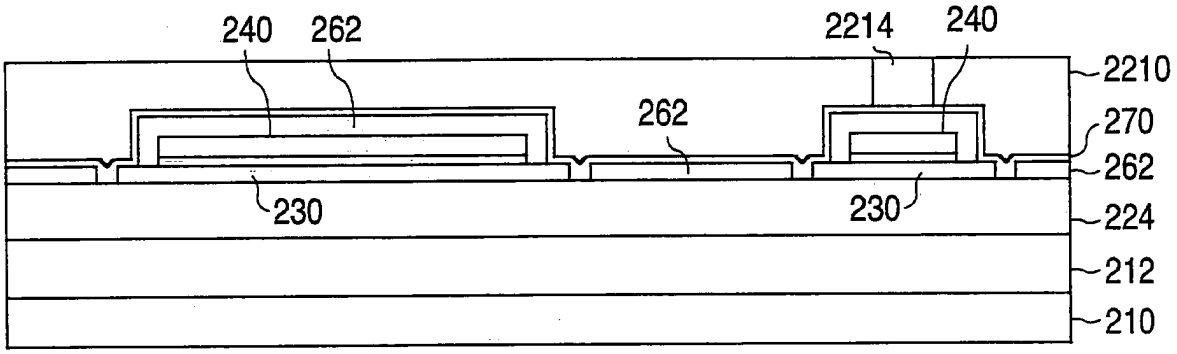


FIG. 22C

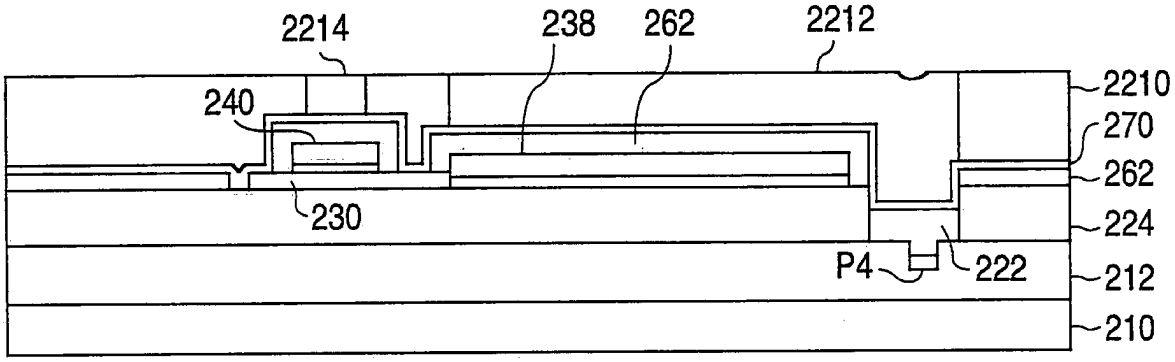


FIG. 22D

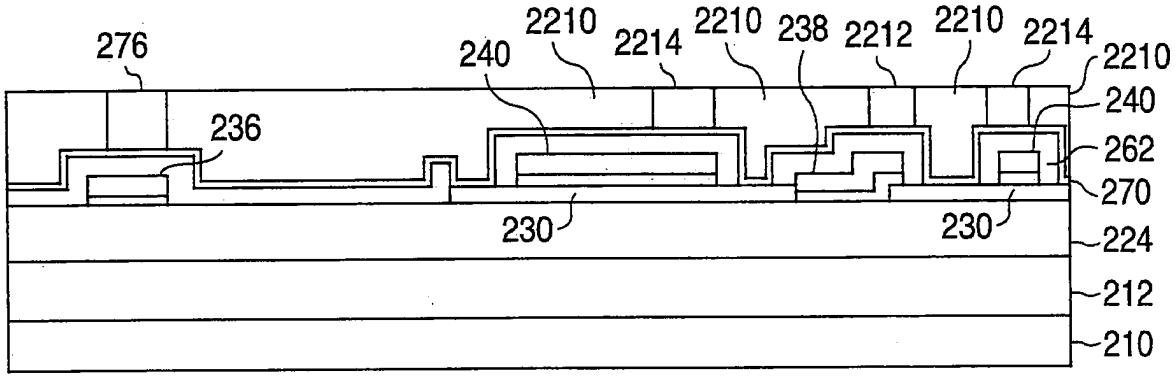


FIG. 22E

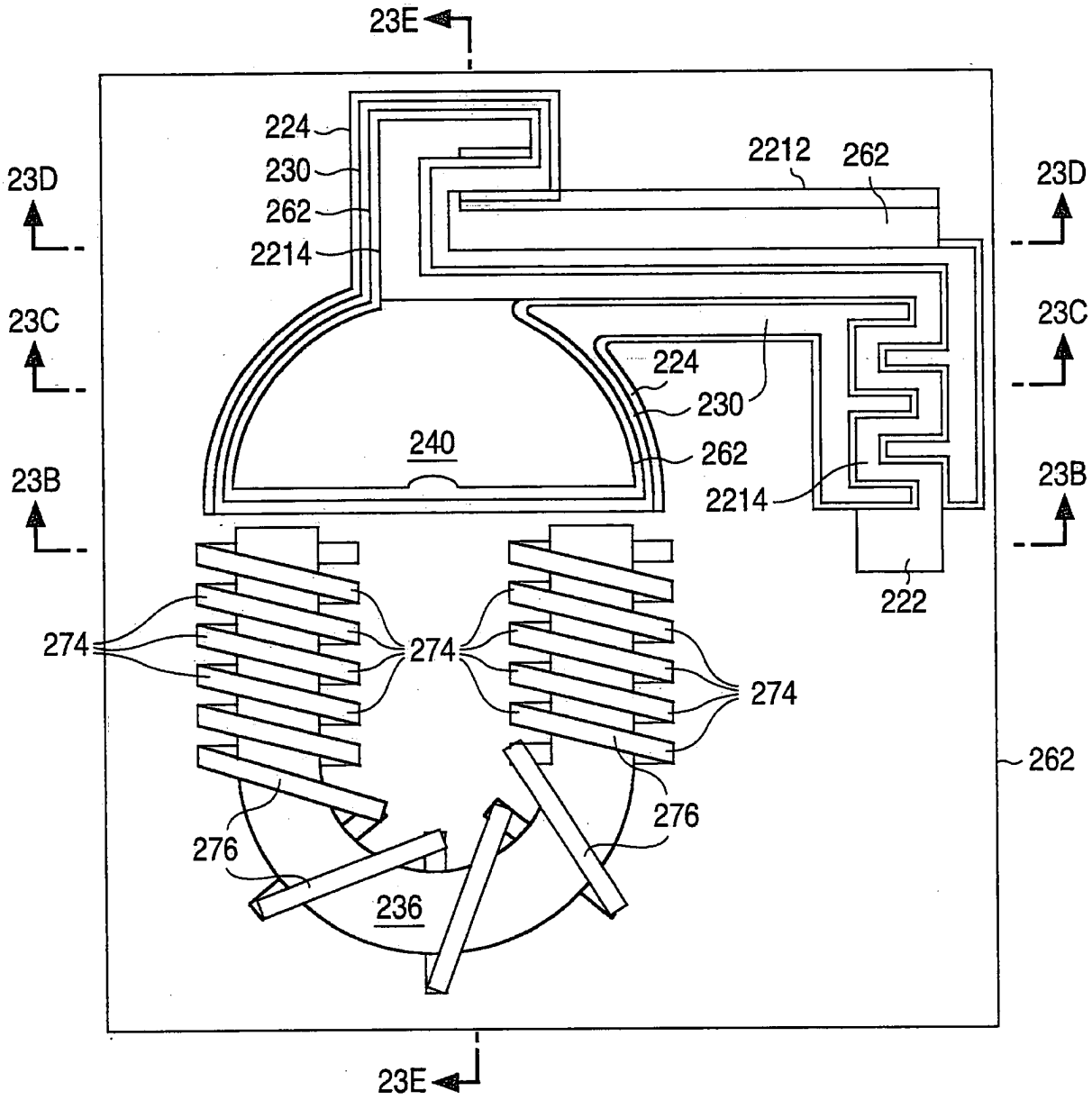

23E
224
230
262
2214
2212
262
23D
23C
23B
240
224
230
262
2214
222
274
274
274
276
276
236
262
23E

FIG. 23A

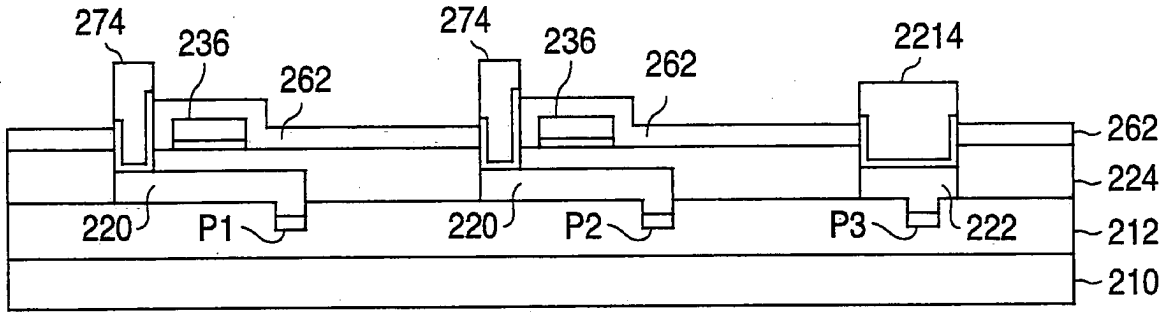


FIG. 23B

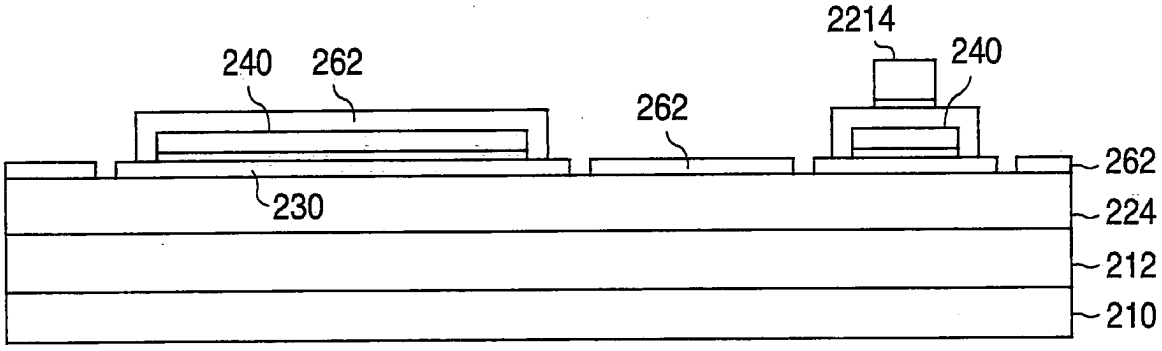


FIG. 23C

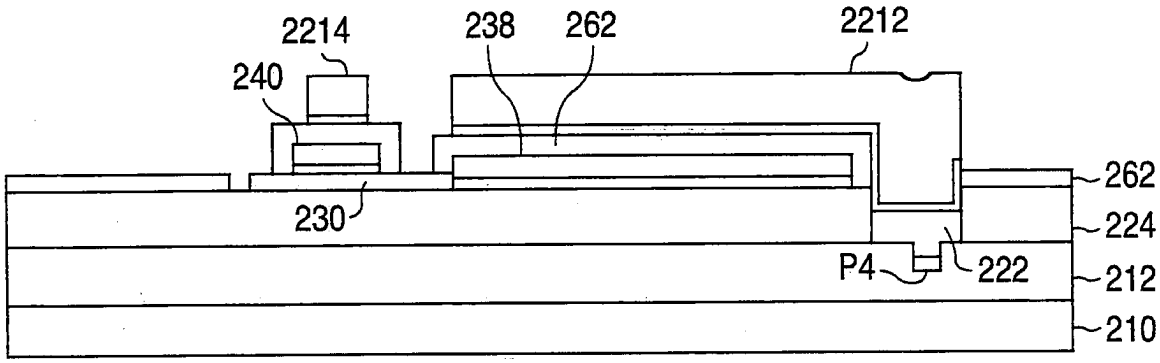


FIG. 23D

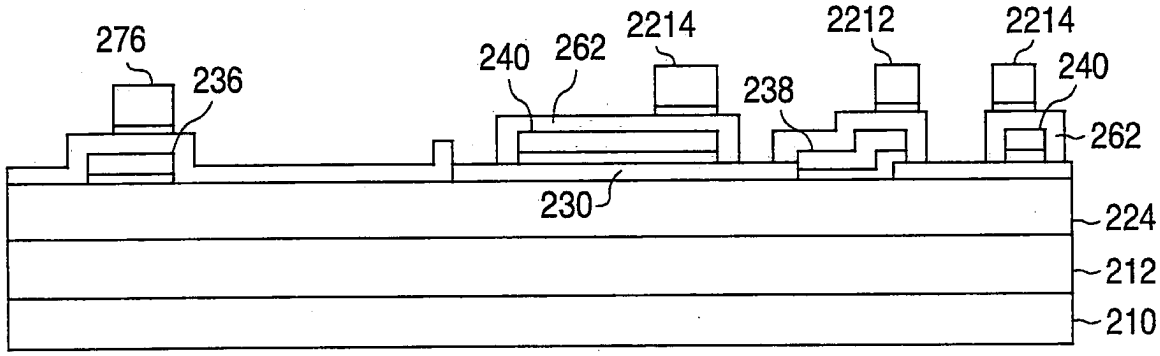


FIG. 23E

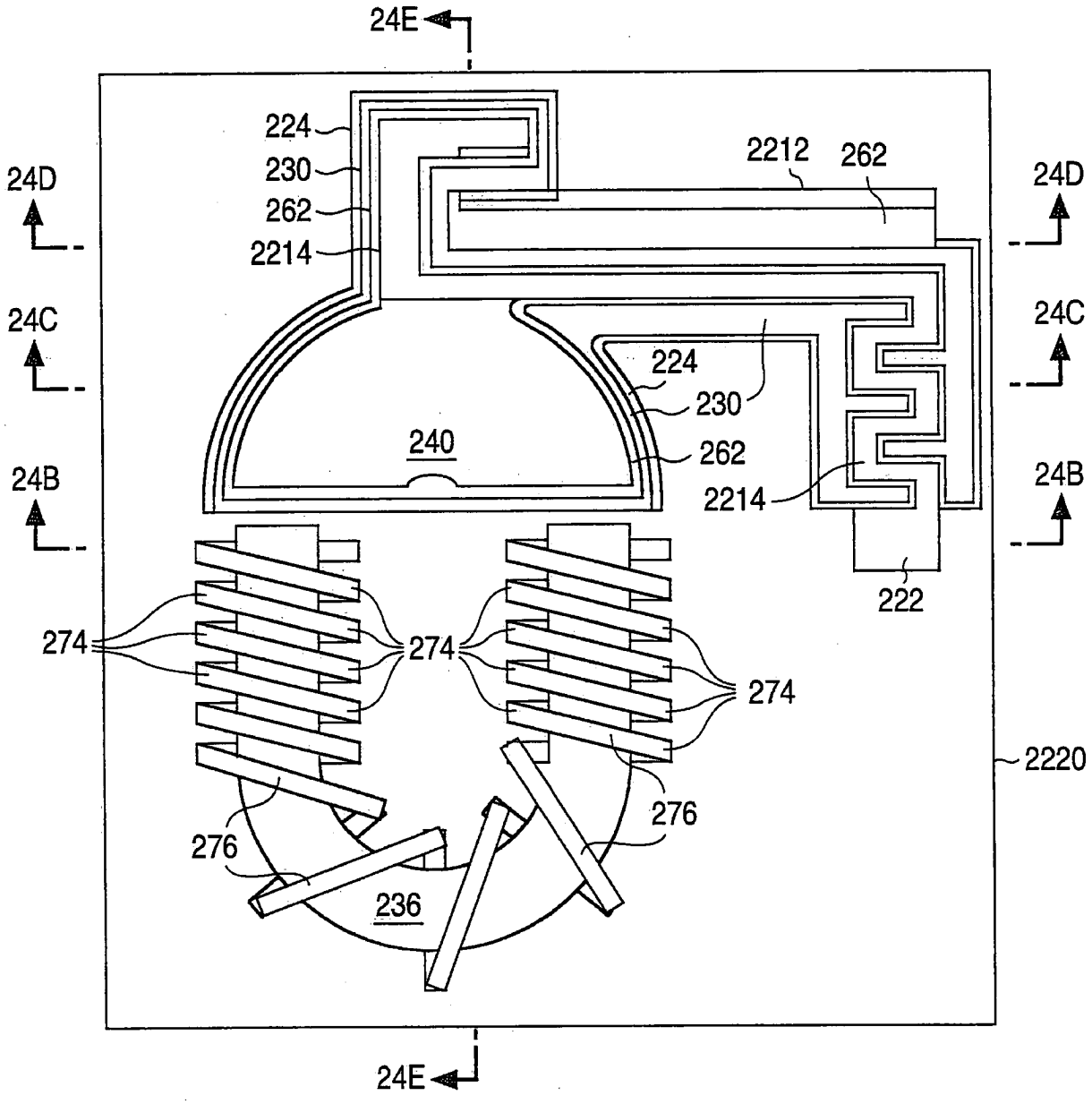

24E
224
230
262
2214
2212
262
24D
24C
24B
240
224
230
262
2214
222
274
274
274
276
276
236
2220
24E

FIG. 24A

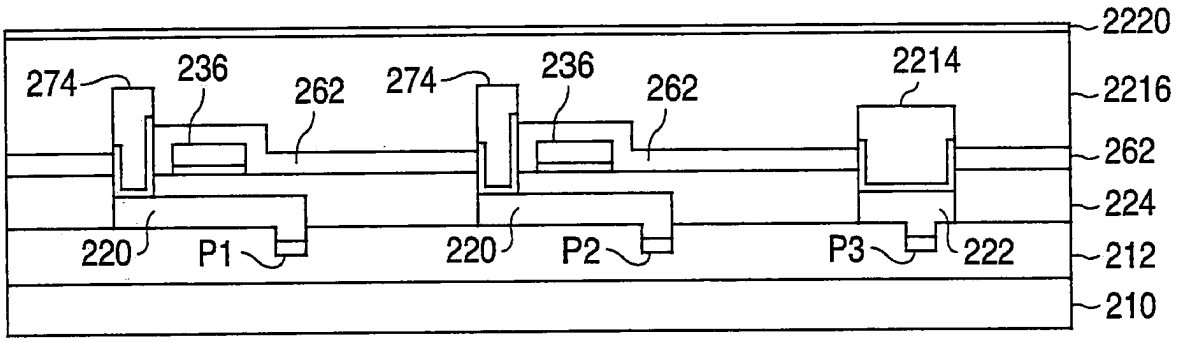


FIG. 24B

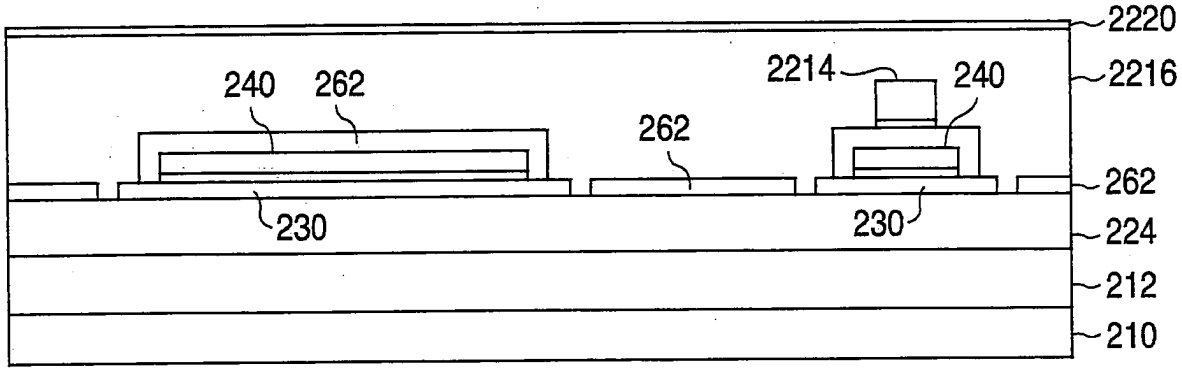


FIG. 24C

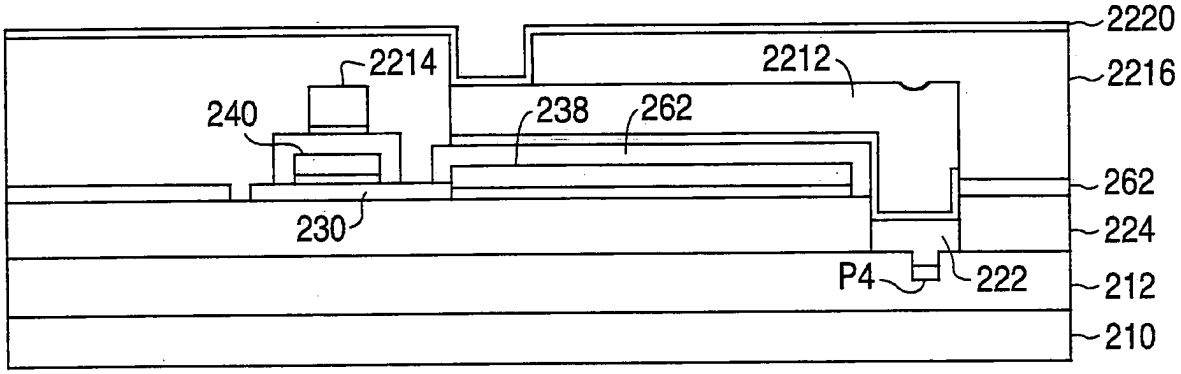


FIG. 24D

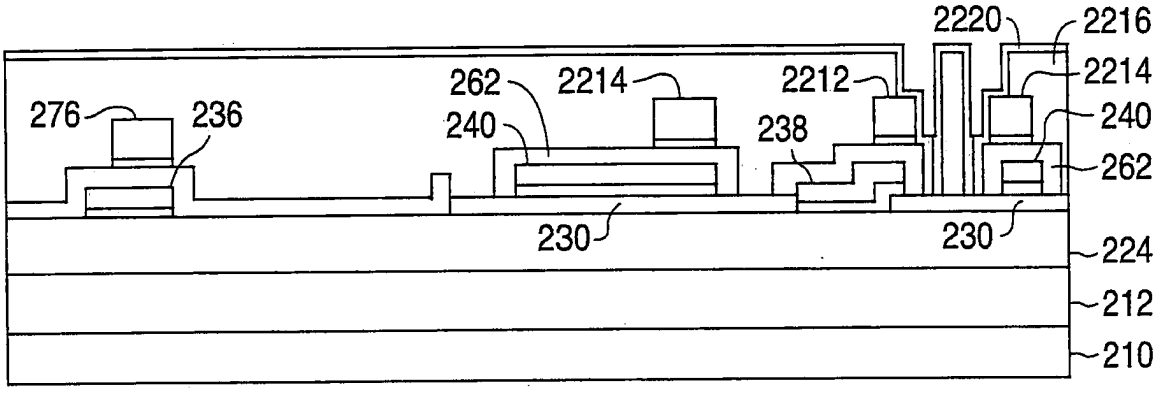


FIG. 24E

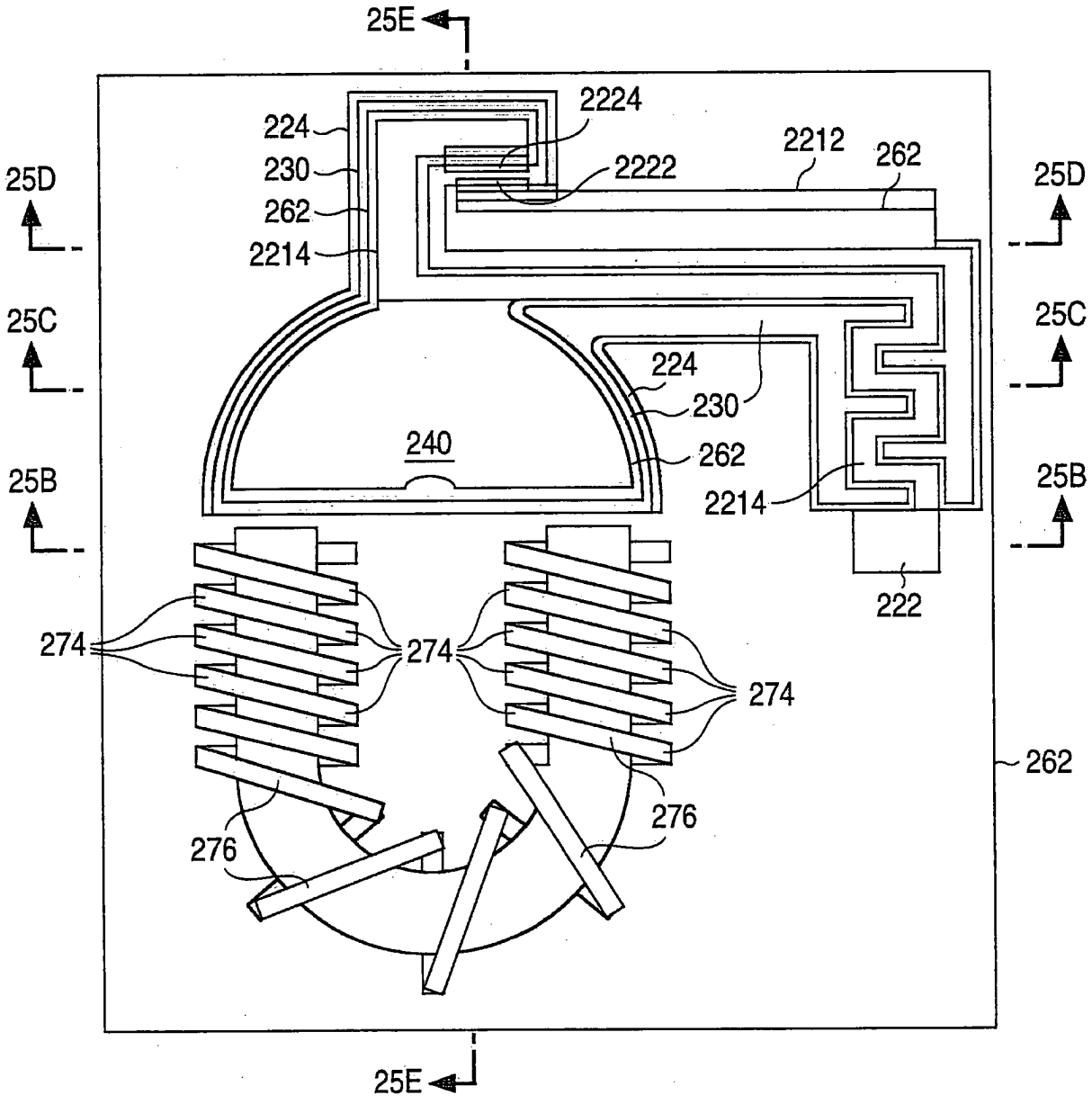

25E
2224
224
230
262
2214
2212
262
2222
25D
25C
25B
224
230
240
262
2214
222
274
274
274
276
276
262
25D
25C
25B
25E

FIG. 25A

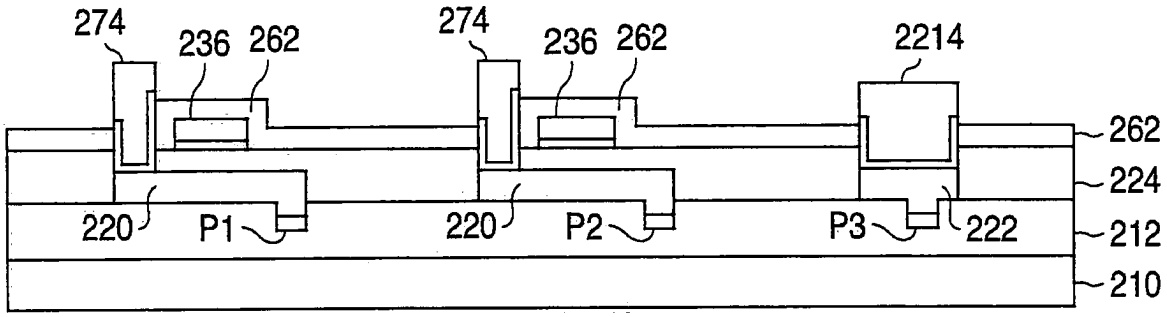


FIG. 25B

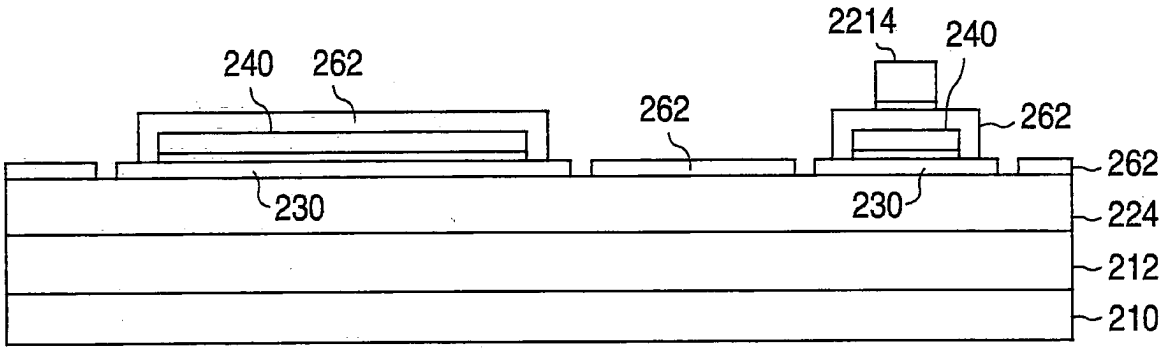


FIG. 25C

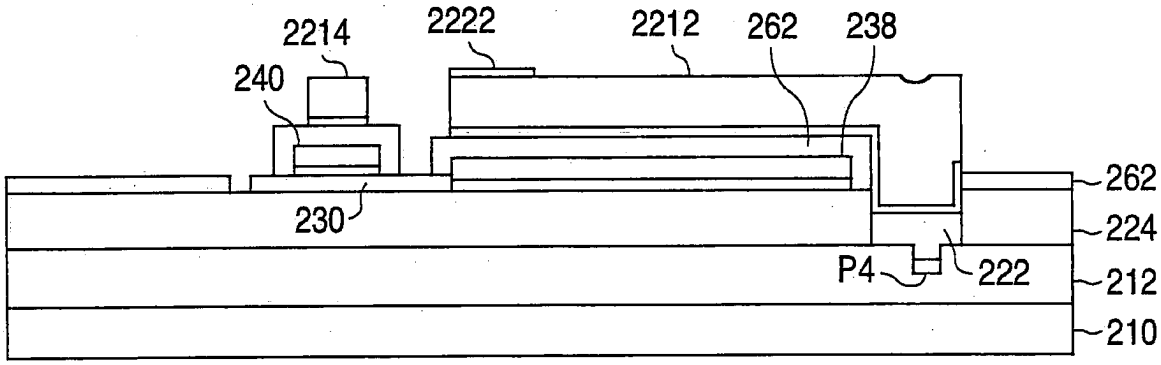


FIG. 25D

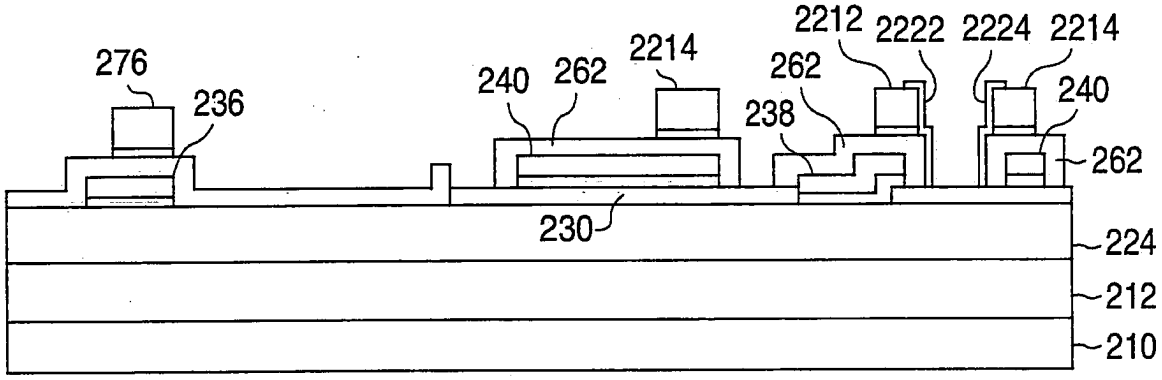


FIG. 25E

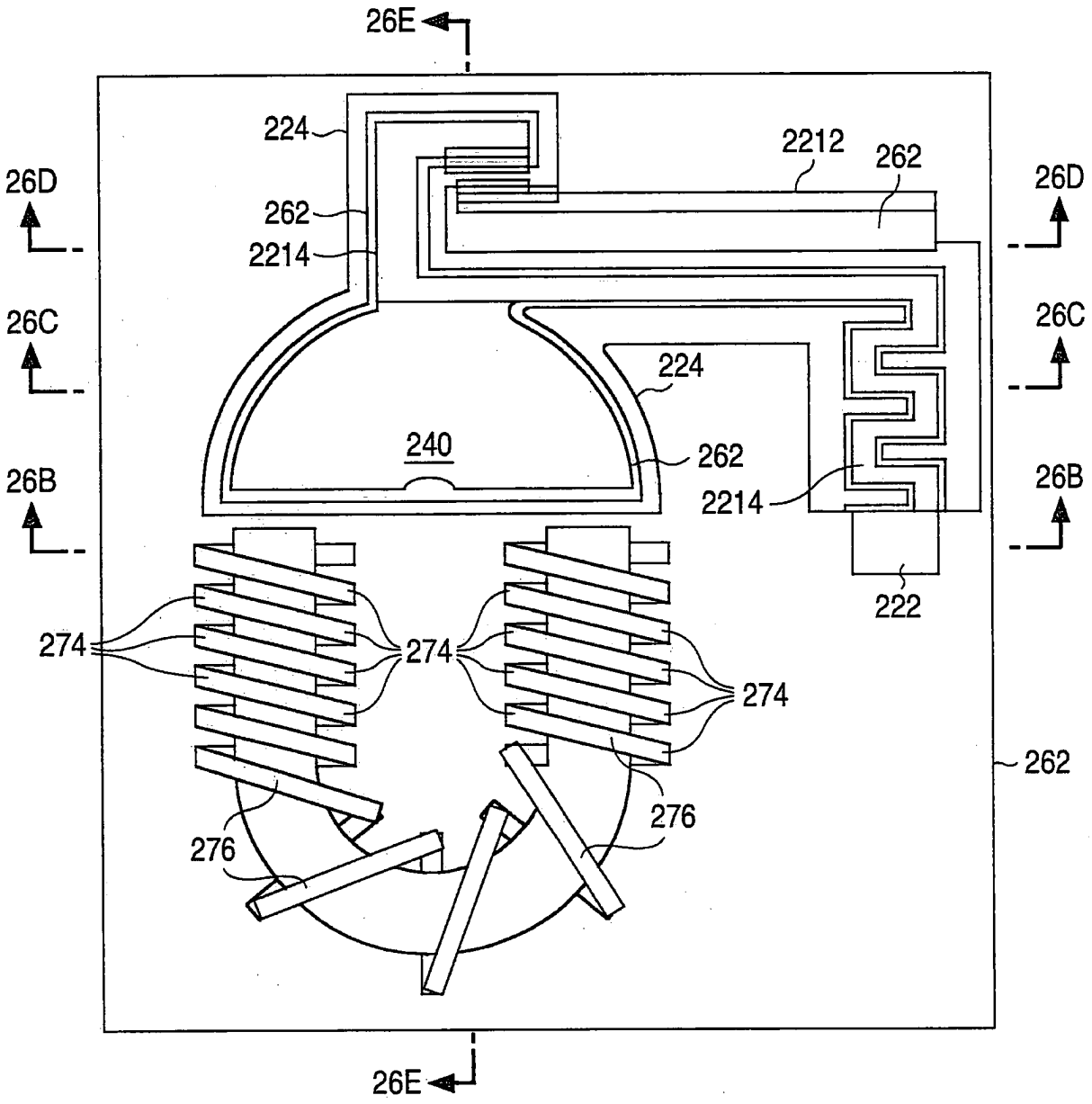

26E
224
2212
262
26D
262
2214
26C
224
240
262
26B
2214
222
274
274
274
262
276
276
26E

FIG. 26A

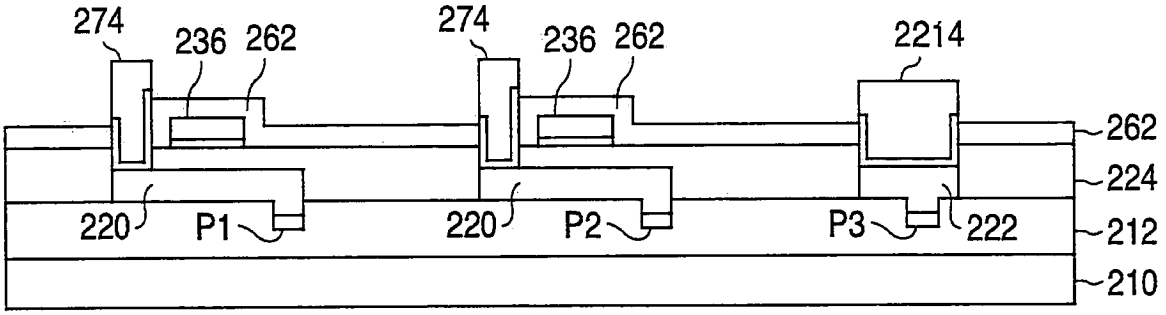


FIG. 26B

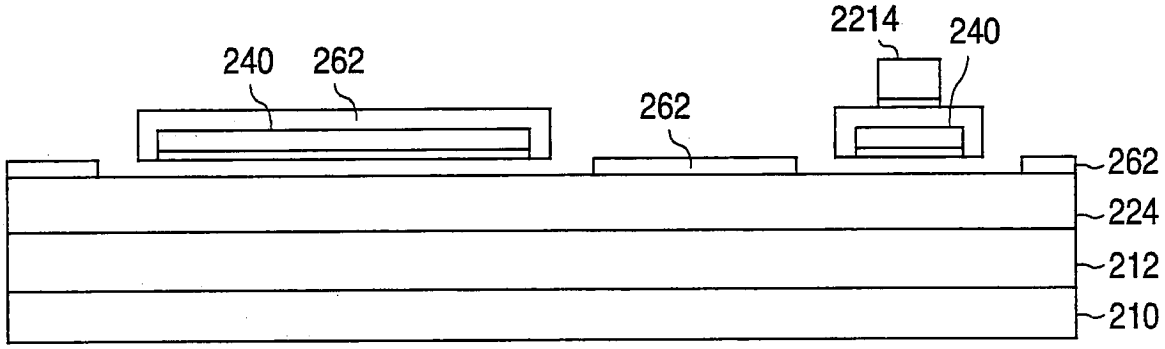


FIG. 26C

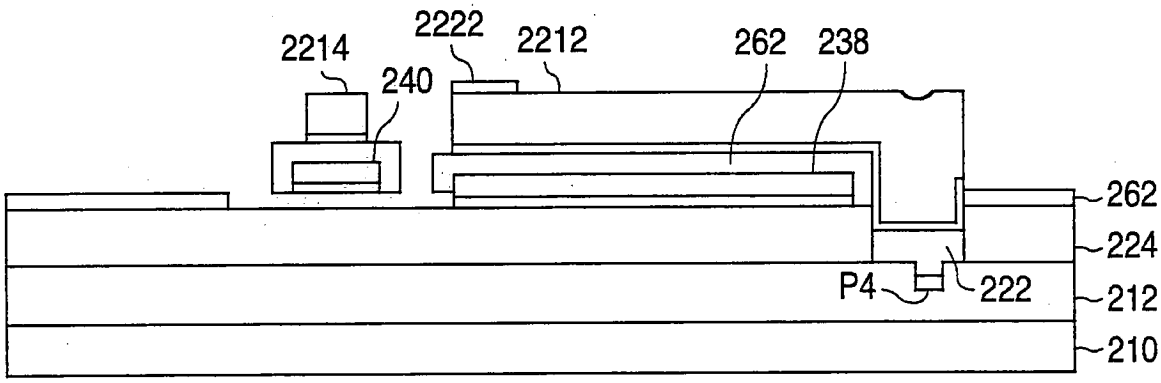


FIG. 26D

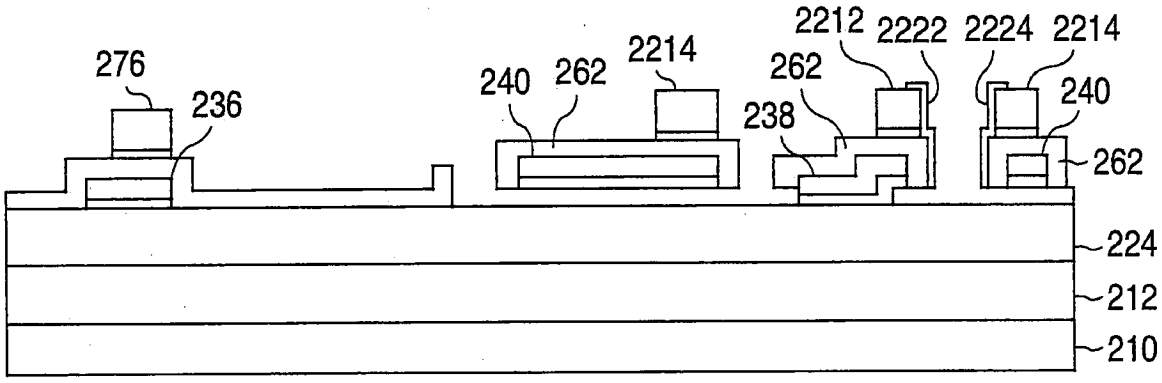


FIG. 26E

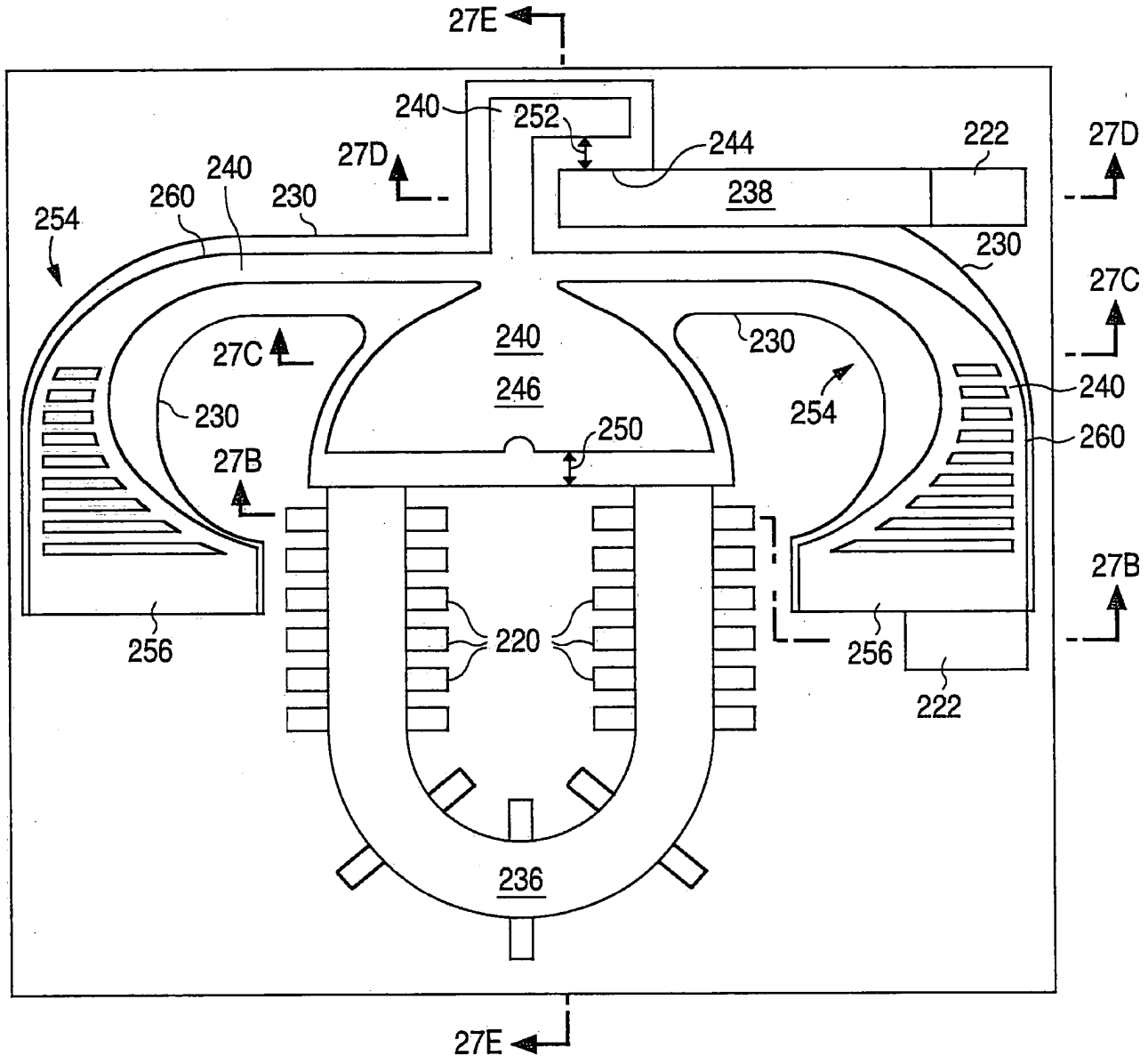

27E
240
252
244
222
27D
27D
240
260
230
238
254
230
27C
240
230
27C
246
230
254
240
250
260
27B
27B
256
220
256
222
236
27E

FIG. 27A

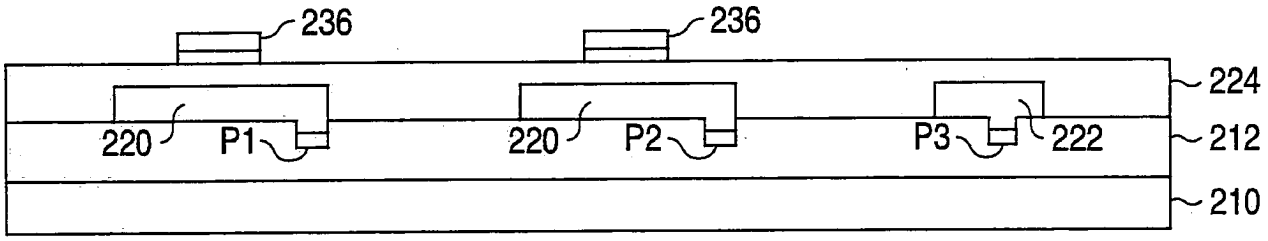


FIG. 27B

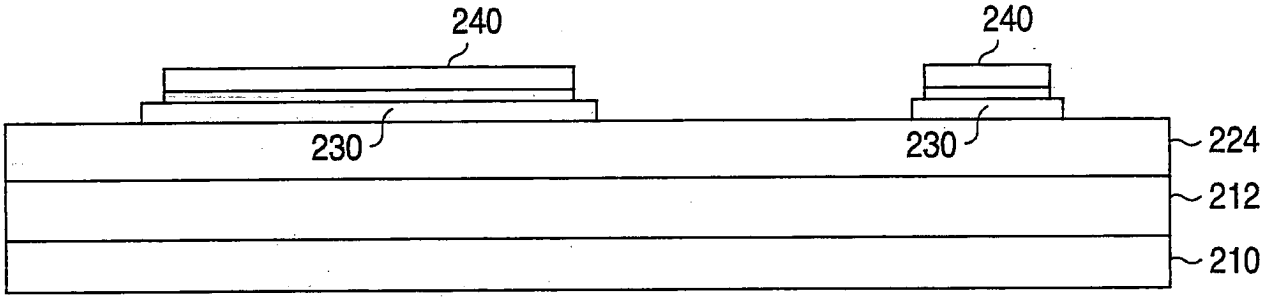


FIG. 27C

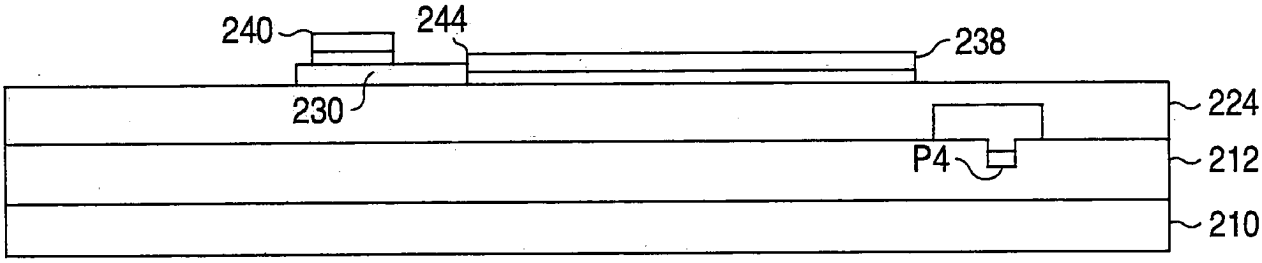


FIG. 27D

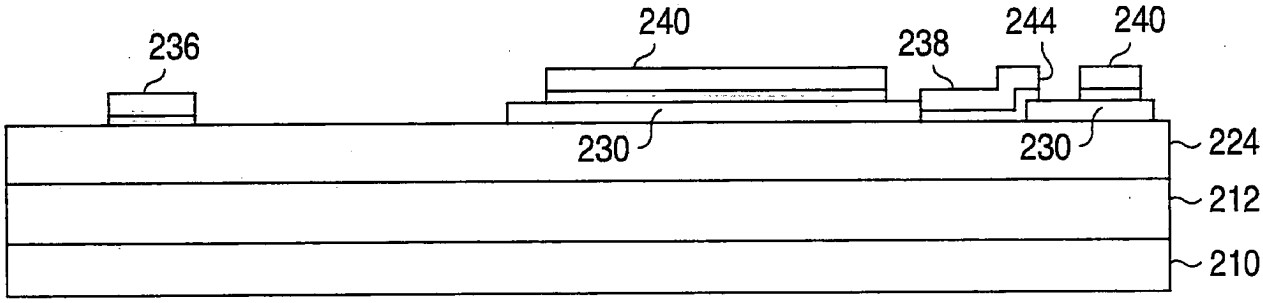


FIG. 27E

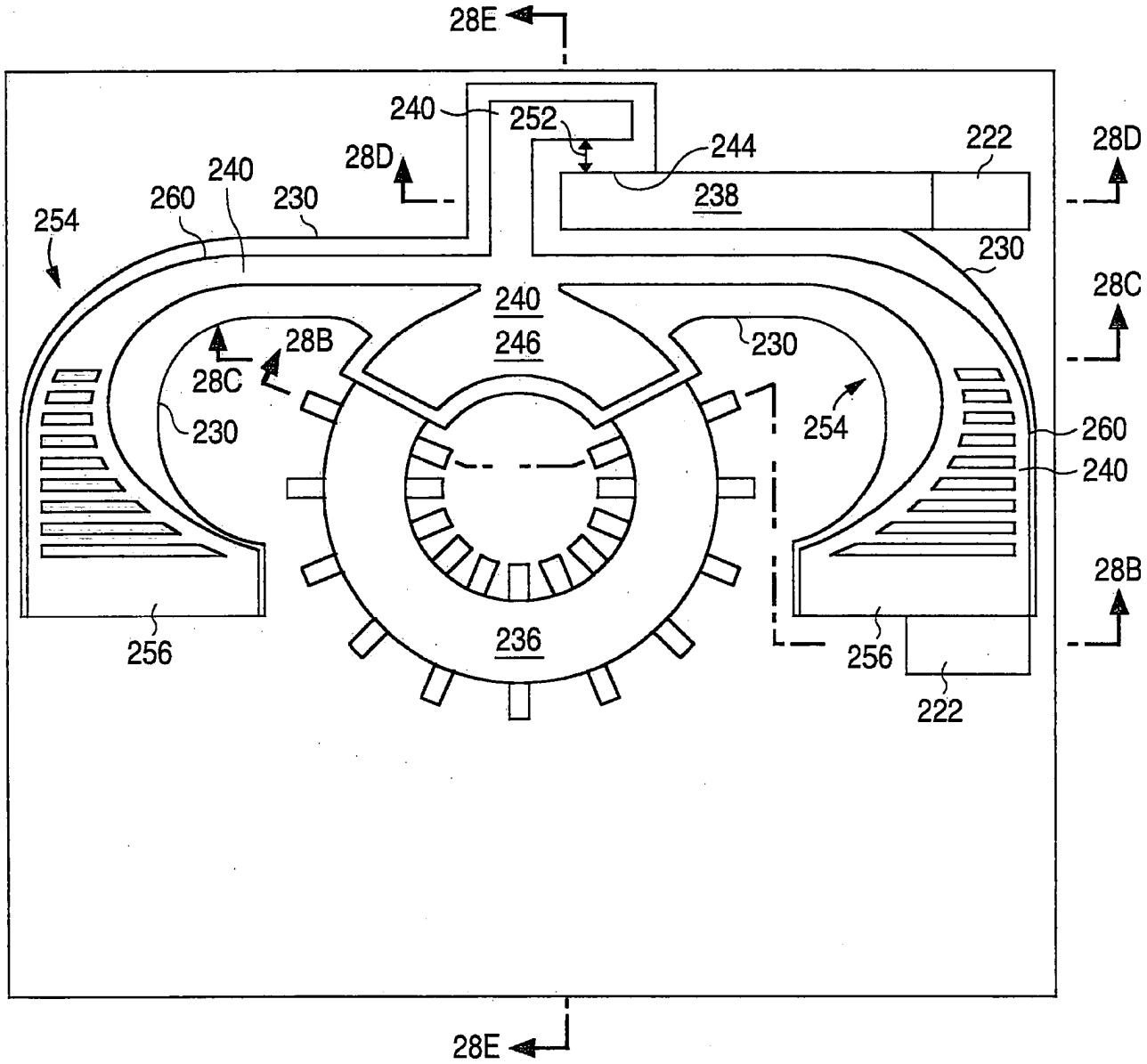

28E
240
252
244
222
28D
240
260
230
28D
238
254
230
28C
240
246
28B
28C
230
230
254
260
240
28B
256
236
256
222
28E

FIG. 28A

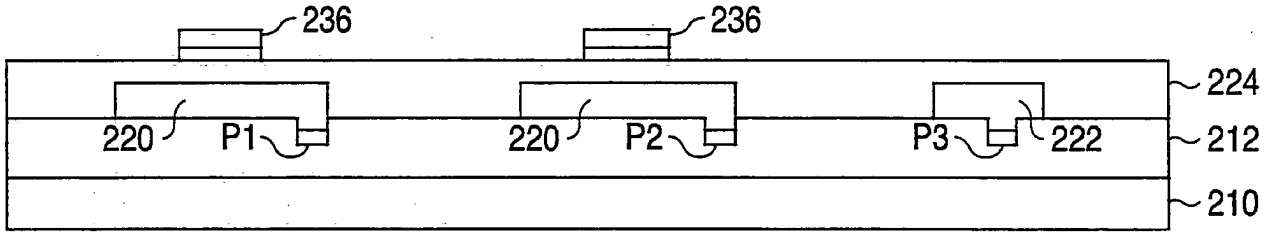


FIG. 28B

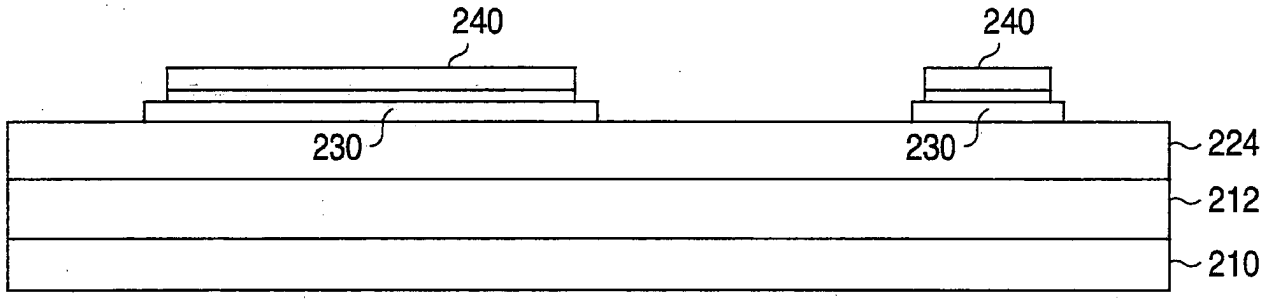


FIG. 28C

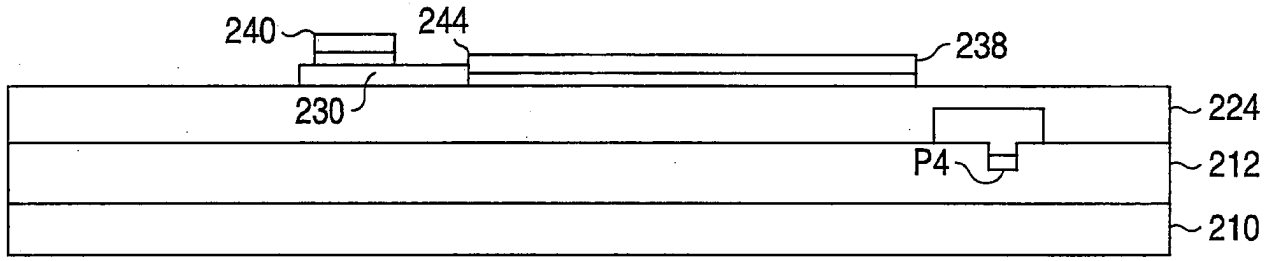


FIG. 28D

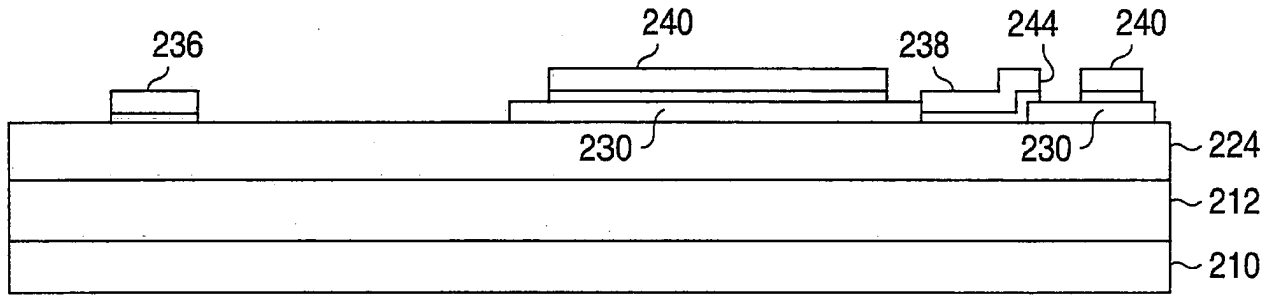


FIG. 28E