

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901853226A1

Publication Date

20111230

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

RESISTORE AD ELEVATA PRECISIONE E RELATIVO METODO DI
CALIBRATURA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"RESISTORE AD ELEVATA PRECISIONE E RELATIVO METODO DI CALIBRATURA"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: PRIVITERA Stefania Maria Serena, SANTANGELO Antonello

* * *

La presente invenzione è relativa ad un resistore ad elevata precisione e al relativo metodo di calibratura.

Come è noto, molti circuiti integrati utilizzano resistori a film sottile, solitamente per controllare la corrente o la tensione di altri componenti del circuito integrato. I resistori a film sottile vengono depositati tipicamente per evaporazione sotto vuoto o sputtering e sono fatti di materiali differenti, quali CrSi, TaN, NiCr.

Pur utilizzando processi molto ben controllati, la resistenza iniziale di tali componenti ha una tolleranza del 3-15%, a seconda del valore di resistenza desiderato. Valori più accurati possono

essere ottenuti rimuovendo fisicamente porzioni del resistore in una successiva operazione di taratura ("trimming"), eseguita tramite laser in fase di verifica delle caratteristiche elettriche di componenti a livello di fetta (EWS - Electrical Wafer Sort). A tal scopo, sono stati sviluppati sistemi di taratura a fascio laser che hanno vari vantaggi, quali velocità, accuratezza e pulizia. Tali sistemi possono essere controllati tramite calcolatore per modificare e regolare i parametri elettrici di tali componenti durante la misura.

Altre tecniche di taratura, quali la taratura elettrica o per riconfigurazione di una rete di resistori mediante fusi, possono essere utilizzate anche dopo l'incapsulamento ("packaging").

Nei resistori ad alta precisione, un altro importante fattore da tenere in considerazione è la variazione della resistenza con la temperatura. Per esempio, circuiti di riferimento di corrente utilizzano resistori di carico per controllare il livello di corrente. Al cambiare della temperatura di funzionamento del circuito, cambia anche la corrente. Anche se, per la fabbricazione di buoni resistori, possono essere utilizzati materiali a resistività elevata, essi presentano tipicamente un elevato

coefficiente di temperatura (TCR), superiore a 100 ppm/°C. Il TCR è definito come la derivata prima della resistenza, normalizzata, in funzione della temperatura e fornisce un modo adeguato per misurare le prestazioni di un resistore.

Per ottenere resistori con TCR quasi nullo, sono state proposte diverse soluzioni, quali resistori collegati in serie o in parallelo, fatti di differenti materiali aventi diversi TCR, e più precisamente TCR positivi e negativi adattati fra loro ("matching") in modo che il coefficiente di temperatura effettivo sia quasi nullo (si veda ad es. US 7,217,981). Tali soluzioni sono tuttavia piuttosto complesse, possono richiedere diversi livelli di interconnessione e l'uso di apparecchiature di taratura a laser costose.

La domanda di brevetto italiana TO2008A000951 depositata il 18 dicembre 2008 (corrispondente alle domande EPO 09179740.7 e statunitense 12/638,922) descrive un resistore di materiale a cambiamento di fase formato da due porzioni in fasi cristalline diverse, in modo da avere opposti coefficienti di temperatura, e collegate elettricamente in modo tale da ottenere un resistore con coefficiente di temperatura complessivo approssimativamente nullo.

In questo resistore, il valore preciso della

resistenza viene ottenuto tramite taratura a laser o elettrica tale da causare un cambiamento di fase in una delle due porzioni. In particolare, la taratura elettrica può essere effettuata fornendo al resistore impulsi di corrente tali da riscaldare il materiale e ottenere il cambiamento di fase previsto per la regolazione della resistenza e del coefficiente di temperatura. Questa tecnica si è dimostrata particolarmente efficace nel caso in cui il resistore sia dotato di una zona di larghezza ridotta rispetto al resto del resistore, dato che in questo caso solo in tal punto si ha una concentrazione ("crowding") della corrente tale da riscaldare il materiale per effetto Joule fino alla temperatura di fusione e da provocare il cambiamento di fase e di resistenza. La taratura è quindi praticamente confinata in tale zona ridotta.

Tale soluzione si è dimostrata vantaggiosa, ma in alcuni casi può richiedere la forzatura di elevate correnti e/o l'applicazione di elevate tensioni al resistore da tarare. L'applicazione di grandezze elettriche elevate tuttavia può comportare danni al resistore o al dispositivo che lo integra a causa di scariche elettrostatiche. Inoltre, la corrente di taratura dipende dalla geometria del resistore, il che può comportare la necessità di rimodulare il processo

di taratura (e in particolare la corrente e tensione da applicare per ottenere una desiderata variazione di resistenza), ogni qual volta si cambia la geometria del resistore.

Scopo della presente invenzione è mettere a disposizione un resistore che possa essere tarato in modo semplice e preciso, riducendo il rischio di danneggiamento.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un dispositivo elettronico, il relativo metodo di taratura e il relativo procedimento di fabbricazione, come definiti rispettivamente nelle rivendicazioni 1, 15 e 18.

Per una migliore comprensione della presente invenzione ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 è una vista dall'alto di una forma di realizzazione del resistore a cambiamento di fase oggetto della summenzionata domanda di brevetto italiano TO2008A000951;

- la figura 2 mostra la resistenza di strato ("sheet resistance") in funzione della temperatura per un materiale a cambiamento di fase;

- la figura 3 mostra una vista dall'alto di una forma di realizzazione del presente resistore;

- la figura 4 mostra una vista in sezione trasversale del resistore di figura 3;

- la figura 5 è uno schema circuitale di massima di un circuito di taratura del presente resistore;

- le figure 6 e 7 mostrano viste dall'alto di differenti forme di realizzazione del presente resistore;

- le figure 8 e 9 mostrano l'andamento della temperatura lungo la direzione verticale e la direzione orizzontale del resistore di fig. 7;

- le figure 10-12 mostrano viste dall'alto di differenti forme di realizzazione del presente resistore;

- le figure 13 e 14 mostrano sezioni trasversali di altre forme di realizzazione del presente resistore;
e

- la figura 15 mostra una vista dall'alto di una ulteriore forma di realizzazione del presente resistore.

Il presente resistore ad elevata precisione è formato da un resistore funzionale e da un resistore di taratura, trasversale al resistore funzionale e realizzato preferibilmente dello stesso materiale (o

della stessa combinazione di materiali) e a partire dallo stesso strato del resistore funzionale. Se il resistore funzionale è realizzato tramite la combinazione di due materiali diversi (anche eventualmente separati da uno strato di dielettrico intermedio), il resistore di taratura può essere realizzato con la stessa combinazione di materiali o con uno solo dei materiali, utilizzando quello più vantaggioso ai fini di una taratura ottimale.

Il resistore di taratura è dotato di proprie connessioni ed è collegato ad un apposito circuito elettrico in modo da essere attraversato da una corrente modulabile tale da riscaldare il resistore funzionale nel punto di incrocio e quindi di modificarne il valore di resistenza e/o il coefficiente di temperatura. Il resistore funzionale non viene quindi più percorso longitudinalmente dalla corrente di taratura e non richiede più di essere disconnesso e riconnesso durante la fase di taratura.

Il presente resistore ad elevata precisione è quindi utilizzabile in tutti i circuiti includenti un resistore ad elevata precisione, tarabile elettricamente. Esso quindi può essere realizzato di vari materiali, quali materiali a cambiamento di fase, polisilicio, leghe metalliche quali SiCr, NiCr, TaN,

SiTa, ecc, solitamente utilizzate per la realizzazione di resistori a film sottile. Come è noto, i materiali a cambiamento di fase sono caratterizzati da forti variazioni delle caratteristiche elettriche in seguito a transizioni di fase. In questo contesto, vengono considerate in particolare le variazioni di resistività e TCR dovute a transizioni di fase reversibili ottenute mediante riscaldamento ed eventualmente fusione, per effetto di impulsi elettrici.

Nella descrizione che segue, quindi, si farà specifico riferimento ad un resistore ad elevata precisione di materiale a cambiamento di fase, e più in particolare ad un resistore del tipo descritto nella summenzionata domanda di brevetto TO2008A000951, nelle sue forme di realizzazione con taratura elettrica, senza comunque limitarsi a questo.

Per una migliore comprensione, quindi, qui di seguito viene descritta una generica forma di realizzazione di tale resistore noto e il principio di funzionamento, con riferimento alle figure 1 e 2.

La figura 1 mostra un resistore 1 di materiale a cambiamento di fase costituito da una regione resistiva 4 formata da una singola striscia di materiale a cambiamento di fase, dotata di due estremità in contatto elettrico con regioni metalliche 3.

La regione resistiva 4 comprende almeno due zone 4a, 4b aventi fase cristallina diversa, e precisamente tali da avere comportamenti opposti al variare della temperatura. In figura 1, come rappresentato schematicamente dai confini tratteggiati, la regione cristallina 4 comprende due prime zone 4a, in una prima fase (fase metallica, come spiegato sotto) ed una seconda zona 4b, qui in posizione intermedia e in una seconda fase (fase semiconduttrice, come spiegato sotto). Inoltre, la seconda zona 4b ha larghezza ridotta rispetto alla prima zona 4a, in modo da provocare un addensamento della corrente e un confinamento della zona di cambiamento di fase, durante la taratura elettrica, come sotto spiegato.

Infatti, i materiali a cambiamento di fase presentano fasi stabili variabili fra la fase completamente amorfa e la fase cristallina stabile alle alte temperature, incluse le fasi intermedie. La figura 2 mostra la resistenza di strato ("sheet resistance") R_s di uno strato a cambiamento di fase di $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ che, partendo dalla fase amorfa, viene riscaldato ad una velocità di $15^\circ\text{C}/\text{min}$ e successivamente raffreddato. La linea continua mostra la resistenza di strato nel caso di riscaldamento fino a 225°C alla velocità sopra indicata, e successivo raffreddamento; la linea

puntinata mostra l'andamento nel caso di riscaldamento fino a 325°C alla stessa velocità, e successivo raffreddamento.

In entrambi i casi, la dipendenza della resistenza dalla temperatura durante il raffreddamento è molto differente dal suo comportamento iniziale. In particolare, la rapida riduzione della resistenza corrisponde ad una transizione di fase. Una prima transizione di fase, che si osserva a circa 155°C (ginocchio fra tratto A e tratto B) corrisponde alla transizione dalla fase amorfa alla fase policristallina, cui corrisponde una brusca riduzione della resistenza. Una seconda transizione di fase avviene nel caso rappresentato con linea puntinata (punto di svolta fra tratto B e tratto D) e corrisponde al passaggio da una fase policristallina ad una diversa fase policristallina, caratterizzata da resistenza più bassa e da un coefficiente di temperatura positivo ($TCR > 0$), tipico dei materiali metallici. La fase policristallina descritta dal tratto di curva D viene quindi identificata come fase metallica. Nel caso rappresentato dalla linea continua, non avviene la seconda transizione di fase, per cui il tratto di curva C, con coefficiente di temperatura negativo, descrive il comportamento di regioni di materiale a cambiamento

di fase identificate in seguito come in fase semiconduttrice.

Nel caso di materiali a cambiamento di fase fatti di leghe di GeSbTe con composizioni sulla linea pseudo-binaria GeTe - Sb₂Te₃, la fase formata a temperatura inferiore tipicamente ha una struttura cubica centrata sulla faccia (fcc) ed è caratterizzata da una resistività variabile fra 3^{-3} a 3^{-2} Ωcm , a seconda della composizione. La fase formata a temperatura più elevata ha struttura esagonale e resistività variabile fra 3^{-4} a 3^{-3} Ωcm .

Di conseguenza, differenti temperature di realizzazione di strati di materiale a cambiamento di fase danno origine a differenti resistività e differenti coefficienti di temperatura.

Ritornando alla figura 1, il resistore 1 è equivalente al collegamento in serie di due resistori aventi rispettivamente una prima resistenza R_1 (qui formato dalla somma delle due prime zone 4a, ciascuna di resistenza $R_1/2$) ed una seconda resistenza R_2 (qui, formata dalla seconda zona 4b). Le due resistenze R_1 , R_2 sono caratterizzate rispettivamente da una prima ed una seconda resistività ρ_1 e ρ_2 , corrispondenti rispettivamente alla fase metallica e alla fase semiconduttrice (ovvero aventi il comportamento

descritto dal tratto di curva D e, rispettivamente, dal tratto di curva C). Inoltre, le due resistenze R_1 , R_2 hanno rispettivi coefficienti di temperatura α_1 e α_2 e rispettivi fattori geometrici N_1 e N_2 (definiti come L/S , in cui L è la lunghezza della rispettiva zona 4a, 4b della regione resistiva 4 -come somma delle due zone 4a- e S è la sezione della regione resistiva 4, uguale per entrambe le zone).

Per il resistore 1 si dimostra che esiste una relazione fra i rispettivi coefficienti di temperatura e i rispettivi fattori geometrici tale per cui il resistore 1 ha coefficiente di temperatura globale approssimativamente nullo ed una data resistenza R .

In particolare si dimostra che

$$N_2 = R\alpha_1 / (\rho_2\alpha_1 - \rho_1\alpha_2)$$

$$N_1 = -R\alpha_2 / (\rho_2\alpha_1 - \rho_1\alpha_2) .$$

e i fattori geometrici N_1 and N_2 devono soddisfare la relazione:

$$N_2/N_1 = -\alpha_1/\alpha_2 \quad (1) .$$

Di conseguenza, il resistore 1 può essere realizzato depositando la regione resistiva 4 ad una prima temperatura, in modo che essa sia inizialmente nella fase metallica, e modificando la resistività di una delle due zone 4a, 4b (tipicamente, la seconda zona 4b) tramite trattamento termico ("annealing") in modo

da portarla in fase semiconduttrice e da soddisfare la (1). In particolare, la seconda zona 4b viene fusa ad una seconda temperatura, più bassa della temperatura di deposizione, e quindi lasciata raffreddare in modo da portarsi in fase semiconduttrice, alla resistività desiderata.

Nella summenzionata domanda di brevetto quindi, la seconda zona subisce una transizione di fase per effetto di una corrente elettrica che percorre l'intero resistore 1.

Viceversa, nel presente resistore la taratura viene ottenuta facendo passare una corrente di taratura trasversalmente al resistore "funzionale", utilizzando un resistore "di taratura" trasversale, come descritto qui di seguito.

In dettaglio, le figure 3 e 4 mostrano un resistore 10 avente una forma generalmente a croce, includente una prima porzione 11 ed una seconda porzione 12, entrambe a forma di striscia, che si attraversano, delimitando una zona di incrocio 13. Le porzioni 11, 12 sono formate qui a partire da uno stesso strato di materiale, sagomato a croce su un supporto planare e quindi sono complanari, almeno nella zona di incrocio 13. La prima porzione 11, avente larghezza W_1 e una prima resistenza R_1 , costituisce il

resistore funzionale e ha estremità collegate a prime regioni di connessione metalliche 14. La seconda porzione 12, avente larghezza W_2 e una seconda resistenza R_2 , costituisce il resistore di taratura e ha estremità collegate a seconde regioni di connessione metalliche 15.

Il resistore 10 può essere realizzato su un substrato 20 e avere la sezione trasversale mostrata in figura 4. Il substrato 20 può essere di materiale semiconduttore, un substrato SOI (Silicon-on-Insulator) o un substrato flessibile con transistori e altri componenti elettronici integrati al suo interno o al di sopra della sua superficie. Un primo strato di dielettrico 21, ad esempio ossido, si estende al di sopra del substrato 20. Le regioni metalliche 14, 15 (di cui solo le prime regioni metalliche 14 sono visibili in fig. 4) si estendono qui al di sopra del primo strato di dielettrico 21 e sono coperte da uno strato di dielettrico intermedio 22. Lo strato di dielettrico intermedio 22 può essere un singolo strato o un multistrato di TEOS (tetraetilortosilicato), un vetro spinnato ("spin-on glass"), FSP (fluorinated silicon glass), PBSG (boron phosphorous silicon glass) o altro dielettrico, in modo di per sé noto.

Vie ("vias") 23 si estendono attraverso lo strato

di dielettrico intermedio 22 e collegano le prime regioni metalliche 14 con le estremità della prima porzione 11. Analoghe vie non mostrate in fig. 4 collegano le seconde regioni metalliche 15 (anch'esse non visibili in fig. 4) con le estremità della seconda porzione 12. Le vie 23 possono essere costituite da uno strato barriera opportuno (ad esempio, di Ti o TiN), e sono riempite ad esempio di tungsteno. Il resistore 10 ha spessore costante, compreso ad esempio nell'intervallo 20-200 nm, a seconda della resistenza desiderata, ed è realizzato ad esempio di un calcogenuro o lega calcogenica comprendente Ge, Sb e Te, quale il $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (anche indicato come GST). Al di sopra del resistore 10 si estendono uno strato protettivo 24 ed uno strato di passivazione 25. Lo strato protettivo 24 può essere di ossido di silicio, nitruro di silicio o altro dielettrico; e lo strato di passivazione 25 può essere di ossido di silicio, nitruro di silicio o una loro combinazione.

Secondo una forma di realizzazione, è possibile realizzare il resistore 10 depositando uno strato di GST ad una prima temperatura e quindi sagomarlo a croce, utilizzando processi fotolitografici noti, in modo che entrambe le porzioni 11 e 12 siano inizialmente nella stessa fase metallica.

Successivamente, viene modificata la resistività della seconda porzione 12, in modo da portarla in fase semiconduttrice almeno in corrispondenza della zona di incrocio 13. A tale scopo, un impulso elettrico viene applicato alla sola seconda porzione 12, tale da portare tale seconda porzione 12 ad una seconda temperatura, tale da fonderla e quindi lasciandola raffreddare in modo che essa si porti in fase semiconduttrice. In questo modo, si ottiene una transizione di fase della seconda porzione 12 rispetto alla fase originale.

La fase di taratura elettrica non coinvolge però la prima porzione (resistore funzionale) 11, tranne la zona di incrocio 13.

La taratura può essere ottenuta utilizzando un dispositivo 30 incorporante il presente resistore 10, come mostrato schematicamente in fig. 5. Come si nota, il dispositivo 30 comprende un circuito elettronico 31, avente morsetti 31a, 31b collegati alle estremità del resistore funzionale 11, ad esempio attraverso le prime regioni metalliche 14. Il circuito elettronico 31 può essere un circuito elettronico di qualunque tipo, utilizzando il resistore 10, ad esempio un regolatore o un riferimento di tensione, un amplificatore di precisione, o semplicemente una struttura di

collegamento verso piazzole di contatto ("pad") esterne.

Un circuito di taratura 32 ha morsetti 32a, 32b collegati alle estremità del resistore di taratura (seconda porzione) 12, ad esempio attraverso le seconde regioni metalliche 15. Il circuito di taratura 32 comprende un generatore di impulsi di taratura, qui un generatore di tensione 33 (ad esempio un transistor BJT), collegato fra i morsetti 32a, 32b, ed uno stadio di comando 34, che genera segnali di comando per il generatore di tensione 33, ad esempio un segnale di accensione/spegnimento del generatore di tensione 33 (o di un interruttore a questo collegato) o un segnale modulato, in modo da ottenere profili di tensione, e quindi di temperatura di taratura, controllabili. Il circuito di taratura 32 può anche comprendere un sensore di temperatura 35, cooperante con lo stadio di comando 34. Inoltre, il circuito di taratura 32 può comprendere anche un misuratore di resistenza, per esempio facente parte dello stadio di comando 34, per la misura della resistenza del resistore funzionale 12, in modo da avere una taratura più accurata e/o consentire una modifica dinamica della resistenza del resistore funzionale 12 e quindi del resistore regolabile 10, durante il funzionamento del dispositivo

30. In alternativa, e in modo non mostrato, il circuito elettrico 31 può comprendere un misuratore di resistenza che misura la resistenza del resistore funzionale 11 e fornisce un segnale corrispondente al circuito di taratura 32, per una regolazione più accurata.

In prima approssimazione, trascurando le perdite termiche dovute alla diffusione, la potenza P richiesta per riscaldare un volume V di materiale a cambiamento di fase è pari a:

$$P = C_p V \, dT/dt$$

in cui C_p è la capacità termica del materiale e dT/dt (derivata della temperatura in funzione del tempo) può essere approssimata a $\Delta T/t_0$, in cui ΔT è la variazione di temperatura cui viene sottoposto il materiale e t_0 è la durata dell'impulso. Dalla relazione $P=I^2R$, è quindi possibile ricavare i parametri elettrici (corrente/tensione) da utilizzare per ottenere la taratura desiderata.

La fig. 6 mostra una forma di realizzazione in cui la larghezza W della prima porzione 11 non è costante. In particolare, la prima porzione 11 ha una prima larghezza W_1 per la maggior parte della sua estensione, e una seconda larghezza $W_3 < W_1$ in prossimità dell'incrocio con la seconda porzione 12. La seconda

porzione 12 ha larghezza costante W_2 .

Questa soluzione consente di confinare meglio la zona di taratura nella zona di incrocio 13.

La figura 7 mostra una forma di realizzazione in cui la larghezza di entrambe le porzioni 11 e 12 è variabile. In particolare, la prima porzione 11 ha una prima larghezza W_1 per la maggior parte della sua estensione, e una seconda larghezza $W_3 < W_1$ in prossimità della zona di incrocio 13 e la seconda porzione 12 ha una prima larghezza W_2 nella zona prossima alle seconde regioni metalliche 15, e una seconda larghezza $W_4 < W_3$ in prossimità della zona di incrocio 13.

Questa soluzione migliora ulteriormente il confinamento della zona interessata dal cambiamento di resistività in corrispondenza della zona di incrocio 13, come dimostrato anche dai grafici delle figure 8 e 9, mostranti rispettivamente l'andamento della temperatura T_y lungo la direzione longitudinale della seconda porzione 12 (direzione verticale Y) e l'andamento della temperatura T_x lungo la direzione longitudinale della prima porzione 11 (direzione orizzontale X). In particolare, i grafici sono stati ottenuti per il materiale a variazione di fase con stechiometria $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, nel caso di $L_1 = 4 \mu\text{m}$, $L_2 = 6 \mu\text{m}$, $W_1 = 3 \mu\text{m}$, $W_2 = 3 \mu\text{m}$, $W_3 = 1 \mu\text{m}$, $W_4 = 2 \mu\text{m}$,

con spessore delle porzioni 11 e 12 pari a 50 nm e applicando una tensione di 5 V ai capi della seconda porzione 12. Qui, L_1 è la lunghezza della zona stretta della prima porzione 11, L_2 è lunghezza della seconda porzione 12 e W_1 - W_4 sono le larghezze sopra indicate. Inoltre, la prima porzione 11 non viene polarizzata. Come si nota, entrambe le curve mostrano una zona di massimo approssimativamente costante, a temperatura $T > T_m$, in cui T_m rappresenta la temperatura di fusione (ad es. 620°C nel caso di GST) e tale zona è contenuta all'interno della zona di incrocio, come evidenziato anche in fig. 7, nella quale una linea tratteggiata 38 rappresenta l'isoterma a $T = T_m$ e delimita quindi la regione in cui si ottiene una temperatura maggiore della temperatura di fusione, nelle condizioni predette.

In generale, simulazioni della richiedente hanno mostrato che si ottengono buoni valori di efficienza, quando la zona ristretta del resistore di taratura 12 è più larga della zona ristretta del resistore funzionale 11, cioè quando $W_4 > W_3$.

In questo caso, infatti, si ottiene una maggiore efficacia ed una ulteriore riduzione della potenza necessaria per la taratura, riducendo ulteriormente i rischi di danneggiamento e la potenza impiegata.

La figura 10 mostra una forma di realizzazione in cui la seconda porzione 12 ha una prima larghezza costante in prossimità dell'incrocio con la prima porzione 11 e quindi una larghezza crescente fino alle seconde regioni metalliche 15. In alternativa, la seconda porzione 12 potrebbe non avere zone a larghezza costante. Qui, la prima porzione 11 ha due larghezze $W1$ e $W3 < W1$ in prossimità della zona di incrocio 13, analogamente alle figure 6 e 7, tuttavia la prima porzione 11 potrebbe avere larghezza costante oppure larghezza crescente a partire dalla zona dell'incrocio, passando gradualmente da $W3$ a $W1$, o con dei gradini, come mostrato ad es. in fig. 11.

La figura 12 mostra una forma di realizzazione in cui è presente più di una zona di incrocio 13. Infatti, a seconda del volume di materiale resistivo che deve essere cambiato di fase per raggiungere il valore di resistenza desiderato, con l'accuratezza richiesta, è possibile inserire una pluralità di seconde porzioni 12, ciascuna definente una propria zona di incrocio 13 con la prima porzione 11.

In questo caso, la geometria delle porzioni 11, 12 può essere una qualsiasi di quelle mostrate nelle figure 4, 6, 7, 10, 11 a larghezza costante o variabile a gradino e/o con tratti inclinati.

La figura 13 mostra una sezione trasversale del resistore 10 in una realizzazione a coefficiente di temperatura approssimativamente nullo e tarabile elettricamente, ottenuta mediante collegamento in parallelo di due strati in differente fase. In particolare, nella figura 13, il resistore 10 (analogo al resistore mostrato nella fig. 13 della summenzionata domanda di brevetto italiano T02008A000951) comprende una regione inferiore 41 e una regione superiore 42, a differente fase, disposte in parallelo e sovrapposte direttamente una all'altra e coperte da uno strato di dielettrico superiore 43. Entrambe le regioni 41, 42 hanno forma a croce, con una delle conformazioni mostrate nelle figure 4, 6, 7, 10, 11 e quindi sono formate da prime porzioni 11 attraversate da seconde porzioni 12 in corrispondenza di zone di incrocio, indicate ancora con 13.

Le regioni 41, 42, ad esempio rispettivamente nella fase metallica e nella fase semiconduttrice, possono essere realizzate deponendo in sequenza due strati che vengono definiti con un'unica fotomaschera.

In particolare, le regioni 41 e 42 possono avere la stessa composizione, ad esempio $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, ed essere depositate a temperatura differente, oppure possono avere composizione diversa, in modo tale che una delle

due abbia TCR positivo e l'altra negativo. Un esempio di due composizioni utilizzabili a questo proposito è fornito dalla fig. 6(a) dell'articolo di Matsunaga et al. "Structural characteristics of GeTe-rich GeTe-Sb₂Te₃ pseudobinary metastable crystals", J. Appl. Phys. vol 103, pag 093511 (2008), in cui si mostrano due composizioni (GeTe e Ge₈Sb₂Te₁₁), stabili nella fase metallica (TCR>0) e semiconduttrice (TCR<0), rispettivamente, fino alla temperatura di fusione.

La figura 14 mostra una differente forma di realizzazione con collegamento in parallelo di due regioni. In questa soluzione (analoga a quella mostrata nella fig. 14 della summenzionata domanda di brevetto italiano TO2008A000951), la regione superiore 42 si estende al di sopra della regione inferiore 41, separata da questo da uno strato dielettrico superiore 45 e collegata elettricamente alle estremità da vie superiori 44.

Anche in fig. 14, la regione inferiore 41 può essere realizzata, ad esempio, in fase metallica e la regione superiore 42 può essere realizzata in fase semiconduttrice. In questo caso, la regione inferiore 41 può avere semplicemente forma a striscia, e la regione superiore 42 può avere forma a croce. In alternativa, entrambe le regioni 41, 42 e lo strato di

dielettrico superiore 43 possono avere una delle conformazioni a croce mostrate nelle figure 4, 6, 7, 10, 11, quindi avere una prima porzione 11 attraversata da una seconda porzione 12 in corrispondenza della zona di incrocio 13.

In entrambe le forme di realizzazione delle figure 13 e 14, scegliendo opportunamente i parametri di deposito, in particolare la temperatura di deposizione e lo spessore delle regioni 41, 42, è possibile realizzare il resistore 10 con valore di resistenza approssimativo e con coefficiente di temperatura nullo. Il valore di resistenza esatto può essere tarato nel modo sopra spiegato, scaldando la zona di incrocio 13, grazie al passaggio di corrente nella porzione trasversale 12. In questo caso la taratura serve quindi per raggiungere un valore di resistenza particolarmente preciso e/o per modificare dinamicamente la resistenza del resistore 10 in base ai requisiti esistenti.

Una soluzione alternativa di collegamento parallelo è mostrata in figura 15, nella quale un resistore 10 è formato da un primo ramo 51 e da un secondo ramo 52, formati sullo stesso piano e collegati in parallelo mediante due connessioni metalliche, indicate ancora con 14. Uno dei due rami (nell'esempio,

il primo ramo 51) è in fase semiconduttrice e ha $TCR < 0$, e l'altro ramo (qui il secondo ramo 52) è in fase metallica ed ha $TCR > 0$. In alternativa, entrambi i rami 51, 52 possono essere nella stessa fase (metallica o semiconduttrice). Il secondo ramo 52 è analogo al resistore 10 delle figure 4, 6, 7, 10 e 11 ed ha una prima porzione 11 ed una seconda porzione 12 che incrocia la prima porzione 11 nella zona di incrocio 13. Nell'esempio mostrato, sia la prima che la seconda porzione 11, 12 hanno larghezza che si riduce linearmente in prossimità dell'incrocio.

In questo caso, la fabbricazione del resistore 10 può comprendere il deposito di un primo strato di materiale a cambiamento di fase ad una temperatura tale e con una composizione tale da ottenere la fase metallica. Quindi, viene definito il secondo ramo 52, con la prima e la seconda porzione 11, 12. Successivamente, viene depositato un secondo strato di materiale a cambiamento di fase ad una seconda temperatura o con una composizione tale da ottenere una fase semiconduttrice. Quindi, il secondo strato di materiale a cambiamento di fase viene definito, in modo da formare il primo ramo 51.

Come indicato, la composizione dei materiali che costituiscono il primo ramo 51 ed il secondo ramo 52

può essere uguale (ad esempio $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$) o differente (ad esempio GeTe e $\text{Ge}_8\text{Sb}_2\text{Te}_{11}$).

La resistenza del resistore viene quindi tarata con precisione modificando la fase della zona di incrocio nel secondo ramo 52, nel modo già descritto sopra.

Secondo una diversa forma di realizzazione, entrambi i rami 51, 52 possono avere una conformazione a croce secondo una qualsiasi delle figure 4, 6, 7, 10 e 11.

Il resistore integrato qui descritto ha numerosi vantaggi. Ad esempio esso può essere tarato in modo preciso sia durante la fabbricazione, a livello di fetta, sia anche dopo l'incapsulamento ("packaging"). Inoltre, esso consente la modifica della resistenza in modo dinamico, anche durante il funzionamento del dispositivo che lo incorpora, nel caso che il dispositivo integri un circuito di taratura come mostrato in fig. 5.

La taratura richiede tensioni molto inferiori rispetto alle soluzioni note; quindi sono inferiori anche i rischi di danneggiamento e la dissipazione.

La corrente e la tensione di taratura non dipendono dalla geometria del resistore funzionale ma solo da quella del resistore di taratura, facilitando

la determinazione dei parametri elettrici da utilizzare per l'ottenimento di valori di resistenza accurati.

E' possibile effettuare fasi di auto-taratura, utilizzando il circuito di figura 5; in questo caso, lo stadio di comando può essere configurato in modo da misurare la resistenza esistente ed attivare automaticamente la taratura in caso di risultato non conforme alle attese.

Non sono richieste fasi di processo apposite per la realizzazione del presente resistore, in quanto esso può essere realizzato semplicemente modificando la maschera di definizione del resistore, in modo da formare la seconda porzione (o resistore di taratura) 12, e la maschera o le maschere per la realizzazione delle regioni di connessione elettrica 14, 15.

Il dimensionamento del resistore 10 non pone requisiti aggiuntivi; in particolare, il dimensionamento del resistore di taratura 12 non comporta limitazioni per quanto riguarda il dimensionamento del resistore funzionale 11.

Risulta infine chiaro che al resistore ad elevata precisione, al relativo metodo di taratura e al procedimento di fabbricazione qui descritti ed illustrati possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo

della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, sebbene l'invenzione sia stata descritta con riferimento a materiali a cambiamento di fase, essa è applicabile anche ad altri materiali, quali il polisilicio o altre leghe metalliche comunemente utilizzate per la realizzazione di resistore a film sottile, quali SiCr, NiCr, TaN, SiTa. In caso di resistore di un materiale a cambiamento di fase, questo può avere una singola composizione e/o struttura cristallina o può essere costituito da diversi strati con la stessa composizione e/o struttura cristallina, o con diverse composizioni e/o strutture cristalline. Il coefficiente di temperatura (TCR) può essere nullo, come insegnato nella summenzionata domanda di brevetto italiano, o diverso da zero, qualora l'applicazione non richieda una stabilità del valore di resistenza con la temperatura o preveda una diversa dipendenza dalla temperatura (positiva o negativa); il resistore funzionale 11 può essere composto da regioni con differente composizione o struttura, collegate in serie, in parallelo o in una combinazione serie/parallelo. La larghezza del resistore funzionale 11 può essere uguale o maggiore di quella del resistore di taratura 12.

Nel caso che il resistore funzionale 11 e/o il resistore di taratura 12 abbia larghezza inferiore in prossimità della zona di incrocio, la riduzione di larghezza può essere ottenuta mediante un gradino e/o in modo graduale, con linee conformate in modo qualsivoglia (con tratti rettilinei o curvi).

Come già indicato, è possibile realizzare più punti di taratura, con strutture modulari, in modo che, una volta fissata la geometria del punto di incrocio (modulo di taratura), sia possibile determinare la corrente/tensione di taratura indipendentemente dalla resistenza R_1 del resistore funzionale 11. Il numero di moduli può anche dipendere dal volume che si vuole tarare e/o dalla precisione desiderata.

Le regioni di connessione elettrica 14, 15 possono essere realizzate sia sopra, sia sotto il resistore e in generale gli strati sui quali viene formato il presente resistore possono variare rispetto a quanto mostrato, in base alla tecnologia utilizzata e al dispositivo integrato alloggiante il presente resistore.

Infine, il generatore di tensione 33 può essere sostituito da un generatore di corrente.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo elettronico tarabile elettricamente (30), comprendente un resistore (10) di materiale avente resistività modificabile elettricamente, formato da una prima e da una seconda porzione (11, 12) a forma generalmente di striscia estendentisi trasversalmente una all'altra e in contatto elettrico diretto in corrispondenza di una zona di incrocio (13), la prima e la seconda porzione avendo rispettive estremità collegate a proprie regioni di contatto (14, 15).

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui la prima e la seconda porzione (11, 12) sono complanari almeno nella zona di incrocio.

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la prima e la seconda porzione (11, 12) sono formate dello stesso materiale o della stessa composizione di materiali a partire da uno stesso strato resistivo del materiale avente resistività modificabile elettricamente.

4. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-3, in cui il resistore (10) è realizzato di un materiale a scelta fra un materiale a cambiamento di fase, quale un GST, silicio policristallino, SiCr, NiCr, TaN, e SiTa.

5. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4, in cui la prima e/o la seconda porzione (11, 12) ha larghezza costante.

6. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni

1-4, in cui la prima e/o la seconda porzione (11, 12) ha larghezza variabile, con larghezza minima in prossimità della zona di incrocio (13).

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, in cui la larghezza della prima porzione (11) in prossimità della zona di incrocio (13) è minore della larghezza della seconda porzione (12) in prossimità della zona di incrocio.

8. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7, comprendente una pluralità di seconde porzioni (12) estendentisi trasversalmente e incrocianti la prima porzione (11).

9. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-8, in cui il resistore (10) comprende un primo ed un secondo ramo (41, 42; 51, 52) collegati in parallelo, in cui almeno un ramo fra il primo e il secondo ramo comprende la prima e la seconda porzione (11, 12).

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 9, in cui il primo ramo (41; 51) presenta fase o è di materiale differente rispetto al secondo ramo (42; 52).

11. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10, comprendente inoltre mezzi generatori (33) di una corrente di taratura collegati alle regioni di contatto (15) della seconda porzione (12).

12. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-11, comprendente inoltre un circuito di taratura (32)

includente un generatore di tensione (33) collegato ai capi della seconda porzione (12).

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 12, in cui il circuito di taratura (32) comprende inoltre uno stadio di comando (34) collegato e fornente segnali di comando al generatore di tensione (33).

14. Dispositivo secondo la rivendicazione 13, in cui il circuito di taratura (32) comprende inoltre un misuratore di temperatura e/o di resistenza (35).

15. Metodo di taratura elettrica di un dispositivo elettronico tarabile elettricamente (30), comprendente:

disporre un resistore (10) di materiale avente resistività modificabile elettricamente, formato da una prima e da una seconda porzione (11, 12) estendentisi trasversalmente una all'altra e in contatto elettrico diretto in corrispondenza di una zona di incrocio (13), la prima e la seconda porzione avendo rispettive estremità collegate a proprie regioni di contatto (14, 15); e

alimentare una corrente di taratura alle regioni di contatto (15) della seconda porzione (12) in modo che la corrente di taratura percorra longitudinalmente la seconda porzione (12), attraversi la prima porzione (11) in corrispondenza della zona di incrocio (13) e provochi una modifica di resistività della zona di incrocio (13).

16. Metodo di taratura secondo la rivendicazione 15, in

cui alimentare una corrente di taratura comprende fornire una tensione ai capi della seconda porzione (12).

17. Metodo di taratura secondo la rivendicazione 15 o 16, in cui alimentare una corrente di taratura comprende riscaldare la zona di incrocio (13) e lasciare raffreddare la zona di incrocio per ottenere un cambiamento di fase della zona di incrocio.

18. Procedimento per la fabbricazione di un dispositivo elettronico (30) tarabile elettricamente, comprendente:

formare un resistore (10) avente una prima ed una seconda porzione (11, 12) a forma di striscia estendentisi trasversalmente una all'altra, aventi ciascuna proprie estremità e in contatto elettrico diretto in corrispondenza di una zona di incrocio (13); e

formare regioni di contatto elettrico (14, 15) in corrispondenza di ciascuna delle estremità della prima e della seconda porzione.

19. Procedimento secondo la rivendicazione 18, comprendente inoltre:

formare un generatore di impulsi di taratura (33);

formare connessioni elettriche fra le regioni di contatto (15) della seconda porzione e il generatore di impulsi di taratura.

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO

CLAIMS

1. An electrically trimmable device (30), comprising a resistor (10) of a material having an electrically modifiable resistivity, formed by a first and a second portions (11, 12) having a generally strip-like shape extending transversely and in direct electrical contact to each other at a crossing area (13), the first and the second portions having respective ends connected to own contact regions (14, 15).

2. A device according to claim 1, wherein the first and the second portions (11, 12) are coplanar at least at the crossing area.

3. A device according to claim 1 or 2, wherein the first and the second portions (11, 12) are formed of the same material or of the same material composition from a same resistive layer of the material having an electrically modifiable resistivity.

4. A device according to any of claims 1-3, wherein the resistor (10) is formed of a material selected among a phase change material, such as a GST, polycrystalline silicon, SiCr, NiCr, TaN, and SiTa.

5. A device according to any of claims 1-4, wherein the first and/or the second portion (11, 12) has a constant width.

6. A device according to any of claims 1-4, wherein

the first and/or the second portion (11, 12) has a variable width, with a minimum width next to the crossing area (13).

7. A device according to the claim 6, wherein the width of the first portion (11) next to the crossing area (13) is lower than the width of the second portion (12) next to the crossing area.

8. A device according to any of claims 1-7, comprising a plurality of second portions (12) extending transversely and crossing the first portion (11).

9. A device according to any of claims 1-8, wherein the resistor (10) comprises a first and a second, parallel connected branches (41, 42; 51, 52), wherein at least a branch between the first and the second branches comprises the first and the second portion (11, 12).

10. A device according to claim 9, wherein the first branch (41; 51) has a different phase or material with respect to the second branch (42; 52).

11. A device according to any of claims 1-10, further comprising generator means (33) of a trimming current connected to the contact regions (15) of the second portion (12).

12. A device according to any of claims 1-11, further comprising a trimming circuit (32) including a voltage source (33) connected across the second portion (12).

13. A device according to the claim 12, wherein the

trimming circuit (32) further comprises a control stage (34) connected to and supplying control signals to the voltage source (33).

14. A device according to the claim 13, wherein the trimming circuit (32) further comprises a temperature and/or resistance gauge (35).

15. A method for electrically trimming an electrically modifiable device (30), comprising:

providing a resistor (10) of a material having an electrically modifiable resistivity, formed by a first and a second portions (11, 12) extending transversely and in direct electric contact to each other at a crossing area (13), the first and the second portions having respective ends connected to own contact regions (14, 15); and

supplying a trimming current to the contact regions (15) of the second portion (12), thereby the trimming current flows longitudinally to the second portion (12), crosses the first portion (11) at the crossing area (13) and causes a change in resistivity of the crossing area (13).

16. A trimming method according to claim 15, wherein supplying a trimming current comprises applying a voltage across the second portion (12).

17. A trimming method according to claim 15 or 16, wherein supplying a trimming current comprises heating the

crossing area (13) and causing the crossing area to cool, thereby causing a change of phase of the crossing area.

18. A process for manufacturing an electrically trimmable, electronic device (30), comprising:

forming a resistor (10) having a first and a second, strip-like shaped portions (11, 12) extending transversely to each other, having each own ends and in direct electrical contact at a crossing area (13); and

forming electric contact regions (14, 15) at each end of the first and second portions.

19. A process according to claim 18, further comprising:

forming a trimming pulse generator (33);

forming electric connections between the contact regions (15) of the second portion and the trimming pulse generator.

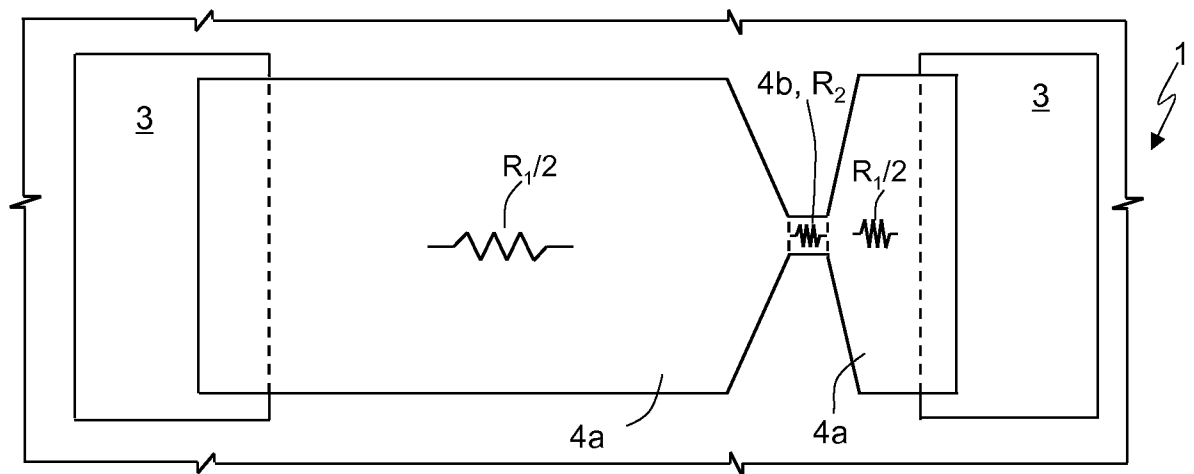


Fig.1

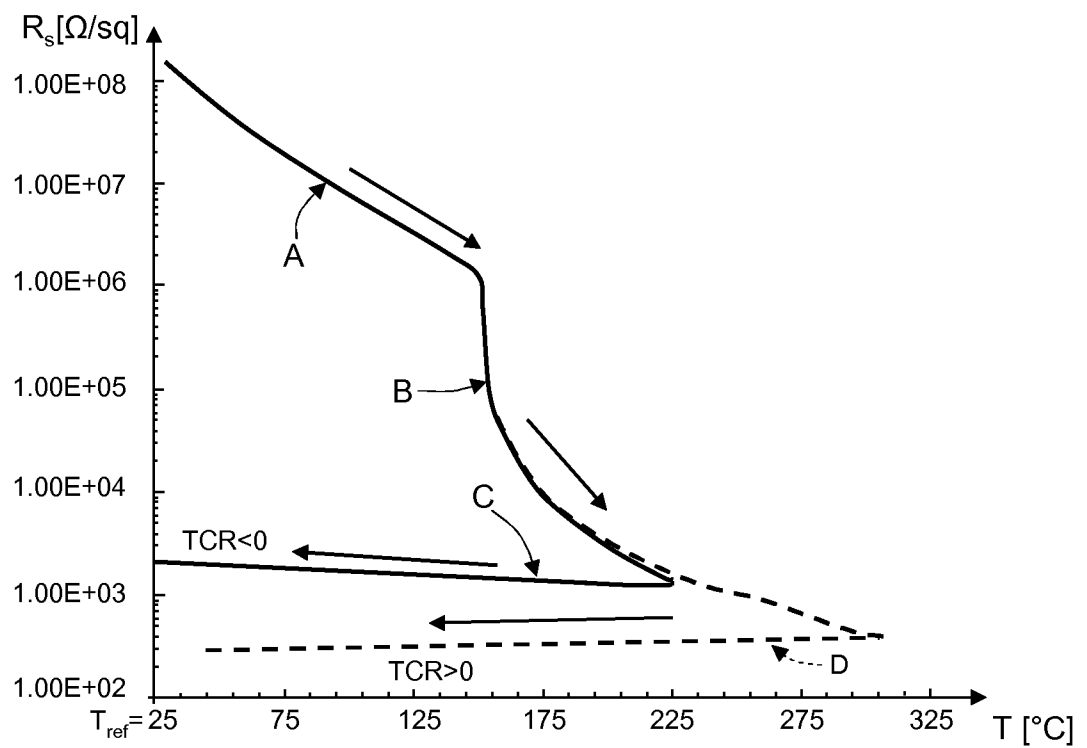


Fig.2

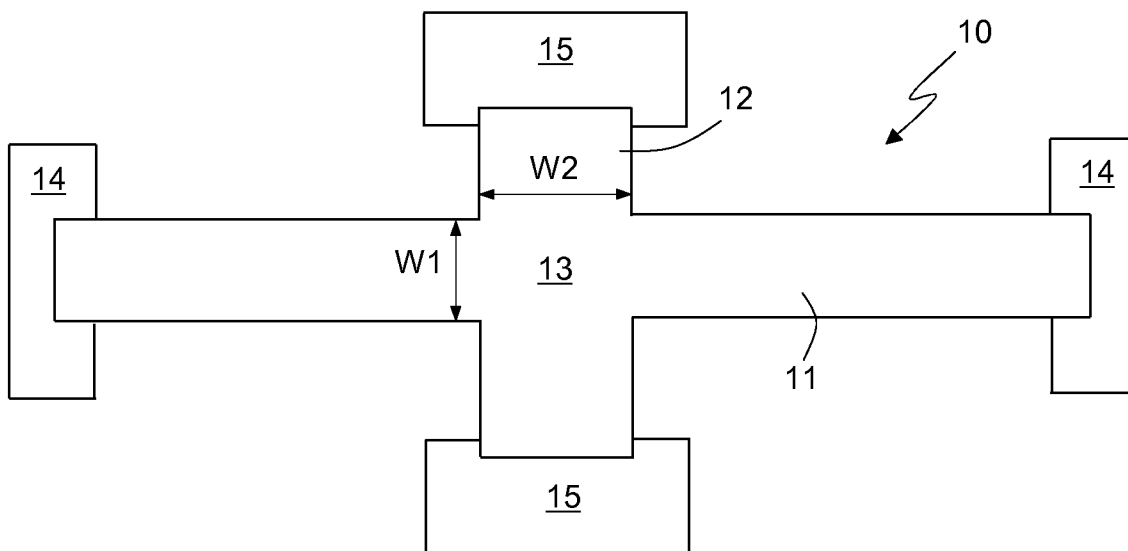


Fig.3

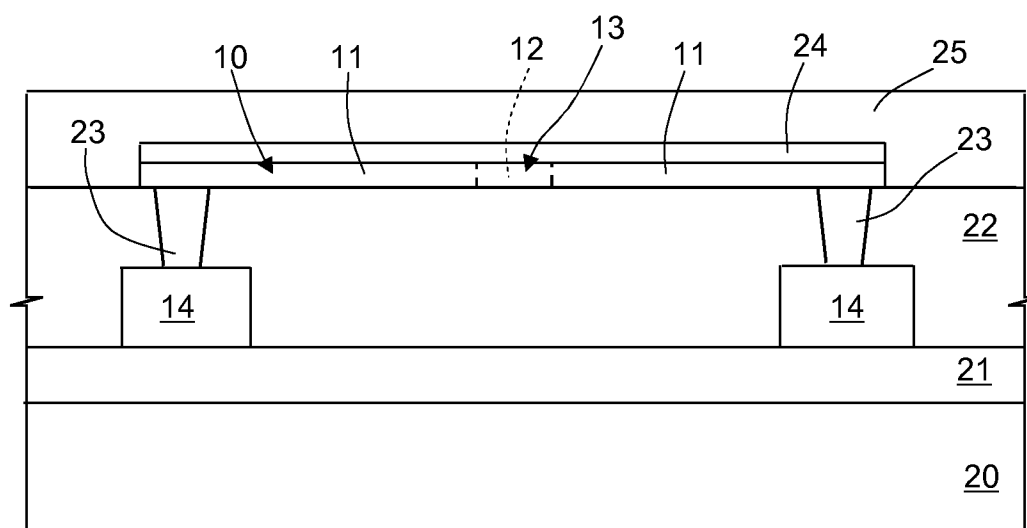


Fig.4

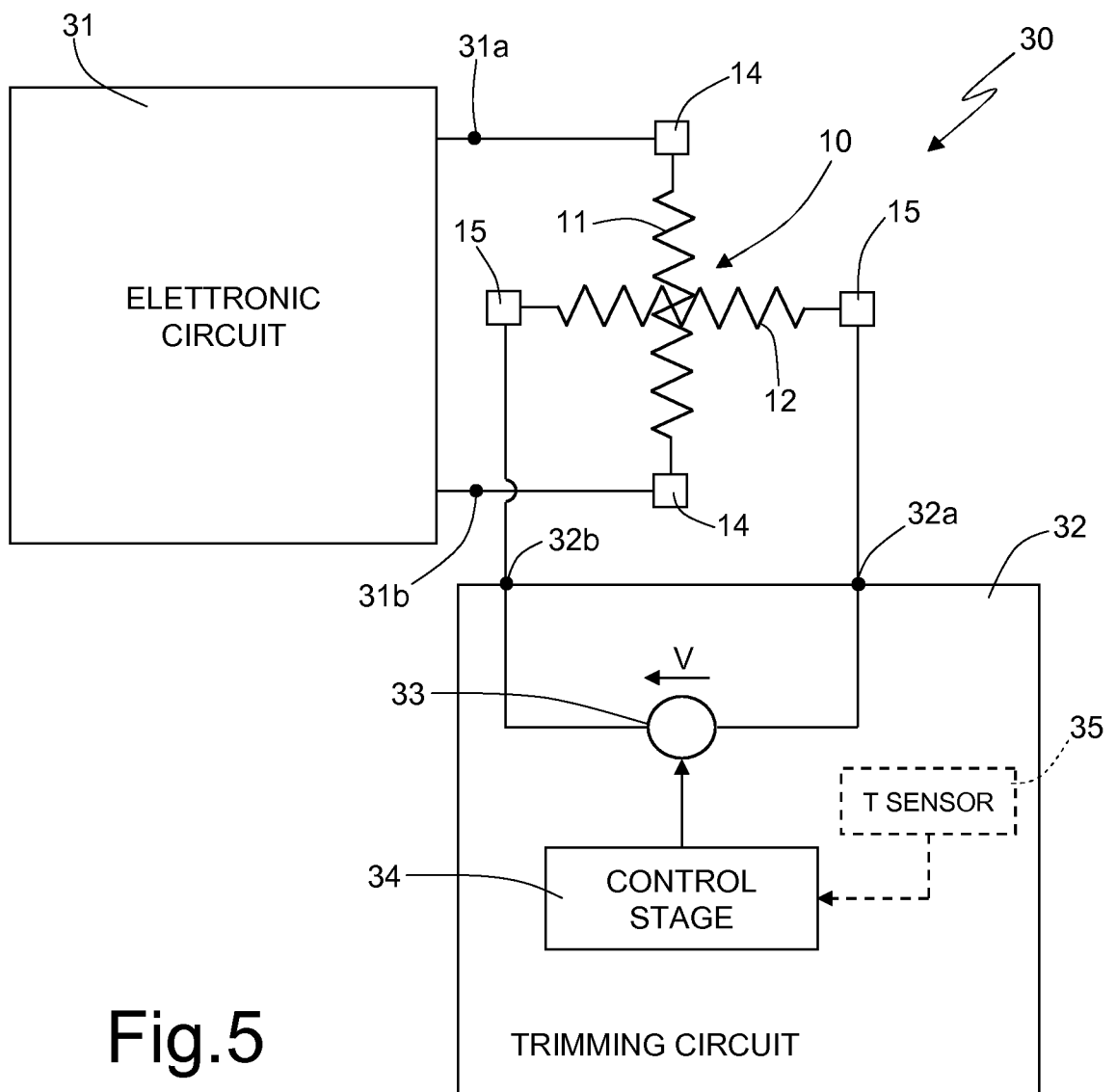


Fig.5

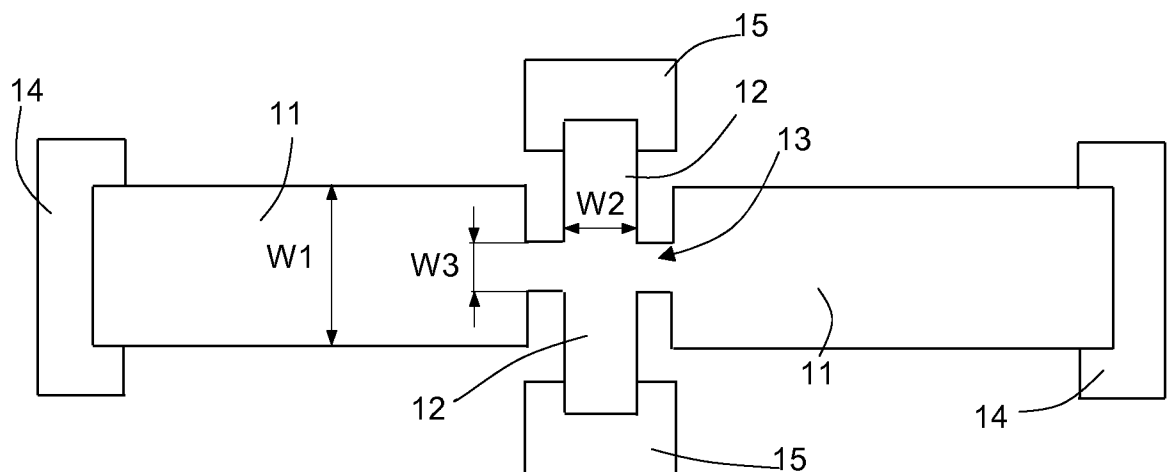


Fig.6

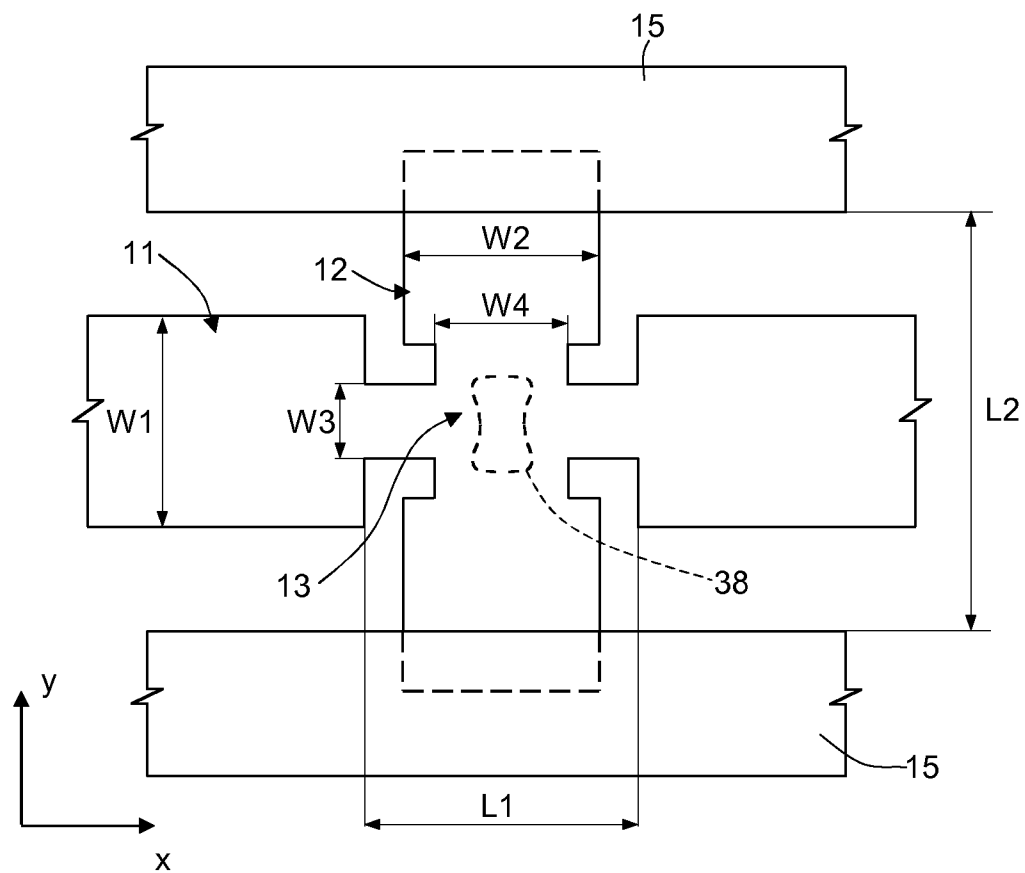


Fig.7

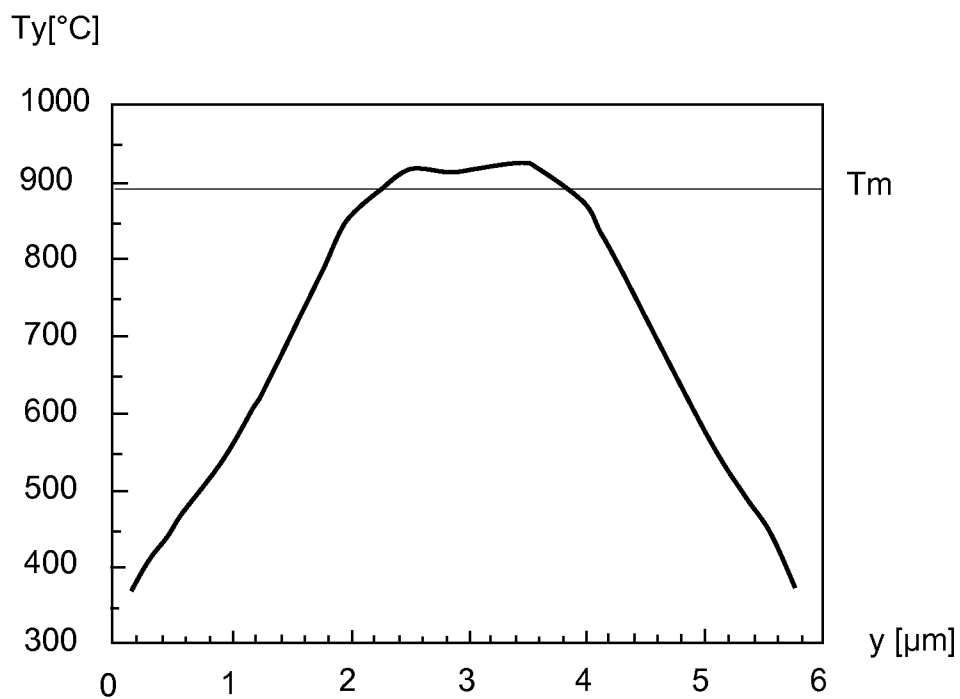


Fig.8

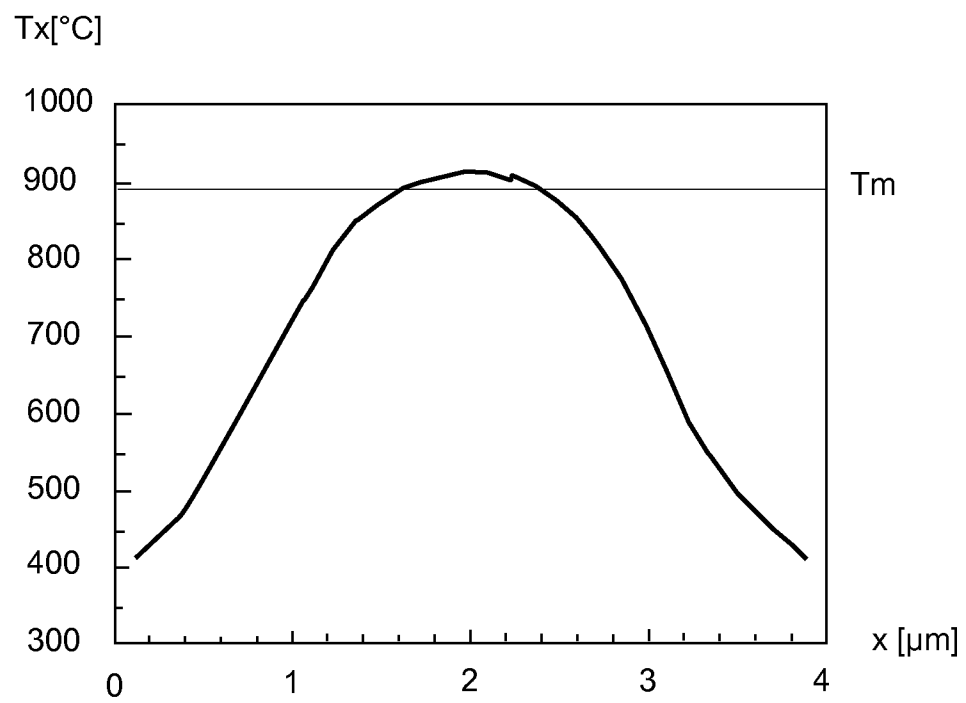


Fig.9

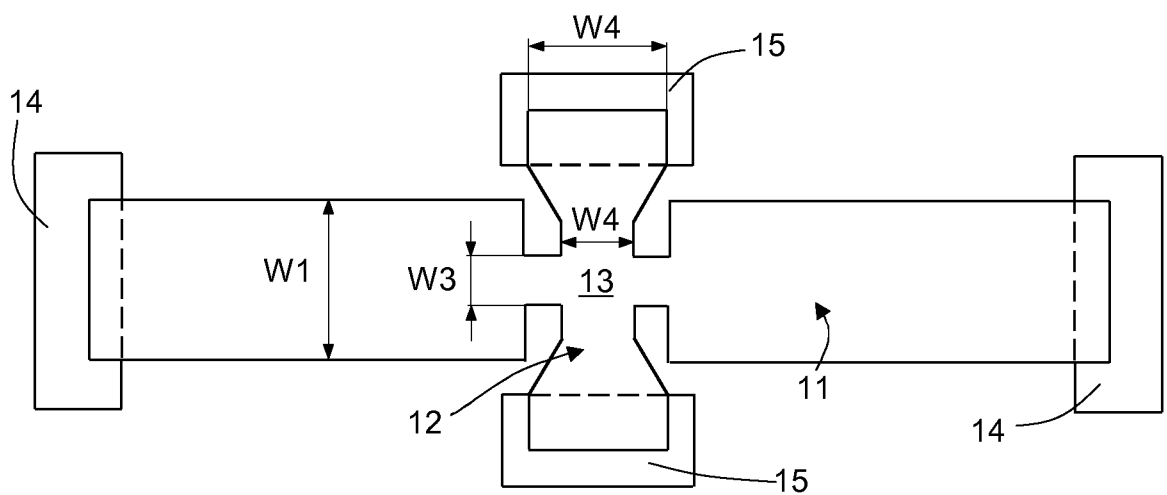


Fig.10

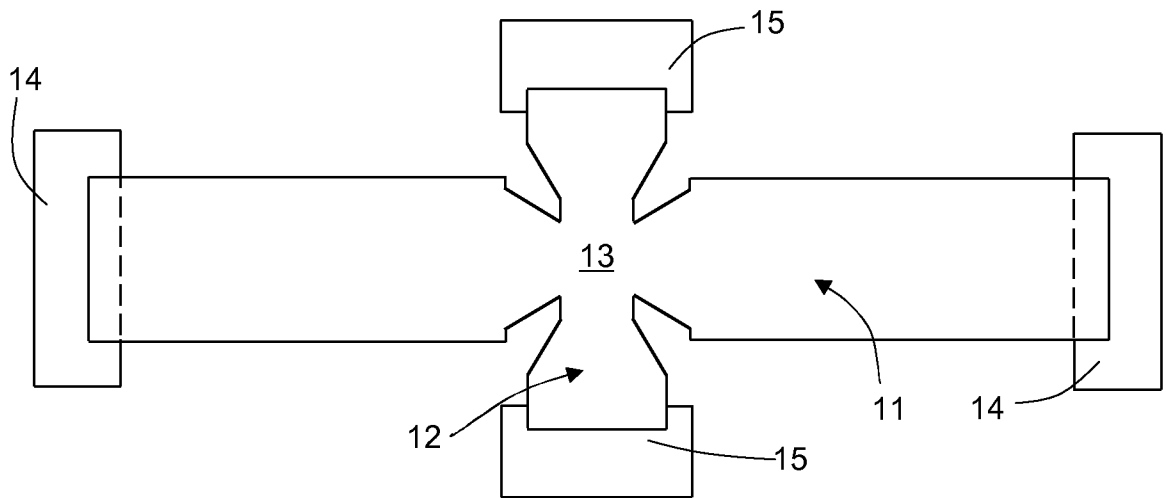


Fig.11

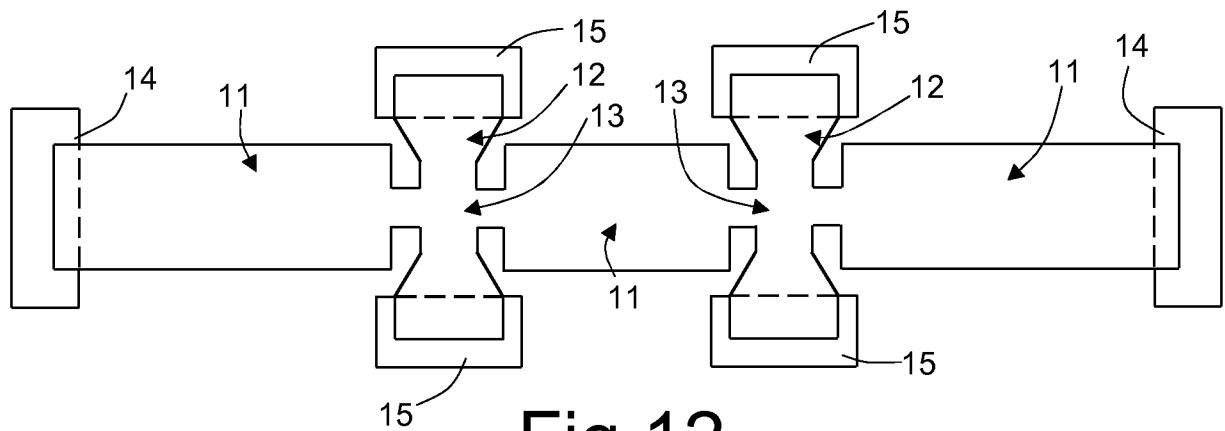


Fig.12

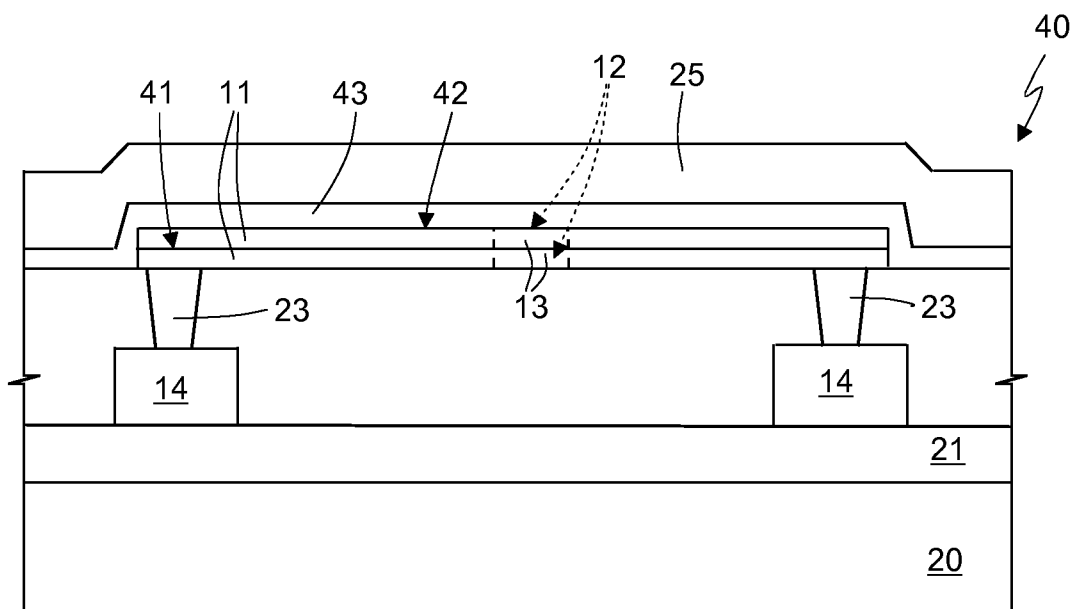


Fig.13

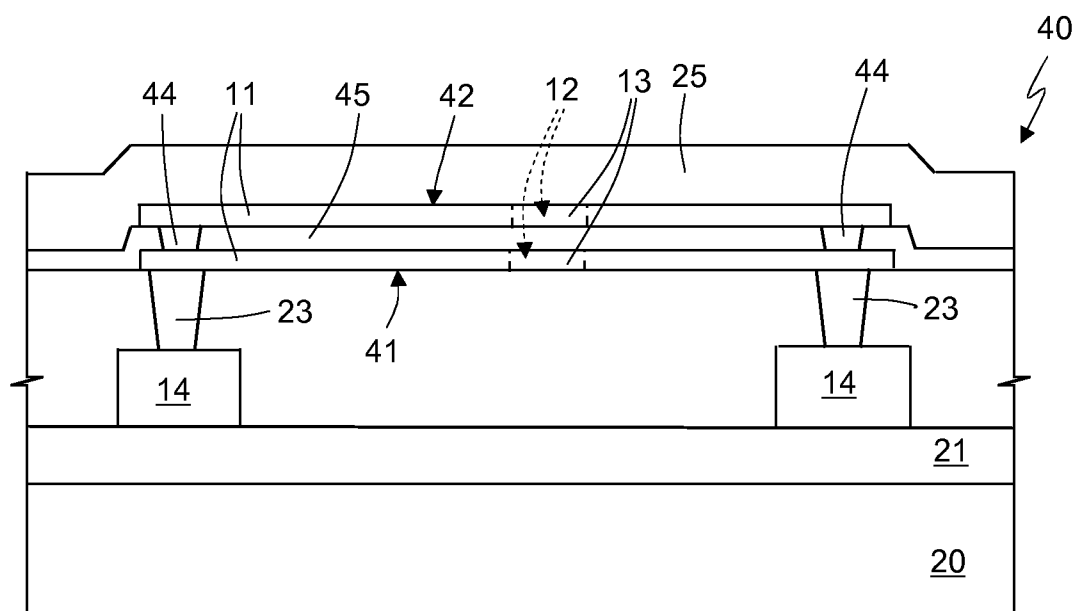


Fig.14

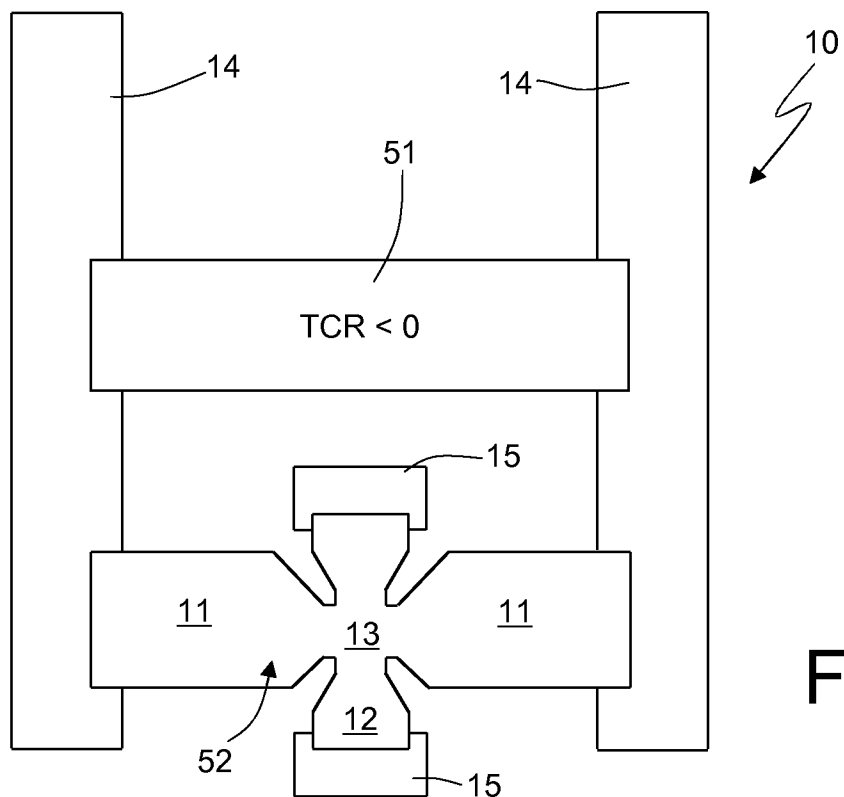


Fig.15