

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901902507A1

Publication Date

20120627

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

SENSORE MAGNETORESISTIVO CON CAPACITA' PARASSITA RIDOTTA, E
METODO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"SENSORE MAGNETORESISTIVO CON CAPACITA' PARASSITA RIDOTTA, E METODO"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: POZZATI Enrico, BOTTINELLI Fabio, ROMANI Carlo Alberto

* * *

La presente invenzione è relativa a un sensore di campo magnetico, in particolare ad un sensore che utilizza elementi magnetoresistivi anisotropi ("anisotropic magnetoresistive", AMR) per rilevare un campo magnetico esterno al sensore e agente sul sensore stesso.

Sensori di campo magnetico, in particolare sensori AMR basati sulla magnetoresistenza anisotropa, sono utilizzati in una pluralità di applicazioni e sistemi, ad esempio in bussole, in sistemi di rilevamento di materiali ferromagnetici, nel rilevamento di correnti, e in svariate altre applicazioni, grazie alla loro capacità di rilevare campi magnetici naturali (ad esempio il campo magnetico terrestre) e campi magnetici generati da componenti elettrici (quali dispositivi elettrici o elettronici e linee percorse da corrente elettrica).

Il fenomeno della magnetoresistività anisotropa si

verifica all'interno di particolari materiali ferromagnetici, che, quando sottoposti ad un campo magnetico esterno, subiscono una variazione di resistività in funzione delle caratteristiche del campo magnetico applicato. Solitamente, tali materiali vengono sagomati in sottili strisce ("strips") in modo da formare elementi resistivi, e gli elementi resistivi così formati vengono collegati elettricamente tra loro a formare una struttura a ponte (tipicamente un ponte di Wheatstone).

È noto inoltre realizzare sensori magnetici AMR con tecniche standard di microfabbricazione dei semiconduttori, come descritto ad esempio in US 4,847,584. In particolare, ciascun elemento magnetoresistivo può essere formato da un film di materiale magnetoresistivo, quale ad esempio il Permalloy (una lega ferromagnetica contenente ferro e nichel), depositato a formare una sottile striscia su un substrato di materiale semiconduttore, ad esempio silicio.

Quando una corrente elettrica viene fatta scorrere attraverso un elemento magnetoresistivo, l'angolo θ tra la direzione di magnetizzazione di tale elemento magnetoresistivo e la direzione del flusso della corrente influenza il valore effettivo di resistività dello stesso elemento magnetoresistivo, così che, al variare del valore dell'angolo θ , varia il valore di resistenza elettrica (in dettaglio, tale variazione segue una legge del tipo $\cos^2\theta$).

Ad esempio, una direzione di magnetizzazione parallela alla direzione del flusso di corrente risulta in un valore di resistenza al passaggio di corrente attraverso l'elemento magnetoresistivo massimo, mentre una direzione di magnetizzazione ortogonale alla direzione del flusso di corrente risulta in un valore di resistenza al passaggio di corrente attraverso l'elemento magnetoresistivo minimo.

I sensori magnetici AMR includono inoltre una pluralità di bobine integrate negli stessi sensori (tipicamente due bobine), note come "set/reset strap" e "offset strap", e atte a generare, quando percorse da una corrente di valore opportuno, un campo magnetico che si accoppia perpendicolarmente alla direzione di rilevamento dei sensori e, rispettivamente, lungo la direzione di rilevamento dei sensori; a questo riguardo, si veda ad esempio US 5,247,278.

La bobina di set/reset ha la funzione di variare, alternandolo, il verso di magnetizzazione degli elementi magnetoresistivi lungo una prima direzione predefinita (cosiddetto "easy axis" o EA). In uso, la variazione del verso di magnetizzazione è ottenuto applicando all'elemento magnetoresistivo, tramite la bobina di set/reset, un campo magnetico di valore opportuno per un breve periodo di tempo, tale da forzare arbitrariamente il verso dei dipoli magnetici dell'elemento magnetoresistivo lungo la prima

direzione predefinita e con un certo verso (operazione di "set"); e, in seguito, applicando all'elemento magnetoresistivo un secondo campo magnetico, analogo al precedente ma con verso opposto, in modo da forzare il verso dei dipoli magnetici dell'elemento magnetoresistivo ancora lungo la prima direzione predefinita, ma con verso opposto rispetto al precedente (operazione di "reset"). Le operazioni di set e reset hanno la funzione di portare ciascun elemento magnetoresistivo del sensore AMR in un rispettivo stato di unico dominio ("single domain state") prima di operare il sensore AMR, ad esempio al fine di effettuare operazioni di rilevamento ("sensing") di un campo magnetico esterno. Le operazioni di set e reset sono necessarie in quanto solo nello stato di unico dominio le proprietà fondamentali di linearità, sensitività ("sensitivity"), e stabilità degli elementi magnetoresistivi sono controllate e ripetibili. Le operazioni di set e reset summenzionate sono note e descritte in dettaglio ad esempio nel documento US 5,247,278.

La bobina di offset è solitamente utilizzata per operazioni di compensazione dell'offset presente nel sensore AMR (a causa di mismatch nei valori dei relativi componenti elettrici), e/o operazioni di self-test, e/o operazioni di calibrazione del sensore AMR. In particolare,

il valore delle grandezze elettriche in uscita dal sensore AMR sono, in presenza della bobina di offset, funzione sia del campo magnetico esterno da rilevare, sia del campo magnetico generato per effetto di una corrente circolante nella bobina di offset. La bobina di offset è formata da spire di materiale conduttivo, ad esempio metallo, disposte sullo stesso substrato su cui sono realizzati gli elementi magnetoresistivi del sensore e la bobina di set/reset (in strati metallici diversi), ed è elettricamente isolata dagli, e disposta in prossimità degli, stessi elementi magnetoresistivi. Il campo magnetico generato dalla bobina di offset genera una componente di campo magnetico che tende a spostare l'orientamento dei dipoli magnetici di ciascun elemento magnetoresistivo lungo una seconda direzione predefinita (cosiddetto "hard axis" o HA), ortogonale alla prima direzione predefinita che è la direzione di sensibilità del sensore.

La figura 1 mostra, in vista dall'alto, un layout esemplificativo di un circuito integrato per un sensore di campo magnetico 1 di tipo noto e comprendente una pluralità elementi magnetoresistivi, collegati tra loro in modo da formare un ponte di Wheatstone, ad esempio come descritto in US 5,247,278 e US 5,952,825, e fabbricati come ad esempio descritto in US 4,847,584.

Più in particolare, ciascun elemento magnetoresistivo

ha una struttura di tipo Barber-Pole. La struttura Barber-Pole per elementi magnetoresistivi è nota, ad esempio da US 6,850,057. In questo caso, ciascun elemento magnetoresistivo è in contatto ohmico con una pluralità di elementi di polarizzazione ad elevata conducibilità elettrica (ad esempio di alluminio, rame, argento, o oro). Gli elementi di polarizzazione sono disposti inclinati di un certo angolo α (tipicamente, $\alpha=45^\circ$) rispetto all'asse di magnetizzazione spontanea dell'elemento magnetoresistivo.

Il sensore di campo magnetico 1 è formato su un substrato a semiconduttore 2 mediante procedimenti di microfabbricazione di tipo noto. Quattro elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, e 10, in forma di strisce di materiale ferromagnetico (ad esempio film sottili depositati comprendenti una lega Ni/Fe), in configurazione Barber Pole, sono disposti a formare un ponte di Wheatstone. Con riferimento alla figura 1, gli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 sono interconnessi tra loro e connessi a terminali (o "pads") 21, 22, 23, 24, e 25. Il terminale 21 è collegato all'elemento magnetoresistivo 4 per mezzo di una pista conduttiva 11, e l'elemento magnetoresistivo 4 è collegato all'elemento magnetoresistivo 6 mediante una porzione conduttiva 17. La porzione conduttiva 17 è elettricamente collegata al terminale 22 mediante una rispettiva pista conduttiva 12.

L'elemento magnetoresistivo 6 è quindi collegato all'elemento magnetoresistivo 10 mediante una porzione conduttiva 18, e la porzione conduttiva 18 è elettricamente collegata al terminale 23 mediante una rispettiva pista conduttiva 13. L'elemento magnetoresistivo 10 è interconnesso all'elemento magnetoresistivo 8 mediante una porzione conduttiva 16, e la porzione conduttiva 16 è elettricamente collegata al terminale 24 mediante una rispettiva pista conduttiva 14. Il terminale 25 è collegato all'elemento magnetoresistivo 8 mediante una porzione conduttiva 15.

Si forma in questo modo una struttura a ponte resistivo di Wheatstone che realizza un sensore di campo magnetico 1 sensibile a componenti di campo magnetico aventi direzione perpendicolare alle strisce di materiale ferromagnetico che formano gli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10. Il terminale 21 è collegato al terminale 25, per formare un terminale comune in modo da collegare elettricamente l'elemento magnetoresistivo 4 e l'elemento magnetoresistivo 8 (in figura 1 tali terminali 21, 25 sono mostrati separati per ragioni di ottimizzazione del layout).

In uso, una tensione di ingresso V_{in} è applicata tra il terminale 22 e il terminale 24. La lettura di tensione di uscita V_{out} è effettuata tra il terminale 21 (comune al

terminale 25) e il terminale 23.

Con riferimento alla figura 1, il sensore di campo magnetico 1 comprende inoltre una prima striscia di materiale conduttore elettrico estendentesi sul substrato 2 e isolata da quest'ultimo mediante uno strato di materiale dielettrico (non mostrato in dettaglio in figura). Tale prima striscia di materiale conduttore elettrico forma un primo avvolgimento 19, di tipo planare, che si estende su un piano parallelo al piano su cui giacciono gli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10, elettricamente isolato dagli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10.

Il sensore di campo magnetico 1 comprende inoltre una seconda striscia di materiale conduttore elettrico, estendentesi sul substrato 2, e isolata da quest'ultimo e dal primo avvolgimento 19 mediante uno strato di materiale dielettrico (non mostrato in dettaglio in figura). Tale seconda striscia di materiale conduttore elettrico forma un secondo avvolgimento 20, di tipo planare, che si estende tra un terminale 20a e un terminale 20b su un piano parallelo al piano su cui giacciono gli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 e il primo avvolgimento 19, ed elettricamente isolato dagli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 e dal primo avvolgimento 19.

Il primo avvolgimento 19 è utilizzato quando è necessario generare un campo magnetico avente intensità

nota interagente con il sensore di campo magnetico 1, ad esempio con finalità di auto test del sensore, polarizzazione, calibrazione, e/o compensazione di eventuali offset dovuti alla presenza di campi magnetici esterni indesiderati. In quest'ultimo caso, l'effetto del campo magnetico generato dal primo avvolgimento 19 sul segnale di uscita V_{out} del sensore di campo magnetico 1 è quello di bilanciamento del segnale di uscita dovuto esclusivamente al campo esterno non desiderato, al fine di generare un'uscita di segnale zero.

In uso, quando il primo avvolgimento 19 viene percorso da corrente elettrica, viene generato un campo magnetico le cui linee di forza hanno direzione lungo l'asse di sensibilità degli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10.

A causa della variabilità del processo di fabbricazione degli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10, tali elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 possono avere caratteristiche strutturali diverse tra loro. Una volta alimentato il ponte, queste diverse caratteristiche, assimilabili a differenze di resistenza sui quattro rami del ponte, generano una tensione di offset V_{off} tra i terminali di uscita del ponte. Questa tensione V_{off} non ha alcuna relazione col campo magnetico che si vuole rilevare ma si somma, in modo indesiderato, col segnale generato dalla trasduzione del campo magnetico che si vuole rilevare

in tensione. La tensione di offset Voff può essere dell'ordine della tensione di uscita attesa dai campi magnetici che si vogliono rilevare, e talvolta anche maggiore. Il segnale di offset Voff può essere isolato e rimosso utilizzando in modo opportuno, durante la lettura del segnale di uscita Vout, il secondo avvolgimento 20. In maggior dettaglio, durante l'uso, vengono fatti scorrere nel secondo avvolgimento 20 impulsi di corrente, di valore elevato, con verso opposto tra loro (polarizzando opportunamente i terminali 20a e 20b del secondo avvolgimento), in modo tale da generare rispettivi campi magnetici definiti da rispettive linee di campo aventi verso opposto tra loro. Tali campi magnetici sono di intensità tale da ri-orientare i dipoli magnetici degli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 secondo le linee di campo generate, in particolare con verso definito dal verso delle linee del campo magnetico generato. L'effetto di questa orientazione dei dipoli magnetici è essenzialmente quello di cambiare il segno alla sensitività del sensore. Per quanto detto, invece, il segnale di offset Voff, che ha origini prettamente elettriche, non viene influenzato da questo cambio di orientazione dei dipoli magnetici.

In seguito ad un primo impulso di corrente (detto impulso di set) attraverso il secondo avvolgimento 20, viene generato un primo campo magnetico B_{S1} tale da

orientare i dipoli magnetici degli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 secondo un primo verso. Si esegue allora una prima lettura del segnale di uscita V_{out} del sensore.

In seguito ad un secondo impulso di corrente (detto impulso di reset) attraverso il secondo avvolgimento 20, viene generato un secondo campo magnetico B_{s2} (di intensità, ad esempio, uguale al primo campo magnetico B_{s1}) tale da orientare i dipoli magnetici degli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, 10 in un secondo verso. Si esegue una seconda lettura del segnale di uscita del sensore. Disponendo della prima e della seconda lettura e facendo la differenza del valore ricavato da tali letture, si ottiene la cancellazione del segnale di offset V_{off} e quindi si può discriminare la sola componente di origine magnetica del segnale.

Il sensore AMR di figura 1, per essere operato come descritto, richiede di essere accoppiato con una opportuna circuiteria di alimentazione, generazione e acquisizione segnali (per alimentare le bobine di set/reset e offset e per acquisire ed elaborare il segnale di tensione di uscita V_{out}). A questo fine, devono essere previste connessioni elettriche atte a portare segnali di alimentazione (es., tensione di ingresso V_{in}) ai terminali 22 e 24, e acquisire segnali di uscita (es., tensione di uscita V_{out}) dai

terminali 21, 23 e 25.

Generalmente, la circuiteria atta a generare i segnali di alimentazione Vin e uscita Vout è formata in forma integrata (ad esempio un circuito ASIC) su una piastrina ("chip") diversa dalla piastrina su cui è formato il sensore AMR. I collegamenti tra la piastrina portante la circuiteria di alimentazione, generazione e acquisizione segnali e i terminali del sensore AMR sono pertanto formati mediante connessioni con fili elettrici ("wire bonding") oppure, utilizzando tecniche di "flip chip", attraverso bump. Come si evince chiaramente dalla figura 1, a fronte di una parte sensibile di dimensioni tutto sommato contenute, l'area complessiva del sensore magnetico può essere considerevolmente maggiore per la presenza delle bobine, in particolare quella di set/reset, e per la presenza dei pad per la comunicazione tra il sensore e l'elettronica di controllo/acquisizione. Inoltre il processo (relativamente semplice) di deposizione del materiale ferromagnetico, viene gravato da molte fasi di processo successive per realizzare diversi livelli metal metallici, aumentando considerevolmente i costi di realizzazione in termini di numero di maschere e costo di processo (macchinari, fasi di processo, tempi di realizzazione). Inoltre, essendo in presenza di picchi di corrente di valore elevato, possono nascere problemi dovuti

ai contatti, in particolare per la generazione di segnali parassiti (correnti e tensioni parassite, capacità parassite, ecc.), e/o problemi di affidabilità dei contatti realizzati mediante bonding e/o bump, che possono inficiare il corretto funzionamento del sensore.

Quanto detto deve pertanto essere tenuto in considerazione nel progetto del sensore AMR e nell'analisi del segnale di uscita Vout acquisito da quest'ultimo dalla circuiteria di acquisizione, causando un aumento della complessità hardware e/o software del sensore AMR e/o della circuiteria di alimentazione, generazione e acquisizione segnali.

Scopo della presente invenzione è fornire un sensore di campo magnetico ed un relativo metodo di fabbricazione che risultino esenti dagli svantaggi dell'arte nota, precedentemente evidenziati.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un sensore di campo magnetico ed un relativo metodo di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

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 mostra, in vista dall'alto, un sensore di campo magnetico comprendente elementi magnetoresistivi

secondo una forma di realizzazione di tipo noto;

- la figura 2 mostra, in vista prospettica non in scala, una piastrina ASIC comprendente bobine di un sensore AMR, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 3 mostra, in vista prospettica non in scala, una piastrina comprendente elementi magnetoresistivi in configurazione a ponte di Wheatstone secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 4 mostra , in vista dall'alto, un elemento magnetoresistivo in configurazione Barber Pole;

- la figura 5 mostra un sensore di campo magnetico formato assemblando le piastrine delle figure 2 e 3, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 6 mostra, in vista dall'alto e non in scala, la disposizione reciproca tra le bobine portate dalla piastrina ASIC di figura 2 e gli elementi magnetoresistivi portati dalla piastrina di figura 3 quando tali piastrine assemblate a formare il sensore di campo magnetico di figura 5; e

- la figura 7 mostra una vista in sezione, non in scala, del sensore di figura 5 e figura 6, presa lungo la linea di sezione VII-VII di figura 6.

La figura 2 mostra, in forma schematica, una piastrina

("chip") ASIC ("Application Specific Integrated Circuit") 50, portante un circuito ASIC 45 per la lettura e/o la polarizzazione elettrica di uno o più elementi magnetoresistivi. Il circuito ASIC 45 è di tipo integrato in un substrato a semiconduttore 30, ed è configurato per effettuare la lettura e/o la polarizzazione elettrica di elementi magnetoresistivi in un sensore di campo magnetico, di tipo AMR. In particolare, come descritto in dettaglio con riferimento alla figura 5, tale sensore di campo magnetico è ottenuto assemblando tra loro il chip ASIC 50 e una ulteriore piastrina, distinta dal chip ASIC 50, portante gli elementi magnetoresistivi (figura 3).

Il chip ASIC 50 comprende, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, un primo ed un secondo elemento di generazione di campo magnetico 32, 34. Secondo una forma di realizzazione, il primo e il secondo elemento di generazione di campo magnetico 32, 34 sono formati da un elemento conduttore configurato per essere percorso da corrente elettrica. Ciascun rispettivo elemento conduttore può avere forma di bobina planare, comprendente una o più spire concentriche, o forma di striscia di materiale conduttore, o qualsiasi altra forma ancora. Nel seguito, ci si riferisce al primo elemento di generazione di campo magnetico 32 come bobina di set/reset, e al secondo elemento di generazione di campo magnetico 34 come

bobina di offset. La bobina di set/reset 32 e la bobina di offset 34 sono formate in rispettivi strati metallici superiori ("top metal layers") del chip ASIC 50, in prossimità di una faccia superiore 30' del substrato 30, opposta a una faccia inferiore 30". Con substrato 30 si indica qui un substrato a semiconduttore lavorato, in particolare comprendente una pluralità di strati di materiali depositati e/o cresciuti, secondo tecniche note di microfabbricazione. Ai fini della presente descrizione, la faccia superiore 30' è indifferentemente la faccia risultante al termine di fasi di lavorazione del substrato 30 o una faccia del substrato 30 in una fase intermedia di fabbricazione. In particolare, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, la faccia superiore 30' comprende uno strato di passivazione includente terminali (o "pads") conduttivi.

Risulta evidente che le spire delle bobine di set/reset 32 e offset 34 possono avere forma diversa da quella mostrata in figura 2 (ad esempio possono avere forma rettilinea, circolare o genericamente poligonale), e possono essere disposte in modo tale da essere, in vista dall'alto, tra loro completamente sovrapposte, solo parzialmente sovrapposte, o affiancate. Inoltre, le bobine di set/reset 32 e offset 34 possono comprendere un numero qualsiasi di spire, anche una singola spira. Le bobine di

set/reset 32 e di offset 34 sono realizzate secondo fasi di processo standard, già utilizzate in processi per la fabbricazione di dispositivi semiconduttori, quali ad esempio processi CMOS o BCD ("Bi-polar-CMOS-DMOS"), quindi senza aumentare la complessità del sensore ed i costi di fabbricazione, e mantenendo la compatibilità con i processi standard di microfabbricazione.

Inoltre, dato che, normalmente, l'ultimo livello metallico è più spesso degli altri e quindi presenta una minor resistenza specifica, la bobina di set/reset 32 trarrà complessivamente vantaggio anche da questo aspetto. È desiderabile infatti avere la minore resistenza (parassita) possibile, al fine di facilitare la generazione dell'impulso di corrente e il passaggio di questo impulso tra i terminali della bobina.

La bobina di set/reset 32 secondo la forma di realizzazione di figura 2 presenta una prima porzione conduttiva estendentesi parallelamente alla direzione dell'asse X, ed una seconda porzione conduttiva, elettricamente accoppiata alla prima porzione conduttiva, estendentesi parallelamente alla direzione dell'asse Y, in particolare ortogonalmente alla direzione di estensione della prima porzione. Inoltre, la bobina di set/reset 32 presenta un primo terminale 32' e un secondo terminale 32'' collegati a rispettivi terminali di un generatore di

corrente 35, integrato nel chip ASIC 50 e configurato per generare un impulso di corrente i_{SR} attraverso la bobina di set/reset 32.

In uso, quando l'impulso di corrente i_{SR} scorre nella prima porzione conduttiva della bobina 32 nella direzione definita dall'asse X, viene generato un campo magnetico locale avente linee di flusso ortogonali alla direzione di scorrimento della corrente i_{SR} , ed in particolare, sul piano XY, lungo la direzione definita dall'asse Y. Inoltre, essendo la prima e la seconda porzione conduttiva connesse tra loro, la corrente i_{SR} scorrendo nella seconda porzione conduttiva della bobina 32 genera localmente un campo magnetico avente linee di flusso, sul piano XY, lungo la direzione definita dall'asse X.

Il picco dell'impulso di corrente i_{SR} è, ad esempio, compreso tra 150 e 500 mA, e preferibilmente pari a 300 mA. Il primo terminale 32' è collegato a un primo morsetto del generatore di corrente 35 tramite una porzione di collegamento 37, di materiale conduttore, elettricamente isolata dalla bobina 32, ad esempio formata in un livello metallico diverso (ad esempio inferiore) rispetto al livello metallico in cui è formata la bobina 32. Analogamente, il secondo terminale 32'' è collegato a un secondo morsetto del generatore di corrente 35 tramite una rispettiva porzione di collegamento 39. In modo noto, il

generatore di corrente 35 può convenientemente essere formato da un ponte ad H in cui, in serie alla bobina 32, tra i due terminali di uscita di detto ponte ad H, viene inserita una capacità esterna atta a generare per derivazione di un segnale di tensione l'impulso di corrente desiderato.

La bobina di offset 34, qui in forma di striscia conduttiva planare, presenta un primo terminale 34' e un secondo terminale 34'' collegati a rispettivi morsetti di un generatore di corrente 38. Il generatore di corrente 38 è integrato nel chip ASIC 50 ed è configurato per far fluire una corrente i_{OFF} , ad esempio compresa tra 1 mA e 10 mA, preferibilmente pari a 10 mA, nella bobina di offset 34. Il primo e il secondo terminale 34', 34'' sono collegati al generatore di corrente 38 tramite una rispettiva porzione di collegamento 41, 43, di materiale conduttore.

In uso, la corrente i_{OFF} genera un campo magnetico avente linee di flusso, sul piano XY, parallele alla direzione definita dall'asse X.

La bobina di offset 34 è formata in un livello metallico diverso da quello in cui è formata la bobina di set/reset 32. In particolare, la bobina di offset 34 è convenientemente realizzata in un livello metallico inferiore rispetto al livello metallico in cui è formata la bobina 32, essendo meno critica dal punto di vista della

corrente che la attraversa e dalla funzionalità del sensore di campo magnetico. La bobina di set/reset 32 ha lo scopo infatti di generare il massimo campo magnetico possibile per orientare i dipoli magnetici degli elementi magnetoresistivi, mentre la bobina di offset 34 ha lo scopo di generare un campo magnetico dell'ordine del campo di rilevazione del sensore al fine effettuare una piccola variazione o correzione dell'orientamento dei dipoli. Questo campo è dunque molto più basso di quello di set e reset.

Poiché il sensore di campo magnetico secondo la presente invenzione è formato (si veda la figura 5) assemblando il chip ASIC 50 con una piastrina che porta gli elementi magnetoresistivi (la piastrina di figura 3), ne consegue che conviene disporre la bobina di set/reset 32 il più vicino possibile agli elementi magnetoresistivi, e quindi, nel livello metallico più alto; mentre la bobina di offset 34, meno critica, si può implementare in un livello metallico più basso.

Il chip ASIC 50 comprende inoltre una pluralità di componenti elettronici attivi e/o passivi integrati nel substrato 30, mostrati esemplificativamente ed in modo schematico in figura e indicati con il numero di riferimento 44.

In particolare, i componenti elettronici 44 formano un

circuito ASIC 45 per l'alimentazione e/o la lettura in un sensore di campo magnetico, in particolare di un sensore di tipo AMR. Il circuito ASIC 45 è configurato per alimentare un segnale di ingresso V_{AL} atto a polarizzare gli elementi magnetoresistivi del sensore di campo magnetico, e leggere un segnale di uscita V_{OUT} generato dagli elementi magnetoresistivi del sensore stesso in risposta al segnale di ingresso V_{AL} e ad un (eventuale) campo magnetico esterno da rilevare.

Secondo la presente invenzione, gli elementi magnetoresistivi sono tra loro collegati a formare un ponte di Wheatstone, e sono formati in forma integrata in un substrato diverso dal substrato 30 del chip ASIC 50, e sono collegabili al circuito ASIC 45 mediante "bumps" (si vedano ad esempio le figure 5-7 e la relativa descrizione). A tal fine, il substrato 30 presenta sulla superficie superiore 30' una pluralità di terminali o "pads" (quattro pads 47a, 47b, 47c, 47d sono mostrati in figura 2), collegati con il circuito ASIC 45 e configurati per agire come interfaccia tra il circuito ASIC 45 e i "bumps" e, tramite questi ultimi, con gli elementi magnetoresistivi.

Il circuito ASIC 45 è di tipo noto e comprende, ad esempio, front end differenziali o fully differential resistivi o switch capacitor, o comunque qualsiasi circuito noto in letteratura atto a leggere segnali differenziali

generati da un ponte di Wheatstone. Il circuito ASIC 45, essendo di tipo noto e non oggetto della presente invenzione, non è qui ulteriormente descritto.

La figura 3 mostra una piastrina magnetoresistiva 60, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione. La forma di realizzazione del chip magnetoresistivo 60 di figura 3 mostra quattro elementi magnetoresistivi 59a-59d collegati tra loro in configurazione a ponte di Wheatstone 73. Gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sono orientati in modo tale da essere sensibili a campi magnetici aventi linee di forza orientate lungo un primo asse (es., asse X), formando un sensore monoassiale.

Gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sono formati in forma integrata nel substrato a semiconduttore 61, in prossimità di una faccia superiore 61' del substrato 61, mediante procedimenti di microfabbricazione di tipo noto. Analogamente a quanto detto con riferimento alla figura 2, il substrato 61 può essere di tipo lavorato. In questo caso, la faccia superiore 61' è indifferentemente la faccia risultante al termine di tali fasi di fabbricazione o risultante al termine di una qualsiasi delle fasi di fabbricazione.

Ciascuno degli elementi magnetoresistivi 59a-59d è formato come una o più strisce di materiale ferromagnetico

(ad esempio film sottili depositati comprendenti una lega Ni/Fe), in configurazione Barber Pole. In figura 3 la struttura Barber Pole è schematizzata mediante linee tratteggiate.

Gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sono collegati tra loro a formare una struttura a ponte di Wheatstone 73, e sono inoltre connessi a terminali (o "pads") 74-77, per alimentare un segnale di ingresso V_{AL} alla struttura a ponte di Wheatstone 73 e acquisire un segnale di uscita V_{OUT} . In uso, il segnale di alimentazione V_{AL} è applicato tra il terminale 76 e il terminale 77. La lettura del segnale di uscita V_{OUT} è effettuata tra il terminale 74 e il terminale 75.

La struttura a ponte di Wheatstone 73 di figura 3 è analoga alla struttura a ponte mostrata e descritta con riferimento alla figura 1.

Le connessioni tra gli elementi magnetoresistivi 59a-59d e i terminali 74-77 sono mostrate in figura 3 in modo schematico. Risulta evidente che tali connessioni possono essere realizzate secondo una pluralità di forme di realizzazione, ad esempio su livelli metallici differenti, e/o in modo tale da ottimizzare lo spazio occupato, e/o in modo da ridurre le capacità parassite, o per soddisfare altre esigenze ancora. Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, le connessioni tra gli elementi

magnetoresistivi 59a-59d e i terminali 74-77 sono formate, insieme alla struttura Barber-Pole degli elementi magnetoresistivi, in un unico livello metallico, così da semplificare le fasi di fabbricazione del sensore.

La figura 4 mostra, in vista dall'alto, un elemento magnetoresistivo 110 (esemplificativo di uno qualsiasi degli elementi magnetoresistivi 59a-59d). L'elemento magnetoresistivo 110 comprende una porzione di materiale magnetoresistivo 114 (ad esempio, esempio una lega di nichel e ferro, più in particolare, Permalloy) in contatto ohmico con una struttura Barber-Pole 112, ad elevata conducibilità elettrica (ad esempio metalli, quali alluminio, argento, oro, ecc.). Gli elementi della struttura Barber-Pole 112 sono inclinati di un certo angolo α (tipicamente, $\alpha=45^\circ$) rispetto all'asse di magnetizzazione spontanea dell'elemento magnetoresistivo (indicato in figura mediante il vettore $\underline{M}$).

L'elemento magnetoresistivo 110 possiede porzioni terminali 110' e 110'', in collegamento elettrico con la porzione di materiale magnetoresistivo 114, collegabili ad un circuito di polarizzazione e lettura 116, ad esempio comprendente un generatore di tensione e appartenente al circuito ASIC 45. Le porzioni terminali 110' e 110'' sono preferibilmente provviste di una rispettiva regione metallica di contatto, atta a favorire il contatto

elettrico tra la porzione di materiale magnetoresistivo 114 e il circuito di polarizzazione e lettura 116. In uso, con le porzioni terminali 110' e 110'' collegate al generatore di tensione, una corrente (rappresenta in figura con il vettore $\underline{I}$) scorre tra la porzione terminale 110' e la porzione terminale 110''. Per effetto della struttura Barber-Pole, il vettore corrente $\underline{I}$, indicativo del flusso di corrente tra elementi affacciati della struttura Barber-Pole 112, è orientato in modo tale da presentare un angolo α con il vettore di magnetizzazione $\underline{M}$.

Un eventuale campo magnetico avente una componente di campo perpendicolare all'easy axis EA (e cioè parallela all'hard axis HA), applicato all'elemento magnetoresistivo 110, causa una rotazione del vettore di magnetizzazione $\underline{M}$ e una conseguente variazione del valore dell'angolo α . Questo causa di conseguenza una variazione della resistenza elettrica dell'elemento magnetoresistivo 110 (anche detto effetto magnetoresistivo) ed è rilevabile acquisendo e analizzando un segnale di uscita (es., segnale di tensione) prelevato alle porzioni terminali 110' e 110''. Quanto qui descritto con riferimento ad un singolo elemento magnetoresistivo è ovviamente applicabile ad una pluralità di elementi magnetoresistivi collegati a ponte di Wheatstone.

La figura 5 mostra un sensore di campo magnetico 70

formato assemblando il chip ASIC 50 e il chip magnetoresistivo 60. Al fine di operare il chip magnetoresistivo 60, il chip ASIC 50 e il chip magnetoresistivo 60 sono disposti affacciati tra loro, in particolare con la faccia superiore 30' del substrato 30 direttamente affacciata alla faccia superiore 61' del substrato 61. In questo modo, gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sono, in vista dall'alto e lungo una direzione definita dall'asse Z, prossimi alle bobine di set/reset 32 e offset 34. Inoltre, gli elementi magnetoresistivi 59a-59d e le bobine di set/reset 32 e offset 34 giacciono su rispettivi piani paralleli tra loro (e paralleli al piano XY), e gli elementi magnetoresistivi 59a-59d si estendono, in vista dall'alto lungo la direzione definita dall'asse Z, sovrapposti, almeno parzialmente, alle bobine di set/reset 32 e offset 34.

I terminali 74-77 della piastrina magnetoresistiva 60 sono collegati elettricamente ai rispettivi terminali 47a-47d del chip ASIC 50, in particolare per collegare il circuito ASIC 45 al ponte di Wheatstone 73, al fine di alimentare il segnale di alimentazione V_{AL} al ponte di Wheatstone 73 e acquisire il segnale di uscita V_{OUT} .

La connessione tra i terminali 74-77 del chip magnetoresistivo 60 ai rispettivi terminali 47a-47d del chip ASIC 50 è realizzata mediante elementi di connessione

72, di tipo conduttivo, ad esempio "bumps" o "pillars".

Per consentire maggiore stabilità meccanica possono anche essere previsti elementi di connessione aventi la sola funzione di collegamento meccanico, e non elettrico.

La figura 6 mostra una vista dall'alto di una porzione del sensore di campo magnetico 70, al fine di illustrare esemplificativamente una possibile disposizione reciproca tra le bobine di set/reset 32 e offset 34 e gli elementi magnetoresistivi. Per maggior chiarezza, la figura 6 non mostra ulteriori dettagli della piastrina magnetoresistiva 60 e del chip ASIC 50.

Come si nota dalla figura 6, il chip ASIC 50 e la piastrina magnetoresistiva 60 sono assemblate in modo tale che gli elementi magnetoresistivi sono disposti affacciati e verticalmente sovrapposti alle bobine di set/reset 32 e offset 34. Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, gli elementi magnetoresistivi sono disposti in modo tale da sentire campi magnetici (generati dalle bobine 32 e 34) longitudinali; per questo stesso motivo può essere conveniente utilizzare bobine (in particolare la bobina di offset 34) larghe quanto gli elementi ferromagnetici. Inoltre, è preferibile che i campi magnetici generati dalle bobine 32 e 34 siano uniformi lungo ciascuno degli elementi magnetoresistivi.

La figura 7 mostra una vista in sezione delle figure 5

e 6, presa lungo la linea di sezione VII-VII di figura 6.

Il chip magnetoresistivo 60 comprende uno strato 80, di interfaccia verso l'esterno, ad esempio ottenuto mediante tecnica di passivazione. Lo strato di passivazione 80 (es., di ossido di silicio con spessore di alcuni micrometri, ad esempio 4 μm) alloggia connessioni conduttive 80' e 80'' (ad esempio, alcune o tutte tra le connessioni che collegano gli elementi magnetoresistivi 59a-59d con i terminali 74-77), e i terminali 74-77 stessi, di materiale conduttore, ad esempio metallo come rame e/o alluminio.

Allontanandosi dalla faccia superiore 61', oltre lo strato di passivazione 80, si estende uno strato di interconnessione 81. Lo strato di interconnessione 81 è di materiale dielettrico (es., ossido di silicio con spessore di alcune decine di nanometri, tipicamente 50 nm), e alloggia una pluralità di vias 83. Allontanandosi ancora dalla faccia 61', oltre lo strato di interconnessione 81, è presente un primo strato metallico 82, alloggiante connessioni conduttive 82' e 82'' (con riferimento anche alla figura 4, tali connessioni 82' e 82'' sono, ad esempio, le porzioni terminali 110' e 110'') e gli elementi magnetoresistivi 59a-59d. Ciascun elemento magnetoresistivo 59a-59d (il solo elemento magnetoresistivo 59c è mostrato nella sezione di figura 6) comprende, in particolare, la

porzione di materiale ferromagnetico 114 (come detto, tipicamente di una lega di Ni/Fe, con spessore di alcune decine di nanometri, tipicamente 20 nm) e la struttura Barber-Pole 112 (ad esempio, di rame, con spessore alcune centinaia di nanometri, ad esempio 300 nm). La porzione di materiale ferromagnetico 114 e la struttura Barber-Pole 112 sono tra loro in contatto ohmico.

Secondo un'ulteriore forma di realizzazione lo strato di passivazione 80 alloggiante i terminali 74-77 non è presente ed eventuali collegamenti elettrici che si rendessero opportuni sono formati nello strato metallico 82.

Analogamente, secondo ulteriori forme di realizzazione, possono essere presenti più livelli metallici di quelli mostrati in figura 7.

Allontanandosi dalla faccia superiore 61', oltre lo strato metallico 82, si possono estendere ulteriori strati e/o il substrato (qui genericamente indicati con il numero di riferimento 86) della piastrina magnetoresistiva 60.

Il chip ASIC 50 comprende, affacciato alla faccia superiore 30', uno strato di interfaccia 90 verso l'esterno, ad esempio ottenuto mediante tecnica di passivazione (strato di passivazione). Lo strato di passivazione 90, ad esempio con spessore compreso tra 1 μ m e alcuni micrometri, alloggia i terminali 47a-47d (non

visibili in figura), di materiale conduttore, ad esempio metallo quale rame o alluminio.

Allontanandosi dalla faccia superiore 30', al di sotto dello strato di passivazione 90 e adiacente ad esso, si estende un primo strato metallico 92, alloggiante la bobina di set/reset 32. La bobina di set/reset 32 ha, ad esempio, spessore compreso tra alcune centinaia di nanometri e alcuni micrometri, ad esempio pari a 900 nm. Il primo strato metallico 92 alloggia inoltre ulteriori elementi di connessione e/o piste metalliche, per formare collegamenti tra gli strati superiori e gli strati inferiori (ad esempio, questo strato metallico può alloggiare, almeno parzialmente, collegamenti conduttivi da e verso i terminali 47a-47d).

Al di sotto del primo strato metallico 92 e adiacente ad esso si estende uno strato di interconnessione 93, con spessore di alcune decine di nanometri, alloggiante vias conduttive atte a formare un collegamento elettrico tra il primo strato metallico 92, sovrastante, e un secondo strato metallico 94, sottostante.

Il secondo strato metallico 94 alloggia la bobina di offset 34. La bobina di offset 34 ha, ad esempio, spessore di alcune centinaia di nanometri, ad esempio pari a 350 nm.

Al di sotto del secondo strato metallico 94 possono essere presenti ulteriori strati di interconnessione,

strati metallici ed un substrato (indicati genericamente nel complesso con il numero di riferimento 100), in cui sono realizzati i componenti elettronici 44 (e il circuito ASIC 45) e i generatori di corrente 35, 38 nonché tutta la circuiteria di supporto alla lettura del sensore quale ad esempio, front end per la lettura, ADC, generatori di riferimento di corrente e di tensione logica di controllo, filtri, memorie.

Le porzioni di collegamento 37, 39 della bobina di set/reset 32 al generatore di corrente 35, e le porzioni di collegamento 41, 43 della bobina di offset 34 al generatore di corrente 38 sono formate, in modo non mostrato, negli strati metallici 92, 94, e/o negli strati metallici inferiori, indifferentemente.

Con riferimento alle figure 5 e 6, in uso, i campi magnetici generati dalla bobina di set/reset 32 e dalla bobina di offset 34 interagiscono con gli elementi magnetoresistivi 59a-59d (come descritto con riferimento all'arte nota), e il chip magnetoresistivo 60 può essere operato in modo noto. La distanza tra le facce 30' e 61' del chip ASIC 50 e della piastrina magnetoresistiva 60 è definita dallo spessore degli elementi di connessione 72 utilizzati. Ad esempio, gli elementi di connessione 72 (che, come detto possono essere bumps o pillars) comprendono una struttura in rame avente spessore di alcune

decine di micrometri, ad esempio 45 μm , alle cui estremità opposte sono formate regioni (tipicamente di una lega di stagno/argento e/o di UBM - "under bump metallization") atte a favorire l'adesione (tipicamente mediante saldatura) di ciascun elemento di connessione 72 con, i terminali 47a-47d del chip ASIC 50 e con i terminali 74-77 della piastrina magnetoresistiva 60. Al termine del processo di saldatura, le superfici affacciate (facce 30' e 61') del chip ASIC 50 e della piastrina magnetoresistiva 60 sono tra loro distanziate di alcune decine di micrometri, ad esempio 50 μm .

Gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sono verticalmente distanziati dalla bobina di set/reset 32 di alcune decine di micrometri, ad esempio circa 50-60 μm .

Da un esame delle caratteristiche del trovato realizzato secondo la presente invenzione sono evidenti i vantaggi che essa consente di ottenere.

In particolare, sono considerevolmente ridotte le capacità parassite derivanti da eccessive interconnessioni tra il circuito ASIC e il sensore di campo magnetico.

Inoltre, il processo di realizzazione del sensore di campo magnetico nel suo complesso viene decisamente semplificato, in quanto la piastrina che alloggia gli elementi magnetoresistivi richiede un singolo strato metallico. Essendo spesso il sensore di campo magnetico

cosiddetto "pad limited", cioè i pad occupano una parte molto consistente dell'area totale della piastrina, si ha un considerevole risparmio di area dovuto all'assenza della necessità di formare pad per alimentare le correnti i_{SR} e i_{OFF} alle bobine di set/reset 32 e offset 34.

Quanto detto è senza costo aggiuntivo in termini di processo di fabbricazione dell'ASIC, in quanto gli strati metallici utilizzati nell'ASIC sono già disponibili. Al contrario, la riduzione delle dimensioni complessive delle piastrine che alloggiano gli elementi magnetoresistivi porta ad una riduzione dei costi di fabbricazione significativa.

Risulta infine chiaro che al trovato qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, la struttura descritta con riferimento al chip ASIC 50 (figura 7) può essere diversa da quella mostrata. In particolare, la bobina di set/reset 32 può essere formata in livelli metallici diversi dal primo livello metallico 94, ad esempio in un livello metallico inferiore a quello in cui è formata la bobina di offset 34. Allo stesso tempo, la bobina di offset 34 può essere formata nel primo livello metallico 94, o in altri livelli

metallici inferiori, indifferentemente.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione, il sensore di campo magnetico 70 delle figure 5-7 può comprendere una sola bobina, ad esempio la sola bobina di set/reset 32, nel caso in cui si consideri la bobina di offset 34 non necessaria per uno specifico uso del sensore di campo magnetico 70.

Secondo ulteriori forme di realizzazione, la bobina di set/reset 32 è formata integrata nel substrato 30 del chip ASIC 50, mentre la bobina di offset 34 è formata, in modo noto, integrata nel substrato 61 del chip magnetoresistivo 60. Questa forma di realizzazione porta con sé i vantaggi della forma di realizzazione descritta con riferimento alle figure 5-7, in quanto, essendo la bobina di offset 34 alimentata per periodi temporali brevi rispetto alla bobina di set/reset 32, le capacità parassite derivanti dalle connessioni tra il chip magnetoresistivo 60 e il chip ASIC 50 sono comunque ridotte rispetto al caso in cui entrambe le bobine 32, 34 sono formate integrate nel chip magnetoresistivo 60. Inoltre, si ottiene comunque un risparmio di area rispetto alle forme di realizzazione di tipo noto, in quanto pad di alimentazione del segnale di corrente i_{SR} alla bobina di set/reset 32 non sono necessari.

Inoltre, la bobina di set/reset 32 e/o di offset 34

possono essere sostituite con generici elementi atti a generare un opportuno campo magnetico.

Inoltre, il chip magnetoresistivo 60 può comprendere, in alternativa o in aggiunta alla struttura a ponte di Wheatstone, un singolo elemento magnetoresistivo, provvisto di terminali di ingresso, per l'alimentazione di una corrente elettrica, e di uno o più terminali di uscita, per prelevare un segnale di uscita indicativo della eventuale variazione di resistenza elettrica dell'elemento magnetoresistivo causata dalla presenza di un campo magnetico esterno. Il singolo elemento magnetoresistivo può essere implementato come una pluralità di sottoelementi magnetoresistivi collegati in serie tra loro, come ad esempio mostrato in figura 1 con riferimento agli elementi magnetoresistivi 4, 6, 8, e 10.

Secondo ulteriori forme di realizzazione, non mostrate, il chip magnetoresistivo 60 può comprendere, in alternativa o in aggiunta alla struttura a ponte di Wheatstone e/o al singolo elemento magnetoresistivo, due o tre elementi magnetoresistivi, collegati tra loro in parallelo.

Secondo ulteriori forme di realizzazione della presente invenzione, la piastrina magnetoresistiva 60 comprende un secondo ponte di Wheatstone formato da rispettivi elementi magnetoresistivi. In uso, il secondo

ponte di Wheatstone è accoppiato a rispettive bobine di set/reset e offset alloggiate dal chip ASIC 50. Gli elementi magnetoresistivi del secondo ponte di Wheatstone sono orientati in modo tale da essere sensibili a campi magnetici aventi linee di forza orientate lungo un secondo asse (es. asse Y) diverso dal primo asse (es. asse X di rilevamento del ponte di Wheatstone 73). Ad esempio, il primo e il secondo asse possono essere tra loro ortogonali. Si forma in questo modo un sensore biassiale.

Alternativamente, un sensore biassiale monolitico può essere formato utilizzando una singola coppia di bobine (una bobina per il set/reset e una bobina per la compensazione dell'offset) per entrambi gli assi di rilevamento X e Y.

Infine, sebbene, come detto, sia preferibile, che gli elementi magnetoresistivi 59a-59d siano verticalmente allineati alle bobine di set/reset 32 e offset 34 (cioè allineati lungo l'asse Z) in modo da sentire un campo longitudinale, questo non è strettamente necessario ai fini della presente invenzione; è infatti sufficiente che gli elementi magnetoresistivi 59a-59d sentano i campi magnetici generati, in uso, dalle bobine di set/reset 32 e offset 34. Pertanto, gli elementi magnetoresistivi e le bobine di set/reset 32 e offset 34 possono anche essere solo parzialmente verticalmente allineati.

RIVENDICAZIONI

1. Sensore di campo magnetico (70) atto a rilevare un campo magnetico esterno, comprendente:

una prima piastrina (60), includente una prima struttura magnetoresistiva di rilevamento (73) di detto campo magnetico esterno, la prima struttura magnetoresistiva includendo un primo terminale di contatto elettrico (76) e primi mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d); e

una seconda piastrina (50), alloggiante un circuito elettronico integrato (45) ed un primo generatore di campo magnetico (32),

la prima e la seconda piastrina essendo reciprocamente disposte in modo tale che il circuito elettronico integrato (45) è elettricamente accoppiabile al primo terminale di contatto elettrico (76) della prima struttura magnetoresistiva (73) e in modo tale che il primo generatore di campo magnetico (32) è magneticamente accoppiabile alla prima struttura magnetoresistiva (73).

2. Sensore secondo la rivendicazione 1, in cui i primi mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d) hanno un asse principale di magnetizzazione (EA) ed un asse secondario di magnetizzazione (HA) ortogonali tra loro, il primo generatore di campo magnetico (32) essendo configurato per generare un campo magnetico avente linee di

campo lungo l'asse principale di magnetizzazione (EA) dei primi mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d).

3. Sensore secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la seconda piastrina (50) include inoltre un secondo generatore di campo magnetico (34) magneticamente accoppiabile alla prima struttura magnetoresistiva (73) e configurato per generare un campo magnetico avente linee di campo lungo l'asse secondario di magnetizzazione (HA) dei primi mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d).

4. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il primo generatore di campo magnetico (32) comprende un avvolgimento planare includente una o più spire concentriche di materiale conduttivo, o una striscia ("strip") planare di materiale conduttivo.

5. Sensore secondo la rivendicazione 3, in cui il secondo generatore di campo magnetico (34) comprende un avvolgimento planare includente una o più spire concentriche di materiale conduttivo, o una striscia ("strip") planare di materiale conduttivo.

6. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima struttura magnetoresistiva (73) comprende inoltre un secondo terminale di contatto elettrico (77), il circuito elettronico integrato (45) essendo configurato per generare un flusso di corrente elettrica (I) tra il primo (76) e il secondo (77) terminale

di contatto elettrico e per rilevare una variazione del valore di resistenza elettrica della struttura magnetoresistiva (73) al passaggio di detto flusso di corrente elettrica, il valore di resistenza elettrica della struttura magnetoresistiva essendo rappresentativo di detto campo magnetico esterno.

7. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui i primi mezzi magnetoresistivi comprendono un singolo elemento magnetoresistivo.

8. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7, in cui i primi mezzi magnetoresistivi comprendono una pluralità di elementi magnetoresistivi (59a-59d) collegati tra loro a formare un ponte di Wheatstone (73).

9. Sensore secondo la rivendicazione 2, in cui la prima piastrina (60) include inoltre una seconda struttura magnetoresistiva, la seconda struttura magnetoresistiva includendo un terzo terminale di contatto elettrico e secondi mezzi magnetoresistivi aventi un asse principale di magnetizzazione (EA) estendentesi ortogonalmente all'asse principale di magnetizzazione (EA) dei primi mezzi magnetoresistivi, e un asse secondario di magnetizzazione (HA) estendentesi ortogonalmente all'asse secondario di magnetizzazione (HA) ortogonali dei primi mezzi magnetoresistivi, e in cui la prima e la seconda piastrina (50, 60) sono reciprocamente disposte in modo tale che il

circuito elettronico integrato (45) è inoltre elettricamente accoppiabile al terzo terminale di contatto elettrico della seconda struttura magnetoresistiva e il primo generatore di campo magnetico è magneticamente accoppiabile alla seconda struttura magnetoresistiva, il primo generatore di campo magnetico essendo inoltre configurato per generare un campo magnetico avente linee di campo lungo l'asse principale di magnetizzazione (EA) dei secondi mezzi magnetoresistivi.

10. Sensore secondo la rivendicazione 9, in cui i secondi mezzi magnetoresistivi comprendono un singolo elemento magnetoresistivo.

11. Sensore secondo la rivendicazione 9, in cui i secondi mezzi magnetoresistivi comprendono una pluralità di elementi magnetoresistivi collegati tra loro a formare un ponte di Wheatstone.

12. Sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima piastrina (60) comprende una prima superficie (61') e la seconda piastrina (50) comprende una seconda superficie (30'), la prima e la seconda superficie essendo meccanicamente e/o elettricamente connesse tra loro mediante almeno un elemento di connessione (72).

13. Sensore secondo la rivendicazione 12, in cui la prima e la seconda superficie (61', 30') sono disposte

affacciate tra loro, e l'elemento di connessione (72) è un bump per saldatura ("solder bump") o un bump a pilastro ("pillar bumps").

14. Sensore secondo la rivendicazione 12 o 13, in cui l'elemento di connessione (72) è elettricamente accoppiato al primo terminale di contatto elettrico (76).

15. Metodo di fabbricazione di un sensore di campo magnetico (70) atto a rilevare un campo magnetico esterno, comprendente le fasi di:

- disporre ("providing") un primo substrato (61);

- formare, nel primo substrato (61), una struttura magnetoresistiva (73) di rilevamento di detto campo magnetico esterno, la struttura magnetoresistiva includendo almeno un terminale di contatto elettrico (76) e mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d);

- disporre un secondo substrato (30);

- formare, nel secondo substrato (30), un circuito elettronico integrato (45) e un primo generatore di campo magnetico (32);

- accoppiare elettricamente il circuito elettronico integrato (45) al terminale di contatto elettrico (76) della struttura magnetoresistiva (73); e

- accoppiare magneticamente il primo generatore di campo magnetico (32) alla struttura magnetoresistiva (73).

16. Metodo secondo la rivendicazione 15, in cui i

mezzi magnetoresistivi (110; 59a, 59b, 59c, 59d) hanno un asse principale di magnetizzazione (EA) ed un asse secondario di magnetizzazione (HA) ortogonali tra loro,

la fase di accoppiare magneticamente il primo generatore (32) di campo magnetico alla struttura magnetoresistiva (73) comprendendo disporre reciprocamente il primo generatore di campo magnetico (32) e la struttura magnetoresistiva in modo tale che il campo magnetico generato dal primo generatore di campo magnetico (32) abbia linee di campo lungo l'asse principale di magnetizzazione (EA) dei mezzi magnetoresistivi.

17. Metodo secondo la rivendicazione 15 o 16, comprendente inoltre la fase di formare, nel secondo substrato (30), un secondo generatore di campo magnetico (34) e la fase di accoppiare magneticamente il secondo generatore di campo magnetico alla struttura magnetoresistiva (73).

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

Elena CERBARO

CLAIMS

1. A magnetic-field sensor (70) adapted to detect an external magnetic field, comprising:

5 a first chip (60), including a first magnetoresistive structure (73) for detecting said external magnetic field, the first magnetoresistive structure including a first electrical-contact terminal (76) and first magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d); and
10 a second chip (50), housing an integrated electronic circuit (45) and a first magnetic-field generator (32),
the first and the second chips being mutually arranged in such a way that the integrated electronic circuit (45) is electrically couplable to the first electrical-contact
15 terminal (76) of the first magnetoresistive structure (73) and in such a way that the first magnetic-field generator (32) is magnetically couplable to the first magnetoresistive structure (73).

20 2. The sensor according to claim 1, wherein the first magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d) have a main axis of magnetization (EA) and a secondary axis of magnetization (HA) orthogonal to one another, the first magnetic-field generator (32) being configured for generating
25 a magnetic field having lines of field along the main axis of magnetization (EA) of the first magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d).

3. The sensor according to claim 1 or claim 2, wherein the
30 second chip (50) further includes a second magnetic-field generator (34) that magnetically couplable to the first magnetoresistive structure (73) and that is configured for generating a magnetic field having lines of field along the secondary axis of magnetization (HA) of the first
35 magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d).

4. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the first magnetic-field generator (32) comprises a planar winding including one or more concentric turns of conductive material, or a planar strip of conductive material.

5

5. The sensor according to claim 3, wherein the second magnetic-field generator (34) comprises a planar winding including one or more concentric turns of conductive material, or a planar strip of conductive material.

10

6. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the first magnetoresistive structure (73) further comprises a second electrical-contact terminal (77), the integrated electronic circuit (45) being configured for generating a flow of electric current (I) between the first electrical-contact terminal (76) and the second electrical-contact terminal (77) and for detecting a variation in the value of electrical resistance of the magnetoresistive structure (73) to the passage of said flow of electric current, the value of electrical resistance of the magnetoresistive structure being representative of the value of said external magnetic field.

20

7. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the first magnetoresistive means comprise a single magnetoresistive element.

25

8. The sensor according to any one of claims 1-7, wherein the first magnetoresistive means comprise a plurality of magnetoresistive elements (59a-59d) connected to one another to form a Wheatstone bridge (73).

30

9. The sensor according to claim 2, wherein the first chip (60) further includes a second magnetoresistive structure, the second magnetoresistive structure including a third electrical-contact terminal, and second magnetoresistive means

35

having a main axis of magnetization (EA) extending orthogonal to the main axis of magnetization (EA) of the first magnetoresistive means, and a secondary axis of magnetization (HA) extending orthogonal to the secondary axis of magnetization (HA) of the first magnetoresistive means, and wherein the first and second chips (50, 60) are arranged with respect to one another in such a way that the integrated electronic circuit (45) is further electrically couplable to the third electrical-contact terminal of the second magnetoresistive structure and the first magnetic-field generator is magnetically couplable to the second magnetoresistive structure, the first magnetic-field generator being further configured for generating a magnetic field having lines of field along the main axis of magnetization (EA) of the second magnetoresistive means.

10. The sensor according to claim 9, wherein the second magnetoresistive means comprise a single magnetoresistive element.

11. The sensor according to claim 9, wherein the second magnetoresistive means comprise a plurality of magnetoresistive elements connected to one another to form a Wheatstone bridge.

12. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the first chip (60) comprises a first surface (61'), and the second chip (50) comprises a second surface (30'), the first and second surfaces being mechanically and/or electrically connected together by at least one connection element (72).

13. The sensor according to claim 12, wherein the first and second surfaces (61', 30') are arranged facing one another, and the connection element (72) is a solder bump or a pillar bump.

14. The sensor according to claim 12 or claim 13, wherein the connection element (72) is electrically coupled to the first electrical-contact terminal (76).

5

15. A method for manufacturing a magnetic-field sensor (70) adapted to detect an external magnetic field, comprising the steps of:

- providing a first substrate (61);
- 10 - forming, in the first substrate (61), a magnetoresistive structure (73) for detecting said external magnetic field, the magnetoresistive structure including at least an electrical-contact terminal (76) and magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d);
- 15 - providing a second substrate (30);
- forming, in the second substrate (30), an integrated electronic circuit (45) and a first magnetic-field generator (32);
- 20 - electrically coupling the integrated electronic circuit (45) to the electrical-contact terminal (76) of the magnetoresistive structure (73); and
- magnetically coupling the first magnetic-field generator (32) to the magnetoresistive structure (73).

25 16. The method according to claim 15, wherein the magnetoresistive means (110; 59a, 59b, 59c, 59d) have a main axis of magnetization (EA) and a secondary axis of magnetization (HA) orthogonal to one another, the step of magnetically coupling the magnetic-field first generator (32) to the magnetoresistive structure (73) comprising arranging
30 the first magnetic-field generator (32) and the magnetoresistive structure with respect to one another in such a way that the magnetic field generated by the first magnetic-field generator (32) has lines of field along the main axis of
35 magnetization (EA) of the magnetoresistive means.

17. The method according to claim 15 or claim 16, further comprising the step of forming, in the second substrate (30), a second magnetic-field generator (34) and the step of
40 magnetically coupling the second magnetic-field generator to the magnetoresistive structure (73).

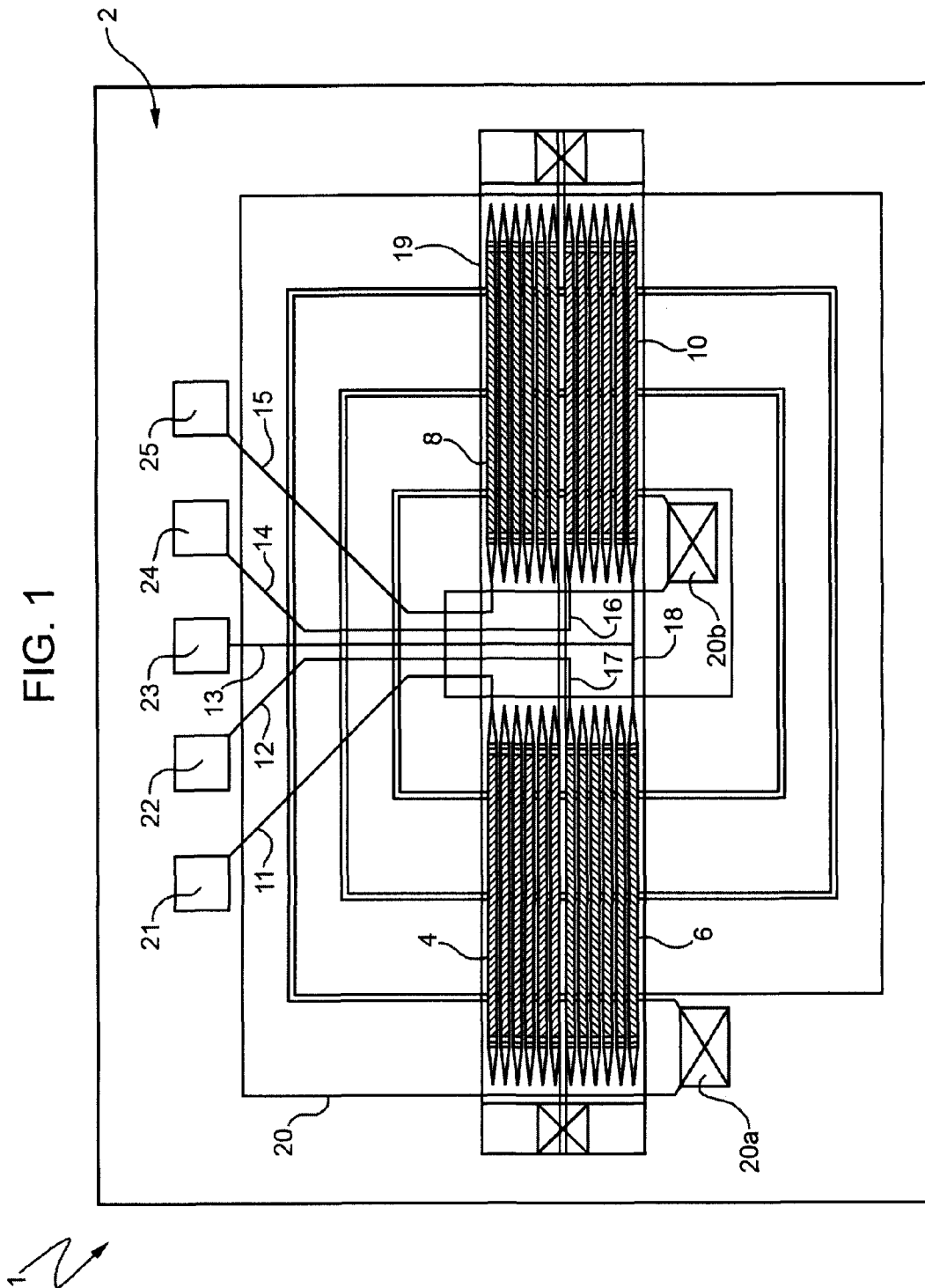


FIG. 3

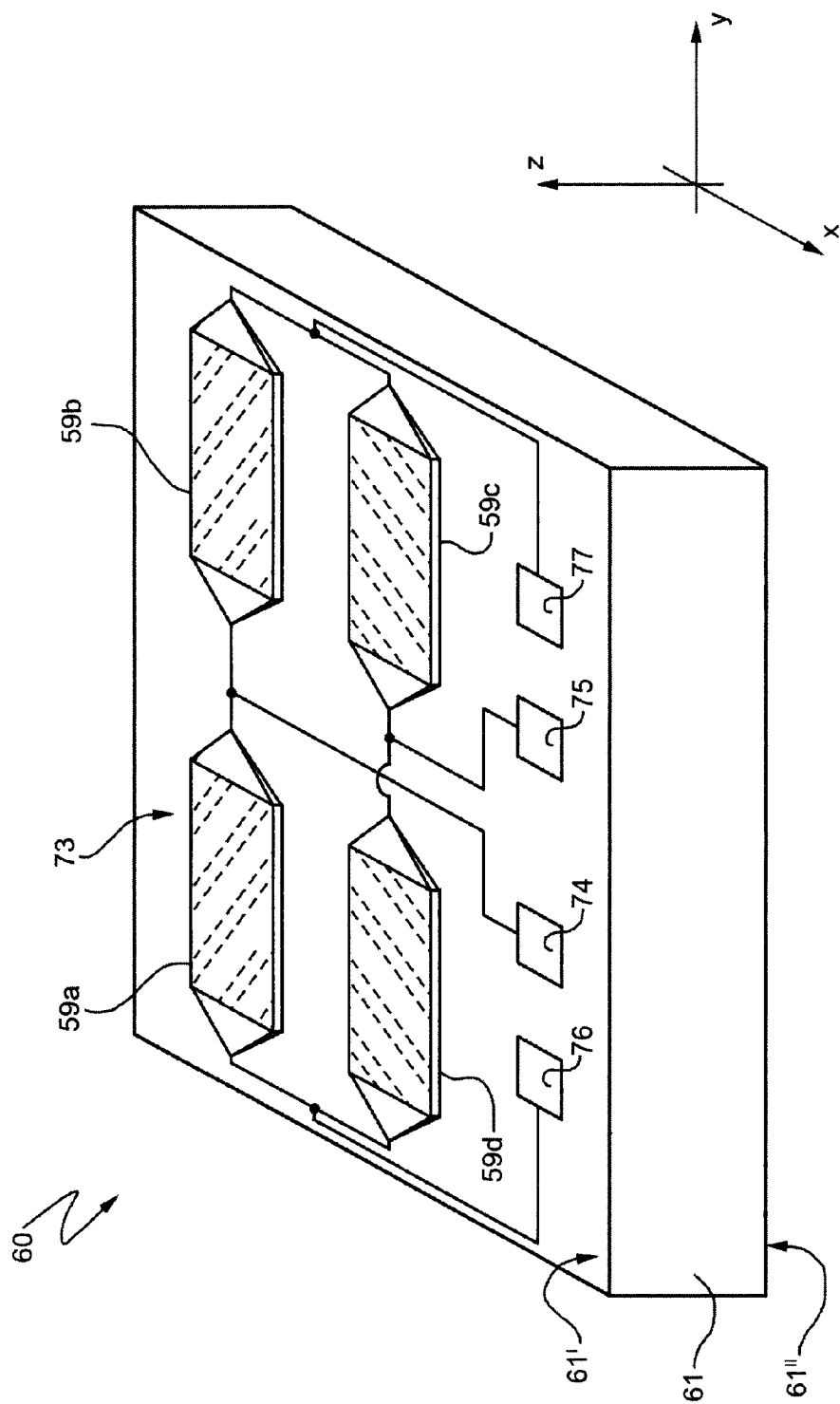


FIG. 4

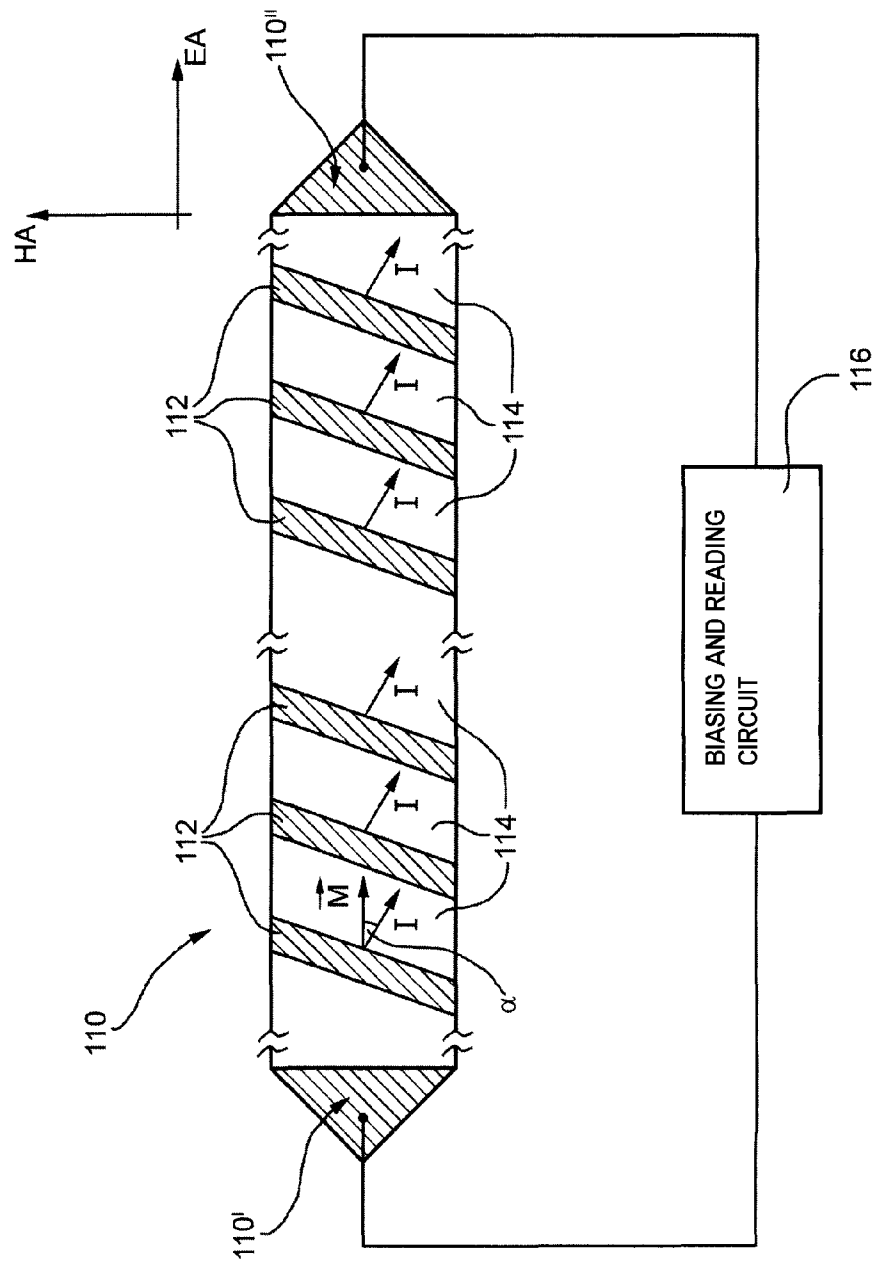


FIG. 6

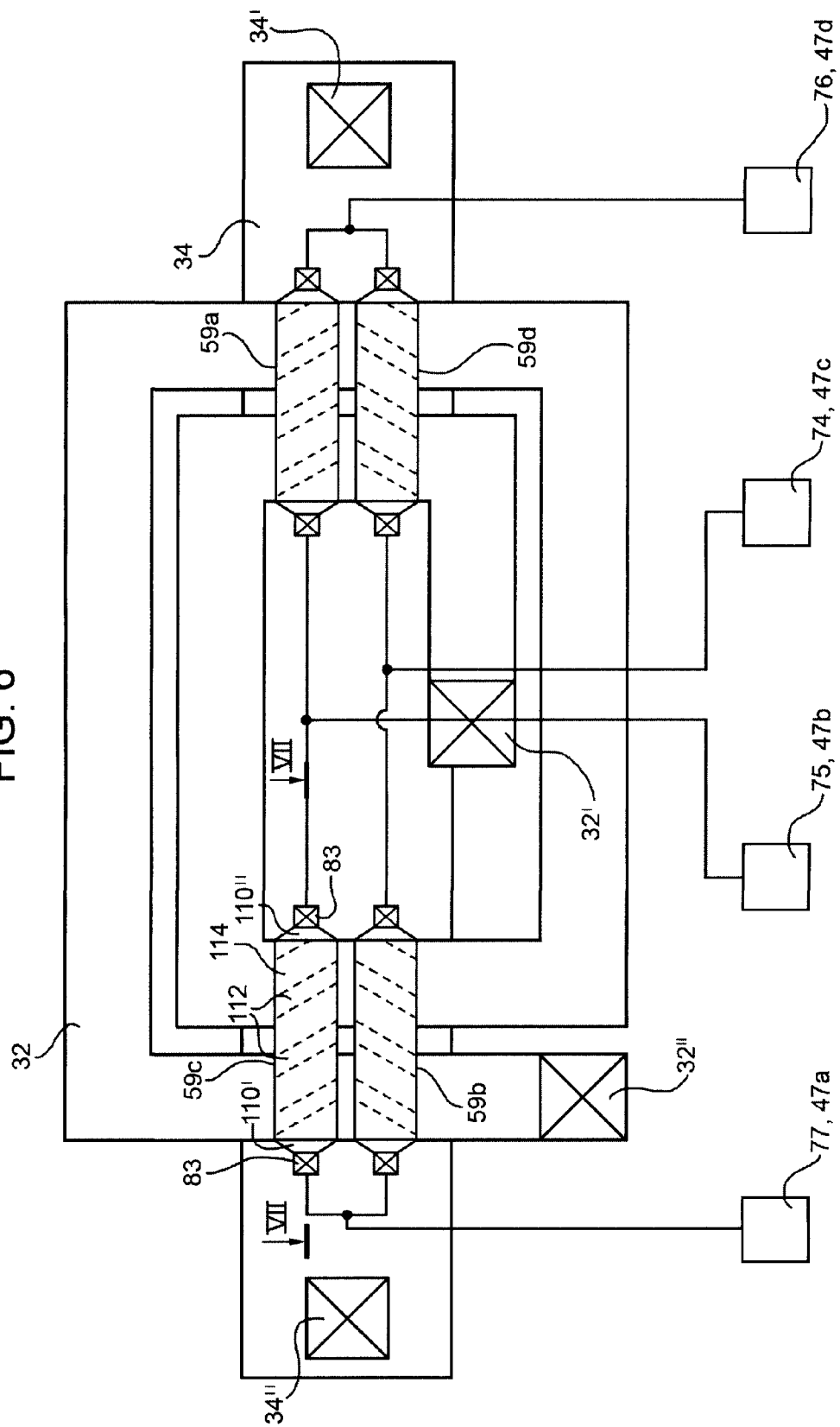


FIG. 7

