

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000020504
Data Deposito	30/07/2021
Data Pubblicazione	30/01/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	C	19	5747

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	C	19	5762

Titolo

GIROSCOPIO MEMS AVENTE UNA MIGLIORATA REIEZIONE ALL'ERRORE DI QUADRATURA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"GIROSCOPIO MEMS AVENTE UNA MIGLIORATA REIEZIONE ALL'ERRORE
DI QUADRATURA"

5 di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2, 20864 AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: PRATI Daniele, FALORNI Luca Giuseppe, GUERINONI
Luca

10

* * *

La presente invenzione è relativa ad un giroscopio MEMS
avente una migliorata reiezione all'errore di quadratura, in
particolare, relativo ad un movimento di imbardata ("yaw").

Come noto, un giroscopio realizzato in tecnologia MEMS
15 ("Micro Electro-Mechanical Systems") è formato in una
piastrina di materiale semiconduttore, ad esempio silicio,
e comprende almeno una o più masse mobili sospese su un
substrato e libere di oscillare rispetto al substrato con
uno o più gradi di libertà.

20 Le masse mobili sono accoppiate capacitivamente al
substrato tramite elettrodi di pilotaggio, configurati per
causare un'oscillazione delle masse mobili lungo una
direzione di pilotaggio, ed elettrodi di rilevamento,
configurati per rilevare uno spostamento delle masse mobili
25 lungo una direzione di rilevamento.

Quando il giroscopio MEMS ruota con una velocità angolare attorno ad un asse di rotazione, una massa mobile che oscilla con una velocità lineare lungo una direzione perpendicolare all'asse di rotazione è soggetta ad una forza
5 di Coriolis diretta lungo una direzione perpendicolare all'asse di rotazione e alla direzione della velocità lineare.

In particolare, sono noti giroscopi MEMS di tipo monoassiale, biassiale o triassiale, configurati per
10 rilevare un movimento di imbardata associato ad una velocità angolare di imbardata del giroscopio MEMS attorno ad un asse perpendicolare ad un piano di estensione della massa mobile.

A tal proposito, sono noti giroscopi MEMS a due masse di rilevamento. Tali giroscopi MEMS comprendono una prima
15 massa mobile, una seconda massa mobile e un elemento elastico che accoppia la prima e la seconda massa mobile. La prima massa mobile è mantenuta in oscillazione dagli elettrodi di pilotaggio lungo la direzione di pilotaggio, giacente nel piano di estensione della prima e della seconda massa mobile.
20 L'elemento elastico è configurato per trasformare l'oscillazione della prima massa mobile in una oscillazione della seconda massa mobile lungo una direzione indotta, giacente nel piano di estensione della prima e della seconda massa mobile e perpendicolare alla direzione di pilotaggio.
25 Di conseguenza, quando il giroscopio MEMS è soggetto ad una

velocità angolare di imbardata, la seconda massa mobile
risente di una forza di Coriolis diretta perpendicolarmente
alla direzione indotta (e parallelamente alla direzione di
pilotaggio). Gli elettrodi di rilevamento sono configurati
5 per rilevare tale movimento di imbardata della seconda massa
mobile e generare un corrispondente segnale di rilevamento.

Un parametro chiave che determina le prestazioni di un
giroscopio MEMS è la stabilità del segnale di rilevamento in
assenza di rotazione ("Zero Rate Output", ZRO). In altre
10 parole, si desidera che, in assenza di rotazioni del
giroscopio MEMS, quando la prima massa mobile è attuata lungo
la direzione di pilotaggio, il movimento della seconda massa
mobile non generi nessuna variazione nel segnale di
rilevamento.

15 Tuttavia, nei giroscopi MEMS noti, a causa delle
variabilità di processo associate alla fabbricazione degli
elementi elastici di accoppiamento tra la prima e la seconda
massa mobile, gli elementi elastici di accoppiamento hanno
delle asimmetrie. Ciò fa sì che la direzione indotta
20 comprenda anche una componente di quadratura parallela alla
direzione di pilotaggio (e perpendicolare alla direzione
indotta). La componente di quadratura genera quindi una
variazione del segnale di rilevamento, anche noto come errore
di quadratura, anche in assenza di rotazioni del giroscopio
25 MEMS.

Un approccio utilizzato per ridurre le asimmetrie degli elementi elastici di accoppiamento prevede che nel processo di fabbricazione del giroscopio MEMS vengano utilizzati macchinari e/o maschere di litografia dedicate, in grado di
5 ridurre le variabilità di processo.

Tuttavia, tale approccio comporta un aumento di costi e tempi di fabbricazione del giroscopio MEMS.

Secondo un altro approccio, nel giroscopio MEMS vengono integrati anche elettrodi aggiuntivi, configurati per
10 compensare l'errore di quadratura.

Tuttavia, tali elettrodi aggiuntivi possono aumentare un'occupazione di area di piastrina e richiedere passaggi di fabbricazione aggiuntivi. Di conseguenza, anche tale approccio comporta un aumento di difficoltà, tempi, e costi
15 di fabbricazione del giroscopio MEMS.

Inoltre, gli elettrodi di compensazione di quadratura comportano una maggiore complessità di progettazione di un circuito di controllo del giroscopio MEMS.

Scopo della presente invenzione è quello di superare
20 gli svantaggi della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione viene quindi fornito un giroscopio MEMS, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione
25 ne vengono ora descritte alcune forme di realizzazione, a

puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra una vista dall'alto del presente giroscopio MEMS, secondo una forma di realizzazione;

5 - la figura 2 mostra una vista dall'alto di una porzione del giroscopio MEMS di figura 1, in uso;

- la figura 3 mostra una vista dall'alto del presente giroscopio MEMS, secondo una diversa forma di realizzazione;

- la figura 4 mostra una vista dall'alto del presente
10 giroscopio MEMS, secondo una ulteriore forma di realizzazione; e

- la figura 5 mostra uno schema a blocchi di un apparecchio elettronico incorporante il presente giroscopio MEMS.

15 La figura 1 mostra un giroscopio MEMS 1 di tipo monoassiale in un sistema di riferimento Cartesiano XYZ comprendente un primo, un secondo e un terzo asse X, Y, Z.

Il giroscopio MEMS 1 è realizzato in una piastrina di materiale semiconduttore, ad esempio silicio, e comprende un
20 substrato 5 e una prima e una seconda massa mobile 7, 10 sospese sul substrato 5.

La prima e la seconda massa mobile 7, 10 sono sostanzialmente planari, con estensione principale in un piano XY, e hanno qui forma approssimativamente
25 rettangolare.

La prima e la seconda massa mobile 7, 10 sono accoppiate
rispettivamente a prime e seconde regioni di ancoraggio 13A,
13B, fissate al substrato 5, per mezzo di prime connessioni
elastiche ("flexures") 15A e, rispettivamente, seconde
5 connessioni elastiche 15B.

Le prime connessioni elastiche 15A si estendono
ciascuna tra la prima massa mobile 7 e una rispettiva prima
regione di ancoraggio 13A, qui parallelamente al primo asse
X.

10 Le seconde connessioni elastiche 15B si estendono
ciascuna tra la seconda massa mobile 10 e una rispettiva
seconda regione di ancoraggio 13B, qui parallelamente al
secondo asse Y.

Inoltre, in questa forma di realizzazione, la prima e
15 la seconda massa mobile 7, 10 sono accoppiate anche ad una
regione di ancoraggio centrale 20, fissata al substrato 5,
tramite una rispettiva prima e una rispettiva seconda
connessione elastica 15A, 15B.

Le prime e le seconde connessioni elastiche 15A, 15B
20 possono essere elementi elastici lineari o ripiegati
("folded") e sono configurate, in modo di per sé noto, per
permettere il movimento della prima e, rispettivamente,
della seconda massa mobile 7, 10 con uno o più gradi di
libertà.

25 In dettaglio, in questa forma di realizzazione, le prime

e le seconde connessioni elastiche 15A, 15B permettono il movimento della prima e, rispettivamente, della seconda massa mobile 7, 10 lungo il primo asse X e lungo il secondo asse Y.

5 Il giroscopio MEMS 1 comprende una struttura elastica di accoppiamento 25 che si estende tra, e accoppia reciprocamente, la prima e la seconda massa mobile 7, 10.

La struttura di accoppiamento 25 è formata da una porzione rigida 26, una porzione cedevole periferica 27 e
10 una porzione cedevole centrale 28.

La porzione rigida 26 ha una rigidezza maggiore della porzione cedevole periferica 27 e della porzione cedevole centrale 28, ad esempio di un fattore compreso tra 10 e 100.

La porzione cedevole periferica 27 comprende un primo
15 braccio 30, estendentesi dalla prima massa mobile 7 parallelamente al primo asse X, e un secondo braccio 31, estendentesi dalla seconda massa 10 parallelamente al secondo asse Y.

La porzione rigida 26 comprende un primo e un secondo
20 braccio di collegamento 33, 34 ciascuno estendentesi tra una rispettiva prima estremità 38, accoppiata alla porzione cedevole periferica 27, e una rispettiva seconda estremità 39, accoppiata alla porzione cedevole centrale 28.

In dettaglio, la prima estremità 38 del primo e del
25 secondo braccio di collegamento 33, 34 è accoppiata ad una

estremità del primo e, rispettivamente, del secondo braccio 30, 31 della porzione cedevole periferica 27.

Il primo e il secondo braccio di collegamento 33, 34 si estendono dalla rispettiva prima estremità 38 parallelamente
5 ad una direzione inclinata C (qui rappresentata da una linea tratteggiata), nel piano XY, trasversale al primo e al secondo asse X, Y, formante un angolo α rispetto al primo asse X, qui di 45° .

Il primo e il secondo braccio 30, 31 della porzione
10 cedevole periferica 27 hanno dimensioni minori del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34, in modo da avere una maggiore cedevolezza rispetto al primo e al secondo braccio di collegamento 33, 34.

In dettaglio, in questa forma di realizzazione, il primo
15 braccio 30 della porzione cedevole periferica 27 e il secondo braccio 31 della porzione cedevole periferica 27 hanno ciascuno una rispettiva larghezza, misurata rispettivamente parallelamente al secondo asse Y e parallelamente al primo asse X, che è minore di una larghezza del primo e del secondo
20 braccio di collegamento 33, 34 misurata nel piano XY parallelamente ad una direzione C' (rappresentata da una linea a tratto punto in figura 1) perpendicolare alla direzione inclinata C.

Ad esempio, la larghezza del primo e del secondo braccio
25 30, 31 della porzione cedevole periferica 27 può essere

compresa tra un decimo e un centesimo della larghezza del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

Inoltre, in questa forma di realizzazione, il primo braccio 30 della porzione cedevole periferica 27 e il secondo
5 braccio 31 della porzione cedevole periferica 27 hanno ciascuno una rispettiva lunghezza, misurata rispettivamente parallelamente al primo asse X e parallelamente al secondo asse Y, che è minore di una lunghezza del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34 misurata parallelamente alla
10 direzione inclinata C.

Ad esempio, la lunghezza del primo e del secondo braccio 30, 31 della porzione cedevole periferica 27 può essere compresa tra un decimo e un centesimo della lunghezza del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

15 In questa forma di realizzazione, il primo e il secondo braccio 30, 31 della porzione cedevole periferica 27 hanno uno spessore, lungo il terzo asse Z, uguale allo spessore del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

Tuttavia, lo spessore del primo e/o del secondo braccio
20 30, 31 della porzione cedevole periferica 27 può anche essere diverso dallo spessore del primo e/o del secondo braccio di collegamento 33, 34.

La porzione cedevole centrale 28 comprende un primo e un secondo braccio 36, 37, reciprocamente accoppiati in una
25 estremità di giunzione 40.

Il primo braccio 36 della porzione cedevole centrale 28 si estende parallelamente al primo asse X, tra l'estremità di giunzione 40 e la seconda estremità 39 del primo braccio di collegamento 33.

5 Il secondo braccio 37 della porzione cedevole centrale 28 si estende parallelamente al secondo asse Y, tra l'estremità di giunzione 40 e la seconda estremità 39 del secondo braccio di collegamento 34.

10 Il primo e il secondo braccio 36, 37 della porzione cedevole centrale 28 hanno dimensioni minori del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34, in modo da avere una maggiore cedevolezza rispetto al primo e al secondo braccio di collegamento 33, 34.

15 In dettaglio, in questa forma di realizzazione, il primo braccio 36 della porzione cedevole centrale 28 e il secondo braccio 34 della porzione cedevole centrale 28 hanno ciascuno una rispettiva larghezza, misurata rispettivamente parallelamente al secondo asse Y e parallelamente al primo asse X, che è minore della larghezza del primo e del secondo
20 braccio di collegamento 33, 34 misurata nel piano XY parallelamente alla direzione C'.

Ad esempio, la larghezza del primo e del secondo braccio 36, 37 della porzione cedevole centrale 28 può essere compresa tra un decimo e un centesimo della larghezza del
25 primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

Inoltre, in questa forma di realizzazione, il primo braccio 36 della porzione cedevole centrale 28 e il secondo braccio 37 della porzione cedevole centrale 28 hanno ciascuno una rispettiva lunghezza, misurata rispettivamente
5 parallelamente al primo asse X e parallelamente al secondo asse Y, che è minore della lunghezza del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34 misurata parallelamente alla direzione inclinata C.

Ad esempio, la lunghezza del primo e del secondo braccio
10 36, 37 della porzione cedevole centrale 28 può essere compresa tra un decimo e un centesimo della lunghezza del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

In questa forma di realizzazione, il primo e il secondo braccio 36, 37 della porzione cedevole centrale 28 hanno uno
15 spessore, lungo il terzo asse Z, uguale allo spessore del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34.

Tuttavia, lo spessore del primo e/o del secondo braccio 36, 37 della porzione cedevole centrale 28 può anche essere diverso dallo spessore del primo e/o del secondo braccio di
20 collegamento 33, 34.

Il giroscopio MEMS 1 comprende anche una struttura di pilotaggio 45 di tipo capacitivo e accoppiata alla prima massa mobile 7, e una struttura di rilevamento 46 di tipo capacitivo e accoppiata alla seconda massa mobile 10.

25 La struttura di pilotaggio 45 comprende un elettrodo

fisso 48, fissato al substrato 5, e un elettrodo mobile 49, solidale alla prima massa mobile 7.

In questa forma di realizzazione, la struttura di pilotaggio 45 è un condensatore con struttura a pettine ("comb fingered"). In dettaglio, l'elettrodo mobile 49 comprende una pluralità di sporgenze 50 estendentisi dalla prima massa mobile 7 parallelamente al primo asse X e l'elettrodo fisso 48 comprende una pluralità di sporgenze 51 estendentisi parallelamente al primo asse X e interdigitate rispetto alle sporgenze 50 dell'elettrodo mobile 49.

Tuttavia, la struttura di pilotaggio 45 può avere forma diversa da quella mostrata in figura 1. Ad esempio, numero, forma e disposizione dell'elettrodo fisso 48 e dell'elettrodo mobile 49 possono variare. In aggiunta o in alternativa, la struttura di pilotaggio 45 può essere un condensatore a facce piane parallele.

La struttura di rilevamento 46 è configurata per rilevare un movimento di imbardata, parallelamente al primo asse X, della seconda massa mobile 10 e generare un corrispondente segnale di uscita di imbardata.

In dettaglio, la struttura di rilevamento 46 comprende un elettrodo fisso 54, fissato al substrato 5, e un elettrodo mobile 55, solidale alla seconda massa mobile 10.

In questa forma di realizzazione, la struttura di rilevamento 46 è un condensatore con struttura a facce

parallele ("parallel plate"). In dettaglio, l'elettrodo mobile 55 comprende una pluralità di sporgenze 56 estendentisi dalla seconda massa mobile 10 parallelamente al secondo asse Y e l'elettrodo fisso 54 comprende una pluralità di porzioni fisse 57 estendentisi parallelamente al secondo asse Y, ciascuna ad una distanza lungo il primo asse X da una rispettiva sporgenza 56.

Tuttavia, la struttura di rilevamento 46 può avere forma diversa da quella mostrata in figura 1. Ad esempio, numero, forma e disposizione dell'elettrodo fisso 54 e dell'elettrodo mobile 55 possono variare. In aggiunta o in alternativa, la struttura di rilevamento 46 può essere un condensatore con struttura a pettine.

Il giroscopio MEMS 1 comprende inoltre piazzole ("pads") di contatto di pilotaggio 60 e piazzole di contatto di rilevamento 62, le quali sono accoppiate elettricamente alla struttura di pilotaggio 45 e, rispettivamente, alla struttura di rilevamento 46, tramite rispettive piste di connessione, qui non mostrate.

Le piazzole di contatto di pilotaggio 60 e le piazzole di contatto di rilevamento 62 permettono l'accoppiamento del giroscopio MEMS 1 con un circuito esterno di controllo, qui non mostrato. Il circuito esterno di controllo può essere realizzato nella stessa piastrina del giroscopio MEMS 1 o in una piastrina separata.

In uso, una tensione di pilotaggio è applicata alla struttura di pilotaggio 45. La tensione di pilotaggio causa un movimento della prima massa mobile 7 lungo una direzione primaria di pilotaggio M_p parallela al primo asse X, ad esempio una oscillazione ad una frequenza di risonanza del giroscopio MEMS 1. A titolo di esempio, la figura 2 mostra un dettaglio semplificato e ingrandito del giroscopio MEMS 1, in cui la prima massa mobile 7 è spostata lungo la direzione primaria di pilotaggio M_p , qui verso destra, rispetto ad una posizione di riposo (indicata per chiarezza da una linea tratteggiata).

La struttura elastica di accoppiamento 25 si deforma in risposta al movimento della prima massa mobile 7.

In dettaglio, la porzione cedevole periferica 27 e la porzione cedevole centrale 28 si deformano in modo che le prime estremità 38 del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34 si allontanano l'una dall'altra e le seconde estremità 39 del primo e del secondo braccio di collegamento 33, 34 si avvicinano l'una all'altra.

In prima approssimazione, il primo e il secondo braccio di collegamento 33, 34 non si deformano, dal momento che hanno una rigidità molto maggiore dei bracci 30, 31 e 36, 37 rispettivamente della porzione cedevole periferica 27 e della porzione cedevole centrale 28, e subiscono una rotazione nel piano XY, attorno ad un asse parallelo al terzo

asse Z.

Lo spostamento della prima estremità 38 del secondo braccio di collegamento 34 causa un movimento della seconda massa mobile 10 lungo una direzione indotta di pilotaggio M_i , perpendicolare alla direzione primaria di pilotaggio M_p e parallela al secondo asse Y (verso l'alto nell'esempio di figura 2).

Inoltre, il primo e il secondo braccio 30, 31 della porzione cedevole periferica 27 si deformano in modo da compensare movimenti spuri della prima e della seconda massa mobile 7, 10 lungo direzioni trasversali rispettivamente al primo e al secondo asse X, Y. In pratica, la prima massa mobile 7 subisce solamente uno spostamento lungo la direzione primaria di pilotaggio M_p e la seconda massa mobile 10 subisce solamente uno spostamento lungo la direzione indotta di pilotaggio M_i .

Inoltre, la Richiedente ha verificato che il primo e il secondo braccio di collegamento 33, 34, che si estendono trasversalmente rispetto al primo e al secondo asse X, Y, ovvero trasversalmente alla direzione primaria di pilotaggio M_p e alla direzione indotta di pilotaggio M_i , possono essere soggette ad una maggiore variabilità di processo rispetto ai bracci 30, 31 e 36, 37 della porzione cedevole periferica 27 e, rispettivamente, della porzione cedevole centrale 28, che si estendono parallelamente al primo e al secondo asse X, Y.

Infatti, durante i passaggi litografici utilizzati per definire la struttura di accoppiamento 25, i macchinari noti di litografia possono causare una minore accuratezza di definizione delle porzioni della struttura di accoppiamento 5 25 che si estendono lungo specifiche direzioni.

Di conseguenza, le dimensioni di tali porzioni della struttura di accoppiamento 25 possono essere soggette ad una maggiore variabilità di processo, che potrebbe determinare una elevata variabilità anche nelle rispettive proprietà 10 elastiche di deformazione.

Aumentando la rigidità delle porzioni del giroscopio MEMS 1 soggette ad una maggiore variabilità di processo, è possibile compensare l'impatto di tale variabilità di processo sulle prestazioni del giroscopio MEMS 1.

15 In pratica, il fatto che il primo e il secondo braccio di collegamento 33, 34 hanno una rigidità maggiore dei bracci 30, 31 e 36, 37 della porzione cedevole periferica 27 e, rispettivamente, della porzione cedevole centrale 28, e quindi in prima approssimazione non si deformano, in uso, fa 20 sì che l'accoppiamento tra il movimento lungo la direzione primaria di pilotaggio M_p e la direzione indotta di pilotaggio M_i non è influenzato da eventuali asimmetrie dovute a variabilità di processo.

Quindi, quando il giroscopio MEMS 1 non è soggetto alla 25 velocità angolare di imbardata Ω_z attorno al terzo asse Z,

la seconda massa mobile 10 non si sposta, in prima approssimazione, lungo il primo asse X e la struttura di rilevamento 54 non rileva alcuna variazione di capacità associata ad un movimento di imbardata.

5 In altre parole, in prima approssimazione, la struttura di accoppiamento 25 permette di reiettare l'errore di quadratura associato al movimento di imbardata. Quindi, il giroscopio MEMS 1 ha una elevata stabilità del segnale di uscita di imbardata.

10 Ciò fa sì che il giroscopio MEMS 1 può avere un segnale di uscita stabile anche senza incorporare elettrodi aggiuntivi per compensare l'errore di quadratura che comporterebbero un aumento di complessità del circuito di controllo del giroscopio MEMS 1.

15 Inoltre, il processo di fabbricazione del giroscopio MEMS 1 non richiede macchinari di litografia o maschere dedicate per migliorare la reiezione dell'errore di quadratura di imbardata. Di conseguenza, il giroscopio MEMS 1 può mantenere bassi i costi e i tempi di fabbricazione.

20 La figura 3 mostra una diversa forma di realizzazione del presente giroscopio MEMS, qui indicato da 100. Anche il giroscopio MEMS 100 è di tipo monoassiale, configurato per rilevare una velocità angolare di imbardata del giroscopio MEMS 100, e ha una struttura generale simile al giroscopio
25 MEMS 1 di figura 1; di conseguenza, elementi in comune sono

indicati dagli stessi numeri di riferimento e non sono ulteriormente descritti.

Il giroscopio MEMS 100 ha una struttura sostanzialmente simmetrica rispetto a due assi centrali A, B passanti per un
5 centro O del giroscopio MEMS 100 e paralleli rispettivamente al primo e al secondo asse X, Y.

Il giroscopio MEMS 100 comprende il substrato 5 e quattro masse mobili sospese sul substrato 5, qui indicate come prima massa mobile 7, seconda massa mobile 10, terza
10 massa mobile 107 e quarta massa mobile 110.

La prima e la terza massa mobile 7, 107 sono disposte simmetricamente rispetto al secondo asse centrale B e sono accoppiate rispettivamente alle prime regioni di ancoraggio 13A e a terze regioni di ancoraggio 113A, per mezzo delle
15 prime connessioni elastiche 15A e, rispettivamente, di terze connessioni elastiche 115A.

Le terze connessioni elastiche 115A sono uguali alle prime connessioni elastiche 15A, qui ad esse disposte simmetricamente rispetto al secondo asse centrale B, e si
20 estendono parallelamente al primo asse X, ciascuna tra una rispettiva terza regione di ancoraggio 113A e la terza massa mobile 10.

La seconda e la quarta massa mobile 10, 110 sono disposte simmetricamente rispetto al primo asse centrale A
25 e sono accoppiate rispettivamente alle seconde regioni di

ancoraggio 13B e a quarte regioni di ancoraggio 113B, per mezzo delle seconde connessioni elastiche 15B e, rispettivamente, di quarte connessioni elastiche 115B.

Le quarte connessioni elastiche 115B sono uguali alle
5 seconde connessioni elastiche 15B, qui ad esse disposte simmetricamente rispetto al primo asse centrale A, e si estendono parallelamente al secondo asse Y, ciascuna tra una rispettiva quarta regione di ancoraggio 113B e la quarta massa mobile 110.

10 Anche in questa forma di realizzazione, la prima, seconda, la terza e la quarta massa mobile 7, 10, 107, 110, sono accoppiate ad una regione di ancoraggio centrale 20 rispettivamente da una prima, una seconda, una terza e una quarta connessione elastica 15A, 15B, 115A, 115B.

15 Il giroscopio MEMS 100 comprende inoltre quattro strutture di accoppiamento 25A-25D, in seguito anche indicate come prima, seconda, terza e quarta struttura di accoppiamento 25A, 25B, 25C, 25D.

Le strutture di accoppiamento 25A-25D sono ciascuna
20 uguale alla struttura di accoppiamento 25 del giroscopio MEMS 1 di figura 1 e sono reciprocamente disposte simmetricamente rispetto al primo e al secondo asse centrale A, B.

In dettaglio, la prima struttura di accoppiamento 25A
25 è simmetrica alla seconda struttura di accoppiamento 25B

rispetto al secondo asse centrale B e alla quarta struttura di accoppiamento 25D rispetto al primo asse centrale A. La terza struttura di accoppiamento 25C è simmetrica alla seconda struttura di accoppiamento 25B rispetto al primo
5 asse centrale A e alla quarta struttura di accoppiamento 25D rispetto al secondo asse centrale B.

La prima struttura di accoppiamento 25A si estende tra la prima e la seconda massa mobile 7, 10. La seconda struttura di accoppiamento 25B si estende tra la seconda e
10 la terza massa mobile 10, 107. La terza struttura di accoppiamento 25C si estende tra la terza e la quarta massa mobile 107, 110. La quarta struttura di accoppiamento 25D si estende tra la quarta e la prima massa mobile 110, 7.

Anche qui, le strutture di accoppiamento 25A-25D
15 comprendono ciascuna una porzione rigida 26, una porzione cedevole periferica 27 e una porzione cedevole centrale 28, come sopra discusso e qui non ulteriormente descritto.

Il giroscopio MEMS 100 comprende una prima e una seconda struttura di pilotaggio 145A, 145B di tipo capacitivo e
20 accoppiate rispettivamente alla prima e alla terza massa mobile 7, 107, e una prima e una seconda struttura di rilevamento 146A, 146B di tipo capacitivo e accoppiate rispettivamente alla seconda e alla quarta massa mobile 10, 110.

25 In questa forma di realizzazione, la prima e la seconda

struttura di pilotaggio 145A, 145B formano ciascuna un
rispettivo condensatore a facce piane parallele configurate
per causare un movimento della prima massa mobile 7 e,
rispettivamente, della terza massa mobile 107, lungo il primo
5 asse X.

In dettaglio, la prima struttura di pilotaggio 145A
comprende un elettrodo fisso 148 disposto a distanza lungo
il primo asse X da un elettrodo mobile, solidale alla prima
massa mobile 7, in particolare qui formato da una parete 7A
10 della prima massa mobile 7 affacciata all'elettrodo fisso
148.

La seconda struttura di pilotaggio 145B comprende un
elettrodo fisso 149 disposto a distanza lungo il primo asse
X da un elettrodo mobile, solidale alla terza massa mobile
15 107, in particolare qui formato da una parete 107A della
terza massa mobile 107 affacciata all'elettrodo fisso 149.

Tuttavia, la prima e la seconda struttura di pilotaggio
145A, 145B possono avere forma diversa da quella mostrata in
figura 3. Ad esempio, numero, forma e disposizione degli
20 elettrodi fissi 148, 149 e dell'elettrodo mobile 7A, 107A
possono variare. In aggiunta o in alternativa, la prima e la
seconda struttura di pilotaggio 145A, 145B possono essere
condensatori interdigitati.

Anche la prima e la seconda struttura di rilevamento
25 146A, 146B formano ciascuna un rispettivo condensatore a

facce piane parallele e sono configurate per rilevare un movimento della seconda massa mobile 10 e, rispettivamente, della quarta massa mobile 110, lungo il primo asse X.

In dettaglio, la prima struttura di rilevamento 146A
5 comprende due elettrodi fissi 150A, 150B disposti ciascuno a distanza lungo il primo asse X da un rispettivo elettrodo mobile solidale alla seconda massa mobile 10. In particolare, qui, gli elettrodi mobili della prima struttura di rilevamento 146A sono formati da due pareti 10A, 10B della
10 seconda massa mobile 10 tra loro simmetriche rispetto al secondo asse centrale B e affacciate rispettivamente all'elettrodo fisso 150A, 150B.

La seconda struttura di rilevamento 146B comprende due elettrodi fissi 151A, 151B disposti ciascuno a distanza lungo
15 il primo asse X da un rispettivo elettrodo mobile solidale alla quarta massa mobile 110. In particolare, qui, gli elettrodi mobili della seconda struttura di rilevamento 146B sono formati da due pareti 110A, 110B della quarta massa mobile 110, tra loro simmetriche rispetto al secondo asse
20 centrale B e affacciate rispettivamente all'elettrodo fisso 150A, 150B.

Tuttavia, la prima e la seconda struttura di rilevamento 146A, 146B possono avere forma diversa da quella mostrata in figura 3. Ad esempio, numero, forma e disposizione degli
25 elettrodi fissi 150A, 150B, 151A, 151B e degli elettrodi

mobili 10A, 10B, 110A, 110B possono variare. In aggiunta o in alternativa, la prima e la seconda struttura di rilevamento 146A, 146B possono essere condensatori interdigitati.

5 Il giroscopio MEMS 100 comprende anche qui le piazzole di contatto di pilotaggio 60, accoppiate elettricamente alla prima e alla seconda struttura di pilotaggio 145A, 145B, e le piazzole di contatto di rilevamento 62, accoppiate elettricamente alla prima e alla seconda struttura di
10 rilevamento 146A, 146B.

 In uso, una tensione di pilotaggio è fornita alla prima e alla seconda struttura di pilotaggio 145A, 145B, che causa un movimento, ad esempio una oscillazione ad una frequenza di risonanza del giroscopio MEMS 100, della prima e della
15 terza massa mobile 7, 107 lungo la direzione primaria di pilotaggio M_p , parallela al primo asse X.

 La tensione di pilotaggio può essere applicata in modo tale che il movimento relativo della prima e della terza massa mobile 7, 107 sia in fase o in opposizione di fase. Ad
20 esempio, come mostrato dalle frecce M1, M2 in figura 3, la tensione di pilotaggio può far sì che sia la prima che la terza massa 7, 107 si muovano in allontanamento dalla regione di ancoraggio centrale 20, lungo due versi opposti della direzione di pilotaggio primaria M_p .

25 Le strutture di accoppiamento 25A-25D si deformano in

risposta al movimento della prima e della terza massa 7, 107
ciascuna come descritto sopra per la struttura di
accoppiamento 25 del giroscopio MEMS 1 di figura 1, causando
un movimento della seconda e della quarta massa 10, 110 lungo
5 la direzione indotta di pilotaggio M_i parallela al secondo
asse Y.

In dettaglio, qui, anche la seconda e la quarta massa
mobile 10, 110 si muovono in allontanamento dalla regione di
ancoraggio centrale 20, lungo due versi opposti della
10 direzione indotta di pilotaggio M_i , come mostrato dalle
frecche M3, M4 in figura 3.

Le strutture di accoppiamento 25A-25D, così come sopra
descritto, non risentono di eventuali variabilità di
processo dei rispettivi primi e secondi bracci di
15 collegamento 33, 34 della porzione rigida 26. Quindi, in
prima approssimazione, il movimento della seconda e della
quarta massa mobile 10, 110 non ha una componente di
quadratura parallela al primo asse X.

Di conseguenza, anche la prima e la seconda struttura
20 di rilevamento 146A, 146B non rilevano nessuna variazione di
capacità, in assenza della velocità angolare di imbardata
 Ω_z .

Il giroscopio MEMS 100 ha quindi un segnale di uscita
stabile relativo al rilevamento della velocità angolare di
25 imbardata Ω_z .

La figura 4 mostra una diversa forma di realizzazione del presente giroscopio MEMS, qui indicato da 200. Il giroscopio MEMS 200 è di tipo triassiale, ovvero è configurato per rilevare, oltre ad una velocità angolare di
5 imbardata Ω_z del giroscopio MEMS 200, anche una velocità angolare di rollio ("roll") Ω_y , attorno ad un asse parallelo al secondo asse Y, e di beccheggio ("pitch") Ω_x , attorno ad un asse parallelo al primo asse X. Il giroscopio MEMS 200 ha una struttura generale simile al giroscopio MEMS 100 di
10 figura 3; di conseguenza, elementi in comune sono indicati dagli stessi numeri di riferimento e non sono ulteriormente descritti.

Il giroscopio MEMS 200 ha una struttura sostanzialmente simmetrica rispetto a due assi centrali A, B passanti per un
15 centro O del giroscopio MEMS 200 e paralleli rispettivamente al primo e al secondo asse X, Y.

Anche il giroscopio MEMS 200 comprende il substrato 5 e quattro masse mobili sospese sul substrato 5, qui indicate come prima massa mobile 207, seconda massa mobile 210, terza
20 massa mobile 217 e quarta massa mobile 220.

La prima, la seconda, la terza e la quarta massa mobile 207, 210, 217, 220 sono anche qui accoppiate alla regione di ancoraggio centrale 20 e a rispettive prime, seconde, terze e quarte regioni di ancoraggio 13A, 13B, 113A, 113B da
25 rispettive prime, seconde, terze e quarte connessioni

elastiche 15A, 15B, 115A, 115B.

In questa forma di realizzazione, le prime, le seconde, le terze e le quarte connessioni elastiche 15A, 15B, 115A, 115B permettono il movimento rispettivamente della prima,
5 della seconda, della terza e della quarta massa mobile 207, 210, 217, 220 lungo il primo, il secondo e il terzo asse X, Y, Z.

Inoltre, il giroscopio MEMS 200 comprende anche qui quattro strutture di accoppiamento 25A-25D che accoppiano
10 reciprocamente la prima, la seconda, la terza e la quarta massa mobile 207, 210, 217, 220, come sopra descritto in riferimento al giroscopio MEMS 100 di figura 3.

In questa forma di realizzazione, la seconda e la quarta massa mobile 210, 220 delimitano ciascuna lateralmente una
15 cavità, indicata rispettivamente da 225 e 226. Le cavità 225, 226 si estendono per tutto lo spessore, lungo il terzo asse Z, della seconda e della quarta massa mobile 210, 220; ovvero, sono di tipo passante. In pratica, qui, la seconda e la quarta massa mobile 210, 220 hanno forma
20 approssimativamente a cornice.

Il giroscopio MEMS 200 comprende una prima e una seconda struttura di pilotaggio di tipo capacitivo, qui indicate da 245A, 245B, accoppiate rispettivamente alla prima e alla terza massa mobile 207, 217.

25 In questa forma di realizzazione, la prima e la seconda

struttura di pilotaggio 245A, 245B sono un condensatore di tipo interdigitato. In dettaglio, la prima e la seconda struttura di pilotaggio 245A, 245B comprendono ciascuna un rispettivo elettrodo fisso, fissato al substrato 5 e
5 comprendente una pluralità di sporgenze 251A, 251B, e un elettrodo mobile solidale alla prima e, rispettivamente, alla terza massa mobile 207, 217, ciascuno comprendente una rispettiva pluralità di sporgenze 253A, 253B.

In questa forma di realizzazione, il giroscopio MEMS
10 200 comprende una prima e una seconda struttura di rilevamento di imbardata 260A, 260B, una prima e una seconda struttura di rollio 263A, 263B e una prima e una seconda struttura di rilevamento di beccheggio 265A, 265B.

La prima e la seconda struttura di rilevamento di
15 imbardata 260A, 260B sono di tipo capacitivo e accoppiate rispettivamente alla seconda e alla quarta massa mobile 210, 220. In dettaglio, la prima e la seconda struttura di rilevamento di imbardata 260A, 260B comprendono rispettivamente primi e secondi elettrodi fissi di imbardata
20 270, 271 estendentisi parallelamente al secondo asse Y e disposti all'interno della prima cavità 225 della seconda massa mobile 210 e, rispettivamente, all'interno della seconda cavità 226 della quarta massa mobile 220.

La prima e la seconda struttura di rilevamento di
25 imbardata 260A, 260B comprendono inoltre rispettivamente

primi e secondi elettrodi mobili di imbardata 275, 276. I
primi elettrodi mobili di imbardata 275 si estendono dalla
seconda massa mobile 210, parallelamente al secondo asse Y,
verso l'interno della prima cavità 225, in modo da essere
5 interdigitati con i primi elettrodi fissi 270.

I secondi elettrodi mobili di imbardata 276 si estendono
dalla quarta massa mobile 220, parallelamente al secondo
asse Y, verso l'interno della seconda cavità 226, in modo da
essere interdigitati con i secondi elettrodi fissi 271.

10 La prima e la seconda struttura di rilevamento di rollio
263A, 263B accoppiano capacitivamente la prima e,
rispettivamente, la terza massa mobile 207, 217 al substrato
5.

In dettaglio, la prima e la seconda struttura di
15 rilevamento di rollio 263A, 263B comprendono ciascuna un
rispettivo elettrodo fisso 280, qui indicato da una linea
tratteggiata, fissato al substrato 5 e disposto a distanza
dalla prima e, rispettivamente, dalla terza massa mobile
207, 217 lungo il terzo asse Z.

20 In pratica, qui, l'elettrodo fisso 280 della prima
struttura di rilevamento di rollio 263A e l'elettrodo fisso
280 della seconda struttura di rilevamento di rollio 263B
sono disposti al di sotto della prima e, rispettivamente,
della terza massa mobile 207, 217, ad esse affacciati.

25 La prima e la seconda struttura di rilevamento di

baccheggio 265A, 265B accoppiano capacitivamente la seconda e, rispettivamente, la quarta massa mobile 210, 220 al substrato 5.

In dettaglio, la prima e la seconda struttura di rilevamento di baccheggio 265A, 265B comprendono ciascuna un rispettivo elettrodo fisso 284, qui indicato da una linea tratteggiata, fissato al substrato 5 e disposto a distanza dalla seconda e, rispettivamente, dalla quarta massa mobile 210, 220 lungo il terzo asse Z.

In pratica, qui, l'elettrodo fisso 284 della prima struttura di rilevamento di beccheggio 265A e l'elettrodo fisso 284 della seconda struttura di rilevamento di beccheggio 265B sono disposti al di sotto della seconda e, rispettivamente, della quarta massa mobile 210, 220, ad esse affacciati.

La prima e la seconda struttura di pilotaggio 245A, 245B e la prima e la seconda struttura di rilevamento di imbardata 260A, 260B possono avere forma diversa da quella mostrata in figura 4, ad esempio simile a quanto mostrato in figura 1 e/o in figura 3.

In aggiunta o in alternativa, la prima e la seconda struttura di rollio 263A, 263B e la prima e la seconda struttura di rilevamento di beccheggio 265A, 265B possono avere forma e disposizioni diverse da quella mostrata in figura 4.

Il giroscopio MEMS 200 comprende anche qui le piazzole di contatto di pilotaggio 60, accoppiate elettricamente alla prima e alla seconda struttura di pilotaggio 245A, 245B, e le piazzole di contatto di rilevamento 62, qui accoppiate elettricamente alla prima e alla seconda struttura di rilevamento di imbardata 260A, 260B, alla prima e alla seconda struttura di rilevamento di rollio 263A, 263B, e alla prima e alla seconda struttura di rilevamento di beccheggio 265A, 265B.

In uso, le strutture di accoppiamento 25A-25D fanno sì che il giroscopio MEMS 200 ha un basso errore di quadratura relativamente ad un rilevamento di imbardata, come sopra descritto.

Inoltre, le strutture di rilevamento di rollio 263A, 263B e di beccheggio 265A, 265B permettono di rilevare rispettivamente anche un movimento di rollio e un movimento di beccheggio.

Il movimento di rollio è causato da una velocità angolare di rollio Ω_y del giroscopio MEMS 200 intorno al secondo asse Y. Infatti, in presenza della velocità angolare di rollio Ω_y , la prima e la terza massa mobile 207, 217, in oscillazione lungo il primo asse X, risentono di una forza di Coriolis diretta lungo il terzo asse Z. La prima e la terza massa mobile 207, 217 sono libere di muoversi lungo il terzo asse Z e le strutture di rilevamento di rollio 263A,

263B rilevano la variazione di capacità associata a tale movimento.

Il movimento di beccheggio è causato da una velocità angolare Ω_x del giroscopio MEMS 200 intorno al primo asse X.

5 Infatti, in presenza della velocità angolare di beccheggio Ω_x , la seconda e la quarta massa mobile 210, 220, in oscillazione lungo il secondo asse Y, risentono di una forza di Coriolis diretta lungo il terzo asse Z. La seconda e la quarta massa mobile 210, 220 sono libere di muoversi lungo
10 il terzo asse Z e le strutture di rilevamento di beccheggio 265A, 265B rilevano la variazione di capacità associata a tale movimento.

Come mostrato in figura 5, il giroscopio MEMS 1, 100, 200 può essere incorporato in un apparecchio elettronico
15 350, ad esempio uno smartphone, un laptop, un dispositivo indossabile quale un orologio o bracciale, una camera digitale, ecc.

L'apparecchio elettronico 350 comprende un'unità di elaborazione 352 e una memoria 354, operativamente
20 accoppiate al giroscopio MEMS 1, 100, 200 tramite un bus 356.

Inoltre, l'apparecchio elettronico 350 può comprendere anche dispositivi di ingresso/uscita 360 quali una tastiera o uno schermo, un'interfaccia wireless 362 e/o una batteria
25 364, anch'essi accoppiati al bus 356.

Risulta infine chiaro che al giroscopio MEMS 1, 100, 200 qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle
5 rivendicazioni allegate.

Ad esempio, il presente giroscopio MEMS può anche essere adattato per operare come un giroscopio di tipo biassiale.

Inoltre, le strutture di rilevamento e di pilotaggio dei giroscopi MEMS 1, 100, 200 possono avere forma e numero
10 diversi da quelle mostrate. Il presente giroscopio MEMS può comprendere anche un numero maggiore di strutture di pilotaggio. Ad esempio, il giroscopio MEMS 1 può comprendere anche una struttura di pilotaggio accoppiata alla seconda massa mobile 10 e configurata per causare un movimento della
15 seconda massa mobile 10 lungo la direzione indotta di pilotaggio. Ad esempio, anche il giroscopio MEMS 100, 200 può comprendere una struttura di pilotaggio aggiuntiva accoppiata alla seconda e/o alla quarta massa mobile e configurata per causare un movimento della seconda e/o della
20 quarta massa mobile lungo la direzione indotta di pilotaggio.

Le strutture di pilotaggio e/o di rilevamento possono avere un meccanismo diverso di funzionamento, ad esempio di tipo piezoelettrico o elettromagnetico.

Ad esempio, le forme di realizzazione descritte possono
25 essere combinate per formare ulteriori soluzioni.

RIVENDICAZIONI

1. Giroscopio MEMS (1; 100; 200) comprendente:

un substrato (5);

una prima massa (7; 107; 207, 217) e una seconda massa
5 (10; 110; 210, 220), la prima massa e la seconda massa
essendo sospese sul substrato ed estendendosi, a riposo, in
un piano di estensione (XY) definente una prima direzione
(X) e una seconda direzione (Y) trasversale alla prima
direzione;

10 una struttura di pilotaggio (48; 145A, 145B; 245A, 245B)
accoppiata alla prima massa e configurata, in uso, per
causare un movimento della prima massa lungo la prima
direzione; e

una struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D)
15 estendentesi tra la prima massa e la seconda massa e
configurata per accoppiare il movimento della prima massa
lungo la prima direzione (X) con un movimento della seconda
massa lungo la seconda direzione (Y),

in cui la struttura elastica di accoppiamento comprende
20 una prima porzione (27, 28, 30, 31, 36, 37) avente una prima
rigidezza e una seconda porzione (26, 33, 34) avente una
seconda rigidezza, la seconda rigidezza essendo maggiore
della prima rigidezza.

2. Giroscopio MEMS secondo la rivendicazione
25 precedente, in cui la prima porzione (27, 28, 30, 31, 36,

37) della struttura elastica di accoppiamento si estende lungo la prima e la seconda direzione, e in cui la seconda porzione (26, 33, 34) si estende lungo una terza direzione, nel piano di estensione, trasversale alla prima e alla
5 seconda direzione.

3. Giroscopio MEMS secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui la struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D) è configurata per causare un movimento della seconda massa (10; 110; 210, 220) lungo la seconda direzione (Y), in
10 risposta al movimento della prima massa (7; 107; 207, 217) lungo la prima direzione (X).

4. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima direzione (X) è perpendicolare alla seconda direzione (Y).

15 5. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il rapporto tra la seconda rigidezza e la prima rigidezza è compreso tra 10 e 100.

6. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima porzione (27)
20 della struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D) comprende un primo braccio (30) accoppiato alla prima massa e un secondo braccio (36) accoppiato alla seconda massa, la seconda porzione (26) della struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D) estendendosi tra il primo e il
25 secondo braccio della prima porzione della struttura

elastica di accoppiamento.

7. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-5, in cui la prima porzione (28) della struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D) ha una
5 estremità di giunzione (40) ed è formata da un primo braccio (36) e da un secondo braccio (37), il primo e il secondo braccio estendendosi dall'estremità di giunzione ed essendo accoppiati alla seconda porzione (26) della struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D).

10 8. Giroscopio MEMS secondo la rivendicazione 6 o 7, in cui il primo braccio (30, 36) si estende lungo la prima direzione (X) e il secondo braccio (31, 37) si estende lungo la seconda direzione (Y).

9. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle
15 rivendicazioni 6-8, in cui la seconda porzione (26) della struttura elastica di accoppiamento (25; 25A-25D) comprende un primo e un secondo braccio di collegamento (33, 34) estendentisi lungo una terza direzione, nel piano di estensione, trasversale alla prima e alla seconda direzione,
20 il primo braccio di collegamento (33) estendendosi dal primo braccio (30, 36) della prima porzione (27, 28) della struttura elastica di accoppiamento, il secondo braccio di collegamento (34) estendendosi dal secondo braccio (31, 37) della prima porzione (27, 28) della struttura elastica di
25 accoppiamento.

10. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni precedenti, in cui la prima porzione della
struttura elastica di accoppiamento ha una dimensione che è
minore di una dimensione della seconda porzione della
5 struttura elastica di accoppiamento.

11. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni precedenti comprendente inoltre una struttura
di rilevamento (46; 146A, 146B; 260A, 260B) accoppiata alla
seconda massa (10; 110; 210, 220) e configurata, in uso, per
10 rilevare un movimento della seconda massa lungo la prima
direzione (X), in presenza di una rotazione (Ω_z) del
giroscopio MEMS intorno ad una quarta direzione (Z)
perpendicolare alla prima e alla seconda direzione (X, Y).

12. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle
15 rivendicazioni precedenti comprendente inoltre una prima
(13A; 113A, 20) e una seconda (13B; 113B, 20) regione di
ancoraggio fissate al substrato (5) e una prima (15A; 115A)
e una seconda (15B; 115B) connessione elastica, la prima
connessione elastica (15A; 115A) estendendosi tra la prima
20 massa (7; 107; 207, 217) e la prima regione di ancoraggio
(13A; 113A, 20), la seconda connessione elastica (15B; 115B)
estendendosi tra la seconda massa e la seconda regione di
ancoraggio (13B; 113B, 20).

13. Giroscopio MEMS (100; 200) secondo una qualsiasi
25 delle rivendicazioni precedenti comprendente inoltre una

terza massa (107; 217) e una quarta massa (110; 220), la terza e la quarta massa essendo sospese sul substrato, in cui la struttura elastica di accoppiamento è una prima struttura elastica di accoppiamento (25A), il giroscopio
5 MEMS comprendendo inoltre una seconda, una terza e una quarta struttura elastica di accoppiamento (25B, 25C, 25D), in cui la seconda struttura elastica di accoppiamento si estende tra la prima massa e la quarta massa, la terza struttura elastica di accoppiamento si estende tra la quarta massa e
10 la terza massa e la quarta struttura elastica di accoppiamento si estende tra la seconda massa e la terza massa.

14. Giroscopio MEMS secondo la rivendicazione precedente, in cui il giroscopio MEMS ha un primo e un
15 secondo asse di simmetria (A, B) paralleli rispettivamente alla prima e alla seconda direzione, in cui la prima massa è simmetrica alla terza massa rispetto al secondo asse di simmetria, la seconda massa è simmetrica alla quarta massa rispetto al primo asse di simmetria, la prima struttura
20 elastica di accoppiamento è simmetrica alla seconda struttura elastica di accoppiamento rispetto al secondo asse di simmetria e alla quarta struttura elastica di accoppiamento rispetto al primo asse di simmetria, e la terza struttura elastica di accoppiamento è simmetrica alla
25 seconda struttura elastica di accoppiamento rispetto al

primo asse di simmetria e alla quarta struttura elastica di accoppiamento rispetto al secondo asse di simmetria.

15. Giroscopio MEMS (100; 200) secondo la rivendicazione 13 o 14 comprendente una seconda struttura di pilotaggio (145B; 245B) accoppiata alla terza massa e configurata, in uso, per causare un movimento della terza massa lungo la prima direzione, e una seconda struttura di rilevamento accoppiata alla quarta massa e configurata, in uso, per rilevare un movimento della quarta massa lungo la prima direzione (X), in presenza di una rotazione (Ω_z) del giroscopio MEMS intorno ad una quarta direzione (Z) perpendicolare alla prima e alla seconda direzione (X, Y).

16. Giroscopio MEMS (200) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 13-15, comprendente inoltre una struttura di rilevamento di rollio (263A, 263B) e/o una struttura di rilevamento di beccheggio (265A, 265B), in cui la struttura di rilevamento di rollio è configurata per rilevare un movimento della prima e/o della terza massa lungo una quarta direzione (Z) perpendicolare alla prima e alla seconda direzione (X, Y), in presenza di una rotazione (Ω_y) del giroscopio MEMS intorno alla seconda direzione (Y), e in cui la struttura di rilevamento di beccheggio è configurata per rilevare un movimento della seconda e/o della quarta massa lungo la quarta direzione, in presenza di una rotazione (Ω_x) del giroscopio MEMS intorno alla prima direzione (X).

17. Giroscopio MEMS secondo la rivendicazione 11, 15 o 16, in cui la struttura di rilevamento è di tipo capacitivo.

18. Giroscopio MEMS secondo una qualsiasi delle
5 rivendicazioni precedenti, in cui la struttura di pilotaggio è di tipo capacitivo.

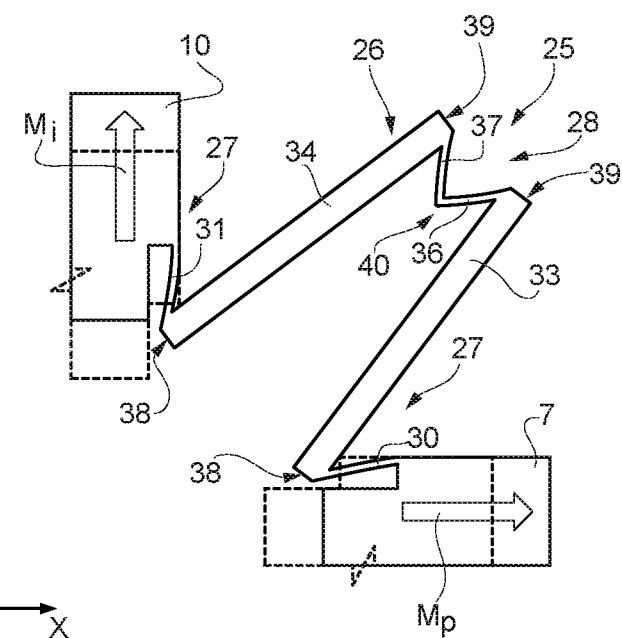
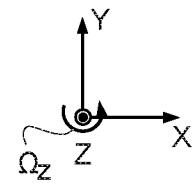


FIG. 2

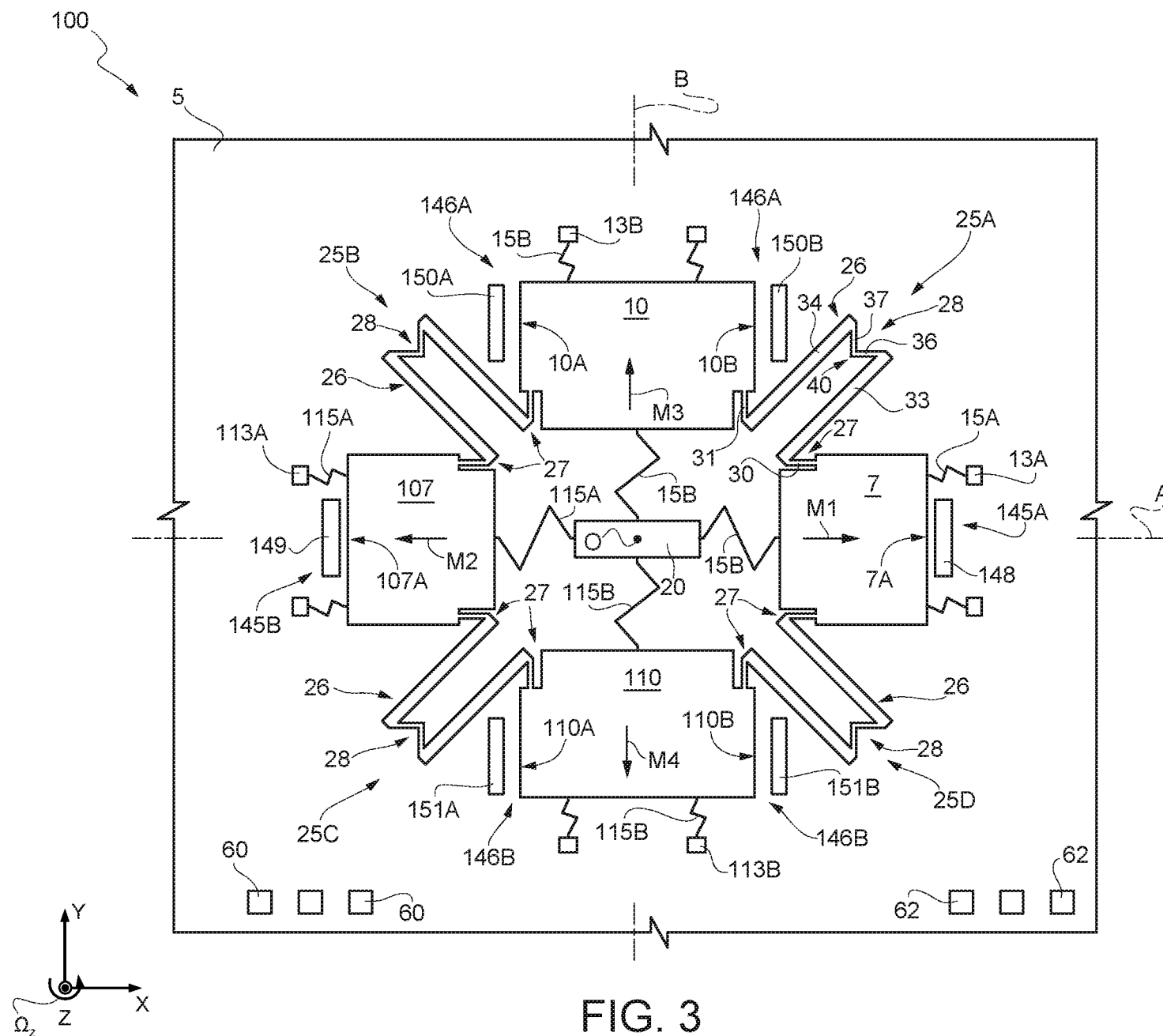


FIG. 3

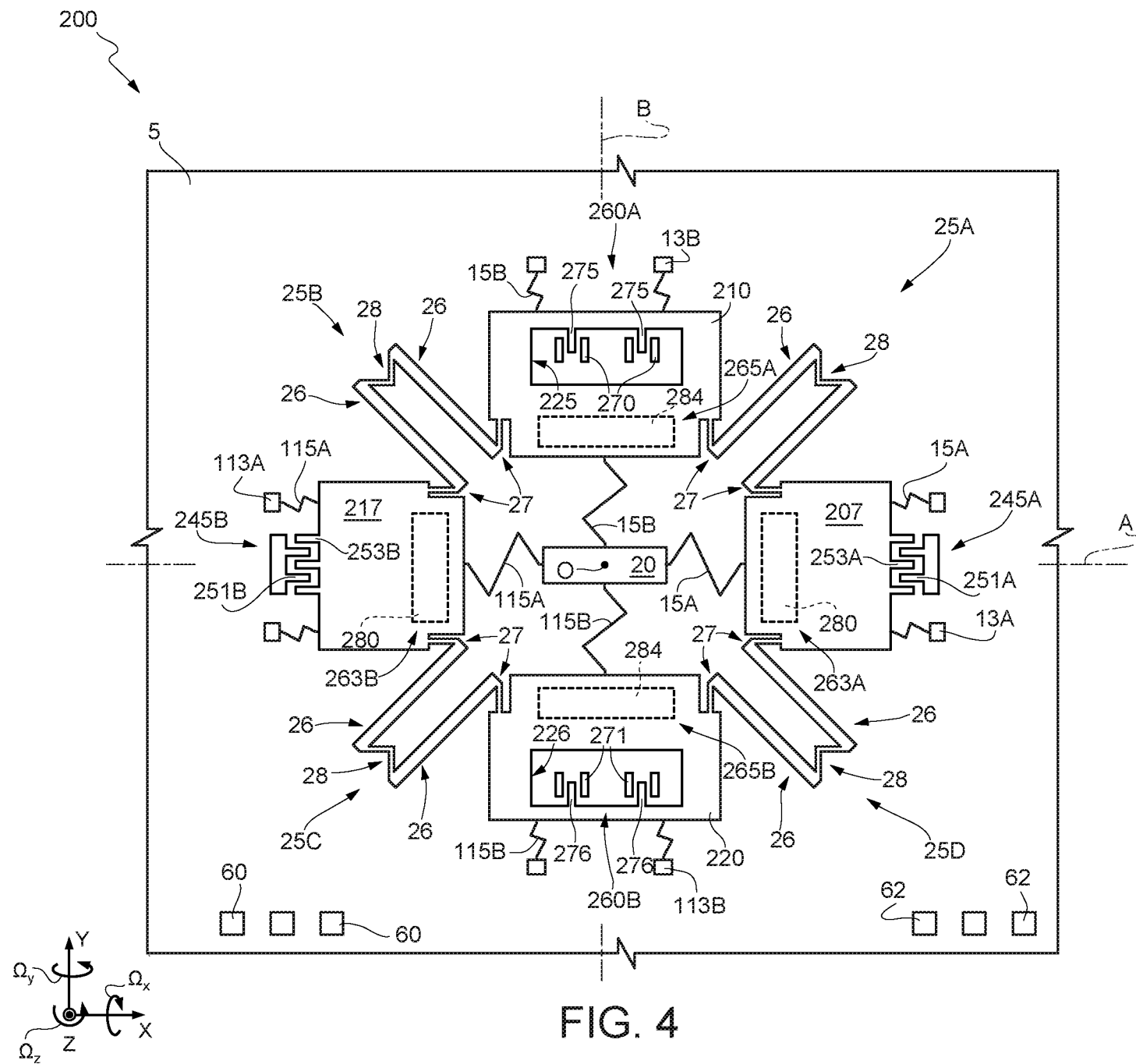


FIG. 4

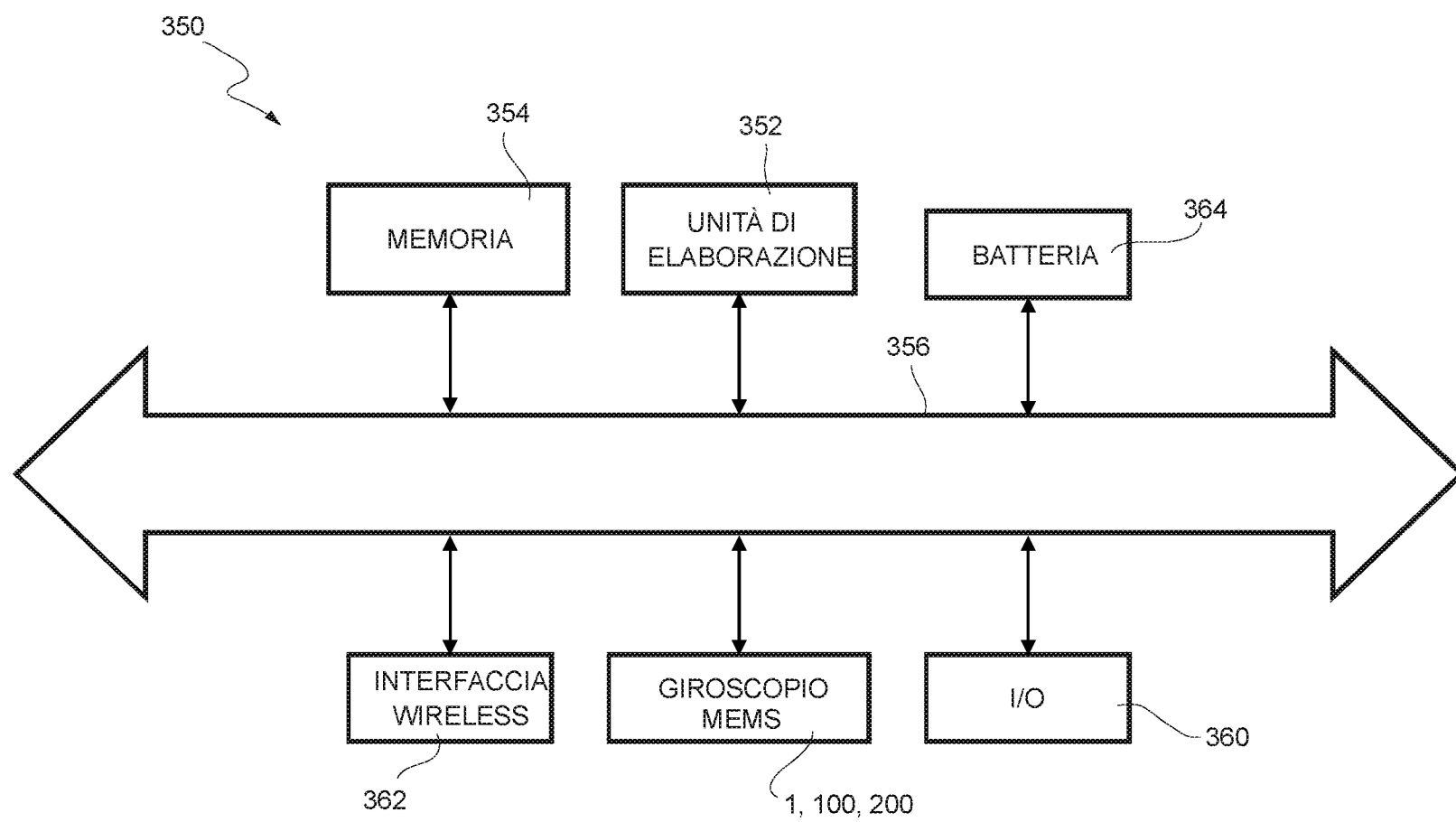


FIG. 5