

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902090472A1

Publication Date

20140409

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

RILEVATORE DI ONDE GRAVITAZIONALI E METODO DI RILEVAZIONE DI
ONDE GRAVITAZIONALI

RILEVATORE DI ONDE GRAVITAZIONALI E METODO DI RILEVAZIONE DI ONDE GRAVITAZIONALI

CAMPO TECNICO

La presente invenzione concerne i sensori elettronici e più in particolare un
5 rilevatore a semiconduttore di onde gravitazionali che sfrutta l'effetto Casimir, un array di una pluralità di questi rilevatori e un metodo di rilevazione di onde gravitazionali.

BACKGROUND

I rilevatori di onde gravitazionali sono stati sviluppati sin dal 1960. Sforzi di
ricerca lunghi e onerosi hanno prodotto enormi miglioramenti nella sensibilità dei
10 rilevatori. Osservazioni astronomiche di sistemi di pulsar binari hanno confermato l'esistenza di radiazione gravitazionale. La rilevazione diretta avverrà una volta che i rilevatori progettati avranno raggiunto gli obiettivi di sensibilità.

Le onde gravitazionali sono vibrazioni dello spazio-tempo che si propagano
attraverso lo spazio alla velocità della luce e dovrebbero essere registrate come
15 minuscole vibrazioni di masse accuratamente isolate. La loro rilevazione è essenzialmente una scienza sperimentale, che consiste nello sviluppo delle tecniche di misura necessarie ultra-sensibili. Mentre le onde gravitazionali possono essere considerate come onde classiche, i sistemi di misura devono essere studiati con la meccanica quantistica poiché i segnali attesi generalmente sono prossimi ai limiti fissati
20 dal principio di indeterminazione.

Da che Einstein predisse le onde gravitazionali, un numero sempre crescente di
fisici di tutto il mondo ha cominciato a sviluppare diversi tipi di antenne alla ricerca di
onde gravitazionali. Lo sviluppo di rilevatori di onde gravitazionali fu per primo
esplorato da Joseph Weber negli anni '60. Egli usò una sbarra di alluminio massiccia
25 come antenna. Dopo il suo lavoro, ricercatori di tutto il mondo hanno costruito diversi tipi di rilevatori di onde gravitazionali.

Un rilevatore di un'onda gravitazionale può essere costruito a partire da una
coppia di masse che possono muoversi "liberamente" l'una rispetto all'altra. Esse
possono essere sospese come dei pendoli, cosicché in direzione orizzontale esse
30 possono essere trattate come masse quasi libere sopra la frequenza di risonanza del pendolo. Una coppia di masse collegate da una molla può anche essere utilizzata per

formare un rilevatore risonante di onde gravitazionali.

Rilevatori a massa risonante sono relativamente complessi da realizzare e devono essere gestiti molto attentamente perché l'effetto meccanico atteso delle onde gravitazionali è molto piccolo. Per avere effetti rilevabili, le masse di test dei rilevatori a
5 massa risonante sono tipicamente fatte in modo da essere più pesanti di 1 tonnellata e da essere portate intatte a temperature criogeniche per ridurre il rumore termico e permettere l'utilizzo di trasduttori a superconduttore di alta sensibilità.

SOMMARIO

Diversamente dal comune filone di ricerca, la richiedente ha eseguito studi
10 approfonditi per investigare la possibilità di rilevare effetti misurabili di onde gravitazionali usando rilevatori che hanno una massa molto piccola. Questo potrebbe apparire impossibile a prima vista perché è comunemente considerato vero che sono necessarie grandi masse per osservare effetti di onde gravitazionali, ma una teoria innovativa che sarà illustrata qui di seguito induce a ritenere che questa affermazione è
15 falsa. Più precisamente, questa nuova teoria predice che le onde gravitazionali possono indurre fluttuazioni osservabili della forza di Casimir nei sistemi microelettromeccanici (MEMS).

La richiedente ha affrontato il problema della depressione statica e del blocco di membrane in sistemi micro elettromeccanici, comunemente attribuiti al ben noto effetto
20 Casimir tra la membrana oscillante e il substrato al di sopra del quale essa è sospesa. Per realizzare MEMS con membrane che possono vibrare, è pratica comune controbilanciare la forza di attrazione di Casimir con una forza elastica in modo da far sì che la membrana del MEMS oscilli in maniera stabile attorno ad un punto di equilibrio. Prendendo in considerazione teorie proposte in letteratura riguardo la forza di Casimir e
25 la gravitazione non-newtoniana (M. Bordaag, U. Mohideen, V.M. Mostepanenko, "New Developments in the Casimir Effect", [arXiv:quant-ph/0106045v1](https://arxiv.org/abs/quant-ph/0106045v1); R. Onofrio, "Casimir forces and non-Newtonian gravitation", New Journal of Physics 8 (2006) 237), la richiedente ha sviluppato una teoria innovativa di interazione tra forze di Casimir e onde gravitazionali che predice variazioni osservabili delle prime causate dalle seconde.
30 Secondo questa teoria innovativa, è possibile realizzare un rilevatore di onde gravitazionali che sfrutta l'effetto Casimir, anche se si fa esperienza dell'effetto Casimir

solo in MEMS, cioè in dispositivi che hanno una massa piccolissima.

Secondo una forma di realizzazione, un innovativo rilevatore a superconduttore di onde gravitazionali di una prima frequenza comprende:

un oscillatore integrato avente un corpo oscillante ricoperto di metallo sospeso su
5 un substrato semiconduttore ricoperto di metallo in modo da formare un condensatore piano con il substrato semiconduttore e in modo tale da essere soggetto ad una forza di attrazione di Casimir verso il substrato semiconduttore, l'oscillatore integrato essendo configurato per esercitare una forza elastica per allontanare il corpo oscillante dalle
10 substrato in modo da controbilanciare la forza di attrazione di Casimir rendendo il corpo oscillante libero di oscillare in maniera stabile attorno ad una posizione di equilibrio con una frequenza di risonanza armonica principale sostanzialmente uguale alla prima frequenza;

un sensore di spostamento funzionalmente accoppiato con il substrato e con il corpo oscillante, configurato per rilevare oscillazioni del corpo oscillante e per generare
15 corrispondenti segnali di rilevazione;

un filtro passa-banda sintonizzato sulla frequenza di risonanza armonica principale, configurato per generare segnali replica passa-banda dei segnali di rilevazione;

un package a tenuta del rilevatore a semiconduttore configurato per mantenere il
20 vuoto nello spazio tra il corpo oscillante e il substrato semiconduttore.

Sensori capacitivi che hanno una sensibilità inferiore al femtofarad possono essere convenientemente utilizzati come sensori di spostamento del corpo oscillante.

Una pluralità di rilevatori a semiconduttore di onde gravitazionali secondo questa divulgazione, eventualmente ma non necessariamente sintonizzati a diverse frequenze di
25 risonanza armonica principale, possono essere integrati su uno stesso substrato per formare un array di rilevatori singolarmente indirizzabili e leggibili di onde gravitazionali di diverse frequenze.

È inoltre divulgato un metodo di rilevazione di onde gravitazionali.

Le rivendicazioni come depositate sono parte integrante di questa descrizione e
30 sono qui incorporate per espresso riferimento.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Le figure 1a e 1b mostrano schematicamente un fronte d'onda di un'onda gravitazionale che passa tra le armature di un condensatore ad armature parallele.

Le figure 2 e 3 illustrano rilevatori a semiconduttore di onde gravitazionali secondo questa divulgazione.

5 Le figure 4 e 5 illustrano array di rilevatori a semiconduttore di onde gravitazionali secondo questa divulgazione.

DESCRIZIONE DI FORME DI REALIZZAZIONE ESEMPLIFICATIVE

La forza di Casimir tra due armature finite, parallele, perfettamente conduttrici è data da

$$10 \quad F(d) = -\frac{K_c}{d^4} A \quad (1)$$

in cui $K = \pi^2 \hbar c / 240 = 1.3 \times 10^{-27} \text{ N m}^2$, e $\hbar$ è la costante di Planck e c è la velocità della luce nel vuoto, e A è la superficie delle armature. Questa forza attrattiva nasce perché le armature modificano la densità di energia del vuoto tra le armature rispetto alla densità di energia di campo libero. Anche se la forza fu predetta da Casimir del
 15 1948, essa è così piccola, anche a distanze di alcuni decimi di micrometro, che una misura quantitativa non è stata fatta fino al 1998, quando un microscopio a forza atomica (AFM) fu utilizzato per misurare la forza tra una sfera e una piastra con un'accuratezza dell'1% (M. Bordaag, U. Mohideen, V.M. Mostepanenko, "New Developments in the Casimir Effect", [arXiv:quant-ph/0106045v1](https://arxiv.org/abs/quant-ph/0106045v1)). La difficoltà di
 20 garantire il parallelismo tra le armature con separazioni sub-micrometriche ha limitato l'accuratezza delle misure di forza tra due piastre di circa il 15% (R. Onofrio, "Casimir forces and non-Newtonian gravitation", New Journal of Physics 8 (2006) 237).

L'interpretazione più semplice (e più affascinante) di questo tipo di forza viene dall'esistenza di particelle virtuali come predette dal principio di indeterminazione di
 25 Heisenberg:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (2)$$

La condizioni al contorno rappresentata dalle armature, limita il numero di lunghezze d'onda permesse; diversamente, al di fuori delle armature non c'è alcuna limitazione. Ciò causa una pressione netta sulle armature che agisce in modo da ridurre

la distanza d :

$$P_c = \frac{\pi^2}{240} \cdot \hbar c \cdot \frac{1}{d^4} \quad (3)$$

nel seguito si tratta con particelle virtuali che hanno (per mantenere la loro virtualità) un tempo caratteristico o tempo di decadimento:

$$5 \quad \tau \approx \frac{\hbar}{\Delta E} \quad (4)$$

per particelle dotate di massa, dall'equivalenza massa-energia si ottiene

$$\tau \approx \frac{\hbar}{mc^2} \quad (5)$$

per particelle senza massa, dalla relazione di Planck ($E = pc = \hbar\omega$),

$$\tau \approx \frac{1}{\omega} \quad (6)$$

10 In questo tempo τ , la massima distanza coperta è $c \cdot \tau$ e l'energia che le particelle trasportano moltiplicata per questa distanza è

$$E \cdot c\tau = \hbar c \text{ [J x m]} \quad (7)$$

Si è interessati all'energia caratteristica del sistema, che è

$$C = \frac{\hbar c}{d} \quad (8)$$

15 Questo è il quanto di Casimir che caratterizza il sistema di armature parallele ad una distanza d .

Si può ora scrivere la pressione che agisce sulle armature come una conseguenza del numero di quanti di energia di Casimir negativa (il risultato è un'attrazione tra le armature):

$$20 \quad P_c = \frac{\pi^2}{240} \cdot \frac{\hbar c}{d} \cdot \frac{1}{d^3} \quad (9)$$

un'altra interpretazione è: l'effetto di Casimir è un pozzo di energia!

La domanda non banale è: quanti quanti di Casimir ci sono nel sistema considerato con armature parallele e quadrate ($L \times L$)? Per rispondere a questa domanda, bisogna calcolare l'energia del sistema:

$$25 \quad E_c = -L^2 \frac{K}{3d^3} = -L^2 \frac{\pi^2}{720} \cdot \hbar c \cdot \frac{1}{d^3} \quad (10)$$

si ha quindi:

$$N = \frac{E_c}{C} = \frac{\pi^2}{720} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^2 \quad (11)$$

se la lunghezza e la distanza del sistema sono $L=100 \mu\text{m}$ e $d=1\mu\text{m}$, rispettivamente, allora $N \sim 100$. Maggiore è la distanza d , minore è il numero N di quanti di Casimir.

Dalla (8) e dalla (11) si può scrivere la (10) come:

$$E_c = N(d) \cdot C(d) \quad (12)$$

Si immagini di scrivere l'equazione di indeterminazione (2) usando due variabili coniugate (spazio e momento):

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (13)$$

È possibile vedere le armature come una scatola in cui d è la distanza tra le due facce. In questo caso la (13) diventa:

$$d \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{2d}$$

$$E = pc$$

$$\Delta E = \frac{\hbar}{2d} c \quad (14)$$

e dalla (2)

$$\Delta \tau \geq \frac{d}{c} \quad (15)$$

Se $d=1\mu\text{m}$, $\tau = 10^{-13} \text{ s}$.

Il tempo di vita (15) è anche il tempo durante il quale un'onda gravitazionale attraversa il sistema ortogonalmente alle armature. Secondo la nuova teoria qui esposta, quando l'onda gravitazionale è tra le armature del sistema, bisogna considerare un'altra condizione al contorno perché il fronte d'onda può essere considerato come un'altra armatura, come mostrato in figura 1.

Dalla (14) si ha:

$$\Delta E = \frac{\hbar}{2x} c$$

$$\Delta E = \frac{\hbar}{2(d-x)} c$$

dall'equazione (15), per entrambe le regioni, è possibile affermare che

$$\tau' \geq \frac{x}{c}$$

5 e

$$\tau'' \geq \frac{d-x}{c}$$

ciò significa che i tempi di vita delle particelle virtuali sono minori di quelli prima dell'attraversamento delle onde:

$$\tau' \leq \tau \quad \tau'' \leq \tau$$

10 Se si considera:

$$x = \frac{d}{2}$$

si ha

$$\tau' = \tau'' \geq \frac{1}{2} \tau$$

come conseguenza di questa relazione, le particelle virtuali daranno un contributo
15 ridotto per bilanciare la pressione esterna, causando un aumento della forza di Casimir
che, a sua volta, causerà un aumento della capacità del MEMS. Infatti, quando non c'è
alcun fronte d'onda di un'onda gravitazionale tra le armature

$$P_c = \frac{\pi^2}{240} \cdot \frac{\hbar c}{d} \cdot \frac{1}{d^3}$$

Quando un fronte d'onda di un'onda gravitazionale è tra le armature, si ha

$$20 \quad P'_c = \frac{\pi^2}{240} \cdot \frac{\hbar c}{x} \cdot \frac{1}{x^3} > P_c$$

e

$$P_c^* = \frac{\pi^2}{240} \cdot \frac{\hbar c}{d-x} \cdot \frac{1}{(d-x)^3} > P_c$$

Quindi, secondo questa teoria, quando un fronte d'onda di un'onda gravitazionale

attraversa il MEMS, essa modifica la pressione totale e quindi la capacità dell'intero sistema.

Per questa ragione ci si attende che il funzionamento di un oscillatore che sfrutti l'effetto Casimir possa essere influenzato dalla propagazione attraverso di esso di onde gravitazionali. Una variazione della pressione sulle armature causa uno spostamento del corpo oscillante dell'oscillatore e quindi una variazione della capacità, che può essere rilevata usando un sensore per rilevare lo spostamento del corpo oscillante dell'oscillatore.

Sensori adatti a rilevare spostamento possono essere per esempio sensori piezoelettrici o sensori laser.

Secondo una forma di realizzazione preferita, essi sono sensori capacitivi. Sensori capacitivi sono preferiti perché oggi in numerosi esperimenti si usano sensori con una risoluzione minore di 1 femtofarad. Tanto per citare un esempio, l'articolo di J. Wei, C. Yue, Z.L. Chen, Z.W. Liu and P.M. Sarro, "A silicon MEMS structure for characterization of femto-farad-level capacitive sensors with lock-in architecture", J. Micromech. Microeng. 20 (2010) 064019, divulga una tecnica per testare sensori che hanno una risoluzione del femtofarad. Considerando che la capacità di due condensatori a piastre parallele è inversamente proporzionale alla distanza di separazione d tra le piastre e che la distanza tra due armature parallele in un sistema MEMS come descritto sopra è generalmente molto piccola, ci si aspetta che una riduzione di questa distanza possa essere rilevata da un sensore di capacità che ha una risoluzione del femtofarad o sub-femtofarad.

Sostanzialmente, l'oscillatore integrato è un oscillatore anarmonico di Casimir, mantenuto sotto vuoto, connesso ad un sensore di spostamento e a un filtro passa-banda. Quando un'onda gravitazionale, con una frequenza che coincide con la frequenza di risonanza armonica principale dell'oscillatore, passa attraverso le armature del condensatore costituito dal corpo oscillante e dal substrato, l'oscillatore risuona e questo è un primo effetto che può essere rilevato.

Un secondo effetto che può essere rilevato è uno spostamento della frequenza di risonanza armonica principale. Quando un oscillatore di Casimir è soggetto ad una forza pulsante, la sua frequenza di risonanza armonica principale varia rispetto alla frequenza

di risonanza armonica principale a riposo (quando nessun fronte d'onda gravitazionale è presente tra il corpo oscillante e il substrato). Misurando questo spostamento della frequenza di risonanza, è possibile rilevare onde gravitazionali.

Un esempio di un rilevatore di onde gravitazionali realizzato con una tecnologia MEMS collegato ad un misuratore di capacità è mostrato in figura 2. Esso è sostanzialmente composto da un oscillatore integrato che in funzione della regione di funzionamento di Casimir, un sensore di spostamento per rilevare spostamenti del corpo oscillante dell'oscillatore e un filtro passa-banda sintonizzato alla frequenza di risonanza armonica principale del corpo oscillante. Un package a tenuta del rilevatore di onde gravitazionali mantiene il vuoto nello spazio tra il corpo oscillante e il substrato semiconduttore, in modo da rendere il corpo oscillante libero di oscillare senza dover comprimere/espandere aria eventualmente intrappolata tra il corpo oscillante e il substrato.

L'oscillatore MEMS sarà convenientemente progettato per rendere il corpo oscillante libero di oscillare sotto l'effetto di onde gravitazionali senza incorrere nel blocco. Per avere variazioni di capacità quanto più grandi è possibile, la distanza di separazione d tra le armature sarà quanto più piccola è possibile. Il tecnico esperto è in grado di determinare un valore di distanza di separazione d in modo da avere oscillazioni stabili, a seconda dei materiali utilizzati per il corpo oscillante e delle forze che possono agire su di esso.

Secondo una forma di realizzazione, l'oscillatore è realizzato come illustrato schematicamente in figura 3, con una trave di silicio a sbalzo che ha una lunghezza L sospesa su un substrato ad una distanza d tale da essere soggetta ad una forza di Casimir non trascurabile. La trave a sbalzo è connessa ad un sensore piezoelettrico configurato per rilevare vibrazioni della trave. Regolando la lunghezza L della trave, è possibile fissare la frequenza di risonanza armonica principale di questo oscillatore.

Una pluralità di rilevatori singolarmente leggibili le onde gravitazionali può essere integrata su uno stesso substrato semiconduttore per realizzare un array di rilevatori a semiconduttore, come schematicamente illustrato in figura 5 facendo riferimento alla forma di realizzazione di figura 2.

Secondo una forma di realizzazione, un array di questa divulgazione comprende

rilevatori adatti a risuonare a diverse frequenze di risonanza armonica principale. Un esempio di un tale array, realizzato facendo riferimento alla forma di realizzazione di figura 3, è mostrato in figura 4. Un'onda gravitazionale non indurrà una risonanza in tutti gli risuonatori dell'array, ma solo nei risuonatori che sono sintonizzati alla
5 frequenza dell'onda gravitazionale. Quindi, confrontando l'ampiezza di oscillazione di diversi rilevatori dell'array è possibile discriminare oscillazioni dovute a vibrazione meccanica del substrato (che agiscono indipendentemente su tutti i rilevatori) da oscillazioni causate da onde gravitazionali (che agiscono solo sui rilevatori sintonizzati).

RIVENDICAZIONI

1. Rilevatore a semiconduttore di onde gravitazionali di una prima frequenza, comprendente:

5 un oscillatore integrato avente un corpo oscillante ricoperto di metallo sospeso su un substrato semiconduttore ricoperto di metallo in modo da formare un condensatore piano con il substrato semiconduttore e in modo da essere soggetto alla forza di attrazione di Casimir verso il substrato semiconduttore, l'oscillatore integrato essendo configurato per esercitare una forza elastica per distanziare il corpo oscillante
10 dal substrato in modo da controbilanciare la forza di attrazione di Casimir rendendo detto corpo oscillante libero di oscillare in maniera stabile attorno ad una posizione di equilibrio con una frequenza di risonanza armonica principale sostanzialmente uguale a detta prima frequenza;

un sensore di spostamento funzionalmente accoppiato con detto substrato e con
15 detto corpo oscillante, configurato per rilevare oscillazioni di detto corpo oscillante e per generare corrispondenti segnali di rilevazione;

un filtro passa-banda sintonizzato su detta frequenza di risonanza armonica principale, configurato per generare segnali replica passa-banda di detti segnali di rilevazione;

20 un package a tenuta di detto rilevatore a semiconduttore configurato per mantenere il vuoto nello spazio tra detto corpo oscillante e il substrato semiconduttore.

2. Rilevatore a semiconduttore della rivendicazione 1, in cui detto sensore di spostamento è un sensore capacitivo di spostamento configurato per generare detti segnali di rilevazione che rappresentano una capacità determinata dal corpo oscillante e
25 dal substrato.

3. Rilevatore a semiconduttore della rivendicazione 2, in cui detto sensore di spostamento capacitivo ha una risoluzione inferiore al femtofarad.

4. Rilevatore a semiconduttore della rivendicazione 1, in cui detto sensore è un sensore piezoelettrico configurato per generare detti segnali di rilevazione che
30 rappresentano una posizione del corpo oscillante.

5. Array di rilevatori a semiconduttore di onde gravitazionali,

comprendente:

una pluralità di rilevatori a semiconduttore singolarmente indirizzabili secondo una delle rivendicazioni da 1 a 4, integrati su uno stesso substrato;

5 un circuito di selezione e lettura accoppiato a detti rilevatori a semiconduttore, configurati per selezionare e leggere i segnali replica passa-banda generati da uno qualsiasi di detti rilevatori a semiconduttore.

6. Array della rivendicazione 5, comprendente rilevatori a semiconduttore sintonizzati a diverse frequenze di risonanza armonica principale.

10 7. Metodo di rilevazione di onde gravitazionali, comprendente le operazioni di:

fornire e installare un rilevatore a semiconduttore di una delle rivendicazioni da 1 a 4;

confrontare con una soglia l'ampiezza dei segnali replica passa-banda generati dal rilevatore a semiconduttore;

15 generare segnali di uscita per segnalare che un'onda gravitazionale è stata rilevata quando detta soglia viene superata.

8. Metodo di rilevazione di onde gravitazionali, comprendente le operazioni di:

20 fornire due rilevatori a semiconduttore identici secondo una delle rivendicazioni da 1 a 4, e orientarli lungo due diverse direzioni;

misurare la frequenza di risonanza armonica principale di ciascuno di detti rilevatori a semiconduttore;

confrontare con una soglia il valore assoluto della differenza tra dette frequenze di risonanza armonica principale dei rilevatori a semiconduttore;

25 generare segnali di uscita per segnalare che un'onda gravitazionale è stata rilevata quando detta soglia viene superata.

CLAIMS

1. A semiconductor detector of gravitational waves of a first frequency, comprising:

5 an integrated oscillator having a metal coated oscillating member suspended over a metal coated semiconductor substrate so as to form a planar capacitor with the semiconductor substrate and so as to be subjected to a Casimir attraction force towards the semiconductor substrate, the integrated oscillator being configured to exert an elastic force for spacing the oscillating member away from the substrate such to counterbalance
10 the Casimir attraction force making said oscillating member free to oscillate in a stable manner around an equilibrium position with a main harmonic resonance frequency substantially equal to said first frequency;

a displacement sensor functionally coupled with said substrate and with said oscillating member, configured to sense oscillations of said oscillating member and to
15 generate corresponding sense signals;

a pass-band filter tuned on said main harmonic resonance frequency, configured to generate band-pass replica signals of said sense signals;

an airtight package of said semiconductor detector configured to keep vacuum in the space between said oscillating member and the semiconductor substrate.

20 2. The semiconductor detector of claim 1, wherein said displacement sensor is a capacitive displacement sensor configured to generate said sense signals representing a capacitance determined by the oscillating member and the substrate.

3. The semiconductor detector of claim 2, wherein said capacitive displacement sensor has a sub-femtofarad resolution.

25 4. The semiconductor detector of claim 1, wherein said sensor is a piezoelectric sensor configured to generate said sense signals representing a position of the oscillating member.

5. An array of semiconductor detectors of gravitational waves, comprising:
a plurality of singularly addressable semiconductor detectors according to one of
30 claims from 1 to 4, integrated on a same substrate;

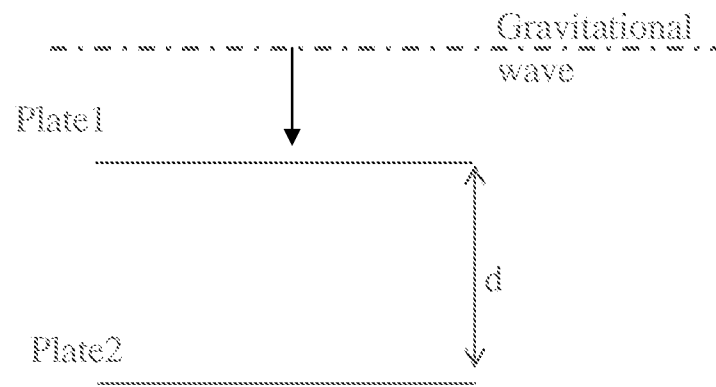
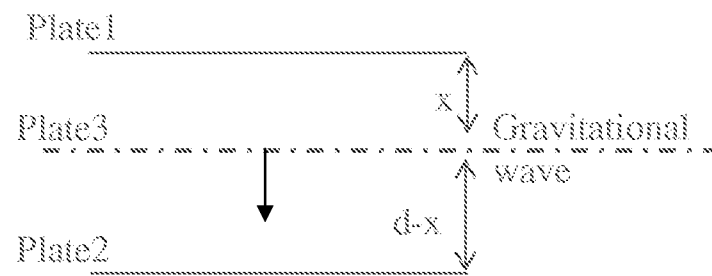
a selection and read circuit coupled to said semiconductor detectors, configured

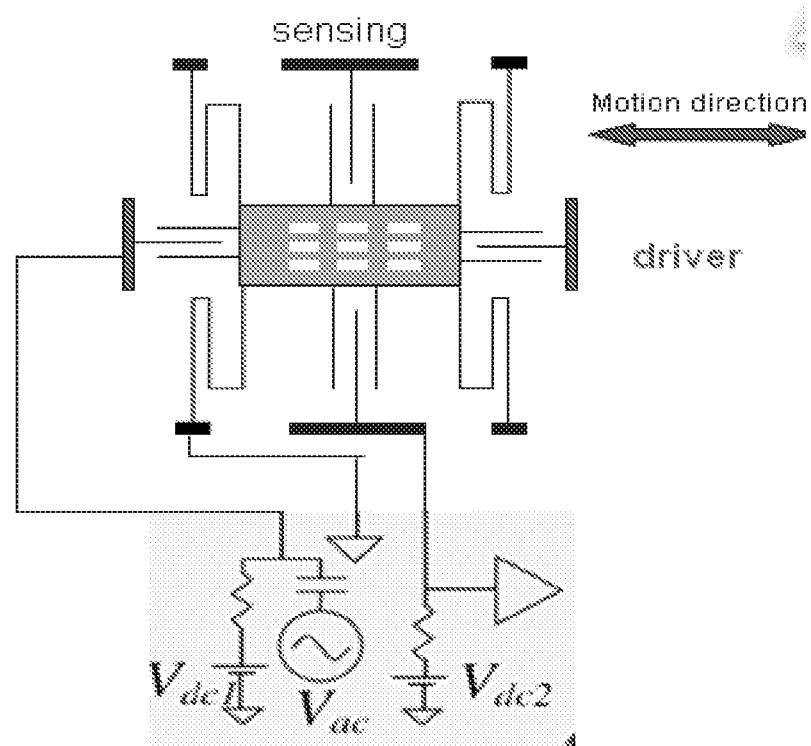
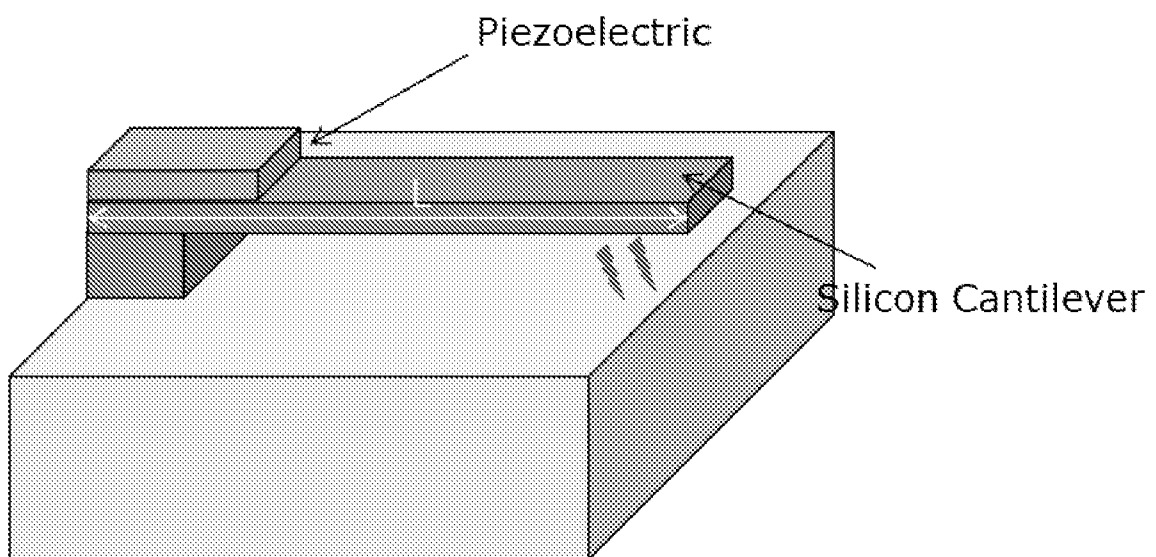
to select and read the pass-band replica signals generated by any of said semiconductor detectors.

6. The array of claim 5, comprising semiconductor detectors tuned at different main harmonic resonance frequencies.

5 7. A method of detecting gravitational waves, comprising the steps of:
providing and installing a semiconductor detector of one of claim from 1 to 4;
comparing with a threshold the amplitude of the band-pass replica signals
generated by the semiconductor detector;
generating output signals for flagging that a gravitational wave has been
10 detected when said threshold is exceeded.

8. A method of detecting gravitational waves, comprising the steps of:
providing two identical semiconductor detectors of any of claim from 1 to 4, and
orienting them along two different directions;
measuring the main harmonic resonance frequency of each of said
15 semiconductor detectors;
comparing with a threshold the absolute value of the difference between said
main harmonic resonance frequencies of the semiconductor detectors;
generating output signals for flagging that a gravitational wave has been
detected when said threshold is exceeded.

**FIG. 1a****FIG. 1b**

**FIG. 2****FIG. 3**

Casimir Cantilevers array

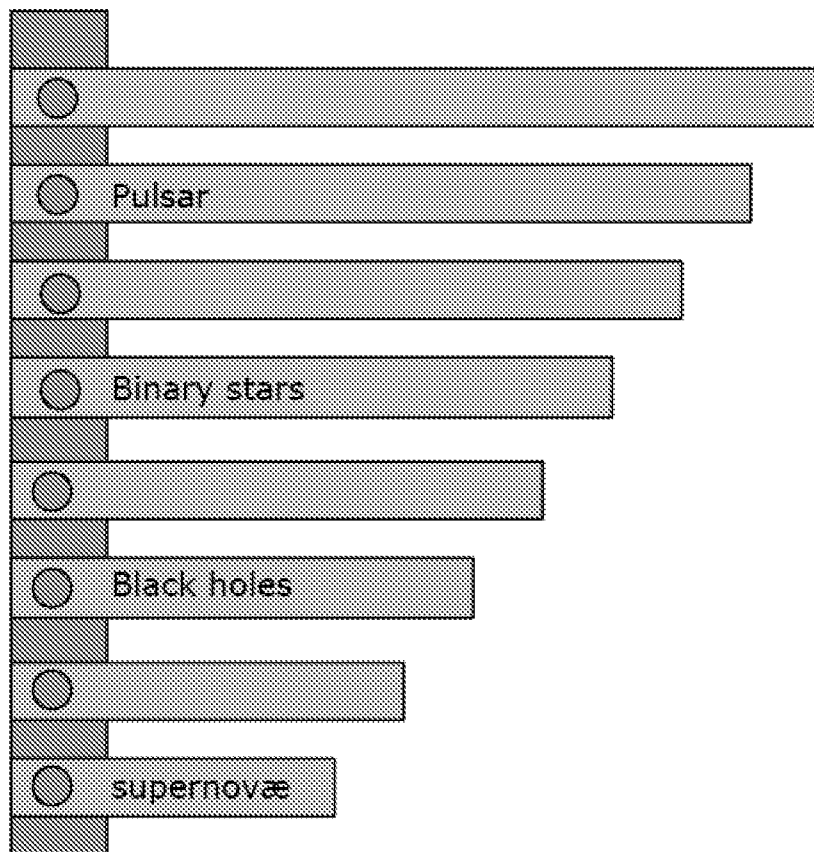


FIG. 4

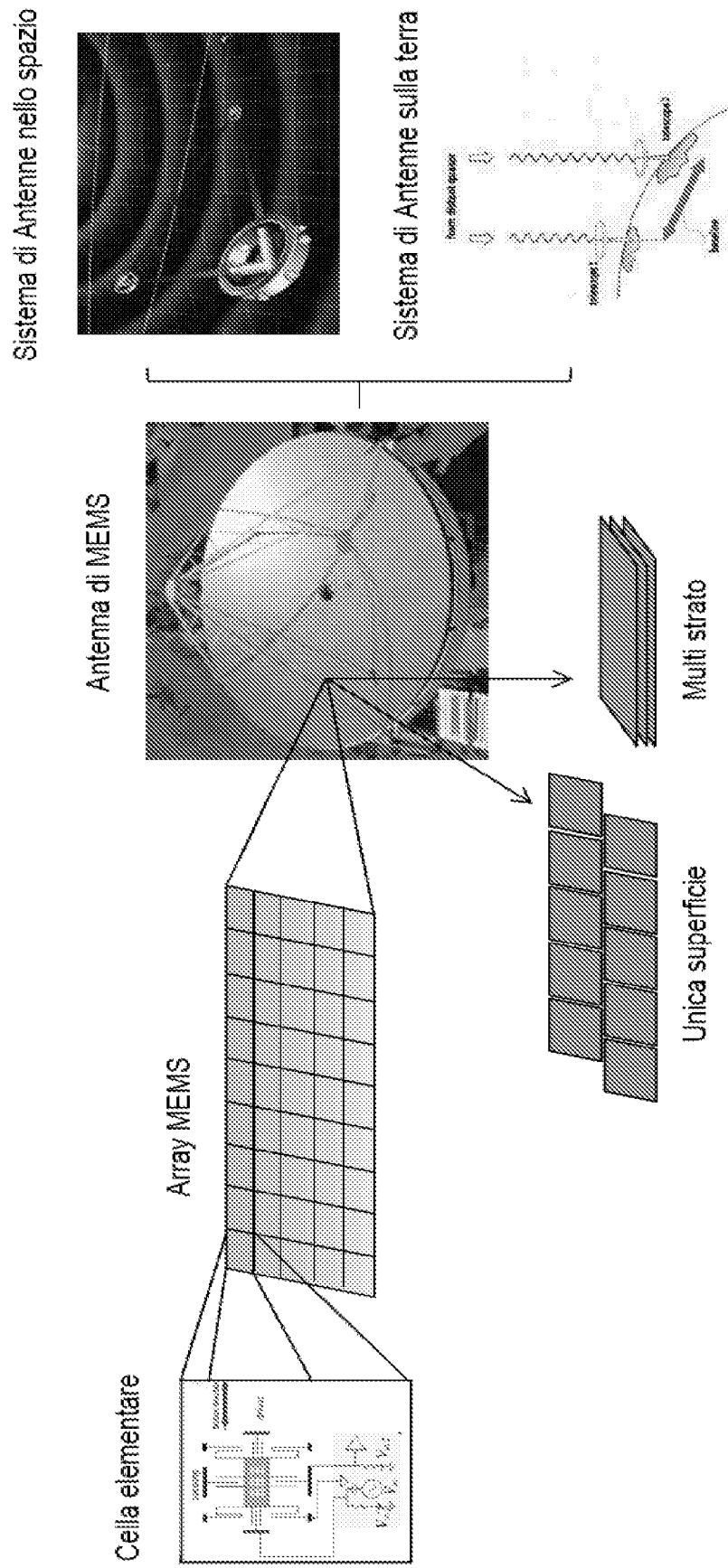


FIG. 5