



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102015000078398
Data Deposito	30/11/2015
Data Pubblicazione	30/05/2017

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	02	B	26	08

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	02	B	26	10

Titolo

RIFLETTORE MEMS BIASSIALE RISONANTE CON ATTUATORI PIEZOELETTRICI E SISTEMA MEMS PROIETTIVO INCLUDENTE IL MEDESIMO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo: "RIFLETTORE MEMS BIASSIALE RISONANTE CON ATTUATORI PIEZOELETTRICI E SISTEMA MEMS PROIETTIVO INCLUDENTE IL MEDESIMO"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: GIUSTI Domenico, CARMINATI Roberto

* * *

La presente invenzione si riferisce ad un riflettore del tipo dei cosiddetti sistemi micro-elettromeccanici ("Micro-electromechanical systems", MEMS). In particolare, la presente invenzione si riferisce ad un riflettore MEMS biassiale risonante, il quale include attuatori piezoelettrici; inoltre, la presente invenzione si riferisce ad un sistema MEMS proiettivo includente il riflettore MEMS biassiale risonante.

Come è noto, sono oggi disponibili numerosi dispositivi MEMS. In particolare, sono noti i cosiddetti riflettori MEMS, i quali includono elementi mobili formati da specchi.

In generale, un riflettore MEMS è atto a ricevere un fascio ottico e a variarne la direzione di propagazione, tramite il proprio specchio. Tipicamente, la direzione di

propagazione del fascio ottico viene variata in modo periodico o quasi periodico, in modo da effettuare una scansione di una porzione di spazio con il fascio ottico riflesso.

In maggiore dettaglio, sono altresì noti riflettori MEMS di tipo risonante. In generale, un riflettore MEMS risonante comprende un sistema di azionamento che fa oscillare il rispettivo specchio in modo sostanzialmente periodico attorno ad una posizione di riposo, il periodo di oscillazione essendo quanto più possibile prossimo alla frequenza di risonanza dello specchio, al fine di massimizzare la distanza angolare coperta dallo specchio durante ciascuna oscillazione, e dunque massimizzare la dimensione della porzione di spazio scandito.

Tra i riflettori MEMS risonanti, sono inoltre noti i cosiddetti riflettori MEMS biassiali, in cui lo specchio oscilla attorno a due differenti assi, perpendicolari tra loro, con frequenze rispettivamente pari, all'incirca, alle frequenze di risonanza dello specchio rispetto ai suddetti assi.

Nell'ambito della generazione di immagini mediante impiego di riflettori MEMS biassiali risonanti ("resonant biaxial MEMS reflector"), è noto adottare frequenze di risonanza sensibilmente diverse per i due assi di scansione. Ad esempio, sono noti riflettori MEMS biassiali

risonanti aventi frequenze di risonanza rispettivamente pari, ad esempio, a 18kHz e 600Hz. Inoltre, indipendentemente dagli specifici valori delle frequenze di risonanza, quando un'immagine viene formata mediante impiego di un riflettore MEMS biassiale risonante, quest'ultimo dirige il fascio ottico riflesso in maniera tale per cui esso segue una cosiddetta traiettoria di Lissajous; pertanto, l'immagine completa viene ottenuta come insieme di immagini complementari interlacciate.

Ciò premesso, l'impiego di riflettori MEMS biassiali risonanti comporta la generazione di immagini affette dal cosiddetto sfarfallio ("flicker"). Per ovviare a tale inconveniente, la cosiddetta frequenza di rinfresco dell'immagine ("image refresh rate") viene aumentata fino a valori molto superiori rispetto a sessanta fotogrammi ("frame") al secondo. Dal momento che, secondo un altro punto di vista, il fenomeno del flicker può essere interpretato come una copertura imperfetta di ciascun fotogramma, l'aumento della frequenza di rinfresco rende tale fenomeno meno percepibile all'occhio umano.

Al fine di ridurre il fenomeno del flicker, l'articolo "Wafer level vacuum packaged two-axis MEMS scanning mirror for pico projector application", di U. Hofmann et al., Proceedings of SPIE, Vol. 8977 89770A-11, suggerisce di adottare una struttura biassiale con frequenze di risonanza

elevate, le quali differiscono idealmente per una frequenza pari a 60Hz. In pratica, il summenzionato articolo propone un riflettore MEMS biassiale risonante con sistema di attuazione di tipo elettrostatico, in cui entrambe le frequenze di risonanza sono relativamente elevate (esse sono rispettivamente pari a 14.9kHz e 15.6kHz), la loro differenza essendo pari a 700 Hz. Ciò consente di ridurre la frequenza di rinfresco fino a valori inferiori a sessanta fotogrammi al secondo, senza che il fenomeno del flicker danneggi eccessivamente la qualità delle immagini. Tuttavia, sfortunatamente non sono note soluzioni che consentono di controllare con precisione la differenza tra le due frequenze di risonanza, anche per valori particolarmente ridotti di tale differenza e nel caso di bande operative che si spingono fino a frequenze elevate (ad esempio, comprese tra 20kHz e 30kHz); a tal proposito, occorre notare come in teoria l'adozione di frequenze di risonanza elevate e prossime tra loro consenta, a parità di frequenza di rinfresco, di ottenere una migliore risoluzione, nonché una migliore copertura delle immagini.

Scopo della presente invenzione è quindi fornire un dispositivo MEMS, il quale risolva almeno in parte gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione, viene fornito un riflettore MEMS biassiale come definito nella

rivendicazione 1.

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

- la figura 1 mostra uno schema a blocchi di un sistema proiettivo includente il presente riflettore MEMS;

- la figura 2 mostra schematicamente una vista prospettica con porzioni rimosse del presente riflettore MEMS;

- la figura 3 mostra un ingrandimento di una porzione della figura 2;

- le figure 4 e 5 mostrano schematicamente sezioni trasversali (non in scala) del presente riflettore MEMS, prese rispettivamente lungo linee di sezione IV-IV e V-V mostrate in figura 2;

- la figura 6 mostra uno schema a blocchi che illustra collegamenti elettrici tra porzioni di un sistema MEMS che include il presente riflettore MEMS;

- la figura 7a mostra schematicamente una vista laterale di una porzione del presente riflettore MEMS, quando soggetta ad un'oscillazione;

- la figura 7b mostra schematicamente una vista prospettica con porzioni rimosse del presente riflettore MEMS, quando soggetto ad un esempio di deformazione;

- la figura 8 mostra schematicamente una sezione trasversale (non in scala) di una porzione del presente riflettore MEMS, quando soggetta a flessione, tale sezione essendo presa lungo la linea di sezione VIII-VIII mostrata in figura 2; e

- le figure 9 e 10 mostrano schematicamente viste prospettiche di apparecchi portatili incorporanti il presente sistema proiettivo.

La figura 1 mostra un sistema MEMS proiettivo 1, il quale include una sorgente luminosa 2 formata da una pluralità di LED 4, ciascuno dei quali emette radiazione elettromagnetica ad una corrispondente lunghezza d'onda. Ad esempio, in figura 1 sono mostrati tre LED 4, i quali emettono radiazione rispettivamente nell'intorno del rosso (620-750 nm), del verde (495-570 nm) e del blu (450-475 nm).

Il sistema MEMS proiettivo 1 comprende inoltre un combinatore ottico 6 ed un riflettore MEMS 8; inoltre, in figura 1 è mostrato anche uno schermo 9. Il sistema MEMS proiettivo 1 forma un cosiddetto pico-proiettore.

Il combinatore ottico 6 è disposto a valle della sorgente luminosa 2, in modo da ricevere la radiazione elettromagnetica emessa dai LED 4 e formare un unico fascio ottico OB1, ottenuto mediante combinazione di tale radiazione elettromagnetica. A tal fine, il combinatore

ottico 6 può ad esempio includere uno o più elementi diecrici. Inoltre, il combinatore ottico 6 è atto a dirigere il fascio ottico OB1 sul riflettore MEMS 8. A sua volta, il riflettore MEMS 8, descritto in maggior dettaglio in seguito, è atto a riflettere il fascio ottico OB1, generando un fascio ottico riflesso OB2, e ad inviare il fascio ottico riflesso OB2 sullo schermo 9, in modo da causare la formazione di immagini sullo schermo 9.

In dettaglio, il riflettore MEMS 8 è atto a variare nel tempo l'orientamento nello spazio dell'asse del fascio ottico riflesso OB2, in modo da scandire in modo sostanzialmente periodico porzioni dello schermo 9. Come descritto in maggior dettaglio in seguito, il riflettore MEMS 8 è di tipo biassiale, con assi ortogonali tra loro.

Come mostrato in figura 2, il riflettore MEMS 8 comprende una struttura 10, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla struttura fissa 10, nonché una struttura mobile 12 e quattro strutture, alle quali nel seguito ci si riferisce come alla prima, alla seconda, alla terza ed alla quarta struttura di connessione 22, 24, 26, 28.

In maggior dettaglio, la struttura fissa 10 comprende una rispettiva porzione inferiore 11a. La porzione inferiore 11a della struttura fissa 10 ha la forma di un parallelepipedo a base quadrata, al cui interno si estende

una cavità 30 di tipo passante, la quale in prima approssimazione ha anch'essa la forma di un parallelepipedo a base quadrata. La cavità 30 è quindi delimitata lateralmente da una prima, una seconda, una terza ed una quarta parete laterale P_1 , P_2 , P_3 , P_4 ; inoltre, la prima e la terza parete laterale P_1 , P_3 sono tra loro opposte e sono parallele ad un asse x di un sistema di riferimento ortogonale xyz , mentre la seconda e la quarta parete laterale P_2 , P_4 sono tra loro opposte e sono parallele all'asse y del sistema di riferimento xyz .

Senza alcuna perdita di generalità, la prima, la seconda, la terza e la quarta struttura di connessione 22, 24, 26, 28 sono uguali tra loro; per tale motivo, nel seguito la descrizione si limita alla prima struttura di connessione 22, essendo sottinteso che la seconda, la terza e la quarta struttura di connessione 24, 26, 28 sono uguali alla prima struttura di connessione 22, salvo laddove specificato diversamente.

La prima struttura di connessione 22 è elasticamente deformabile. Inoltre, come mostrato in figura 3, la prima struttura di connessione 22 comprende una struttura di supporto 32, la quale viene descritta qui di seguito, nell'ipotesi che la prima struttura di connessione 22 sia in condizioni di riposo, salvo laddove specificato diversamente.

In dettaglio, la struttura di supporto 32 si estende nella cavità 30 e comprende una prima ed una seconda porzione 33, 34.

In maggior dettaglio, la prima porzione 33 della struttura di supporto 32 ha una forma allungata parallelamente all'asse x. La seconda porzione 34 della struttura di supporto 32 forma un corpo principale 36, una pluralità di elementi trasversali di un primo tipo, indicati con 38, ed una pluralità di elementi trasversali di un secondo tipo, indicati con 39. Il corpo principale 36 ha una forma allungata e si estende parallelamente all'asse y; inoltre, il corpo principale 36 si raccorda con la prima porzione 33 della struttura di supporto 32, in modo da formare approssimativamente una forma a "L". Più in particolare, la prima porzione 33 della struttura di supporto 32 ed il corpo principale 36 della seconda porzione 34 della struttura di supporto 32 formano rispettivamente il braccio corto ed il braccio lungo della forma a "L" definita dalla struttura di supporto 32. Inoltre, una prima estremità della struttura di supporto 32, definita dalla prima porzione 33, è fissata alla struttura mobile 12; una seconda estremità della struttura di supporto 32, definita dal corpo principale 36, è fissata alla prima parete laterale P_1 .

Relativamente agli elementi trasversali 38 del primo

tipo e agli elementi trasversali 39 del secondo tipo, essi hanno forma allungata e diretta parallelamente all'asse x; in altre parole, gli elementi trasversali sono allungati lungo una direzione perpendicolare rispetto alla direzione di allungamento del corpo principale 36.

Riferendosi agli elementi trasversali 38 del primo tipo e agli elementi trasversali 39 del secondo tipo come, rispettivamente, agli elementi trasversali interni 38 ed agli elementi trasversali esterni 39, a ciascun elemento trasversale interno 38 corrisponde un corrispondente elemento trasversale esterno 39. Inoltre, gli elementi trasversali esterni 39 si estendono a partire dal corpo principale 36, verso la porzione inferiore 11a della struttura fissa 10, ed in particolare verso la seconda parete laterale P_2 ; gli elementi trasversali interni 38 si estendono a partire dal corpo principale 36, verso la struttura mobile 12, cioè verso la quarta parete laterale P_4 . Più in particolare, ciascun elemento trasversale interno 38 è allineato (parallelamente all'asse x) con il corrispondente elemento trasversale esterno 39; questi elementi trasversali si estendono su lati opposti rispetto al corpo principale 36. A titolo puramente esemplificativo, nella forma di realizzazione mostrata in figura 3 sono presenti otto coppie di elementi trasversali.

La prima e la seconda porzione 33, 34 della struttura

di supporto 32 sono delimitate superiormente da una superficie superiore S_{32} . La superficie superiore S_{32} delimita quindi il corpo principale 36, gli elementi trasversali interni 38 e gli elementi trasversali esterni 39.

La prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una pluralità di regioni piezoelettriche 40, alle quali nel seguito ci si riferisce come alle regioni piezoelettriche principali 40.

In dettaglio, le regioni piezoelettriche principali 40 sono formate ad esempio da titanato-zirconato di piombo (PZT) e si estendono al di sopra della superficie superiore S_{32} . In particolare, le regioni piezoelettriche principali 40 sono disposte in successione lungo una direzione parallela all'asse y , a contatto con il corpo principale 36, cioè sono disposte l'una dopo l'altra lungo la direzione longitudinale del corpo principale 36, distanziate tra loro.

In maggior dettaglio, e senza alcuna perdita di generalità, ciascuna regione piezoelettrica principale 40 può avere ad esempio la forma di un parallelepipedo con altezza (misurata lungo l'asse z) inferiore alla lunghezza e alla larghezza, una tra la lunghezza e la larghezza essendo parallela all'asse x .

La prima struttura di connessione 22 comprende inoltre

una pluralità di ulteriori regioni piezoelettriche 42, alle quali nel seguito ci si riferisce come alle regioni piezoelettriche secondarie 42.

Le regioni piezoelettriche secondarie 42 sono formate ad esempio da titanato-zirconato di piombo. Inoltre, senza alcuna perdita di generalità, ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 ha una forma allungata, in direzione parallela all'asse x . Ad esempio, ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 può avere la forma di un parallelepipedo con altezza inferiore alla lunghezza (parallela all'asse x) ed alla larghezza.

In maggior dettaglio, le regioni piezoelettriche secondarie 42 si estendono al di sopra della superficie superiore S_{32} . In particolare, le regioni piezoelettriche secondarie 42 sono disposte in successione lungo una direzione parallela all'asse y , a contatto con il corpo principale 36. Più in particolare, ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 si estende a contatto con una corrispondente coppia formata da un elemento trasversale interno 38 e dal corrispondente elemento trasversale esterno 39, nonché a contatto con la porzione del corpo principale 36 dal quale tale elemento trasversale interno 38 e tale corrispondente elemento trasversale esterno 39 si estendono. Ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 ha quindi una forma allungata lungo una direzione parallela

all'asse x.

Nuovamente con riferimento alle regioni piezoelettriche principali 40, ciascuna di esse si estende al di sopra di una corrispondente porzione del corpo principale 36. Inoltre, le porzioni di corpo principale 36 su cui si estendono corrispondenti regioni piezoelettriche principali 40 si intervallano con le porzioni di corpo principale 36 su cui si estendono le regioni piezoelettriche secondarie 42. Conseguentemente, lungo una direzione parallela all'asse y, le regioni piezoelettriche principali 40 e le regioni piezoelettriche secondarie 42 sono tra loro intervallate.

Per motivi descritti in seguito, in uso le regioni piezoelettriche principali 40 sono collegate elettricamente ad un primo generatore AC 48, il quale è atto a generare una tensione alternata; in particolare, le regioni piezoelettriche principali 40 sono collegate ad un medesimo primo morsetto del primo generatore AC 48, il cui secondo morsetto è posto, ad esempio, a massa. Le regioni piezoelettriche secondarie 42 sono invece collegate elettricamente ad un medesimo primo morsetto di un primo generatore DC 50, il cui secondo morsetto è collegato, ad esempio, a massa. Il primo generatore DC 50 è atto a generare una tensione continua, la quale può essere variata in modo controllato. In figura 3, i collegamenti elettrici

tra le regioni piezoelettriche principali/secondarie 40/42 ed il primo generatore AC/DC 48/50 sono mostrati in modo qualitativo.

Nuovamente con riferimento alla summenzionata porzione inferiore 11a della struttura fissa 10, essa comprende una regione semiconduttiva 60 (mostrata in figura 4), formata ad esempio da silicio, ed alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione semiconduttiva fissa 60.

La porzione inferiore 11a della struttura fissa 10 comprende inoltre una regione conduttiva 62 ed una prima e una seconda regione isolante 64, 66, alle quali nel seguito ci si riferisce rispettivamente come alla regione conduttiva fissa 62 ed alla prima ed alla seconda regione isolante fissa 64, 66.

La prima regione isolante fissa 64 è formata ad esempio da ossido termico e si estende al di sopra della regione semiconduttiva fissa 60, con cui è in contatto diretto. La regione conduttiva fissa 62 è formata ad esempio da polisilicio e si estende al di sopra della prima regione isolante fissa 64, con cui è contatto diretto. La seconda regione isolante fissa 66 è formata ad esempio da ossido TEOS e si estende al di sopra della regione conduttiva fissa 62, con cui è in contatto diretto.

La porzione inferiore 11a della struttura fissa 10 comprende inoltre una regione di elettrodo 68, alla quale

nel seguito ci si riferisce come alla regione fissa di elettrodo 68. In dettaglio, la regione fissa di elettrodo 68 è formata ad esempio da un metallo (ad esempio, rutenio) e si estende al di sopra della seconda regione isolante fissa 66, con cui è in contatto diretto.

Relativamente alla struttura di supporto 32 della prima struttura di connessione 22, essa comprende una rispettiva regione semiconduttiva 70, formata ad esempio da silicio, ed alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione semiconduttiva deformabile 70.

In condizioni di riposo, la regione semiconduttiva deformabile 70 è delimitata superiormente da una superficie S_{70} di tipo piano, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla prima superficie intermedia S_{70} . Inoltre, riferendosi alla seconda superficie intermedia S_{60} per indicare la superficie che delimita superiormente la regione semiconduttiva fissa 60, in condizioni di riposo la prima superficie intermedia S_{70} è complanare con la seconda superficie intermedia S_{60} . Inoltre, la regione semiconduttiva deformabile 70 ha uno spessore inferiore rispetto alla regione semiconduttiva fissa 60 e delimita superiormente una porzione della cavità 30.

La struttura di supporto 32 della prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una rispettiva regione conduttiva 72, una rispettiva prima regione isolante 74 ed

una rispettiva seconda regione isolante 76, alle quali nel seguito ci si riferisce rispettivamente come alla regione conduttiva deformabile 72 ed alla prima ed alla seconda regione isolante deformabile 74, 76.

La prima regione isolante deformabile 74 è formata ad esempio da ossido termico e si estende al di sopra della regione semiconduttiva deformabile 70, con cui è in contatto diretto. Senza alcuna perdita di generalità, la prima regione isolante deformabile 74 ha il medesimo spessore della prima regione isolante fissa 64.

La regione conduttiva deformabile 72 è formata ad esempio da polisilicio e si estende al di sopra della prima regione isolante deformabile 74, con cui è contatto diretto. Senza alcuna perdita di generalità, la regione conduttiva deformabile 72 ha il medesimo spessore della regione conduttiva fissa 62.

La seconda regione isolante deformabile 76 è formata ad esempio da ossido TEOS e si estende al di sopra della regione conduttiva deformabile 72, con cui è in contatto diretto. Senza alcuna perdita di generalità, la seconda regione isolante deformabile 76 ha il medesimo spessore della seconda regione isolante fissa 66.

La struttura di supporto 32 della prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una rispettiva regione di elettrodo 78, alla quale nel seguito ci si riferisce come

alla regione di elettrodo inferiore 78. In dettaglio, la regione di elettrodo inferiore 78 è formata ad esempio da platino e si estende al di sopra della seconda regione isolante deformabile 76, con cui è in contatto diretto.

La regione di elettrodo inferiore 78 è delimitata superiormente dalla summenzionata superficie superiore S_{32} . Senza alcuna perdita di generalità, la regione di elettrodo inferiore 78 ha il medesimo spessore della regione fissa di elettrodo 68. Inoltre, la regione di elettrodo inferiore 78 e la regione fissa di elettrodo 68 formano un'unica regione, cioè formano un unico pezzo; in uso, tale regione di può essere posta a massa, come descritto in seguito.

In pratica, le regioni piezoelettriche principali 40 e le regioni piezoelettriche secondarie 42 si estendono al di sopra della regione di elettrodo inferiore 78, con cui sono in contatto diretto. A tal proposito, a titolo puramente esemplificativo, la sezione mostrata in figura 4 è presa in modo da mostrare una regione piezoelettrica secondaria 42. Senza alcuna perdita di generalità, nella forma di realizzazione mostrata in figura 4, ciascuna tra le regioni piezoelettriche principali 40 e le regioni piezoelettriche secondarie 42 si estende parallelamente all'asse x per un'estensione inferiore rispetto alla corrispondente estensione della sottostante porzione di regione di elettrodo inferiore 78, lasciando quindi esposta una parte

di quest'ultima.

Al di sopra di ciascuna regione piezoelettrica principale 40 e di ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 si estende, in contatto diretto, una corrispondente regione metallica 92, formata ad esempio da una lega di materiali metallici. Senza alcuna perdita di generalità, nella forma di realizzazione illustrata in figura 4, ciascuna regione piezoelettrica principale 40 e ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 sono interamente coperte dalle corrispondenti regioni metalliche 92.

La prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una regione dielettrica 94, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione dielettrica deformabile 94.

In dettaglio, la regione dielettrica deformabile 94 è formata ad esempio da ossido di silicio, oppure da nitruro di silicio, e si estende, in contatto diretto, al di sopra delle regioni metalliche 92 e delle porzioni esposte della regione di elettrodo inferiore 78.

La prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una prima metallizzazione 96, la quale si estende in parte al di sopra della regione dielettrica deformabile 94 ed in parte attraversa la stessa regione dielettrica deformabile 94, fino a contattare le regioni piezoelettriche secondarie 42. La prima metallizzazione 96 consente quindi di

collegare elettricamente le regioni piezoelettriche secondarie 42 al primo generatore DC 50.

La prima struttura di connessione 22 comprende inoltre una seconda metallizzazione 110, descritta in dettaglio in seguito e disposta sulla regione dielettrica deformabile 94; inoltre, la prima struttura di connessione 22 comprende un'ulteriore regione dielettrica 98, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione di passivazione deformabile 98.

In dettaglio, la regione di passivazione deformabile 98 è formata ad esempio da nitruro di silicio e si estende al di sopra della regione dielettrica deformabile 94 e della prima e della seconda metallizzazione 96, 110.

Senza alcun perdita di generalità, è possibile che, come mostrato in figura 4, la struttura fissa 10 comprenda inoltre una rispettiva regione dielettrica 104, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione dielettrica fissa 104. La regione dielettrica fissa 104 può essere formata dal medesimo materiale che forma la regione dielettrica deformabile 94 e si estende al di sopra della regione fissa di elettrodo 68. Inoltre la regione dielettrica fissa 104 e la regione dielettrica deformabile 94 possono formare un'unica regione complessiva, cioè possono non essere fisicamente separate.

La struttura fissa 10 comprende inoltre una terza

metallizzazione 106, la quale si estende attraverso la regione dielettrica fissa 104, fino a contattare la regione fissa di elettrodo 68. In uso, come precedentemente accennato, la terza metallizzazione 106 consente di porre a massa la regione fissa di elettrodo 68 e la regione di elettrodo inferiore 78.

Nella forma di realizzazione mostrata in figura 4, la struttura fissa 10 comprende un'ulteriore regione dielettrica 108, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla regione di passivazione fissa 108. La regione di passivazione fissa 108 si estende al di sopra della regione dielettrica fissa 104 e della terza metallizzazione 106, lasciando esposta una porzione della terza metallizzazione 106. La regione di passivazione fissa 108 e la regione di passivazione deformabile 98 possono formare un'unica regione.

Nuovamente con riferimento alla seconda metallizzazione 110, come mostrato in figura 5 essa si estende in parte al di sopra della regione dielettrica deformabile 94 ed in parte attraversa la stessa regione dielettrica deformabile 94, fino a contattare le regioni piezoelettriche principali 40. La seconda metallizzazione 110 consente quindi di collegare elettricamente le regioni piezoelettriche principali 40 al primo generatore AC 48.

Relativamente alla struttura mobile 12, come mostrato

in figura 4 essa comprende inoltre una rispettiva regione semiconduttiva 80, una rispettiva regione conduttiva 82, una rispettiva prima regione isolante 84 ed una rispettiva seconda regione isolante 86, alle quali nel seguito ci si riferisce rispettivamente come alla regione semiconduttiva mobile 80, alla regione conduttiva mobile 82 ed alla prima ed alla seconda regione isolante mobile 84, 86.

La regione semiconduttiva mobile 80, la prima regione isolante mobile 84, la regione conduttiva mobile 82 e la seconda regione isolante mobile 86 sono disposte in successione, impilate l'una sopra l'altra. Inoltre, la regione semiconduttiva mobile 80, la prima regione isolante mobile 84, la regione conduttiva mobile 82 e la seconda regione isolante mobile 86 possono avere rispettivamente i medesimi spessori della regione semiconduttiva deformabile 70, della prima regione isolante deformabile 74, della regione conduttiva deformabile 72 e della seconda regione isolante deformabile 76.

La regione semiconduttiva mobile 80, la regione semiconduttiva fissa 60 e la regione semiconduttiva deformabile 70 possono formare un'unica regione semiconduttiva.

La prima regione isolante fissa 64, la prima regione isolante deformabile 74 e la prima regione isolante mobile 84 possono formare un'unica regione isolante. Similmente,

la seconda regione isolante fissa 66, la seconda regione isolante deformabile 76 e la seconda regione isolante mobile 86 possono formare un'unica regione isolante.

In aggiunta, la regione conduttiva fissa 62, la regione conduttiva deformabile 72 e la regione conduttiva mobile 82 possono formare un'unica regione conduttiva.

Al di sopra della seconda regione isolante mobile 86 è presente uno specchio 90, posto a contatto diretto con la seconda regione isolante mobile 86 e formato ad esempio da un film metallico (ad esempio, di alluminio).

Nuovamente con riferimento alla seconda, alla terza ed alla quarta struttura di connessione 24, 26, 28, esse sono fissate rispettivamente alla seconda, alla terza ed alla quarta parete laterale P_2 , P_3 , P_4 . Inoltre, in vista dall'alto, la seconda struttura di connessione 24 è ruotata di 90° in senso antiorario rispetto alla prima struttura di connessione 22, in maniera tale per cui il proprio corpo principale è diretto parallelamente all'asse x. La terza struttura di connessione 26 è ruotata di 180° in senso antiorario rispetto alla prima struttura di connessione 22, in maniera tale per cui il proprio corpo principale è diretto parallelamente all'asse y. Infine, la quarta struttura di connessione 28 è ruotata di 270° in senso antiorario rispetto alla prima struttura di connessione 22, in maniera tale per cui il proprio corpo principale è

diretto parallelamente all'asse x. Ancora, i punti di fissaggio della prima, della seconda, della terza e della quarta struttura di connessione 22, 24, 26, 28 alla struttura mobile 12 sono sostanzialmente equidistanti da un asse di simmetria H della struttura mobile 12 (in condizioni di riposo); tali punti di fissaggio sono inoltre angolarmente equispaziati, in maniera tale per cui punti di fissaggio adiacenti sono spaziati angolarmente di 90° .

Come mostrato in figura 6, il sistema MEMS proiettivo 1 comprende inoltre un secondo, un terzo ed un quarto generatore AC 138, 148, 158, nonché un secondo, un terzo ed un quarto generatore DC 140, 150, 160. In figura 6, le tensioni alternate generate rispettivamente dal primo, dal secondo, dal terzo e dal quarto generatore AC 48, 138, 148 e 158 sono indicate rispettivamente con V_{AC1} , V_{AC2} , V_{AC3} e V_{AC4} , mentre le tensioni continue generate rispettivamente dal primo, dal secondo, dal terzo e dal quarto generatore DC 50, 140, 150 e 160 sono indicate rispettivamente con V_{DC1} , V_{DC2} , V_{DC3} e V_{DC4} . Inoltre, la figura 6 mostra come il primo generatore AC 48 ed il primo generatore DC 50 applichino rispettivamente le summenzionate tensioni V_{AC1} e V_{DC1} alle regioni piezoelettriche principali (qui indicate con 40') ed alle regioni piezoelettriche secondarie (qui indicate con 42') della prima struttura di connessione 22. Il secondo, il terzo ed il quarto generatore AC 138, 148,

158 applicano rispettivamente le summenzionate tensioni V_{AC2} , V_{AC3} e V_{AC4} alle regioni piezoelettriche principali (indicate rispettivamente con 40'', 40''' e 40''') della seconda, della terza e della quarta struttura di connessione 24, 26, 28. Il secondo, il terzo ed il quarto generatore DC 140, 150, 160 applicano rispettivamente le summenzionate tensioni V_{DC2} , V_{DC3} e V_{DC4} alle regioni piezoelettriche secondarie (indicate rispettivamente con 42'', 42''' e 42''') della seconda, della terza e della quarta struttura di connessione 24, 26, 28.

In maggior dettaglio, le tensioni V_{AC1} e V_{AC3} hanno una medesima ampiezza (ad esempio, pari a circa 30 Volt), una medesima frequenza f_1 e sono in opposizione di fase, cioè sono sfasate tra loro di 180° . Le tensioni V_{AC2} e V_{AC4} hanno una medesima ampiezza, una medesima frequenza f_2 e sono in opposizione di fase, cioè sono sfasate tra loro di 180° .

Ciò premesso, la prima e la terza struttura di connessione 22, 26 formano una primo gruppo di attuazione tale per cui, in seguito all'applicazione delle summenzionate tensioni V_{AC1} e V_{AC3} , tale primo gruppo di attuazione causa un'oscillazione (attorno alla posizione di riposo e con frequenza pari alla summenzionata frequenza f_1) della struttura mobile 12, attorno ad un asse A_1 , il quale è inclinato di 45° rispetto all'asse x e passa ad esempio per il baricentro della struttura mobile 12. In

pratica, tale oscillazione è dovuta alle deformazioni periodiche subite dalla prima e dalla terza struttura di connessione 22, 26 a causa dell'applicazione delle summenzionate tensioni V_{Ac1} e V_{Ac3} .

In maggior dettaglio, considerando ad esempio le regioni piezoelettriche principali 40 della prima struttura di connessione 22, quando esse sono soggette ad una tensione (ad esempio) positiva, esse subiscono, tra l'altro, un allungamento lungo direzioni parallele agli assi x e y . In altre parole, si verifica un allungamento differenziale di ciascuna regione piezoelettrica principale 40 rispetto alla sottostante struttura di supporto 32, cosa che comporta, analogamente a quanto avviene nel caso delle lamine bimetalliche, una flessione della prima struttura di connessione 22, con conseguente incurvamento di quest'ultima. In particolare, la prima struttura di connessione 22 si flette in maniera tale per cui la prima porzione 33 della struttura di supporto 32, fissata alla struttura mobile 12, si abbassa, trascinando con sé la parte di struttura mobile 12 cui è fissata. Invece, nel caso in cui alle regioni piezoelettriche principali 40 venga applicata una tensione (ad esempio) negativa, l'inflessione della prima struttura di connessione 22 è tale per cui la prima porzione 33 della struttura di supporto 32 si innalza. In entrambi i casi, in prima

approssimazione l'inflessione della prima struttura di connessione 22 avviene in un piano parallelo al piano yz, come mostrato qualitativamente in figura 7a, dove per semplicità non sono mostrate eventuali torsioni attorno all'asse longitudinale del corpo principale 36. Le ipotetiche deformazioni della prima struttura di connessione 22 mostrate in figura 7a sono quindi di tipo puramente qualitativo, a titolo di esempio esplicativo.

Ciò premesso, dal momento che le regioni piezoelettriche principali 40 della prima e della terza struttura di connessione 22, 26 sono comandate in opposizione di fase, ad un innalzamento della prima porzione 33 della struttura di supporto 32 della prima struttura di connessione 22 corrisponde un abbassamento della corrispondente porzione della terza struttura di connessione 26, con conseguente rotazione della struttura mobile 12.

Per i medesimi motivi, la seconda e la quarta struttura di connessione 24, 28 formano un secondo gruppo di attuazione tale per cui, in seguito all'applicazione delle summenzionate tensioni V_{AC2} e V_{AC4} , tale secondo gruppo di attuazione causa un'oscillazione (attorno alla posizione di riposo e con frequenza pari alla summenzionata frequenza f_2) della struttura mobile 12, attorno ad un asse A_2 inclinato di 45° rispetto agli assi x e y e ortogonale

all'asse A_1 . Un esempio di possibile deformazione cui è soggetto il riflettore MEMS 8 è mostrato qualitativamente in figura 7b.

In maggior dettaglio, le summenzionate frequenze f_1 e f_2 sono all'incirca pari alle frequenze di risonanza della struttura mobile 12, rispettivamente attorno ai summenzionati assi A_1 e A_2 , al fine di convertire energia elettrica in energia cinetica in modo efficiente. In altre parole, indicando rispettivamente con f_{r1} e f_{r2} le frequenze di risonanza della struttura mobile 12, rispettivamente attorno ai summenzionati assi A_1 e A_2 , si ha $f_1 \approx f_{r1}$ e $f_2 \approx f_{r2}$.

In maggior dettaglio, le frequenze di risonanza f_{r1} e f_{r2} dipendono dalle tensioni V_{DC1} , V_{DC2} , V_{DC3} e V_{DC4} . Nel seguito si assume, senza alcuna perdita di generalità, $V_{DC1}=V_{DC3}=V_{asse1}$ e $V_{DC2}=V_{DC4}=V_{asse2}$.

Ancora in maggior dettaglio, il riflettore MEMS 8 è tale per cui, se $V_{DC1}=V_{DC2}=V_{DC3}=V_{DC4}$, si ha $f_{r1}=f_{r2}$, dal momento che il riflettore MEMS 8 esibisce una simmetria attorno all'asse di simmetria H. Ciò premesso, la frequenza di risonanza f_{r1} può essere modulata variando la tensione V_{asse1} , mentre la frequenza di risonanza f_{r2} può essere modulata variando la tensione V_{asse2} .

In pratica, la prima, la seconda, la terza e la quarta struttura di connessione 22, 24, 26 e 28 fungono da molle. La tensione V_{asse1} modula la rigidità della prima e della

terza struttura di connessione 22, 26, mentre la tensione V_{asse2} modula la rigidità della seconda e della quarta struttura di connessione 24, 28. In particolare, riferendosi ad esempio alla prima struttura di connessione 22, la tensione V_{asse1} modula la rigidezza della prima struttura di connessione 22 alle deformazioni nel piano yz, cioè alle deformazioni che causano l'oscillazione della struttura mobile 12 attorno all'asse A_1 .

In maggior dettaglio, riferendosi ad esempio alla prima struttura di connessione 22, qualora si abbia ad esempio $V_{asse1} > 0$, si verifica (tra l'altro) un allungamento differenziale di ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42, parallelamente all'asse x, rispetto alla sottostante struttura di supporto 32. Ciò comporta un'inflexione di ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 e della sottostante porzione di struttura di supporto 32; in particolare, le estremità (rispetto ad una direzione parallela all'asse x) della regione piezoelettrica secondaria 42, disposte rispettivamente sul corrispondente elemento trasversale interno 38 e sul corrispondente elemento trasversale esterno 39, tendono ad innalzarsi. In altre parole, ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 e la sottostante porzione di struttura di supporto 32 flettono in un piano parallelo al piano xz; pertanto, ciascuna regione piezoelettrica secondaria 42 e la

sottostante porzione di struttura di supporto 32, e conseguentemente la seconda porzione 34 della struttura di supporto 32, tendono ad assumere una forma a "U", come mostrato qualitativamente in figura 8, con conseguente variazione della rigidezza della prima struttura di connessione 22, come precedentemente accennato. A tal proposito, la presenza degli elementi trasversali interni 38, degli elementi trasversali esterni 39 e la forma allungata degli elementi piezoelettrici secondari 42 consentono di variare la rigidezza della corrispondente struttura di connessione in modo efficiente, dunque con tensioni ridotte. In particolare, come precedentemente accennato, viene variata la rigidezza della prima struttura di connessione 22 alle deformazioni che causano l'oscillazione della struttura mobile 12 attorno all'asse A_1 .

In prima approssimazione, la frequenza di risonanza di ciascuna struttura di connessione varia in modo lineare in funzione della tensione applicata alle proprie regioni piezoelettriche secondarie.

Ciò premesso, imponendo ad esempio $V_{DC1}=V_{DC2}=V_{Assa1} \neq V_{Assa2}=V_{DC3}=V_{DC4}$, si induce uno scarto Δf_r tra le frequenze di risonanza f_{r1} e f_{r2} del riflettore MEMS 8. Inoltre, è possibile dimostrare che il riflettore MEMS 8 consente di controllare con precisione scarti Δf_r dell'ordine di poche

decine di Hertz, anche quando le frequenze di risonanza f_{r1} e f_{r2} sono dell'ordine dei 30kHz.

Come illustrato in figura 9, il sistema MEMS proiettivo 1 può essere realizzato come accessorio separato e a sé stante rispetto ad un associato apparecchio elettronico portatile 200, quale ad esempio un telefono cellulare o smartphone (oppure, ad esempio, un PDA, un tablet, un riproduttore di audio digitale o un controller per videogiochi), essendo accoppiato allo stesso apparecchio elettronico portatile 200 mediante opportuni elementi di connessione elettrica e meccanica (non illustrati in dettaglio). In tal caso, il sistema MEMS proiettivo 200 è dotato di un proprio involucro 201, che presenta almeno una porzione 202 trasparente al fascio ottico riflesso OB2 generato dal riflettore MEMS 8. L'involucro 201 del sistema MEMS proiettivo 1 è accoppiato in maniera rilasciabile ad un rispettivo involucro 203 dell'apparecchio elettronico portatile 200.

In alternativa, come illustrato in figura 10, il sistema MEMS proiettivo 1 può essere integrato all'interno dell'apparecchio elettronico portatile 200, essendo disposto all'interno dell'involucro 203 dello stesso apparecchio elettronico portatile 200, che presenta in tal caso una rispettiva porzione 204 trasparente al fascio ottico riflesso OB2 generato dal riflettore MEMS 8. In tal

caso, il sistema MEMS 1 è ad esempio accoppiato ad un circuito stampato presente all'interno dell'involucro 203 dell'apparecchio elettronico portatile 200.

Da quanto è stato descritto ed illustrato precedentemente, i vantaggi che la presente soluzione consente di ottenere emergono chiaramente.

In particolare, grazie all'impiego di un sistema di attuazione elastico di tipo piezoelettrico, il presente dispositivo MEMS consente di implementare una scansione ottica lungo due assi, con frequenze di scansione elevate, le quali differiscono tra loro dell'ordine dell'0.1%; ciò consente di ridurre il fenomeno del flicker e di generare immagini ad elevata risoluzione. Inoltre, la differenza di frequenza può inoltre essere modulata per via elettrica in modo estremamente preciso.

In conclusione, è chiaro che modifiche e varianti possono essere apportate a quanto è stato descritto ed illustrato sin qui, senza tuttavia scostarsi dall'ambito di tutela della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, le strutture di connessione possono avere forme e disposizioni differenti rispetto a quanto descritto in precedenza. Ad esempio, all'interno di ciascuna struttura di connessione, il numero, la forma e la disposizione delle regioni piezoelettriche principali 40 e

delle regioni piezoelettriche secondarie 42 possono essere differenti rispetto a quanto descritto, come anche la forma della prima e della seconda porzione 33, 34 della struttura di supporto 32.

Più in generale, ciascuna struttura di connessione può avere una composizione (intesa come forma, numero e tipo di regioni che la formano) diversa da quanto descritto. Ad esempio, è possibile che la struttura di supporto 32 sia formata da un diverso numero di regioni, o comunque da regioni di tipo differente rispetto a quanto descritto. Ad esempio, è possibile che la struttura semiconduttiva deformabile 70 sia assente e/o che la forma e la disposizione della prima e della seconda metallizzazione 96, 110 e della regione metallica 92 siano diverse rispetto a quanto descritto. Similmente, anche la composizione della struttura fissa 10 può essere diversa rispetto a quanto descritto.

Il numero delle strutture di connessione può essere diverso da quanto descritto. Ad esempio, sono possibili forme di realizzazione comprendenti solo una struttura di connessione per ciascun gruppo di attuazione; ad esempio, è quindi possibile che siano presenti solo la prima e la seconda struttura di connessione 22, 24. Inoltre, indipendentemente dal numero di strutture di connessione, è possibile che esse abbiano un diversa disposizione

reciproca. Ad esempio, sono possibili forme di realizzazione (non mostrate) includenti tre strutture di connessione.

Infine, i gruppi di attuazione possono essere azionati in modo differente rispetto a quanto descritto. Ad esempio, riferendosi senza alcuna perdita di generalità alla forma di realizzazione mostrata in figura 1, è ad esempio possibile che si abbia $V_{Ac3}=V_{Ac4}=0$, nel qual caso, la terza e la quarta struttura di connessione 26, 28 non vengono azionate; in tal caso, è altresì possibile che la terza e la quarta struttura di connessione 26, 28 siano prive dei rispettivi elementi piezoelettrici principali. Inoltre, è ad esempio possibile che le tensioni (ad esempio) V_{Ac1} e V_{Ac3} siano di tipo unipolare e siano tali per cui, quando una di esse assume un valore positivo, l'altra assuma un valore nullo o negativo.

Per quanto riguarda la flessione degli elementi piezoelettrici secondari 42, essa può essere comandata indifferentemente con una tensione positiva o negativa, la quale può causare anche un incurvamento opposto rispetto a quanto mostrato in precedenza. Inoltre, è possibile che si abbia $V_{Dc1} \neq V_{Dc2}$ e/o $V_{Dc3} \neq V_{Dc4}$.

Infine, sono possibili forme di realizzazione in cui gli elementi secondari 42 sono disposti su un sottoinsieme delle strutture di connessione. Ad esempio, è possibile una

forma di realizzazione includente solo la prima e la seconda struttura di connessione 22, 24, o comunque in cui la terza e la quarta struttura di connessione 26, 28 sono prive di elementi piezoelettrici principali (ed eventualmente anche degli elementi piezoelettrici secondari), ed in cui solo una tra la prima e la seconda struttura di connessione 22, 24 comprende gli elementi piezoelettrici secondari 42.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo MEMS comprendente:

- una struttura fissa (10);
- una struttura mobile (12), la quale comprende un elemento riflettente (90);
- una prima struttura deformabile (22), la quale è interposta tra la struttura fissa e la struttura mobile;
- una seconda struttura deformabile (24), la quale è interposta tra la struttura fissa e la struttura mobile;

ed in cui ciascuna tra la prima e la seconda struttura deformabile comprende un rispettivo numero di elementi piezoelettrici principali (40); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40') della prima struttura deformabile sono elettricamente comandabili in maniera tale da causare una prima deformazione sostanzialmente periodica della prima struttura deformabile ed una conseguente oscillazione della struttura mobile attorno ad un primo asse (A_1); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40'') della seconda struttura deformabile sono elettricamente comandabili in maniera tale da causare una prima deformazione sostanzialmente periodica della seconda struttura deformabile ed una conseguente oscillazione della struttura mobile attorno ad un secondo asse (A_2);

ed in cui la prima struttura deformabile comprende un rispettivo numero di elementi piezoelettrici secondari

(42'), i quali sono elettricamente comandabili in modo da causare una seconda deformazione della prima struttura deformabile e variare una prima frequenza di risonanza della struttura mobile attorno a detto primo asse.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui la prima struttura deformabile (22) comprende una rispettiva struttura di supporto (32), la quale è fissata alla struttura fissa (10) ed alla struttura mobile (12); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40) e gli elementi piezoelettrici secondari (42) della prima struttura deformabile sono meccanicamente accoppiati a detta rispettiva struttura di supporto.

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, in cui la struttura di supporto (32) della prima struttura deformabile (22) ha un rispettivo corpo principale (36), il quale ha una forma allungata lungo una rispettiva direzione di allungamento.

4. Dispositivo secondo la rivendicazione 3, in cui gli elementi piezoelettrici principali (40) della prima struttura deformabile (22) sono disposti lungo la direzione di allungamento di detto rispettivo corpo principale (36).

5. Dispositivo secondo la rivendicazione 4, in cui gli elementi piezoelettrici principali (40) e gli elementi piezoelettrici secondari (42) della prima struttura deformabile (22) sono tra loro intervallati lungo detta

direzione di allungamento di detto rispettivo corpo principale (36).

6. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 5, in cui gli elementi piezoelettrici secondari (42) della prima struttura deformabile (22) hanno forme allungate lungo una direzione trasversale rispetto alla direzione di allungamento di detto corpo principale (36).

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, in cui detta struttura di supporto (32) forma una pluralità di primi elementi trasversali (38), i quali si estendono a partire da un primo lato di detto corpo principale (36), ed una pluralità di secondi elementi trasversali (39), i quali si estendono a partire da un secondo lato di detto corpo principale, detti primo e secondo lato essendo tra loro opposti; ed in cui ciascun elemento piezoelettrico secondario (42) è meccanicamente accoppiato ad una corrispondente coppia formata da uno tra detti primi elementi trasversali ed uno tra detti secondi elementi trasversali, in maniera tale per cui, durante detta seconda deformazione della prima struttura deformabile (22), gli elementi trasversali di detta coppia si incurvano.

8. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 7, in cui la struttura di supporto (32) ha una forma "L"; ed in cui il braccio lungo di detta

forma a "L" è formato da detto corpo principale (36).

9. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta struttura fissa (10) è formata almeno in parte da materiale semiconduttore; ed in cui ciascuna tra la prima e la seconda struttura deformabile (22,24) comprende una rispettiva regione di elettrodo inferiore (78); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40') e gli elementi piezoelettrici secondari (42') della prima struttura deformabile si estendono al di sopra della regione di elettrodo inferiore della prima struttura deformabile; ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40'') della seconda struttura deformabile si estendono al di sopra della regione di elettrodo inferiore della seconda struttura deformabile.

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 9, in cui ciascuna tra la prima e la seconda struttura deformabile (22,24) comprende una rispettiva regione semiconduttiva (70).

11. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la seconda struttura deformabile (24) comprende un rispettivo numero di elementi piezoelettrici secondari (42''), i quali sono elettricamente comandabili in modo da causare una seconda deformazione della seconda struttura deformabile e variare una seconda

frequenza di risonanza della struttura mobile (12) attorno a detto secondo asse (A_2).

12. Dispositivo secondo la rivendicazione 11, in cui la seconda struttura deformabile (24) è uguale alla prima struttura deformabile (22), ma è ruotata rispetto alla prima struttura deformabile.

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 11 o 12, in cui la seconda struttura deformabile (24) comprende una rispettiva struttura di supporto (32), la quale è fissata alla struttura fissa (10) ed alla struttura mobile (12); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40") e gli elementi piezoelettrici secondari (42") della seconda struttura deformabile sono meccanicamente accoppiati alla rispettiva struttura di supporto.

14. Dispositivo secondo la rivendicazione 13, in cui la struttura di supporto (32) della seconda struttura deformabile (24) ha un rispettivo corpo principale (36), il quale ha una forma allungata lungo una rispettiva direzione di allungamento; ed in cui gli elementi piezoelettrici secondari (42") della seconda struttura deformabile hanno forme allungate e trasversali rispetto alla direzione di allungamento del corpo principale della seconda struttura deformabile.

15. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da precedenti, comprendente inoltre:

- una terza ed una quarta struttura deformabile (26,28), ciascuna delle quali è interposta tra la struttura fissa (10) e la struttura mobile (12) e comprende un numero di rispettivi elementi piezoelettrici principali (40''',40''''') ed un numero di rispettivi elementi piezoelettrici secondari (42''', 42''''');

ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40''') della terza struttura deformabile sono elettricamente comandabili in maniera tale da causare una prima deformazione sostanzialmente periodica della terza struttura deformabile e detta oscillazione della struttura mobile attorno a detto primo asse (A_1); ed in cui gli elementi piezoelettrici principali (40''''') della quarta struttura deformabile sono elettricamente comandabili in maniera tale da causare una prima deformazione sostanzialmente periodica della quarta struttura deformabile e detta oscillazione della struttura mobile attorno a detto secondo asse (A_2); ed in cui gli elementi piezoelettrici secondari (42''') della terza struttura deformabile sono elettricamente comandabili in modo da causare una seconda deformazione della terza struttura deformabile e variare detta prima frequenza di risonanza; ed in cui gli elementi piezoelettrici secondari (42''''') della quarta struttura deformabile sono elettricamente comandabili in modo da causare una seconda deformazione

della quarta struttura deformabile e variare detta seconda frequenza di risonanza.

16. Sistema MEMS proiettivo comprendente:

- un dispositivo MEMS (8) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti;

- un primo generatore AC (48) configurato per applicare una prima tensione alternata sugli elementi piezoelettrici principali (40') della prima struttura deformabile (22);

- un secondo generatore AC (48) configurato per applicare una seconda tensione alternata sugli elementi piezoelettrici principali (40'') della seconda struttura deformabile (24), la seconda tensione alternata avendo una frequenza differente dalla prima tensione alternata; e

- almeno un primo generatore DC (48) configurato per applicare una prima tensione continua sugli elementi piezoelettrici secondari (42') della prima struttura deformabile.

17. Sistema MEMS proiettivo comprendente un dispositivo MEMS (8) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 15 ed una sorgente ottica (4) configurata per generare un fascio ottico (OB1) che incide sull'elemento riflettente (90).

18. Apparecchio elettronico portatile (200) comprendente un sistema MEMS proiettivo (1) secondo la

rivendicazione 16 o 17.

19. Apparecchio secondo la rivendicazione 18, in cui detto sistema MEMS proiettivo (1) è un accessorio standalone avente un involucro (201) accoppiato in maniera rilasciabile ad un rispettivo involucro (203) di detto apparecchio elettronico portatile (200).

20. Apparecchio secondo la rivendicazione 18, in cui detto sistema MEMS proiettivo (1) è formato in maniera integrata, all'interno di un involucro (203) di detto apparecchio elettronico portatile (200).

21. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 18-20, scelto nel gruppo comprendente: un telefono cellulare; uno smartphone; un FDA; un tablet; un riproduttore di audio digitale; un controller per videogiochi.

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

Pietro SPALLA

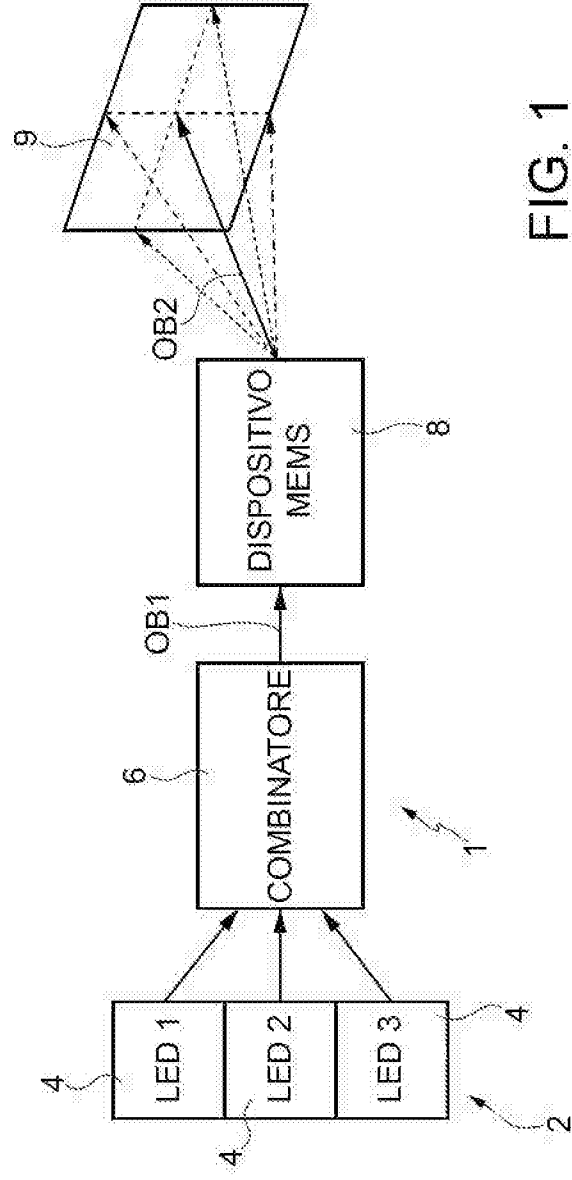


FIG. 1

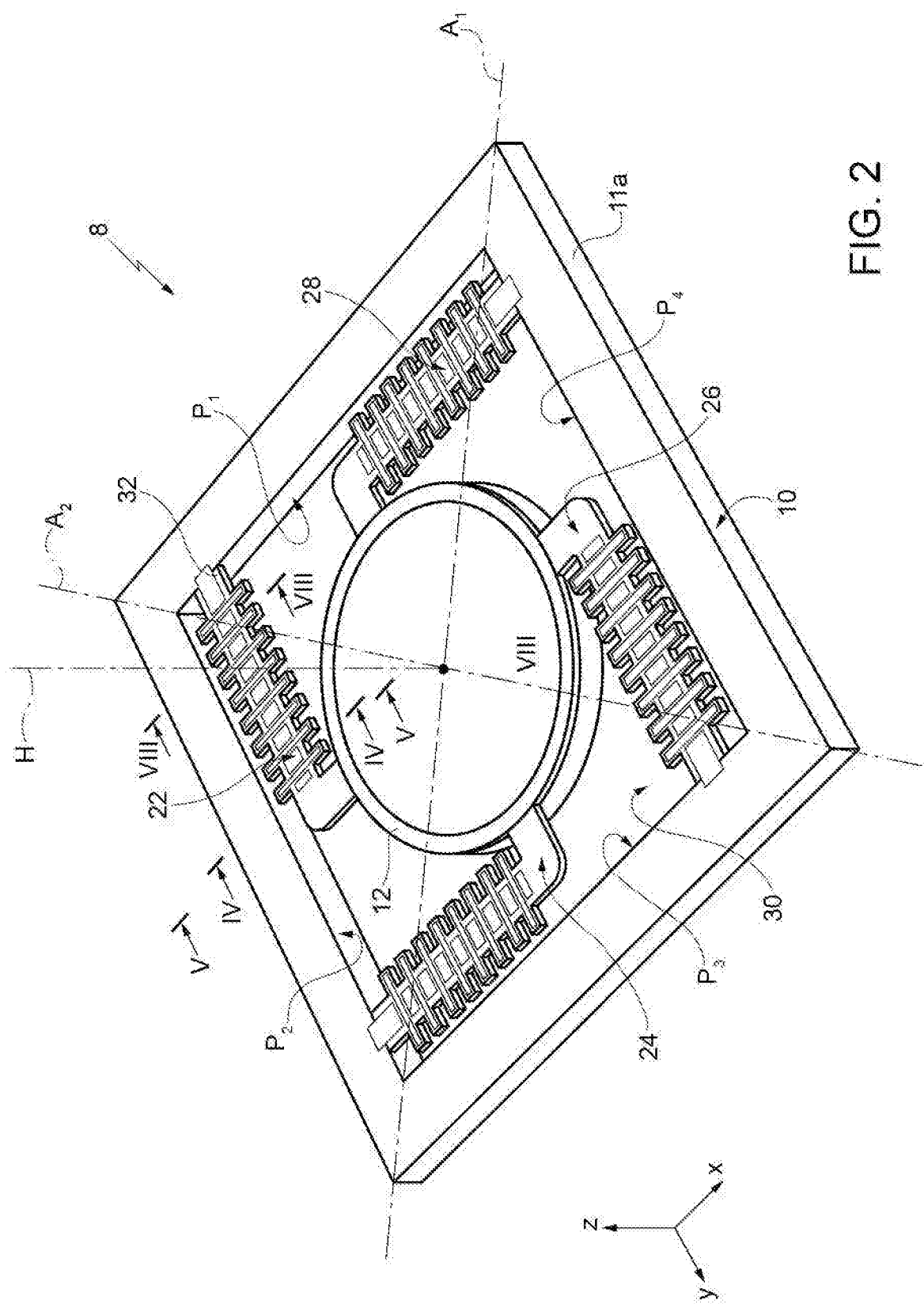
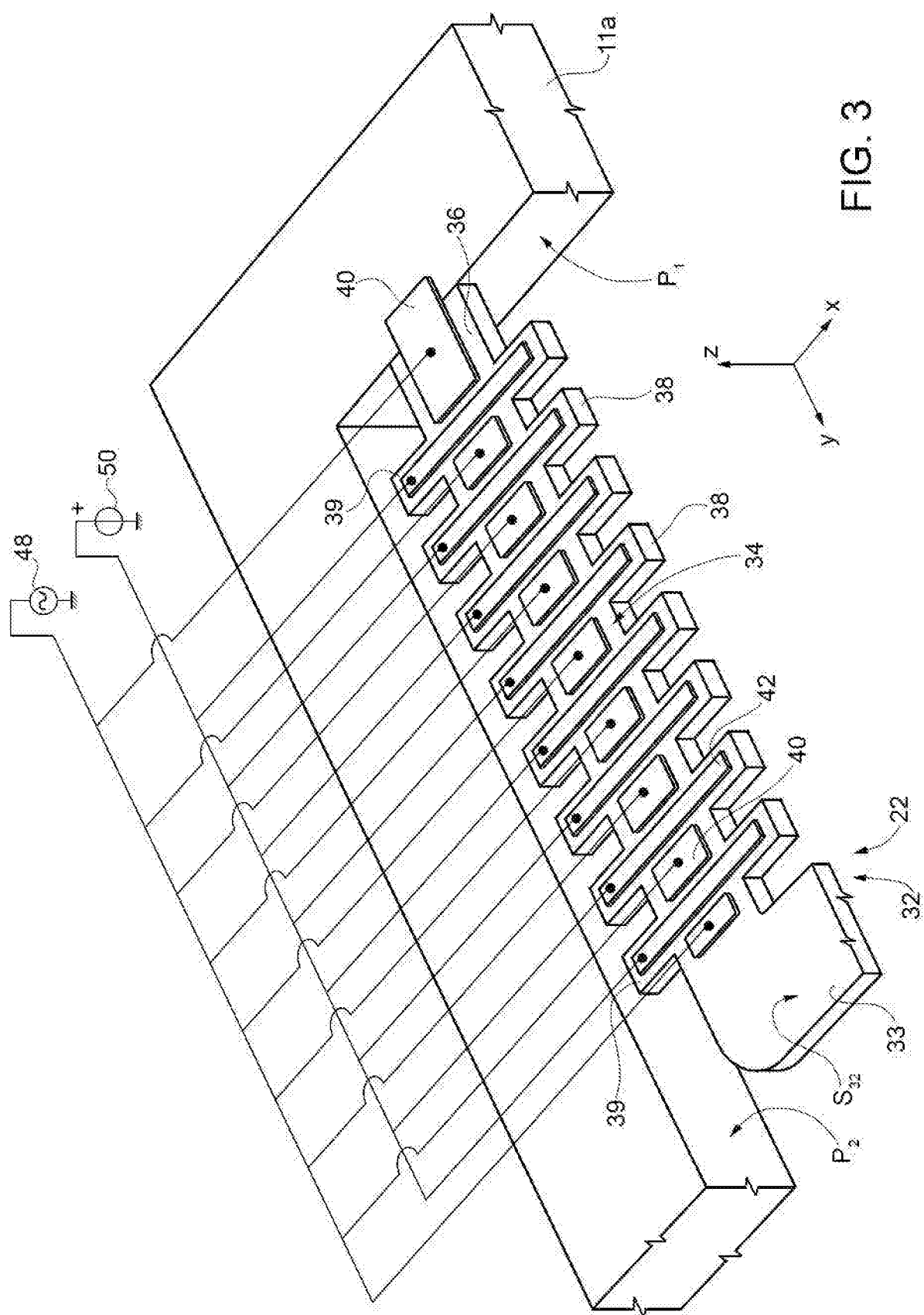


FIG. 2



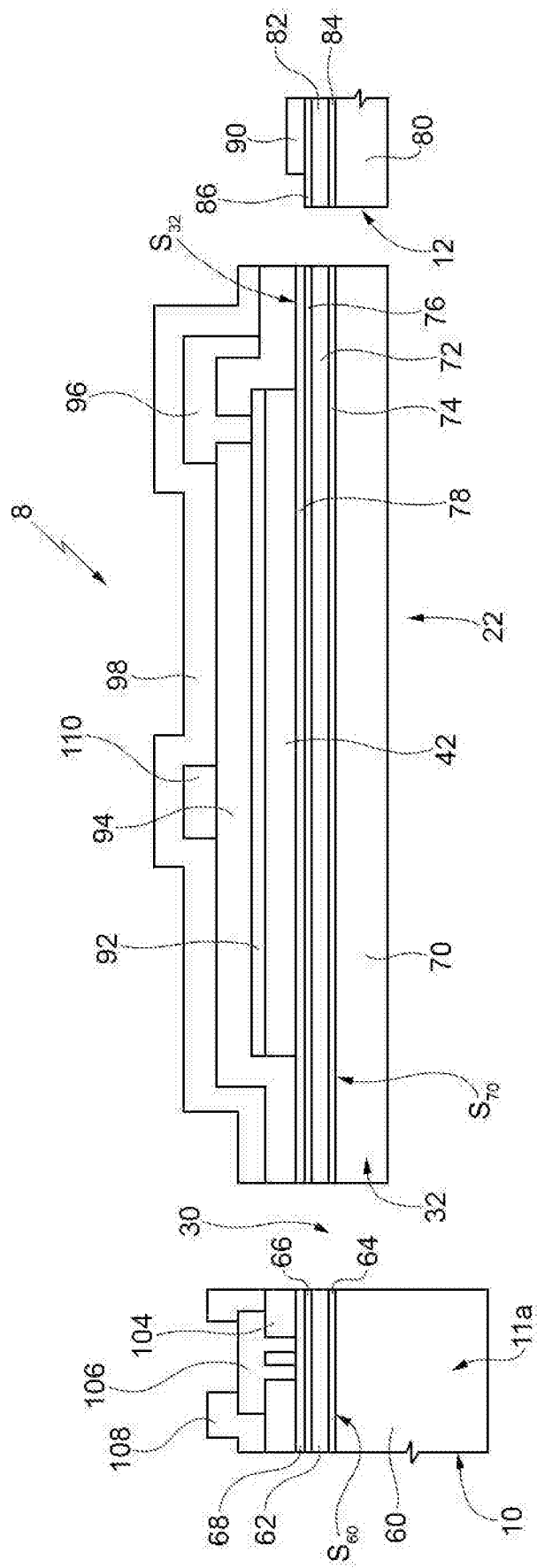


FIG. 4

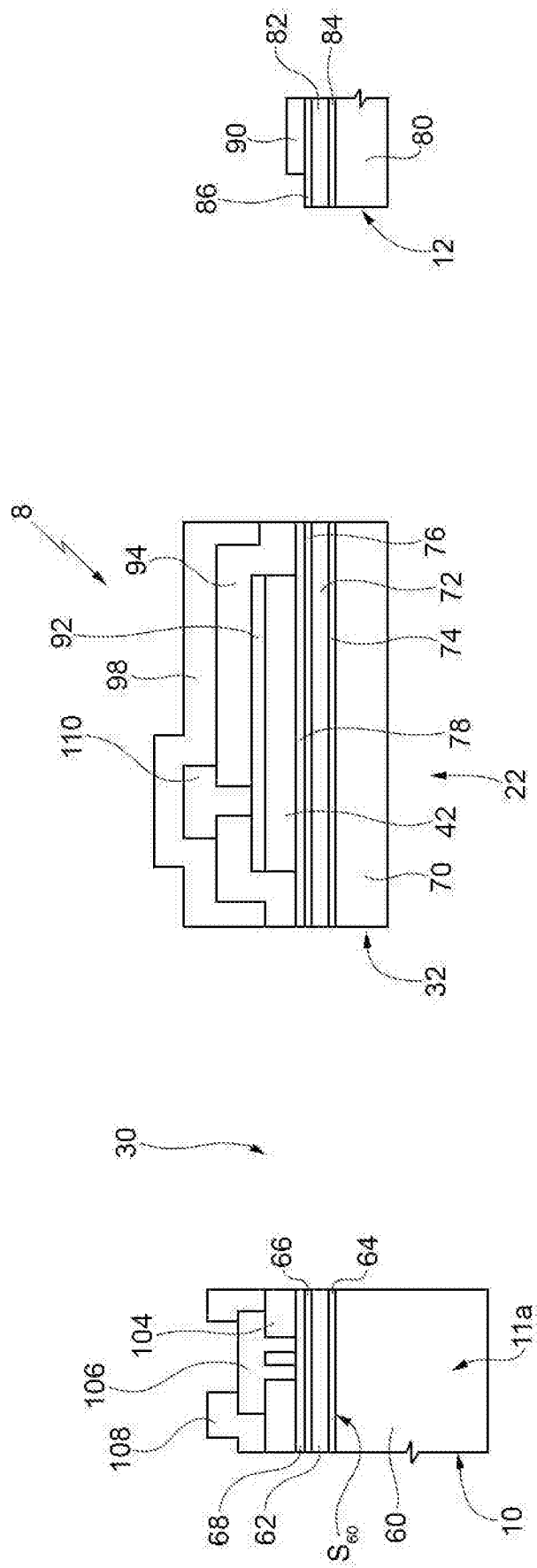


FIG. 5

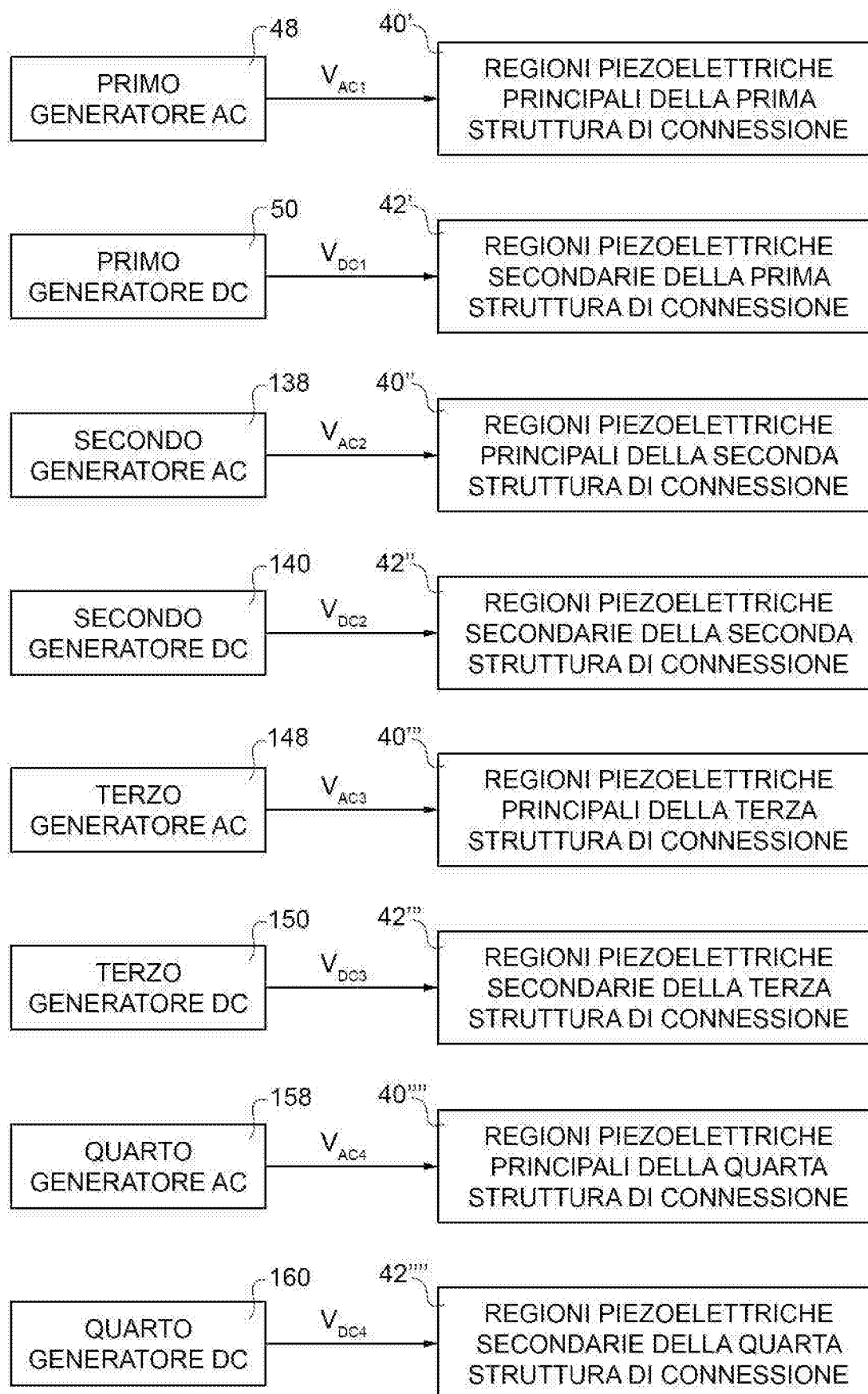


FIG. 6

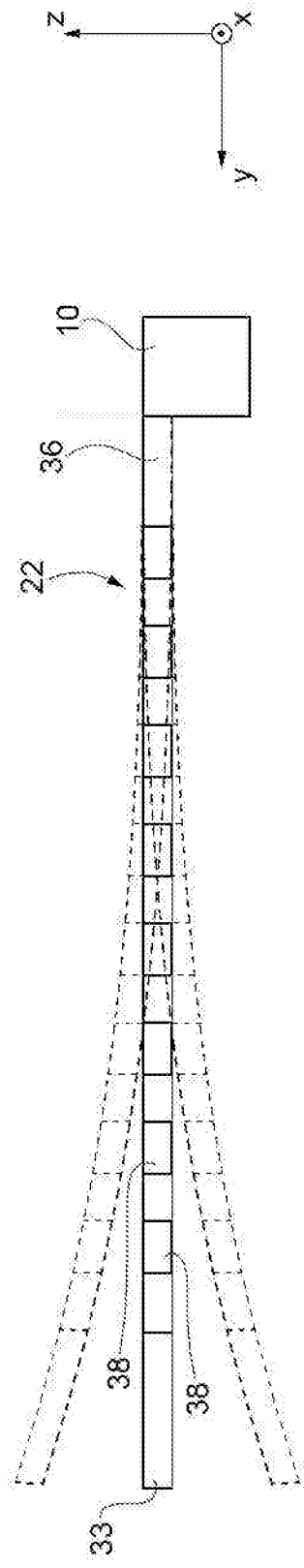


FIG. 7A

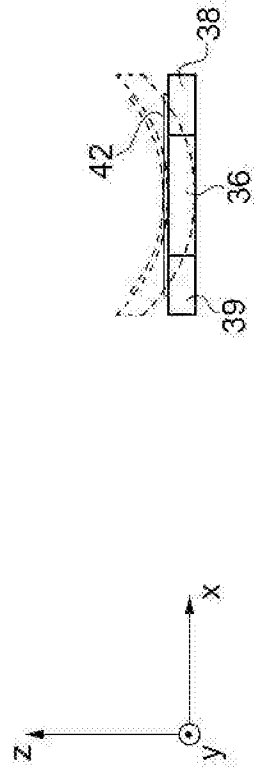


FIG. 8

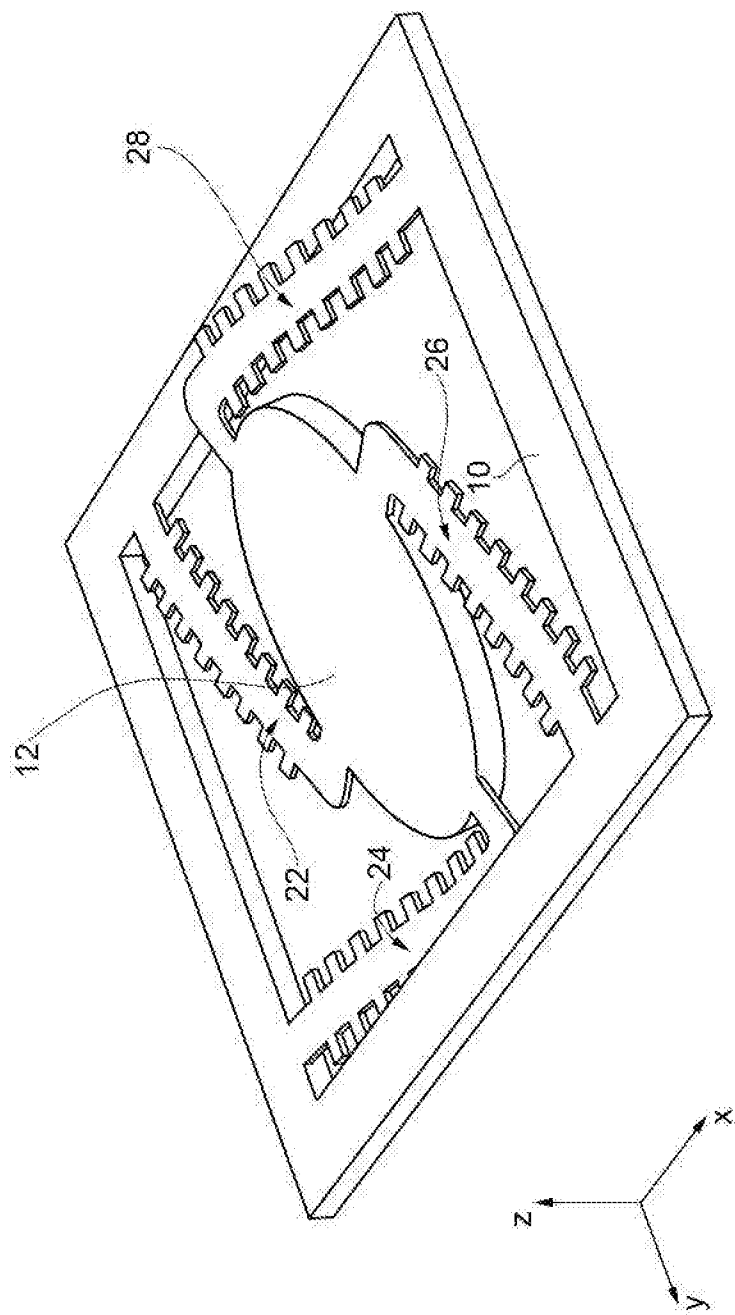


FIG. 7B

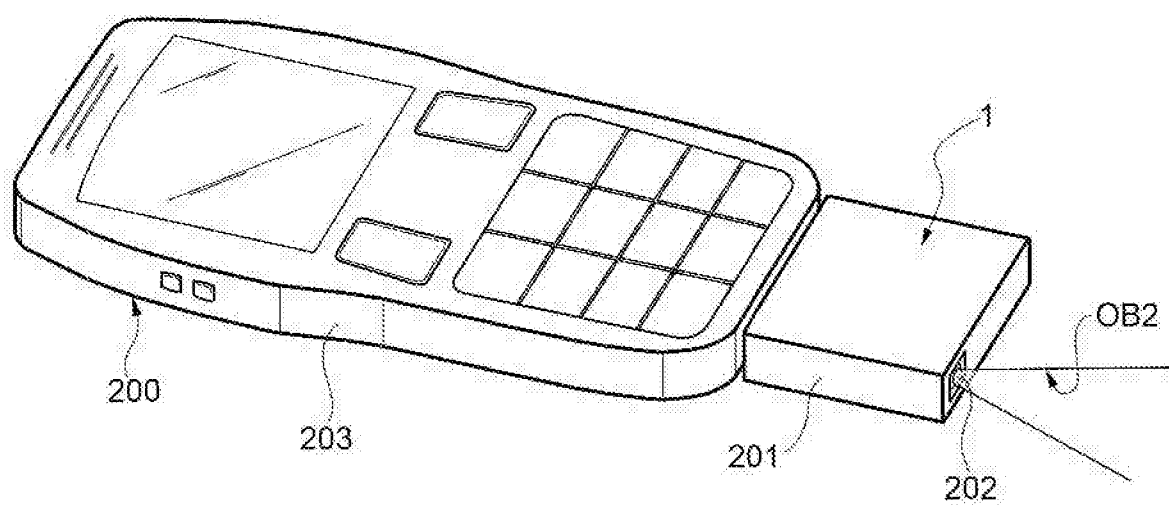


FIG. 9

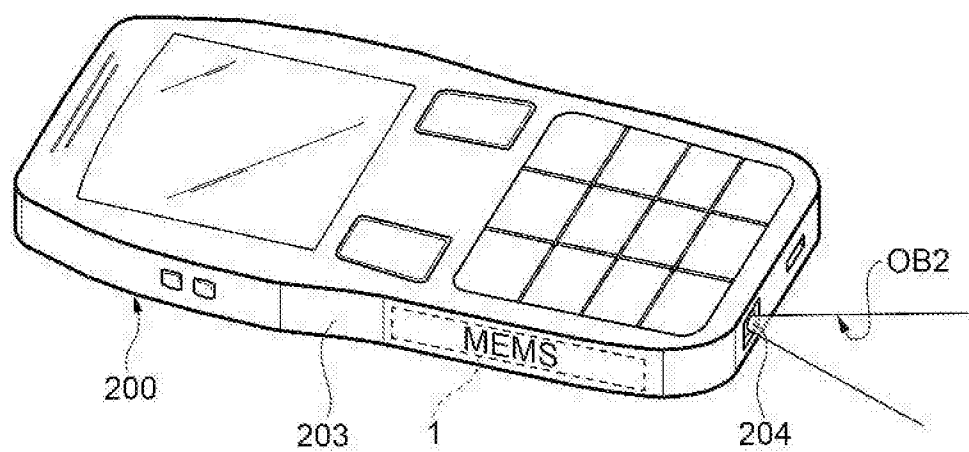


FIG. 10