

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO | 102021000024386 |
| Data Deposito | 22/09/2021 |
| Data Pubblicazione | 22/03/2023 |

Classifiche IPC

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| G | 01 | J | 5 | 12 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | L | 27 | 16 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | L | 35 | 32 |

Titolo

SENSORE TERMICO INTEGRATO E RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

“SENSORE TERMICO INTEGRATO E RELATIVO PROCESSO DI
FABBRICAZIONE”

5 di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

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

Inventori: DUQI Enri, CASTAGNA Maria Eloisa

* * *

10 La presente invenzione appartiene al campo dei dispositivi di conversione di energia termica in energia elettrica. Specificamente, la presente descrizione si riferisce ad un sensore termico integrato basato sull'effetto Seebeck e al relativo processo di
15 fabbricazione.

In particolare, di seguito viene descritto un sensore termico formato da una pluralità di termocoppie collegate in serie, chiamato anche termopila.

Come è noto, le termopile sono dispositivi in grado di
20 convertire la radiazione elettromagnetica, nella regione infrarossa (nella banda fra 1,1 to 25 μm), in segnali elettrici utilizzabili in numerose applicazioni.

Ad esempio, l'uso di termopile è già stato proposto per realizzare dispositivi di generazione dinamica di immagini
25 (“dynamic imaging”), sistemi di illuminazione intelligenti

("smart lighting"), edifici intelligenti ("smart buildings") e nei campi più svariati.

Le termopile sono formate da più termocoppie collegate generalmente in serie o, meno comunemente, in parallelo.

5 Ciascuna termocoppia è formata da porzioni di materiali dissimili e genera una tensione quando le giunzioni sono esposte a differenti temperature.

La figura 2 mostra schematicamente il principio di funzionamento di una termocoppia 1. La termocoppia 1 comprende una prima porzione 2 di un primo materiale, 10 accoppiata alle sue estremità (prima e seconda estremità 3 e 4) a due seconde porzioni 5 di un differente materiale.

Le prime e le seconde porzioni 2, 5 sono realizzate di materiali diversi, ad esempio metalli o composti di materiali 15 dei gruppi V-VI (quali leghe o composti di Bi, Sb, Te, Se).

Le estremità 3 e 4 della prima porzione 2 formano giunzioni con le seconde porzioni 5; ad esempio la prima estremità 3 forma una giunzione di rilevamento (chiamata a volte anche giunzione calda) e la seconda estremità 4 forma 20 una giunzione di riferimento (chiamata a volte anche giunzione fredda).

Le porzioni 5 presentano inoltre ciascuna una estremità libera 6; le estremità libere 6 costituiscono un'uscita sulla quale è presente una differenza di potenziale ΔV correlata 25 alla differenza di temperatura ΔT esistente fra la giunzione

di rilevamento 3 e la giunzione di riferimento 4, secondo l'equazione di Seebeck:

$$\Delta V = (S_B - S_A) \Delta T = S \Delta T \quad (1)$$

in cui S_A e S_B sono i coefficienti di Seebeck (o potere termoelettrico) relativi ai materiali della prima porzione 3 e, rispettivamente, delle seconde porzioni 4.

Quindi, tanto maggiore è la differenza di temperatura fra la giunzione di rilevamento 3 e la giunzione di riferimento 4, quanto maggiore la tensione rilevata 10 sull'uscita 6.

Una termopila può essere realizzata collegando diverse termocoppie 1 in serie, come mostrato in figura 2, nella quale sono stati usati gli stessi numeri di riferimento della figura 1. In pratica, la termopila (indicata con 10) 15 comprende una serie di prime porzioni 2 (del primo materiale) e di seconde porzioni 5 (del secondo materiale), fra loro alternate, collegate in corrispondenza delle giunzioni di rilevamento 3 e delle giunzioni di riferimento 4.

In questo modo, la differenza di tensione in uscita è 20 data dalla somma delle ΔV di tutte le termocoppie 1 e, nel caso che le temperature delle giunzioni calde e fredde 3, 4 siano approssimativamente uguali per tutte le termocoppie 1 (come nel caso di sensori integrati di piccole dimensioni), nel caso di n termocoppie 1 si ha:

$$\Delta V = n S \Delta T \quad (2)$$

E' stato già proposta la realizzazione integrata di termopile, usando la tecnologia dei semiconduttori, in modo da ridurre le dimensioni del dispositivo e consentirne l'uso in dispositivi portatili, quali cellulari, tablet e simili.

5 Tali soluzioni prevedono in genere la realizzazione di termocoppie orizzontali, formate in film sottile di materiale termoelettrico su substrati rigidi di silicio o su substrati flessibili di materiale plastico. Tali soluzioni tuttavia si basano in genere sull'uso di materiali non 10 standard e/o richiedono fasi di lavorazione complesse e le termopile ottenibili sono affette da rumore e hanno bassa sensibilità.

15 Sono state proposte anche termopile aventi una struttura verticale mediante formazione di regioni di materiale termoelettrico in un substrato plastico.

Ad esempio, una termopila a struttura verticale è descritta in "Vertical Thermopiles Embedded in a Polyimide-Based Flexible Printed Circuit Board" di Hanna Yousef et al., Journal of Micromechanical Systems, vol 16, No. 6, 20 Dicembre 2007, ed è mostrata in figura 3. Qui, un corpo 12 (ad esempio di materiale plastico, quale poliimmide) alloggia una pluralità di termocoppie 13 comprendenti ciascuna una prima regione sensibile 15 e una seconda regione sensibile 16, disposte affiancate e a distanza reciproca.

25 Le prime e le seconde regioni sensibili 15, 16 possono

essere realizzate di materiale metallico differente, ad esempio mediante più fili di antimonio e nichel, formati in fori passanti nel corpo 12 e collegati in parallelo.

Interconnessioni 18 collegano fra loro le prime e le 5 seconde regioni sensibili 15, 16 di ciascuna termocoppia 13 e collegano in serie le diverse termocoppe 13, formando giunzioni calde e fredde.

Anche tale soluzione è tuttavia suscettibile di miglioramento per quanto riguarda l'efficienza di 10 conversione e richiede un processo di lavorazione piuttosto complesso.

In generale, in queste e altre soluzioni note, per ovviare il problema di efficienza piuttosto bassa, e allo scopo di raggiungere efficienza fino a alcune centinaia di 15 V/W, vengono utilizzati materiali non standard nell'industria dei semiconduttori e/o i passi di processo sono complessi e richiedono macchinari e accorgimenti complessi e costosi.

Scopo della presente invenzione è realizzare una 20 termopila che superi gli inconvenienti della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un sensore termico integrato e il relativo metodo di fabbricazione, come definiti 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 è una rappresentazione schematica di una termocoppia utilizzabile come sensore di temperatura;

5 - la figura 2 mostra il collegamento in serie di una pluralità di termocoppie di figura 1 per formare una termopila;

- la figura 3 è una vista prospettica, con parti in trasparenza, di una implementazione della termopila di 10 figura 2;

- la figura 4 è una vista in sezione trasversale della struttura schematica della presente termopila;

- la figura 5 è una vista prospettica schematica della termopila di figura 4;

15 - le figure 6A-6M sono sezioni trasversali attraverso una struttura a semiconduttori in successive fasi di fabbricazione di una forma di realizzazione della termopila delle figure 4 e 5;

20 - le figure 7A-7D sono viste dall'alto delle strutture intermedie delle figure 6C, 6E, 6G E 6K, prese lungo rispettive linee di sezione trasversale 6C-6C, 6E-6E, 6G-6G e 6K-6K;

- la figura 8 è una sezione trasversale di una differente forma di realizzazione della struttura intermedia 25 nella fase di figura 6H; e

- la figura 9 è una sezione trasversale di una differente forma di realizzazione della presente termomila.

La descrizione che segue fa riferimento alla disposizione mostrata; di conseguenza, espressioni quali 5 "sopra", "sotto", "superiore", "inferiore", "destra", "sinistra", "laterale", ecc., sono relative alle figure allegate e non devono essere interpretate in modo assoluto o limitativo.

Inoltre, per quanto riguarda il processo di 10 fabbricazione, questo viene effettuato a livello di fetta, a meno che differentemente indicato, per cui le strutture mostrate nelle figure 6A-6M vengono generalmente replicate diverse volte in ciascuna fetta e separate alla fine o in una fase intermedia mediante una fase di dicing, in modo 15 ovvio per il tecnico del ramo.

Inoltre, il numero di termocoppie presenti in ciascuna termopila può essere qualsiasi, compatibilmente con 20 considerazioni tecnologiche, di efficienza e robustezza, e anche la disposizione matriciale mostrata può variare a seconda delle specifiche di progetto, in modo ovvio per il tecnico del ramo.

Le figure 4 e 5 mostrano un sensore termico integrato, in seguito indicato come termopila 20.

La termopila 20 comprende un involucro 21, qui formato 25 da un cappuccio superiore 22, un cappuccio inferiore 23 ed

una parete periferica 24. Il cappuccio superiore 22, il cappuccio inferiore 23 e la parete periferica 24 possono essere realizzati tutti di silicio, ad esempio per scavo di fette di silicio monocristallino.

5 La parete periferica 24 ha forma chiusa (in una vista dall'alto, parallela ad un piano XY di un sistema di coordinate cartesiane XYZ), ad esempio si estende lungo i lati di un quadrato o di un rettangolo.

10 Il cappuccio superiore 22 e il cappuccio inferiore 23, hanno, in vista dall'alto, perimetro coincidente con quello della parete periferica 24 e sono incollati al di sopra e, rispettivamente, al di sotto di questa, ad esempio mediante rispettivi strati di glass frit 25A, 25B, in modo da definire uno spazio interno cavo 26.

15 In alternativa a quanto mostrato, il cappuccio superiore 22 potrebbe essere realizzato maggiormente incavato ed essere incollato direttamente al cappuccio inferiore 23, senza l'interposizione della parete periferica 24.

20 Uno strato portante 30 si estende attraverso lo spazio interno cavo 26, fra i lati della parete periferica 24, qui allineato allo strato di glass frit 25B.

25 Lo strato portante 30 ha estensione principale parallela al piano XY e può essere di materiale isolante, ad esempio di ossido di silicio, o essere costituito da un

multistrato, includente uno strato isolante.

Lo strato portante 30 supporta una pluralità di termocoppie 31, ad esempio disposte reciprocamente affiancate, con disposizione matriciale (si veda anche la 5 figura 5) e accoppiate qui in serie mediante regioni di connessione superiore e inferiore 32, 33 formate su estremità opposte delle termocoppie 31, come discusso sotto.

Ciascuna termocoppia 31 comprende una prima regione termoelettricamente attiva o prima gamba 34, ed una seconda 10 regione termoelettricamente attiva o seconda gamba 35, di materiale avente coefficiente di Seebeck diverso rispetto alla prima gamba 34.

Almeno una fra la prima e la seconda gamba 34, 35 è realizzata di materiale semiconduttore, quale silicio, 15 silicio-germanio.

Qualora sia le prime sia le seconde gambe 34, 35 delle termocoppie 31 siano realizzate di materiale semiconduttore, in particolare silicio, esse sono di tipo di conducibilità opposto; ad esempio, le prime gambe 34 possono essere di 20 tipo P, e le seconde gambe 35 possono essere di tipo N.

In alternativa, le prime gambe 34 possono essere realizzate di un metallo quale alluminio Al, nichel Ni, silicio-cromo Si-Cr e le seconde gambe 35 possono essere di materiale semiconduttore di tipo N.

25 Le prime e le seconde gambe 34, 35 hanno forma allungata

e si estendono in direzione perpendicolare al piano XY (lungo una direzione di spessore Z del sistema di coordinate cartesiane XYZ), parallelamente una all'altra.

In dettaglio, la prima e la seconda gamba 34, 35 di 5 ciascuna termocoppia 31 sono disposte distanziate reciprocamente, in modo da essere collegate elettricamente solo alle estremità.

In particolare, l'estremità inferiore di una prima gamba 34 di una termocoppia 31 è accoppiata all'estremità 10 inferiore di una seconda gamba 35 di una termocoppia 31 adiacente o comunque seguente nel percorso serie attraverso una regione di connessione inferiore 33; le estremità superiori della prima e della seconda gamba 34, 35 di una stessa termocoppia 31 sono accoppiate reciprocamente 15 attraverso una regione di connessione superiore 32.

Regioni di connessione di estremità 38 accoppiano elettricamente la pluralità di termocoppe 31 ad altre strutture elettriche, interne o esterne all'involucro 21, ad esempio mediante piazzole di contatto ("pad") non mostrate.

20 La termopila 20 può comprendere una pluralità di termocoppe 31 disposte a formare una matrice di NxM elementi, come mostrato in figura 5.

In figura 5, sono mostrate quattro termocoppe 31A-31D, 25 disposte in configurazione 2x2, per motivi puramente illustrativi.

In tale configurazione, quindi, la prima gamba 34 della prima termocoppia 31A è accoppiata alla seconda gamba 35 della seconda termocoppia 31B; la prima gamba 34 della seconda termocoppia 31B è accoppiata alla seconda gamba 35 della terza termocoppia 31C; la prima gamba 34 della terza termocoppia 31C è accoppiata alla seconda gamba 35 della quarta termocoppia 101D; la seconda gamba 35 della prima termocoppia 31A e la prima gamba 34 della prima termocoppia 31A sono accoppiate all'esterno da una rispettiva delle 10 regioni di connessione di estremità 38.

Le regioni di connessione inferiore 33 e le regioni di connessione di estremità 38 sono qui realizzate al di sopra dello strato portante 30; in alternativa, possono essere annegate in questo.

Uno strato di assorbimento 39 può estendersi al di sopra delle regioni di connessione superiore 32; lo strato di assorbimento 39, ad esempio un filtro antiriflettente ARC - (Anti Reflective Coating) può essere formato come strato unico, che si estende al di sopra di tutte le termocoppie 31 o (come mostrato in figura 4) essere costituito da una pluralità di porzioni separate. Lo strato di assorbimento 39 può tuttavia mancare.

Il cappuccio inferiore 23 della termopila 20 può essere incollato ad un supporto (non mostrato) portante connessioni elettriche ed eventualmente un elemento di elaborazione, ad

esempio un ASIC ("Application Specific Integrated Circuit"), per l'elaborazione dei segnali forniti dalla termopila 20.

Di conseguenza, le regioni di connessione superiore 32 ricevono la luce, e in particolare la radiazione infrarossa, attraverso il cappuccio superiore 22, trasparente, e costituiscono giunzioni calde (in seguito identificate con lo stesso numero di riferimento 32) e le regioni di connessione inferiore 33 sono schermate dal supporto, e costituiscono quindi giunzioni fredde (in seguito identificate con lo stesso numero di riferimento 33), 10 operanti come riferimento per le giunzioni calde.

In pratica, le termocoppie 31 costituiscono delle sorta di "colonne" ("pillar") estendentesi all'interno dello spazio interno cavo 26 e presentanti giunzioni calde 32 rivolte verso il cappuccio superiore 22.

In questo modo, le termocoppie 31 sono circondate da aria (eventualmente a pressione inferiore a quella atmosferica) sia lateralmente sia sopra che sotto (a parte lo strato portante 30, che può essere realizzato di spessore 20 minimo per avere la robustezza desiderata).

Inoltre, l'involucro 21 isola termicamente le termocoppie 31 stesse da altri influssi termici esterni.

La chiusura ermetica ottenibile tramite l'involucro 21 consente quindi di evitare dispersioni di calore per 25 conduzione e di conseguenza di ottenere una elevata

sensibilità.

L'eventuale strato di assorbimento 39, qualora realizzato come strato unico o formato da porzioni in contatto con più termocoppie 31, consente di unire 5 termicamente le giunzioni calde 32.

La termopila 20 può essere realizzata come descritto in dettaglio in seguito con riferimento alle figure 6A-6L e 7A-7D.

Con riferimento alla figura 6A, una fetta iniziale 40 10 comprende un corpo 41 avente una prima superficie 41A e una seconda superficie 41B. Uno strato isolante 42, ad esempio di ossido, si estende sulla prima superficie 41A e alloggia prime regioni di contatto 43 e linee di connessione elettrica 44, ad esempio di silicio policristallino.

15 Ad esempio, lo strato isolante 42 viene realizzato mediante deposito di un primo strato di ossido di silicio; deposito e sagomatura di uno strato di polisilicio per formare le prime regioni di contatto 43 e le linee di connessione elettrica 44 e deposito di un secondo strato di 20 ossido di silicio. Le prime regioni di contatto 43 e linee di connessione elettrica 44 possono essere disposte come mostrato in figura 6A.

Lo strato isolante 42 può essere inoltre attaccato per formare fori passanti (uno solo mostrato tratteggiato e 25 indicato con 47), per i motivi spiegati in seguito.

Lo strato isolante 42 è destinato a formare lo strato portante 30 di figura 4, e può avere uno spessore complessivo compreso fra 0,2 μm e 10 μm

Quindi, figura 6B, vengono aperti primi contatti, 5 mediante rimozione selettiva dello strato isolante 42 al di sopra delle prime regioni di contatto 43 e formazione di aperture estendentisi fino a queste.

Viene quindi cresciuto epitassialmente uno strato strutturale 45, ad esempio di silicio di un primo tipo di 10 conducibilità, ad esempio N+, eventualmente dopo aver depositato uno strato di seme, nell'esempio, di silicio. Lo strato strutturale 45 può avere spessore compreso fra 40 e 200 μm .

Lo strato strutturale 45 si estende quindi nelle 15 aperture precedentemente formate, formando porzioni di contatto 46, in contatto diretto con le prime regioni di contatto 43. Inoltre, lo strato strutturale cresce anche nei fori 47.

In figura 6C, prime trincee di definizione 49 vengono 20 realizzate nello strato strutturale 45, mediante attacco che termina automaticamente sullo strato isolante 42. Le prime trincee di definizione 49 si estendono quindi per tutto lo spessore dello strato strutturale 45, fino allo strato isolante 42. Qui, ciascuna prima trincea di definizione 49 25 si estende lateralmente sfalsata rispetto ad una rispettiva

porzione di contatto 46 e alla corrispondente prima regione di contatto 43.

Le prime trincee di definizione 49 possono avere sezione poligonale (come ad esempio mostrato in figura 7A, nella quale sono mostrate anche le prime regioni di contatto 43 e le linee di connessione elettrica 44, anche se in realtà non visibili dall'alto). In alternativa, le prime trincee di definizione 49 possono avere sezione rotonda o ovale o qualsiasi.

Quindi, figura 6D, viene depositato uno strato di isolamento 50, ad esempio di ossido. Lo strato di isolamento 50 si deposita sul fondo e sulle pareti delle prime trincee di definizione 49 (dove forma un mantello di isolamento 51) e le chiude superiormente mediante uno strato superficiale 52, che si estende anche sulla superficie dello strato strutturale 45.

Lo strato superficiale 52 viene quindi assottigliato ad esempio mediante CMP (Chemical Mechanical Polishing).

In figura 6E, lo strato superficiale 52 viene rimosso selettivamente sia in corrispondenza dell'imboccatura delle prime trincee di definizione 49 sia in zone in cui si desidera formare seconde regioni di contatto, mediante usuali passi fotolitografici.

Quindi le prime trincee di definizione 49 vengono riaperte superiormente (mantenendo comunque il rivestimento

interno costituito dal rispettivo mantello di isolamento 51) e, sulla superficie dello strato strutturale 45, si formano aperture 55 che scoprono lo strato strutturale sottostante. In particolare, le aperture 55 sono disposte lateralmente 5 alle prime trincee di definizione 49, come visibile in figura 7B.

Quindi, figura 6F, viene depositato uno strato di materiale termoelettricamente attivo 56, ad esempio silicio di un secondo tipo di conducibilità (nell'esempio 10 considerato, di tipo P). Lo strato di materiale termoelettricamente attivo 56 riempie le prime trincee di definizione 49, dove forma prime regioni termoelettriche 59, costituenti ad esempio le prime gambe 34 di figura 4.

Lo strato di materiale termoelettricamente attivo 56 15 copre anche la superficie della fetta iniziale 40, riempiendo anche aperture 55, e formando qui seconde regioni di contatto 57.

Lo strato di materiale termoelettricamente attivo 56 può non riempire completamente le prime trincee di 20 definizione 49, come mostrato in figura 6F; in questo caso le prime regioni termoelettriche 59 possono presentare zone vuote 58 (non rappresentate nelle successive figure).

In figura 6G viene realizzata una seconda trincea di definizione 60, mediante un attacco mascherato dello strato 25 di materiale termoelettricamente attivo 56, dello strato

superficiale 52 e dello strato strutturale 45, attacco che si ferma automaticamente sullo strato isolante 42.

La seconda trincea di definizione 60 ha ad esempio la forma mostrata in figura 7C e delimita una pluralità di 5 colonne ("pillar") 65, qui di base quadrangolare (o qualsiasi forma utile).

Nella forma di realizzazione mostrata, quindi, in ciascuna colonna 65, la porzione rimanente dello strato strutturale 45 forma una seconda regione termoelettrica 61, 10 di forma anulare, circondante un rispettivo mantello di isolamento 51 (a sua volta circondante una rispettiva prima regione termoelettrica 59).

Inoltre, in ciascuna colonna 65, la porzione rimanente dello strato di materiale termoelettricamente attivo 56 15 circondata dalla seconda trincea di definizione 60 forma una base di connessione 62. Le basi di connessione 62 sono monolitiche con le rispettive prime regioni termoelettriche 59 e in contatto elettrico diretto con le rispettive seconde regioni termoelettriche 61 attraverso le seconde regioni di 20 contatto 57.

Le porzioni rimanenti dello strato strutturale 45, dello strato superficiale 52 e dello strato di materiale termoelettricamente attivo 56 all'esterno della seconda trincea di definizione 60 formano invece una cornice 63, 25 analoga alla parete periferica 24 di figura 4.

In pratica, quindi, nella forma di realizzazione mostrata, in ciascuna colonna 65, il mantello di isolamento 51 isola elettricamente fra loro le superfici laterali affacciate della prima e della seconda regione 5 termoelettrica 59, 61 e queste sono accoppiate in serie ad una estremità (superiore, in figura 6G) attraverso la rispettiva base di connessione 62 e le rispettive seconde regioni di contatto 57 (si veda anche la figura 7C).

Ciascuna colonna 65 forma quindi una termocoppia 31 di figura 4 e ciascuna seconda regione termoelettrica 61 costituisce ad esempio una seconda gamba 35 di figura 4.

Inoltre, se i fori 47 sono stati realizzati in corrispondenza della seconda trincea di definizione 60, l'attacco per formare la seconda trincea di definizione 60 15 porta alla rimozione del silicio epitassiale depositato nei fori 47.

In figura 6H, uno strato assorbente 68 viene realizzato al di sopra delle basi di connessione 62. Lo strato assorbente 68 è configurato in modo da assorbire 20 preferenzialmente la radiazione elettromagnetica in una banda desiderata, qui nell'infrarosso, e agisce in modo da aumentare l'area di irradiazione e da massimizzare l'assorbimento della radiazione elettromagnetica.

Ad esempio, lo strato assorbente 68 può essere 25 costituito da uno strato di dry resist depositato e definito

in modo da coprire la zona delle colonne 65, sovrapponendosi leggermente alla cornice 63.

In alternativa a quanto mostrato, lo strato assorbente 68 può essere steso con uno stencil solo sulle basi di 5 connessione 62.

La figura 8 mostra una variante della fase di procedimento di figura 6H. Qui, lo strato assorbente, indicato con 68', è costituito da uno strato polimerico o altro strato flessibile, applicato ad esempio mediante uno 10 stencil. Data la flessibilità dello strato assorbente 68', esso può flettersi in corrispondenza della seconda trincea di definizione 60 e penetrare in parte in questa.

In figura 6I, un primo cappuccio 70 viene incollato alla fetta iniziale 40. Il primo cappuccio 70 ha una faccia 15 esterna 70A e una faccia interna 70B; la faccia interna 70B è rivolta verso la fetta iniziale 40 e presenta un incavo 71.

L'incavo 71 ha qui area (nel piano XY) maggiore rispetto a quella della seconda trincea di definizione 60.

20 Il primo cappuccio 70 può essere incollato a livello di fetta e quindi può essere costituito da una fetta di materiale semiconduttore, quale silicio, lavorata in modo da formare la cavità 71.

25 All'interno della cavità 71 possono essere realizzate regioni di getter 73.

Il primo cappuccio 70 presenta quindi un bordo sporgente 72 fissato alla cornice 63, sullo strato di materiale termoelettricamente attivo 56, tramite qualunque processo di bonding, ad esempio silicio su silicio o mediante uno strato 5 adesivo, quale un ossido o glass frit, o anche mediante uno strato metallico di Al-Ge o Au-Sn (non mostrato).

L'insieme quindi della fetta iniziale 40 e del primo cappuccio 70 forma una fetta intermedia 74.

In seguito, figura 6J, la fetta intermedia 74 viene 10 ribaltata e il corpo 41 viene rimosso, ad esempio tramite molatura ("grinding") oppure mediante molatura parziale, seguita da un attacco silicio che si ferma sullo strato isolante 42.

In questa fase, i fori 47 nello strato isolante 42 15 vengono aperti completamente sul fondo, mettendo in comunicazione l'incavo 71 con l'esterno.

Nelle figure 6K e 7D, vengono formate linee metalliche di contatto 76.

A tale scopo, lo strato isolante 42 viene attaccato in 20 corrispondenza delle prime regioni di contatto 43, delle prime regioni termoelettriche 59 e delle estremità delle linee di connessione elettrica 44, formando aperture 75; uno strato metallico, ad esempio di alluminio? viene deposto e definito, formando le linee metalliche di contatto 76 (si 25 veda anche la figura 7D, in cui la linea tratteggiata indica

la periferia della seconda trincea di definizione 60).

Le estremità delle linee metalliche di contatto 76 si estendono nelle aperture 75 e sono in contatto elettrico diretto con prime regioni di contatto 43 (non visibili in 5 figura 7D), con le prime regioni termoelettriche 59 e con le estremità delle linee di connessione elettrica 44.

Lo strato metallico forma anche piazzole di contatto 77 sulla cornice 63.

In questo modo, come visibile in particolare nella 10 figura 7D, le linee metalliche di contatto 76 accoppiano una seconda regione termoelettrica 61 di una termocoppia 31 (ad esempio la termocoppia identificata con 31A in figura 7D) con la prima regione termoelettrica 59 di una termocoppia 15 seguente (ad esempio la termocoppia identificata con 31B in figura 7D), realizzando il collegamento in serie delle termocoppi 31. Inoltre, le linee metalliche di contatto 76 accoppiano la prima e l'ultima termocoppia 31 della serie (termocoppi 31C e 31D in figura 7D) alle piazzole di contatto 77.

20 In figura 6L, uno strato di passivazione 79 viene deposto al di sopra dello strato isolante 42 e delle linee metalliche di contatto 76 e viene aperto in corrispondenza delle piazzole di contatto 77. Lo strato di passivazione 79 forma, con lo strato isolante 42, uno strato portante 80, 25 analogo allo strato portante 30 di figura 4.

Un secondo cappuccio 81 può essere quindi fissato alla fetta intermedia 74. Il secondo cappuccio 81 può essere costituito anch'esso da una fetta lavorata opportunamente in modo da formare una cava sovrastante le piazzole di contatto 5 77 e successivamente lappato in modo scoprire le piazzole di contatto 77; dopo l'incollaggio si ottiene quindi una fetta finale 85.

In entrambi i casi, il secondo cappuccio 81 presenta un incavo 82 rivolto verso la fetta intermedia 74 ed avente 10 area (nel piano XY) maggiore rispetto a quella della seconda trincea di definizione 60, ma qui minore rispetto all'area della cavità 71.

L'incavo 82 è delimitato da un bordo sporgente 83 che viene fissato allo strato di passivazione 79, in 15 corrispondenza della cornice 63.

Il fissaggio ("bonding") fra il secondo cappuccio 81 e la fetta intermedia 74 può avvenire in ambiente a bassa pressione, in modo da ridurre la quantità d'aria presente nell'incavo 82.

20 In questo modo, l'incavo 82, fluidicamente connesso alla cavità 71 tramite la seconda trincea di definizione 60 e fori 47 nello strato isolante 42, è chiuso ermeticamente verso l'esterno dopo l'incollaggio del secondo cappuccio 81.

Dopo l'incollaggio, possono venire attivate le regioni 25 di getter 73.

In figura 6M, uno strato antiriflettente (ARC - Anti Reflective Coating) 85 viene realizzato sulla superficie esterna 70A del primo cappuccio 70. La pila che forma lo strato antiriflettente 85 può formare filtri ottici, qualora 5 si desideri selezionare le lunghezze d'onda in funzione dell'applicazione prescelta.

Ciò può essere utile, ad esempio, in applicazioni di termometria, in particolare per distinguere il contributo dovuto alla temperatura di un determinato oggetto rispetto 10 all'ambiente esterno, nel caso che l'oggetto emetta in una determinata banda. Ad esempio, il corpo umano emette una radiazione termica in un intervallo di lunghezze d'onda di circa 10 μm (tipicamente 8-12 μm). In questo caso, eventuali filtri ottici, assieme allo strato antiriflettente 85, 15 possono far passare solo le onde con lunghezza d'onda prossima all'intervallo desiderato dello spettro.

Filtri ottici adatti allo scopo sono ad esempio quelli interferenziali, formati da una pila di più strati dielettrici (di solito due) con indice di rifrazione diverso 20 tra loro. All'aumentare del numero di strati, si possono realizzare dei filtri con banda passante molto piatta attorno alla lunghezza d'onda di interesse e allo stesso tempo con una finestra ben definita.

In seguito, la fetta finale 85 può essere singolata, 25 per formare una termopila 90.

In entrambi i casi, le basi di connessione 62, che accoppiano la prima regione termoelettrica 59 e la seconda regione termoelettrica 61 di ciascuna termocoppia 31 formano giunzioni calde (analoghe alle giunzioni calde 32 di figura 5 4) e le linee metalliche di contatto 76, che accoppiano la prima regione termoelettrica 59 e la seconda regione termoelettrica 61 di due differenti termocoppie 31, formano giunzioni fredde (analoghe alle giunzioni fredde 33 di figura 4).

10 La figura 9 mostra una variante della termopila 90, che non utilizza regioni di contatto 43 e linee di connessione elettrica 44 di polisilicio.

In questo caso, lo strato isolante 42 può essere formato da un singolo strato; non sono presenti le fasi di deposito 15 e sagomatura di uno strato di polisilicio per formare le prime regioni di contatto 43 e le linee di connessione elettrica 44, di apertura dei primi contatti e non si formano le porzioni di contatto 46 descritte con riferimento alle figure 6A e 6B. Inoltre, nella fase della figura 6K, tutte 20 le aperture 75 arrivano fino allo strato strutturale 45 e le linee metalliche di contatto 76 sono direttamente a contatto con lo strato strutturale 45 anche in corrispondenza delle seconde regioni termoelettriche 61.

La termopila e il procedimento di fabbricazione qui 25 descritti presentano numerosi vantaggi.

Infatti, grazie alla possibilità di utilizzare materiali e fasi di processo standard nell'industria dei semiconduttori, la termopila presenta dimensioni ridotte e costi contenuti di fabbricazione.

5 Di conseguenza, essa può essere utilizzata in svariate applicazioni, anche quando i costi e/o le dimensioni sono importanti.

Inoltre, grazie alla forma colonnare delle termocoppie 31, che sono circondate da aria sia lateralmente sia alle 10 estremità (sopra/sotto), la presente termopila ha grande sensibilità, basso rumore ed elevata efficienza.

Nel caso di uso come sensore a infrarossi, la presente termopila permette di avere bassa diafonia ("cross-talking") e ottima differenza termica equivalente di rumore dei pixel 15 (NETD - Noise Equivalent Thermal Difference).

Risulta infine chiaro che al sensore termico integrato e al procedimento di fabbricazione qui descritti ed illustrati possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della 20 presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, come indicato, le prime gambe 34 possono essere realizzate di un metallo quale alluminio e le seconde gambe 35 possono essere di materiale semiconduttore a base 25 di silicio di tipo N, quale silicio-germanio.

Le piazzole di contatto 77 possono essere realizzate sulla faccia opposta della cornice 63, ad esempio usando vie conduttrive nel silicio ("silicon through vias").

Il primo cappuccio 70 potrebbe essere fissato 5 direttamente allo strato superficiale 52 o allo strato strutturale 45.

Uno strato di annerimento potrebbe essere previsto all'interno dell'incavo 82 o sulla superficie esterna del secondo cappuccio 81.

10 Sebbene la disposizione mostrata nelle figure 6A-6M (in cui le seconde regioni termoelettriche 61 circondano anularmente le prime regioni termoelettriche 59) sia ottimale per la conversione termica, le prime e le seconde regioni termoelettriche 59, 61 di ciascuna termocoppia 31 15 potrebbero essere disposte semplicemente adiacenti fra loro, e separate da una parete di isolamento analoga allo strato di isolamento 50; in particolare, la seconda trincea di definizione 60 potrebbe rimuovere completamente il silicio dello strato strutturale 45 da un lato delle prime regioni 20 termoelettriche 59, in modo che le seconde regioni termoelettriche 61 non circondino completamente prime regioni termoelettriche 59.

Secondo un'altra forma di realizzazione, nessun materiale potrebbe estendersi fra le prime e le seconde 25 regioni termoelettriche 59, 61 di ciascuna termocoppia 31,

e queste regioni potrebbero essere isolate semplicemente dall'aria presente nell'involucro formato dai cappucci 70, 81 e dalla cornice 63.

RIVENDICAZIONI

1. Sensore termico integrato, comprendente:

un involucro (21) delimitante uno spazio interno (26);

una regione di supporto (30; 80), estendentesi

5 attraverso lo spazio interno; e

una pluralità di elementi a termocoppia (31), portati

dalla regione di supporto (30; 80) e accoppiati

elettricamente fra loro, ciascun elemento a termocoppia (31)

includendo una prima e una seconda regione

10 termoelettricamente attiva (34, 35; 59, 61) di un primo e,

rispettivamente, un secondo materiale termoelettricamente

attivo, il primo materiale termoelettricamente attivo avendo

un primo coefficiente di Seebach, il secondo materiale

termoelettricamente attivo avendo un secondo coefficiente di

15 Seebach, diverso dal primo coefficiente di Seebach, in cui

almeno una fra la prima e la seconda regione

termoelettricamente attiva (34, 35; 59, 61) è di materiale

basato su silicio,

le prime e le seconde regioni termoelettricamente

20 attive (34, 35; 59, 61) di ciascun elemento a termocoppia

(31) essendo formate da rispettive regioni allungate

estendentisi a distanza reciproca nello spazio interno (26)

dell'involucro (21), a partire dalla e trasversalmente alla

regione di supporto (30; 80).

25 2. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione

precedente, in cui la seconda regione termoelettricamente attiva (35; 61) di ciascun elemento a termocoppia (31) è di silicio, ad esempio silicio epitassiale, di un primo tipo di conducibilità e la prima regione termoelettricamente attiva 5 (34; 59) di ciascun elemento a termocoppia (31) è di materiale scelto fra silicio policristallino di un secondo tipo di conducibilità, silicio-germanio policristallino del secondo tipo di conducibilità e metallo.

3. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione 10 1 o 2, in cui ciascun elemento a termocoppia (31) ha forma a colonna (65) avente una prima ed una seconda estremità e includente una parete elettricamente isolante (51) estendentesi fra la prima e la seconda regione termoelettricamente attiva (59, 61) del rispettivo elemento 15 a termocoppia (31), in cui ciascun elemento a termocoppia (31) è fissato alla regione di supporto (30; 80) in corrispondenza della prima estremità.

4. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione precedente, in cui la parete elettricamente isolante (51) di 20 ciascun elemento a termocoppia (31) ha forma generalmente cilindrica circondante anularmente la rispettiva prima regione termoelettricamente attiva (59) e la seconda regione termoelettricamente attiva (61) ha forma generalmente cilindrica circondante anularmente la rispettiva parete 25 elettricamente isolante (51).

5. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione
3 o 4, in cui la regione di supporto (30; 80) comprende uno
strato di materiale isolante; prime linee di connessione
(33, 38; 43, 44) si estendono sulla o nella regione di
5 supporto (30; 80) e accoppiano elettricamente la prima
regione termoelettricamente attiva di (34; 59) un primo
elemento a termocoppia (31) della pluralità di elementi a
termocoppia con una seconda regione termoelettricamente
attiva (35; 61) di un secondo elemento a termocoppia della
10 pluralità di elementi a termocoppia.

6. Sensore termico integrato secondo una qualsiasi
delle rivendicazioni 3-5, in cui ciascun elemento a
termocoppia 31 comprende una regione di connessione (32; 62)
di materiale semiconduttore accoppiante elettricamente la
15 prima e la seconda regione termoelettricamente attiva (34,
35; 59, 61) di ciascun elemento a termocoppia (31) in
corrispondenza della seconda estremità.

7. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione
precedente, in cui la regione di connessione (32; 62) degli
20 elementi a termocoppia (31) è monolitica con la prima regione
termoelettricamente attiva.

8. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione
una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4, in cui l'involucro
(21) comprende un primo ed un secondo cappuccio (70, 81) di
25 materiale semiconduttore fissati alla regione di supporto

(30; 80).

9. Sensore termico integrato secondo la rivendicazione precedente, comprendente uno strato strutturale (45) avente una prima ed una seconda faccia, in cui:

5 una trincea (60) si estende attraverso lo strato strutturale (45) e separa, nello strato strutturale, la pluralità di seconde regioni termoelettricamente attive (61) e una cornice (63) circondante la pluralità di seconde regioni termoelettricamente attive;

10 il primo cappuccio (70) è fissato alla cornice (63) sulla prima faccia dello strato strutturale e il secondo cappuccio (81) è fissato alla cornice (63) sulla seconda faccia dello strato strutturale (45);

15 la regione portante (80) si estende sulla seconda faccia dello strato strutturale;

20 le prime e seconde regioni di connessione elettrica (59; 61) sono formate sulla prima e sulla seconda faccia dello strato strutturale (45) e accoppiano elettricamente le prime e le seconde regioni termoelettricamente attive degli elementi a termocoppia.

10. Procedimento per la fabbricazione di un sensore termico integrato, comprendente:

formare una regione di supporto (30; 80);

25 formare una pluralità di elementi a termocoppia (31) sulla regione di supporto, gli elementi a termocoppia essendo

accoppiati elettricamente fra loro e includendo ciascuno una prima e una seconda regione termoelettricamente attiva (34, 35; 59, 61) di un primo e, rispettivamente, un secondo materiale termoelettricamente attivo, il primo materiale 5 termoelettricamente attivo avendo un primo coefficiente di Seebach, il secondo materiale termoelettricamente attivo avendo un secondo coefficiente di Seebach, diverso dal primo coefficiente di Seebach, in cui almeno una fra la prima e la seconda regione termoelettricamente attiva è di materiale 10 basato su silicio e le prime e le seconde regioni termoelettricamente attive e sono formate da rispettive regioni allungate portate, a distanza reciproca, a partire dalla e trasversalmente alla regione di supporto;

15 e formare un involucro (21) delimitante uno spazio interno (26) attraversato dalla regione di supporto (30; 80) e alloggiante la pluralità di elementi a termocoppia (31).

11. Procedimento secondo la rivendicazione precedente, comprendente:

20 formare uno strato portante (42);
formare uno strato strutturale (45) sullo strato portante, lo strato strutturale essendo del secondo materiale termoelettricamente attivo ed avendo una prima e una seconda superficie;

25 formare una pluralità di prime trincee (49) attraversanti lo strato strutturale (45);

formare una pluralità di regioni elettricamente isolanti (51) nelle prime trincee (49);

introdurre il primo materiale termoelettricamente attivo nelle prime trincee (49) e formare le prime regioni 5 termoelettriche (61);

definire lo strato strutturale (45) per formare la pluralità di seconde regioni termoelettriche (61) e una regione di cornice circondante le seconde regioni termoelettriche (61);

10 formare prime regioni di connessione elettrica (62) accoppianti elettricamente la prima e la seconda regione termoelettrica di ciascun elemento a termocoppia;

formare seconde regioni di connessione elettrica (75) accoppianti elettricamente una prima regione termoelettrica 15 di un elemento a termocoppia ed una seconda regione termoelettrica di un differente elemento a termocoppia; e

fissare un primo cappuccio (70) ad una prima faccia della regione di cornice (63); e

fissare un secondo cappuccio (81) ad una seconda faccia 20 della regione di cornice.

12. Procedimento secondo la rivendicazione precedente, in cui formare uno strato portante (80) comprende formare uno strato di materiale isolante (42) e formare uno strato strutturale (45) comprende crescere epitassialmente lo 25 strato strutturale.

13. Procedimento secondo la rivendicazione 11 o 12, in cui introdurre il primo materiale termoelettricamente attivo comprende depositare uno strato del primo materiale termoelettricamente attivo all'interno delle prime trincee 5 (49) e sulla prima superficie dello strato strutturale per formare uno strato conduttivo superficiale (56) e formare prime regioni di connessione elettrica (62) comprende definire lo strato conduttivo superficiale (56).

14. Procedimento secondo una qualsiasi delle 10 rivendicazioni 11-13, in cui formare seconde regioni di connessione elettrica (75) comprende depositare e sagomare uno strato metallico sulla seconda superficie dello strato strutturale (45).

15. Procedimento secondo una qualsiasi delle 15 rivendicazioni 10-14, in cui la seconda regione termoelettricamente attiva di ciascun elemento a termocoppia è di silicio, ad esempio silicio epitassiale, di un primo tipo di conducibilità e la prima regione termoelettricamente attiva di ciascun elemento a termocoppia è di materiale 20 scelto fra silicio policristallino di un secondo tipo di conducibilità, silicio-germanio policristallino del secondo tipo di conducibilità, e metallo.

16. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-15, in cui formare uno strato portante 25 (42) comprende formare lo strato portante (42) su un corpo

di materiale semiconduttore (41) e in cui il corpo di materiale semiconduttore viene rimosso prima di formare le seconde regioni di connessione elettrica (75).

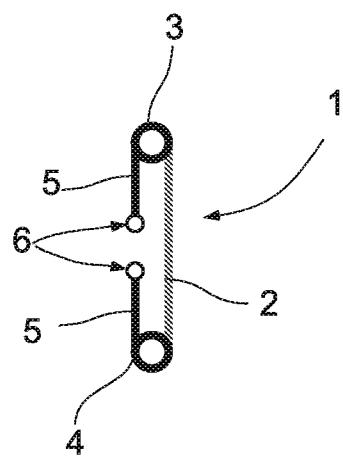


FIG. 1

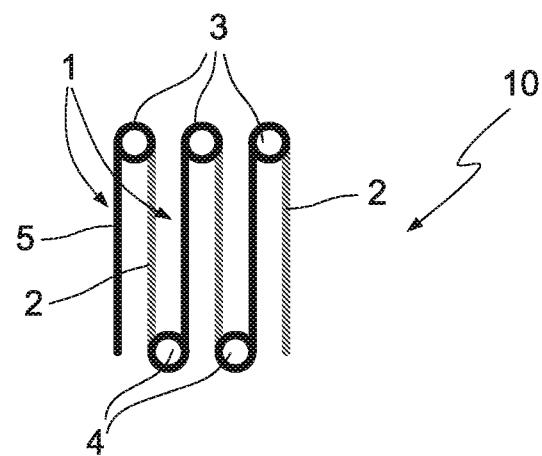


FIG. 2

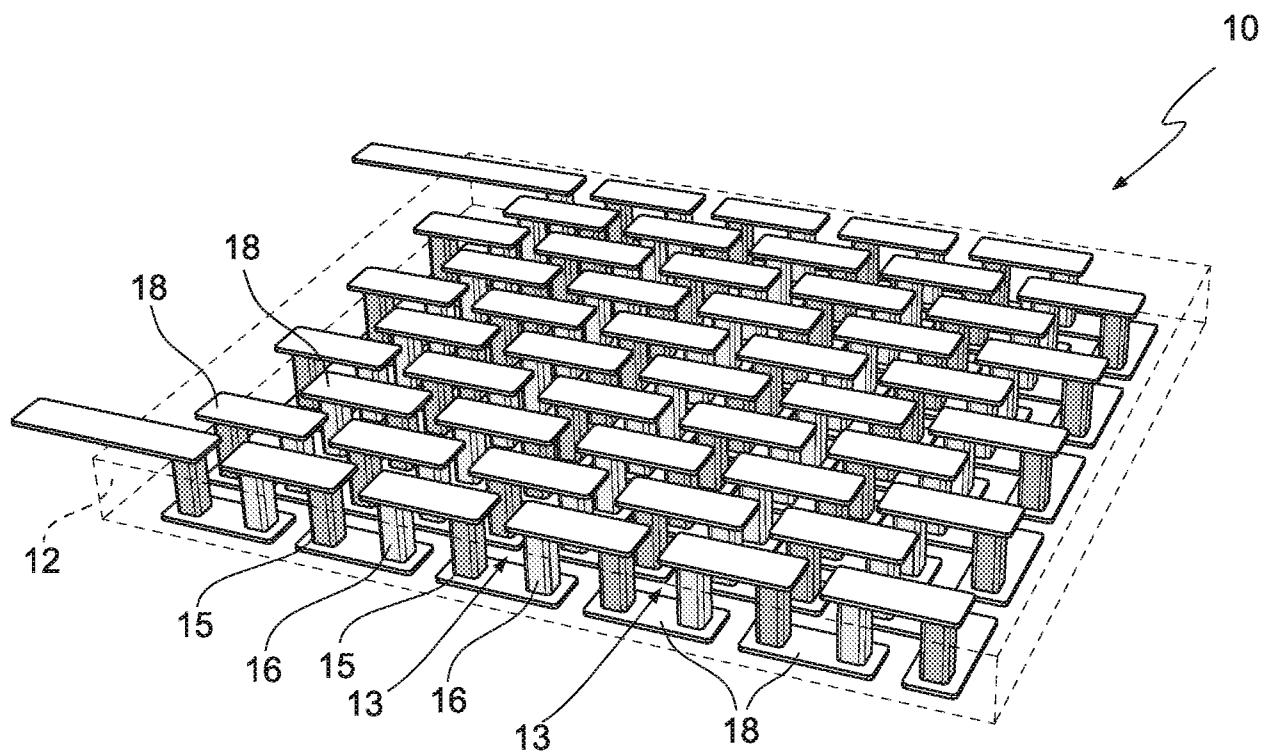


FIG. 3

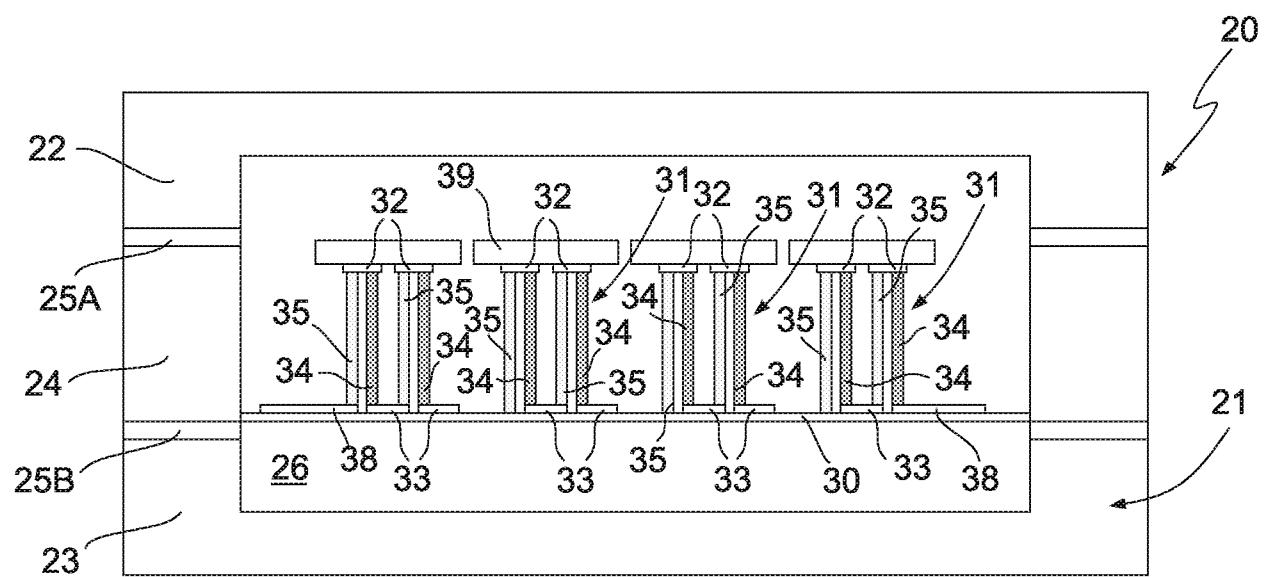


FIG. 4

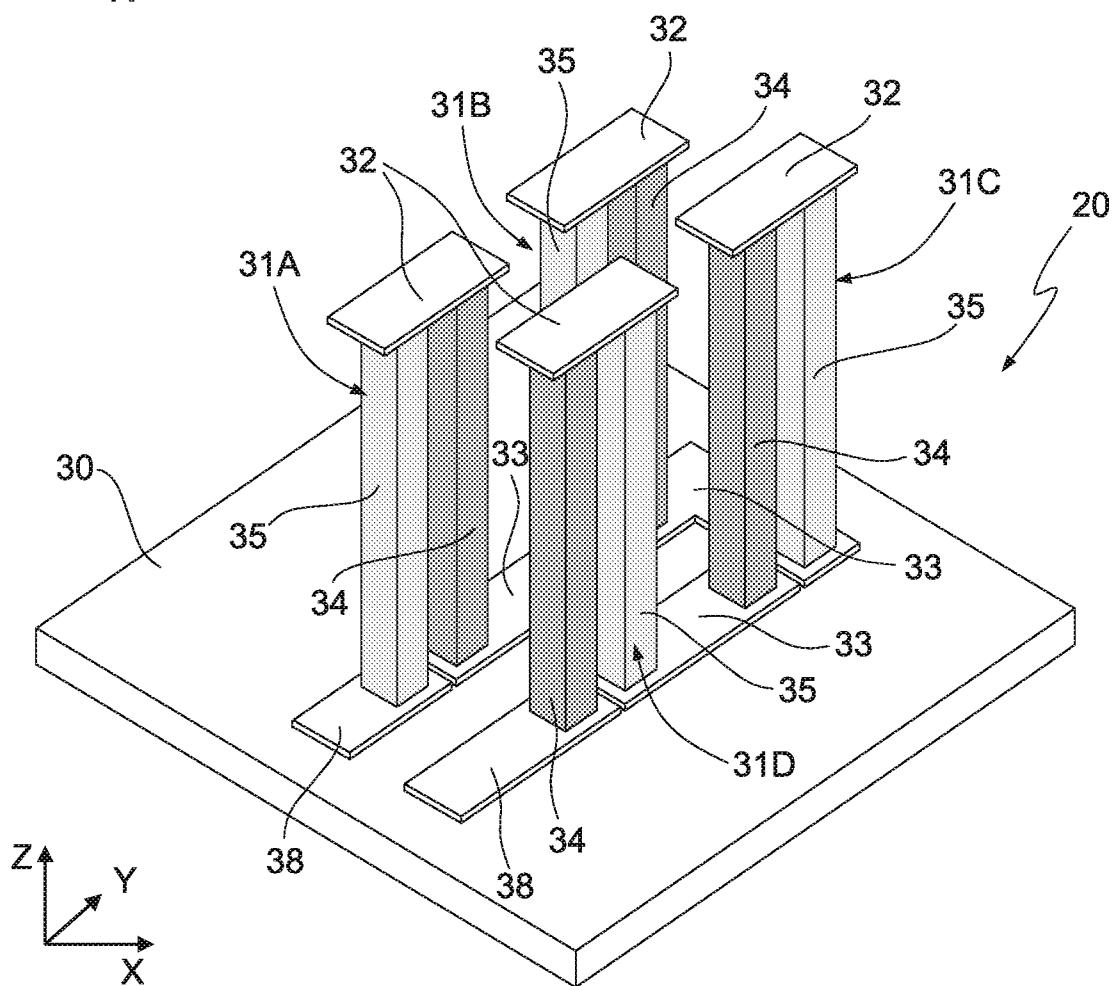
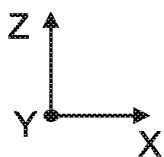
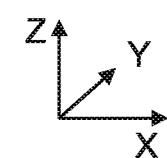


FIG. 5



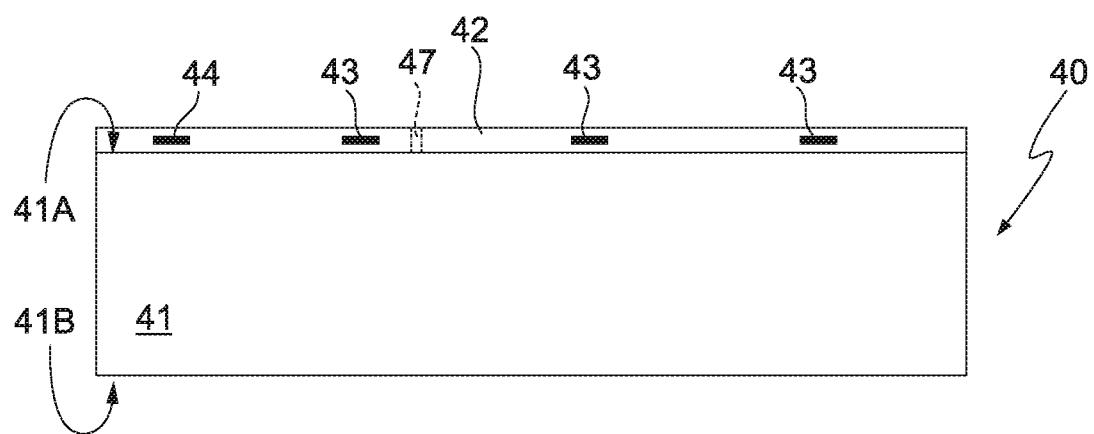


FIG. 6A

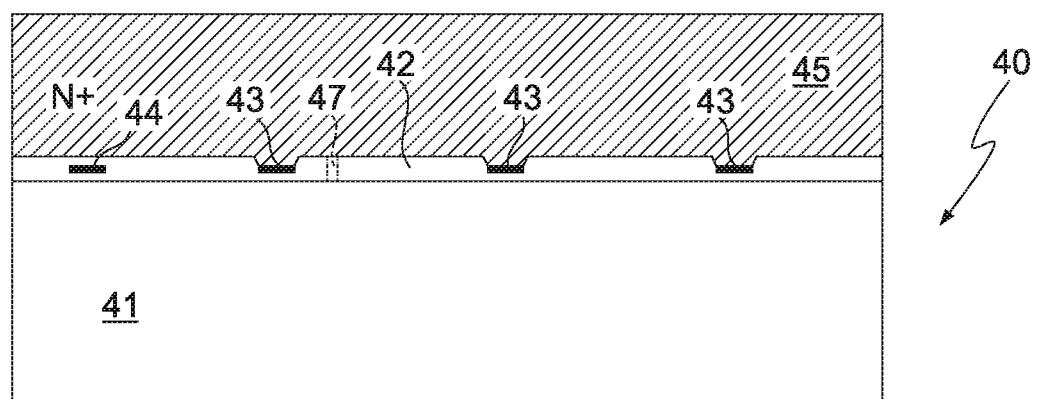


FIG. 6B

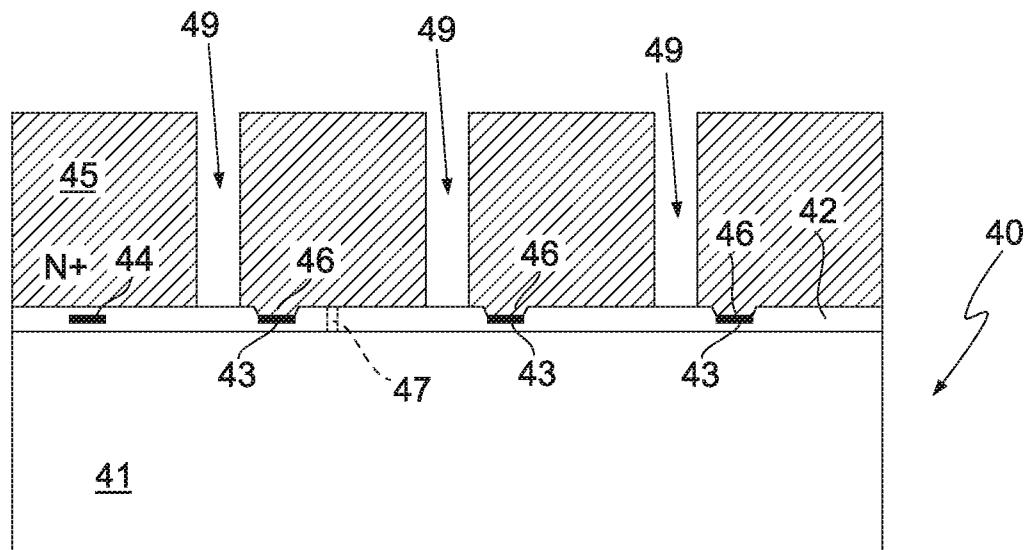


FIG. 6C

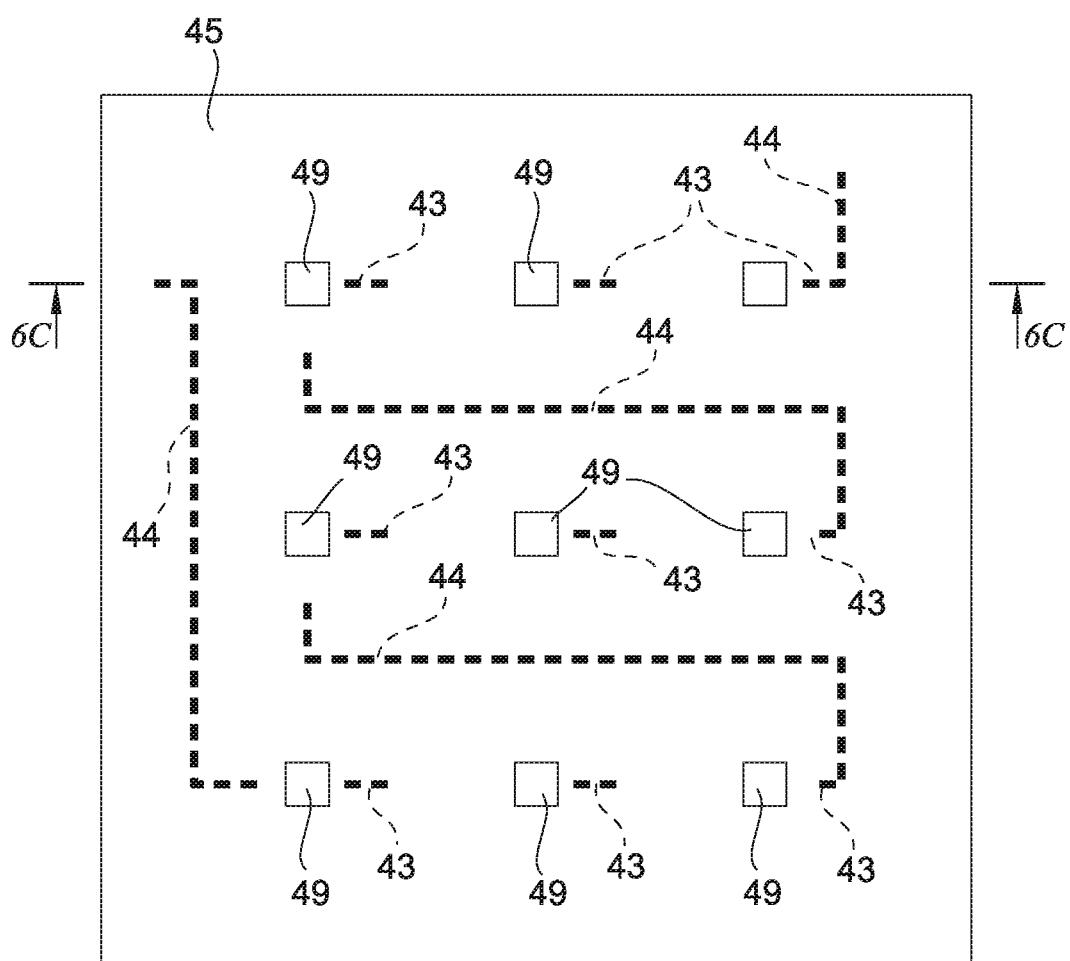


FIG. 7A

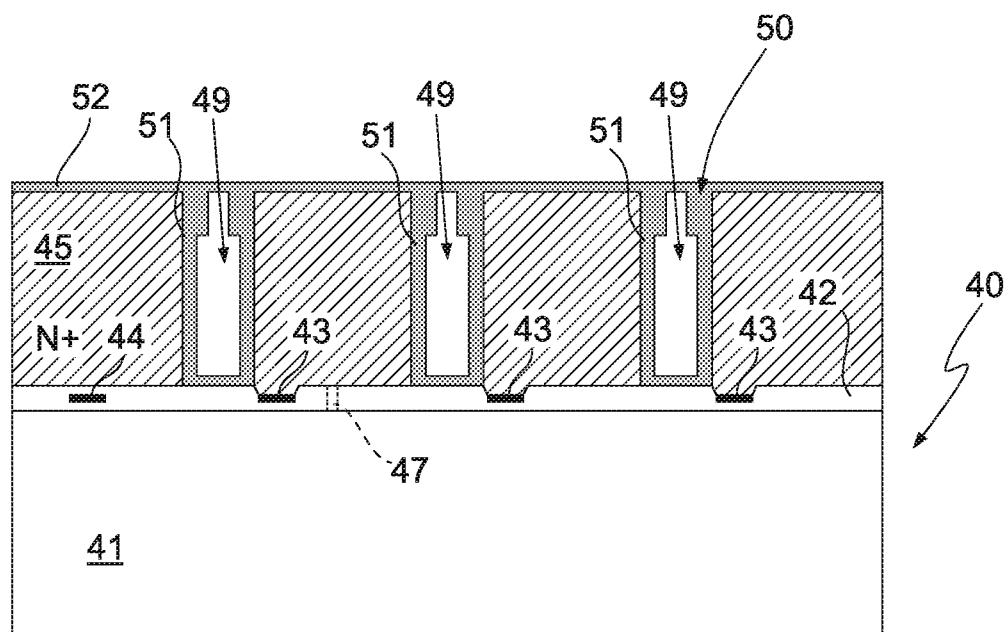


FIG. 6D

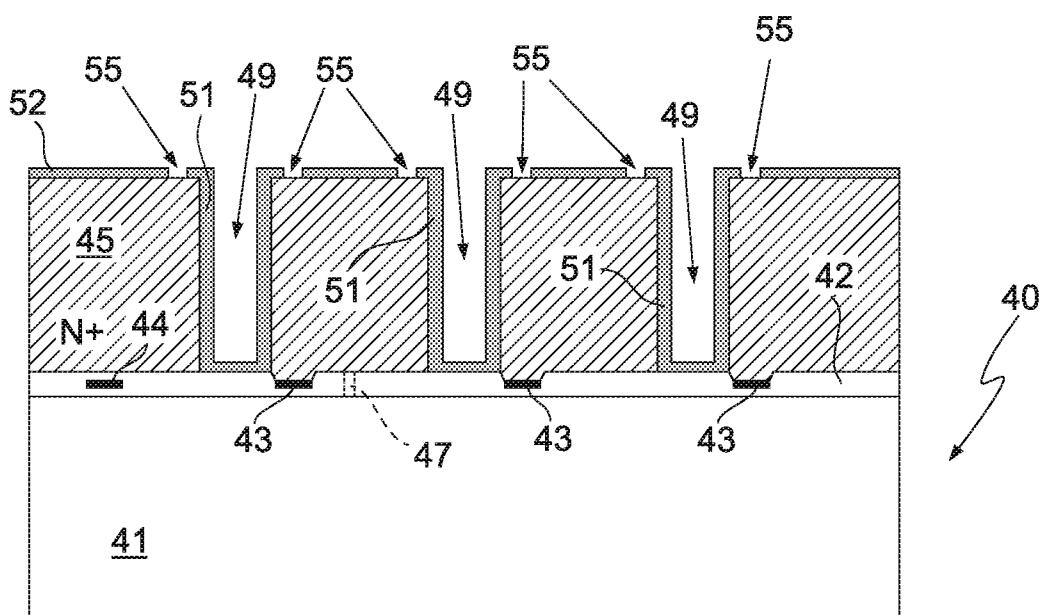


FIG. 6E

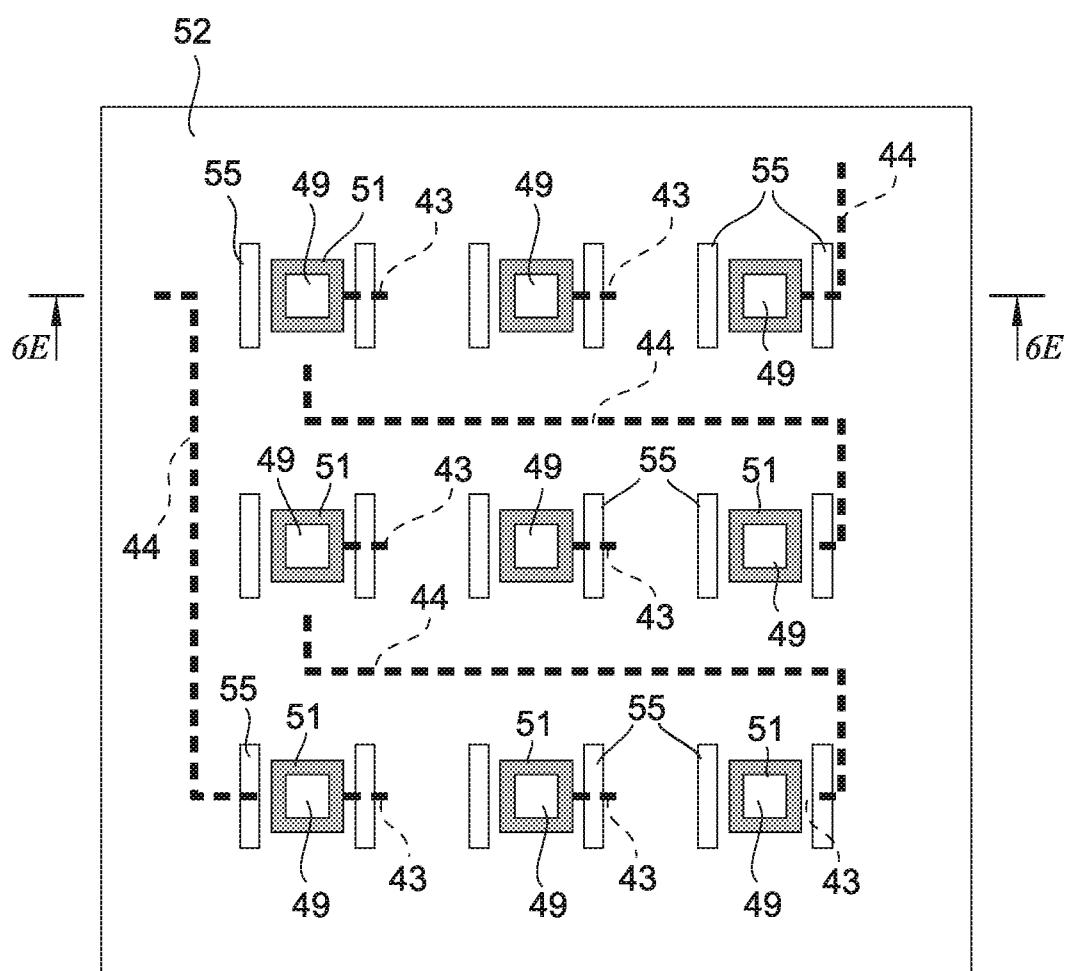


FIG. 7B

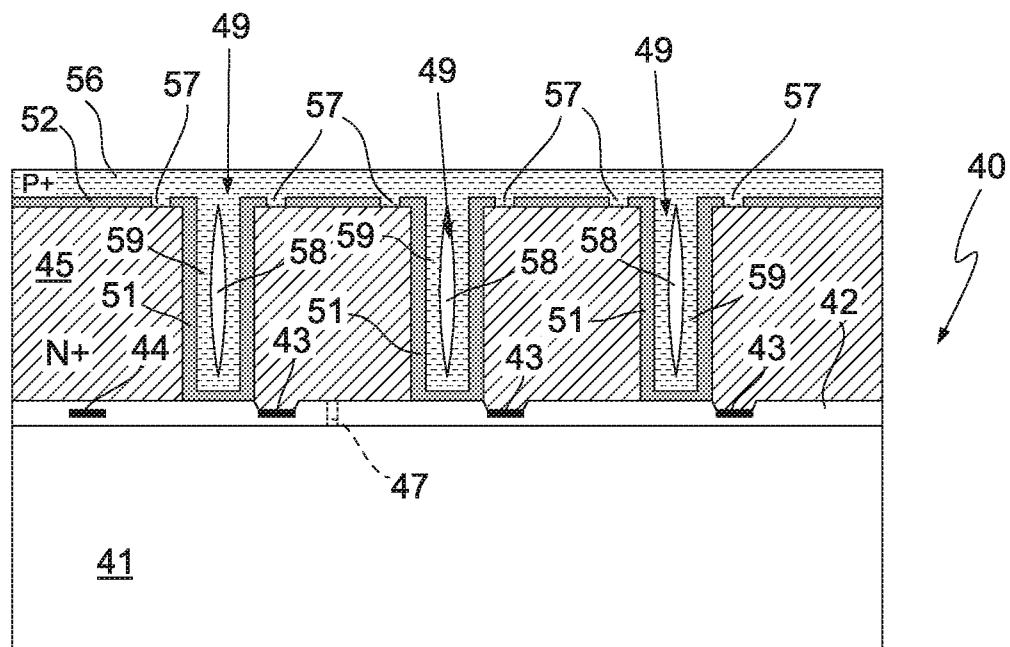


FIG. 6F

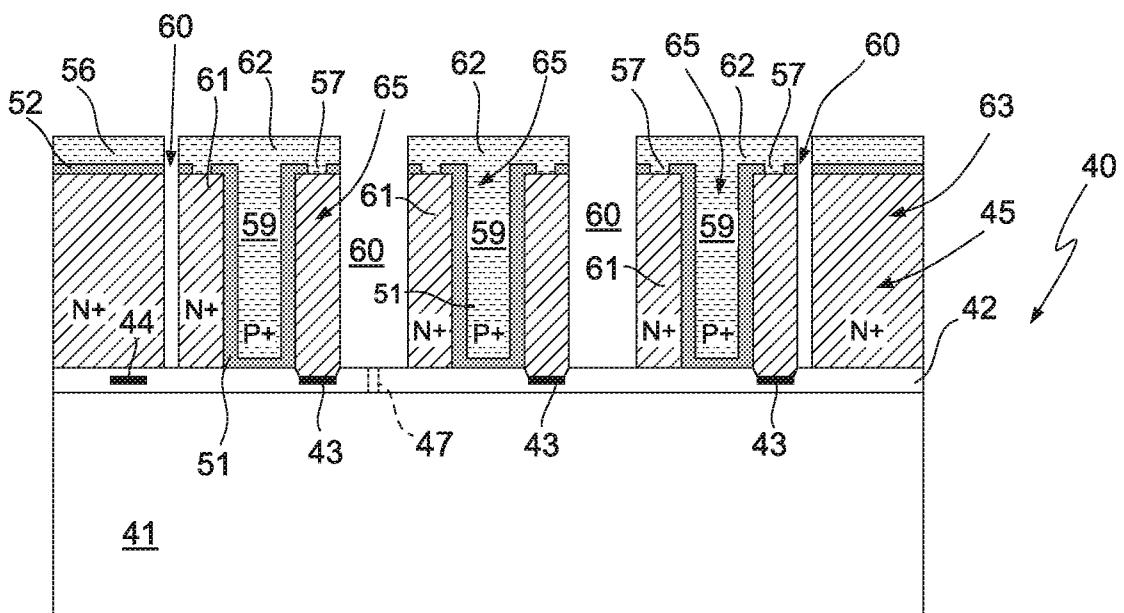


FIG. 6G

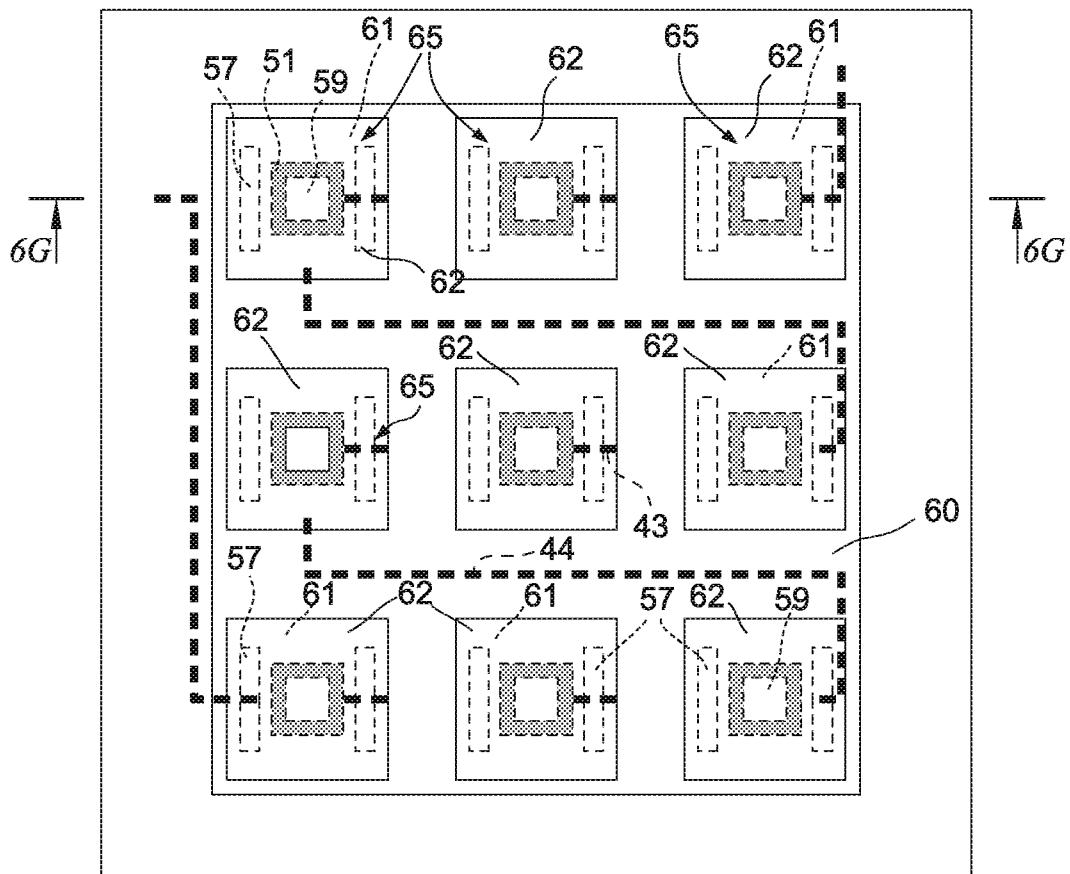


FIG. 7C

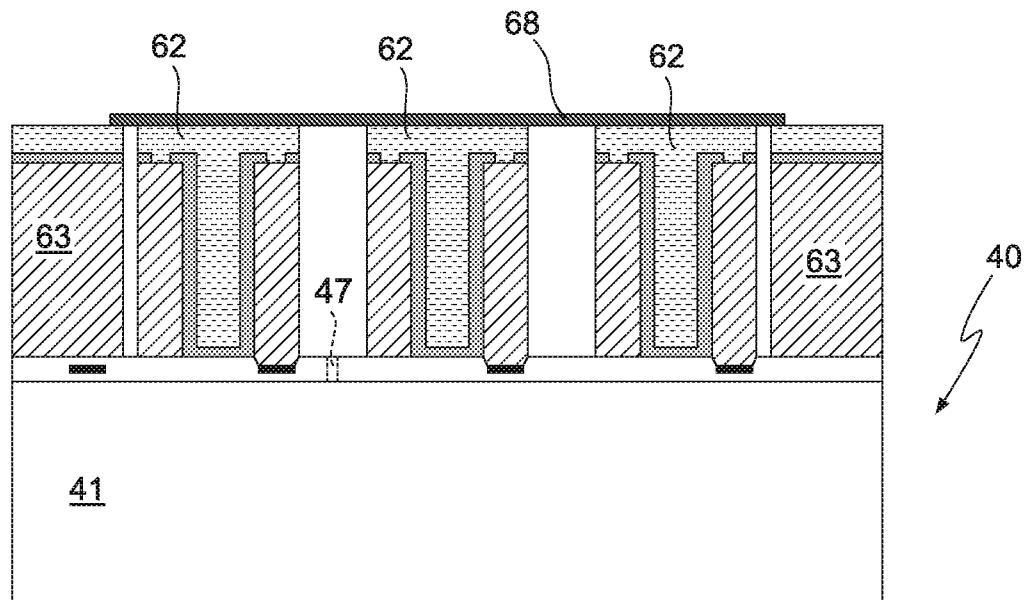


FIG. 6H

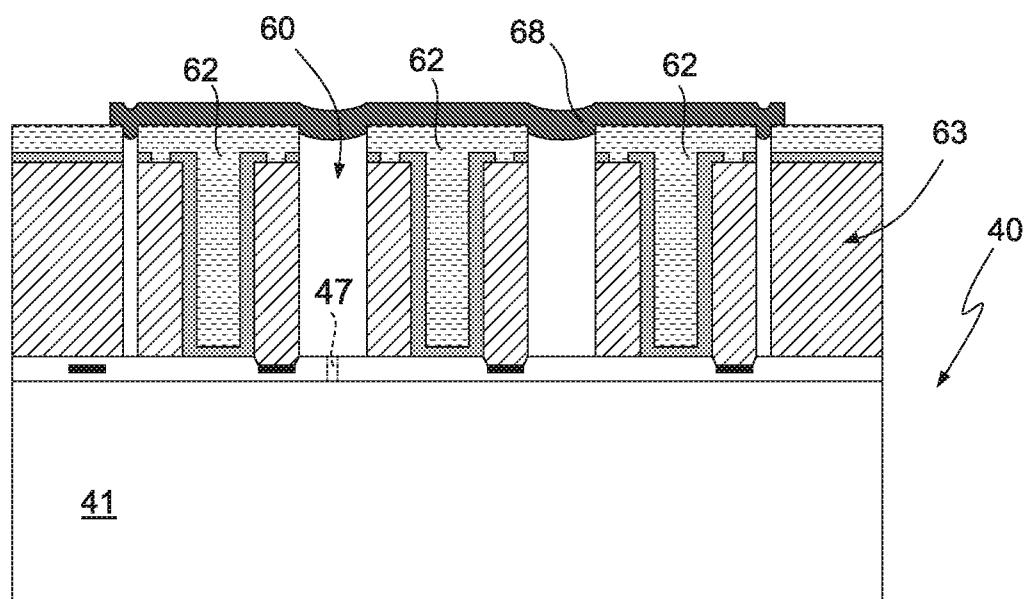


FIG. 8

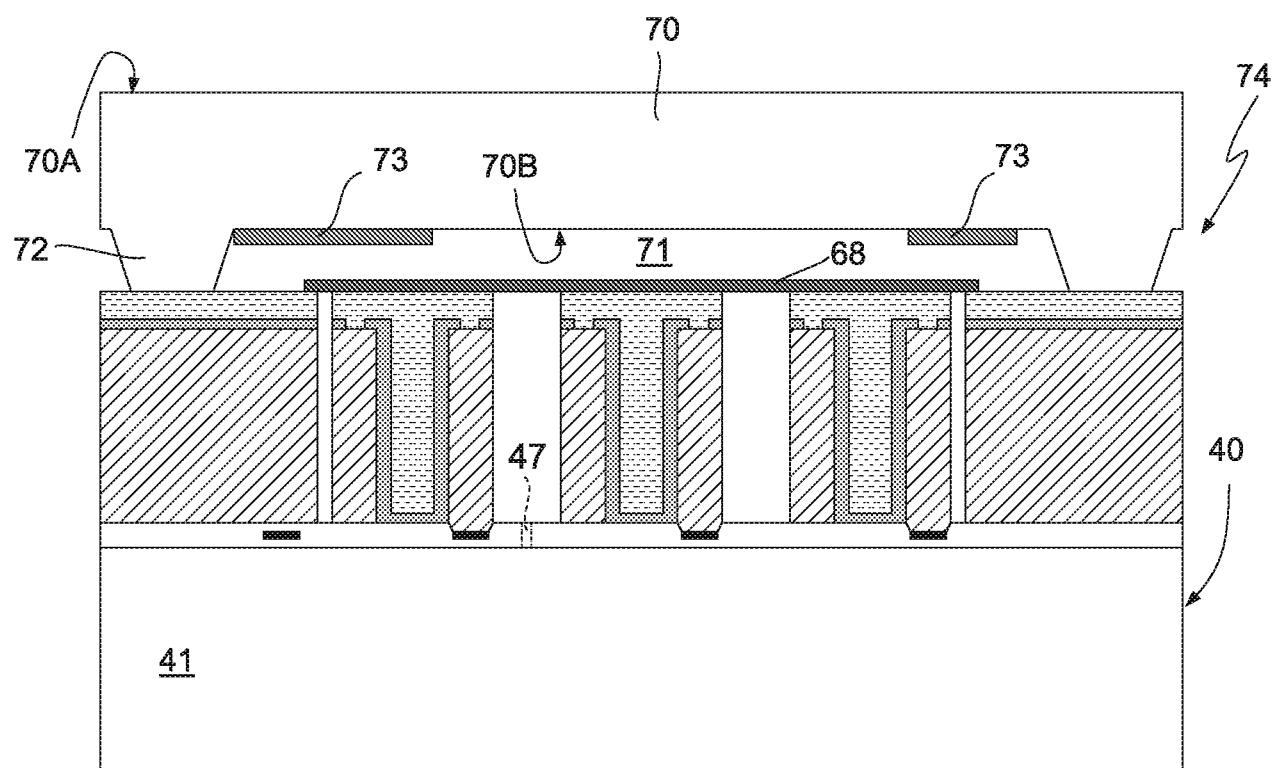


FIG. 6

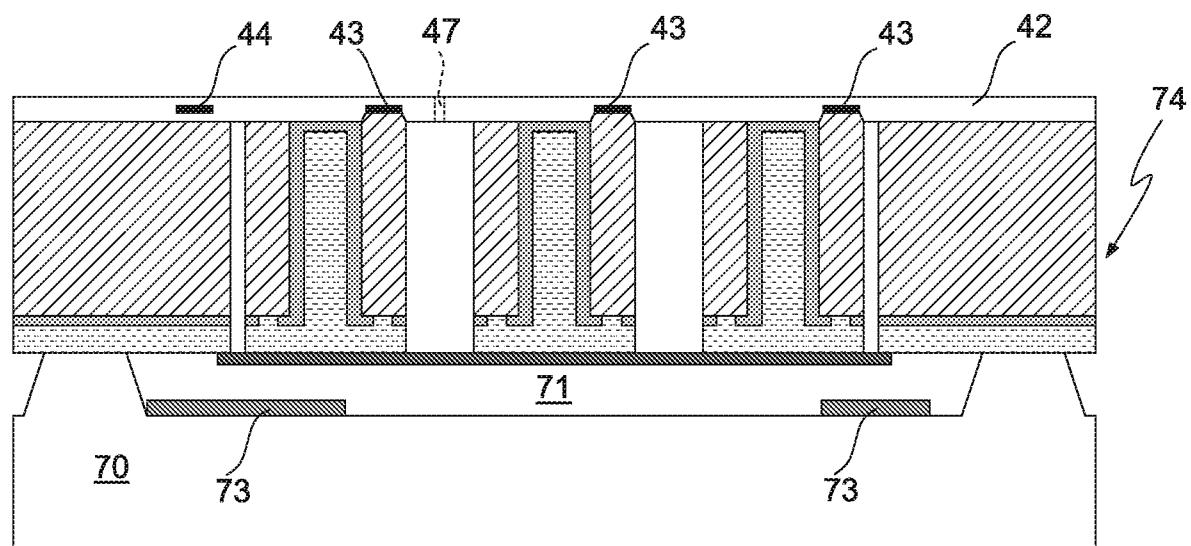


FIG. 6J

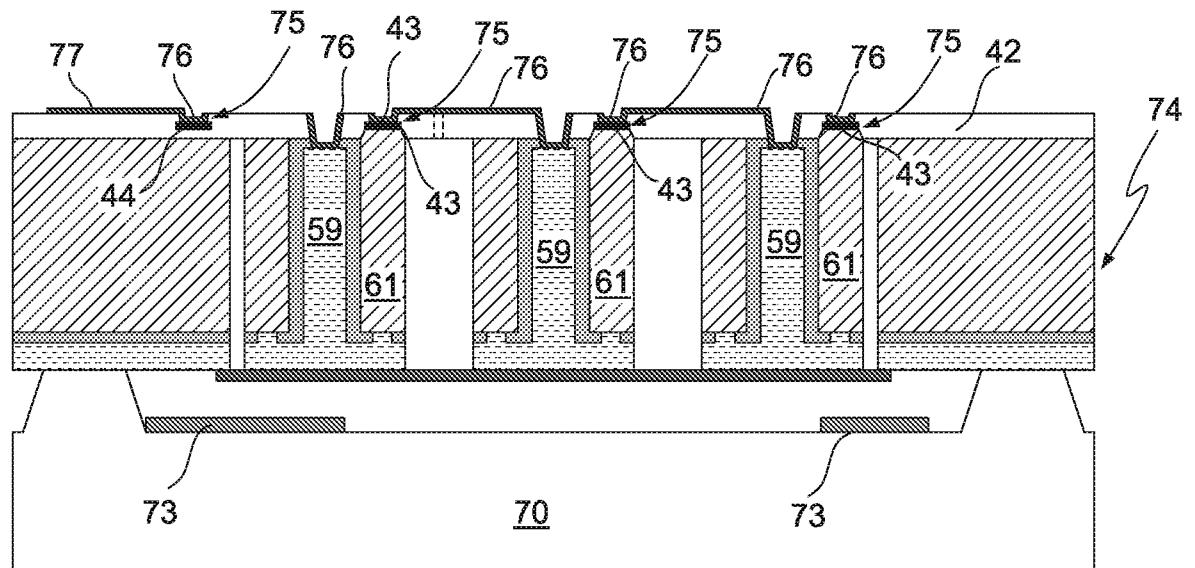


FIG. 6K

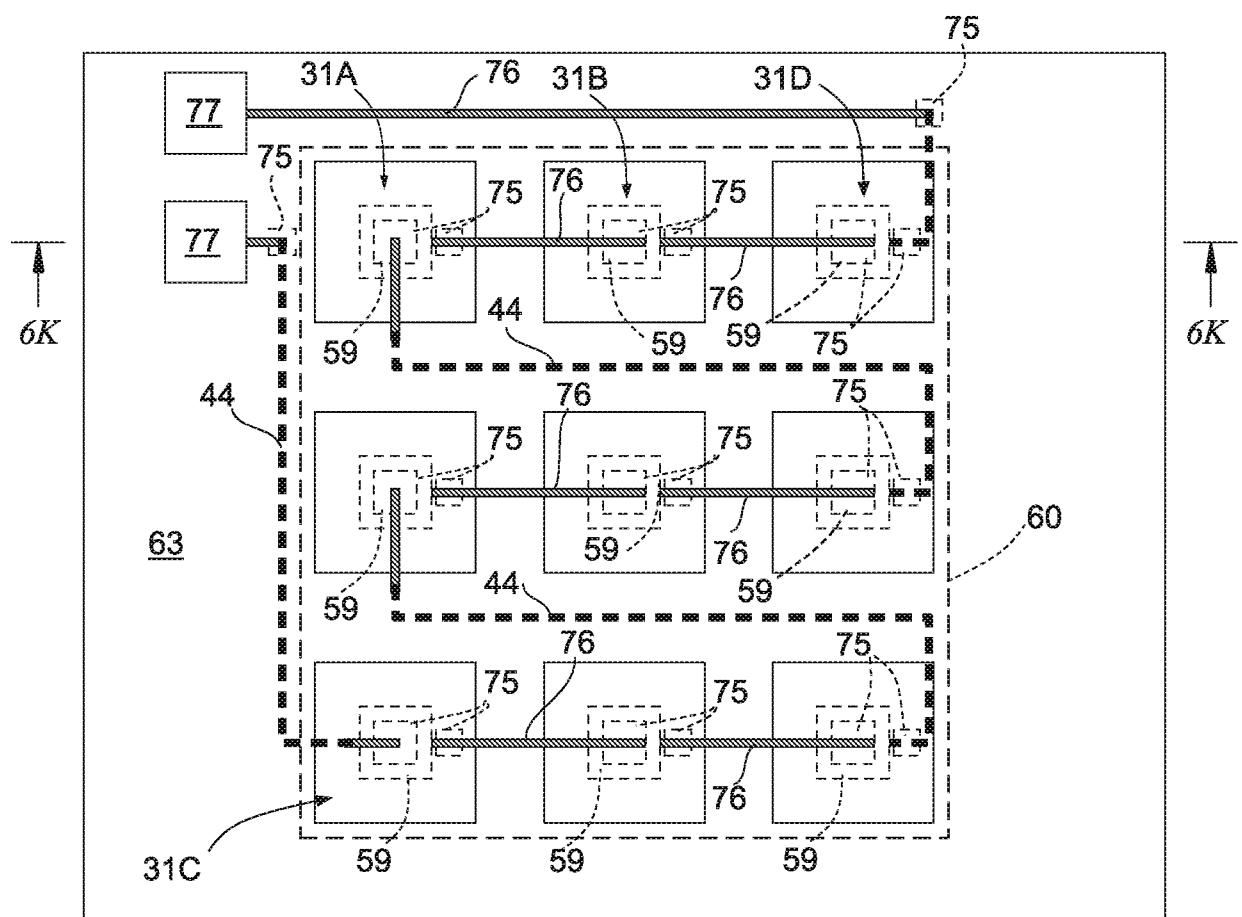


FIG. 7D

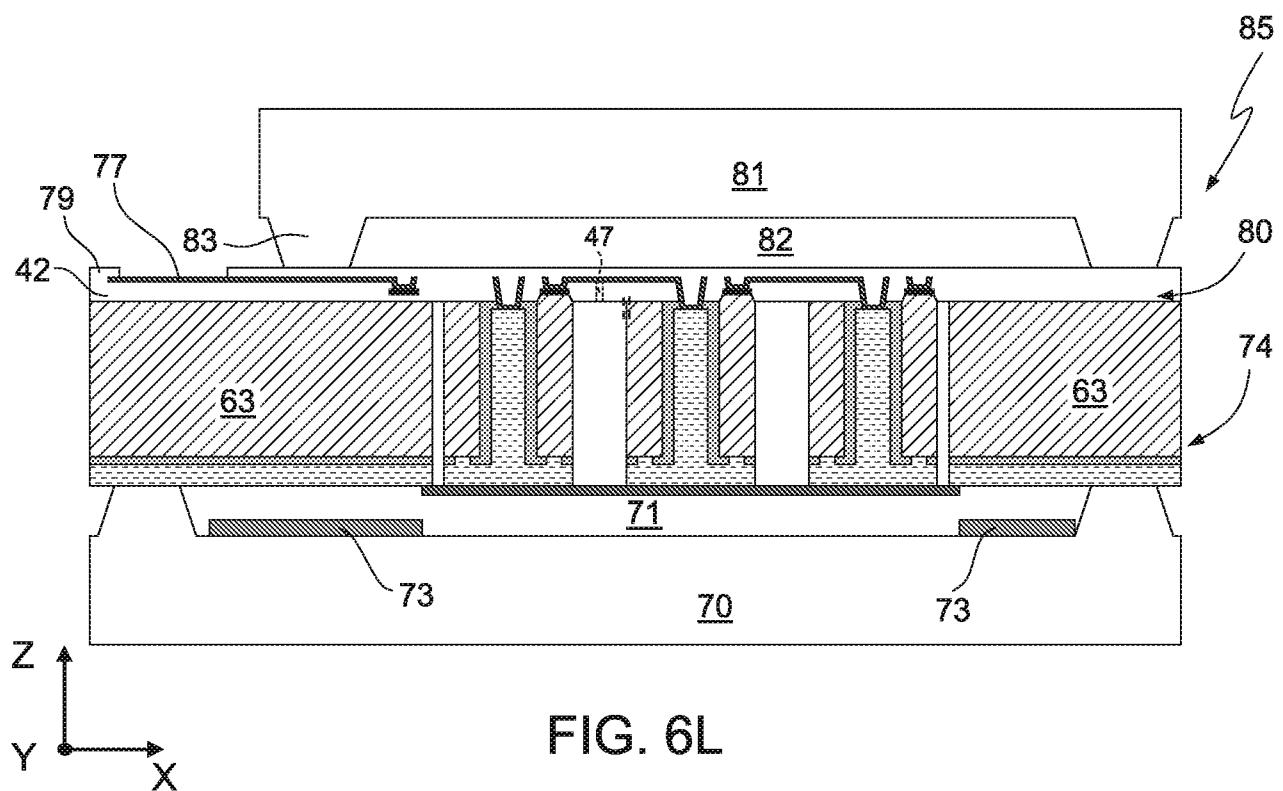


FIG. 6L

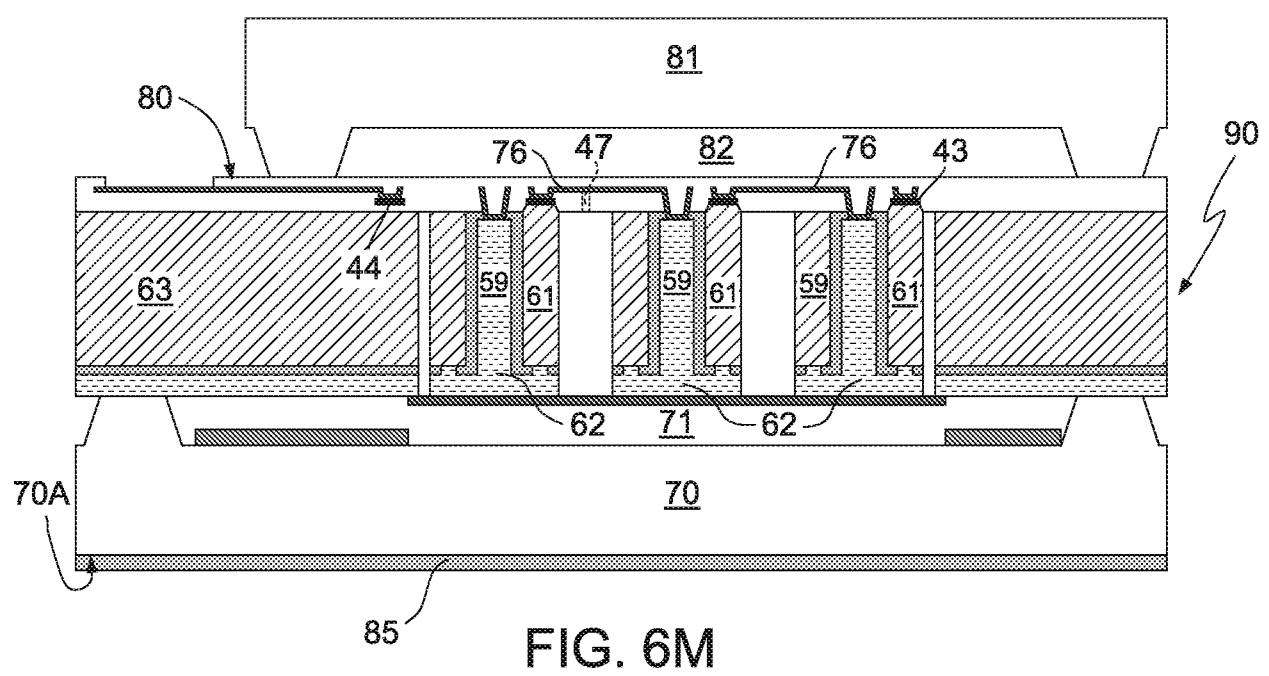


FIG. 6M

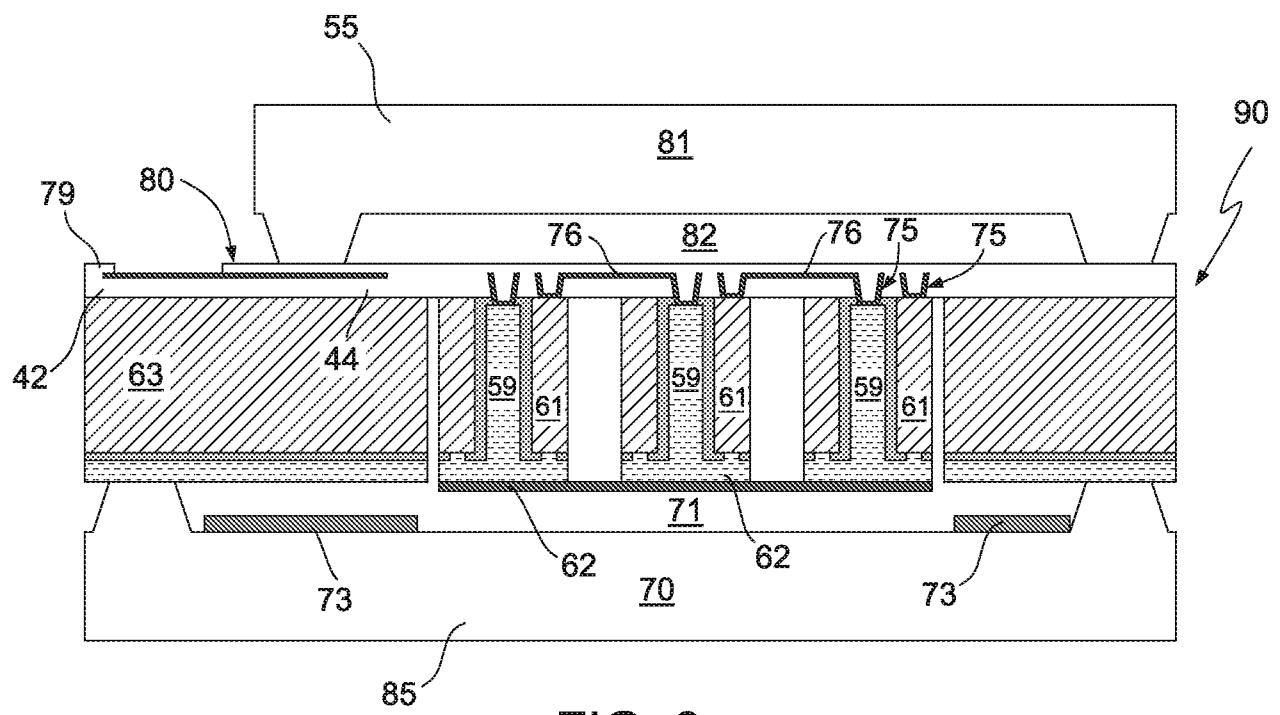


FIG. 9