



Ministero delle Imprese e del Made in Italy
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHE

UIBM

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102023000005811
Data Deposito	27/03/2023
Data Pubblicazione	27/09/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	778

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	21	337

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	41

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	20

Titolo

DISPOSITIVO HEMT AVENTE UNA STRUTTURA DI PORTA MIGLIORATA E RELATIVO PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO HEMT AVENTE UNA STRUTTURA DI PORTA MIGLIORATA
E RELATIVO PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE"

5 di STMICROELECTRONICS INTERNATIONAL N.V.

di nazionalità olandese

agente attraverso la sede centrale e filiale svizzera situata

a: CHEMIN DU CHAMP-DES-FILLES 39

1228 PLAN-LES-OUATES GENEVA(SVIZZERA)

10 Inventore: IUCOLANO Ferdinando, CHINI Alessandro, CASTAGNA
Maria Eloisa, CONSTANT Aurore, TRINGALI Cristina

* * *

Campo tecnico

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo
15 transistoro ad effetto di campo ad alta mobilità elettronica
("High Electron Mobility Transistor", HEMT) avente una
struttura di porta migliorata e al relativo procedimento di
fabbricazione.

Contesto

20 Sono noti dispositivi HEMT in cui un canale conduttivo
è basato sulla formazione di strati di gas bidimensionale di
elettroni (2DEG) ad alta mobilità in corrispondenza di
un'eterogiunzione, ovvero all'interfaccia tra materiali
semiconduttori a differente band gap. Ad esempio, sono noti
25 dispositivi HEMT basati sull'eterogiunzione tra uno strato

di nitruro di alluminio e gallio (AlGaN) ed uno strato di nitruro di gallio (GaN).

I dispositivi HEMT basati su eterogiunzioni o eterostrutture AlGaN/GaN offrono svariati vantaggi che li rendono particolarmente adatti ed ampiamente utilizzati per diverse applicazioni. Ad esempio, l'elevata soglia di rottura ("breakdown") dei dispositivi HEMT è sfruttata per interruttori di potenza ("power switches") ad elevate prestazioni; l'alta mobilità degli elettroni nel canale conduttivo permette di realizzare amplificatori ad alta frequenza; inoltre, l'elevata concentrazione di elettroni nel 2DEG consente di ottenere una bassa resistenza in stato acceso ("ON-state resistance", R_{ON}).

Inoltre, i dispositivi HEMT per applicazioni a radiofrequenza (RF) hanno tipicamente prestazioni RF migliori rispetto ad analoghi dispositivi LDMOS in silicio.

I dispositivi HEMT basati su eterogiunzioni AlGaN/GaN sono normalmente del tipo a svuotamento ("depletion-mode"), cioè sono del tipo normalmente acceso ("normally-on").

Tuttavia, in diverse applicazioni sono richiesti HEMT in GaN/AlGaN di tipo ad arricchimento ("enhancement-mode"), cioè del tipo normalmente spento ("normally off"), per migliorare l'affidabilità dei dispositivi elettronici, per ridurre la complessità di progettazione dei circuiti di pilotaggio del dispositivo HEMT e per ridurre i consumi

energetici.

Numerosi approcci sono stati proposti per ottenere un dispositivo HEMT normalmente spento, ad esempio formare strutture di porta del tipo recesso, eseguire specifici passi
5 di fabbricazione tra cui incorporare plasma al fluoro sotto la struttura di porta e formare regioni di porta di p-GaN.

La figura 1 mostra un dispositivo HEMT 1 noto comprendente un corpo semiconduttore 2 avente un substrato 3 di materiale semiconduttore, uno strato di canale 4 di GaN
10 e uno strato di barriera 6 di AlGaN tra loro sovrapposti.

Lo strato di canale 4 e lo strato di barriera 6 sono di tipo N.

Una struttura di porta 7 si estende sullo strato di barriera 6. La struttura di porta 7 comprende una regione di
15 modulazione di canale 8 di p-GaN e una regione di contatto di porta 9 di materiale conduttivo, ad esempio una pila di TiN/AlCu/TiN.

La regione di modulazione di canale 8 si estende sullo strato di barriera 6 e la regione di contatto di porta 9 si
20 estende sulla regione di modulazione di canale 8.

Una prima regione isolante 10, ad esempio di ossido di silicio, si estende sullo strato di barriera 6, su superfici laterali della regione di modulazione di canale 8 e parzialmente su una superficie superiore della regione di
25 modulazione di canale 8.

Un'apertura 11 si estende, lungo un asse Z, attraverso la prima regione isolante 10 e la regione di contatto di porta 9 si estende nell'apertura 11.

Una seconda regione isolante 12, ad esempio di ossido di silicio, si estende sulla prima regione isolante 9 e sulla regione di contatto di porta 9.

Una regione di field plate 13, di materiale conduttivo, si estende sulla prima regione isolante 10, lateralmente alla regione di contatto di porta 9, e sotto la seconda regione isolante 12.

Una regione di sorgente 15, di materiale conduttivo, si estende sullo strato di barriera 6, da un primo lato della struttura di porta 7 lungo un asse X, e parzialmente sopra la seconda regione isolante 12.

Una regione di pozzo 16, di materiale conduttivo, si estende sullo strato di barriera 6, da un secondo lato della struttura di porta 7 lungo l'asse X, e parzialmente sopra la seconda regione isolante 12.

In uso, il dispositivo HEMT 1 è di tipo normalmente spento. Una tensione positiva applicata alla struttura di porta 7 causa la formazione di uno strato bidimensionale di elettroni (2DEG) al di sotto della regione di modulazione di canale 8, all'interfaccia tra lo strato di canale 4 e lo strato di barriera 6, e quindi l'accensione del dispositivo HEMT 1.

Il dispositivo HEMT 1 è soggetto, in presenza della tensione positiva, ad una corrente di perdita ("leakage") che scorre attraverso la struttura di porta 7 del dispositivo HEMT 1, dalla regione di contatto di porta 9 verso il 2DEG.

5 La corrente di perdita può causare malfunzionamenti del dispositivo HEMT 1.

Ad esempio, la corrente di perdita può causare uno spostamento ("shift") della tensione di soglia di accensione del dispositivo HEMT 1, ossia della tensione alla quale si
10 forma il 2DEG al di sotto della regione di modulazione di canale 8, rispetto al valore di progetto.

La corrente di perdita ha un contributo di tipo "bulk" e un contributo di tipo parassita.

Il contributo di tipo "bulk" è influenzato
15 principalmente dalla concentrazione delle specie droganti, ad esempio atomi di magnesio, della regione di modulazione di canale 8; e da difetti presenti all'interfaccia tra la regione di modulazione di canale 8 e la regione di contatto di porta 9, ad esempio causati da rimozione parziale o
20 elevata rugosità della regione di modulazione di canale 8, originati durante la fabbricazione della regione di contatto di porta 9.

Il contributo parassita ha origine dalla superficie superiore e dalle pareti laterali 17 della regione di
25 modulazione di canale 8.

Infatti, i processi di litografia e attacco chimico utilizzati in fase di fabbricazione per definire la regione di modulazione di canale 8, causano la formazione di difetti sulle pareti laterali 17.

5 Tali difetti possono portare alla formazione di lacune, ad esempio lacune di atomi di azoto, in cui viene intrappolata una elevata concentrazione di elettroni.

Ciò porta alla formazione di un percorso di corrente per la corrente di perdita di porta attraverso le pareti
10 laterali 17 della regione di modulazione di canale 8.

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

Sommario

Secondo la presente invenzione viene quindi fornito un
15 dispositivo HEMT e un relativo procedimento di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

Breve descrizione dei disegni

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

- la figura 1 mostra una sezione trasversale di un dispositivo HEMT noto;
- la figura 2 mostra una sezione trasversale del
25 presente dispositivo HEMT, secondo una forma di

realizzazione;

- la figura 3 mostra una porzione ingrandita del dispositivo HEMT di figura 2;

- la figura 4 mostra una porzione ingrandita del presente dispositivo HEMT, secondo una diversa forma di realizzazione;

- le figure 5A-5H mostrano sezioni trasversali del dispositivo HEMT di figura 3, in fasi di fabbricazione successive; e

- la figura 6 mostra una sezione trasversale del presente dispositivo HEMT, secondo una ulteriore forma di realizzazione.

Descrizione di forme di realizzazione

La descrizione seguente fa riferimento alla disposizione mostrata nelle figure allegate; di conseguenza, espressioni come "sopra", "sotto", "inferiore", "superiore", "destra", "sinistra", "alto", "basso", e simili, sono relative alle figure allegate e non devono essere interpretate in modo limitativo.

La figura 2 mostra un dispositivo HEMT 20 in un sistema di riferimento Cartesiano XYZ comprendente un primo asse X, un secondo asse Y e un terzo asse Z.

Il dispositivo HEMT 20 è formato in un corpo 22 avente una superficie superiore 22A e comprendente un substrato 24 e una eterostruttura 25 estendentesi sopra il substrato 24.

Il substrato 24 può essere formato da uno o più strati di silicio, carburo di silicio, nitruro di gallio (GaN), zaffiro (Al_2O_3) o altri materiali.

Nella forma di realizzazione di figura 2, il substrato 5 24 è di materiale semiconduttore.

In dettaglio, il substrato 24 può comprendere, anche se non mostrati separatamente in figura 2, uno strato di substrato, ad esempio di silicio o carburo di silicio, e uno strato di buffer, ad esempio di GaN, estendentesi sullo strato di substrato. In tal caso, lo strato di buffer si estende tra lo strato di substrato e l'eterostruttura 25, per favorire la crescita dell'eterostruttura durante la fabbricazione del dispositivo HMET 20.

L'eterostruttura 25 comprende materiali semiconduttori 15 composti ("compound") includenti elementi del gruppo III e V della tavola periodica, si estende sul substrato 24 e forma la superficie superiore 22A del corpo 22.

L'eterostruttura 25 comprende uno strato di canale 28 e uno strato di barriera 29 tra loro sovrapposti.

20 Lo strato di canale 28 è di un primo materiale semiconduttore, ad esempio nitruro di gallio (GaN) o una lega comprendente nitruro di gallio quale InGaN, qui di nitruro di gallio (GaN), si estende sul substrato 24 e ha una superficie superiore 28A.

25 Lo strato di barriera 29 è di un secondo materiale

semiconduttore, ad esempio un composto basato su una lega ternaria o quaternaria di nitruro di gallio, quale $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, AlInGaN , $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Al}$, AlScN , qui di nitruro di gallio e alluminio (AlGaN), estendentesi tra la superficie superiore 28A dello strato di canale 28 e la superficie superiore 22A del corpo 22.

Lo strato di canale 28 e lo strato di barriera 29 possono essere di tipo intrinseco, P o N, a seconda della specifica applicazione; in particolare, sia lo strato di canale 28 che lo strato di barriera 29 possono essere di tipo N.

Ad esempio, quando lo strato di barriera 29 è di AlGaN , la presenza di atomi di alluminio può far sì che lo strato di barriera 29 sia di tipo N.

L'eterostruttura 25 è configurata per alloggiare un gas bidimensionale (2DEG) di portatori (mobili) di carica, in particolare qui di elettroni, identificato da un rettangolo tratteggiato 30 in figura 2.

In dettaglio, nella forma di realizzazione di figura 2, il gas bidimensionale 30 è disposto in corrispondenza dell'interfaccia tra lo strato di canale 28 e lo strato di barriera 29, ossia in corrispondenza della superficie superiore 28A dello strato di canale 28.

Il dispositivo HEMT 20 comprende una struttura di porta 33 (mostrata in dettaglio in figura 3), una regione di

sorgente 34 e una regione di pozzo 35 formanti rispettivamente un elettrodo di porta G, un elettrodo di sorgente S e un elettrodo di pozzo D del dispositivo HEMT 20.

5 La struttura di porta 33 si estende sulla superficie superiore 22A del corpo 22, in particolare qui in contatto con l'eterostruttura 25, ed è polarizzabile per controllare elettricamente la formazione del gas bidimensionale 30.

La struttura di porta 33 comprende una regione di
10 modulazione di canale 40 di materiale semiconduttore avente una superficie superiore 40A; una regione funzionale 41 di materiale semiconduttore; e una regione di contatto di porta 42 di materiale conduttivo, in contatto elettrico e fisico tra loro.

15 La regione di modulazione di canale 40 è di un materiale composto includente elementi del gruppo III e V della tavola periodica, ad esempio può essere di nitruro di gallio (GaN) o di una lega comprendente nitruro di gallio, in particolare qui è di GaN, e si estende sulla superficie superiore 22A
20 del corpo 22.

In particolare, in questa forma di realizzazione, la regione di modulazione 40 è in contatto diretto con lo strato di barriera 29.

La regione di modulazione di canale 40 ha uno spessore
25 T_g , lungo il terzo asse Z, compreso ad esempio tra 30 nm e

150 nm, in particolare di circa 100 nm, e una larghezza W_g , lungo il primo asse X, compresa ad esempio tra 0,5 μm e 2 μm .

Ad esempio, la larghezza W_g può essere scelta, in fase
5 di progettazione, in funzione di una tensione massima che può essere applicata, in uso, al terminale di porta G. Ad esempio, maggiore la tensione massima, maggiore può essere scelta la larghezza W_g .

La regione di modulazione di canale 40 si estende, in
10 maniera qui non mostrata, ad esempio a forma di striscia allungata lungo il secondo asse Y.

In dettaglio, la regione di modulazione di canale 40 comprende una porzione centrale 45 disposta, parallelamente al primo asse X, tra due porzioni periferiche 46.

15 La regione di modulazione di canale 40 può comprendere, in maniera qui non mostrata, ulteriori porzioni periferiche che si estendono a distanza tra loro parallelamente al secondo asse Y. La porzione centrale 45 è disposta, parallelamente al secondo asse Y, tra le due ulteriori
20 porzioni periferiche. In pratica, le porzioni periferiche 46 possono essere unite tra loro e formare una singola porzione periferica delimitante un perimetro esterno della regione di modulazione di canale 40.

Le porzioni periferiche 46 formano pareti laterali 47
25 della regione di modulazione di canale 40.

La porzione centrale 45 e le porzioni periferiche 46 formano, rispettivamente, una porzione centrale e porzioni periferiche della superficie superiore 40A della regione di modulazione di canale 40.

5 La regione di modulazione di canale 40 ha un tipo di conducibilità diverso rispetto allo strato di barriera 29, in modo tale che la regione di modulazione di canale 40 e lo strato di barriera 29 formino una giunzione, in particolare qui una giunzione pn.

10 In questa forma di realizzazione, la regione di modulazione di canale 40 è di tipo P e ha una concentrazione di specie droganti, ad esempio atomi di magnesio, compresa ad esempio tra 10^{18} e 10^{20} atomi/cm³, in particolare di circa $2 \cdot 10^{19}$ atomi/cm³.

15 La regione di modulazione di canale 40 è progettata per modulare la formazione del gas bidimensionale 30 sulla base di una tensione applicata all'elettrodo di porta G.

In dettaglio, la regione di modulazione di canale 40 controlla la formazione del gas bidimensionale 30 in una
20 porzione 49 dell'eterostruttura 25 disposta, parallelamente al terzo asse Z, in corrispondenza della regione di modulazione di canale 40, in particolare verticalmente allineata ad essa.

Nella forma di realizzazione mostrata, la regione di
25 modulazione di canale 40 fa sì che, in assenza di una

tensione applicata alla regione di contatto di porta 42, o a tensione applicata nulla, la porzione 49 dell'eterostruttura 25 sia svuotata di portatori di carica, ossia in modo tale che lo strato bidimensionale 30 si interrompa in corrispondenza della porzione 49.

In pratica, il dispositivo HEMT 20 è di tipo normalmente spento.

La regione funzionale 41 è di un materiale composto includente elementi del gruppo III e V della tavola periodica, ad esempio può essere di nitruro di gallio (GaN) o di una lega comprendente nitruro di gallio, e si estende sulla superficie superiore 40A della regione di modulazione di canale 40, in particolare qui in contatto diretto con essa.

La regione funzionale 41 può essere dello stesso materiale della regione di modulazione di canale 40 o di un materiale diverso; in questa forma di realizzazione dello stesso materiale, in particolare di GaN.

La regione funzionale 41 è progettata per formare una giunzione con la regione di modulazione di canale 40.

La regione funzionale 41 ha un tipo di conducibilità diverso rispetto alla regione di modulazione di canale 40.

In dettaglio, secondo una forma di realizzazione, la regione funzionale 41 può essere di tipo intrinseco, ossia ha una concentrazione nulla di specie droganti, ad esempio

di GaN intrinseco.

Secondo una diversa forma di realizzazione, la regione funzionale 41 può avere un tipo di conducibilità opposto, ossia qui può essere di tipo N, rispetto al tipo di
5 conducibilità della regione di modulazione di canale 40. Ad esempio, la regione funzionale 41 può essere di GaN di tipo N. Ad esempio, la regione funzionale 41 può avere una concentrazione di atomi droganti, ad esempio atomi di Silicio, compresa tra 10^{12} e 10^{15} atomi/cm³.

10 La regione funzionale 41 ha uno spessore T_f , parallelamente al terzo asse Z, compreso ad esempio tra 5 nm e 50 nm, in particolare di circa 30 nm.

In dettaglio, in questa forma di realizzazione, la regione funzionale 41 è formata da porzioni 50, aventi
15 ciascuna una parete interna 51 e una parete esterna 52, che si estendono ciascuna su una rispettiva porzione periferica 46 della regione di modulazione di canale 40.

Le porzioni 50 della regione funzionale 41 sono unite tra loro, in maniera qui non mostrata, in modo tale da
20 formare una struttura ad anello, ad esempio di forma circolare, poligonale o qualsiasi altra forma, ad esempio in base alla forma della regione di modulazione di canale 40 sottostante.

Tuttavia, le porzioni 50 possono essere separate tra
25 loro.

Le porzioni 50 hanno ciascuna una larghezza W_f , parallelamente al primo asse X, inferiore alla larghezza W_g . Ad esempio, la larghezza W_f può essere compresa tra 20 nm e 200 nm.

5 Le porzioni 50 si estendono qui per tutta la larghezza, parallelamente al primo asse X, delle porzioni periferiche 46 della regione di modulazione di canale 40.

In altre parole, in questa forma di realizzazione, le pareti esterne 52 delle porzioni 50 formano un prolungamento
10 delle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40, in particolare sono verticalmente allineate ad esse.

La regione di contatto di porta 42, ad esempio un multistrato di Ti/AlCu/TiN, si estende sulla superficie
15 superiore 40A della regione di modulazione di canale 40, in particolare qui in contatto diretto con essa.

La regione di contatto di porta 42 forma un primo contatto di tipo Schottky con la regione di modulazione di canale 40.

20 Il primo strato (qui non mostrato esplicitamente) della regione di contatto di porta 42, ad esempio Ti, TiN, Ta, TiW, TaW, in contatto con la regione di modulazione di canale 40, può avere uno spessore compreso ad esempio tra 10 nm e 50 nm, in particolare maggiore di 30 nm, in modo da favorire
25 la formazione del contatto elettrico.

La regione di contatto di porta 42 si estende in contatto diretto anche con la regione funzionale 41.

In dettaglio, la regione di contatto di porta 42 si estende sulla porzione centrale 45 della regione di modulazione di canale 40 in contatto con le pareti interne 51 delle porzioni 50 della regione funzionale 41.

In altre parole, la regione di contatto di porta 42 è disposta lateralmente adiacente, parallelamente al primo asse X nelle figure 2 e 3, rispetto alla regione funzionale 41.

La regione di contatto di porta 42 può formare un contatto di tipo ohmico oppure un secondo contatto di tipo Schottky con la regione funzionale 41, sulla base dello specifico livello di drogaggio della regione funzionale 41 e dello specifico materiale della regione di contatto di porta 42 in contatto con la regione funzionale 41.

In caso di contatto Schottky, a causa del diverso tipo di conducibilità tra la regione funzionale 41 e la regione di modulazione di canale 40, il secondo contatto Schottky ha una barriera Schottky, all'equilibrio, di altezza diversa, in particolare minore, rispetto alla barriera Schottky del primo contatto Schottky.

La regione di contatto di porta 42 ha una larghezza W_m , parallelamente al primo asse X, minore della larghezza W_g .

Secondo una forma di realizzazione, le larghezze W_m e

W_f possono essere scelte, in fase di progettazione, in modo tale da massimizzare il rapporto W_m/W_f , ossia massimizzare la superficie di contatto tra la regione di contatto di porta 42 e la regione di modulazione di canale 40, ad esempio in modo tale che ciascuna larghezza W_f sia inferiore a 200 nm. In questo modo, è possibile ottenere una polarizzazione omogenea di tutta la regione di modulazione di canale 40.

Uno strato di passivazione 58, di materiale isolante, ad esempio un ossido, in particolare ossido di alluminio (Al_2O_3), si estende su porzioni della superficie superiore 22A del corpo 22 lateralmente alla regione di modulazione di canale 40, tra la regione di sorgente 34 e la regione di modulazione di canale 40 e tra la regione di pozzo 35 e la regione di modulazione di canale 40.

Lo strato di passivazione 58 si estende anche sulle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40 e sulle pareti esterne 52 della regione funzionale 41.

In questa forma di realizzazione, lo strato di passivazione 58 si estende inoltre anche sopra la regione funzionale 41, in contatto con essa.

Lo strato di passivazione 58 ha uno spessore compreso ad esempio tra 2 nm e 10 nm, in particolare di circa 5 nm.

Un primo strato isolante 60, ad esempio di ossido di silicio o nitruro di silicio, si estende sullo strato di passivazione 58.

La regione di contatto di porta 42 si estende attraverso lo strato di passivazione 58 e il primo strato isolante 60 e parzialmente sul primo strato isolante 60.

Un secondo strato isolante 62, ad esempio di ossido di silicio o nitruro di silicio, si estende sul primo strato isolante 60 e sulla regione di contatto di porta 42.

Lo strato di passivazione 58 e il primo e il secondo strato isolante 60, 62 formano due aperture 64, 65 estendentisi su due lati opposti della struttura di porta 33, parallelamente al primo asse X, che espongono la superficie superiore 22A del corpo 22.

La regione di sorgente 34 è di materiale conduttivo, ad esempio di Ti/AlCu/TiN, e si estende, all'interno dell'apertura 64, sulla superficie superiore 22A del corpo 22, in contatto con lo strato di barriera 29.

Nella forma di realizzazione di figura 2, la regione di sorgente 34 comprende anche una porzione che si estende sul secondo strato isolante 62, sopra la regione di contatto di porta 42, e che ha funzione di schermo elettromagnetico.

Il dispositivo HEMT 20 può comprendere anche una regione di field plate 69 che si estende tra il primo e il secondo strato isolante 60, 62, lateralmente e a distanza lungo il primo asse X rispetto alla regione di contatto di porta 42. In tal caso, la regione di sorgente 34 può estendersi anche sopra la regione di field plate 69, anche qui con funzione

di schermo.

La regione di pozzo 35 è di materiale conduttivo, ad esempio di Ti/AlCu/TiN, e si estende, all'interno dell'apertura 65, sulla superficie superiore 22A del corpo 5 22, in contatto con lo strato di barriera 29.

La regione di sorgente 34 e la regione di pozzo 35 formano un contatto elettrico, in particolare di tipo ohmico, con l'eterostruttura 25, in particolare con il gas bidimensionale 30. In pratica, la regione di sorgente 34 e 10 la regione di pozzo 35 sono regioni di conduzione di corrente del dispositivo HEMT 20.

A seconda della specifica applicazione del dispositivo HEMT 20 e dello specifico procedimento di fabbricazione utilizzato per ottenere la regione di sorgente 34 e la 15 regione di pozzo 35, la regione di sorgente 34 e la regione di pozzo 35 possono essere in contatto ohmico diretto con il gas bidimensionale 30 oppure possono essere in contatto elettrico con il gas bidimensionale 30 tramite lo strato di barriera 29.

20 Ad esempio, secondo una forma di realizzazione, la regione di sorgente 34 e la regione di pozzo 35 possono essere di tipo recesso, ossia possono estendersi in tutto o in parte, parallelamente al terzo asse Z, attraverso lo strato di barriera 29. In questo modo, la regione di sorgente 25 34 e la regione di pozzo 35 possono essere in contatto

elettrico diretto con il gas bidimensionale 30 e ottenere quindi una bassa resistenza di contatto.

Il dispositivo HEMT 20 consente di ottenere prestazioni migliorate per quanto riguarda la corrente di perdita di
5 porta che può originarsi dalle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40.

La presenza della regione funzionale 41 sulla superficie superiore 40A della regione di modulazione di canale 40 causa infatti la formazione di una regione svuotata
10 in corrispondenza dell'interfaccia tra la regione funzionale 41 e la regione di modulazione di canale 40.

In pratica, la regione svuotata, priva di portatori (mobili) di carica, ossia elettroni e lacune, costituisce una regione che isola elettricamente la regione di contatto
15 di porta 42 dalle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40.

Di conseguenza, il fatto che la regione di contatto di porta 42 sia disposta di lato, parallelamente al primo asse X nelle figure 2 e 3, rispetto alla regione funzionale 41
20 permette di ottenere un elevato isolamento elettrico tra la regione di contatto di porta 42 e le pareti laterali 47.

Di conseguenza, in stato acceso (tensione applicata all'elettrodo di gate G maggiore di zero), il dispositivo HEMT 20 ha una bassa corrente di perdita.

25 In particolare, quando la regione di modulazione di

canale 40 e la regione funzionale 41 hanno un tipo di conducibilità opposto, ad esempio P e N rispettivamente, l'effetto di isolamento elettrico e riduzione della corrente di perdita può essere maggiore rispetto al caso in cui la
5 regione funzionale 41 è di tipo intrinseco.

Il fatto che la regione di contatto di porta 42 sia in contatto con la regione funzionale 41, in particolare può essere in contatto ohmico con essa, fa sì che, quando il dispositivo HEMT 20 è acceso (tensione applicata
10 all'elettrodo di gate G maggiore di zero), la giunzione formata dalla regione funzionale 41 e la regione di modulazione di canale 40 sia in una condizione di polarizzazione inversa. In questo modo, la conseguente regione svuotata impedisce il passaggio della corrente di
15 perdita laterale.

In aggiunta, nella presente forma di realizzazione, la presenza dello strato di passivazione 58 che si estende sulle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40 permette di ridurre la formazione di stati elettronici di
20 superficie sulle pareti laterali 47, contribuendo ulteriormente alla riduzione della corrente di perdita.

In aggiunta, il fatto che la regione di contatto di porta 42 si estende direttamente sulla superficie superiore 40A permette di ottenere una giunzione Schottky con la
25 regione di modulazione di canale 40 e di ottenere una

polarizzazione più efficace della regione di modulazione di canale 40, rispetto ad esempio al caso in cui la regione funzionale 41 si estende, parallelamente al terzo asse Z, tra la regione di modulazione di canale 40 e la regione di contatto di porta 42.

La figura 4 mostra una porzione del presente dispositivo HEMT, qui indicato da 120, secondo una diversa forma di realizzazione.

Il dispositivo HEMT 120 ha una struttura generale simile a quella del dispositivo HEMT 20 di figura 2; di conseguenza, la figura 4 mostra solamente una porzione del dispositivo HEMT 120 che ne evidenzia le differenze rispetto al dispositivo HEMT 20.

Gli elementi del dispositivo HEMT 120 visibili in figura 4 che sono in comune con il dispositivo HEMT 20 sono indicati dagli stessi numeri di riferimento e non sono descritti ulteriormente in dettaglio.

Inoltre, anche se non mostrati, il dispositivo HEMT 120 comprende anche una regione di sorgente, una regione di pozzo e un substrato, come discusso per il dispositivo HEMT 20.

Il dispositivo HEMT 120 ha una struttura di porta, qui indicata da 133, che comprende anche qui la regione di modulazione di canale 40 con le rispettive porzioni 45, 46, la regione funzionale 41 con le rispettive porzioni 50, e la regione di contatto di porta 42.

In questa forma di realizzazione, la regione di contatto di porta 42 è una prima regione di contatto di porta e il dispositivo HEMT 120 comprende inoltre una seconda regione di contatto di porta 144, in contatto elettrico diretto con
5 la prima regione di contatto di porta 42.

La seconda regione di contatto di porta 144 è di materiale conduttivo, ad esempio un singolo strato di Ti, TiN, Ta o TaN avente uno spessore compreso ad esempio tra 5 nm e 50 nm e si estende sopra la regione funzionale 41, in
10 contatto con essa. La seconda regione di contatto di porta 144 crea una barriera che può prevenire la diffusione di contaminanti.

La seconda regione di contatto di porta 144 è disposta adiacente, lungo il primo asse X, alla prima regione di
15 contatto di porta 42.

La seconda regione di contatto di porta 144 è in contatto ohmico o quasi-ohmico con la regione funzionale 41, a seconda del tipo di conducibilità e livello di drogaggio della regione funzionale 41.

20 In particolare, quando la regione funzionale 41 è di tipo N, la seconda regione di contatto di porta 144 può essere in contatto ohmico con la regione funzionale 41.

In dettaglio, la seconda regione di contatto di porta 144 è formata da due porzioni estendentisi ciascuna sopra
25 una rispettiva porzione 50 della regione funzionale 41. Tali

porzioni possono essere separate tra loro oppure unite l'una all'altra, in maniera qui non mostrata, ad esempio in base allo specifico layout di progettazione e alla forma della regione funzionale 41.

5 Le porzioni della seconda regione di contatto di porta 144 possono avere ciascuna una larghezza, parallelamente al primo asse X, minore o uguale, qui minore, rispetto alle porzioni 50 della regione funzionale 41.

10 Lo strato di passivazione, qui indicato da 158, è dello stesso materiale dello strato di passivazione 58 del dispositivo HEMT 20 e si estende sulla superficie superiore 22A, sulle pareti laterali 47 della regione di modulazione di canale 40 e sulle pareti esterne 52 della regione funzionale 41.

15 Inoltre, lo strato di passivazione 158 si estende parzialmente sopra le porzioni 50 della regione funzionale 41, su pareti esterne della seconda regione di contatto di porta 144 e sopra la seconda regione di contatto di porta 144.

20 Il secondo strato isolante, qui indicato da 160, ad esempio di ossido di silicio o nitrato di silicio, si estende sullo strato di passivazione 158, in contatto con esso.

Il dispositivo HEMT 120 presenta gli stessi vantaggi discussi in riferimento al dispositivo HEMT 20.

25 In aggiunta, la presenza della seconda regione di

contatto di porta 144, in contatto ohmico o quasi-ohmico, qui ohmico, con la regione funzionale 41, permette un controllo più accurato dell'andamento del campo elettrico nelle porzioni periferiche 46 della regione di modulazione di porta 40.

Di conseguenza, il dispositivo HEMT 120 permette di controllare accuratamente la formazione del 2DEG 30 sotto alla regione di modulazione di canale 40, per tutta la rispettiva larghezza W_g .

Qui di seguito, con riferimento alle figure 5A-5H, sono descritte fasi di fabbricazione del dispositivo HEMT 120.

La figura 5A mostra una sezione trasversale di un corpo di lavoro 200 avente una superficie superiore 200A. Elementi del corpo di lavoro 200 comuni a quanto già descritto con riferimento alle figure 2 e 3 sono indicati con gli stessi numeri di riferimento e non sono ulteriormente descritti in dettaglio.

Nel corpo di lavoro 200 sono già stati formati il substrato 24 e l'eterostruttura 25 comprendente lo strato di canale 28 e lo strato di barriera 29.

In questa forma di realizzazione, lo strato di barriera 29 forma la superficie superiore 200A del corpo di lavoro 200.

Inoltre, uno strato di modulazione di canale 202 di materiale semiconduttore e destinato a formare la regione di

modulazione di canale 40, ad esempio di GaN di tipo P, è stato formato sulla superficie superiore 200A; e uno strato funzionale di materiale semiconduttore e destinato a formare la regione funzionale 41, ad esempio di GaN intrinseco o di tipo N, è stato formato sullo strato di modulazione di canale 202.

Ad esempio, gli strati 202, 203 sono cresciuti epitassialmente tramite deposizione di vapore chimico metallorganico (MOCVD).

Successivamente, figura 5B, uno strato di contatto 204 (destinato a formare la seconda regione di contatto di porta 144), ad esempio un singolo strato di Ti, TiN, Ta, TaN, ecc. oppure un multistrato, è formato sullo strato funzionale 203.

Gli strati 202, 203, 204 possono essere depositati o cresciuti senza maschera, ossia in modalità "blanket".

Il corpo di lavoro 200 può essere sottoposto a trattamento termico ("annealing"), in modo tale da favorire la formazione di un contatto ohmico tra lo strato di contatto 204 e lo strato funzionale 203.

In figura 5C, gli strati 202, 203 e 204 vengono definiti tramite passaggi di litografia e attacco chimico. In pratica, lo strato di modulazione di canale 202 viene definito in modo tale da formare la regione di modulazione di canale 40.

Dello strato funzionale 203 rimane una porzione residua

206 che si estende sulla regione di modulazione di canale 40, in particolare su tutta la rispettiva superficie superiore.

Dello strato di contatto 204 rimane una porzione residua
5 208 che si estende sulla porzione 206.

Poi, figura 5D, uno strato di passivazione di lavoro 212, ad esempio un ossido, in particolare Al_2O_3 , destinato a formare lo strato di passivazione 158, viene formato senza maschera dal lato anteriore del corpo di lavoro 200.

10 In pratica, lo strato di passivazione di lavoro 212 ricopre le porzioni esposte della superficie superiore 200A, della regione di modulazione 40 e delle porzioni 206, 208.

Ad esempio, lo strato di passivazione di lavoro 212 viene formato tramite deposizione di strato atomico (ALD) di
15 tipo termico o plasma, in atmosfera a base di acqua a $300^\circ C$.

Un primo strato isolante di lavoro 213, ad esempio di ossido di silicio o nitruro di silicio, destinato a formare il primo strato isolante 160, viene formato senza maschera sullo strato di passivazione di lavoro 212.

20 Poi, figura 5E, una finestra 215 viene aperta attraverso il primo strato isolante di lavoro 213, lo strato di passivazione di lavoro 212, e le porzioni 206, 208, in modo da esporre la porzione della superficie superiore 40A della regione di modulazione di canale 40 dove si intende formare
25 la prima regione di contatto di porta 42.

In pratica, dalla porzione residua 208 dello strato di contatto 204 viene formata la seconda regione di contatto 144.

Dalla porzione residua 206 dello strato funzionale 203
5 viene formata la regione funzionale 41 della struttura di porta 133.

In figura 5F, una regione conduttiva di lavoro viene depositata e definita per formare la prima regione di contatto di porta 42 all'interno della finestra 215 e,
10 parzialmente, sopra il secondo strato isolante di lavoro 213.

Inoltre, dalla regione conduttiva di lavoro può essere formata anche la regione di field plate 69.

Successivamente, figura 5G, un secondo strato isolante
15 di lavoro 218 viene depositato sopra il primo strato isolante di lavoro 213, la prima regione di contatto di porta 42 e, se presente, la regione di field plate 69.

In figura 5H, lo strato di passivazione di lavoro 212 e il primo e il secondo strato isolante di lavoro 213, 218
20 vengono definiti tramite passaggi di litografia e attacco, formando così lo strato di passivazione 158 e il primo e il secondo strato isolante 160, 62 con le rispettive aperture 64, 65.

La regione di sorgente 34 e la regione di pozzo 35 sono
25 formate nell'apertura 64 e, rispettivamente, 65.

In seguito a fasi finali di fabbricazione, qui non mostrate e di per sé note, ad esempio taglio del corpo di lavoro 200 e formazione di connessioni elettriche, si ottiene il dispositivo HEMT 120.

5 Sarà evidente al tecnico del ramo che il processo di fabbricazione descritto in riferimento alle figure 5A-5H può essere adattato per fabbricare anche il dispositivo HEMT 20 di figura 1, ad esempio trascurando i passaggi relativi alla formazione della seconda regione di contatto di porta 144.

10 A differenza di quanto mostrato nelle figure 5A-5H, in cui il presente dispositivo HEMT è fabbricato secondo un approccio "gate-first" (struttura di porta 33, 133 formata prima delle regioni di sorgente e pozzo 34, 35), il presente dispositivo HEMT può essere fabbricato secondo un approccio
15 "ohmic-first", in cui le regioni di sorgente e pozzo sono formate prima della struttura di porta. In questo modo, è possibile utilizzare processi termici durante la formazione delle regioni di sorgente e pozzo che permettono di abbassare la resistenza di contatto tra le sorgente di sorgente e pozzo
20 e il gas bidimensionale.

 La figura 6 mostra una forma di realizzazione del presente dispositivo HEMT, qui indicato da 320, fabbricato secondo l'approccio "ohmic-first". Il dispositivo HEMT 320 ha una struttura generale simile a quella dei dispositivi
25 HEMT 20, 120; di conseguenza, elementi in comune sono

identificati dagli stessi numeri di riferimento e non sono descritti in dettaglio.

Nel dispositivo HEMT 320, il secondo strato isolante, qui indicato da 321, si estende sopra le regioni di sorgente
5 e pozzo, qui indicate rispettivamente da 324 e 325.

La prima regione di contatto di porta, qui indicata da 342 si estende anche attraverso il secondo strato isolante 321.

La regione di field plate, qui indicata da 329, si
10 estende tra il primo e il secondo strato isolante 160, 321, a lato della struttura di porta 133, e può essere formato insieme alle regioni di sorgente e pozzo 324, 325.

Il dispositivo HEMT 320 comprende anche una regione conduttiva di schermo 330 che si estende parzialmente sul
15 secondo strato isolante 321 e opera da schermo elettromagnetico. La regione conduttiva di schermo 330 si estende, a distanza, parzialmente o completamente, qui parzialmente, sopra rispetto alla regione di field plate 330.

20 Risulta infine chiaro che ai dispositivi HEMT 20, 120 e ai relativi procedimenti di fabbricazione qui descritti ed illustrati possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni
25 allegate.

Ad esempio, con riferimento al dispositivo HEMT 20, la regione funzionale 41 può estendersi solo su un lato della regione di contatto di porta 42, ad esempio sul lato sorgente (verso sinistra) o sul lato pozzo (verso destra) della
5 regione di contatto di porta 42. In pratica, la regione funzionale 41 può avere solo una delle porzioni 50.

Considerazioni analoghe si possono applicare anche ai dispositivi HEMT 120, 220.

Ad esempio, le porzioni 50 della regione funzionale 41
10 possono estendersi solo su parte delle porzioni periferiche 46 della regione di modulazione di canale 40.

Ad esempio, le pareti esterne 52 della regione funzionale 41 possono non essere allineate, lungo il terzo asse Z, con le pareti laterali 47 della regione di
15 modulazione di canale 40.

Ad esempio, il valore $W_{m+2} \cdot W_f$ può essere minore della larghezza W_g della regione di modulazione di canale 40, ad esempio nel caso in cui ulteriori regioni, ad esempio di materiale isolante, siano disposte direttamente sulla
20 superficie superiore 40A della regione di modulazione di canale 40.

La regione di sorgente 34, 324 la regione di pozzo 35, 325 e la struttura di porta 33, 133 possono estendersi lungo il secondo asse Y secondo diverse forme e configurazioni, a
25 seconda della specifica applicazione, in modo di per sé noto

e quindi non discusso in dettaglio. Ad esempio, in vista in pianta dall'alto, qui non mostrata, possono avere forma di strisce allungate lungo il secondo asse Y, oppure possono avere forma circolare oppure qualunque altra forma, regolare
5 o non regolare.

Ad esempio, lo strato di canale 28 e lo strato di barriera 29 possono essere formati ciascuno da una pluralità di strati tra loro sovrapposti, ad esempio uno o più strati di GaN, o leghe a base di GaN, opportunamente drogati o di
10 tipo intrinseco, a seconda della specifica applicazione.

Ad esempio, il corpo 22 del dispositivo HEMT può comprendere anche uno o più strati isolanti, ad esempio di ossido o nitruro, estendentisi tra il substrato 24 e l'eterostruttura 25, sopra l'eterostruttura 25, all'interno
15 del substrato 24, e/o all'interno dell'eterostruttura 25, a seconda della specifica applicazione o specifico procedimento di fabbricazione utilizzato.

Ad esempio, il corpo 22 può comprendere uno strato di cappuccio, ad esempio di nitruro di alluminio (AlN),
20 estendentesi sopra a e in contatto con lo strato di barriera 29, ossia formante la superficie 22A.

Ad esempio, il corpo 22 può comprendere uno strato distanziale (spacer), ad esempio di AlN, tra lo strato di canale 28 e lo strato di barriera 29.

25 Ad esempio, il presente dispositivo HEMT può

comprendere una pila di strati sovrapposti estendentisi tra il substrato 24 e l'eterostruttura 25, ad esempio includenti uno strato di buffer e uno strato di fornitura di lacune, in modo di per sé noto.

5 Ad esempio, il presente dispositivo HEMT può essere di tipo normalmente acceso ("normally-on").

Infine, le diverse forme di realizzazione sopra descritte possono essere combinate in modo da fornire ulteriori soluzioni.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo HEMT (20; 120; 320) comprendente:

un corpo (22) avente una superficie superiore (22A) e
includente una eterostruttura (25) configurata per generare
5 un gas bidimensionale di portatori di carica (30, 49); e

una struttura di porta (33; 133) estendentesi sulla
superficie superiore del corpo e polarizzabile per
controllare elettricamente il gas bidimensionale di
portatori di carica,

10 la struttura di porta comprendendo una regione di
modulazione di canale (40) di materiale semiconduttore e
avente una superficie superiore (40A); una regione
funzionale (41) di materiale semiconduttore; e una regione
di contatto di porta (42; 342) di materiale conduttivo,

15 in cui la regione funzionale (41) e la regione di
contatto di porta (42; 342) si estendono sulla superficie
superiore (40A) della regione di modulazione di canale e in
cui la regione di contatto di porta è disposta lateralmente
rispetto alla regione funzionale,

20 la regione di modulazione di canale (40) avendo un tipo
di conducibilità diverso rispetto alla regione funzionale
(41).

2. Dispositivo HEMT secondo la rivendicazione
precedente, in cui la regione di modulazione di canale (40)
25 ha una porzione periferica (46) formante una parete laterale

(47) della regione di modulazione di canale, la regione funzionale (41) estendendosi, almeno in parte, sulla porzione periferica.

3. Dispositivo HEMT secondo la rivendicazione
5 precedente, in cui la regione funzionale (41) ha una parete esterna (52) contigua alla parete laterale della regione di modulazione di canale.

4. Dispositivo HEMT secondo una qualsiasi delle
10 rivendicazioni precedenti, in cui la regione funzionale (41) è di tipo intrinseco.

5. Dispositivo HEMT secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni 1-3, in cui la regione di modulazione di
canale (40) ha un primo tipo di conducibilità (P) e la
regione funzionale (41) ha un secondo tipo di conducibilità
15 (N) opposto al primo tipo di conducibilità.

6. Dispositivo HEMT secondo la rivendicazione
precedente, in cui la regione funzionale ha una
concentrazione di specie droganti inferiore a 10^{15} atomi/cm³.

7. Dispositivo HEMT secondo una qualsiasi delle
20 rivendicazioni precedenti, in cui la regione funzionale (41) ha una parete interna (51) in contatto con la regione di contatto di porta (42; 342).

8. Dispositivo HEMT secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni precedenti, in cui la regione funzionale (41)
25 ha una larghezza (W_f) lungo una prima direzione (X) e la

regione di contatto di porta (42; 342) ha una larghezza (W_m), lungo la prima direzione, che è maggiore della larghezza della regione funzionale.

9. Dispositivo HEMT (120; 320) secondo una qualsiasi
5 delle rivendicazioni precedenti, in cui la regione di contatto di porta è una prima regione di contatto di porta (42; 342), la struttura di porta (133) comprendendo inoltre una seconda regione di contatto di porta (144) di materiale conduttivo estendentesi, almeno in parte, sulla regione
10 funzionale (41) ed essendo in contatto con la prima regione di contatto di porta.

10. Dispositivo HEMT secondo la rivendicazione precedente, in cui la seconda regione di contatto di porta (144) è di un materiale scelto tra Ti, Ta, TiN e TaN.

15 11. Dispositivo HEMT secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre una regione isolante (58, 60; 158, 160) di materiale non conduttivo estendentesi su una parete laterale (47) della regione di modulazione di canale (40) e su una parete esterna (52) della
20 regione funzionale (41) ed estendentesi, almeno in parte, sopra e a distanza rispetto alla superficie superiore della regione di modulazione di canale (40).

12. Procedimento di fabbricazione di un dispositivo HEMT, comprendente:

25 formare, su una superficie superiore (200A) di un corpo

di lavoro (200) includente una eterostruttura (25), una struttura di porta (33; 133), in cui l'eterostruttura è configurata per generare un gas bidimensionale di portatori di carica (30, 49) e la struttura di porta è polarizzabile
5 per controllare elettricamente il gas bidimensionale di portatori di carica,

in cui formare una struttura di porta comprende:

formare una regione di modulazione di canale (40) avente una superficie superiore (40A), a partire da un primo strato
10 semiconduttore (202);

formare una regione funzionale (41) sulla superficie superiore della regione di modulazione di canale, a partire da un secondo strato semiconduttore (203); e

formare una regione di contatto di porta (42; 342) di
15 materiale conduttivo estendentesi sulla superficie superiore della regione di modulazione di canale, lateralmente rispetto alla regione funzionale,

in cui la regione di modulazione di canale (40) ha un tipo di conducibilità diverso rispetto alla regione
20 funzionale (41).

13. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione precedente, comprendente:

depositare il primo strato semiconduttore (202) sulla superficie superiore del corpo di lavoro;

25 depositare il secondo strato semiconduttore (203) sul

primo strato semiconduttore;

definire il primo e il secondo strato semiconduttore;

depositare almeno uno strato isolante (58, 60; 158, 160) di materiale non conduttivo su una parete laterale (47)

5 del primo strato semiconduttore definito, su una parete esterna (52) del secondo strato semiconduttore definito e, almeno in parte, sopra e a distanza rispetto alla superficie superiore del primo strato semiconduttore;

in cui formare la regione di contatto di porta

10 comprende:

formare un'apertura (215) che espone una porzione del primo strato semiconduttore definito, l'apertura estendendosi attraverso l'almeno uno strato isolante e il secondo strato semiconduttore; e

15 depositare materiale conduttivo all'interno dell'apertura.

14. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 12 o 13, in cui la regione di contatto di porta è una prima regione di contatto di porta, in cui
20 formare una struttura di porta comprende inoltre formare una seconda regione di contatto di porta (144) estendentesi, almeno in parte, sulla regione funzionale (41) ed in contatto con la prima regione di contatto di porta,

in cui formare una seconda regione di contatto di porta

25 comprende:

formare almeno uno strato di contatto di materiale conduttivo sul secondo strato di materiale semiconduttore (203);

5 eseguire un trattamento termico configurato per favorire la formazione di un contatto ohmico tra l'almeno uno strato di contatto e il secondo strato semiconduttore; e

10 rimuovere una porzione dell'almeno uno strato di contatto sopra il secondo strato semiconduttore, dove si intende formare la prima regione di contatto di porta.

15 15. Procedimento di fabbricazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12-14, comprendente inoltre formare almeno una regione di conduzione di corrente (34, 35; 324, 325), di materiale conduttivo, in contatto con l'eterostruttura (25), la fase di formare la struttura di porta (33; 133) essendo eseguita prima o dopo di formare l'almeno una regione di conduzione di corrente.

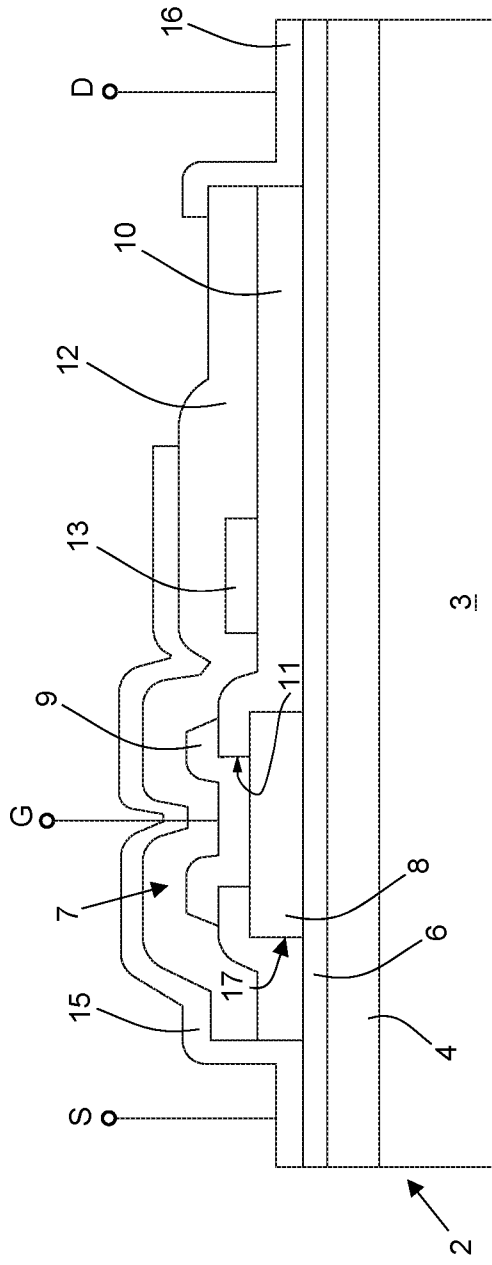


FIG. 1

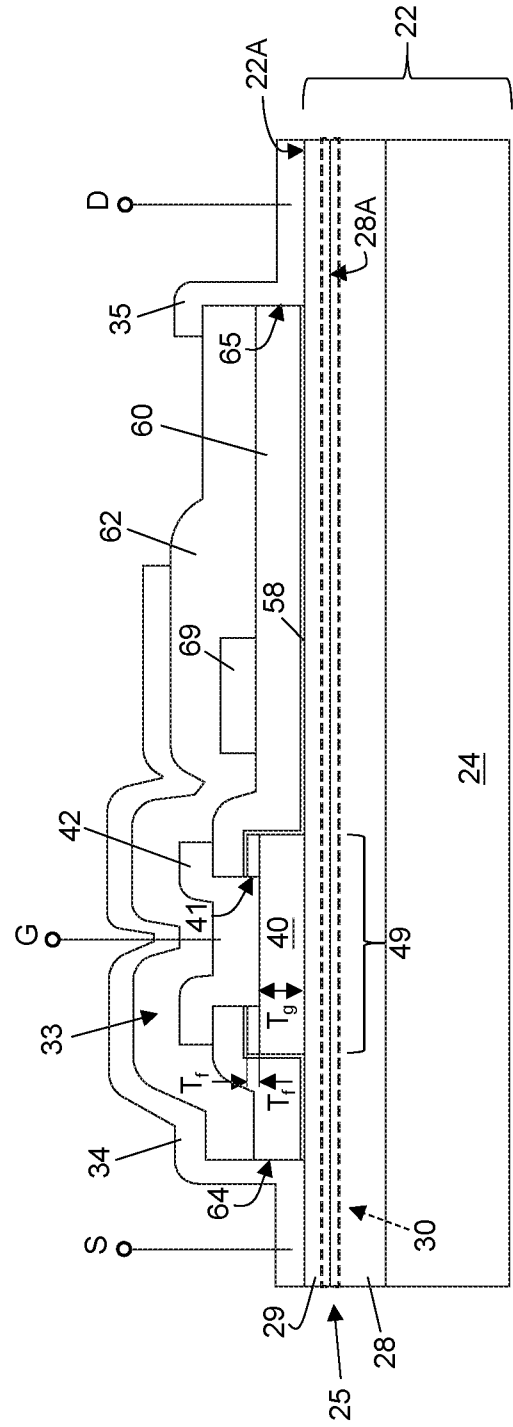


FIG. 2

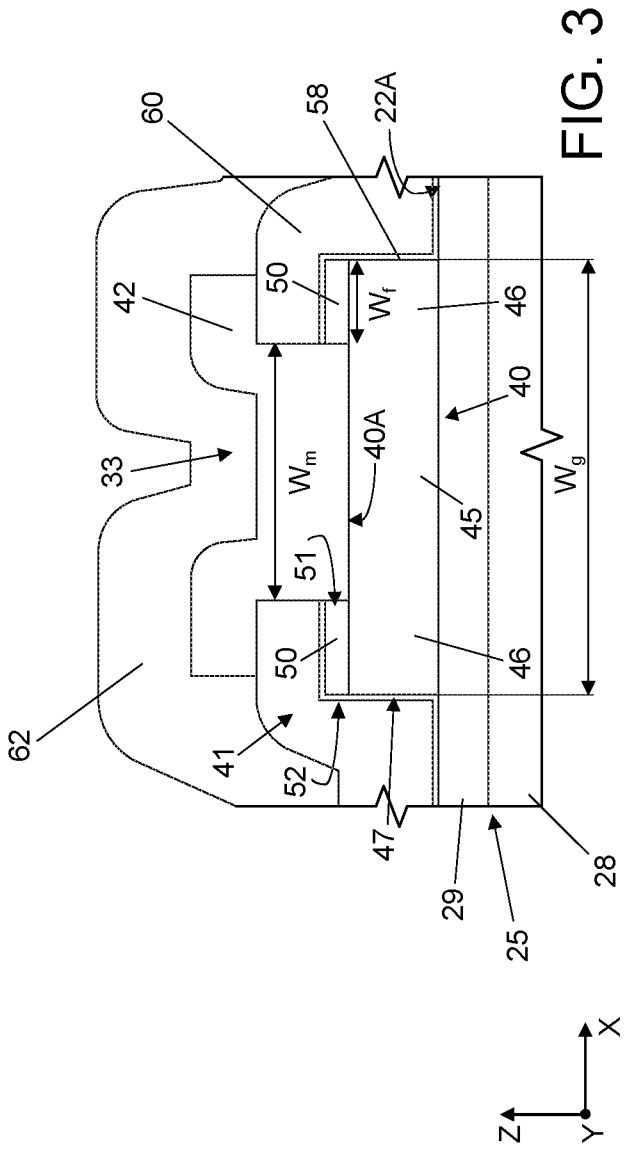


FIG. 3

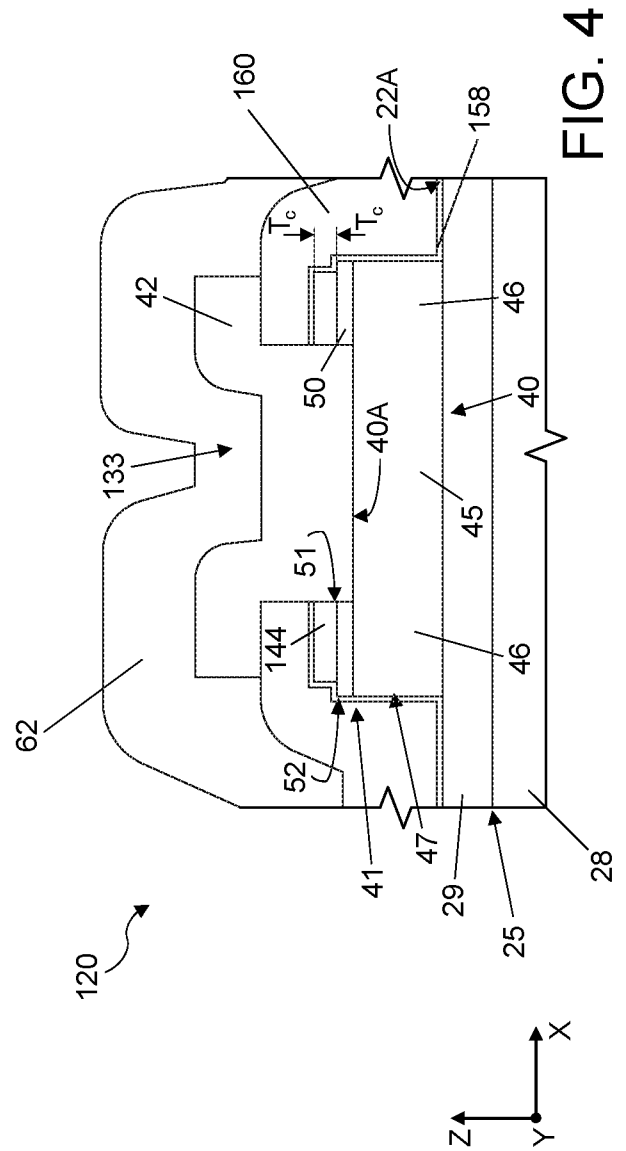


FIG. 4

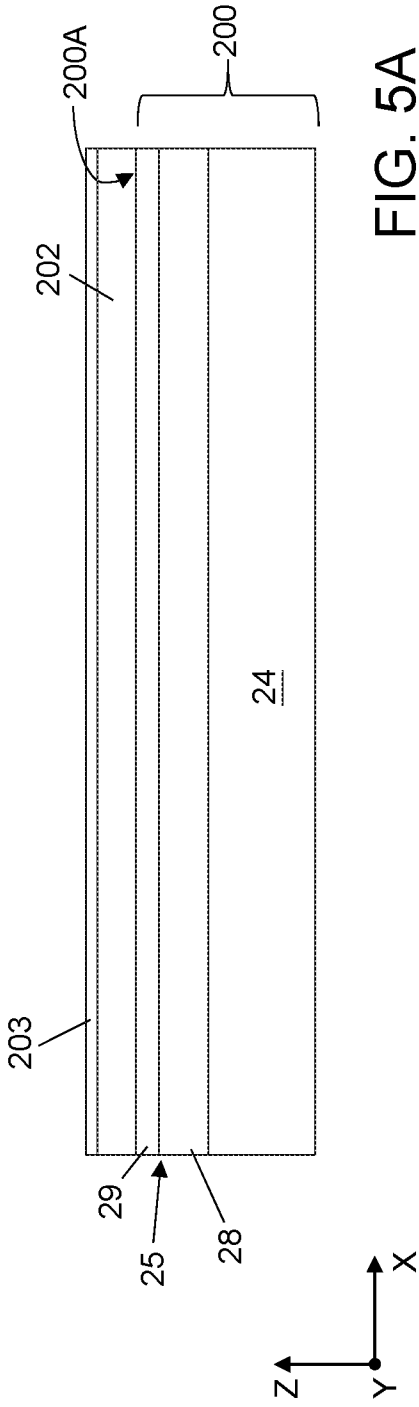


FIG. 5A

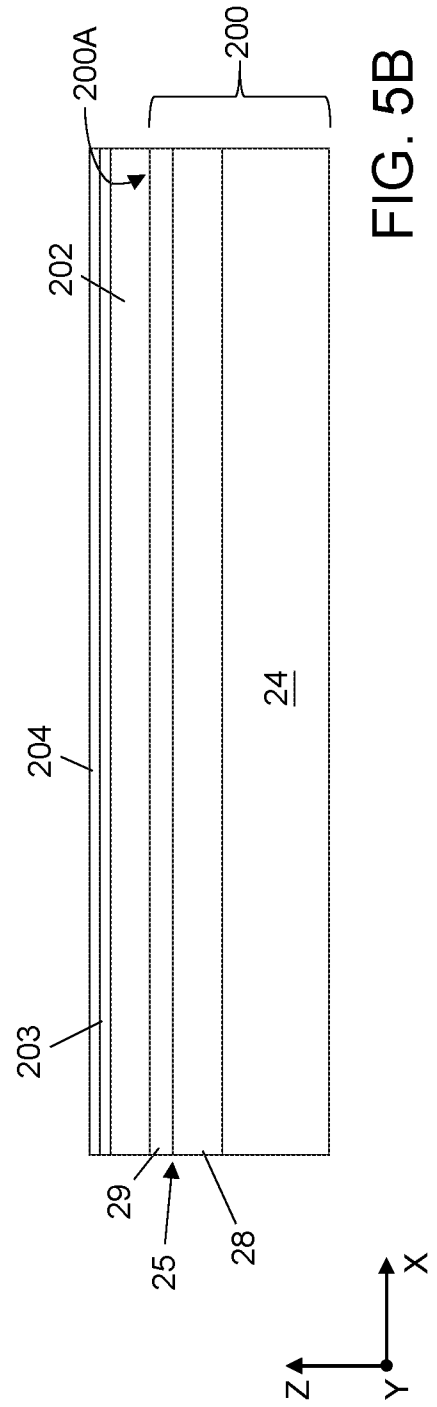
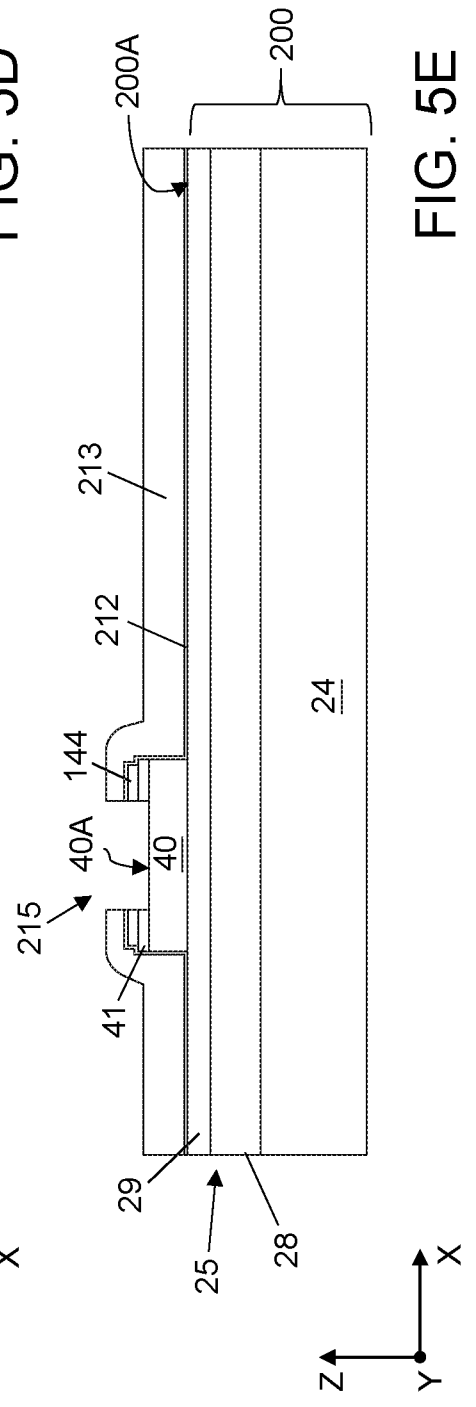
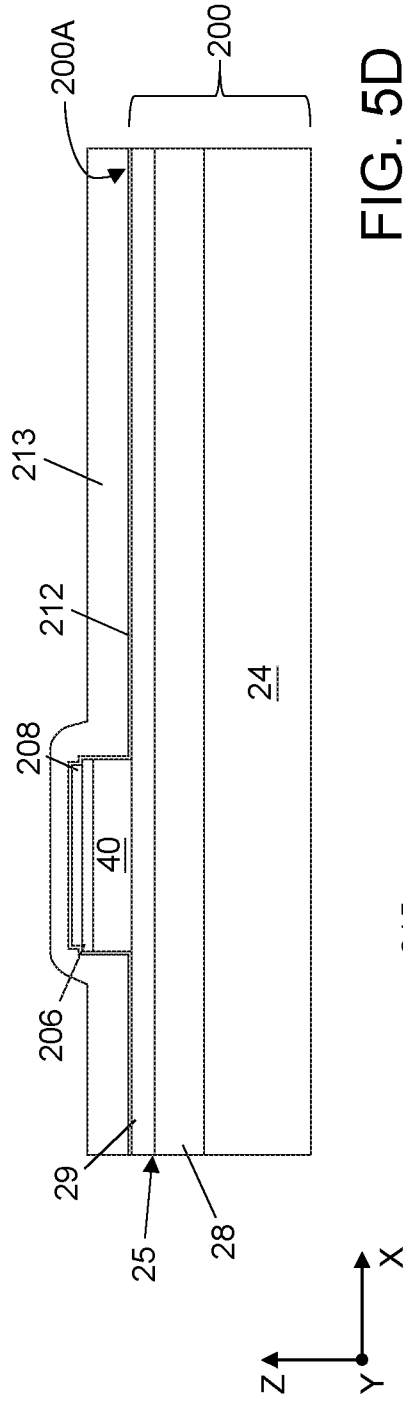
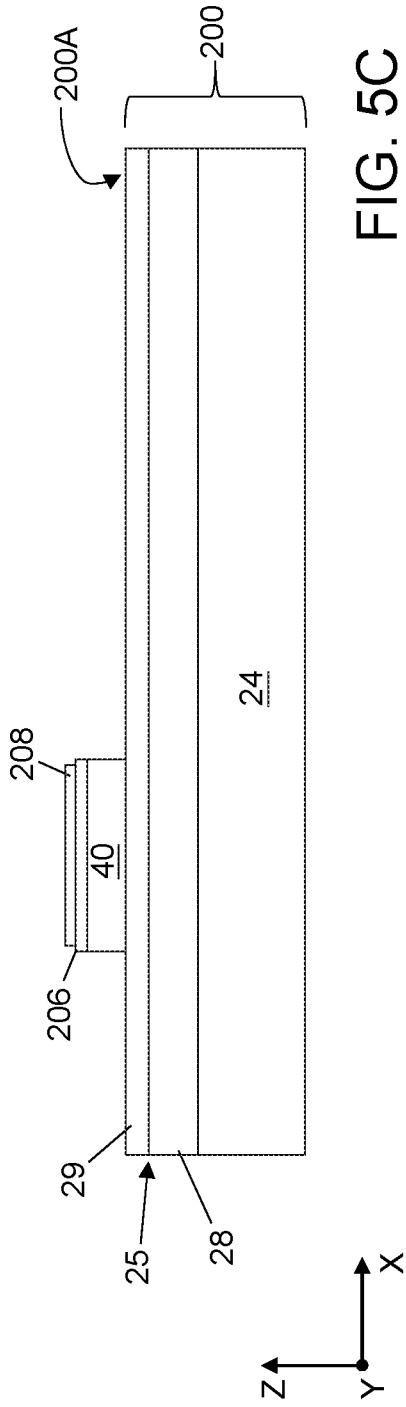


FIG. 5B



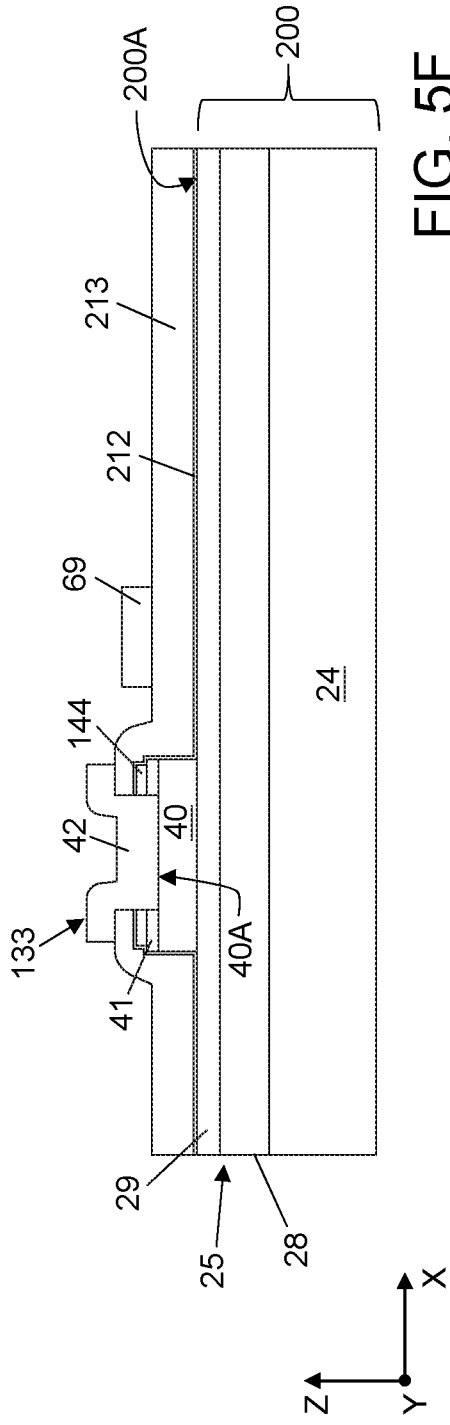


FIG. 5F

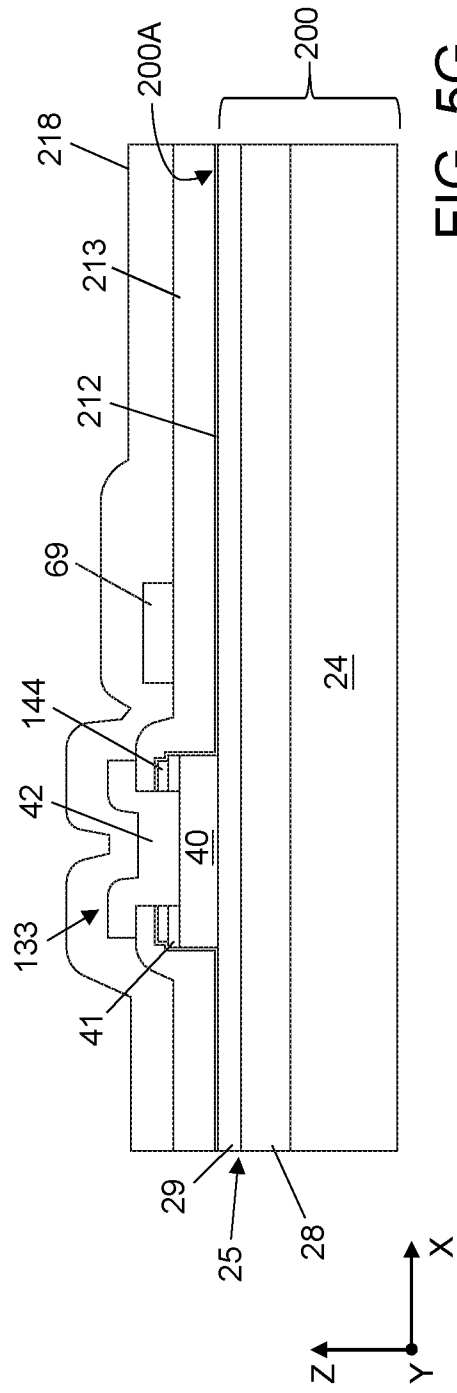


FIG. 5G

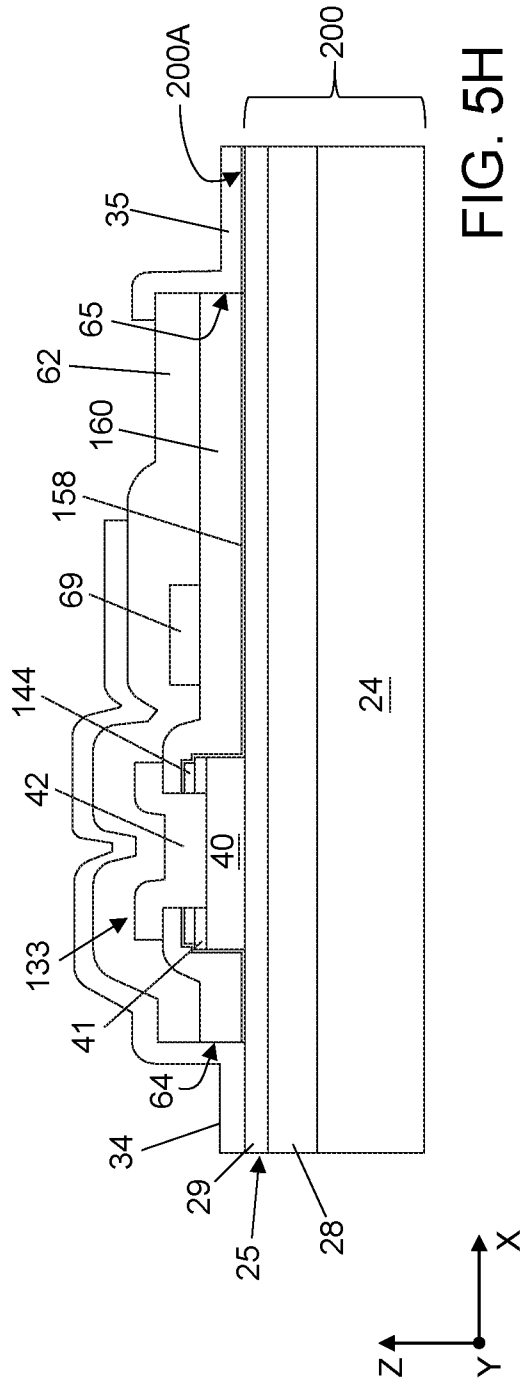


FIG. 5H

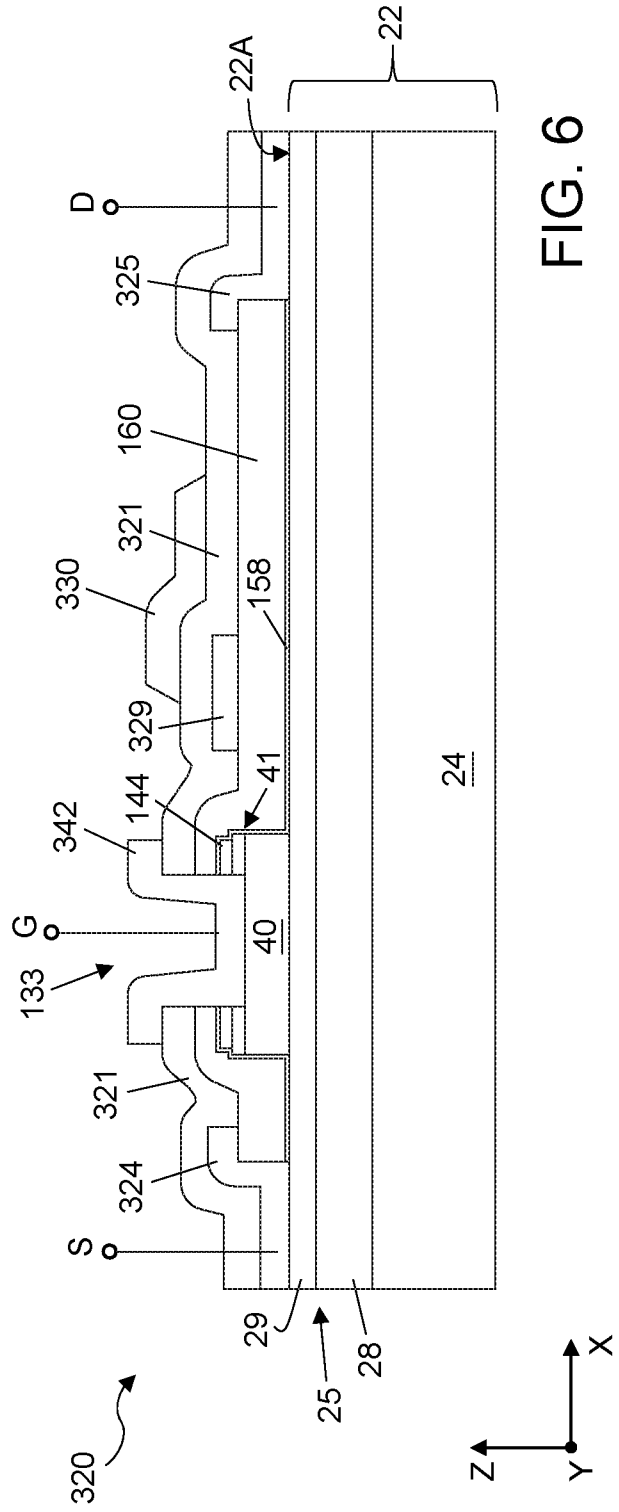


FIG. 6