



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

# UIBM

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>10202300004668</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>13/03/2023</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>13/09/2024</b>

### Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	40

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	21	335

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	778

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L	29	20

### Titolo

DISPOSITIVO INTEGRATO A ETEROGIUNZIONE NORMALMENTE SPENTO E METODO PER FABBRICARE UN DISPOSITIVO INTEGRATO
--

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO INTEGRATO A ETEROGIUNZIONE NORMALMENTE SPENTO  
E METODO PER FABBRICARE UN DISPOSITIVO INTEGRATO"

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)

Inventori: MICCOLI Cristina, IUCOLANO Ferdinando, TRINGALI  
Cristina, CASTAGNA Maria Eloisa, CHINI Alessandro

\*\*\* \*\*\*\*\* \*\*\*

### CAMPO TECNICO

La presente invenzione è relativa a un dispositivo integrato a eterogiunzione normalmente spento e a un metodo per fabbricare un dispositivo integrato.

### CONTESTO

Come è noto, le eterostrutture comprendono strati o regioni contigui di materiali, generalmente semiconduttori, che hanno differenti bande proibite e definiscono eterogiunzioni alle rispettive interfacce, dove si può formare, in base alle proprietà fisiche e strutturali dei materiali costituenti l'eterogiunzione, un gas elettronico bidimensionale ("two-dimensional electron gas", 2DEG). Alcune eterostrutture sono di grande interesse nella

fabbricazione di transistori a effetto di campo sia per la resistenza a rottura, sia per la densità e la mobilità dei portatori di carica in prossimità delle eterogiunzioni. Per esempio, le eterostrutture AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> (nitruro di alluminio e gallio/nitruro di gallio) sono sempre più frequentemente utilizzate per realizzare transistori a elevata mobilità elettronica o HEMTs (High Electron Mobility Transistors) per applicazioni di potenza e frequenza elevate. Il gas elettronico bidimensionale viene infatti formato in una regione intrinseca del materiale avente la banda proibita più stretta.

Gli HEMTs AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> sono in genere del tipo normalmente acceso, ma, per garantire la corretta operatività e semplificare i circuiti di pilotaggio, in molte applicazioni pratiche è conveniente utilizzare anche HEMTs AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> del tipo normalmente spento. Sono note diverse tecniche per fabbricare HEMTs AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> normalmente spenti. Tra queste, la tecnica cosiddetta "a porta p-Ga<sub>N</sub>" o "p-Ga<sub>N</sub> gate" è utilizzata su scala commerciale e insegna a formare una regione Ga<sub>N</sub> drogata p su una eterostruttura AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> che comprende uno strato di canale di Ga<sub>N</sub> e uno strato di barriera di AlGa<sub>N</sub>, definenti una eterogiunzione. La regione Ga<sub>N</sub> drogata p, o regione di porta p-Ga<sub>N</sub>, è formata fra la eterostruttura e l'elettrodo di porta.

La soluzione è funzionalmente corretta, poiché

definisce a tutti gli effetti HEMTS normalmente spenti, tuttavia le prestazioni possono non essere soddisfacenti, in particolare in termini di massima frequenza di lavoro. I limiti sono principalmente dovuti alla capacità porta-pozzo e alla carica che occorre di conseguenza rimuovere o iniettare per completare la commutazione dei dispositivi. Si avverte quindi l'esigenza di dispositivi del tipo normalmente spento che abbiano migliore velocità di commutazione e possano quindi essere impiegati per applicazioni a frequenze più elevate.

#### SOMMARIO

Scopo della presente invenzione è fornire un dispositivo integrato di potenza e un metodo per fabbricare un dispositivo integrato di potenza che permettano di superare o almeno attenuare le limitazioni descritte.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un dispositivo integrato e un metodo per fabbricare un dispositivo integrato come definiti nelle rivendicazioni 1 e 12, rispettivamente.

#### BREVE DESCRIZIONE DELLE FIGURE

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne verranno ora descritte alcune forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 è una sezione trasversale attraverso un

dispositivo integrato in accordo a una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 2 mostra un particolare ingrandito del dispositivo di figura 1;

- la figura 3 è una sezione trasversale attraverso un dispositivo integrato in accordo a una diversa forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 4 è una sezione trasversale attraverso un dispositivo integrato in accordo a un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 5-8 sono sezioni trasversali attraverso una fetta semiconduttrice in successive fasi di un metodo di fabbricazione di un dispositivo integrato in accordo a una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 9 mostra una sezione trasversale attraverso una fetta semiconduttrice in una fase di un metodo di fabbricazione di un dispositivo integrato in accordo a una diversa forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 10 e 11 mostrano una sezione trasversale attraverso una fetta semiconduttrice in fasi successive di un metodo di fabbricazione di un dispositivo integrato in accordo a un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione; e

- la figura 12 mostra una sezione trasversale attraverso una fetta semiconduttrice in una fase di un metodo

di fabbricazione di un dispositivo integrato in accordo a un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione.

#### DESCRIZIONE DI FORME D'ATTUAZIONE

Con riferimento alle figure 1 e 2, un dispositivo integrato di potenza in accordo a una forma di realizzazione della presente invenzione è indicato nel suo complesso con il numero 1. Per esempio, il dispositivo 1 è un dispositivo integrato a eterogiunzione del tipo normalmente spento, in particolare un transistor a elevata mobilità elettronica o HEMTs (High Electron Mobility Transistor), e comprende uno strato di canale 2, uno strato di barriera 3, una regione di porta 5, un contatto di sorgente 7, un contatto di pozzo 8 e un contatto di porta 9. Il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8 possono essere o meno recessi rispetto allo strato di barriera 3.

Lo strato di canale 2 e lo strato di barriera 3 sono di rispettivi materiali semiconduttori con diverse bande proibite e formano un'eterostruttura 10, con un'eterogiunzione 10a a un'interfaccia comune. Per esempio, lo strato di canale 2 è di nitruro di gallio (GaN) intrinseco, mentre lo strato di barriera 3 è di nitruro di alluminio e gallio (AlGaN) e ha conducibilità di tipo N. Un gas di elettroni bidimensionale (2DEG, 2-Dimensional Electron Gas) si forma in una regione di canale dello strato di canale

2 all'eterogiunzione 10, fra il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8.

In aggiunta allo strato di canale 2 e allo strato di barriera 3, il dispositivo integrato 1 può comprendere altri strati appartenenti o collegati all'eterostruttura 10, tra cui, non necessariamente e non limitativamente: un substrato avente funzione di supporto meccanico e/o funzioni elettriche, per esempio di silicio o carburo di silicio (SiC); uno strato di buffer fra il substrato e lo strato di canale 2; uno strato distanziale (spacer), per esempio di nitruro di alluminio (AlN), fra lo strato di canale 2 e lo strato di barriera 3; uno strato di cappuccio, per esempio di GaN, sopra lo strato di canale 3.

La regione di porta 5 è formata in contatto con lo strato di barriera 3 fra il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8 e, in una forma di realizzazione, è dello stesso materiale formante lo strato di canale 2 (GaN) drogato in modo da avere conducibilità opposta rispetto allo strato di barriera 3, in particolare conducibilità di tipo P nell'esempio di figura 1. Il contatto di porta 9 si estende sulla regione di porta 5.

Una piastra di campo ("field plate") 12 è collegata (in modo non illustrato in figura 1) al contatto di sorgente 7 e si estende sullo (over) strato di barriera 3 fra la regione di porta 5 e il contatto di pozzo 8 e in parte anche sopra

la regione di porta 5 e il contatto di porta 9. Una struttura isolante di campo 13 separa la piastra di campo 12 dallo strato di barriera 3 fra il contatto di pozzo 8 e la regione di porta 5. Una struttura isolante di porta 15 separa la piastra di campo 12 dalla regione di porta 5 e dal contatto di porta 9, oltre che dallo strato di barriera 3 fra il contatto di sorgente 7 e la regione di porta 5. Uno strato protettivo 16 di materiale dielettrico, per esempio ossido di silicio, ricopre la piastra di campo 12, la struttura isolante di campo 13 e la struttura isolante di porta 15 e accoglie un terminale di sorgente 7a, un terminale di pozzo 8a e un terminale di porta (non mostrato in figura 1), che si estendono rispettivamente fino al contatto di sorgente 7, fino al contatto di pozzo 8 e fino al contatto di porta 9.

La struttura isolante di campo 13 ha spessore variabile, nella forma di realizzazione di figura 1 crescente a gradini dalla regione di porta 5 al contatto di pozzo 8. Più in dettaglio, la struttura isolante di campo 13 comprende una prima regione dielettrica 13a, una seconda regione dielettrica 13b e una terza regione dielettrica 13c impilate fra loro ed estendentisi in misura diversa dal contatto di pozzo 8 verso la regione di porta 5.

In una forma di realizzazione, la prima regione dielettrica 13a, la seconda regione dielettrica 13b e la terza regione dielettrica 13c sono porzioni di strati

realizzati in rispettivamente un primo materiale dielettrico, un secondo materiale dielettrico e un terzo materiale dielettrico, i quali sono fra loro distinti e selettivamente attaccabili ciascuno rispetto ai materiali delle porzioni contigue della struttura isolante di campo 13. In particolare, la prima regione dielettrica 13a, la seconda regione dielettrica 13b e la terza regione dielettrica 13c possono essere rispettivamente di ossido di alluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), di ossido di silicio e di nitruro di silicio.

La prima regione dielettrica 13a si estende sullo strato di barriera 3 dal contatto di porta 8 fino alla regione di porta 5, dove si collega alla struttura isolante di porta 15, e ha un primo spessore  $T_1$  non superiore a 10 nm e per esempio compreso fra 3 nm e 5 nm.

La seconda regione dielettrica 13b si estende sulla prima regione dielettrica 13a dal contatto di porta 8 fino a una distanza  $D$  alla regione di porta 5, in modo che una finestra 17 di larghezza  $W$  sia definita fra la seconda regione dielettrica 13b e la struttura isolante di porta 15. La finestra 17 è perciò occupata da una porzione della piastra di campo 12 che è in contatto con la prima regione dielettrica 13a. In una forma di realizzazione, per esempio, la distanza  $D$  è 300 nm e la larghezza  $W$  è 100 nm. La distanza  $D$  e la larghezza  $W$  possono essere selezionate in modo che il

marginale della finestra 17 opposto alla seconda regione dielettrica 13b sia a una distanza desiderata dalla regione di porta 5, generalmente inferiore a 200 nm. Per esempio, con i valori sopra indicati ( $D = 300$  nm,  $W = 200$  nm), la finestra 17 è posta a 100 nm dalla regione di porta 5.

La seconda regione dielettrica 13b ha un secondo spessore  $T_2$  non superiore a 100 nm e per esempio compreso fra 30 nm e 50 nm. In una forma di realizzazione, il secondo spessore  $T_2$  è dieci volte maggiore del primo spessore  $T_1$ .

La terza regione dielettrica 13c si estende sulla seconda regione dielettrica 13b dal contatto di porta 8, è più corta della seconda regione dielettrica 13b, in modo da formare un gradino, ed è in parte ricoperta dalla piastra di campo 12. La terza regione dielettrica 13c ha un terzo spessore  $T_3$  non superiore a 500 nm e per esempio compreso fra 100 nm e 150 nm. In una forma di realizzazione, il terzo spessore  $T_3$  secondo spessore  $T_2$  è tre volte maggiore del secondo spessore  $T_2$ .

La piastra di campo 12 presenta perciò tre livelli, corrispondenti alla prima regione dielettrica 13a, alla seconda regione dielettrica 13b e alla terza regione dielettrica 13c, rispettivamente a distanza  $T_1$ ,  $T_1+T_2$ ,  $T_1+T_2+T_3$  rispetto alla superficie dello strato di barriera 3.

In una forma di realizzazione, la struttura isolante di

porta 15 comprende una prima porzione 15a, una seconda porzione 15b e una terza porzione 15c, che possono essere parti degli stessi strati da cui sono formate rispettivamente la prima regione dielettrica 13a, la seconda regione dielettrica 13b e la terza regione dielettrica 13c e quindi sono degli stessi materiali e hanno gli stessi spessori. In pratica, un primo strato che forma la prima regione dielettrica 13a della struttura isolante di campo 13 e la prima porzione 15a della struttura isolante di porta 15 si estende con continuità fra il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8, ricoprendo lo strato di barriera 3, la regione di porta 5 e il contatto di porta 9. Un secondo strato forma la seconda regione dielettrica 13b della struttura isolante di campo 13 e la seconda porzione 15b della struttura isolante di porta 15, che ricopre la regione di porta 5 e il contatto di porta 9 e si estende fino alla finestra 17, dove il secondo strato è interrotto. La seconda porzione 15b della struttura isolante di porta 15 delimita la finestra 17 sul lato verso la regione di porta 5.

Un terzo strato forma la terza regione dielettrica 13c della struttura isolante di campo 13 e la terza porzione 15c della struttura isolante di porta 15, che si estende dal contatto di sorgente fino a ricoprire parzialmente la regione di porta 5 e il contatto di porta 9. Per esempio, la terza porzione 15c della struttura isolante di porta 15 si estende

fino a un piano mediano P della regione di porta 5 e del contatto di porta 9, perpendicolare alla superficie dello strato di barriera 3.

Secondo una diversa forma di realizzazione, illustrata in figura 3, dove parti uguali a quelle già mostrate sono indicate con gli stessi numeri di riferimento, in un dispositivo integrato 100 una struttura isolante di campo 113 e una struttura isolante di porta 115 hanno le stesse morfologia e dimensioni rispettivamente della struttura isolante di campo 13 e della struttura isolante di porta 15 di figura 1. In questo caso, tuttavia, la prima regione dielettrica 113a della struttura isolante di campo 113 è realizzata in un primo materiale, per esempio ossido di alluminio, mentre la seconda regione 113b e la terza regione 113c della struttura isolante di campo 113 sono realizzate entrambe in un secondo materiale selettivamente attaccabile rispetto al primo materiale, per esempio ossido di silicio o nitruro di silicio. Analogamente, la prima porzione 115a della struttura isolante di porta 115 è realizzata nel primo materiale, mentre la seconda porzione 115b e la terza porzione 115c sono realizzate entrambe nello stesso materiale.

La figura 4 mostra un dispositivo integrato 200 in accordo a una diversa forma di realizzazione della presente invenzione. Il dispositivo integrato 200 comprende lo strato

di canale 2 e lo strato di barriera 3, che formano l'eterostruttura 10 e l'eterogiunzione 10a; la regione di porta 5 con drogaggio di tipo opposto rispetto allo strato di barriera 3; il contatto di sorgente 7, il contatto di pozzo 8 e il contatto di porta 9. Il dispositivo integrato 200 comprende, inoltre, una piastra di campo 212, una struttura isolante di campo 213 e una struttura isolante di porta 215. La struttura isolante di campo 213 separa la piastra di campo 212 dallo strato di barriera 3 fra il contatto di pozzo 8 e la regione di porta 5. La struttura isolante di porta 215 separa la piastra di campo 212 dalla regione di porta 5 e dal contatto di porta 9, oltre che dallo strato di barriera 3 fra il contatto di sorgente 7 e la regione di porta 5.

La struttura isolante di campo 213 ha spessore per un tratto costante, in prossimità della regione di porta 5, e per un altro variabile a rampa, fino al contatto di pozzo 8. Più in dettaglio, la struttura isolante di campo 213 comprende una prima regione dielettrica 213a e una seconda regione dielettrica 213b.

La prima regione dielettrica 213a si estende sullo strato di barriera 3 dal contatto di porta 8 fino alla regione di porta 5, dove si collega alla struttura isolante di porta 215. La prima regione dielettrica 213a è realizzata in un primo materiale, per esempio ossido di alluminio, e ha

un primo spessore  $T_1$  costante non superiore a 10 nm, per esempio compreso fra 3 nm e 5 nm.

La seconda regione dielettrica 213b è realizzata in un secondo materiale selettivamente attaccabile rispetto al materiale della prima regione dielettrica 213a e si estende sulla prima regione dielettrica 213a formando una rampa crescente che inizia a una distanza  $D$  alla regione di porta 5 e si estende fino al contatto di porta 8. Una finestra 217 di larghezza  $W$  risulta quindi definita fra la struttura isolante di porta 215 e l'inizio della rampa della seconda regione dielettrica 213b. La piastra di campo 212 perciò contatta la prima regione dielettrica 213a attraverso la finestra 217. La distanza  $D$  e la larghezza  $W$  sono, per esempio, rispettivamente 300 nm e 100 nm. Al termine della rampa, la seconda regione dielettrica 213b raggiunge un secondo spessore  $T_2'$  massimo non superiore a 100 nm e per esempio compreso fra 30 nm e 50 nm. In questo punto, lo spessore della regione dielettrica di campo 213 è quindi  $T_1+T_2'$ .

La piastra di campo 212 presenta un livello corrispondente alla prima regione dielettrica 213a e con essa in contatto e una superficie inclinata conforme alla rampa formata dalla seconda regione dielettrica 213b.

In una forma di realizzazione, la struttura isolante di porta 215 comprende una prima porzione 215a e una seconda

porzione 215b, che possono essere parti degli stessi strati da cui sono formate rispettivamente la prima regione dielettrica 213a e la seconda regione dielettrica 213b. In pratica, un primo strato che forma la prima regione dielettrica 213a della struttura isolante di campo 213 e la prima porzione 215a della struttura isolante di porta 215 si estende con continuità fra il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8, ricoprendo lo strato di barriera 3, la regione di porta 5 e il contatto di porta 9. Un secondo strato forma la seconda regione dielettrica 213b della struttura isolante di campo 213 e la seconda porzione 215b della struttura isolante di porta 215, che ricopre la regione di porta 5 e il contatto di porta 9 e si estende fino alla finestra 17, dove il secondo strato è interrotto. La seconda porzione 215b della struttura isolante di porta 215 delimita la finestra 17 sul lato verso la regione di porta 5.

Con riferimento alle figure 5-9, in un metodo per fabbricare il dispositivo integrato 1 in accordo a una forma di realizzazione della presente invenzione, in una fetta semiconduttrice 50 viene inizialmente realizzata (made) l'eterostruttura 10 e la regione di porta 5 e il contatto di porta 9 vengono formati sull'eterostruttura 10. Quindi, un primo strato dielettrico 30, un secondo strato dielettrico 32 e un terzo strato dielettrico 33 vengono depositi in successione nell'ordine sull'eterostruttura 10 e sulla

regione di porta 5, ricoprendo entrambe.

Il primo strato dielettrico 30 è fatto del primo materiale, per esempio ossido di alluminio, e ha il primo spessore T1. Il secondo strato dielettrico 32 è fatto del secondo materiale, per esempio ossido di silicio, e ha il secondo spessore T2. Il terzo strato dielettrico 33 è fatto del terzo materiale, per esempio nitruro di silicio, e, in una forma di realizzazione, ha spessore inferiore al terzo spessore T3.

Il primo strato dielettrico 30 definisce la prima regione dielettrica 13a della struttura isolante di campo 13 e la prima porzione 15a della struttura isolante di porta 15.

Quindi, figura 6, vengono formati il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8. A questo scopo, il primo strato dielettrico 30, il secondo strato dielettrico 32 e il terzo strato dielettrico 33 vengono attaccati utilizzando una stessa maschera e viene eseguito uno sputtering metallico, seguito da una fase di annealing.

Il terzo strato dielettrico 33 viene poi accresciuto fino al terzo spessore T3 desiderato mediante una ulteriore deposizione del terzo materiale. L'accrescimento del terzo strato dielettrico 33 dovuto all'ulteriore deposizione è indicato con 33' in figura 7. In questa fase, il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8 vengono ricoperti per

essere mantenuti separati durante la successiva formazione della piastra di campo 12.

Il terzo strato dielettrico 33 e il secondo strato dielettrico 32 vengono poi selettivamente attaccati in successione, nell'ordine, come mostrato in figura 8. Per gli attacchi vengono utilizzate rispettive maschere, non illustrate per semplicità. Gli attacchi si arrestano automaticamente sugli strati sottostanti, dato che i materiali selezionati sono attaccabili selettivamente. In particolare, dal terzo strato dielettrico 33 vengono ricavate la terza regione dielettrica 13c della struttura isolante di campo 13 e la terza porzione 15c della struttura isolante di sorgente 15. Nel secondo strato dielettrico 32 viene aperta la finestra 17, separando così la seconda regione dielettrica 13b della struttura isolante di porta 13 dalla seconda porzione 15b della struttura isolante di sorgente 15 ed esponendo la prima regione dielettrica 13a.

Uno strato metallico 35 viene poi depositato per evaporazione metallica e successivamente sagomato utilizzando un'ulteriore maschera (non mostrata) per formare la piastra di campo 12 (figura 9). Durante questa fase, il contatto di sorgente 7 e il contatto di porta 8 sono ricoperti e protetti da una porzione del terzo strato dielettrico 33 ottenuta durante la deposizione di accrescimento al terzo spessore T3.

Vengono poi eseguite fasi finali di lavorazione, tra cui la fase di deposizione dello strato protettivo 16 e la fase di realizzare il terminale di sorgente 7a e il terminale di pozzo 8a. Si ottiene così il dispositivo integrato 1 di figura 1.

Secondo varianti non illustrate del procedimento, il terzo strato dielettrico 33 e il secondo strato dielettrico 32 vengono selettivamente attaccati in successione, nell'ordine, prima di formare il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8, per definire la struttura isolante di campo 13 (terza regione dielettrica 13c della e seconda regione dielettrica 13b) e la struttura isolante di sorgente 15. Secondo una forma di realizzazione, in particolare, dopo l'attacco del terzo strato dielettrico 33 e del secondo strato dielettrico 32 vengono aperte finestre contatti per il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8 e uno strato metallico viene depositato per sputtering e successivamente definito per formare contemporaneamente il contatto di sorgente 7, il contatto di pozzo 8 e la piastra di campo 13. In alternativa, prima lo strato metallico viene formato per sputtering, quindi vengono aperte finestre contatti per il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8, sagomando lo strato metallico per formare la struttura isolante di campo 13, e infine vengono formati il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8 mediante evaporazione

di metallo.

Secondo una diversa forma di realizzazione del procedimento secondo l'invenzione, figura 10, inizialmente vengono realizzate l'eterostruttura 10 e la regione di porta 5. Quindi, il primo strato dielettrico 30 e un secondo strato dielettrico 332, per esempio di ossido di silicio, vengono depositi in successione nell'ordine sull'eterostruttura 10 e sulla regione di porta 5, ricoprendo entrambe. Il primo strato dielettrico 30 e il secondo strato dielettrico 332 vengono poi sagomati per aprire finestre contatti, dove vengono formati il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8. Il secondo strato dielettrico 332 può essere portato allo spessore finale desiderato mediante un'ulteriore deposizione di del secondo materiale dielettrico, che copre anche il contatto di sorgente 7 e il contatto di pozzo 8.

Con riferimento alla figura 11, il secondo strato 332 viene poi definito per formare la struttura isolante di campo utilizzando una tecnica litografica cosiddetta in scala di grigi ("grayscale"), che permette di ottenere densità di fotoresist differenziate da un unico strato (si veda, per esempio, Yu Pang, Yi Shu, Mohammad Shavezipur, Xuefeng Wang, Mohammad Ali Mohammad, Yi Yang, Haiming Zhao, Ningqin Deng, Roya Maboudian & Tian-Ling Ren, "3D Stretchable Arch Ribbon Array Fabricated via Grayscale Lithography", Scientific Reports volume 6, Article number: 28552 (2016)). In pratica,

sfruttando la diffrazione attraverso una maschera con densità e/o ampiezze di aperture variabili, uno strato di fotoresist viene esposto e impressionato in modo differenziato. In aree con maggiori densità e/o ampiezze delle aperture, il fotoresist viene esposto maggiormente e si ottiene una densità finale minore; viceversa, in aree con minori densità e/o ampiezze delle aperture, il fotoresist viene esposto in misura minore e si ottiene una densità finale maggiore. In figura 11 e nella successiva figura 12, la densità variabile dello strato di fotoresist è rappresentata mediante differenti toni di grigio: a regioni a densità maggiore corrisponde un tono di grigio più scuro e a regioni a densità minore corrisponde un tono di grigio più chiaro.

Pertanto, per ottenere il dispositivo integrato 100 di figura 3 è possibile utilizzare uno strato protettivo di fotoresist 350 (figura 11) avente una porzione 350a a densità minima, una porzione 350b a densità intermedia e una porzione 350c a densità massima sopra rispettivamente la prima regione dielettrica 113a, la seconda regione 113b e la terza regione 113c della struttura isolante di campo 113.

Per ottenere invece il dispositivo integrato 200 di figura 3 è possibile utilizzare uno strato protettivo di fotoresist 360 (figura 12) avente una porzione 360a a densità minima, una porzione 360b con densità variabile linearmente

e una porzione 360c a densità massima sopra rispettivamente la prima regione dielettrica 213a e la seconda regione 213b della struttura isolante di campo 213. La densità della porzione 360b varia fra la densità minima della porzione 360a e la densità massima della porzione 360c.

L'invenzione consente vantaggiosamente di migliorare le prestazioni dei dispositivi integrati di potenza, in particolare degli HEMTs del tipo normalmente spento. Più precisamente, l'uso di materiali attaccabili selettivamente l'uno rispetto all'altro per realizzare la struttura isolante di campo consente di controllare lo spessore della prima porzione della struttura isolante di campo con precisione nell'ordine dei nanometri. Il limite di precisione è infatti determinato dai processi di deposizione, con cui si possono formare strati dello spessore anche di pochissimi atomi. L'attacco delle strutture soprastanti si autoarresta per la selettività dei materiali senza bisogno di controllo fine di tempo e lo spessore dello strato sottostante, in particolare della prima porzione della struttura isolante di campo, non viene intaccato. In questo modo, in prossimità della regione di porta la piastra di campo può essere portata a pochi nanometri dallo strato di barriera, ossia a una distanza pari allo spessore della sola prima porzione della struttura isolante di campo. Questo permette di ridurre drasticamente la capacità porta-pozzo e,

di conseguenza, la carica accumulata, a beneficio delle prestazioni del dispositivo integrato. All'aumentare della distanza dalla regione di porta, lo spessore della struttura isolante di campo può aumentare secondo le preferenze di progetto, in modo da mantenere la resistenza alla rottura (breakdown). Anche il profilo della struttura isolante di campo può essere scelto secondo le preferenze di progetto, per esempio a gradini o a rampa. Vantaggiosamente, lo spessore della struttura isolante di campo ha almeno un valore intermedio fra un valore minimo in prossimità della regione di porta e un valore massimo al terminale di pozzo.

Risulta infine evidente che al dispositivo integrato e al metodo descritti possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Per esempio, la struttura isolante di campo può avere un maggior numero di gradini (quattro o più) secondo le preferenze di progetto.

## RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo integrato di potenza comprendente:

un'eterostruttura (10), includente uno strato di canale (2) e uno strato di barriera (3);

un contatto di sorgente (7), un contatto di pozzo (8) e una regione di porta (5), in cui la regione di porta (5) è disposta sullo strato di barriera (3) fra il contatto di sorgente (7) e il contatto di pozzo (8);

una struttura isolante di campo (13) posta sullo strato di barriera (3) fra la regione di porta (5) e il contatto di pozzo (8); e

una piastra di campo (12) sulla struttura isolante di campo (13);

in cui la struttura isolante di campo (13; 113; 213) comprende una prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) di un primo materiale dielettrico sullo strato di barriera (3) e una seconda regione dielettrica (13b; 113b; 213b) di un secondo materiale dielettrico selettivamente attaccabile rispetto al primo materiale dielettrico sulla prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a);

e in cui, su un lato della struttura isolante di campo (13; 113; 213) verso la regione di porta (5), la piastra di campo (12) è in contatto con la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a).

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1,

comprendente una struttura isolante di porta (15) fra la piastra di campo (12) e la regione di porta (5), in cui una finestra (17; 217) è definita fra la struttura isolante di porta (15) e la seconda regione dielettrica (13b; 113b; 213b) e in cui la piastra di campo (12) è in contatto con la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) nella finestra (17; 217).

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, in cui la finestra (17) è posta a una distanza ( $D'$ ) dalla regione di porta (5) inferiore a 200 nm.

4. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) ha un primo spessore ( $T_1$ ) inferiore a 10 nm, per esempio compreso fra 3 nm e 5 nm.

5. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la struttura isolante di campo (13; 113; 213) ha uno spessore minimo, corrispondente al primo spessore ( $T_1$ ) della prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a), sul lato della struttura isolante di campo (13; 113; 213) verso la regione di porta (5), uno spessore massimo ( $T_1+T_2+T_3$ ;  $T_1+T_2'$ ) su un lato della struttura isolante di campo (13; 113; 213) verso il terminale di pozzo (3) e uno spessore intermedio ( $T_1+T_2$ ) fra il lato verso la regione di porta (5) e il lato verso il terminale di pozzo (3) della struttura isolante di campo (13; 113; 213).

6. Dispositivo secondo la rivendicazione 5, in cui la struttura isolante di campo (13; 113) ha profilo a gradini e comprende una terza regione dielettrica (13c; 113c) sulla seconda regione dielettrica (13b; 113b).

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, in cui la seconda regione dielettrica (13b; 113b) ha un secondo spessore (T2) non superiore a 100 nm, per esempio compreso fra 30 nm e 50 nm, e in cui la terza regione dielettrica (13c; 113c) ha un terzo spessore (T3) non superiore a 500 nm, per esempio compreso fra 100 nm e 150 nm.

8. Dispositivo secondo la rivendicazione 6 o 7, in cui la terza regione dielettrica (13c) è realizzata in un terzo materiale dielettrico, selettivamente attaccabile rispetto al secondo materiale dielettrico.

9. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 6 a 8, in cui la prima regione dielettrica (13a), la seconda regione dielettrica (13b) e la terza regione dielettrica (13c) sono rispettivamente di ossido di alluminio, di ossido di silicio e di nitruro di silicio.

10. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui la seconda regione dielettrica (213b) della struttura isolante di campo (213) ha profilo a rampa.

11. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui lo strato di barriera (3)

ha un primo tipo di conducibilità e la regione di porta (5) e ha un secondo tipo di conducibilità, opposto al primo tipo di conducibilità.

12. Metodo per fabbricare un dispositivo integrato di potenza, comprendente:

formare un'eterostruttura (10), includente uno strato di canale (2) e uno strato di barriera (3);

sullo strato di barriera (3), formare un contatto di sorgente (7), un contatto di pozzo (8) e una regione di porta (5) fra il contatto di sorgente (7) e il contatto di pozzo (8);

formare una struttura isolante di campo (13) sullo strato di barriera (3) fra la regione di porta (5) e il contatto di pozzo; e

formare una piastra di campo (12) sulla struttura isolante di campo (13);

in cui formare la struttura isolante di campo (13; 113; 213) comprende:

formare un primo strato dielettrico (30) di un primo materiale dielettrico sullo strato di barriera (3);

formare un secondo strato dielettrico (32; 332) di un secondo materiale dielettrico selettivamente attaccabile rispetto al primo materiale dielettrico sulla prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a);

attaccare selettivamente il secondo strato dielettrico

(32; 332) su un lato della struttura isolante di campo (13; 113; 213) verso la regione di porta (5), in modo da esporre una porzione del primo strato dielettrico (30) in prossimità della regione di porta (5);

e in cui la piastra di campo (12) è in contatto con la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) dove la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) è stata esposta.

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, comprendente formare una struttura isolante di porta (15) fra la piastra di campo (12) e la regione di porta (5); in cui attaccare selettivamente comprende definire una finestra (17; 217) fra la struttura isolante di porta (15) e la seconda regione dielettrica (13b; 113b; 213b) e in cui la piastra di campo (12) è in contatto con la prima regione dielettrica (13a; 113a; 213a) nella finestra (17; 217).

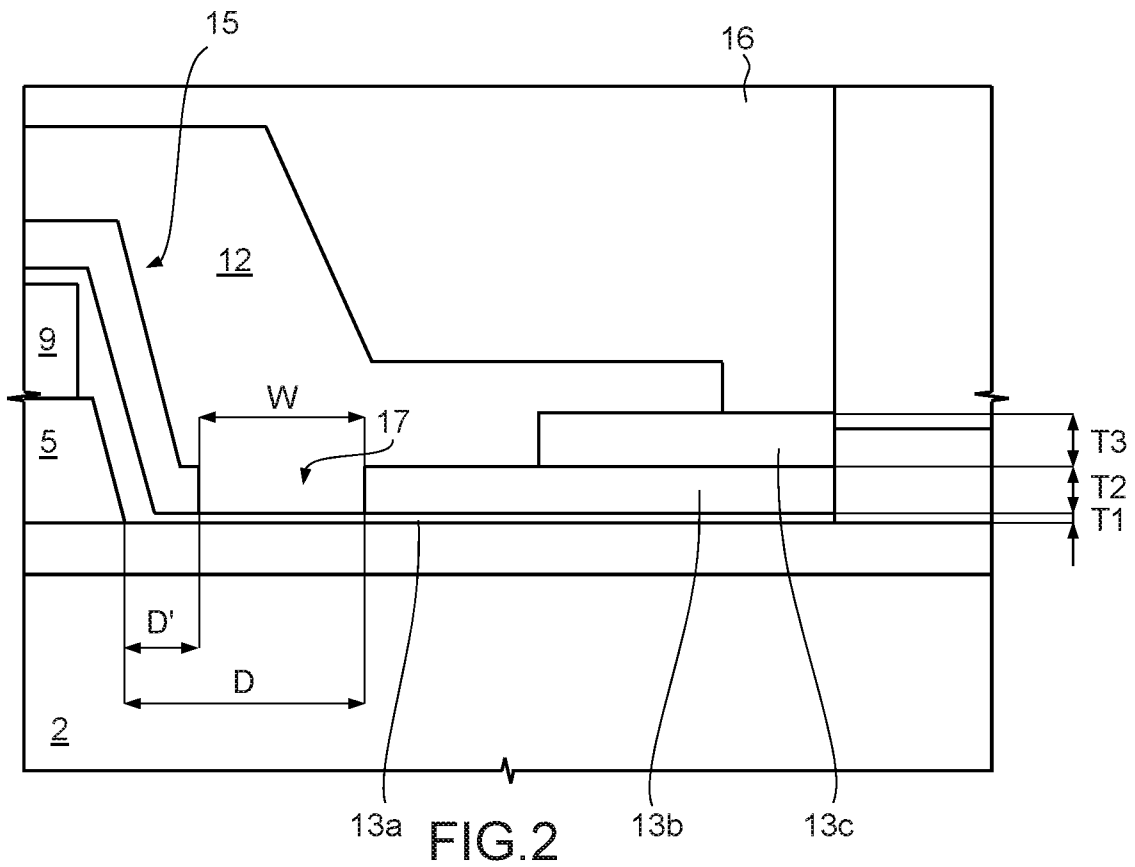
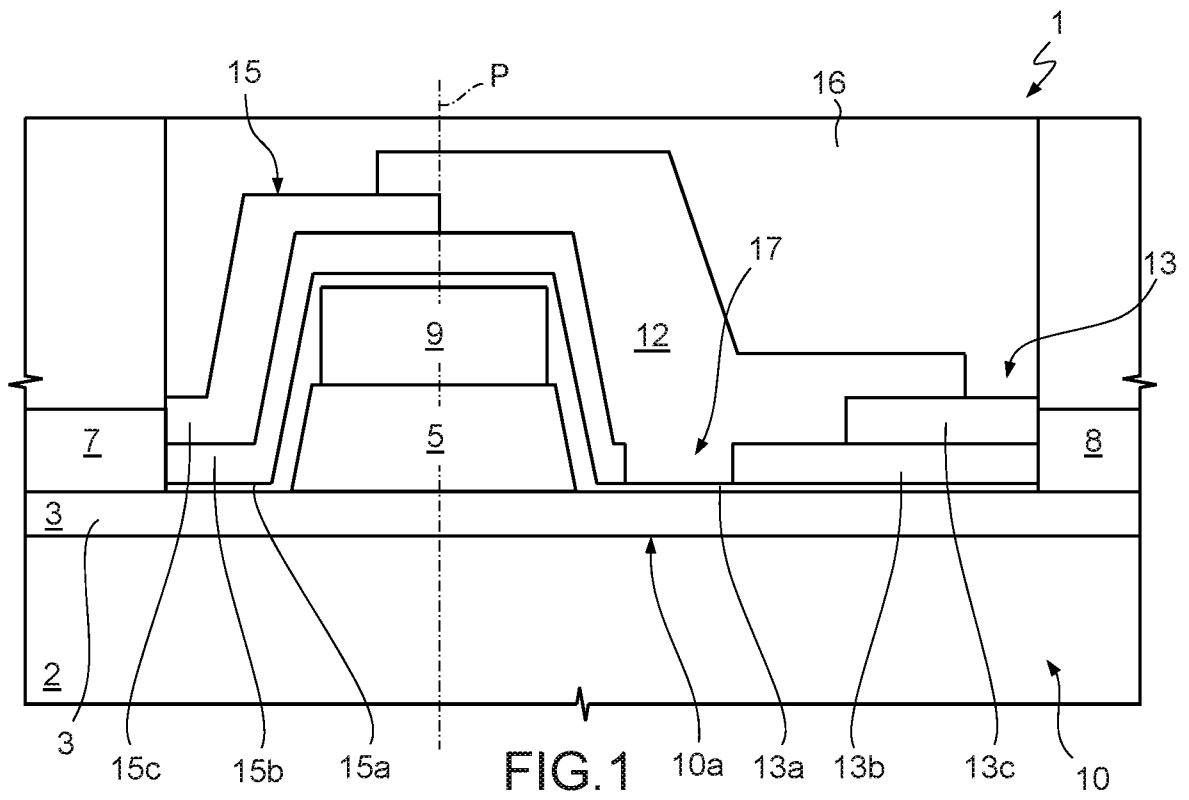
14. Metodo secondo la rivendicazione 13, in cui formare la struttura isolante di campo (13) comprende:

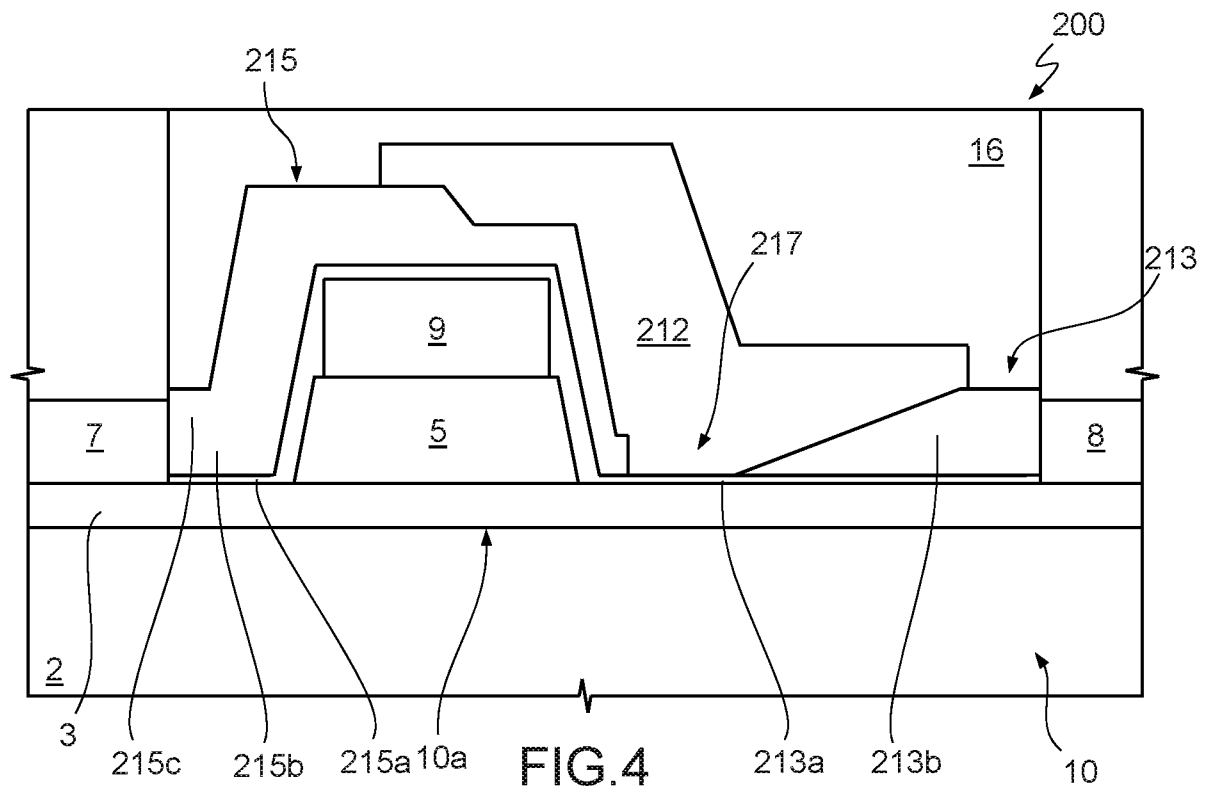
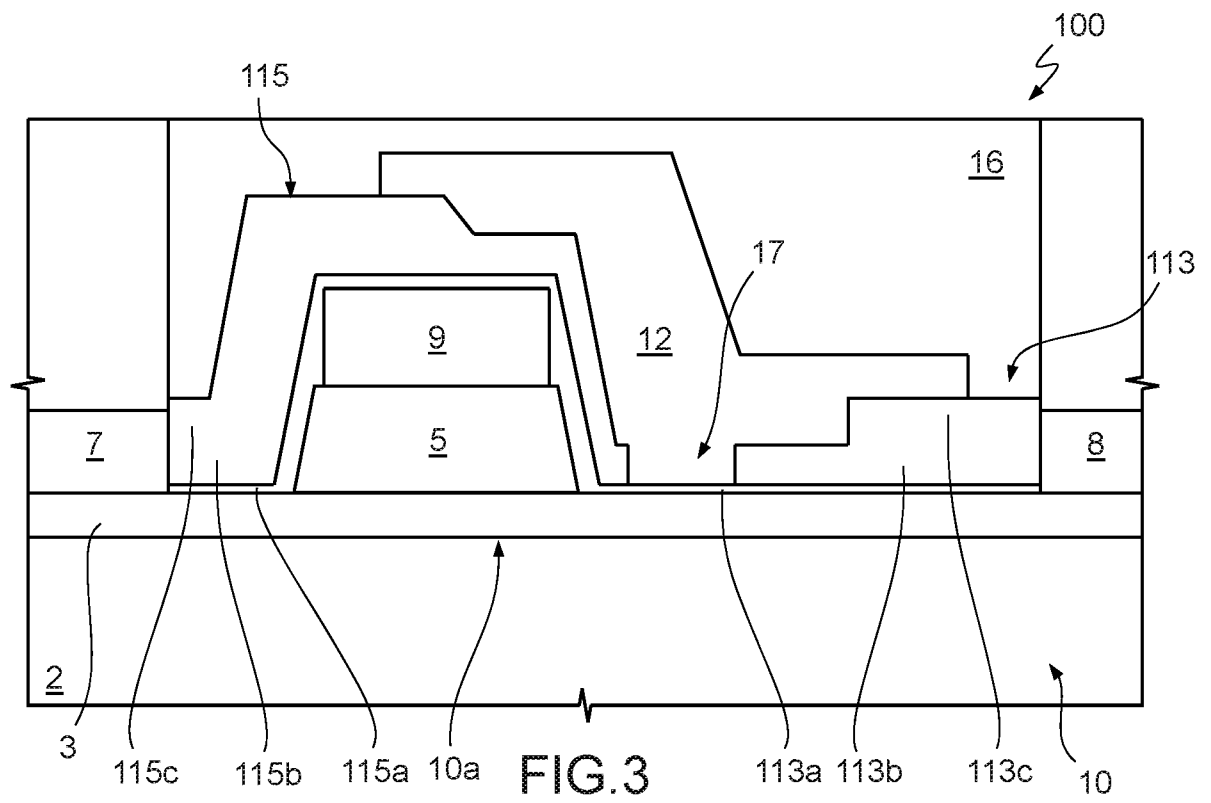
formare un terzo strato dielettrico (33) di un terzo materiale dielettrico, selettivamente attaccabile rispetto al secondo materiale dielettrico sul secondo strato dielettrico (13b);

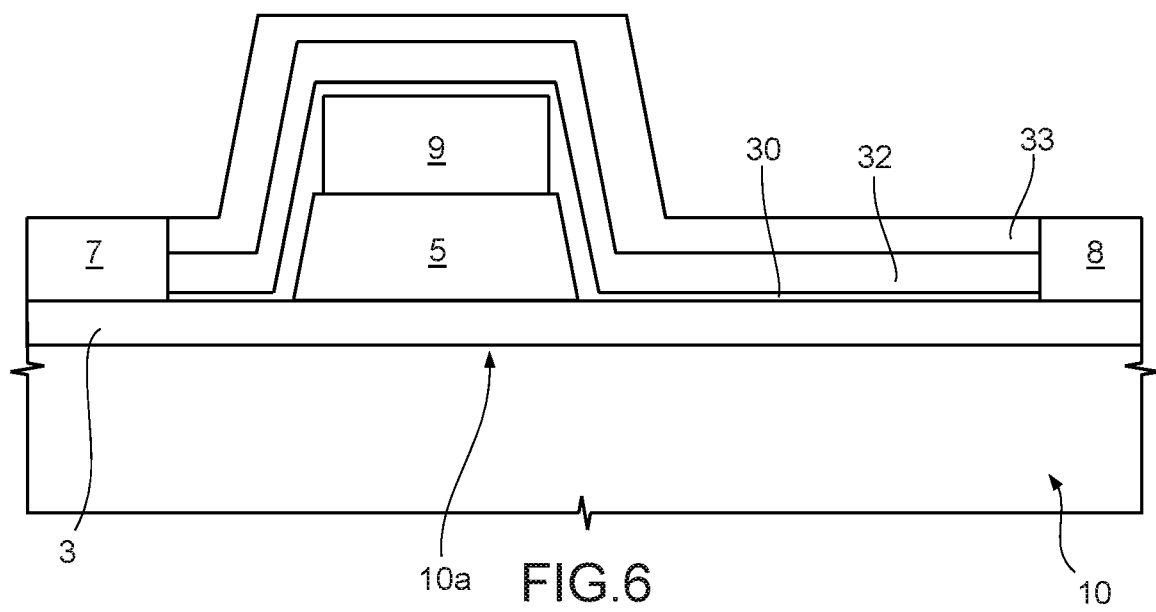
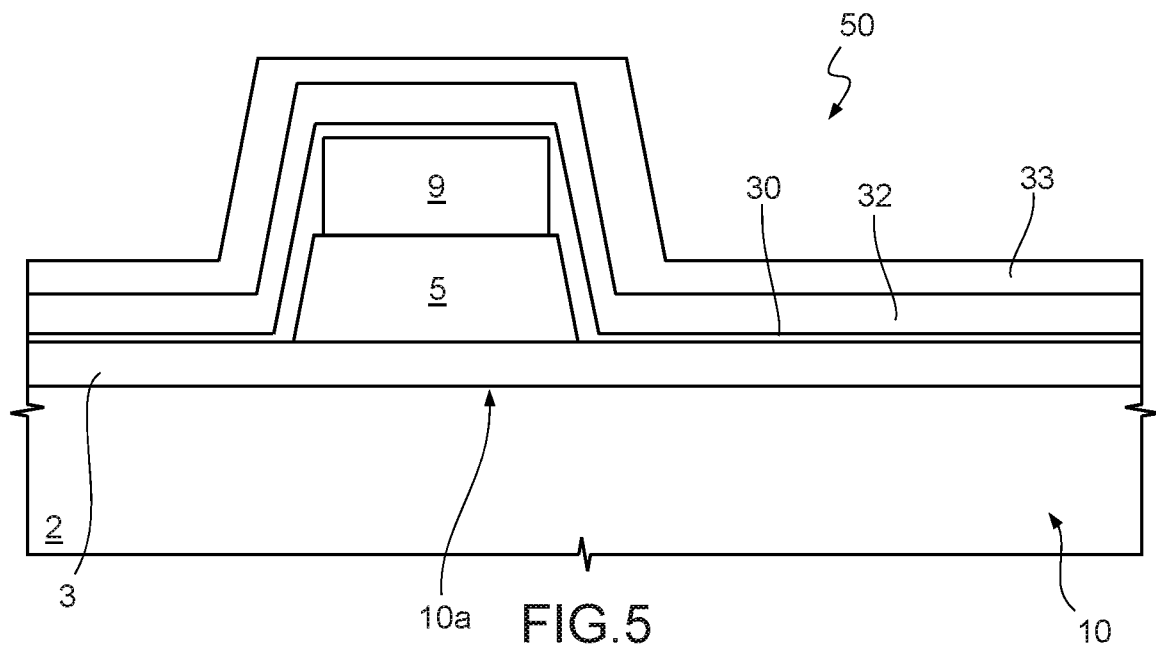
attaccare selettivamente il terzo materiale dielettrico (33) in modo da esporre il secondo strato dielettrico (32) fra la finestra (17; 217) e il contatto di pozzo (8) e definire un profilo a gradini della struttura isolante di

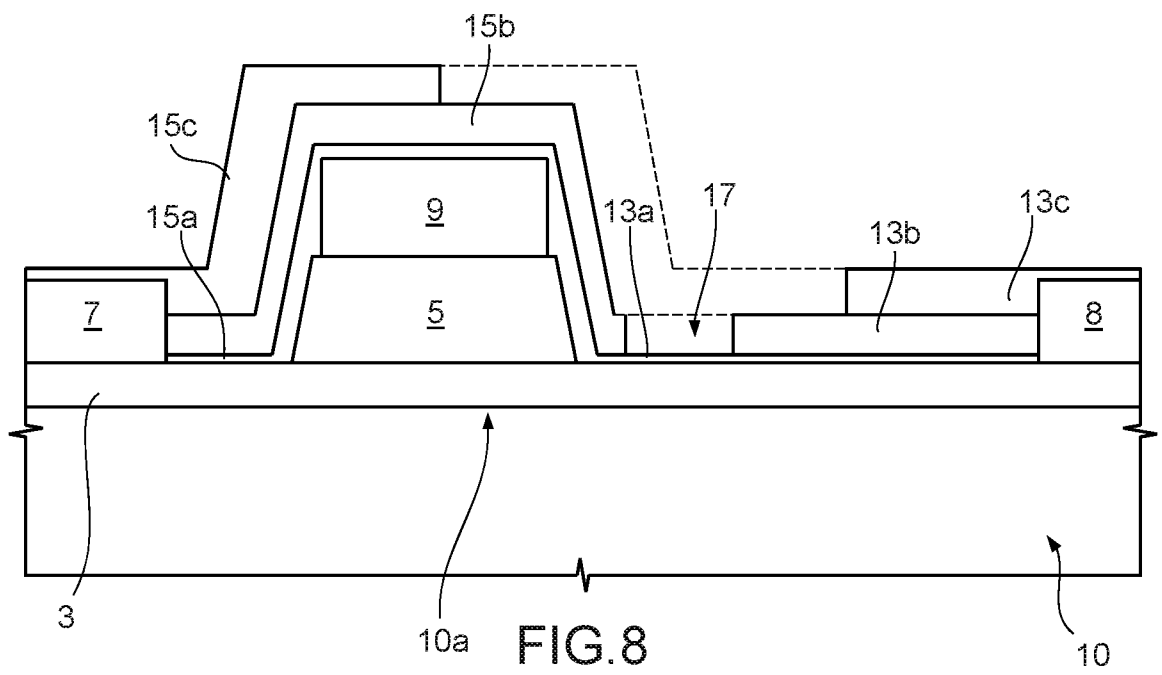
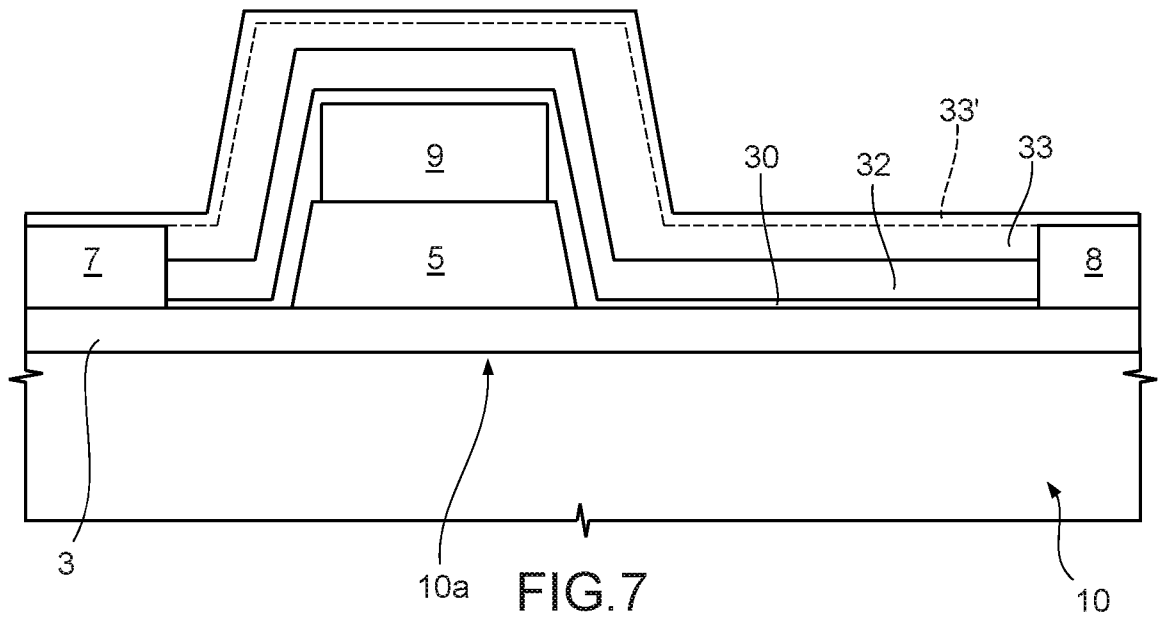
campo (13).

15. Metodo secondo la rivendicazione 13, in cui formare la struttura isolante di campo (113; 213) comprende sagomare il secondo strato (332) con una tecnica litografica in scala di grigi, in modo da definire un profilo a gradini o a rampa della struttura isolante di campo (113; 213).









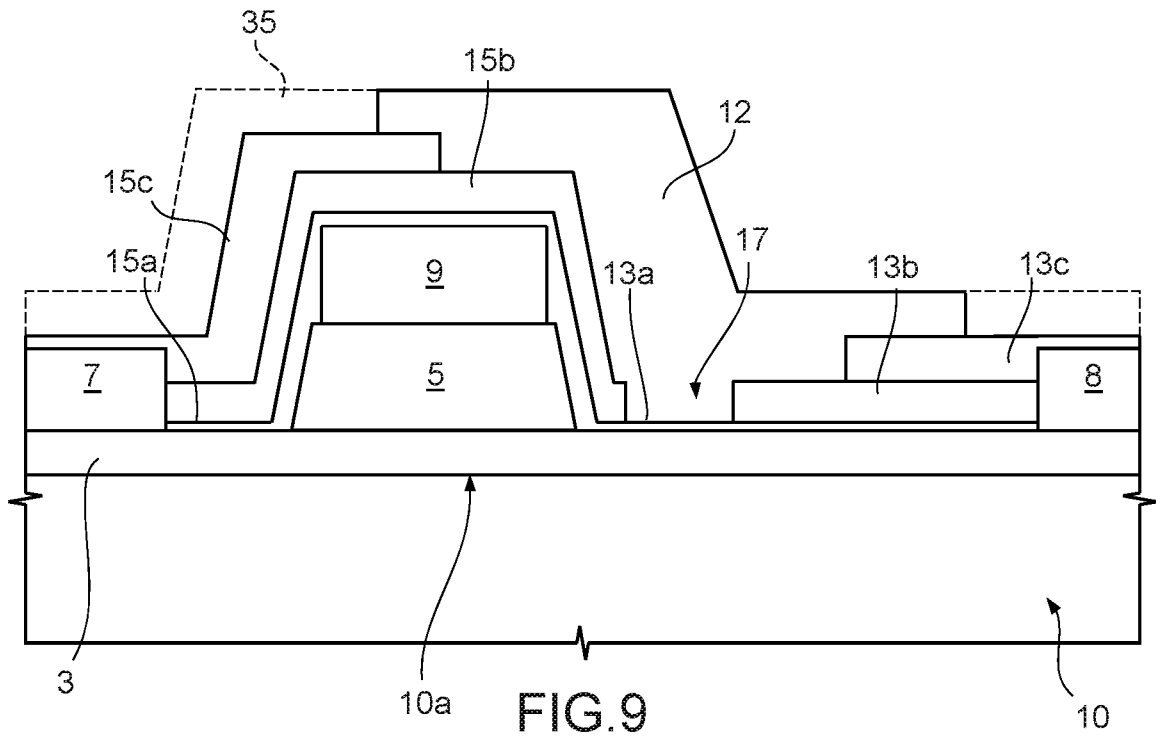


FIG. 9

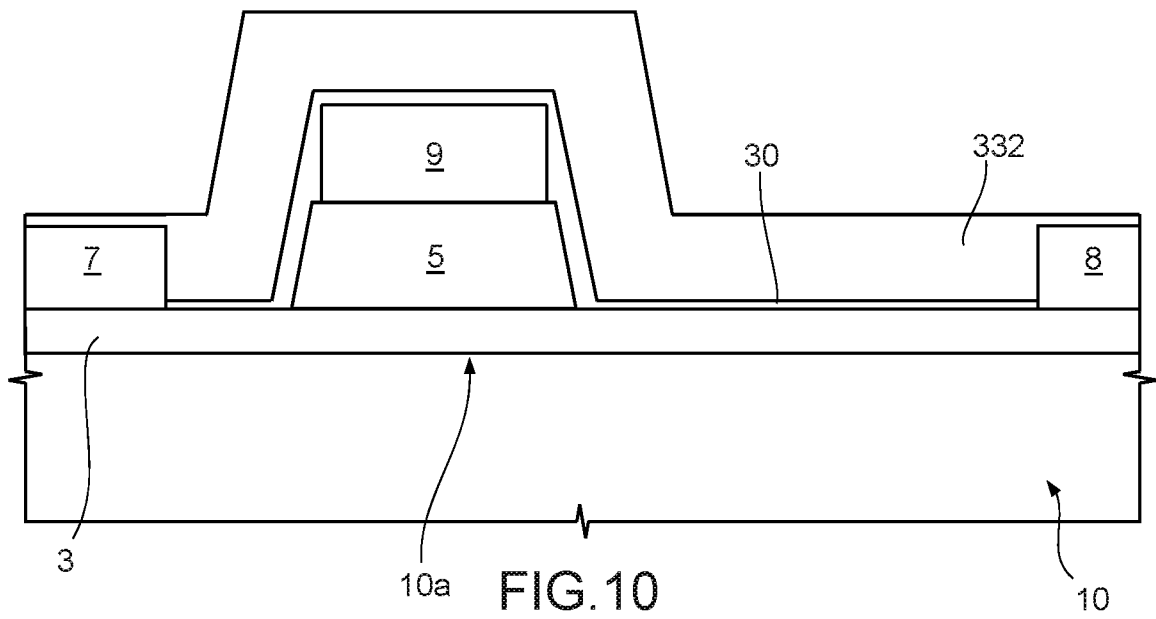


FIG. 10

