

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 22.03.91.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 25.09.92 Bulletin 92/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : BULL (S.A.) — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Bok Julien et Bernstein Pierre.

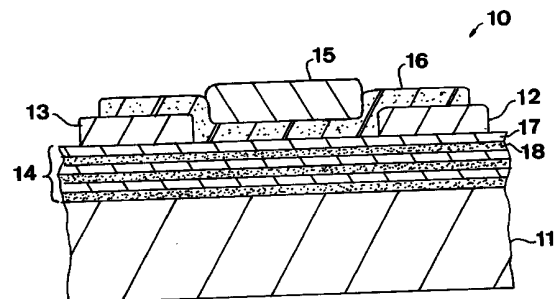
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Denis Hervé Bull S.A.

⑤4 Transistor supraconducteur à effet de champ et procédé de fabrication d'une structure multicouche telle que celle utilisée dans le transistor.

⑤7 Le transistor 10 comprend un substrat 11 portant successivement une structure de canal 14 faite de couches alternativement supraconductrices 17 et non supraconductrices 18 ayant chacune une épaisseur de l'ordre de grandeur de la longueur de Debye, et de deux électrodes de source et de drain 12, 13 séparées par un film d'isolation 16 de la grille 15.

Le transistor peut conduire un courant élevé sous des faibles tensions drain-source et de commande de grille.



Transistor supraconducteur à effet de champ et procédé de fabrication d'une structure multicouche telle que celle utilisée dans le transistor.

- 5 L'invention se rapporte à un transistor supraconducteur à effet de champ et à un procédé de fabrication d'une structure multicouche telle que celle utilisée dans le transistor.
- 10 On appelle ordinairement dans ce domaine un matériau HTSC (High Temperature Super-Conductor) un matériau supraconducteur à haute température critique, couramment un oxyde. Depuis l'apparition des oxydes HTSC en 1986, des travaux ont été menés pour étudier leur emploi éventuel
- 15 dans le domaine de l'électronique. La supraconductivité ouvrait en effet la perspective de réaliser des dispositifs rapides à très faible consommation d'énergie et fonctionnant à la température de l'azote liquide. Différents transistors supraconducteurs à effet de champ
- 20 ont déjà été présentés. On distingue actuellement deux principes de fonctionnement des transistors à effet de champ (FET) supraconducteurs.

Le premier principe a été proposé pour la première fois par

25 T.D. Clark dans sa thèse soutenue à l'université de Londres en 1971 (non publiée). Le transistor supraconducteur est semblable à un transistor à effet de champ classique et comprend, à la surface d'un substrat semiconducteur de InSb, de InAs ou de InAsGa par exemple, une couche

30 semiconductrice épitaxiale dopée de type de conductivité n servant de support à des électrodes supraconductrices de source et de drain délimitant dans la couche épitaxiale un canal recouvert par une couche d'isolation de grille supportant l'électrode de grille. La distance source-drain,

35 qui définit la longueur électrique du canal du transistor, correspond sensiblement à la longueur de cohérence du matériau supraconducteur de façon à permettre la diffusion

de paires de Cooper entre la source et le drain par effet Josephson. Il est connu que le courant supraconducteur maximal  $I_0$  pouvant traverser une jonction Josephson est inversement proportionnel à la résistance  $R_n$  à l'état normal de la barrière de la jonction. Le canal joue le rôle de cette barrière. La couche épitaxiale de canal laisse passer par effet de proximité des porteurs de charge supraconducteurs. La nature semiconductrice du canal permet, en appliquant une tension de commande sur la grille, de moduler le nombre de porteurs de charge présents et de faire varier en conséquence la valeur de la résistance  $R_n$ . Si un courant  $I$  constant et supérieur à  $I_0$  circule entre la source et le drain, la tension  $V_{DS}$  entre ces deux électrodes satisfait à la relation  $V_{DS} = R_n(I^2 - I_0^2)^{1/2}$ . Le dispositif présente donc bien un effet transistor. Sa construction est bien adaptée aux matériaux supraconducteurs classiques à basse température tels que les composés au niobium, car leur longueur de cohérence est en général relativement grande (de l'ordre de 100nm). Les matériaux HTSC présentent par contre une longueur de cohérence beaucoup plus faible (de l'ordre de quelques nanomètres), qui rend alors la réalisation du transistor très difficile.

Le deuxième principe de fonctionnement d'un transistor supraconducteur à effet de champ est illustré par exemple dans la demande de brevet japonais publiée sous le n° 01-155671. Le transistor qui y est décrit est formé à partir d'un substrat métallique. Une face du substrat porte une structure multicouche faite d'une couche diélectrique recouverte d'une couche supraconductrice définissant un canal entre les électrodes de source et de drain. L'autre face du substrat porte une électrode de commande. La couche diélectrique donnée à titre d'exemple était faite de  $SrTiO_3$  orienté (100) et épaisse de 200 nm, ou de MgO épais de 150 nm. La couche supraconductrice appartenait à la famille RE-Ba-Cu-O et était épaisse de 60 nm. En fonctionnement, le

nombre des porteurs de charge qui transitent dans le canal supraconducteur est ajusté par le champ électrique produit par la tension de commande. Ce champ électrique provoque une accumulation de charges à l'interface de la couche supraconductrice avec la couche diélectrique et détruit des paires électroniques dans la couche supraconductrice. Cette destruction supprime la supraconductivité de la couche supraconductrice et réduit donc le courant qui la traverse. Les inventeurs assurent avoir observé un tel effet dans un transistor incluant une couche supraconductrice de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$  séparée, par l'intermédiaire d'une couche diélectrique  $\text{SrTiO}_3$  épaisse de 200 nm, d'une électrode de commande portée à une tension de 450 V.

15 Ce principe de fonctionnement est intéressant, mais le transistor proposé présente trois inconvénients majeurs. D'abord, la tension de commande à appliquer sur le substrat du transistor pour obtenir l'effet de champ désiré est très élevée (450 volts, dans l'exemple cité), incompatible avec les applications courantes des transistors. Ensuite, le document japonais signale l'observation d'un courant entre la source et le drain, sans en indiquer la valeur. En réalité, ce courant a une très faible intensité. Pourtant, la couche supraconductrice véhiculant ce courant avait une épaisseur relativement élevée (60 nm), de même que l'épaisseur de la couche diélectrique sous-jacente (150 ou 200 nm selon le matériau utilisé). Une diminution de l'épaisseur de la couche supraconductrice laisse prévoir une diminution du courant, tandis que l'expérience révèle qu'une augmentation de l'épaisseur ne produit pas un courant sensiblement plus important. Enfin, le document japonais précité ne donne aucune indication sur les paramètres déterminant la variation de la valeur de l'effet de champ produit par le transistor antérieur. Il ne permet donc pas d'optimiser l'effet de champ. Afin d'accroître l'effet de champ du transistor antérieur, l'homme du métier pourrait penser à ajuster le nombre  $p$  de porteurs de charge

dans le matériau HTSC. La concentration en porteurs de charge peut en effet être réglée en agissant sur la concentration en oxygène dans le matériau HTSC. Cependant, la concentration en oxygène est difficile à maîtriser.

5

L'invention remédie à ces inconvénients et présente un transistor supraconducteur à effet de champ capable de conduire des courants importants, de quelques mA par exemple, sous une faible tension drain-source de l'ordre de 10 mV par exemple, et sous la commande d'une tension faible, de quelques volts seulement. L'invention présente en outre un procédé d'ajustement du nombre  $p$  de porteurs libres pour l'optimisation de l'effet de champ.

15 Un transistor supraconducteur à effet de champ conforme à l'invention, comprenant un substrat portant une structure faite d'une couche non supraconductrice recouverte d'une couche supraconductrice définissant un canal entre des électrodes de source et de drain, et une électrode de grille, est caractérisé en ce que l'électrode de grille est 20 disposée sur le canal et la couche supraconductrice a une épaisseur de l'ordre de grandeur de la longueur de Debye, la structure pouvant se répéter  $n$  fois et étant faite de façon que les couches présentent des interfaces continues 25 entre elles.

L'invention se rapporte aussi à un procédé de fabrication d'une structure multicouche telle que celle définie précédemment, comprenant au moins une paire faite d'une 30 couche non supraconductrice recouverte d'une couche supraconductrice, caractérisé en ce qu'il consiste à ajuster l'épaisseur des couches de chaque paire de façon que la température critique  $T_c$  varie fortement en fonction du nombre ( $p$ ) de porteurs de charge dans la couche 35 supraconductrice en champ électrique nul et que l'épaisseur de la couche non supraconductrice permette la réception

optimale des porteurs de charge fournis par la couche supraconductrice.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortent de la description qui suit, donnée à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés.

Dans les dessins :

10 - la figure 1 illustre schématiquement la structure vue en coupe transversale partielle d'un substrat portant un transistor supraconducteur à effet de champ conforme à l'invention ;

15 - les figures 2A, 2B et 2C sont des graphes illustrant les variations de la température critique  $T_c$  en kelvins avec le nombre  $p$  de porteurs de charge libres positifs par atome de cuivre dans respectivement les composés  $La_{2-x}Sr_xCuO_4$  ,  $YBa_2Cu_3O_7$  et  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  ; et

20 - la figure 3 est un graphe illustrant la variation de la température critique  $T_c$  en kelvins pour laquelle a été obtenu 10% de la résistance à l'état normal d'un ensemble de couches alternées de  $YBa_2Cu_3O_7$  d'épaisseur constante de 25 1,2 nm et de  $PrBa_2Cu_3O_7$  ayant chacune l'épaisseur  $w$  indiquée en abscisses.

Le transistor supraconducteur à effet de champ 10 conforme à l'invention, représenté sur la figure 1, a une structure à grille isolée, par exemple de type MOS (Métal-Oxyde-Semiconducteur). Il est formé sur la surface d'un substrat 30 11 et comprend une électrode de source 12 et une électrode de drain 13 reposant sur une structure constituant un canal de courant 14 entre ces deux électrodes. Le canal 14 porte 35 une électrode de grille 15 par l'intermédiaire d'un film d'isolation de grille 16. Les rapports des dimensions représentées sur la figure 1 ont été volontairement

modifiés pour la clarté des dessins. Dans l'exemple préféré qui est illustré dans la figure 1, le transistor 10 a le substrat fait de MgO, les électrodes de source et de drain 12, 13 et la grille 15 en matériau supraconducteur  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  et le film d'isolation de grille 16 en  $\text{SiO}_2$ . Le canal 14 est formé d'une structure multicouche reposant sur le substrat 11. La structure de canal 14 est faite à partir d'une couche supraconductrice 17 et d'une couche non supraconductrice 18. Dans l'exemple préféré qui est illustré dans la figure 1, la paire de couches 17 et 18 est répétée trois fois dans la structure de canal 14. Dans chaque paire, la couche supraconductrice 17 est la couche supérieure.

Dans la structure de canal 14, chaque couche supraconductrice 17 a une épaisseur très faible, de l'ordre de quelques nanomètres seulement. Les inventeurs ont tenté d'expliquer cette valeur par la théorie suivante, qui donne à cette épaisseur l'ordre de grandeur de la longueur de Debye  $L_D$ .

Les nouveaux oxydes supraconducteurs doivent leur supraconductivité à l'existence dans leur maille élémentaire de plans incluant des atomes Cu et O. Les figures 2A, 2B et 2C annexées se rapportent respectivement aux oxydes supraconducteurs  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  et  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  et font ressortir que la température critique  $T_c$  dépend très fortement du nombre  $p$  de porteurs de charge libres positifs par atome de cuivre dans les composés respectifs et, par conséquent, de la charge des groupes Cu-O des plans de leur maille. Par exemple, dans le cas de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (figure 2B), la température critique  $T_c$  passe de 80K à 70K quand le nombre  $p$  décroît de 0,16 à 0,13 porteurs de charge par groupe de Cu-O. La transition entre l'état supraconducteur et l'état normal, provoquée par l'application d'un champ électrique, est due au fait que la température critique  $T_c$  de la zone appauvrie en porteurs de

charge devient inférieure à sa température de fonctionnement à champ nul. Dans ces conditions, la profondeur de pénétration du champ électrique dans le canal pourrait s'apprécier grossièrement de la manière suivante.

5 En assimilant les propriétés du matériau HTSC d'une couche supraconductrice à celles d'un matériau de type métallique, la profondeur de pénétration  $z$  d'un champ électrique  $E$  dans un tel matériau suit une loi exponentielle décroissante exprimée par la formule  $E = A e^{-z/L_D}$ , où  $A$  est un

10 coefficient de proportionnalité et  $L_D$  la longueur de Debye. La longueur de Debye  $L_D$  dans un modèle simple de Thomas-Fermi vérifie la formule :  $L_D = n_0 e^2 / \epsilon E_0$ , où  $n_0$  est la densité d'états au niveau de Fermi,  $e$  est la charge électronique, et  $E_0$  et  $\epsilon$  sont les permittivités respectives

15 du vide et du matériau HTSC utilisé. Dans le cas de  $YBa_2Cu_3O_7$ , si le matériau HTSC est légèrement déficitaire en oxygène, on peut avoir environ  $n_0 = 5.10^{20} \text{ cm}^{-3} \cdot eV^{-1}$  et  $L_D = 2,5 \text{ nm}$ . Par conséquent, selon cette théorie, la densité de porteurs de charge ne peut varier que sur une

20 profondeur maximale de quelques nanomètres. Cette théorie peut donc justifier en première approximation l'emploi d'une faible épaisseur de matériau HTSC dans le canal du transistor conforme à l'invention. D'après cette théorie, l'épaisseur serait de l'ordre de grandeur de la longueur de

25 Debye, et si le matériau HTSC est plus épais, la partie du canal non soumise au champ électrique restera supraconductrice et masquera l'effet recherché.

L'avantage constaté est effectivement dans l'application

30 d'une faible valeur de la tension de commande. Mais l'inconvénient demeure de n'obtenir qu'un très faible courant avec l'emploi d'une structure de canal 14 ayant une seule paire de couches 17, 18, dont la couche supraconductrice 17 a la faible épaisseur précitée.

35

Pour accroître l'intensité du courant, la structure de canal 14 du transistor représenté sur la figure 1 a été

réalisée en s'inspirant de l'article de J.M. Triscone et al dans la revue Physical Review Letters, Vol. 64, No 7, Feb. 12, 1990, pages 804-807, intitulé «  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  Superlattices : Properties of Ultrathin Superconducting  
5 Layers Separated by Insulating Layers ». La structure décrite est formée d'un nombre entier non nul de paires superposées, composées chacune d'une couche supraconductrice supérieure 17 de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  et d'une couche diélectrique 18 de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Conformément à l'invention,  
10 la couche supraconductrice 17 de chaque paire avait une épaisseur de quelques nanomètres, correspondant environ à la longueur de Debye  $L_D$ . Le transistor 10 pourvu de cette structure multicouche de canal 14 dans le transistor 10 permet de faire passer un courant source-drain plus  
15 important avec une tension de commande faible.

Dans l'article précité, d'autre part, les auteurs ont observé, pour une épaisseur de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  inchangée, les variations de la température critique  $T_c$  en fonction de  
20 l'épaisseur  $w$  de chaque couche adjacente de  $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  et ont tracé la courbe représentée sur la figure 3. Les auteurs ont interprété cette courbe en la reliant à un couplage Josephson entre couches supraconductrices de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  de la structure.

25

Selon les inventeurs, elle serait plutôt due à un transfert des porteurs de charge des couches supraconductrices vers les couches diélectriques de la structure. Les inventeurs en ont ainsi déduit un procédé très intéressant  
30 d'optimisation des transferts de charges entre les couches adjacentes de chaque paire. Selon ce procédé, on considère les couches supraconductrices comme des donneurs de charges et les couches non supraconductrices adjacentes comme des récepteurs de ces charges. Pour optimiser le nombre de  
35 porteurs de charge dans une couche supraconductrice de la structure multicouche, le procédé consiste à optimiser les transferts de charges entre les couches de chaque paire.

L'ampleur de ces transferts de charges est alors déterminée par les épaisseurs des couches de chaque paire. Ceci corrobore l'avantage observé d'une faible épaisseur de chaque couche supraconductrice. Selon le procédé, le  
5 fonctionnement du transistor 10 est optimal quand le nombre  $p$  de porteurs de charge de la couche supraconductrice à champ électrique nul est ajusté de façon que la température critique  $T_c$  soit très sensible aux variations du nombre  $p$  qui sont induites quand un champ électrique est appliqué  
10 dans le canal. Cet ajustement, fait par exemple en référence à la courbe représentée sur la figure 2B relative à  $YBa_2Cu_3O_7$ , doit donc se faire sur la partie d'extrémité à forte pente de la courbe. Le nombre  $p$  est ainsi amené dans une partie la plus favorable à la production d'un effet de  
15 champ important. On a vu précédemment que l'étude théorique explicative faite par les inventeurs conduit à donner à chaque couche supraconductrice 17 une épaisseur de l'ordre de grandeur de la longueur de Debye  $L_D$ , de l'ordre de  
20 quelques nanomètres. L'épaisseur de chaque couche non supraconductrice est déterminée expérimentalement de façon à obtenir une concentration  $p$  de porteurs de charge pour laquelle le rapport  $dT_c/dp$  soit optimal. Ceci peut être fait en référence à une courbe du type de celle représentée sur la figure 3. D'une manière générale, dans la structure  
25 multicouche 14 ayant des couches supraconductrices 17 d'épaisseur prédéterminée et des couches non supraconductrices 18 d'épaisseur  $w$ , cette courbe de référence illustre la variation de la température critique  $T_c$  en Kelvins qui permet d'obtenir, en fonction de  
30 l'épaisseur  $w$  de chaque couche non supraconductrice 18, un pourcentage prédéterminé de la résistance à l'état normal de chaque couche 18 lorsque les couches supraconductrices 18 ont une épaisseur fixe prédéterminée. En pratique, la couche diélectrique 18 a aussi une épaisseur de l'ordre de  
35 la longueur de Debye  $L_D$ . Avantagusement, chacune de ces deux couches est faite d'au moins une maille cristalline superposée, le nombre de ces mailles correspondant étant

fixé de façon à obtenir l'épaisseur désirée de chacune des couches. Pour assurer l'optimisation du transfert de charges entre couches de chaque paire, leur interface doit être continûment de bonne qualité. Par exemple, les couches  
5 de la structure de canal 14 ont été formées par croissance épitaxiale pour avoir l'interface désirée. Dans ce cas, le choix des matériaux des couches appairées de la structure doit assurer leur compatibilité avec la croissance épitaxiale. Cette condition est satisfaite avec  
10 l'association  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  décrite précédemment.

D'une manière générale, on peut appliquer la méthode à d'autres matériaux que le  $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  dans le cas où on utilise  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , et à d'autres matériaux supraconducteurs  
15 que  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . En outre, les couches non supraconductrices de la structure de canal 14 peuvent être des couches diélectriques comme celles précitées, ou être des couches semiconductrices dopées ou non, ou encore des couches faites en un matériau métallique. Par exemple, un mode  
20 réalisation préféré de l'invention utilise le  $\text{BiSr}_2(\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x)\text{Cu}_2\text{O}_8$  comme matériau semiconducteur avec  $x = 0,35$  et ce même matériau avec  $x = 0,15$  comme matériau HTSC compatible avec la croissance épitaxiale. Il serait aussi possible d'associer par exemple des couches à base de thallium au  
25 lieu du bismuth précité.

A la limite, on a vu qu'un transistor 10 conforme à l'invention pourrait fonctionner avec une seule paire de couches 17, 18 dans la structure de canal 14. Cependant,  
30 cette structure ne pourrait que faire passer un courant maximal très faible. L'empilement de plusieurs couches supraconductrices et non supraconductrices, entre lesquelles se produit un transfert de charges et dont l'épaisseur est de quelques mailles élémentaires (donc de  
35 l'ordre de grandeur de  $L_D$ ), atténue fortement l'effet d'écran au champ électrique appliqué. Cette structure permet alors le passage d'un courant d'une intensité totale

proportionnelle au nombre de paires de couches sous une faible tension drain-source et sous l'action d'une tension de grille également faible. Par exemple, une structure de canal 14 formée de trois paires de couches faites de la  
5 façon décrite précédemment peut passer un courant de quelques mA avec une tension drain-source de l'ordre de 10mV et sous l'action d'une tension de grille de quelques volts seulement.

10 En outre, la structure multicouche du canal 14 est électriquement équivalente à la mise en série de capacités électriques. Il s'ensuit que la capacité totale d'entrée d'un transistor 10 conforme à l'invention est faible par rapport à un transistor dont le canal serait réduit à une  
15 seule couche supraconductrice 17. Un des avantages de cette faible capacité est d'accroître la bande passante du transistor jusqu'à des fréquences très élevées.

Par ailleurs, les valeurs élevées du champ électrique  
20 nécessaire pour obtenir l'effet désiré peuvent être plus facilement obtenues si le film d'isolation de grille 16 présente une forte permittivité diélectrique. Cette condition est donc contraire à celle relative aux transistors MOS non supraconducteurs.

25 Dans le transistor 10 conforme à l'invention, les électrodes de source et de drain ne doivent pas être nécessairement supraconductrices. Elles peuvent être faites d'un matériau métallique ou d'un matériau semiconducteur  
30 dopé. Il en est de même pour l'électrode de grille 15. Cependant, ces matériaux n'offrent pas les avantages de conduction électrique des matériaux HTSC.

Enfin, il ressort clairement à l'homme de métier que  
35 l'invention qui a été décrite en référence à un transistor de type MOSFET peut s'appliquer aussi à un transistor supraconducteur à effet de champ de type MESFET (Metal

Semiconductor Field Effect Transistor) à barrière Schottky, dont l'électrode de grille 15 est disposée sur la structure multicouche de canal 14 sans l'intermédiaire du film d'isolation de grille 16.

**Revendications :**

1. Transistor supraconducteur à effet de champ (10),  
comprenant un substrat (11) portant une structure (14)  
5 composée d'une couche non supraconductrice (18) et d'une  
couche supraconductrice (17) définissant un canal entre des  
électrodes de source et de drain (12, 13), et une électrode  
de grille (15), caractérisé en ce que l'électrode de grille  
est disposée sur le canal et la couche supraconductrice  
10 (17) a une épaisseur de l'ordre de grandeur de la longueur  
de Debye, la structure pouvant se répéter n fois et étant  
faite de façon que les couches présentent des interfaces  
continues entre elles.
  
- 15 2. Transistor selon la revendication 1, caractérisé en ce  
que la structure (14) est faite en matériaux permettant la  
croissance épitaxiale d'une couche sur l'autre.
  
3. Transistor selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en  
20 ce que l'électrode de grille (15) est disposée sur la  
structure de canal (14) par l'intermédiaire d'un film  
d'isolation de grille (16).
  
4. Transistor selon l'une des revendications 1 à 3,  
25 caractérisé en ce que l'épaisseur des couches (17, 18) de  
chaque paire de la structure (14) est ajustée de façon que  
la température critique  $T_c$  varie fortement en fonction du  
nombre (p) de porteurs de charge dans la couche  
supraconductrice (17) en champ électrique nul et que  
30 l'épaisseur de la couche non supraconductrice (18) permette  
la réception optimale des porteurs de charge fournis par la  
couche supraconductrice (17).
  
5. Transistor selon la revendication 4, caractérisé en ce  
35 que l'épaisseur de chaque couche non supraconductrice (18)  
de la structure (14) est ajustée en référence à une courbe  
(fig. 3) indiquant la variation de la température critique

$T_c$  permettant d'obtenir, en fonction de l'épaisseur ( $w$ ) de ladite couche, un pourcentage prédéterminé de la résistance à l'état normal de ladite couche lorsque les couches supraconductrices de la structure ont une épaisseur fixe  
5 prédéterminée.

6. Transistor selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque couche non supraconductrice (18) de la structure (14) a une épaisseur de l'ordre de  
10 grandeur de la longueur de Debye.

7. Transistor selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que chacune des couches (17, 18) de la structure (14) est faite d'au moins une maille cristalline  
15 superposée, le nombre de ces mailles étant fixé par l'épaisseur désirée de ces couches.

8. Transistor selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la couche non supraconductrice (18)  
20 est faite en un matériau électriquement isolant.

9. Transistor selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la couche non supraconductrice (18) est faite en un matériau semiconducteur.  
25

10. Transistor selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la couche non supraconductrice est faite en un matériau métallique.

30 11. Transistor selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les électrodes de source et de drain (12, 13) sont faites en un matériau supraconducteur.

35 12. Transistor selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le film d'isolation de grille (16) présente une forte permittivité diélectrique.

13. Transistor selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que l'électrode de la grille (15) est faite en un matériau supraconducteur.

5 14. Procédé de fabrication d'une structure multicouche telle que celle utilisée dans le transistor défini par l'une des revendications précédentes, comprenant au moins une paire faite d'une couche non supraconductrice recouverte d'une couche supraconductrice, caractérisé en ce  
10 qu'il consiste à ajuster l'épaisseur des couches de chaque paire de façon que la température critique  $T_c$  varie fortement en fonction du nombre (p) de porteurs de charge dans la couche supraconductrice en champ électrique nul et que l'épaisseur de la couche non supraconductrice permette  
15 la réception optimale des porteurs de charge fournis par la couche supraconductrice.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'épaisseur de chaque couche non supraconductrice (18)  
20 de la structure (14) est ajustée en référence à une courbe (fig. 3) indiquant la variation de la température critique  $T_c$  permettant d'obtenir, en fonction de l'épaisseur (w) de ladite couche, un pourcentage prédéterminé de la résistance à l'état normal de ladite couche lorsque les couches  
25 supraconductrices de la structure ont une épaisseur fixe prédéterminée.

1 / 2

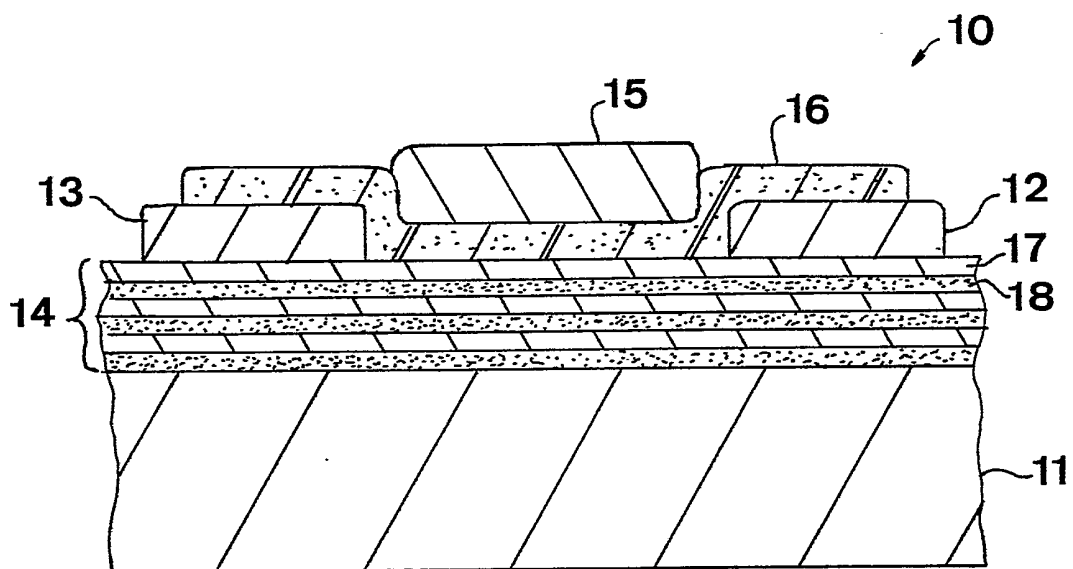


FIG. 1

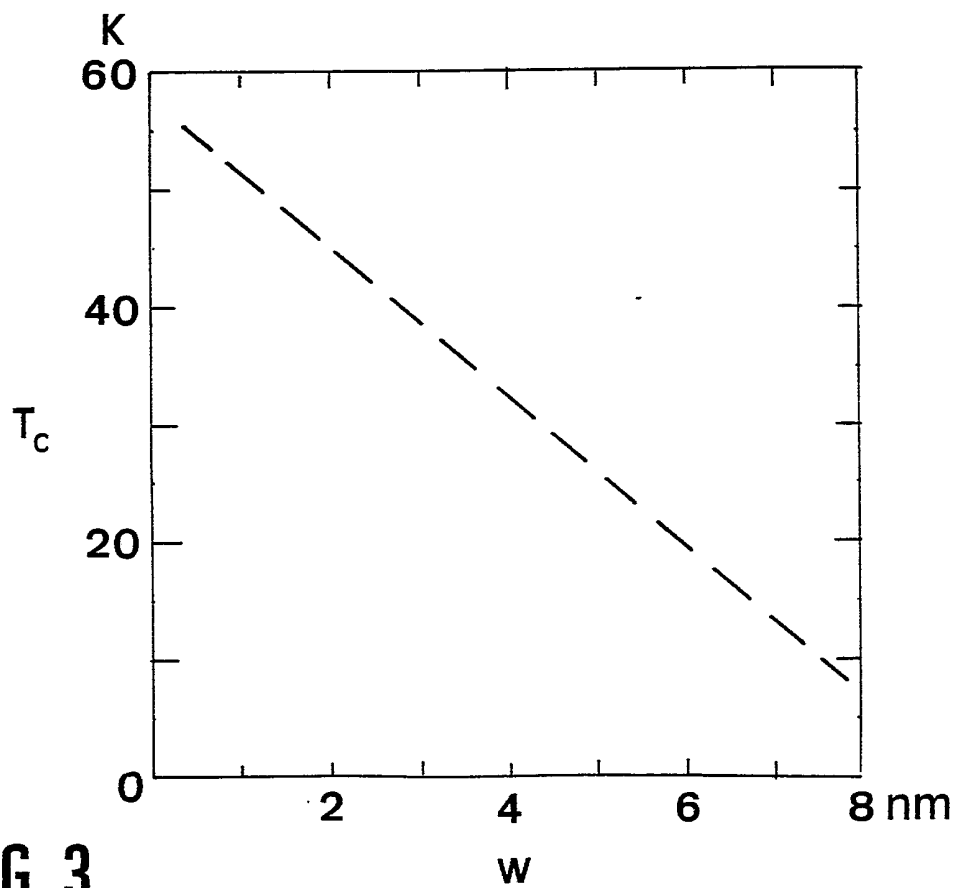


FIG. 3

2 / 2

FIG. 2A

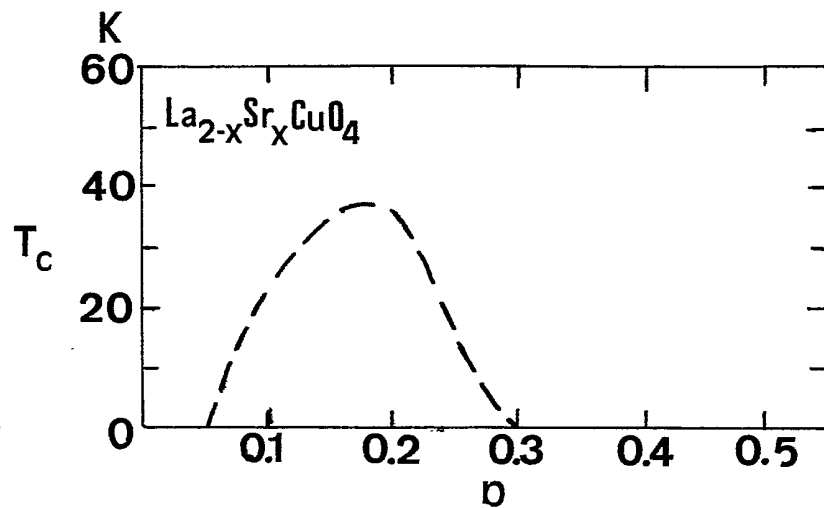


FIG. 2B

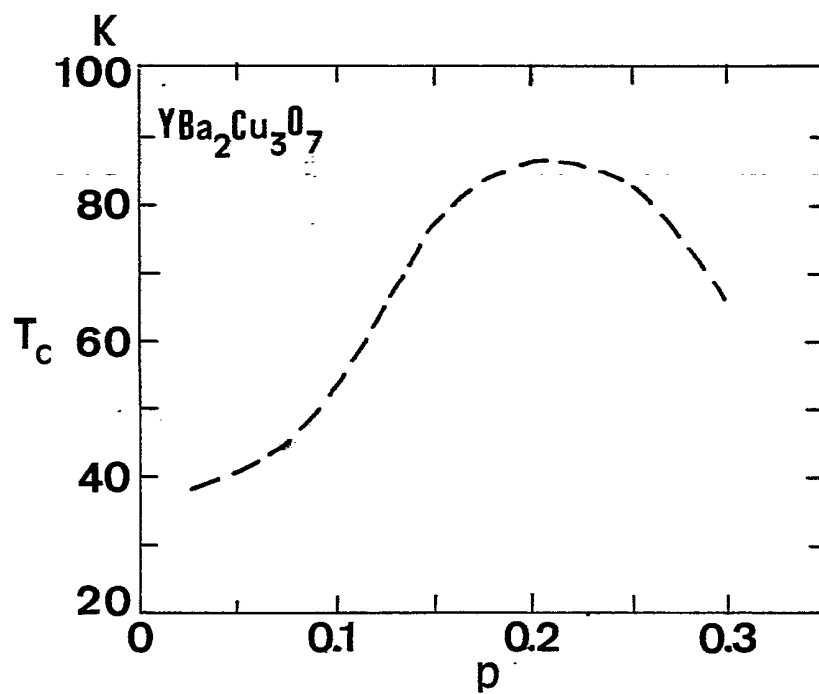
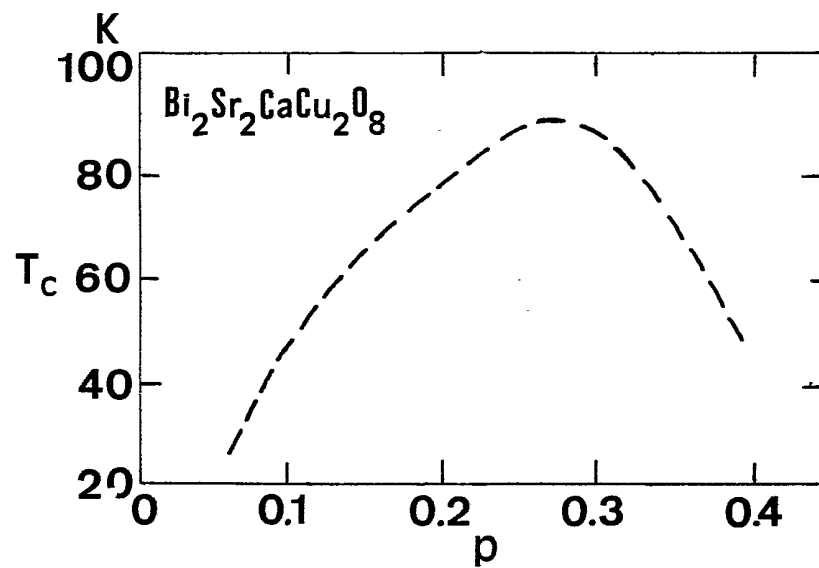


FIG. 2C



INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FR 9103529  
FA 455016  
Page 1

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	WORKSHOP ON HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTING ELECTRON DEVICES 7 Juin 1989, SHIKABLE, JP pages 281 - 284; D.F. MOORE ET AL.: 'Superconducting thin films for device applications' * page 281, alinéa 3 * * page 282, alinéa 4 * * page 282, alinéa 7 * * page 283, alinéa 1-2; figure 2 * ---	1-3, 11-13
X	EP-A-0 324 044 (IBM)  * revendications 1-10; figure 1 * ---	1-3, 11-13
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 423 (E-680)9 Novembre 1988 & JP-A-63 160 273 ( FUJITSU LTD ) 4 Juillet 1988 * abrégé * ---	1-3
A	APPLIED PHYSICS LETTERS vol. 55, no. 19, 6 Novembre 1989, NEW YORK, US pages 2032 - 2034; C.T. ROGERS ET AL.: 'Fabrication of heteroepitaxial YBa2Cu3O7-x-PrBa2Cu3O7-x-YBa2Cu3O7-x Josephson devices grown by laser deposition' * page 2032, alinéa 3-5; figure 1 * ---	1-2,8-9
A	APPLIED PHYSICS LETTERS vol. 58, no. 3, 21 Janvier 1991, NEW YORK, US pages 298 - 300; H. OBARA ET AL.: 'Preparation of PrBa2Cu3Oy and PrBa2Cu3Oy/YBa2Cu3Oy epitaxial films using molecular beam epitaxy' * page 298, alinéa 4-5 * ---	1-2,4-9, 14-15

DOMAINES TECHNIQUES  
RECHERCHES (Int. Cl.5)

H01L

Date d'achèvement de la recherche

19 NOVEMBRE 1991

Examinateur

HAMMEL E. J.

**CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES**

X : particulièrement pertinent à lui seul  
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général  
O : divulgation non-écrite  
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention  
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  
D : cité dans la demande  
L : cité pour d'autres raisons  
.....  
& : membre de la même famille, document correspondant

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FR 9103529  
FA 455016  
Page 2

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
D,A	<p>PHYSICAL REVIEW LETTERS vol. 64, no. 7, 12 Février 1990, NEW YORK, US pages 804 - 807; J.-M. TRISCONE ET AL.: 'YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>/PrBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> Superlattices: Properties of ultrathin superconducting layers separated by insulating layers' * page 804, alinéa 2 * * page 807, alinéa 3 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-2, 4-9, 14-15
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
19 NOVEMBRE 1991		HAMMEL E. J.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		