

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 550 008

②1 N° d'enregistrement national :

84 11533

⑤1 Int Cl⁴ : H 01 L 21/36, 21/425.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20 juillet 1984.

③0 Priorité : US, 27 juillet 1983, n° 517,755.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 5 du 1^{er} février 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : AMERICAN TELEPHONE
AND TELEGRAPH COMPANY. — US.

⑦2 Inventeur(s) : Won-Tien Tsang.

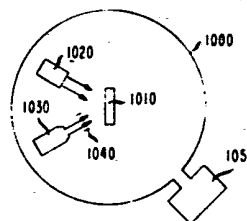
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Flechner.

⑤4 Procédé de croissance épitaxiale à sélectivité spatiale utilisant des faisceaux ioniques.

⑤7 L'invention concerne la technologie des semi-conducteurs.
Un appareil d'épithaxie conforme à l'invention comprend au
moins une source 1030 produisant un faisceau d'ions d'un
élément du Groupe III, des moyens 1040 destinés à dévier le
faisceau d'ions pour qu'il balaye une zone sélectionnée d'un
substrat 1010 et au moins une cellule d'évaporation 1020 pour
un élément du Groupe V. La source du faisceau d'ions 1030
comprend également des moyens pour accélérer les particules
émises. La combinaison du faisceau d'ions qui est dirigé vers
une zone sélectionnée du substrat et du faisceau thermique
qui est dirigé vers l'ensemble du substrat permet de réaliser
une croissance épithaxiale d'un semi-conducteur composé pré-
sentant une sélectivité spatiale.

Application aux dispositifs d'optique intégrée.



FR 2 550 008 - A1

La présente invention concerne de façon générale les procédés de croissance épitaxiale, et elle porte plus particulièrement sur de tels procédés qui forment des structures épitaxiales sur des zones sélectionnées en utilisant des faisceaux d'ions, ainsi que sur les structures formées par de tels procédés.

La technologie moderne des semiconducteurs repose sur des procédés permettant de faire croître un grand nombre de couches de semiconducteur de haute qualité, par exemple sur un substrat ou d'autres couches épitaxiales. Les couches doivent avoir un petit nombre d'impuretés et de pièges de porteurs résiduels, c'est-à-dire non désirés, ainsi qu'un petit nombre d'imperfections de structure. Plusieurs procédés ont donc été développés pour la croissance de telles couches épitaxiales. Les couches peuvent consister en semiconducteurs élémentaires, comme le silicium ou le germanium, ou en semiconducteurs composés, comme des semiconducteurs binaires, ternaires ou quaternaires du Groupe III-V ou du Groupe II-VI.

Pour la croissance de matières semiconductrices composées du Groupe III-V, le premier procédé développé et amené à un niveau de perfection élevé a été l'épitaxie en phase liquide. Bien que ce procédé soit maintenant bien développé et parfaitement approprié pour la fabrication de nombreux types de couches épitaxiales et de dispositifs comprenant au moins une couche de ce type, il n'est pas dépourvu de limitations. Par exemple, l'épitaxie en phase liquide exige qu'un substrat soit déplacé d'un bain en fusion vers un autre, etc, la croissance épitaxiale se produisant de façon caractéristique dans chaque bain en fusion. Les bains en fusion ont de façon caractéristique des compositions différentes, et il faut donc de façon générale prendre des précautions pour éviter un transport non désiré de constituants d'un bain en fusion vers un autre. Bien qu'on puisse surmonter ces limitations en apportant une grande attention à la conception et à la mise en oeuvre des appareils, d'autres limitations apparaissent plus

fondamentales et difficiles à surmonter. Par exemple, la fabrication de couches ultra-minces, ayant par exemple une épaisseur inférieure à 20 nm, est habituellement difficile, sinon impossible, avec cette technique. Il est même difficile
5 de faire croître de façon reproductible des couches uniformes très minces, d'une épaisseur inférieure à 100 nm. Il est en outre également difficile de fabriquer des frontières entre couches présentant des variations de composition ou de dopage très abruptes, c'est-à-dire des variations en échelon.

10 Du fait de ces limitations et d'autres, ainsi que pour d'autres raisons, on a développé des techniques supplémentaires pour la croissance de matières consistant en semi-conducteurs composés du Groupe III-V. La plus prometteuse de ces techniques supplémentaires apparaît aujourd'hui être
15 l'épitaxie par jet moléculaire. Ce procédé est décrit en détail dans le brevet des E.U.A. n° 3 615 931. Dans l'épitaxie par jet moléculaire, on chauffe des fours à effusion contenant les matières désirées du Groupe III et du Groupe V à une température suffisante pour volatiliser les matières, et les jets
20 résultant évaporés de façon thermique sont dirigés vers le substrat sur lequel on désire que la croissance épitaxiale ait lieu. On maintient le substrat à une température qui est suffisamment élevée pour qu'une diffusion de surface et une croissance épitaxiale se produisent, mais qui est suffisamment
25 basse pour que les matières aient une probabilité raisonnable d'adhérer à la surface. Les jets ont une distribution d'intensité en cosinus carré, et lorsqu'on adjoint au procédé de base d'autres techniques, telles que la rotation du substrat, il devient possible de faire croître des couches épitaxiales
30 ayant une composition extrêmement uniforme, sur des substrats de grand diamètre. L'épitaxie par jet moléculaire permet en outre de fabriquer par exemple des couches épitaxiales extrêmement minces, et même en fait monomoléculaires, ainsi que des frontières ayant des variations de composition et de dopage
35 très abruptes.

Les jets ou faisceaux utilisés en épitaxie par jet moléculaire sont généralement électriquement neutres. On a cependant utilisé des faisceaux de particules chargées non thermiques, c'est-à-dire des ions, dans au moins plusieurs techniques de croissance épitaxiale de semiconducteurs. L'utilisation d'ions non thermiques offre, au moins théoriquement, la possibilité d'utiliser des températures de substrat inférieures pendant la croissance, du fait que l'énergie cinétique des particules déposées renforce la diffusion de surface.

10 La préparation de couches minces de InSb par une technique d'épitaxie par faisceaux ioniques est décrite dans le Journal of the Vacuum Society of Japan, 20, pages 241-246, juillet 1977. Dans cette technique, on ionise à la fois des particules de In et des particules de Sb. On accélère les ions par une

15 tension constante élevée, de 1000 volts ou plus, appliquée au substrat. Il a apparemment été démontré qu'il était possible de réaliser une croissance uniforme sur une certaine zone, dans des tolérances non spécifiées. Cependant, dans le but de définir la composition, cette technique utilise une évapo-

20 ration flash, c'est-à-dire que la composition de la couche déposée est définie par évaporation flash jusqu'à l'épuisement de charges de In et de Sb pesées à l'avance. Le pesage à l'avance est nécessaire du fait que les particules de In comme celles de Sb sont chargées et ont donc des coefficients d'adhé-

25 rence élevés sur la surface du substrat. La couche déposée peut donc ne pas avoir des caractéristiques stoechiométriques parfaites, du fait que In ou Sb peut être incorporé en excès dans la couche.

La croissance épitaxiale de silicium sur des substrats de germanium Ge(100), ou de silicium, Si(100) ou Si(111), en utilisant l'épitaxie par faisceaux ioniques, est décrite dans la revue Applied Physics Letters, 41, pages 167-169, 15 juillet 1982. Le procédé décrit utilise des ions silicium ayant des énergies comprises entre 50 et 100 ev, et

35 il réalise une croissance épitaxiale de silicium à des tempé-

ratures de substrats comprises entre 300 et 900°K. Le faisceau de silicium est formé par évaporation thermique de silicium à partir d'un four à effusion, et une tension de décharge de 60 volts accélère les particules provenant du plasma. Il est indiqué que ce procédé permet de faire croître des couches de silicium minces et de haute qualité. Ce procédé ne permet cependant la croissance que de semiconducteurs élémentaires.

Comme il est évident d'après l'exposé précédent, l'épitaxie par jet moléculaire n'est pas de façon générale une technique de croissance à sélectivité spatiale, du fait que les jets moléculaires tombent sur l'ensemble du substrat cristallin, c'est-à-dire que les jets couvrent toute la surface du substrat. On a développé des techniques qui modifient la technique d'épitaxie par jet moléculaire de base décrite dans le brevet des E.U.A. 3 615 931, pour permettre une croissance présentant une sélectivité spatiale. Ces techniques nécessitent cependant des opérations, comme par exemple une préparation appropriée du substrat, qui augmentent la complexité du traitement. On se réfèrera par exemple à ce titre au brevet des E.U.A. n° 3 982 092. Le procédé décrit dans le brevet des E.U.A. n° 3 982 092 prépare des dispositifs isolés à structure plane en formant une couche isolante amorphe sur un substrat du Groupe III-V, et en enlevant des parties sélectionnées de la couche pour mettre à nu la matière cristalline sous-jacente, donnant ainsi un substrat dans lequel est défini un motif. Ces opérations sont accomplies à l'extérieur de la chambre de croissance par épitaxie par jet moléculaire. Le substrat portant maintenant un motif est introduit dans la chambre de croissance par épitaxie par jet moléculaire pour le dépôt de matière par épitaxie par jet moléculaire. La croissance d'une matière monocristalline n'a lieu que sur les parties à nu du substrat. On connaît d'autres techniques de croissance à sélectivité spatiale, comme par exemple la masquage mécanique.

On a utilisé des faisceaux d'ions dans des buts autres que des processus de croissance épitaxiale. Par exemple,

la revue Applied Physics Letters, 40, pages 686-688, 15 avril 1982 décrit l'utilisation d'un faisceau d'ions à haute énergie dans la fabrication de silicium. On dépose initialement du silicium amorphe. On dirige ensuite sur la couche de silicium amorphe un faisceau d'ions arsenic de haute énergie, d'environ 2,5 MeV. L'échauffement résultant produit la recristallisation du silicium amorphe avec les atomes d'impureté consistant en arsenic provenant du faisceau d'ions placés dans des sites de substitution à l'intérieur du réseau cristallin.

Conformément à l'invention, on peut obtenir une croissance épitaxiale à sélectivité spatiale en utilisant l'épitaxie par faisceau ionique, en balayant avec un premier faisceau constitué par des particules du Groupe III des zones sélectionnées d'une plus grande zone, et en dirigeant sur l'ensemble de cette plus grande zone un second faisceau thermique formé par des particules du Groupe V. Le premier faisceau est formé par des particules qui sont ionisées pendant une partie du temps de transit entre la source et le substrat, pendant laquelle le faisceau peut être dévié vers les zones désirées du substrat. Le second faisceau peut être neutre, comme un faisceau produit par évaporation thermique classique, ou bien il peut être ionisé. La vitesse de croissance est déterminée par la concentration de particules du Groupe III sur la surface du substrat, et on obtient ainsi une croissance à sélectivité spatiale. Le faisceau de particules du Groupe III peut être constitué par des particules d'aluminium, de gallium ou d'indium, et le faisceau du Groupe V peut être constitué par des particules du Groupe V, comme l'arsenic, le phosphore ou l'antimoine. Si on le désire, le premier faisceau consistant en particules du Groupe III peut être neutralisé après que les particules ont atteint l'énergie désirée et que le faisceau a été dévié dans la direction désirée. Dans un autre mode de réalisation, on applique sur toute la surface du substrat un second faisceau de particules du Groupe III et des épitaxies par faisceau moléculaire et ionique ont lieu

simultanément sur différentes zones du substrat. Dans encore un autre mode de réalisation, un ensemble de faisceaux d'ions tombent simultanément sur le substrat, dans la même zone du substrat ou dans des zones différentes. On peut de plus utiliser l'épitaxie par faisceau ionique conformément à l'invention pour faire croître des matières composées dans lesquelles un ou plusieurs des éléments constitutifs ont un coefficient d'adhérence notablement inférieur à ceux des autres éléments constitutifs, à la température de croissance.

10 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation, et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une représentation schématique d'un appareil qui convient à la mise en oeuvre de l'invention ; et

15 Les figures 2 à 8 représentent des exemples de dispositifs qu'on peut commodément fabriquer conformément à l'invention.

Pour des raisons de clarté, les éléments représentés sur les figures ne sont pas dessinés à l'échelle.

20 La figure 1 représente schématiquement un appareil qui convient pour la mise en oeuvre de l'invention. L'appareil comprend au moins une source de faisceau d'ions pour un élément du Groupe III, portant la référence 1030, des moyens 1040 destinés à soumettre à un balayage le faisceau d'ions provenant de la source 1030, et au moins un four à effusion pour un élément du Groupe V, portant la référence 1020. La source 1030 comprend en outre des moyens pour accélérer les particules, par exemple un canon accélérateur. Ces éléments sont enfermés dans une chambre 1000 dans laquelle on peut faire le vide au moyen d'une pompe 1050, pour obtenir un vide poussé, c'est-à-dire un vide d'au moins $133,322 \times 10^{-6}$ Pa et de préférence d'au moins $133,322 \times 10^{-9}$ Pa. Les faisceaux de particules provenant du four et de la source d'ions sont indiqués schématiquement par les flèches et sont dirigés vers le substrat 1010 qui se trouve à l'intérieur de la chambre 1000.

35

La source de faisceau d'ions et les moyens de balayage du faisceau d'ions qui sont utilisés sont bien connus de l'homme de l'art et peuvent être similaires à ceux décrits par exemple dans la revue Applied Physics Letters, 34, pages 310-5 312, 1979. La source de faisceau d'ions est chargée avec un élément du Groupe III. Les moyens de balayage, c'est-à-dire de déflexion, permettent de dévier le faisceau vers n'importe quel point du substrat, c'est-à-dire que le faisceau peut être dévié vers n'importe quel point sur la surface bidimensionnel-10 le du substrat. Les points forment collectivement une zone sélectionnée dans une plus grande zone, par exemple un substrat. Les moyens de déflexion peuvent être constitués, par exemple, par n'importe quels moyens de déflexion électrostatiques ou électromagnétiques de type classique. De tels moyens sont con-15 nus de l'homme de l'art et il n'est pas nécessaire de les décrire en détail. L'homme de l'art notera aisément que le faisceau d'ions peut être focalisé. En outre, si on le désire, il est possible de neutraliser le faisceau d'ions après qu'il a quitté le canon accélérateur et que les moyens de balayage20 l'ont dévié dans la direction désirée.

Le ou les fours à effusion pour l'élément du Groupe V consistent en un four à effusion classique comportant des moyens destinés à chauffer le four par résistance jusqu'à des températures d'évaporation. On peut utiliser plus d'un four à25 effusion pour des éléments du Groupe V. On charge les fours à effusion pour les éléments du Groupe V avec les éléments du Groupe V et les faisceaux thermiques issus de ces fours sont projetés de façon non sélective sur le substrat. Ceci signifie que le faisceau tombe sur la totalité du substrat ou sur une30 partie notable du substrat. Un autre four à effusion peut être chargé avec un élément du Groupe III si des opérations d'épitaixie par faisceaux moléculaires et par faisceaux d'ions doivent se dérouler simultanément. On peut également charger des éléments du Groupe V si on désire améliorer leur coefficient35 d'adhérence pendant la croissance.

Les paramètres importants d'un faisceau d'ions comprennent les éléments suivants : le courant, la taille du faisceau, l'énergie du faisceau et la vitesse de balayage. De façon générale, le courant du faisceau doit être aussi élevé que possible, du fait que ce paramètre détermine fondamentalement la vitesse de croissance épitaxiale, et des courants plus élevés permettent une croissance plus rapide. Des courants de faisceau caractéristiques sont situés dans la plage allant de 5 μA à environ 150 μA . La taille des motifs élémentaires formés, qui sont essentiellement des figures unidimensionnelles, c'est-à-dire des lignes, est déterminée par la taille du faisceau d'ions. Des diamètres caractéristiques de faisceau d'ions à la surface du substrat sont de l'ordre de plusieurs micromètres pour l'épitaxie par faisceau d'ions avec un faisceau d'ions à faible énergie. On peut obtenir des diamètres plus faibles avec un faisceau d'ions de faible énergie, mais avec des courants plus faibles. A des énergies plus élevées, on obtient aisément des diamètres de faisceau plus faibles, par exemple inférieurs à 1 μm . Les motifs élémentaires peuvent être formés soit par un seul balayage, soit par des balayages répétitifs. L'énergie du faisceau sera comprise de façon caractéristique entre environ 10 eV et environ 35 keV par particule du faisceau. Des énergies supérieures à 2 keV peuvent entraîner l'enlèvement d'une partie de la matière sous-jacente. La limite supérieure est déterminée par le fait qu'on désire que les particules du faisceau endommagent peu le substrat. La limite inférieure est déterminée par la stabilité de fonctionnement de la source d'ions. Dans cette plage, des tensions d'accélération plus élevées permettent cependant de former des motifs élémentaires plus petits, du fait qu'on peut plus aisément focaliser le faisceau à une petite taille. Pour un courant de faisceau et une taille de faisceau donnés, la vitesse de balayage sera déterminée par l'épaisseur désirée dans la direction de croissance, de la croissance épitaxiale produite par le faisceau d'ions, du fait

que des vitesses de balayage inférieures donneront des couches de plus grande épaisseur dans la direction de croissance, en comparaison de vitesses de balayage plus élevées. Un autre paramètre de croissance important réside dans la température du substrat. Comme on le notera aisément, l'énergie des particules du faisceau d'ions contribuera à échauffer le substrat et également à renforcer la diffusion de surface. Il n'est donc généralement pas nécessaire de chauffer le substrat à des températures aussi élevées que celles qu'on utilise normalement en épitaxie par jet moléculaire.

On charge les fours pour les cellules d'effusion ordinaires comme pour la source d'ions avec les éléments désirés du Groupe III et du Groupe V, et on les place dans la chambre de croissance avec le substrat. Le substrat consiste en un semiconducteur composé du Groupe III-V ayant une constante de réseau telle qu'il présente une adaptation au moins approximative des réseaux cristallins avec les couches épitaxiales désirées. On fait le vide dans la chambre, après un nettoyage approprié du substrat en utilisant des techniques bien connues, jusqu'à l'obtention d'une pression d'environ $133,322 \times 10^{-9}$ Pa, après quoi on chauffe les fours et le substrat à leurs températures désirées. Les températures des fours d'effusion thermique sont déterminées, d'une manière bien connue, par la nécessité d'obtenir des niveaux de flux désirés des éléments du Groupe III et du Groupe V à la surface du substrat. Dans la source de faisceau d'ions qui contient l'élément du Groupe III, on chauffe le four à une température suffisante pour produire la fusion de la charge. On commande ensuite l'intensité du flux de particules provenant de la source d'ions par la valeur de la tension d'extraction et de la tension d'accélération. On soumet le faisceau de particules du Groupe III à un balayage, de la manière désirée, sur la surface du substrat, tandis que le faisceau de particules du Groupe V tombe simultanément sur toute la surface. La densité des particules du Groupe III à la surface détermine la vitesse de croissance épitaxiale pro-

duite par le faisceau d'ions.

On envisage d'autres modes de réalisation. A titre d'exemple, un faisceau thermique formé par des particules du Groupe III peut également être dirigé sur toute la surface du substrat. Des opérations d'épitaxie par faisceaux moléculaires et ioniques se déroulent alors simultanément. Si le faisceau moléculaire et le faisceau ionique sont formés par le même élément du Groupe III, on aboutit à la croissance d'une matière à deux constituants, c'est-à-dire d'une matière binaire, tandis que si ces faisceaux sont constitués par des éléments différents, on aboutit à la croissance d'une matière à trois constituants, c'est-à-dire d'une matière ternaire, dans les zones qui reçoivent les deux faisceaux, et à la croissance d'une matière binaire dans les zones qui reçoivent seulement le faisceau moléculaire. On notera aisément qu'on peut utiliser plus d'un faisceau moléculaire ou ionique, ce qui permet de réaliser simultanément la croissance à sélectivité spatiale de matières binaires, ternaires et quaternaires. A titre d'exemple, on peut utiliser deux faisceaux thermiques, ou plus, de particules du Groupe V.

On voit maintenant plusieurs caractéristiques souhaitables de l'épitaxie par faisceau ionique conforme à l'invention. En particulier, l'homme de l'art notera aisément que le faisceau d'ions fortement directionnel peut tomber sur des zones du substrat sélectionnées arbitrairement, en défocalisant et/ou en focalisant le faisceau de façon appropriée pour obtenir la taille de faisceau désirée, et en déviant ensuite le faisceau de façon électrostatique ou électromagnétique pour produire le motif désiré.

La vitesse de croissance est déterminée de façon précise par la vitesse de balayage du faisceau et par le courant du faisceau. En faisant varier ces paramètres pendant le processus produit par le faisceau d'ions, on peut déterminer d'une manière très précise les épaisseurs des motifs élémentaires dans la direction de croissance comme dans les direc-

tions latérales, ainsi que les compositions chimiques des couches épitaxiales.

Du fait que le faisceau d'ions est chargé, il peut être bloqué et débloqué de façon abrupte par des moyens électrostatiques ou électromagnétiques, à la place des obturateurs mécaniques qu'on utilise habituellement dans l'épitaxie par jet moléculaire. Ceci permet d'obtenir des variations de composition très abruptes.

Les figures 2 à 8 montrent plusieurs exemples de structures qu'on a fait croître avec le procédé de l'invention. La figure 2 représente un laser à hétérostructure enterrée qui comprend un substrat 1, une première couche épitaxiale 3 ayant un premier type de conductivité, une seconde couche épitaxiale 5 ayant un second type de conductivité, et plusieurs rubans actifs 7. Dans un mode de réalisation, le dispositif comprend un substrat en GaAs de type n^+ , une première couche 3 en $Al_xGa_{1-x}As$ de type n , une seconde couche 5 en $Al_xGa_{1-x}As$ de type p , et des rubans actifs 7 en GaAs. On fait croître les couches 3 et 5 en $Al_xGa_{1-x}As$ par des techniques classiques d'épitaxie par jet moléculaire. On fait croître les rubans actifs 7 par épitaxie par faisceau ionique, après croissance de la couche 3. On fait croître ces rubans en effectuant un balayage par trame du faisceau de Ga pour former le réseau de rubans de GaAs.

La figure 3 représente une structure qui comprend des canaux de conduction unidimensionnels pour des dispositifs électroniques. Le terme "unidimensionnel" signifie que les dimensions, dans deux directions, des motifs formés sont suffisamment faibles pour que les niveaux d'énergie des porteurs soient quantifiés. La structure comprend un substrat 31, un ensemble de couches épitaxiales 33, 35, 37 et 39 ayant un premier type de conductivité, et un ensemble de tubes unidimensionnels 301. Les canaux unidimensionnels, c'est-à-dire les tubes, sont formés par croissance par épitaxie par faisceau ionique et les couches qui enferment les canaux sont formées par crois-

sance par épitaxie par jet moléculaire, comme décrit ci-dessus. Les canaux peuvent être fortement conducteurs. Les réseaux unidimensionnels de canaux fortement conducteurs, ou de "gaz" dans les tubes, se forment lorsque des porteurs, c'est-à-dire des électrons ou des trous, pénètrent dans les tubes en semi-conducteur de haute pureté, non dopé, à partir des couches de semiconducteur de type n ou de type p environnantes. L'homme de l'art notera que les couches 33, 35, 37 et 39 peuvent être de type n ou de type p et que les tubes contiendront donc ainsi des gaz d'électrons ou de trous unidimensionnels dans la même matrice.

La figure 4 montre un transistor à effet de champ à mobilité élevée qui utilise les gaz unidimensionnels. Le dispositif comporte des électrodes de source, de drain et de grille, portant respectivement les références 40, 47 et 48. Les régions 41 et 45 sont des semiconducteurs semi-isolants, tandis que les régions 42, 43 et 44 consistent en métaux constituant respectivement les régions de source, de grille et de drain. Les tubes de gaz d'électrons ou de trous unidimensionnels qui sont indiqués en 401 établissent des canaux de conduction à mobilité élevée entre les régions de source et de drain.

Il n'est pas nécessaire que les tubes unidimensionnels soient plans. La figure 5 représente un autre transistor à effet de champ ayant un canal unidimensionnel. Le transistor comprend un substrat 51 ; une première couche épitaxiale 53 ayant un premier type de conductivité ; et des électrodes de source, de grille et de drain portant respectivement les références 55, 56 et 57. Les régions de source et de drain sont reliées par le tube unidimensionnel non dopé 59.

La figure 6 représente une structure qui comprend un corps 61 et un réseau tridimensionnel de poches de gaz d'électrons ou de trous, 63. Les poches forment une structure tridimensionnelle ayant une périodicité qu'on peut aisément faire varier. On forme les poches en modifiant la technique de croissance utilisée pour les tubes unidimensionnels, de façon

que le faisceau d'ions tombe périodiquement sur le substrat pendant une durée suffisante pour former les poches désirées.

L'épitaxie par faisceau ionique est également utile pour la croissance de dispositifs d'optique intégrée. A titre
5 d'exemple, la figure 7 montre une structure de laser ayant plusieurs zones actives qui alimentent un seul guide d'ondes qui peut être fabriqué commodément par l'épitaxie par faisceau ionique. La structure comprend un substrat 71, une première couche épitaxiale 73 ayant un premier type de conductivité,
10 une seconde couche épitaxiale 75 ayant un second type de conductivité ; et, à la frontière entre les couches 73 et 75, un ensemble de rubans actifs 701 qui sont en couplage optique avec le guide d'ondes 710. On fait croître les rubans actifs par une opération d'épitaxie par faisceau ionique qui se dé-
15 roule simultanément à l'épitaxie par jet moléculaire. Du fait que l'épitaxie par faisceau ionique et l'épitaxie par jet moléculaire sont accomplies simultanément, on peut faire varier la position de la section de guide d'ondes par rapport à celle des rubans actifs, si la vitesse de croissance de l'épitaxie
20 par faisceau ionique pendant la croissance de la section de guide d'ondes diffère de celle des rubans actifs.

La figure 8 montre encore une autre application de l'épitaxie par faisceau ionique conforme à l'invention à la fabrication de dispositifs d'optique intégrée. La structure
25 comprend un substrat 81, un guide d'ondes 83 et des dispositifs 85 et 87. Le guide d'ondes courbe 83 établit un couplage optique entre les dispositifs 85 et 87. Comme il est représenté, on peut fabriquer des guides d'ondes ayant des configurations pratiquement arbitraires, dans le but d'établir une
30 connexion optique entre divers composants optiques.

Si le faisceau d'ions est accéléré jusqu'à une énergie relativement élevée, un enlèvement de matière peut se produire. Si maintenant on soumet le faisceau d'ions à un balayage pendant le déroulement de l'épitaxie par jet moléculaire,
35 laire, on obtiendra différentes vitesses de croissance, et

éventuellement différentes compositions, dans les zones qui sont balayées par le faisceau d'ions et dans celles qui ne le sont pas. En outre, les opérations de balayage et de projection d'un faisceau sur tout le substrat peuvent être effectuées séquentiellement au lieu d'être effectuées simultanément.

On notera aisément qu'on peut également utiliser d'autres systèmes de matières. De tels systèmes peuvent par exemple consister en autres semiconducteurs composés du Groupe 10 III-V, en métaux, en semi-métaux ou en supraconducteurs. En outre, tous les dispositifs décrits comme ayant des canaux unidimensionnels peuvent être formés avec de plus grandes dimensions si on ne désire pas que le niveau d'énergie des porteurs soit quantifié avec des nombres quantiques faibles. On 15 peut également fabriquer des dispositifs autres que ceux décrits. On peut par exemple fabriquer des lasers à puits quantique unidimensionnel.

Il va de soi que de nombreuses autres modifications peuvent être apportées au procédé et au dispositif décrits et 20 représentés, sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de croissance épitaxiale d'une matière semiconductrice du Groupe III-V sur au moins une zone sélectionnée dans une plus grande zone d'un substrat semiconducteur, comprenant l'opération qui consiste à soumettre la ou les zones sélectionnées du substrat semiconducteur à au moins un faisceau thermique de particules, caractérisé en ce qu'on balaye les zones sélectionnées avec au moins un faisceau de particules du Groupe III, et on dirige sur l'ensemble de la plus grande zone au moins un faisceau thermique de particules du Groupe V et, facultativement, au moins un faisceau thermique de particules du Groupe III.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lorsqu'il y a au moins deux faisceaux de particules du Groupe III effectuant un balayage, ces particules peuvent être des particules d'éléments semblables ou différents.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lorsque l'ensemble de la plus grande zone reçoit plus d'un faisceau de particules du Groupe III, les particules de ces faisceaux peuvent être des particules d'éléments semblables ou différents.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on forme le ou les faisceaux accomplissant un balayage en ionisant les particules du Groupe III.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on accélère les particules du Groupe III dans le faisceau accomplissant un balayage, avec une tension supérieure à 10 volts et inférieure à 35 000 volts.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite tension est supérieure à 2000 volts.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que les opérations de balayage et d'application d'un faisceau sur l'ensemble de la plus grande zone ont lieu séquentiellement.

8. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en

ce que ladite tension est inférieure à 2000 volts.

9. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que les opérations de balayage et d'application d'un faisceau sur l'ensemble de la plus grande zone ont lieu simultanément.

10. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le balayage est effectué par des moyens électromagnétiques.

11. Dispositif caractérisé en ce qu'il est fabriqué par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 précédentes.

FIG. 1

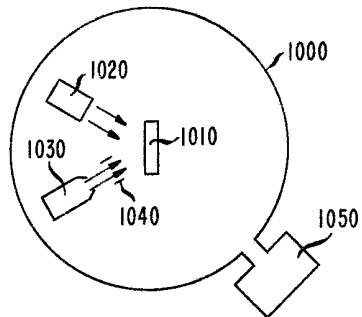


FIG. 2

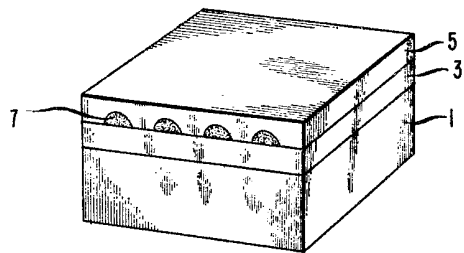
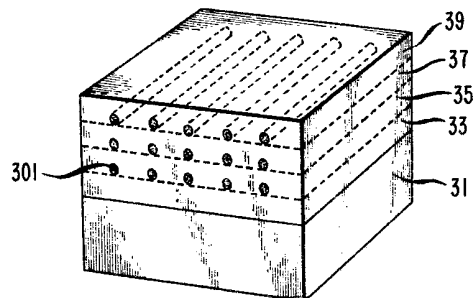


FIG. 3



2/3

FIG. 4

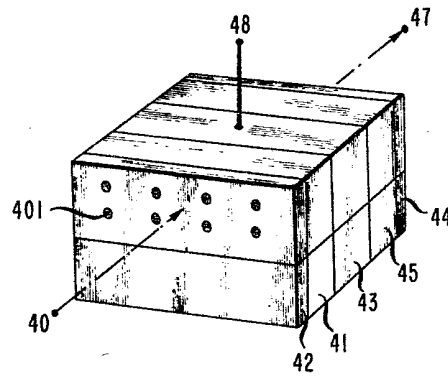


FIG. 5

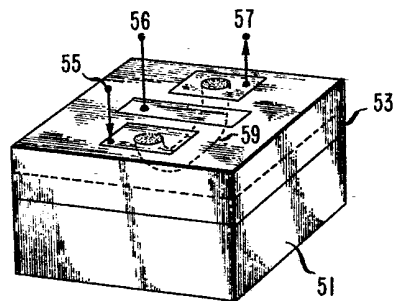
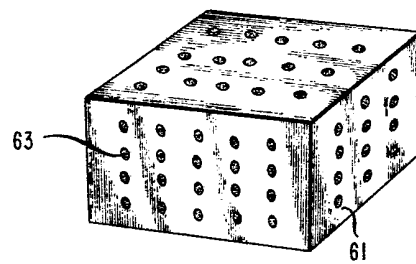


FIG. 6



3/3

FIG. 7

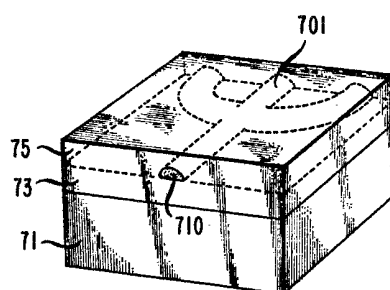


FIG. 8

