

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **2 994 617**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **13 57797**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **H 01 L 31/028** (2017.01), H 01 L 31/0352, 31/18

①②

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PHOTODETECTEUR A BASE DE GERMANIUM A BASSE TENSION, A GAIN ELEVE ET A VITESSE ELEVEE ET SON PROCEDE DE FABRICATION.

②② **Date de dépôt** : 06.08.13.

③③ **Priorité** : 20.08.12 KR 1020120090860;  
28.03.13 KR 1020130033585;  
29.05.13 KR 1020130061169.

④③ **Date de mise à la disposition du public  
de la demande** : 21.02.14 Bulletin 14/08.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention** : 23.02.18 Bulletin 18/08.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche** :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux  
apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : *ELECTRONICS AND  
TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE—  
KR.*

⑦② **Inventeur(s)** : KIM GYUNGOCK, KIM SANG HOON,  
JANG KI SEOK, KIM IN GYOO, OH JIN HYUK et KIM  
SUN AE.

⑦③ **Titulaire(s)** : *ELECTRONICS AND  
TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE.*

⑦④ **Mandataire(s)** : CABINET PATRICE VIDON.

FR 2 994 617 - B1



PHOTODÉTECTEUR À BASE DE GERMANIUM À BASSE TENSION, À GAIN  
ÉLEVÉ ET À VITESSE ÉLEVÉE ET SON PROCÉDÉ DE FABRICATION

**1. DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention concerne, dans des exemples de modes de réalisation, un photodétecteur et, en particulier, un  
5 détecteur à base de germanium à basse tension, à gain élevé et à vitesse élevée fabriqué sur un substrat de silicium.

**2. ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE**

Actuellement, des recherches actives sont menées sur la  
10 photonique sur silicium. En particulier, il est activement recherché un photodétecteur à base de germanium à haute performance, économique et CMOS-compatible pour réaliser un système de communication optique ultrarapide à grande capacité et un système de traitement d'images, la vitesse et la  
15 sensibilité du photodétecteur se révélant être les principaux problèmes. En outre, il existe un intérêt croissant pour trouver si des récepteurs optiques à germanium sur silicium basés sur la photonique du silicium, économiques et très performants, peuvent remplacer les récepteurs optiques  
20 conventionnels à base de composés semi-conducteurs III-V.

Les récepteurs optiques à avalanche à base de composés semi-conducteurs III-V, des récepteurs optiques coûteux, sont largement utilisés pour les systèmes de communication optique hautement sensibles. Les récepteurs optiques à avalanche à  
25 base de composés semi-conducteurs III-V sont coûteux à fabriquer et nécessitent une tension de fonctionnement élevée pour obtenir une sensibilité élevée. Récemment, des recherches ont été initiées pour remplacer les récepteurs optiques à avalanche à base de composés semi-conducteurs III-V par des  
30 récepteurs optiques à avalanche basés sur la photonique sur

silicium. Par rapport à un dispositif optique à base de composés semi-conducteurs III-V, le dispositif optique à base de silicium est économique et, par conséquent, on peut s'attendre à ce qu'il soit commercialisé. En outre, l'avantage du dispositif optique à base de silicium est qu'il peut être facilement intégré à des puces CI électroniques à base de silicium.

Néanmoins, pour obtenir un gain élevé et une sensibilité élevée, le photodétecteur à avalanche à base de silicium doit fonctionner à une tension de fonctionnement très élevée (par exemple, une tension d'avalanche), par conséquent il consomme beaucoup d'énergie. Il est donc nécessaire de développer une technologie de matériau et de structure permettant d'atteindre un fonctionnement à basse tension, un gain élevé ou une vitesse élevée.

### **3. EXPOSÉ DE L'INVENTION**

Des exemples de modes de réalisation du concept de l'invention proposent un photodétecteur à base de germanium et un procédé pour le fabriquer.

D'autres exemples de modes de réalisation du concept de l'invention proposent un photodétecteur qui est conçu de façon à présenter, comme caractéristiques de fonctionnement, une basse tension, un gain élevé et une vitesse élevée, et un procédé pour le fabriquer.

Selon des exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention, un photodétecteur peut comprendre un substrat de silicium, une première couche de contact sur le substrat, une couche de multiplication de porteurs sur la première couche de contact, une couche de charges sur la couche de multiplication de porteurs, une couche d'absorption sur la couche de charges et une seconde couche de contact sur la couche d'absorption.

La couche de multiplication de porteurs, la couche de charges et la couche d'absorption peuvent comprendre du germanium.

Dans des exemples de modes de réalisation, la couche d'absorption peut comprendre du germanium intrinsèque.

5 Dans des exemples de modes de réalisation, la couche de multiplication de porteurs peut comprendre du germanium intrinsèque.

Dans des exemples de modes de réalisation, la première couche de contact peut être dopée avec des premières impuretés.

10 Dans des exemples de modes de réalisation, la couche de charges peut être dopée avec des secondes impuretés dont le type de conductivité peut être opposé à celui des premières impuretés.

Dans des exemples de modes de réalisation, la seconde  
15 couche de contact peut être dopée avec les secondes impuretés.

Dans des exemples de modes de réalisation, la seconde couche de contact peut comprendre du germanium.

Dans des exemples de modes de réalisation, la seconde  
couche de contact peut comprendre du polysilicium.

20 Dans des exemples de modes de réalisation, la première couche de contact peut comprendre du silicium.

Dans des exemples de modes de réalisation, la couche de multiplication de porteurs peut comprendre un super-réseau de germanium et de silicium.

25 Dans d'autres exemples de modes de réalisation, un super-réseau de germanium et de silicium peut être utilisé pour la couche de multiplication de porteurs.

Dans des exemples de modes de réalisation, un point  
30 quantique ou un fil quantique peut être utilisé pour la couche d'absorption.

Dans d'autres exemples de modes de réalisation, une couche d'oxyde enterrée peut être située entre le substrat et la première couche de contact.

Dans des exemples de modes de réalisation, la couche d'absorption peut comprendre une couche à super-réseau de germanium et de silicium et une couche intrinsèque.

5 Dans d'autres exemples de modes de réalisation, le photodétecteur peut comprendre en outre un anneau de garde flottant disposé autour de la couche de charges.

10 Selon des exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention, un procédé de fabrication d'un photodétecteur peut comprendre la formation d'une première couche de contact sur un substrat, la formation d'une couche de multiplication de porteurs sur la première couche de contact, la formation d'une couche de charges sur la couche de multiplication de porteurs ; la formation d'une couche d'absorption sur la couche de charges et la formation d'une seconde couche de contact sur la couche d'absorption. Ici, la couche de multiplication de porteurs, la couche de charges et la couche d'absorption peuvent comprendre du germanium et la seconde couche de contact peut comprendre du polysilicium dopé, et elles peuvent être formées d'une manière *in situ* dans une  
15 chambre ou un groupe.  
20

Dans des exemples de modes de réalisation, la première couche de contact peut être formée d'une couche de silicium dopée avec des premières impuretés.

25 Les exemples de modes de réalisation seront mieux compris à la lecture de la brève description suivante prise conjointement avec les dessins annexés. Les dessins annexés représentent des exemples non limitatifs de modes de réalisation tels que décrits dans le présent document.

## 5. LISTE DES FIGURES

La figure 1 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un premier mode de réalisation du concept de l'invention.

La figure 2 est un graphique montrant les caractéristiques I-V du photodétecteur de la figure 1.

La figure 3 est un graphique montrant la relation entre une tension de fonctionnement et une réponse en fréquence.

La figure 4 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un premier mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

La figure 5 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un deuxième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

La figure 6 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un deuxième mode de réalisation du concept de l'invention.

La figure 7 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un troisième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

La figure 8 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un troisième mode de réalisation du concept de l'invention.

La figure 9 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un quatrième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

La figure 10 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un quatrième mode de réalisation du concept de l'invention.

La figure 11 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un cinquième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

La figure 12 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un cinquième mode de réalisation du concept de l'invention.

La figure 13 est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un sixième mode de réalisation appliqué  
5 du concept de l'invention.

Il doit être noté que ces figures sont destinées à illustrer les caractéristiques générales des procédés, des structures et/ou des matériaux utilisés dans certains exemples  
10 de modes de réalisation et à compléter la description écrite fournie ci-dessous. Cependant, ces dessins ne sont pas à l'échelle et peuvent ne pas refléter précisément les caractéristiques précises de structure ou de performance des modes de réalisation donnés, et il ne doit pas être interprété  
15 qu'ils définissent ou limitent la gamme de valeurs ou de propriétés englobée par les exemples de modes de réalisation. Par exemple, les épaisseurs relatives et les positions des molécules, des couches, des régions et/ou des éléments structuraux peuvent être réduites ou exagérées à des fins de  
20 clarification. L'utilisation de numéros de référence similaires ou identiques sur les divers dessins est destinée à indiquer la présence d'un élément ou d'une caractéristique similaire ou identique.

## **6. DESCRIPTION DÉTAILLÉE**

25

Des exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention vont maintenant être décrits en détail en se référant aux dessins annexés, sur lesquels des exemples de modes de réalisation sont présentés. Cependant, les exemples  
30 de modes de réalisation des concepts de la présente invention peuvent prendre différentes formes et il ne doit pas être interprété qu'ils sont limités aux modes de réalisation présentés dans le présent document ; ces modes de réalisation

sont plutôt fournis pour que la présente description soit complète et transmette totalement le concept des exemples de modes de réalisation à l'homme du métier. Sur les dessins, les épaisseurs des couches et des régions sont exagérées à des fins de clarification. Des numéros de référence identiques sur les dessins indiquent des éléments identiques et, par conséquent, leur description sera omise.

Il est entendu que quand il est fait référence à un élément « connecté » ou « couplé » à un autre élément, il peut être connecté ou couplé directement à l'autre élément ou des éléments intermédiaires peuvent être présents. Au contraire, quand il est fait référence à un élément « connecté directement » ou « couplé directement » à un autre élément, il n'existe aucun élément intermédiaire présent. Des numéros identiques indiquent des éléments identiques tout au long du présent document. Tel qu'utilisé dans le présent document, le terme « et/ou » indique une ou toutes les combinaisons d'un ou de plusieurs des éléments listés associés. Les autres mots utilisés pour décrire la relation entre les éléments ou les couches doivent être interprétés de la même manière (par exemple, « entre » par rapport à « directement entre », « adjacent » par rapport à « directement adjacent », « sur » par rapport à « directement sur »).

Il est entendu que, bien que les termes « premier/première », « second/seconde », etc. puissent être utilisés dans le présent document pour décrire divers éléments, divers composants, diverses régions, diverses couches et/ou diverses sections, ces éléments, composants, régions, couches et/ou sections ne doivent pas être limités par ces termes. Ces termes sont seulement utilisés pour faire la distinction entre un élément, un composant, une région, une couche ou une section et un autre élément, un autre composant, une autre région, une autre couche ou une autre section. Par conséquent,



un premier élément, un premier composant, une première région, une première couche ou une première section mentionné ci-dessous peut être appelé second élément, second composant, seconde région, seconde couche ou seconde section sans  
5 s'écarter des enseignements des exemples de modes de réalisation.

Les termes relatifs à l'espace, tels que « sous », « en dessous », « plus bas », « au-dessus », « plus haut » et équivalents, peuvent être utilisés dans le présent document  
10 pour faciliter la description afin de décrire une relation entre un élément ou une caractéristique et un ou plusieurs autres éléments ou une ou plusieurs autres caractéristiques illustrés sur les figures. Il est entendu que les termes relatifs à l'espace sont destinés à englober les différentes  
15 orientations du dispositif en utilisation ou en fonctionnement en plus de l'orientation représentée sur les figures. Par exemple, si le dispositif représenté sur les figures est retourné, les éléments décrits comme étant « en dessous » ou « sous » d'autres éléments ou caractéristiques seront alors  
20 orientés « au-dessus » des autres éléments ou caractéristiques. Le terme « en dessous » donné en exemple peut donc englober à la fois une orientation au-dessus et en dessous. Le dispositif peut être orienté autrement (tourné de 90° ou selon d'autres orientations) et les descripteurs relatifs à l'espace utilisés  
25 dans le présent document interprétés en conséquence.

La terminologie utilisée dans le présent document a pour seul but de décrire des modes de réalisation particuliers et n'est pas destinée à limiter les exemples de modes de réalisation. Tels qu'utilisées dans le présent document, les  
30 formes au singulier « un », « une », « le » et « la » sont destinées à inclure également les formes au pluriel, sauf si le contexte l'indique clairement autrement. En outre, il est entendu que les termes « comprend », « comprenant »,

« inclut » et/ou « incluant », s'ils sont utilisés dans le présent document, spécifient la présence de caractéristiques, nombres entiers, étapes, opérations, éléments et/ou composants indiqués, mais n'exclut pas la présence ou l'ajout d'une ou de plusieurs autres caractéristiques, d'un ou de plusieurs autres entiers, d'une ou de plusieurs autres étapes, d'une ou de plusieurs autres opérations, d'un ou de plusieurs autres éléments, d'un ou de plusieurs autres composants et/ou groupes de ceux-ci.

10 Des exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention sont décrits dans le présent document en se référant à des illustrations en coupe, lesquelles sont des illustrations schématiques de modes de réalisation idéalisés (et de structures intermédiaires) d'exemples de modes de réalisation. Par conséquent, on doit s'attendre à ce que les formes des illustrations varient en raison, par exemple, des techniques et/ou des tolérances de fabrication. Par conséquent, il ne doit pas être considéré que les exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention sont limités aux formes particulières des régions illustrées dans le présent document et ceux-ci doivent comprendre des déviations en termes de formes résultant, par exemple, de la fabrication. Par exemple, une région implantée illustrée sous la forme d'un rectangle peut présenter des caractéristiques arrondies ou courbées et/ou un gradient de concentration d'implant au niveau de ses bords plutôt qu'un changement binaire entre une région implantée et une région non implantée. De même, une région enterrée formée par implantation peut entraîner une certaine implantation dans la région située entre la région enterrée et la surface à travers laquelle l'implantation a lieu. Par conséquent, les régions illustrées sur les figures sont schématiques par nature et leurs formes ne sont pas destinées à illustrer la forme réelle d'une région d'un

dispositif et ne sont pas destinées à limiter l'étendue des exemples de modes de réalisation.

Sauf s'ils sont définis autrement, tous les termes (y compris les termes techniques et scientifiques) utilisés dans le présent document ont les mêmes significations que celles communément comprises par l'homme du métier auquel les exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention appartiennent. En outre, il est entendu que les significations des termes, tels que ceux définis dans les dictionnaires habituellement utilisés, doivent être cohérentes avec leur signification dans le contexte de l'art en question et que les termes ne seront pas interprétés selon un sens idéalisé ou trop formel, sauf si cela est expressément défini dans le présent document.

La **figure 1** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un premier mode de réalisation du concept de l'invention.

En se référant à la figure 1, le photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention peut comprendre un substrat (10), une première couche de contact (12), une première électrode (14), une couche de multiplication de porteurs (20), une couche de charges (22), une couche d'absorption (30), une seconde couche de contact (32) et une seconde électrode (34).

Le substrat (10) peut comprendre du silicium. La première couche de contact (12) peut comprendre du silicium dopé avec des premières impuretés. Les premières impuretés peuvent être des donneurs de type n, tels que le phosphore. Par exemple, la première couche de contact (12) peut comprendre du silicium n++. La couche de multiplication de porteurs (20) et la première électrode (14) peuvent être formées sur la première couche de contact (12).

La couche de multiplication de porteurs (20) peut comprendre du germanium intrinsèque. La couche de multiplication de porteurs (20) peut être conçue pour amplifier un signal électrique dans la couche d'absorption (30). Par exemple, la couche de multiplication de porteurs (20) peut être conçue de manière à avoir une structure de gain en avalanche. La couche de charges (22) peut être formée sur la couche de multiplication de porteurs (20). La couche de charges (22) peut comprendre du germanium.

10 Dans des exemples de modes de réalisation, la couche de charges (22) peut être formée d'une fine couche de germanium ou comprendre une fine couche de germanium. La couche de charges (22) peut être conçue pour augmenter de manière significative le champ électrique de la couche de multiplication de porteurs (30). Par exemple, la couche de charges (22) peut être une fine couche dopée avec des secondes impuretés (par exemple, du bore) dont la conductivité est différente de celle des premières impuretés, ou une fine couche de type p légèrement dopée. Un anneau de garde flottant (24) peut être formé sur la couche de multiplication de porteurs (20) en utilisant la couche de charges (22). La couche d'absorption (30) peut être formée sur la couche de charges (22). L'anneau de garde flottant (24) du premier mode de réalisation peut être omis ou retiré.

25 La couche d'absorption (30) peut être conçue pour absorber la lumière passant à travers la seconde couche de contact (32) et générer un signal électrique à partir de celle-ci. La couche d'absorption (30) peut comprendre du germanium intrinsèque. La seconde couche de contact (32) peut être formée sur la couche d'absorption (30). La seconde couche de contact (32) peut comprendre du polysilicium (par exemple, du polysilicium p++) ou du germanium (par exemple, du germanium p++) dopé avec les secondes impuretés.

La couche de multiplication de porteurs (20) et la couche d'absorption (30) peuvent contenir toutes les deux du germanium. De plus, la couche de multiplication de porteurs (20) et la couche d'absorption (30) peuvent être formées, 5 d'une manière *in situ*, dans une chambre ou un groupe (non représenté) par dépôt chimique en phase vapeur sous pression réduite, dans lequel le germanium est contenu dans un matériau source. Ceci permet d'augmenter la productivité du procédé de fabrication du photodétecteur selon le premier mode de 10 réalisation du concept de l'invention.

La **figure 2** est un graphique montrant les caractéristiques I-V du photodétecteur de la figure 1. Comme le montre la figure 2, dans le photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention, l'avalanche a lieu à 15 une tension basse d'environ 15-16 V. Dans le photodétecteur à avalanche classique, l'avalanche a lieu à une tension élevée d'environ 30 V ou plus. En d'autres termes, la figure 2 montre que le photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention peut fonctionner à une tension 20 relativement basse. Sur la figure 2, les axes des x et des y représentent respectivement la tension et le courant. La figure 2 montre que des propriétés de vitesse élevée et de gain élevé peuvent être obtenues, même quand la couche d'absorption (30) et la couche de multiplication de porteurs 25 (20) sont épaisses, avec des épaisseurs d'environ 10 000 Å.

La **figure 3** est un graphique montrant la relation entre une tension de fonctionnement et une réponse en fréquence du photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention. Comme le montre la figure 3, dans le 30 photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention, une bande passante de 3 dB augmente brusquement à une tension de polarisation supérieure ou égale à environ -15 V. Ce comportement est opposé à celui des

photodétecteurs à avalanche classiques qui présentent une bande passante de -3 dB diminuant à une tension de polarisation élevée. En d'autres termes, le photodétecteur comportant la couche de charges à base de germanium et la  
5 couche de multiplication de porteurs (20), selon les exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention, peut présenter à la fois des propriétés de vitesse élevée et de gain élevé.

Par conséquent, le photodétecteur selon le premier mode de réalisation du concept de l'invention peut fonctionner avec un  
10 gain élevé et une vitesse élevée.

La **figure 4** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un premier mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

En se référant à la figure 4, le photodétecteur selon le premier mode de réalisation appliqué du concept de l'invention peut comprendre la couche de multiplication de porteurs (20) dans laquelle une structure à super-réseau de germanium/silicium est formée. La structure à super-réseau  
15 peut comprendre une pluralité de couches de matériau empilées de manière alternée. Dans ce cas, les couches de matériau de la structure à super-réseau peuvent être conçues pour être différentes en termes de rapports de mélange silicium/germanium. Par exemple, une première couche de  
20 matériau (25) peut comprendre  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  et une deuxième couche de matériau (26) peut comprendre  $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ . La première couche de matériau (25) et la deuxième couche de matériau (26) peuvent être formées en utilisant un procédé épitaxial basé sur un dépôt chimique en phase vapeur. Le premier exemple appliqué  
25 est différent du premier mode de réalisation en ce que le germanium intrinsèque pour la couche de multiplication de porteurs (20) est remplacé par la structure à super-réseau de silicium/germanium.  
30

La **figure 5** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un deuxième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

En se référant à la figure 5, un photodétecteur de type guide d'onde selon le deuxième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention peut être obtenu à partir d'une tranche de silicium sur isolant (SOI) contenant, par exemple, une couche d'oxyde enterrée (16) intercalée entre le substrat (10) et la première couche de contact (12). La tranche SOI peut être un produit disponible dans le commerce et comprendre une couche d'oxyde enterrée (BOX) sur une tranche de silicium brute. L'utilisation de la tranche SOI permet de former facilement un dispositif à guide d'onde optique. Le deuxième mode de réalisation appliqué peut être différent du premier mode de réalisation en ce que la couche d'oxyde enterrée (16) peut être ajoutée entre le substrat (10) et la première couche de contact (12) du premier mode de réalisation pour former la tranche SOI et l'anneau de garde flottant (24) peut être retiré.

La **figure 6** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un deuxième mode de réalisation du concept de l'invention.

En se référant à la figure 6, le photodétecteur selon le deuxième mode de réalisation du concept de l'invention peut comprendre une structure à super-réseau constituée d'une troisième couche de matériau (31) et d'une quatrième couche de matériau (33), pouvant être présente en tant que couche d'absorption (30). Le deuxième mode de réalisation peut être différent du premier mode de réalisation en ce que le germanium intrinsèque de la couche d'absorption (30) est remplacé par la structure à super-réseau. Les troisième et quatrième couches de matériau (31) et (33) de la structure à super-réseau peuvent être différentes l'une de l'autre en

termes de rapport de mélange (fraction molaire) silicium/germanium. Par exemple, la troisième couche de matériau (31) peut comprendre  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  et la quatrième couche de matériau (33) peut comprendre  $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ .

5 La **figure 7** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un troisième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

En se référant à la figure 7, le photodétecteur selon le troisième mode de réalisation appliqué du concept de  
10 l'invention peut comprendre la couche de multiplication de porteurs (20) et la couche d'absorption (30) conçues pour avoir la structure à super-réseau. Le troisième mode de réalisation appliqué peut être différent du premier mode de réalisation en ce que les couches de germanium intrinsèque  
15 pour la couche de multiplication de porteurs (20) et la couche d'absorption (30) sont remplacées par la structure à super-réseau. La structure à super-réseau de la couche de multiplication de porteurs (20) peut comprendre la première couche de matériau (25) et la deuxième couche de matériau (26).  
20 La structure à super-réseau de la couche d'absorption (30) peut comprendre la troisième couche de matériau (31) et la quatrième couche de matériau (33). La première couche de matériau (25) et la troisième couche de matériau (31) peuvent être conçues pour avoir un rapport de mélange  
25 silicium/germanium identique, mais les exemples de modes de réalisation du concept de l'invention peuvent ne pas être limités à cela. La première couche de matériau (25) et la troisième couche de matériau (31) peuvent être conçues de façon à être différentes l'une de l'autre en termes de rapport  
30 de mélange (fraction molaire) silicium/germanium. De manière similaire, la deuxième couche de matériau (26) et la quatrième couche de matériau (33) peuvent être conçues de façon à avoir un rapport de mélange silicium/germanium identique.



Bien que cela ne soit pas représenté, la couche de multiplication de porteurs (20) et la couche de charges (22) du photodétecteur peuvent être conçues de façon à avoir des surfaces identiques à celles de la couche d'absorption (30) et de la seconde couche de contact (32).

La **figure 8** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un troisième mode de réalisation du concept de l'invention.

En se référant à la figure 8, le photodétecteur selon le troisième mode de réalisation du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) incluant à la fois une couche à super-réseau (36) et une couche intrinsèque (38). Selon le troisième mode de réalisation, la couche d'absorption (30) du premier mode de réalisation peut être remplacée par la couche à super-réseau (36) et la couche intrinsèque (38). Comme le montre la figure 8, la couche à super-réseau (36) et la couche intrinsèque (38) peuvent être formées de façon à avoir des épaisseurs identiques (par exemple, la moitié de l'épaisseur de la couche d'absorption (30)), mais les exemples de modes de réalisation du concept de l'invention peuvent ne pas être limités à cela. La couche à super-réseau (36) peut être un super-réseau de silicium/germanium et comprendre la troisième couche de matériau (31) et la quatrième couche de matériau (33). La troisième couche de matériau (31) peut comprendre  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  et la quatrième couche de matériau (33) peut comprendre  $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ . La couche intrinsèque (38) peut comprendre une couche de germanium intrinsèque.

La **figure 9** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un quatrième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

En se référant à la figure 9, le photodétecteur selon le quatrième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) avec

la couche à super-réseau (36) et la couche intrinsèque (38) et la couche de multiplication de porteurs (20) possédant la structure à super-réseau. Le quatrième mode de réalisation appliqué peut être différent du premier mode de réalisation en ce que le germanium intrinsèque pour la couche d'absorption (30) est remplacé par la couche à super-réseau (36) et la couche intrinsèque (38), et en ce que le germanium intrinsèque pour la couche de multiplication de porteurs (20) est remplacé par la structure à super-réseau.

10 La **figure 10** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un quatrième mode de réalisation du concept de l'invention.

En se référant à la figure 10, le photodétecteur selon le quatrième mode de réalisation du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) composée de la couche (35) de structure à points quantiques. Le quatrième mode de réalisation peut être différent du premier mode de réalisation en ce que le germanium intrinsèque pour la couche d'absorption (30) est remplacé par une couche de l'au moins un point quantique (35). L'au moins une couche (35) de structure à points quantiques peut comprendre du germanium/silicium. L'au moins une couche (35) de structure à points quantiques peut être fournie de façon à avoir une structure en réseau à points quantiques auto-assemblés ou une structure en réseau à points quantiques de type vertical dans une structure à puits quantique à double barrière.

La **figure 11** est une vue en coupe illustrant un photodétecteur selon un cinquième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

30 En se référant à la figure 11, le photodétecteur selon le cinquième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) avec l'au moins une couche (35) de structure à points quantiques et

la couche de multiplication de porteurs (20) possédant la structure à super-réseau. Le cinquième mode de réalisation appliqué peut être différent du premier mode de réalisation en ce que le germanium intrinsèque pour la couche d'absorption  
5 (30) est remplacé par la couche à structure à points quantiques et en ce que le germanium intrinsèque pour la couche de multiplication de porteurs (20) est remplacé par la structure à super-réseau.

La figure 12 est une vue en coupe illustrant un  
10 photodétecteur selon un cinquième mode de réalisation du concept de l'invention.

En se référant à la figure 12, le photodétecteur selon le cinquième mode de réalisation du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) avec au moins un fil  
15 quantique (37). Le cinquième mode de réalisation peut être différent du premier mode de réalisation en ce que l'au moins un fil quantique (37) est situé dans la couche d'absorption (30) composée de germanium intrinsèque. L'au moins un fil quantique (37) peut être fourni de façon à avoir une structure  
20 en réseau dans la couche d'absorption (30). La couche de multiplication de porteurs (20) peut comprendre du germanium intrinsèque.

La figure 13 est une vue en coupe illustrant un  
25 photodétecteur selon un sixième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention.

En se référant à la figure 13, le photodétecteur selon le sixième mode de réalisation appliqué du concept de l'invention peut comprendre la couche d'absorption (30) composée d'au  
30 moins une couche (37) à structure à fils quantiques et la couche de multiplication de porteurs (20) possédant la structure à super-réseau. Le sixième mode de réalisation appliqué peut être différent du premier mode de réalisation en ce que l'au moins une couche (37) à structure à fils

quantiques à base de germanium est située dans la couche d'absorption (30) et en ce que le germanium intrinsèque pour la couche de multiplication de porteurs (20) est remplacé par la structure à super-réseau.

5 Le photodétecteur selon les exemples de modes de réalisation du concept de l'invention peut comprendre un substrat, une première couche de contact, une couche de multiplication de porteurs, une couche de charges, une couche d'absorption et une seconde couche de contact. Toutes les  
10 couches parmi la couche de multiplication de porteurs, la couche de charges et la couche d'absorption peuvent contenir du germanium. Le photodétecteur peut avoir une structure de germanium sur silicium, dans laquelle l'avalanche a lieu à une tension relativement basse d'environ 20 V. Une tension  
15 d'avalanche élevée (par exemple, d'environ 30 V ou plus) est nécessaire pour les photodétecteurs à avalanche à composés semi-conducteurs III-V classiques ou les photodétecteurs à avalanche à base de silicium classiques ayant une couche d'absorption à base de germanium/une couche de charges à base  
20 de silicium/une couche de multiplication de porteurs à base de silicium. Par conséquent, le photodétecteur selon les exemples de modes de réalisation du concept de l'invention peut présenter, comme propriété, une sensibilité élevée à une tension relativement basse.

25 En outre, dans le photodétecteur contenant la couche de multiplication de porteurs à base de germanium, une bande passante de -3 dB peut augmenter même quand la tension s'élève au-dessus de la tension d'avalanche. Ceci signifie que le photodétecteur selon les exemples de modes de réalisation du  
30 concept de l'invention peut fonctionner avec un gain élevé et une vitesse élevée.

Bien que les exemples de modes de réalisation des concepts de l'invention aient été présentés et décrits de manière

particulière, l'homme du métier comprendra que des variations en termes de forme et de détails peuvent être apportées sans s'écarter de l'esprit et de l'étendue des revendications annexées.

REVENDICATIONS

1. Photodétecteur, comprenant :  
un substrat de silicium (10) ;  
une première couche de contact (12) sur le substrat (10) ;  
une couche de multiplication de porteurs (20) sur la  
5 première couche de contact (12) ;  
une couche de charges (22) sur la couche de multiplication  
de porteurs (20) ;  
un anneau de garde flottant (24) coplanaire à la couche de  
charges et formée d'un matériau identique à la couche de  
10 charges ;  
une couche d'absorption (30) sur la couche de charges  
(22) ; et  
une seconde couche de contact (32) sur la couche  
d'absorption (30),  
15 dans lequel la couche d'absorption (30) comprend du  
germanium.
2. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la  
couche d'absorption (30) comprend du germanium intrinsèque.
3. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la  
20 couche de multiplication de porteurs (20) comprend du  
germanium intrinsèque.
4. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la  
première couche de contact (12) est dopée avec des premières  
impuretés.
- 25 5. Photodétecteur selon la revendication 4, dans lequel la  
couche de charges (22) est dopée avec des secondes impuretés  
dont le type de conductivité est opposé à celui des premières  
impuretés.
- 30 6. Photodétecteur selon la revendication 5, dans lequel la  
seconde couche de contact (32) est dopée avec les secondes  
impuretés.

7. Photodétecteur selon la revendication 5, dans lequel la seconde couche de contact (32) comprend du germanium.

8. Photodétecteur selon la revendication 5, dans lequel la seconde couche de contact (32) comprend du polysilicium.

5 9. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la première couche de contact (12) comprend du silicium.

10. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la couche de multiplication de porteurs (20) comprend un super-réseau de germanium et de silicium.

10 11. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la couche d'absorption (30) comprend un super-réseau de germanium et de silicium.

15 12. Photodétecteur selon la revendication 1, comprenant en outre une couche d'oxyde enterrée (16) entre le substrat (10) et la première couche de contact (12).

13. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la couche d'absorption (30) comprend un super-réseau de germanium et de silicium.

20 14. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la couche d'absorption (30) comprend au moins une structure à points quantiques (35) ou au moins une structure à fils quantiques (37).

25 15. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel la couche d'absorption (30) comprend une couche de super-réseau de germanium et de silicium et une couche de germanium intrinsèque.

16. Photodétecteur selon la revendication 1, dans lequel l'anneau de garde flottant (24) est adjacent à la couche de charges (22).

30 17. Procédé de fabrication d'un photodétecteur, comprenant :

la formation d'une première couche de contact (12) sur un substrat (10) ;

la formation d'une couche de multiplication de porteurs (20) sur la première couche de contact (12) ;

la formation d'une couche de charges (22) sur la couche de multiplication de porteurs (20) ;

5 la formation d'un anneau de garde flottant (24) sur la couche de multiplication de porteurs en utilisant la couche de charges ; et

la formation d'une couche d'absorption (30) sur la couche de charges (22),

10 dans lequel la couche d'absorption (30) comprend du germanium et est formée de manière *in situ* dans une chambre ou un agrégat.

18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel la première couche de contact (12) est formée d'une couche de  
15 silicium dopée avec des premières impuretés.

19. Procédé selon la revendication 18, comprenant en outre la formation d'une seconde couche de contact (32) sur la couche d'absorption (30).

20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel la  
20 seconde couche de contact (32) est formée d'une couche de polysilicium dopée avec des secondes impuretés.



1/7

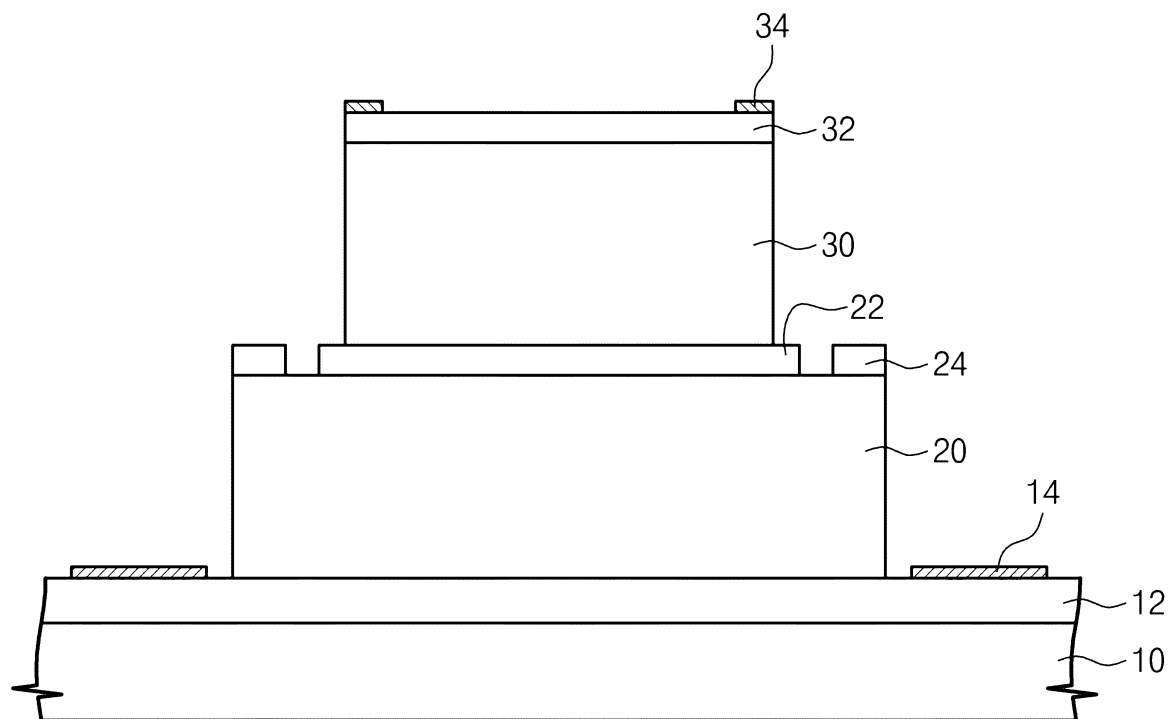


Fig. 1

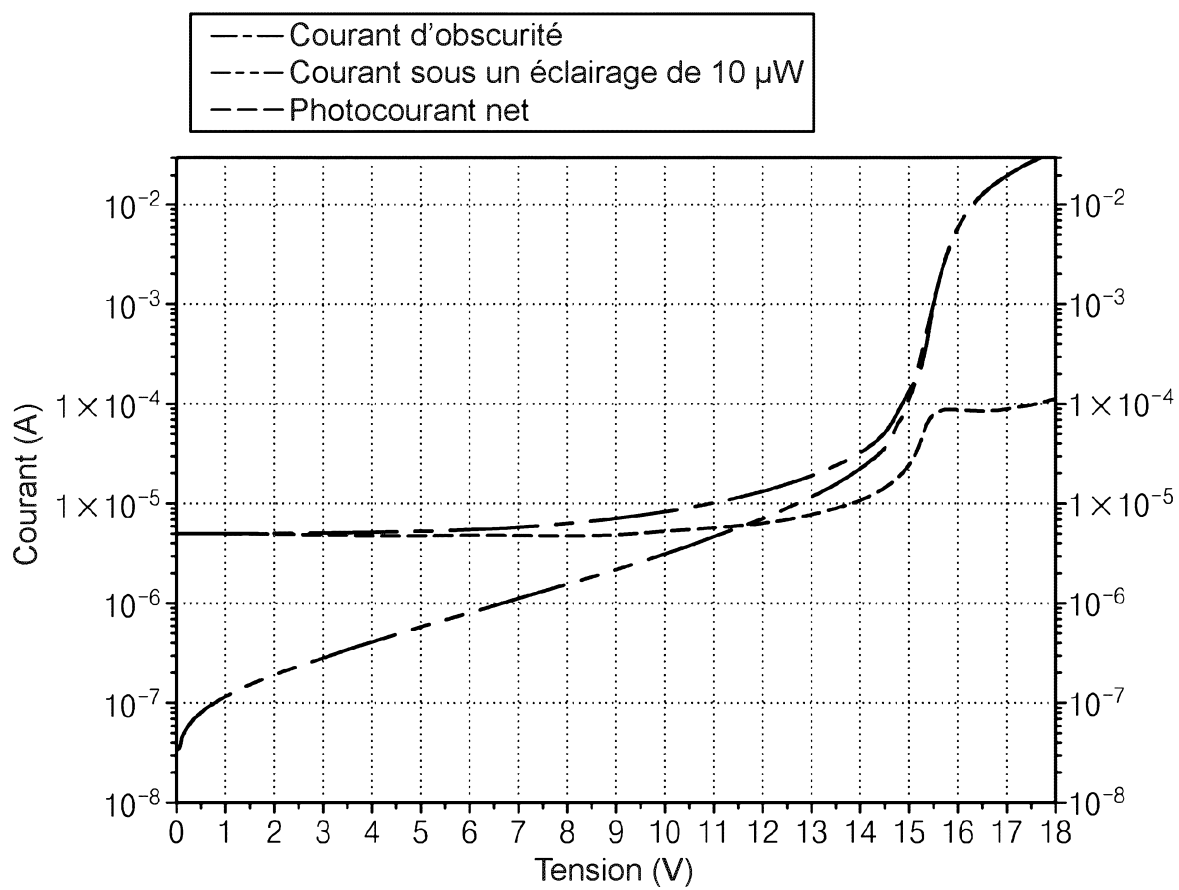


Fig. 2

2/7

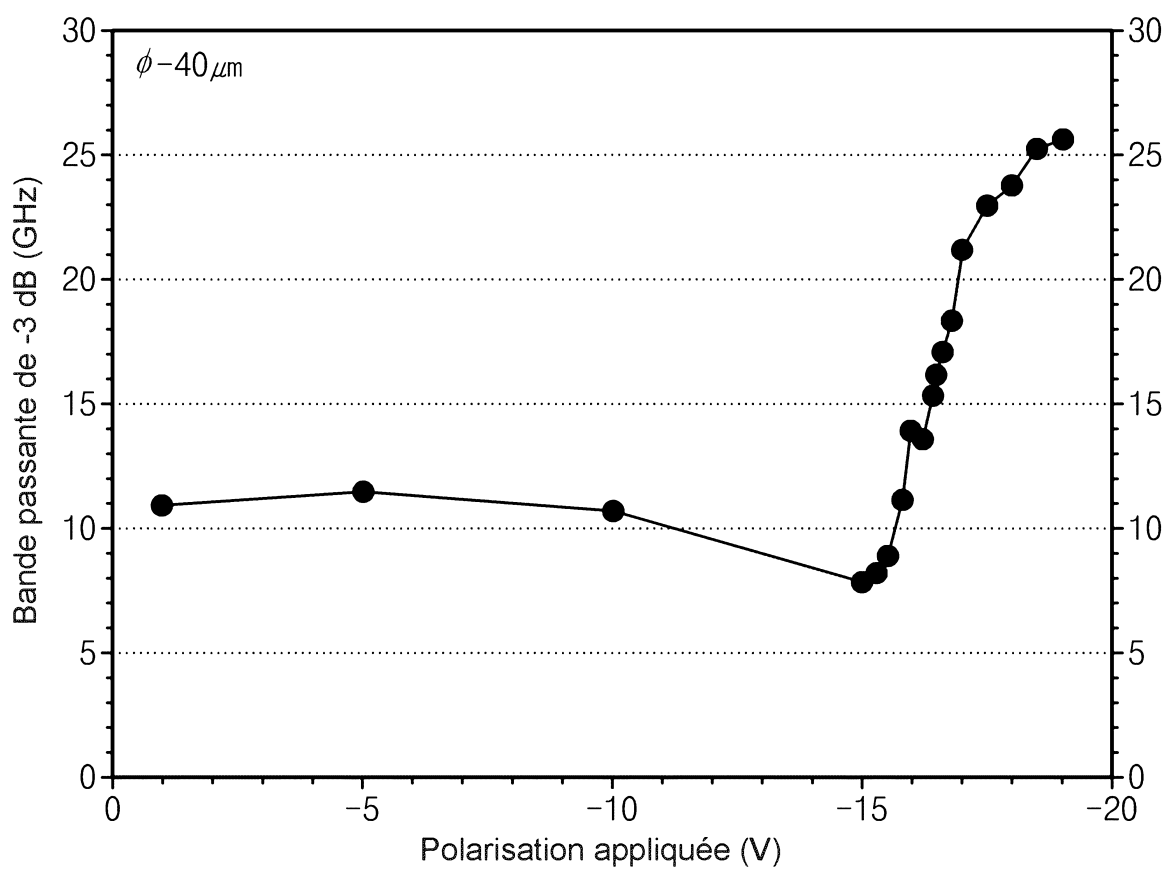


Fig. 3

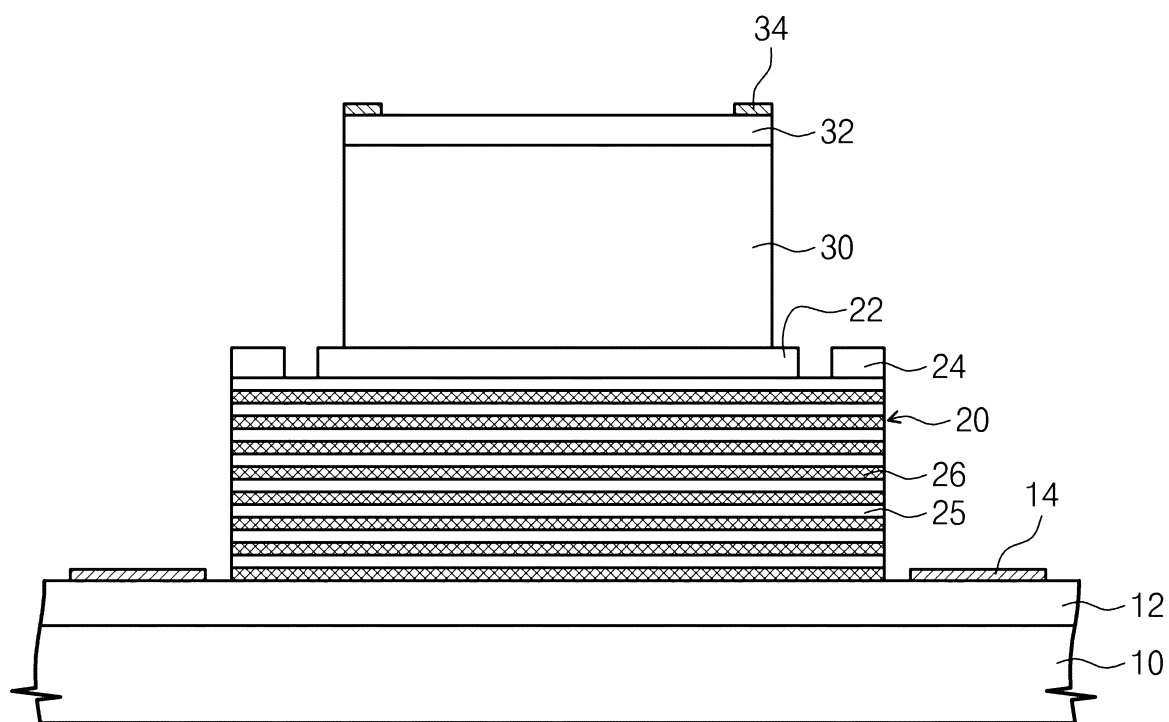


Fig. 4

3/7

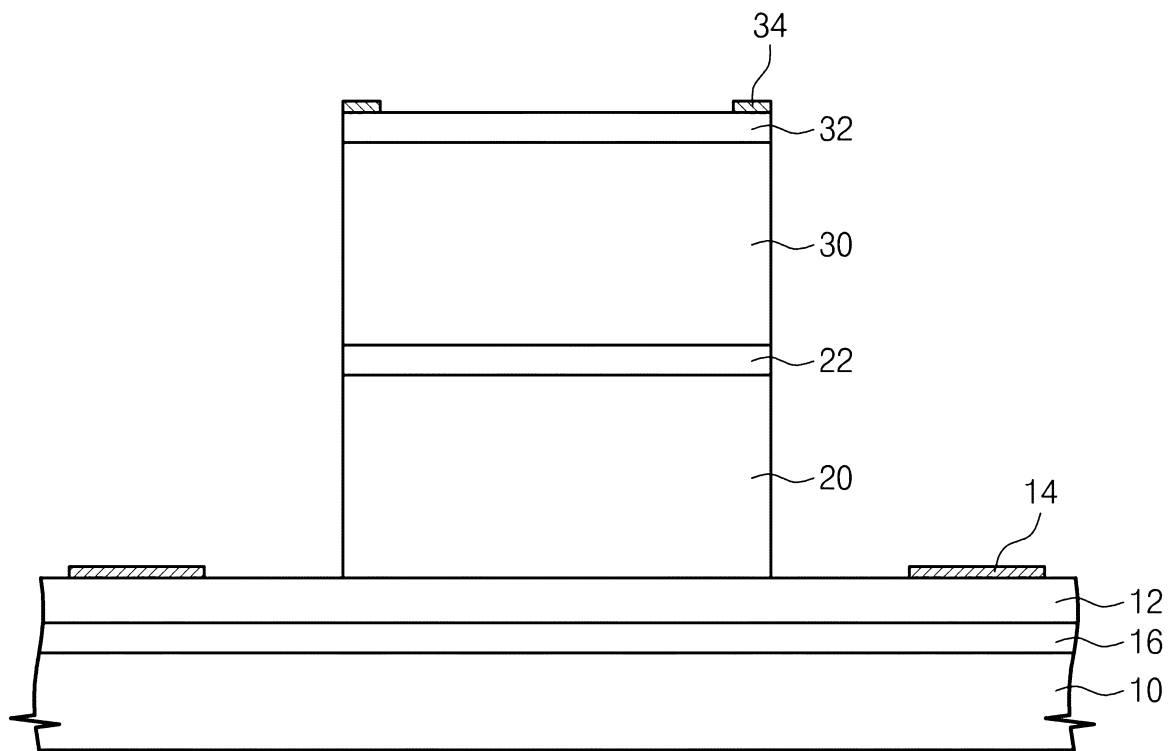


Fig. 5

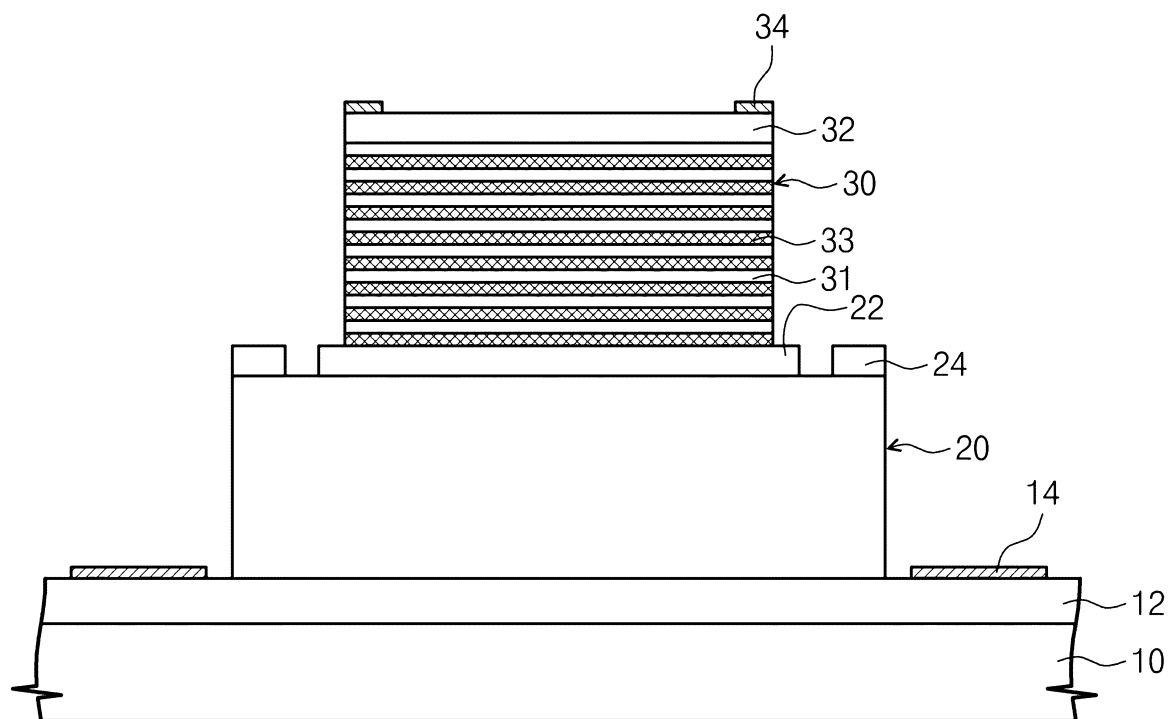


Fig. 6

4/7

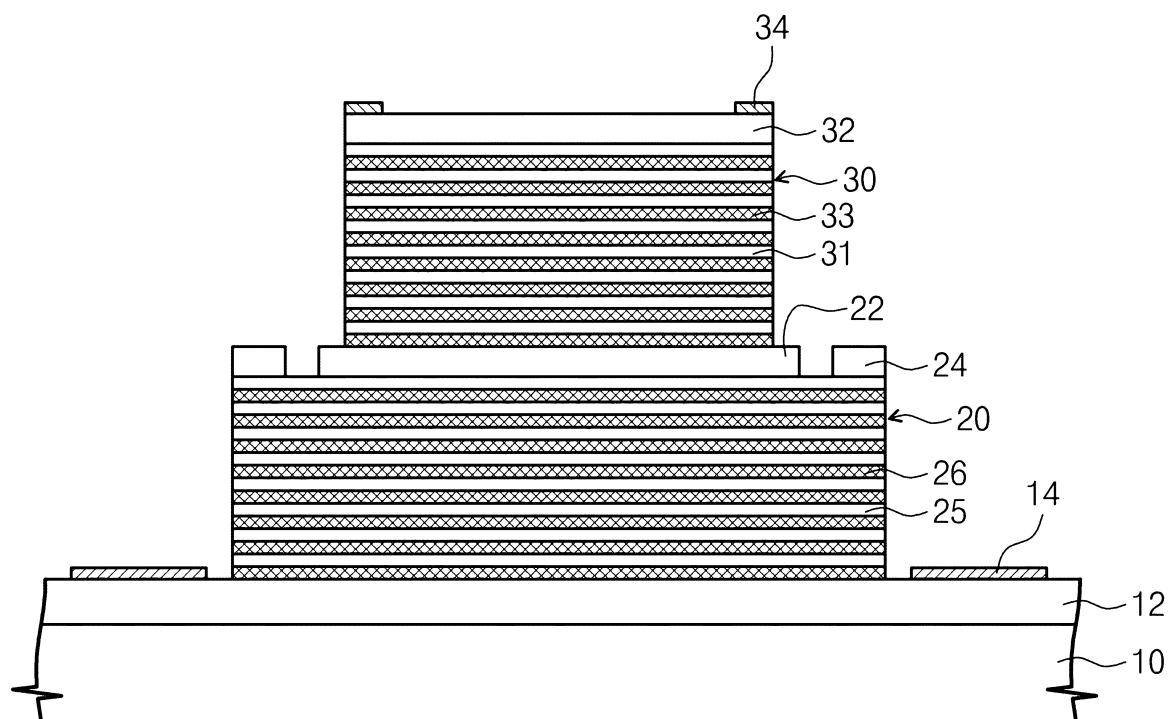


Fig. 7

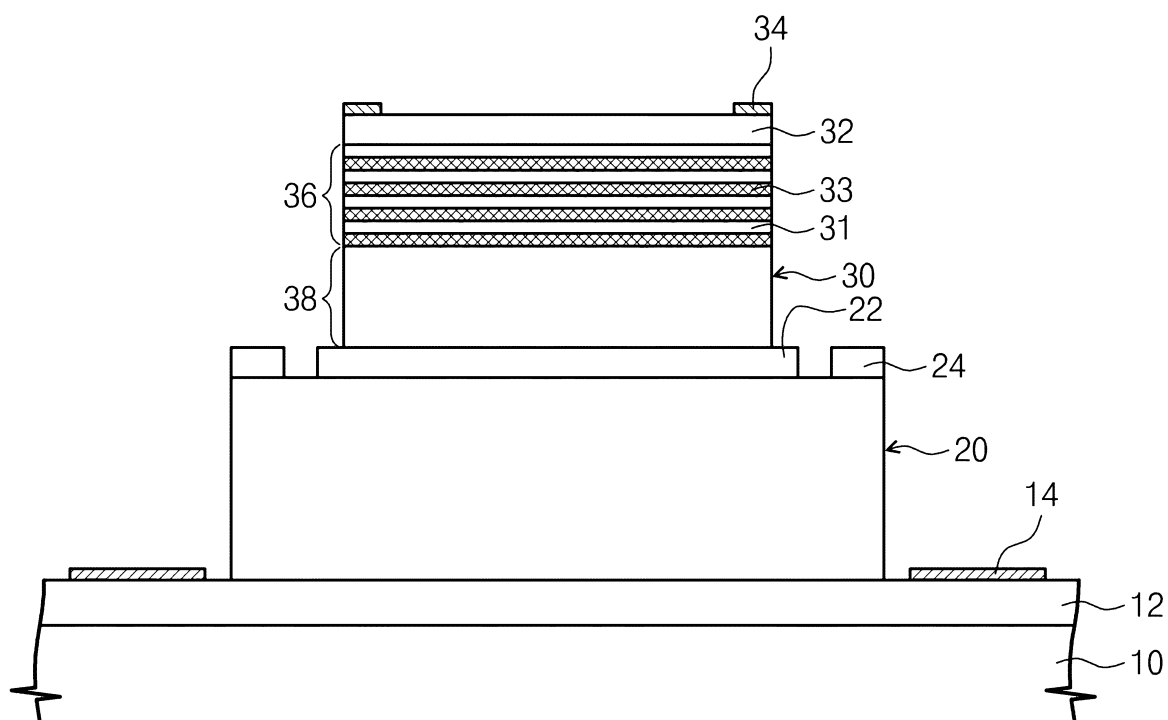


Fig. 8

5/7

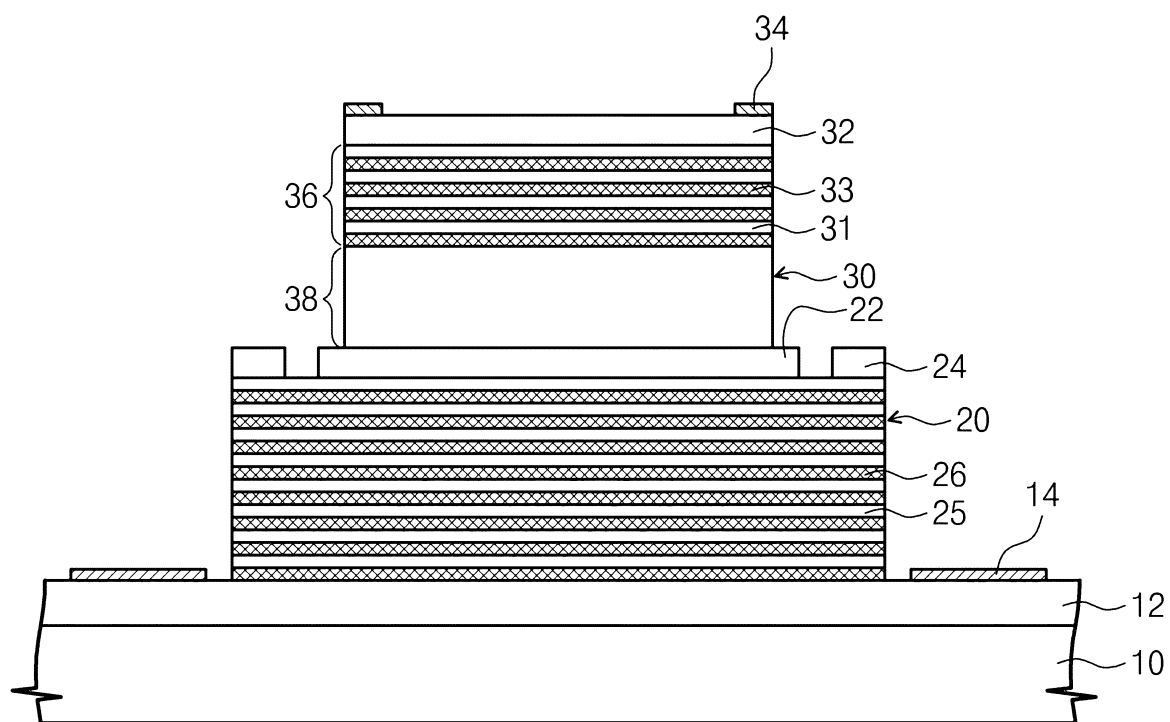


Fig. 9

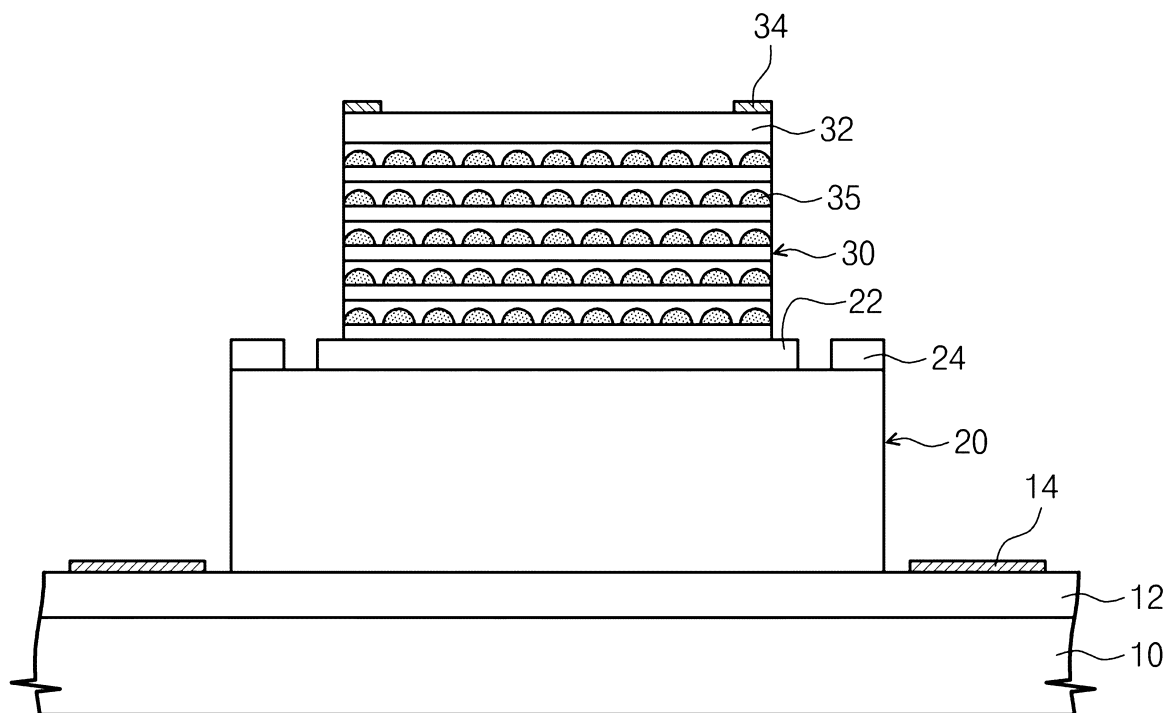


Fig. 10

6/7

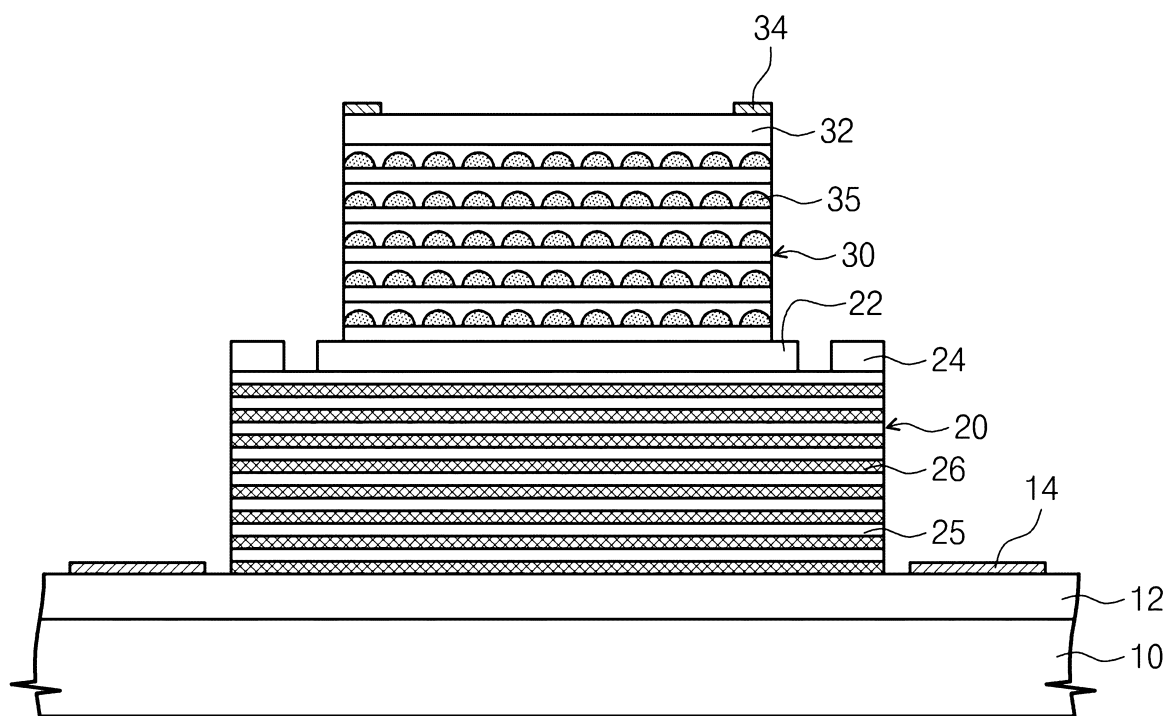


Fig. 11

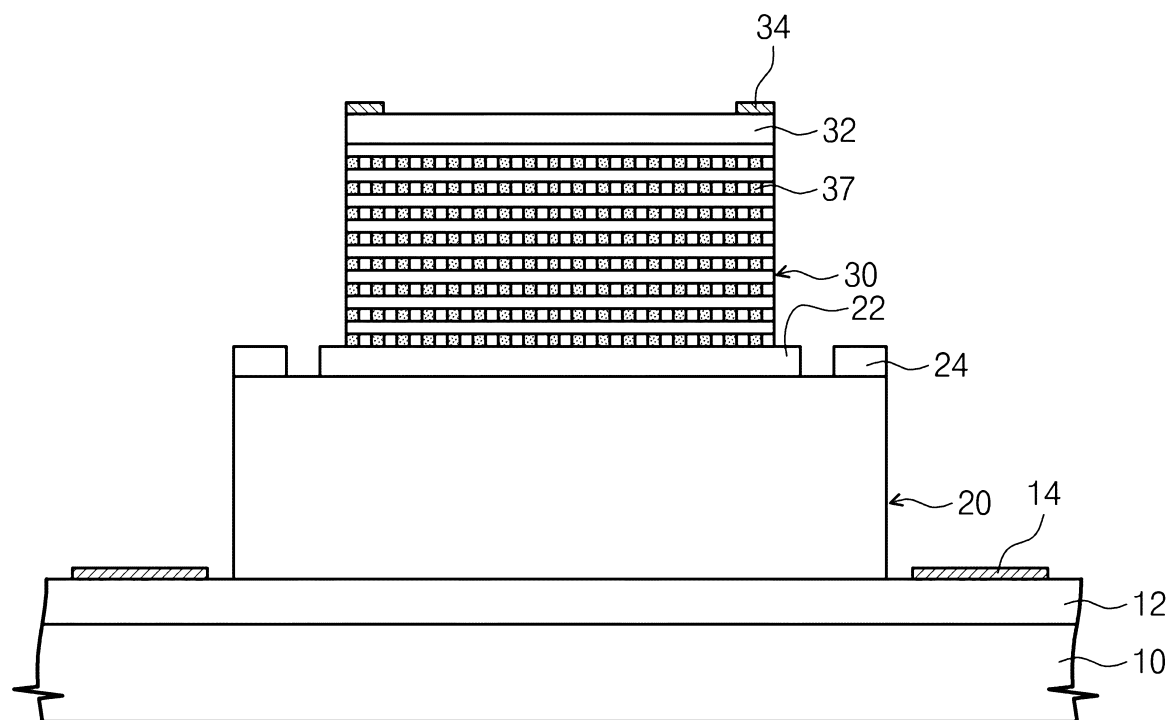


Fig. 12

717

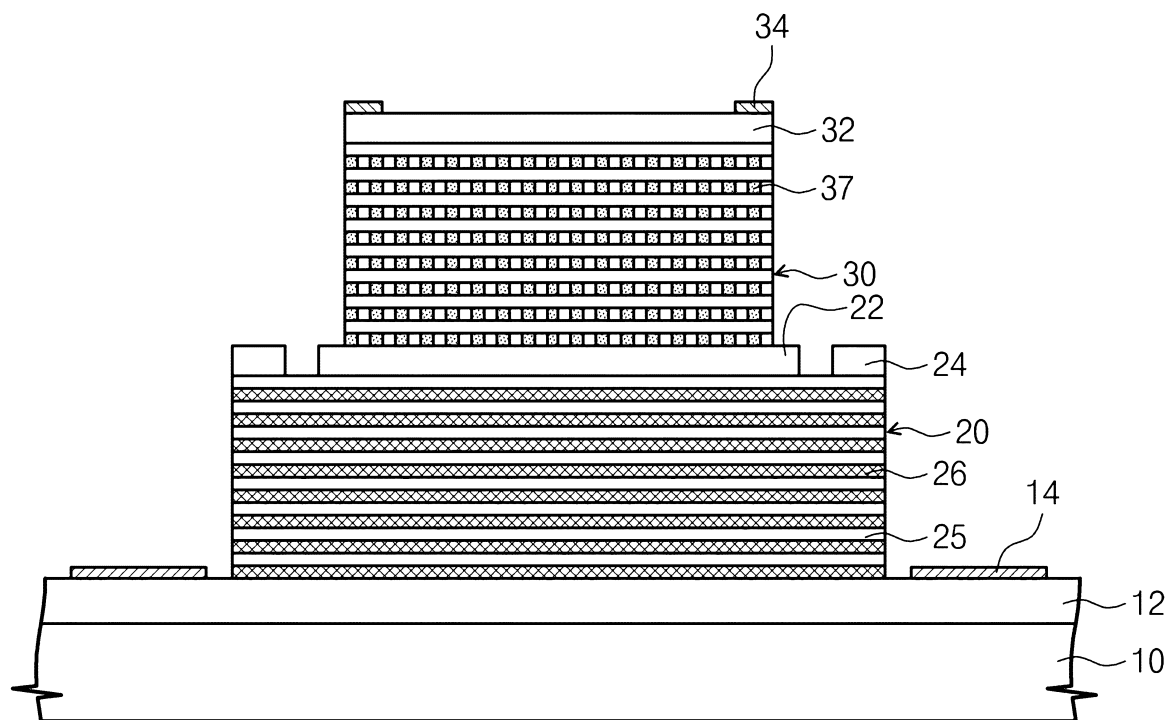


Fig. 13

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.



**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2006289957 A1 (MORSE MICHAEL T [US] ET AL.)  
28 décembre 2006 (2006-12-28)

Yimin Kang et al., "Monolithic germanium/silicon avalanche photodiodes with 340 GHz gain-bandwidth product", Nature Photonics, Jan. 2009, pp. 59-63, vol. 3,  
Macmillan Publishers Limited XP055081675

US 2005051861 A1 (SHI JIN-WEI [TW] ET AL.)  
10 mars 2005 (2005-03-10)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT