Composant électronique, procédé de fabrication et utilisation de graphène dans un composant électronique

La présente invention concerne le domaine des composants électroniques, et en particulier un composant électronique comprenant au moins deux couches conductrices ou semi-conductrices superposées couplées électroniquement et/ou magnétiquement.

Des composants électroniques comprennent des couches superposées incluant des couches conductrices, semiconductrices et/ou isolantes pouvant présenter entre elles un couplage électronique et/ou magnétique. Ces différentes couches peuvent être ferromagnétiques, antiferromagnétiques ou amagnétiques ainsi que organiques ou inorganiques.

De tels composants électroniques peuvent définir par exemple une jonction tunnel, une jonction tunnel magnétique, une vanne de spin, un memristor, une jonction à base de semiconducteurs, une interface abrupte conducteur/semi-conducteur, une interface abrupte conducteur/conducteur entre deux conducteurs magnétiques et/ou amagnétiques ou une interface abrupte conducteur/isolant.

Lors du fonctionnement ou de la fabrication, de tels composants électroniques peuvent atteindre des températures élevées et/ou sont soumis à des champs électriques élevés. Ceci favorise la migration d'espèces entre les couches de ces composants électroniques. Il en résulte une perte de performances.

Pour éviter la diffusion lors d'étapes de dépôt des couches ou de recuit, il est possible de limiter la température de dépôt des couches ou de recuit.

Pour éviter la diffusion lors du fonctionnement, il est possible de limiter la température et/ou le champ électrique lors du fonctionnement.

Néanmoins, ces solutions ne sont pas satisfaisantes dans la mesure où elles constituent des contraintes dans la conception des composants électroniques et sont susceptibles de limiter les performances du composant électronique.

Un objet de l'invention est de proposer un composant électronique dans lequel les phénomènes de diffusion d'espèce entre deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement soient au moins limités.

A cet effet, l'invention propose un composant comprenant au moins deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement et/ou magnétiquement, au moins une couche de graphène interposée entre les couches conductrices ou semi-conductrices, de telle sorte que les couches conductrices ou semi-conductrices sont couplées électroniquement et/ou magnétiquement au travers de l'épaisseur de la ou chaque couche de graphène.

Selon d'autres modes de réalisation, le composant électronique comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou selon l'une quelconque des combinaisons techniquement possibles :

- les deux couches couplées sont deux couches conductrices ;
- les deux couches conductrices couplées sont amagnétiques et présentent entre elles un couplage électronique au travers de l'épaisseur de la ou chaque couche de graphène ;
- les deux couches conductrices couplées sont ferromagnétiques ou antiferromagnétiques et présentent entre elles un couplage électronique et/ou magnétique au travers de l'épaisseur de la ou chaque couche de graphène.
- les deux couches couplées sont une couche conductrice et une couche semi-conductrice ;
- les deux couches couplées sont chacune en contact d'une face respective de la couche de graphène ;
- il comprend en outre au moins une couche intermédiaire interposée entre les couches couplées ;
- la ou chaque couche intermédiaire est une couche électriquement isolante ou semi-conductrice ;
- il comprend au moins deux couches intermédiaires ;
- il comprend au moins une couche de graphène interposée entre deux couches intermédiaires ;
- une couche couplée et une couche intermédiaire sont chacune en contact d'une face respective d'une couche de graphène ; et
- la ou chaque couche de graphène est formée d'un seul film de graphène.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un composant électronique comprenant une première couche conductrice ou semi-conductrice et une deuxième couche conductrice ou semi-conductrice couplées électroniquement et/ou magnétiquement au travers de l'épaisseur d'une couche de graphène, comprenant les étapes de :

- fournir la première couche,
- déposer au moins une couche de graphène sur la première couche, et
- déposer la deuxième couche par-dessus la couche de graphène, de manière que la ou chaque couche de graphène sépare la première couche et la deuxième couche.

L'invention concerne encore l'utilisation d'une couche de graphène interposée entre deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement et/ou magnétiquement d'un composant électronique pour empêcher la diffusion d'espèces entre

les deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement et/ou magnétiquement au travers de l'épaisseur de la couche de graphène.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemples non limitatifs, faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels les figures 1 à 5 sont des vues schématiques en coupe de composants électroniques selon différents modes de réalisation conformes à l'invention.

Le composant électronique 2 représenté sur la figure 1 comprend deux électrodes 4 métalliques séparées par au moins une couche intermédiaire 6 isolante électriquement interposée entre les deux électrodes 4, ici une seule couche intermédiaire 6.

Les électrodes 4 sont formées par des couches conductrices disposées de part et d'autre de la couche intermédiaire 6. Les électrodes 4 sont couplées électroniquement et/ou magnétiquement au travers de la couche intermédiaire 6.

Deux couches sont couplées électroniquement lorsqu'elles sont propres à échanger des électrons entre elles. Des d'électrons sont susceptibles de passer directement d'une couche à l'autre.

Deux couches sont couplées magnétiquement lorsqu'au moins une des couches exerce une influence magnétique sur l'autre.

Les deux électrodes 4 sont constituées du même matériau ou de matériaux différents.

Les couches formant le composant électronique 2 sont parallèles entre elles et empilées suivant une direction d'empilement E perpendiculaire aux couches.

Le composant électronique 2 définit une jonction tunnel simple conducteur/isolant/conducteur non magnétique lorsque le couplage entre les électrodes est simplement électronique ou une jonction tunnel magnétique conducteur/isolant/conducteur lorsque les électrodes 4 sont ferromagnétiques et que le couplage est électronique et magnétique.

Le composant électronique 2 comprend en outre au moins une couche de graphène 8 interposée entre chaque électrode 4 et la couche intermédiaire 6 et séparant l'électrode 4 de la couche intermédiaire 6.

La couche de graphène 8 est formée d'un ou plusieurs film(s) de graphène superposés.

Le graphène est un cristal bidimensionnel monoplan de carbone. Un film de graphène présente une épaisseur monoatomique. Un tel film est extrêmement fin tout en formant une barrière de diffusion efficace contre le passage de molécules, d'atomes, et d'ions. Une couche de graphène définit donc une barrière anti-diffusion.

La couche de graphène 8 interposée entre chaque électrode 4 et la couche intermédiaire 6 définit une barrière très efficace contre la diffusion d'espèces entre les matériaux de l'électrode 4 et de la couche intermédiaire 6, tout en permettant le couplage électronique et/ou magnétique entre les électrodes 4 au travers de l'épaisseur de chaque couche de graphène 8, du fait de la très grande finesse de la couche de graphène.

Le composant électronique 2 de la figure 1 comprend une couche de graphène 8 interposée entre chaque électrode 4 et l'isolant 6.

Dans une variante, le composant électronique 2 comprend une couche de graphène entre l'une des électrodes et la couche intermédiaire, l'autre électrode étant en contact avec la couche intermédiaire.

Le composant électronique 2 de la figure 2 diffère de la celui de la figure 1 en ce que la couche intermédiaire isolante électriquement est remplacée par une couche intermédiaire 6 conductrice ou semi-conductrice.

Le composant électronique 2 définit une jonction conducteur/conducteur/conducteur ou une jonction conducteur/semi-conducteur/conducteur.

Dans un mode de réalisation, les électrodes 4 sont magnétiques, et le composant électronique 2 de la figure 2 définit une vanne de spin ou une jonction tunnel magnétique.

Dans un autre mode de réalisation, le composant électronique 2 définit une diode électroluminescente, en particulier une diode électroluminescente organique ou OLED. Dans ce cas, la couche intermédiaire 6 est une couche semi-conductrice organique électroluminescente et les électrodes métalliques 4 peuvent être magnétiques ou amagnétiques.

Une électrode amagnétique est réalisée par exemple en conducteur amagnétique ou en alliage conducteur amagnétique. Une électrode amagnétique est réalisée par exemple en aluminium (Al), or (Au), cuivre (Cu), argent (Ag), mercure (Hg), lithium (Li), platine (Pt), d'oxyde d'indium-étain (ITO) ou en alliage de ceux-ci ou en graphene/graphite.

Une électrode ferromagnétique est réalisée par exemple en métal ferromagnétique, tel que Cobalt (Co), Nickel (Ni), fer (Fe) ou en alliage de métaux ferromagnétiques Cobalt-Fer-Bore (CoFeB), Nickel-Fer (NiFe), ou en oxyde métallique tel que des manganites ((La, Sr)MnO_3) ou en alliages d'Heusler tel que Co2MnSi, Co2MnGe ou Co2FeAl(1-x)Si(x).

Une couche intermédiaire 6 conductrice est réalisée par exemple en métal ou en alliage métallique, tels que l'or (Au), le cuivre (Cu), le ruthénium (Ru) et l'argent (Ag).

Une couche intermédiaire 6 isolante ou semi-conductrice est organique ou inorganique. Un composant peut comprend plusieurs couches intermédiaires 6 organique(s) et/ou inorganique(s).

Une couche intermédiaire 6 isolante ou semi-conductrice organique est formée par exemple de tris(8-hydroxyquinoline)aluminum(III) (Alq3), d'anthracène, de polymères tels que du poly(para-phénylène-vinylène) (PPV) ou du polyfluorène (PFO) et/ou de monocouches autoassemblées (« Self Assembled MonolayerS » en anglais) telles que des alcane-thiols ou de tout autre matériau organique ou combinaison de ceux-ci.

Le composant électronique 2 de la figure 3 diffère de celui de la figure 1 en ce qu'il comprend deux couches intermédiaires 6 isolantes électriquement interposées entre les électrodes 4 métalliques.

Les couches intermédiaires 6 sont séparées par une couche de graphène 8 interposée entre les couches intermédiaires 6.

Le composant électronique 2 comprend ainsi une couche de graphène 8 entre chaque électrode 4 et la couche intermédiaire 6 adjacente à cette électrode 4, et une couche de graphène 8 entre les couches intermédiaires 6.

En variante, le composant électronique 2 comprend uniquement une couche de graphène 8 interposée entre une des électrodes 4 et la couche intermédiaire 6 adjacente ou entre les couches intermédiaire 6.

Dans une autre variante, le composant électronique 2 comprend deux couches de graphène 8 chacune interposée entre une électrode 4 respective et la couche intermédiaire adjacente 6, ou interposées entre une électrode 4 et la couche intermédiaire 6 adjacente et entre les couches intermédiaires 6.

Le composant électronique 2 de la figure 4 comprend un empilement d'une couche conductrice 10 et une couche semi-conductrice 12 séparées par une couche de graphène 8 interposée entre la couche conductrice 10 et la couche semi-conductrice 12. La couche conductrice 10 et la couche semi-conductrice 12 sont chacune en contact avec une face respective la couche de graphène 8 de part et d'autre de celle-ci

La couche conductrice 10 et la couche semi-conductrice 12 définissent entre elles une interface abrupte et sont couplées électroniquement.

Le composant électronique 2 de la figure 5 comprend un empilement de deux couches magnétiques 14, 16 superposées séparées par une couche de graphène 8 interposée entre les couches conductrices 14. Les couches magnétiques 14, 16 sont chacune en contact avec une face respective de la couche de graphène 8 de part et d'autre de celle-ci.

Les couches magnétiques 14 et 16 définissent entre elles une interface abrupte et sont couplées magnétiquement.

Dans un mode de réalisation, une couche magnétique 14 dure est réalisée dans matériau magnétique plus dur que l'autre couche magnétique 16 douce.

La couche magnétique 14 dure est réalisée par exemple en fer (Fe), cobalt (Co) ou nickel (Ni).

La couche magnétique 16 douce est réalisée par exemple en alliage cobalt-fer-bore (CoFeB).

Dans un mode de réalisation, une couche magnétique 14 est réalisée en matériau ferromagnétique et l'autre couche magnétique 16 est réalisée en matériau antiferromagnétique.

La couche magnétique 16 antiferromagnétique est réalisée par exemple en iridium-manganèse (IrMn), en oxyde de cobalt (CoO) ou en ferrite de bismuth (BiFeO3).

Un procédé de fabrication d'un composant électronique comprenant une première couche conductrice ou semi-conductrice et une deuxième couche conductrice ou semi-conductrice couplées électroniquement et/ou magnétiquement au travers de l'épaisseur d'une couche de graphène, comprend les étapes de :

- fournir la première couche,
- déposer au moins une couche de graphène la première couche, et
- déposer la deuxième couche par-dessus la couche de graphène, de manière que la ou chaque couche de graphène sépare la première couche et la deuxième couche.

Dans un mode de mise en oeuvre, le procédé comprend, avant l'étape de déposer la ou chaque couche de graphène sur la première couche, une étape de déposer une couche intermédiaire sur la première couche.

Dans un mode de mise en oeuvre, le procédé comprend, avant l'étape de déposer la deuxième couche, une étape de déposer une couche intermédiaire par dessus la ou chaque couche de graphène, et en option une étape supplémentaire de déposer au moins une couche de graphène additionnelle sur la couche intermédiaire.

Un film de graphène d'épaisseur monoatomique peut être formé de manière connue. Selon une première méthode connue, un film de graphène d'épaisseur monoatomique est déposé directement sur une électrode par dépôt en phase vapeur. Cette méthode est connue sous le nom de « chemical vapor deposition » en anglais. Selon une deuxième méthode connue, un film de graphène est obtenu par exfoliation d'un cristal de graphite. Dans les deux cas le film peut être ensuite transféré sur une couche du composant électronique.

Dans les composants électroniques décrits, au moins une couche de graphène est interposée entre deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement, ce qui permet d'empêcher ou au moins de limiter la diffusion d'espèces entre ces couches. Les couches conductrices ou semi-conductrices restent couplées électroniquement au travers de l'épaisseur de la ou chaque couche de graphène.

Dans les exemples décrits, les couches de graphène sont formées d'un seul film de graphène d'épaisseur monoatomique. Il est possible d'interposer une couche de graphène formée de plusieurs films de graphène superposés.

L'invention s'applique aux composants électroniques en général et aux jonctions en particulier. A titre d'exemple non limitatif, l'invention permet de former jonction tunnel magnétiques ou non, des vannes de spin, des memristors, … etc

REVENDICATIONS

1.- Composant électronique (2) comprenant au moins deux couches conductrices ou semi-conductrices (4 ;10 ,12 ;14,16) superposées et au moins une couche de graphène (8) interposée entre les couches conductrices ou semi-conductrices (4 ;10 ,12 ;14,16), caractérisé en ce que les couches conductrices ou semi-conductrices (4 ;10 ,12 ;14,16) sont couplées électroniquement au travers de l'épaisseur de la ou chaque couche de graphène (8), de sorte que les couches couplées sont propres à échanger des électrons entre elles au travers de la ou chaque couche de graphène (8).

2.- Composant électronique (2) selon la revendication 1, dans lequel les deux couches couplées sont deux couches conductrices.

3.- Composant électronique (2) selon la revendication 2, dans lequel les deux couches conductrices (4 ;10 ,12 ;14,16) couplées sont amagnétiques.

4. Composant électronique (2) selon la revendication 2, dans lequel les deux couches conductrices (4 ;10 ,12 ;14,16) couplées sont ferromagnétiques ou antiferromagnétiques.

5.- Composant électronique (2) selon la revendication 1, dans lequel les deux couches (4 ;10 ,12 ;14,16) couplées sont une couche conductrice et une couche semi-conductrice.

6.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les deux couches (4 ;10 ,12 ;14,16) couplées sont chacune en contact d'une face respective de la couche de graphène (8).

7.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre au moins une couche intermédiaire (6) interposée entre les couches (4 ;10 ,12 ;14,16) couplées.

8.- Composant électronique (2) selon la revendication 7, dans lequel, la ou chaque couche intermédiaire (6) est une couche électriquement isolante ou semi-conductrice.

9.- Composant électronique (2) selon la revendication 7 ou 8 comprenant au moins deux couches intermédiaires (6).

10.- Composant électronique (2) selon la revendication 9, comprenant au moins une couche de graphène interposée entre deux couches intermédiaires (6).

11.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, dans lequel une couche (4 ;10 ;12 ;14 ;16) couplée et une couche intermédiaire (6) sont chacune en contact d'une face respective d'une couche de graphène (8).

12.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la ou chaque couche de graphène est formée d'un seul film de graphène.

13.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les deux couches couplées sont couplées magnétiquement.

14.- Composant électronique (2) selon l'une quelconque des revendications précédentes, définissant une jonction tunnel simple ou magnétique, en particulier une jonction tunnel simple conducteur/isolant/conducteur, une jonction tunnel magnétique conducteur/isolant/conducteur, ou une jonction conducteur/conducteur/conducteur ou une jonction conducteur/semi-conducteur/conducteur ou une vanne de spin ou une diode électroluminescente, en particulier une diode électroluminescente organique (OLED).

15.- Procédé de fabrication d'un composant électronique comprenant une première couche conductrice ou semi-conductrice et une deuxième couche conductrice ou semi-conductrice couplées électroniquement au travers de l'épaisseur d'une couche de graphène, comprenant les étapes de :

- fournir la première couche,
- déposer au moins une couche de graphène sur la première couche, et
- déposer la deuxième couche par-dessus la couche de graphène, de manière que la ou chaque couche de graphène sépare la première couche et la deuxième couche.

16.- Utilisation d'une couche de graphène interposée entre deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement d'un composant électronique pour empêcher la diffusion d'espèces entre les deux couches conductrices ou semi-conductrices couplées électroniquement au travers de l'épaisseur de la couche de graphène.