
Nanotechnologies — Vocabulaire —
Partie 13:
Graphène et autres matériaux
bidimensionnels

Nanotechnologies — Vocabulary —

Part 13: Graphene and related two-dimensional (2D) materials

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 80004-13:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 80004-13:2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c87af206afb/iso-ts-80004-13-2017)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c87af206afb/iso-ts-80004-13-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-Propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
3.1 Termes relatifs aux matériaux.....	1
3.1.1 Termes généraux relatifs aux matériaux bidimensionnels.....	1
3.1.2 Termes relatifs au graphène.....	3
3.1.3 Termes relatifs à d'autres matériaux bidimensionnels.....	5
3.2 Termes relatifs à des méthodes de production de matériaux bidimensionnels.....	5
3.2.1 Production de graphène et de matériaux bidimensionnels similaires.....	5
3.2.2 Production de nanorubans.....	8
3.3 Termes relatifs aux méthodes de caractérisation de matériaux bidimensionnels.....	9
3.3.1 Méthodes de caractérisation structurelle.....	9
3.3.2 Méthodes de caractérisation chimique.....	11
3.3.3 Méthodes de caractérisation électrique.....	12
3.4 Termes relatifs aux caractéristiques des matériaux bidimensionnels.....	14
3.4.1 Caractéristiques et termes relatifs aux propriétés structurelles et dimensionnelles (tous les termes relatifs à la mécanique ont été supprimés au stade DIS) des matériaux bidimensionnels.....	14
3.4.2 Caractéristiques et termes relatifs aux propriétés chimiques des matériaux bidimensionnels.....	16
3.4.3 Caractéristiques et termes relatifs aux propriétés électriques et optiques des matériaux bidimensionnels.....	17
4 Symboles et termes abrégés	17
Bibliographie	18
Index	19

Avant-Propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

(standards.iteh.ai)

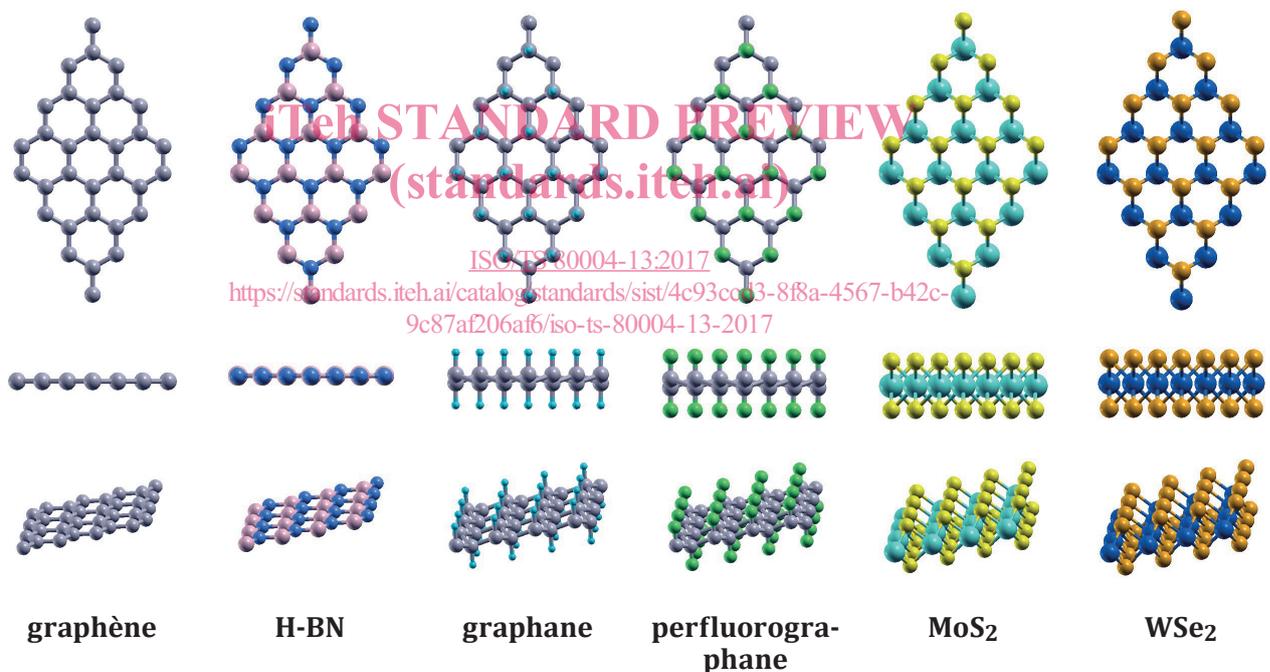
Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 229, *Nanotechnologies*, et le comité technique IEC/TC 113, *Nanotechnologies relatives aux appareils et systèmes électrotechnologiques*.

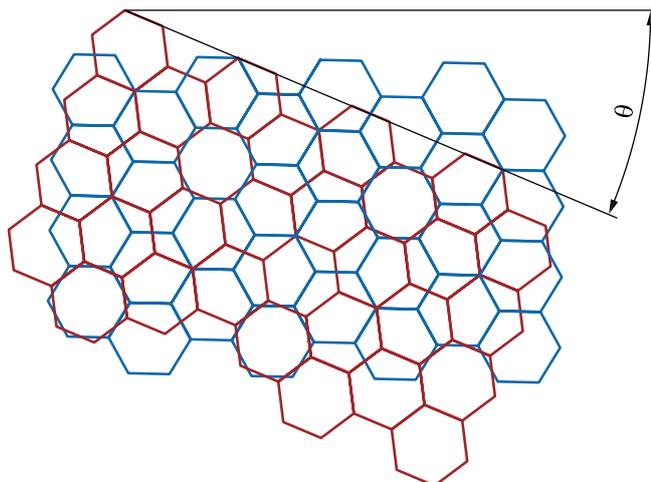
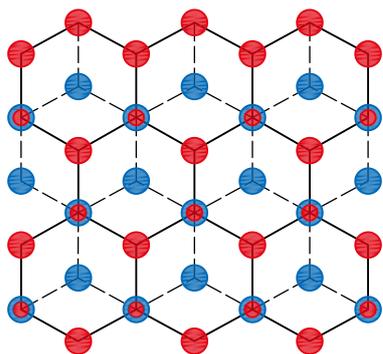
Une liste de toutes les parties de la série ISO 80004 se trouve sur le site Web de l'ISO.

Introduction

Au cours des dix dernières années, le graphène a suscité un intérêt considérable, aussi bien sur le plan scientifique que commercial, grâce aux nombreuses propriétés exceptionnelles qui lui sont associées, telles que la conductivité électrique et thermique. Plus récemment, d'autres matériaux disposant d'une structure similaire à celle du graphène ont également montrés des propriétés prometteuses, comme les versions monocouches et à quelques couches de la nitrure de bore hexagonal (H-BN), du disulfure de molybdène (MoS_2), du diséléniure de tungstène (WSe_2), du silicène et du germanène ainsi que les assemblages en couches de ces matériaux. L'épaisseur de ces matériaux est à l'échelle nanométrique ou inférieure et ils sont constitués d'une ou plusieurs couches. Ces matériaux sont par conséquent appelés matériaux bidimensionnels (2D) étant donné qu'une de leurs dimensions est à l'échelle nanométrique ou inférieure, tandis que les deux autres dimensions sont généralement à des échelles plus grandes. Un matériau à couches est constitué de couches bidimensionnelles empilées et faiblement liées ensemble pour former des structures tridimensionnelles. La [Figure 1](#) montre des exemples de matériaux bidimensionnels et les différentes configurations d'empilement du graphène. Il convient de prendre note qu'en réalité les matériaux bidimensionnels ne sont pas nécessairement plats du point de vue topographique et peuvent avoir une structure courbée. Ils peuvent également former des agrégats et des agglomérats susceptibles d'avoir des morphologies différentes. Les matériaux bidimensionnels constituent un sous-ensemble important des nanomatériaux.

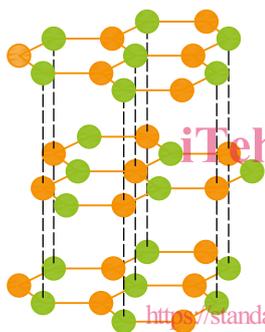


a) Exemples de matériaux bidimensionnels différents constitués d'éléments et de structures différents, représentés par des sphères colorées et des vues de dessus et en coupe



b) Graphène bicouche en empilement de Bernal (3.1.2.6)

c) Graphène bicouche turbostratique ou bicouche désaxé avec un angle d'empilement relatif θ (3.1.2.7)

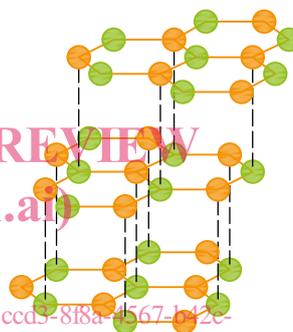


STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 80004-13:2017

<http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd5-8f8a-4567-b42c-9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017>

Tricouche ABA



Tricouche ABC

d) Graphène tricouche (3.1.2.9) en empilement Bernal (AB) (3.4.1.10) et graphène tricouche (3.1.2.9) en empilement rhomboédrique (ABC) (3.4.1.11)

Figure 1 — Exemples de matériaux bidimensionnels et des différentes configurations d'empilement des couches du graphène

Il est important de normaliser au niveau international la terminologie pour le graphène, ses dérivés et les matériaux bidimensionnels connexes, étant donné que le nombre de publications, de brevets et d'organisations ne cessent d'augmenter. Par conséquent, la commercialisation et la vente de ces matériaux dans le monde entier demandent un vocabulaire associé.

Le présent document fait partie d'un vocabulaire constitué de plusieurs parties et traitant des différents aspects des nanotechnologies. Il tire parti des normes ISO/TS 80004-3, ISO/TS 80004-11 et ISO/TS 80004-6 et utilise des définitions existantes dans la mesure du possible.

Nanotechnologies — Vocabulaire —

Partie 13: Graphène et autres matériaux bidimensionnels

1 Domaine d'application

Le présent document énumère les termes et les définitions pour le graphène et les matériaux bidimensionnels (2D) similaires, et inclut les termes relatifs aux méthodes de production, aux propriétés et aux caractérisations.

Le présent document est destiné à faciliter la communication entre différents organismes et membres de la recherche, de l'industrie, d'autres parties intéressées, et leurs interlocuteurs.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1 Termes relatifs aux matériaux

3.1.1 Termes généraux relatifs aux matériaux bidimensionnels

3.1.1.1

matériau bidimensionnel

matériau 2D

matériau constitué d'une ou plusieurs *couches* (3.1.1.5), les atomes de chaque couche étant fortement liés aux atomes voisins sur cette même couche, possédant une dimension, son épaisseur, à l'échelle nanométrique ou inférieure et les deux autres dimensions généralement à des échelles plus grandes

Note 1 à l'article: Le nombre de couches nécessaires pour qu'un matériau bidimensionnel devienne un matériau massif varie en fonction du matériau mesuré et de ses propriétés. Dans le cas des *couches de graphène* (3.1.2.1), il s'agit d'un matériau bidimensionnel d'une épaisseur allant jusqu'à 10 couches pour les mesures électriques,^[10] au-delà desquelles les propriétés électriques du matériau ne sont plus différentes de celles du matériau massif [également connu en tant que *graphite* (3.1.2.2)].

Note 2 à l'article: Une liaison intercouche est distincte et plus faible qu'une liaison intracouche.

Note 3 à l'article: Chaque couche peut contenir plus d'un élément.

Note 4 à l'article: Un matériau bidimensionnel peut être une *nanoplaque* (3.1.1.2).

3.1.1.2

nanoplaque

nano-objet ayant une dimension externe à l'échelle nanométrique et les deux autres dimensions externes significativement plus grandes

Note 1 à l'article: Les dimensions externes les plus grandes ne sont pas nécessairement à l'échelle nanométrique.

[SOURCE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.6]

3.1.1.3

nanofeuillet

nanofeuille

nanoplaque (3.1.1.2) dont les dimensions latérales sont étendues

Note 1 à l'article: Les termes «nanofeuillet» et «nanofeuille» sont utilisés comme des synonymes dans certaines industries.

Note 2 à l'article: Par rapport à une nanoplaque ou à un nanoflocon, un nanofeuillet et une nanofeuille sont plus étendus en termes de longueur et de largeur.

[SOURCE: ISO/TS 80004-11:2017, 3.2.1.1]

3.1.1.4

nanoruban

nanobande

nanoplaque (3.1.1.2) dont les deux plus grandes dimensions sont significativement différentes l'une de l'autre

iTeh STANDARD PREVIEW

[SOURCE: ISO/TS 80004-2:2015, 4.10] (standards.iteh.ai)

3.1.1.5

couche

matériau discret limité dans une seule dimension, au sein ou à la surface d'une phase condensée

ISO/TS 80004-13:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4e93ccd2-8f8a-4567-b42c-9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017>

[SOURCE: ISO/TS 80004-11:2017, 3.1.2]

3.1.1.6

point quantique

nanoparticule ou région qui présente un confinement quantique dans les trois directions spatiales

[SOURCE: ISO/TS 80004-12:2016, 4.1]

3.1.1.7

agrégat

particule composée de particules fortement liées ou fusionnées, dont l'aire de la surface externe résultante est significativement plus petite que la somme des aires de surface de chacun des composants

Note 1 à l'article: Les forces assurant la cohésion d'un agrégat sont puissantes, par exemple des liaisons covalentes ou ioniques, ou des forces résultant d'un frittage ou d'un enchevêtrement physique complexe, ou sinon d'anciennes particules primaires combinées.

Note 2 à l'article: Les agrégats sont également appelés particules secondaires et les particules sources initiales sont appelées particules primaires.

[SOURCE: ISO/TS 80004-2:2015, 3.5, modifié – Les Notes 1 et 2 à l'article ont été ajoutées.]

3.1.2 Termes relatifs au graphène

3.1.2.1

graphène

couche de graphène

graphène à couche unique

graphène monocouche

monocouche d'atomes de carbone où chaque atome est lié à trois voisins, dans une structure en nid d'abeilles

Note 1 à l'article: C'est un élément de base important pour beaucoup de nano-objets carbonés.

Note 2 à l'article: Lorsque le graphène possède une couche unique (3.1.1.5), il est parfois appelé graphène monocouche ou bien graphène à couche unique et il est abrégé en 1LG pour le distinguer du *graphène bicouche* (2LG) (3.1.2.6) et du *graphène à quelques couches* (FLG) (3.1.2.10).

Note 3 à l'article: Le graphène possède des bords latéraux et peut avoir des défauts et des joints de grains à l'endroit où la liaison est perturbée.

[SOURCE: ISO/TS 80004-3:2010, 2.11, modifié – Les Notes 2 et 3 à l'article ont été ajoutées.]

3.1.2.2

graphite

forme allotropique du carbone élémentaire, constitué de *couches de graphène* (3.1.2.1) empilées parallèlement les unes aux autres dans un ordre tridimensionnel cristallin à longue portée

Note 1 à l'article: Adaptée de la définition donnée dans l'IUPAC *Compendium of Chemical Terminology*.

Note 2 à l'article: Il existe deux formes allotropiques avec des empilements différents: hexagonale et rhomboédrique.

[SOURCE: ISO/TS 80004-3:2010, 2.12, modifié – La Note 2 à l'article a été ajoutée.]

3.1.2.3

graphane

matériau monocouche constitué d'une feuille bidimensionnelle de carbone et d'hydrogène avec un motif répété de $(CH)_n$

Note 1 à l'article: Le graphane est une forme de graphène totalement hydrogéné avec des liaisons de carbone dans la configuration de liaison sp^3 .

3.1.2.4

perfluorographane

matériau monocouche constitué d'une feuille bidimensionnelle de carbone et de fluor, chaque atome de carbone étant lié à un atome de fluor avec le motif répété de $(CF)_n$

Note 1 à l'article: Le perfluorographane possède des liaisons de carbone dans la configuration de liaison sp^3 .

Note 2 à l'article: Le perfluorographane est parfois appelé «fluorographène».

3.1.2.5

graphène épitaxié

<graphène> *couche de graphène* (3.1.2.1) synthétisée à partir d'un substrat de carbure de silicium

Note 1 à l'article: Le graphène peut être synthétisé par épitaxie à partir d'autres substrats, par exemple Ni(111), mais ces matériaux ne sont pas appelés graphène épitaxié.

Note 2 à l'article: Cette définition spécifique s'applique uniquement dans le champ du graphène. En général, le terme «épitaxié» fait référence à la synthèse épitaxiée d'un film à partir d'un substrat monocristallin.

3.1.2.6

graphène bicouche

2LG

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué de deux *couches de graphène* (3.1.2.1) empilées et bien définies

Note 1 à l'article: Si le mode d'empilement est connu, il peut être spécifié séparément, par exemple comme «graphène bicouche en empilement Bernal».

3.1.2.7

graphène bicouche désaxé

graphène bicouche turbostratique

tBLG

t2LG

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué de deux *couches de graphène* (3.1.2.1) bien définies empilées turbostratiquement, avec un *angle d'empilement* (3.4.1.12) relatif, également connu sous le nom de rotation commensurable, plutôt que l'empilement *Bernal* (hexagonal) (3.4.1.10) ou l'*empilement rhomboédrique* (3.4.1.11)

3.1.2.8

graphène à quelques couches désaxées

t(n+m)LG

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué de quelques couches de graphène, un nombre *n* de couches en empilement Bernal situées avec un *angle d'empilement* (3.4.1.2) relatif sur un nombre *m* de couches en empilement Bernal

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

3.1.2.9

graphène tricouche

3LG

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué de trois *couches de graphène* (3.1.2.1) empilées et bien définies

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017)

[9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c87af206af6/iso-ts-80004-13-2017)

Note 1 à l'article: Si le mode d'empilement est connu, il peut être spécifié séparément, par exemple comme «graphène tricouche désaxé».

3.1.2.10

graphène à quelques couches

FLG

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué de trois à dix *couches de graphène* (3.1.2.1) empilées et bien définies

3.1.2.11

nanoplaque de graphène

nanoplaquette de graphène

GNP

nanoplaque (3.1.1.2) constituée de *couches de graphène* (3.1.2.1)

Note 1 à l'article: Elles possèdent typiquement une épaisseur comprise entre 1 nm et 3 nm et des dimensions latérales comprises entre 100 nm et 100 µm.

3.1.2.12

oxyde de graphite

graphite (3.1.2.2) modifié chimiquement et préparé par une oxydation étendue des plans de base

Note 1 à l'article: La structure et les propriétés de l'oxyde de graphite dépendent du degré d'oxydation et de la méthode particulière de synthèse.

3.1.2.13**oxyde de graphène****GO**

graphène (3.1.2.1) modifié chimiquement et préparé par une oxydation et une exfoliation du *graphite* (3.1.2.2), engendrant une modification oxydante étendue du plan de base

Note 1 à l'article: L'oxyde de graphène est un matériau monocouche ayant une forte *teneur en oxygène* (3.4.2.7), typiquement caractérisé par un rapport atomique C/O d'environ 2,0 en fonction de la méthode de synthèse.

3.1.2.14**oxyde de graphène réduit****rGO**

forme d'*oxyde de graphène* (3.1.2.13) ayant une *teneur en oxygène* (3.4.2.7) réduite

Note 1 à l'article: Il peut être produit par des méthodes chimiques, thermiques, photochimiques, photothermiques, microbiennes/bactériennes, par micro-ondes, ou bien encore par une exfoliation d'oxyde de graphite réduit.

Note 2 à l'article: Si l'oxyde de graphène était entièrement réduit, le produit serait le graphène. Cependant, dans la pratique, certains groupes fonctionnels contenant de l'oxygène subsisteront et toutes les liaisons sp^3 ne retourneront pas à une configuration sp^2 . Des réducteurs différents donneront lieu à des rapports carbone/oxygène différents et à des compositions chimiques différentes dans l'oxyde de graphène réduit.

Note 3 à l'article: Il peut prendre la forme de plusieurs variations morphologiques, telles que des plaquettes et des structures vermiculaires.

3.1.3 Termes relatifs à d'autres matériaux bidimensionnels**3.1.3.1****hétérostructure bidimensionnelle**

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué d'au moins deux *couches* (3.1.1.5) bien définies de matériaux bidimensionnels différents

ISO/TS 80004-13:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4c93ccd3-8f8a-4567-b42c-9c874200a6/iso-13-80004-13-2017>

Note 1 à l'article: Elles peuvent être empilées ensemble dans le plan de base ou bien perpendiculairement au plan de base.

3.1.3.2**hétérostructure verticale bidimensionnelle**

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué d'au moins deux *couches* (3.1.1.5) bien définies de matériaux bidimensionnels différents qui sont empilées perpendiculairement au plan de base

3.1.3.3**hétérostructure bidimensionnelle planaire**

matériau bidimensionnel (3.1.1.1) constitué d'au moins deux *couches* (3.1.1.5) bien définies de matériaux bidimensionnels différents qui sont liées entre elles parallèlement au plan de base

3.2 Termes relatifs à des méthodes de production de matériaux bidimensionnels**3.2.1 Production de graphène et de matériaux bidimensionnels similaires****3.2.1.1****dépôt chimique en phase vapeur****CVD**

dépôt d'un matériau solide par réaction chimique d'un précurseur gazeux ou d'un mélange de précurseurs gazeux, induite par la chaleur sur un substrat

[SOURCE: ISO/TS 80004-8:2013, 7.2.3]

3.2.1.2

production en rouleau production R2R

<matériau bidimensionnel> synthèse CVD d'un *matériau bidimensionnel* (3.1.1.1) en continu sur un substrat manipulé en feuille roulée, comprenant le transfert du matériau bidimensionnel sur le substrat

3.2.1.3

exfoliation mécanique

<matériau bidimensionnel> détachement de *couches* (3.1.1.5) de matériaux bidimensionnels séparées/individuelles du corps d'un matériau par des méthodes mécaniques

Note 1 à l'article: Plusieurs méthodes permettent d'obtenir ce résultat. Une méthode consiste en un pelage, également nommée méthode du ruban adhésif, qui est un clivage mécanique ou bien un clivage/exfoliation micromécanique. Le broyage par billes en milieu sec est une autre méthode.

3.2.1.4

exfoliation en phase liquide

<matériau bidimensionnel> exfoliation de *matériaux bidimensionnels* (3.1.1.1) à partir d'un matériau massif en couches dans un solvant à l'aide de forces de cisaillement hydrodynamiques

Note 1 à l'article: Le solvant peut être sous forme aqueuse, organique ou liquide ionique.

Note 2 à l'article: Un agent tensioactif peut être utilisé dans des dispersions aqueuses pour permettre ou favoriser l'exfoliation et améliorer la stabilité de la dispersion.

Note 3 à l'article: Les forces de cisaillement peuvent être générées par différentes méthodes, dont la cavitation ultrasonique ou le mélange sous des forces de cisaillement élevé.

3.2.1.5

croissance sur carbure de silicium

<graphène> production de *couches de graphène* (3.1.2.1) par le biais d'un chauffage contrôlé à haute température d'un substrat de carbure de silicium afin de sublimer les atomes de silicium au sein du substrat, libérant ainsi du graphène

Note 1 à l'article: Le graphène peut être synthétisé du côté carbone ou bien du côté silicium du substrat SiC, entraînant ainsi une variation du nombre de couches de graphène et de leur empilement.

Note 2 à l'article: Le produit est typiquement appelé *graphène épitaxié* (3.1.2.5).

3.2.1.6

précipitation de graphène

<graphène> production de *couches de graphène* (3.1.2.1) à la surface d'un métal par le biais du chauffage et de la ségrégation du carbone présent au sein du substrat de métal vers la surface

Note 1 à l'article: Les impuretés ou les dopants du carbone au sein du volume du métal peuvent être fortuits ou introduits délibérément.

3.2.1.7

synthèse chimique

<graphène> route de production de graphène par voie moléculaire utilisant de petites molécules organiques se liant dans des cycles de carbone par le biais de réactions favorisées par la surface et à température élevée

3.2.1.8

synthèse par précurseur alcoolique

<graphène> synthèse de graphène obtenue par l'introduction d'un précurseur alcoolique dans un environnement à haute température, entraînant la décomposition de l'alcool et la formation du graphène