

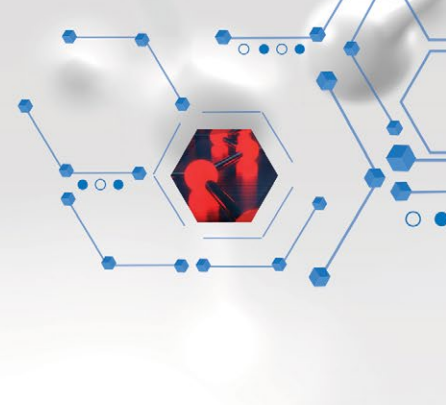
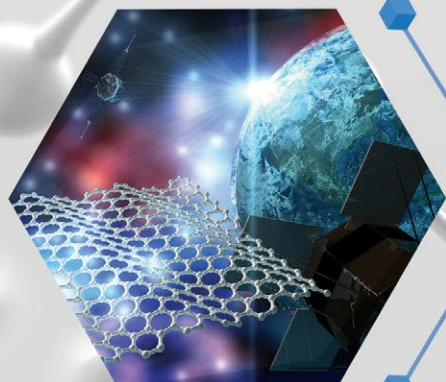


Results Pack CORDIS sur le graphène

Une collection thématique des résultats de la recherche et de l'innovation financées par l'UE

Janvier 2019

Le graphène et les matériaux 2D sur la bonne voie pour le développement d'applications innovantes



Recherche
et innovation

Table des matières

3

Les investissements européens dans le graphène

5

La polyvalence du graphène étend ses applications au secteur spatial

7

Les performances spectaculaires du graphène pour les transmissions optiques à grande vitesse

9

Faire entrer la production de masse du graphène dans une nouvelle ère

11

De nouveaux matériaux à base de graphène

13

Une spintronique de petite dimension viable à température ambiante grâce au graphène

15

Des avancées biomédicales grâce à l'utilisation du graphène

17

Des détecteurs de boîtes quantiques de graphène pour une technologie de suivi médical portable de nouvelle génération

19

Utiliser le graphène comme une loupe super-chargée

21

Utiliser le graphène pour des accéléromètres à effet tunnel sans défaut

23

La technologie couche par couche (LbL) appliquée à l'oxyde de graphène

25

Des polymères enrichis en graphène prêts à être commercialisés

Éditorial

Le graphène est un cristal atomique bidimensionnel composé d'atomes de carbone agencés en un réseau hexagonal. De l'épaisseur d'un atome, le graphène est le composé connu le plus fin et le plus solide (de 100 à 300 fois plus que l'acier) ainsi que le matériau connu le plus léger (un mètre carré pèse environ 0,77 mg), et est extrêmement flexible.

Un matériau pour l'avenir

Ce Results Pack CORDIS présente 12 articles sur six ambitieux projets de recherche révolutionnaire de l'Union européenne (UE) financés dans le cadre du programme de recherche Horizon 2020 et du 7e PC de l'UE relatifs au graphène et aux matériaux 2D. Parmi ceux-ci, sept articles abordent différents aspects du Graphene Flagship.

Le Graphene Flagship est la plus grande initiative de recherche de l'UE: dotée d'un budget d'un milliard d'euros, il s'agit d'une nouvelle forme d'activités de recherche conjointes et coordonnées, d'une ampleur sans précédent. À l'aide d'un consortium rassemblant partenaires universitaires et industriels, les efforts de recherche couvrent l'ensemble de la chaîne de valorisation, de la production de matériaux à l'intégration des systèmes et des composants, avec l'objectif d'exploiter les propriétés uniques du graphène.

Une introduction au graphène décrit les travaux menés par le Flagship, y compris la collaboration avec l'Agence spatiale européenne dans l'utilisation du graphène dans des applications spatiales, comme la propulsion légère et la gestion thermique. Les chercheurs ont également utilisé des systèmes de communication optoélectronique pour fournir des données rapides pour l'avenir. La production de graphène à grande échelle à des fins commerciales a consisté à faire passer la fabrication à l'échelle industrielle, tout en conservant la consistance, la qualité élevée et la rentabilité.

Les scientifiques ont étudié le traitement chimique et les applications fonctionnelles du graphène et des matériaux apparentés au graphène pour concevoir de nouvelles structures moléculaires dotées de propriétés uniques. La spintronique du graphène utilise aussi à la fois la charge électronique et le spin à température ambiante pour créer de nouvelles possibilités en matière de traitement et de stockage des informations. Finalement, le projet Flagship a étudié l'utilisation du graphène pour des applications biomédicales avec l'objectif de développer des dispositifs médicaux innovants et des capteurs pour détecter, traiter et gérer les maladies du système nerveux.

Toutes les recherches européennes sur le graphène ne relèvent pas du Flagship et les chercheurs utilisent d'autres mécanismes de financement de l'UE pour entreprendre d'autres projets. GRAPHEALTH a développé la prochaine génération de capteurs portables, tandis que GRASP a utilisé les interactions entre le graphène et la lumière au service de l'informatique quantique et de la biomédecine. GraTA a développé des accéléromètres à effet tunnel pour un usage dans le suivi des vibrations des machines. HIGRAPHEN a créé des composites polymères denses pour l'opto-électronique et le stockage énergétique. PolyGraph en étroite collaboration avec le Graphene Flagship a étudié les polymères renforcés par du graphène pour le secteur automobile et aéronautique.

Les investissements européens dans le graphène

Le premier matériau bidimensionnel au monde, le graphène, possède des propriétés uniques et exceptionnelles. Une initiative majeure financée par l'UE a été consacrée au développement de ce matériau et de ses applications dans une myriade de nouvelles technologies.

Le graphène est un matériau familier: la «mine» des crayons est en réalité du graphite, composé de nombreuses couches de graphène empilées les unes sur les autres. Suite à l'isolement, pour la première fois en 2004, d'une couche atomique unique par André Geim et Konstantin Novoselov, de l'Université de Manchester, les scientifiques ont découvert que les couches individuelles de graphène possédaient des propriétés exceptionnelles. Parmi ces propriétés figurent la conductivité thermique la plus élevée de tous les matériaux connus, ainsi qu'une résistance et une conductivité électrique très élevées. En outre, le graphène est imperméable, transparent et flexible,

et des combinaisons de ces propriétés sont susceptibles d'être appliquées à des domaines nombreux et variés.

Le programme [Graphene Flagship](#), financé par l'UE, a pour objectif de faire sortir le graphène et les matériaux apparentés (GRM) de leurs laboratoires pour les mettre à disposition de la société sous forme de nouveaux produits fascinants et polyvalents. L'objectif principal était de contribuer à la croissance économique de l'Europe en créant de nouvelles perspectives d'emploi.





Les efforts de recherche couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur, de la production de matériaux aux technologies des composants, en passant par l'intégration de systèmes allant de l'électronique ou de l'optoélectronique aux matériaux composites, aux batteries et aux revêtements.

Des investissements importants

C'est la plus grande initiative de recherche de l'UE: d'une durée de 10 ans et dotée d'un budget d'un milliard d'euros, il s'agit d'une nouvelle forme d'activités de recherche conjointes et coordonnées, d'une ampleur sans précédent. Elle est financée conjointement par la Commission européenne, les États membres et les pays associés, regroupant plus de 150 groupes de recherche répartis dans 23 pays, dont des universités, des instituts de recherche ainsi que le secteur privé. «Les efforts de recherche couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur, de la production de matériaux aux technologies des composants, en passant par l'intégration de systèmes allant de l'électronique ou de l'optoélectronique aux matériaux composites, aux batteries et aux revêtements», explique le Dr Jari Kinaret, directeur du Graphene Flagship.

Dans la phase actuelle du programme Flagship (appelée Core2), qui s'étend de 2018 à 2020, six projets phares sont actuellement menés. Ces projets portent sur un large éventail de domaines d'application, mais tous visent à développer des produits nouveaux ou améliorés grâce aux GRM. Le passage à un niveau de préparation technologique supérieur apparaît comme une évidence maintenant que les organisations partenaires ont lancé six entreprises dérivées basées sur leurs travaux, obtenant plus de 20 millions d'euros de fonds de capital-risque.

«Il est assez difficile de choisir les points les plus marquants parmi les résultats individuels obtenus», explique le Dr Kinaret. «Mais j'aimerais mentionner que nous avons mis au point des systèmes de communication extrêmement rapides, notamment des photodétecteurs très rapides et un commutateur photonique pour les systèmes de communication 5G.» Les exemples supplémentaires comprennent une combinaison de différentes technologies qu'il est possible de faire évoluer pour produire des flocons de graphène par électrochimie ou exfoliation par cisaillement, les deux ayant déjà été commercialisés.

Des avantages majeurs

L'initiative encourage également la durabilité, les chercheurs travaillant sur plusieurs technologies en rapport avec les énergies renouvelables. «Nous développons par exemple une ferme solaire en Crète ainsi que des technologies de stockage d'énergie cruciales pour l'électromobilité», explique le Dr Kinaret. «D'un point de vue plus général, bon nombre des technologies sur lesquelles nous travaillons réduisent la consommation d'énergie en permettant la production de voitures et d'avions plus légers. Par ailleurs, nous développons une large gamme de capteurs pour des applications environnementales et médicales.»

Les propriétés thermiques et de résistance uniques du graphène en font le matériau idéal pour améliorer les performances des applications aérospatiales et satellitaires. Lorsqu'il est associé à des composites ou à des plastiques, le graphène offre des performances exceptionnelles en termes de résistance globale, de résistance des matériaux et de conductivité thermique. Le graphène s'avère également utile dans de nouvelles applications de diagnostic et de traitement, comme l'administration de médicaments et les biocapteurs.

L'Europe est désormais un acteur majeur de la révolution du graphène. «En faisant sortir le graphène des confins des laboratoires universitaires pour le mettre au service de la société, le Graphene Flagship entend générer une croissance économique, de nouveaux emplois et de nouvelles opportunités pour les Européens, aussi bien en tant qu'investisseurs qu'en tant que salariés», conclut le Dr Kinaret.

PROJET

Graphene Flagship

COORDONNÉ PAR

Université de technologie Chalmers, Suède

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

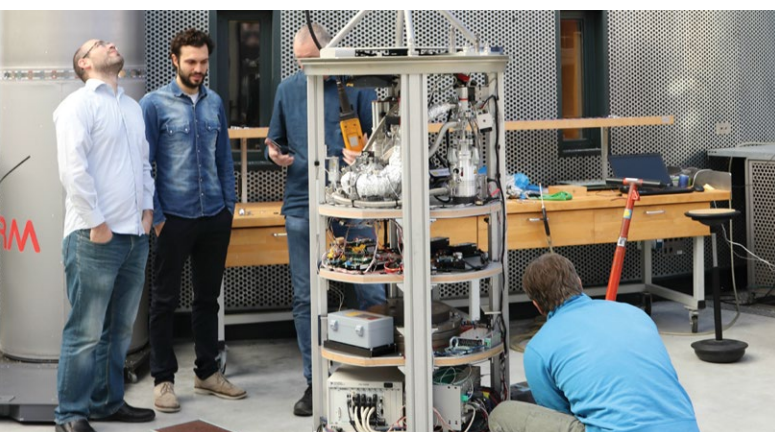
SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



La polyvalence du graphène étend ses applications au secteur spatial

Dans une série d'expériences ingénieuses, des équipes européennes ont testé pour la première fois du graphène dans des conditions de microgravité. Ces résultats intéressants constituent une base précieuse pour le développement de dispositifs en graphène destinés à être utilisés dans l'espace.



© Graphene Flagship

Le graphène possède des propriétés mécaniques, électriques et thermiques uniques, qui incitent les chercheurs à explorer les usages possibles de ce réseau cristallin bidimensionnel de carbone pur.

Les chercheurs et les étudiants de l'initiative de recherche Graphene Flagship, en collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ESA), ont découvert des perspectives supplémentaires pour ce matériau, le rendant approprié pour une utilisation dans des applications spatiales, notamment la propulsion légère et le contrôle thermique. Les résultats de cette synergie bien orchestrée constituent un premier pas pour repousser les frontières de la recherche sur le graphène.

Naviguer dans l'espace avec du graphène

Breakthrough Starshot est un projet de recherche et d'ingénierie faisant partie des Breakthrough Initiatives qui cherche à développer un prototype de flotte d'engins spatiaux à photovoile qui atteindra le système stellaire d'Alpha du Centaure dans les 20 ans suivant son lancement.

Une équipe d'étudiants de troisième cycle du Graphene Flagship, de l'Université technique de Delft, aux Pays-Bas, participant au [programme d'éducation Drop Your Thesis! de l'ESA](#) a fait un premier pas en direction de cet objectif ambitieux. Le programme leur a offert la possibilité de réaliser une expérience de microgravité à la tour d'impesanteur du Centre de technologie spatiale et de microgravité appliquées (ZARM) à Brême, afin de tester le potentiel du graphène en tant que matériau de photovoile pour la propulsion d'engins spatiaux.

Pour créer des conditions de microgravité, une capsule contenant des caméras, des lasers et du graphène a été autorisée à effectuer une chute libre dans une tour de 150 mètres, offrant ainsi 4,5 secondes d'apesanteur. La pression des radiations émises par la lumière laser à haute puissance sur la membrane en graphène a provoqué le déplacement de la voile. L'équipe a



Les expériences ont montré que le graphène améliorerait la pression capillaire du fluide dans la mèche métallique de 40 % et le taux d'évaporation de 800 %.

mesuré ce déplacement avec un microscope pour déterminer la poussée sur les voiles en graphène.

«Pour une propulsion efficace, la photovoile doit avoir une grande surface et être aussi légère que possible. Le graphène répond à ces exigences, car il est très léger et résistant, et peut s'étendre sur une grande surface», note le professeur Andrea Ferrari (Université de Cambridge, au Royaume-Uni), responsable des sciences et de la technologie pour le Graphene Flagship.

Le matériel a été emporté à bord d'un vol parabolique dans l'avion Novespace Zero-G, où des conditions de microgravité sont créées, à chaque fois, pendant un intervalle d'environ 24 secondes. L'équipe a effectué six vols, chacun décrivant 31 arcs paraboliques, pour un total de plus d'une heure en microgravité.

«Le graphène emporté à bord a bien supporté l'environnement et a affiché de bonnes performances. Les expériences ont montré que le graphène améliorerait la pression capillaire du fluide dans la mèche métallique de 40 % et le taux d'évaporation de 800 %», note le professeur Ferrari.

Les deux expériences ont constitué une démonstration exceptionnelle du potentiel multiple du graphène, qui a maintenant repoussé ses limites en prouvant son utilité dans l'espace. Sur la base de ces résultats encourageants, le Flagship poursuit le développement et l'optimisation de dispositifs à base de graphène pour des applications en conditions spatiales réelles.

Le graphène diffuse la chaleur

Des chercheurs des instituts partenaires du Graphene Flagship, l'Université libre de Bruxelles (ULB) (Belgique), l'Université de Cambridge (Royaume-Uni), l'unité de Bologne du Conseil national de la recherche italien (CNR) (Italie) et Leonardo (Italie) ont conçu une expérience pour tester comment les revêtements à base de graphène pouvaient améliorer l'efficacité des systèmes de refroidissement des satellites en utilisant les propriétés thermiques uniques de ce matériau.

Le professeur Ferrari explique: «Le graphène est utilisé dans ce que l'on appelle les caloducs à boucle, des pompes qui déplacent un fluide sans avoir besoin de pièces mécaniques. Cela s'avère très important pour les opérations spatiales car il n'y a ni usure ni maintenance. Les caloducs à boucle peuvent par exemple transporter la chaleur des systèmes électroniques chauds des satellites vers l'espace.»

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

Université de Cambridge, Royaume-Uni

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



Les performances spectaculaires du graphène pour les transmissions optiques à grande vitesse

L'intégration de feuilles de graphène dans la photonique sur silicium pourrait servir de base pour les transmissions de données de prochaine génération. Des chercheurs de l'initiative Graphene Flagship ont poussé cette technologie quasiment au niveau applicatif en procédant à la démonstration de la première transmission de données haut débit à base de graphène au monde, à un débit de 50 Gb/s.

Le programme Graphene Flagship est censé faire office de catalyseur pour le développement d'applications innovantes, en rassemblant les universités et l'industrie afin de mettre ce matériau polyvalent à disposition de la société d'ici 10 ans. L'importance de l'intégration du graphène dans la photonique sur silicium apparaissait comme une évidence au regard des résultats obtenus conjointement grâce à la collaboration entre les partenaires du Flagship: AMO GmbH (Allemagne), le Consortium national interuniversitaire pour les télécommunications (CNIT) (Italie), Ericsson (Suède), l'Université de Gand (Belgique), l'Institut des sciences photoniques (ICFO) (Espagne), imec (Belgique), Nokia (Allemagne et Italie), l'Université technique de Vienne (TU Wien) (Autriche) et l'Université de Cambridge (Royaume-Uni).

Une merveille monopuce

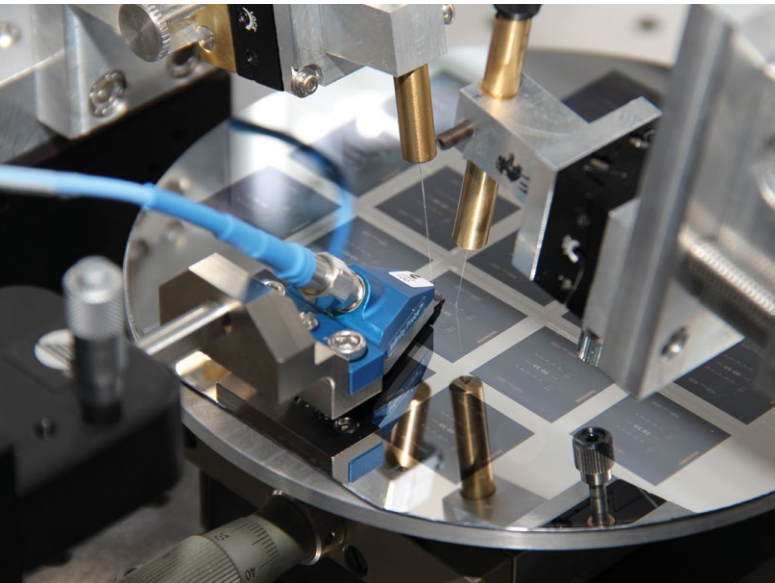
Il a été universellement reconnu que le silicium était adapté à une intégration monolithique pour la photonique. Il n'a toutefois pas été possible, jusqu'à présent, d'augmenter la vitesse ou

de réduire la puissance et la place occupée par les composants essentiels de la technologie de la photonique sur silicium. Mais le graphène – avec ses capacités en termes d'émission, de modulation et de détection de signal – est susceptible d'être la prochaine technologie de rupture à y parvenir.

«Le graphène constitue une solution tout-en-un pour les technologies optoélectroniques», note Daniel Neumaier, d'AMO GmbH, responsable de la Division du Graphene Flagship intitulée Electronics and Photonics Integration. Ses propriétés optiques ajustables, sa mobilité électrique élevée, son opérabilité sur une large bande spectrale et sa compatibilité avec la photonique sur silicium permettent l'intégration monolithique de modulateurs de phase et d'absorption, de commutateurs ainsi que de photodétecteurs. L'intégration sur une seule puce peut augmenter les performances du périphérique et réduire considérablement son encombrement et son coût de fabrication.



Grâce à leur vitesse et débit de transmission de données en continu élevés, les dispositifs photoniques à base de graphène sont au cœur de la prochaine génération de transfert de données.



© Daniel Neumaier

Pas entièrement collé sur du silicium

La modulation et la détection de la lumière sont des opérations essentielles dans les circuits intégrés photoniques. En l'absence de bande interdite, le graphène rend possible la détection de la lumière sur large bande avec un seul matériau, car ses capacités d'absorption sont uniformes sur une large plage du spectre visible et infrarouge. Le matériau 2D présente également des effets d'électro-absorption et d'électro-réfraction susceptibles d'être utilisés pour une modulation ultra-rapide.

Au lieu de s'appuyer sur la technologie onéreuse de la plaquette en silicium sur isolant largement utilisée en photonique sur silicium, les chercheurs du Graphene Flagship ont proposé une configuration plus pratique. Cela a consisté en une paire de couches de graphène monocouche (SLG) et d'un condensateur formé d'un empilement SLG-isolant-SLG au-dessus d'un guide d'onde passif. «Une telle disposition présente plusieurs avantages par rapport aux modulateurs photoniques sur silicium», explique M. Neumaier. Comme il l'explique plus en détail, la fabrication du modulateur ne repose ni sur le matériau du guide d'ondes, ni sur les mécanismes de modulation à électro-absorption et à électro-réfraction. En outre, le remplacement des photodétecteurs

au germanium par du SLG élimine le besoin d'avoir recours à des modules relativement coûteux en germanium épitaxié et aux processus de dopage spécialisés qui les accompagnent.

Le nitrure de silicium (SiN) constituait un bon substrat pour la synthèse du graphène, permettant une mobilité élevée des porteurs, la transparence sur les domaines visible et infrarouge, ainsi qu'une compatibilité parfaite avec les technologies du silicium et des semi-conducteurs complémentaires à l'oxyde de métal (CMOS). En tant que plateforme de guide d'ondes passive, le SiN facilite l'intégration du laser et le couplage des fibres au guide d'ondes, rendant ainsi possible la conception de dispositifs miniaturisés.

Un avenir prometteur pour la photoélectronique à base de graphène

En exploitant le potentiel du graphène, les chercheurs ont démontré avec succès qu'il était possible de transmettre des données avec des composants photoniques en graphène, en atteignant un débit de 50 Gb/s. Un modulateur à base de graphène a traité les données du côté émetteur du réseau, en codant un flux de données électroniques sous forme de signal optique. Du côté du récepteur, un photodétecteur à base de graphène a converti la modulation optique sous forme de signal électronique. «Ces résultats constituent un début prometteur pour l'utilisation de dispositifs photoniques à base de graphène dans les communications de données de nouvelle génération», conclut M. Neumaier.

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

AMO GmbH, Allemagne

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



Faire entrer la production de masse du graphène dans une nouvelle ère

La combinaison unique des propriétés du graphène ouvre la voie à une grande variété d'applications, de l'énergie et de l'électronique aux dispositifs biomédicaux et aux avions. Pour répondre à ces demandes croissantes, les chercheurs doivent faire passer la production de graphène à une échelle industrielle.

Traditionnellement, la production de graphène se fait par le biais de méthodologies de traitement de graphite ou de dépôt chimique en phase vapeur (CVD), chacune de ces options offrant des propriétés et une qualité différentes. Bien que le CVD soit une approche évolutive, il ne génère que des monocouches de graphène de haute qualité qui conviennent aux applications dans les semi-conducteurs.

Le Work Package du Graphene Flagship intitulé Production, dirigé par le Dr Alex Jouvray d'Aixtron Ltd, au Royaume-Uni, se concentre sur la production en série de graphène à des fins commerciales. L'idée est de faire passer les processus de fabrication de CVD et de graphène en vrac à l'échelle industrielle de façon rentable, tout en maintenant l'uniformité et une qualité élevée. «Notre objectif ultime est d'établir une chaîne d'approvisionnement industrielle en graphène en Europe, capable de satisfaire les diverses applications du graphène», explique le Dr Jouvray. Parmi les partenaires du groupe de travail figurent un fabricant d'équipements industriels (Aixtron Ltd), des producteurs commerciaux de graphène (Avanzare Innovacion Tecnologica SL, Graphenea SA et Grupo Antolin-Ingenieria SA) et des utilisateurs finaux du graphène comme Airbus Operations SL et Aernnova.

Méthodologies de production

Les méthodes de traitement du graphène telles que l'exfoliation, la sonication et le traitement par plasma cassent le graphite de manière contrôlée, générant des flocons de graphène. La méthode d'exfoliation permet de produire des flocons de graphène de très haute qualité, mais elle n'est pas évolutive. D'un autre côté,

le traitement au plasma et la sonication peuvent produire de très grandes quantités d'oxyde de graphène, des nanoplaquettes d'oxyde de graphène réduit et de graphène, qui servent d'additifs aux plastiques, et peuvent être incorporées dans des polymères renforcés à la fibre de verre ou dans du béton pour leur conférer résistance et conductivité thermique. De plus, ces matériaux apparentés au graphène conviennent aux revêtements et aux applications dans le domaine de l'impression.

Les chercheurs ont développé avec succès une méthodologie pour le dépôt de graphène sur feuille, à grande échelle, parallèlement à une technologie de pavage qui transfère du graphène de haute qualité sur des substrats de grande surface. De plus, Avanzare a fait passer la production de graphène à plusieurs tonnes par an, servant de fournisseur à d'autres partenaires du Graphene Flagship.

De nouveaux produits à base de graphène

Outre les systèmes de production et de dépôt de graphène, des efforts importants ont également été consacrés à la qualification de produits à base de graphène dans un environnement réel. Un certain nombre de produits contenant du graphène ont été mis sur le marché, tels que des raquettes de tennis, les garnitures



Notre objectif ultime est d'établir une chaîne d'approvisionnement industrielle en graphène en Europe, capable de satisfaire les diverses applications du graphène.



de pavillon automobile et une vaste gamme de matériaux apparentés au graphène. Le Work Package intitulé Production cible spécifiquement les industries automobile, aérospatiale et optoélectronique.

En ajoutant du graphène dans un composite polymère, les scientifiques ont créé un plastique ignifuge pouvant être utilisé dans les secteurs de l'automobile et du bâtiment. L'incorporation de ces matériaux intelligents aux côtés de systèmes de détection d'incendie efficaces peut sans aucun doute améliorer la sécurité des bâtiments. Dans le même temps, étant donné le problème grandissant des incendies de véhicules routiers, les matériaux ignifugeants contribueront à améliorer la sécurité routière.

Le développement de structures renforcées en graphène pour les applications aérospatiales revêt une importance primordiale. Le graphène confère aux composites des propriétés mécaniques

et une conductivité améliorées. Des ingénieurs et des scientifiques d'Airbus, d'Aernnova et du Grupo Antolin ont mis au point un prototype de composant aéronautique utilisant des matériaux composites à base de graphène qui offre une protection contre la foudre pour un faible poids.

Jusqu'à récemment, le graphène était en grande partie confiné à un environnement de recherche. «Dans le Work Package intitulé Production, le développement du graphène est entièrement stimulé par l'industrie. Les producteurs de matériaux et d'équipements doivent donc adhérer à de stricts protocoles de développement et de contrôle de la qualité», note le Dr Jouvray.

Le graphène étant en passe de devenir le matériau du XXIe siècle, l'industrie doit suivre le rythme en termes de processus de production. Le Dr Jouvray pense que le Graphene Flagship va «créer un écosystème pour le graphène et ses produits dérivés, stimulé par l'industrie, et ainsi développer le champ des applications potentielles».

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

Aixtron Ltd, Royaume-Uni

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



De nouveaux matériaux à base de graphène

La pollution constitue un problème grave dans beaucoup de régions du monde, en particulier dans les zones urbaines. En utilisant de nouveaux matériaux à base de graphène, les chercheurs du Work Package du Graphene Flagship intitulé Functional Foams and Coatings ont apporté, parmi d'autres applications, des solutions pour lutter contre la contamination de l'environnement.

L'engouement général suscité par les applications du graphène dans l'industrie a été freiné par les coûts élevés et les goulots d'étranglement en termes d'évolutivité et de qualité. Diverses méthodologies ont été testées mais soit elles laissent des défauts dans le matériau ainsi obtenu, soit elles n'offrent qu'un rendement limité. Il existe donc un besoin urgent de produire du graphène de haute qualité à grande échelle avec de nouvelles fonctionnalités.

Le Work Package intitulé Functional Foams and Coatings, dirigé par le professeur Xinliang Feng de l'Université technique de Dresde en Allemagne, porte sur le traitement chimique et les applications fonctionnelles du graphène et des matériaux apparentés au graphène (GRM). «Notre objectif consiste à créer des structures poreuses telles que des mousses et des membranes, principalement pour la filtration, ainsi que des couches minces fonctionnelles pour diverses applications», explique le Dr Martin Lohe, responsable du groupe Innovation et industrie à l'Université de Dresde.

Faire passer la production de graphène au niveau supérieur

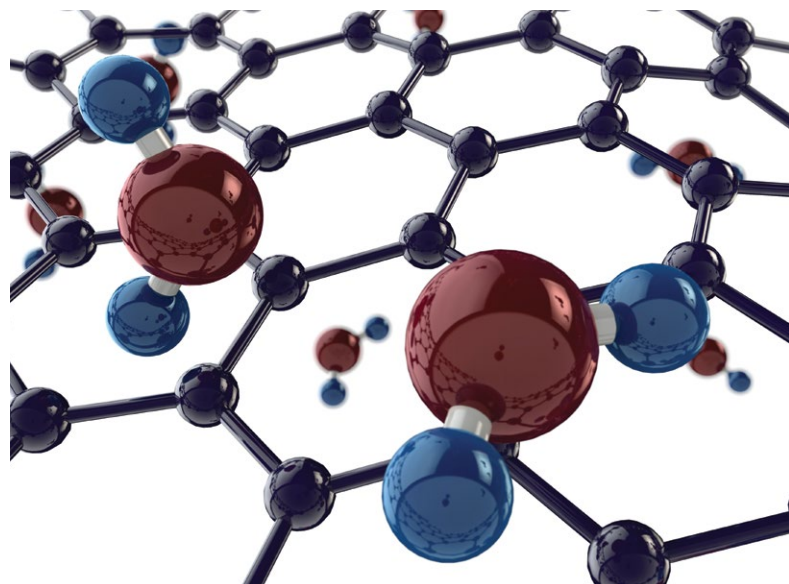
Les chercheurs ont développé avec succès un procédé de production de graphène basé sur l'exfoliation électrochimique, qui génère un graphène de haute qualité avec un rendement considérablement amélioré. Ce procédé fait usage d'un électrolyte et d'un courant électrique qui entraînent une expansion structurelle en quelques minutes, ou quelques heures, dans des con-



L'exfoliation électrochimique et la fonctionnalisation du graphène aideront à combler le fossé entre la science des matériaux et les applications pratiques.

ditions normales. L'exfoliation électrochimique est également respectueuse de l'environnement et peut être adaptée aux ressources naturelles de carbone.

Le plus gros avantage de cette méthode réside dans le fait qu'il soit possible de produire du graphène avec des propriétés ajustables, simplement en changeant le matériau de départ et les conditions dans lesquelles se déroule le processus. Cela signifie que le graphène peut être fabriqué sur mesure, en fonction de l'application à laquelle il est destiné.



Les scientifiques ont dû surmonter certains obstacles, essentiellement liés à la tendance des couches graphène de haute qualité à s'empiler ensemble. Pour résoudre ce problème, ils ont utilisé des agents fonctionnalisants qui ont permis d'obtenir du graphène qui était à la fois hautement conducteur et dispersable dans l'eau. Dans le même temps, cette approche a permis d'augmenter le rendement et la stabilité des matériaux.

De nouvelles applications pour le graphène

La fonctionnalisation du graphène le rend approprié pour un large éventail d'applications telles que la photocatalyse intérieure ou extérieure, la désalinisation et la purification, le stockage d'énergie ainsi que les capteurs chimiques. Les partenaires du Work Package intitulé Functional Foams and Coatings ont produit des encres à base de graphène utilisables dans des capteurs et des dispositifs de stockage d'énergie entièrement imprimés.

Parmi les nouvelles applications des GRM du Graphene Flagship figurent des stratégies de purification de l'eau telles que la filtration et la désalinisation. Cette dernière offre des perspectives prometteuses pour une production durable et économiquement et énergétiquement rentable d'eau potable à partir d'eau saumâtre et d'eau de mer. Les GRM conviennent également à une utilisation dans des systèmes catalytiques pour la production d'hydrogène, et peuvent être employés sous forme de mousses à des fins d'éclairage, ainsi que comme éléments de chauffage rapide. Il est important de remarquer que le graphène est également utilisé pour améliorer la capacité de l'oxyde de titane à décomposer certains polluants. Les composites graphène-ciment contenant de l'oxyde de titane peuvent être

utilisés comme revêtements photocatalytiques dans les bâtiments intelligents capables de purifier l'air de nos villes et de détruire les polluants aqueux.

Les nombreuses réalisations scientifiques du Work Package sont mises en évidence par le nombre de demandes de brevet, de récompenses et de publications scientifiques. Il convient de noter les 25 collaborations en cours avec des partenaires industriels et les deux entreprises dérivées ayant vu le jour, qui font la promotion des méthodologies de production et des produits à base de graphène sur le marché.

De plus, les résultats et les matériaux nanocomposites produits dans le cadre de ce Work Package sont partagés avec d'autres groupes du Graphene Flagship, pour une utilisation dans des dispositifs de travail dans des domaines comme l'électronique imprimée, les capteurs, les combustibles et les cellules solaires. Cela fera progresser les applications en graphène, au-delà des technologies actuelles. S'exprimant sur l'exfoliation électrochimique et la fonctionnalisation du graphite, le professeur Feng est convaincu que «cela aidera à combler le fossé entre la science des matériaux et les applications pratiques».

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

TU Dresden (TUD), Allemagne

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



Une spintronique de petite dimension viable à température ambiante grâce au graphène

Les chercheurs du programme Graphene Flagship ont mis au point des dispositifs spintroniques à base de graphène utilisant à la fois la charge électronique et le spin à température ambiante. Avoir démontré qu'il était faisable d'utiliser le spin pour franchir des distances allant jusqu'à plusieurs micromètres ouvre de nouvelles possibilités pour l'intégration du traitement et du stockage de l'information dans une seule puce.

Dès sa création, le programme Graphene Flagship a mis en évidence le potentiel des dispositifs spintroniques fabriqués à partir de graphène et de matériaux apparentés. Des chercheurs de différentes universités ont montré avec succès qu'il était possible de manipuler les propriétés de spin du graphène de manière contrôlée à température ambiante. Ces résultats inspirent de nouveaux axes de développement pour les dispositifs de logique de spin et l'informatique quantique. «La miniaturisation étant l'un des principaux moteurs de l'industrie électronique, le graphène ouvre de nouvelles possibilités de compactage des opérations de logique de spin avec des éléments de mémoire magnétique sur une seule et même plateforme», note le professeur Stephan Roche, de l'Institut catalan de recherche et d'études avancées (ICREA), qui dirige le Work Package du Graphene Flagship intitulé Spintronics depuis sa création.

Les imperfections matérielles ne sont plus à blâmer

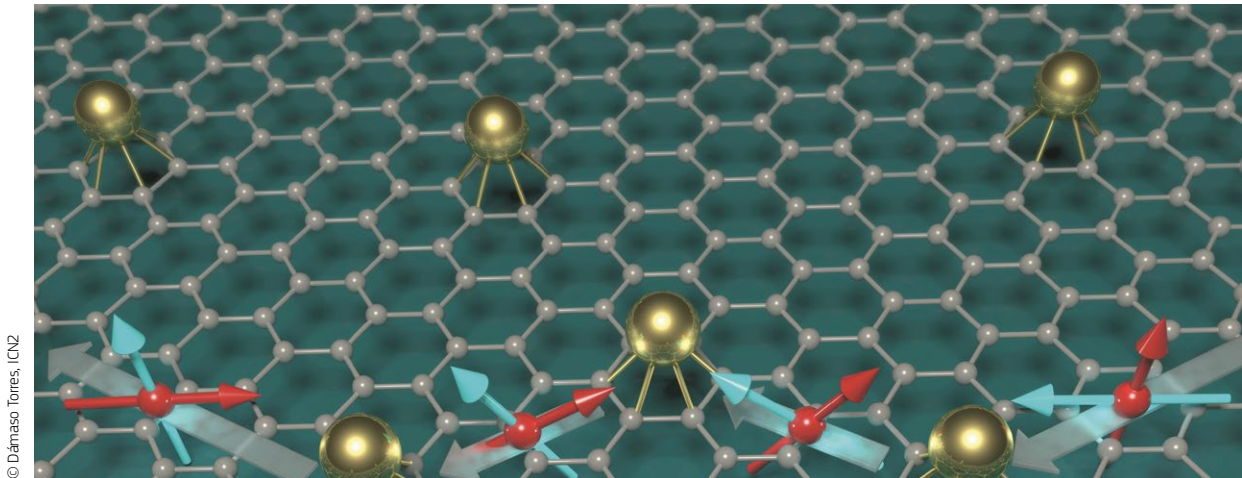
Le graphène étend le domaine de la communication spintronique inter-appareils de l'échelle du nanomètre à celle du micromètre à un faible coût énergétique. Bien que les prévisions théoriques initiales aient estimé la durée de vie des spins dans le matériau

aux alentours de la microseconde, les expériences antérieures n'avaient atteint au mieux qu'une valeur de quelques nanosecondes. À l'origine, cette divergence déroutante laissait entendre que les impuretés et les défauts du matériau étaient les principaux responsables de la relaxation du spin. Les chercheurs du Flagship ont toutefois remis en question ces mécanismes de relaxation de spin de conception conventionnelle et ont proposé un certain nombre de nouveaux mécanismes, uniques au graphène.

Ils ont notamment observé que la vitesse à laquelle les spins se relaxaient dans des systèmes composés de graphène et de dichalcogénures de métaux de transition (TMDC) dépendait fortement du fait qu'ils soient orientés dans le plan du graphène ou hors de celui-ci. «Le graphène interfacé avec un TMDC pourrait servir de filtre de spin, car le transfert des informations de spin dépend de la polarisation de spin initiale des électrons injectés, ce qui permettrait ainsi de nouveaux concepts de transistors à spin de faible puissance», explique le professeur Roche.



La miniaturisation étant l'un des principaux moteurs de l'industrie électronique, le graphène ouvre de nouvelles possibilités de compactage des opérations de logique de spin avec des éléments de mémoire magnétique sur une seule et même plateforme.



© Damaso Torres, ICN2

Il est important de noter que les expériences ont été réalisées à température ambiante et qu'elles s'avèrent particulièrement importantes pour une manipulation externe des spins d'électrons dans le graphène.

Le commutateur ultime

Étant donné que le graphène peut maintenir la cohérence de spin sur des distances suffisamment longues, son intégration à un autre matériau stratifié dans lequel le spin est maintenu beaucoup moins de temps est susceptible de permettre de fabriquer un dispositif de type transistor à spin à effet de champ. En combinant le graphène avec du disulfure de molybdène (MoS₂) (où les spins durent plusieurs picosecondes), des chercheurs du Flagship ont démontré qu'il était possible de contrôler l'endroit où le spin pouvait se déplacer en utilisant une tension de grille. «Cette combinaison du graphène avec un autre matériau 2D mince aux propriétés spintroniques complètement différentes permet de créer un commutateur de spin», observe le professeur Roche.

Les chercheurs ont choisi le MoS₂ en raison de sa faible durée de vie de spin qui résulte de son fort couplage spin-orbite. Il est important de noter que ce mélange de matériaux a fonctionné à température ambiante.

Améliorer les signaux de spin

Selon les études disponibles dans la littérature scientifique, l'écart de conductance a été identifié comme un facteur clé pouvant réduire considérablement l'injection de spin des aimants ferromagnétiques vers les semi-conducteurs.

L'équipe du Flagship a montré qu'elle pouvait grandement améliorer l'efficacité de l'injection et de la détection des électrons

de spin dans le graphène, en utilisant un sandwich de matériaux stratifiés. Celui-ci était composé d'un isolant en nitrure de bore situé entre la couche de graphène et les électrodes injecteur/détecteur à spin ferromagnétique.

Dans le dispositif mis au point, la polarisation a augmenté jusqu'à 70 % avec la tension, ce qui remet en question le fait que seuls les aimants ferromagnétiques puissent avoir une influence sur la polarisation de spin. Au lieu de cela, il a été constaté que l'effet tunnel affectait la polarisation de spin dans les dispositifs en question. En particulier, le spin a franchi une distance de 10 micromètres en plus de 3 nanosecondes à température ambiante.

«L'utilisation de graphène et d'autres matériaux 2D pour faire avancer les mémoires de nouvelle génération à base de couple de spin (telles que STT-MRAM et SOT-MRAM) s'avère également extrêmement attrayante et a incité imec à prendre la tête du consortium et à travailler sur leur intégration à grande échelle dans l'environnement de fabrication», déclare Kevin Garello, responsable du Work Package et chercheur chez imec, qui dirige les recherches sur les nouveaux concepts de mémoire magnétique avancée.

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

imec, Belgique

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



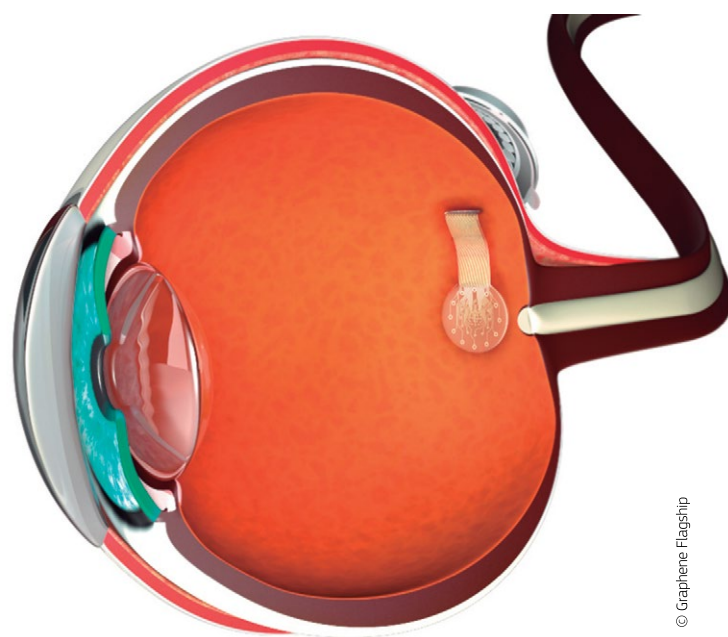
Des avancées biomédicales grâce à l'utilisation du graphène

La demande croissante dans le domaine des services de santé crée un besoin en termes de solutions innovantes. Le graphène ouvre la voie grâce à des technologies capables de détecter, traiter et gérer les maladies du système nerveux à l'aide d'implants neuronaux.

Substance la plus fine, la plus forte, mais aussi la plus légère qui soit, le graphène est imperméable aux molécules et peut être modifié chimiquement. En plus de leur grande surface et de leur biocompatibilité, ces propriétés uniques font du graphène un matériau de départ très prometteur pour de nombreuses applications biomédicales.

Le Work Package du Graphene Flagship intitulé Biomedical Technologies, dirigé par les professeurs Kostas Kostarelos du Laboratoire de nanomédecine de l'Université de Manchester (Royaume-Uni) et Jose A Garrido de l'Institut catalan de nanoscience et nanotechnologie (Espagne), s'intéresse à l'utilisation du graphène et des matériaux apparentés au graphène dans la conception de dispositifs à implants neuronaux pour l'enregistrement et la stimulation de l'activité électrique, associés à l'administration localisée de médicaments. Comme l'explique le professeur Kostarelos: «L'objectif de ce Work Package est de développer la prochaine génération d'implants neuronaux combinant des fonctionnalités d'enregistrement et de stimulation avec des capacités thérapeutiques».

Les implants neuronaux sont apparus comme une approche prometteuse pour la détection, la surveillance et le traitement (par stimulation électrique) de nombreux troubles moteurs et sensoriels du système nerveux central et périphérique. Ces implants servent d'interface entre le tissu nerveux, les fibres nerveuses ou les neurones individuels et les dispositifs externes, utilisés pour enregistrer, surveiller et stimuler l'activité cérébrale afin d'intervenir au niveau des fonctions du système nerveux central.



© Graphene Flagship

Des dispositifs innovants à base de graphène

Les activités de recherche de scientifiques européens de renom impliqués dans ce projet du Graphene Flagship se sont concentrées sur l'ingénierie des matériaux, la technologie et les fonctionnalités des implants pour des applications dans les domaines de



L'objectif de ce Work Package est de développer la prochaine génération d'implants neuronaux combinant des fonctionnalités d'enregistrement et de stimulation avec des capacités thérapeutiques.

la neurologie, de l'ophtalmologie et de la chirurgie. Leur objectif est de mettre en œuvre ces dispositifs pour le diagnostic et le traitement de diverses maladies, telles que l'épilepsie, la maladie de Parkinson, la cécité, la polyarthrite rhumatoïde et le diabète.

Le graphène est un substrat polyvalent qui peut prendre de nombreuses formes avec des propriétés différentes, et s'avère excellent pour générer des matériaux 2D susceptibles d'être utilisés dans des dispositifs d'enregistrement et de stimulation. La conductivité électrique et la flexibilité des nanofeuilles de graphène monocouches facilitent grandement l'enregistrement de l'activité électrique dans le tissu nerveux, avec une grande fidélité.

Pour la stimulation électrique du système nerveux – comme dans le cas des patients atteints de la maladie de Parkinson qui ne répondent pas à la lévodopa – les scientifiques ont opté pour une faible teneur en oxyde de graphène. L'oxyde de graphène produit des substrats nanométriques à la fois souples et poreux, capables de fournir une stimulation plus longue. Les partenaires de ce Work Package étudient cette technologie afin de développer un implant rétinien pour les personnes ayant perdu la vue à cause d'une maladie rétinienne. Une caméra recueille des images de l'environnement et les convertit sous forme de stimulations électriques, transmises par des microélectrodes en graphène.

De plus, les caractéristiques ajustables du graphène en suspension et sa capacité à être fonctionnalisé avec de l'oxygène peuvent être exploitées pour l'administration de médicaments. Les médicaments anti-inflammatoires, les neurotransmetteurs ou les attracteurs neuronaux sont liés à des feuilles de graphène revêtues d'hydrogel et libérés à des vitesses différentes lors de l'implantation.

L'avenir du graphène dans le domaine biomédical

La recherche sur l'utilisation du graphène et des matériaux 2D pour les applications biomédicales se développe dans divers domaines, des dispositifs portables de suivi médical à l'administration de médicaments en passant par les diagnostics de cancer. Les travaux de recherche du Work Package intitulé Biomedical Technologies sont basés sur les propriétés extraordinaires du graphène, qui en font un candidat idéal pour l'enregistrement et la stimulation des tissus nerveux dans le cas de pathologies comme la maladie de Parkinson et l'épilepsie.

«Le graphène ouvre indéniablement la voie à de nouveaux diagnostics et traitements, et contribue à améliorer la qualité de vie de millions de patients dans le monde», conclut le professeur Kostarelos. Se tournant vers l'avenir, il souligne que «la collaboration avec l'industrie est essentielle pour guider les innovations et orienter les efforts de recherche vers des applications offrant les perspectives les plus prometteuses possibles sur le plan commercial».

PROJET

Graphene Flagship

INSTITUTION INTERROGÉE

Université de Manchester, Royaume-Uni

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

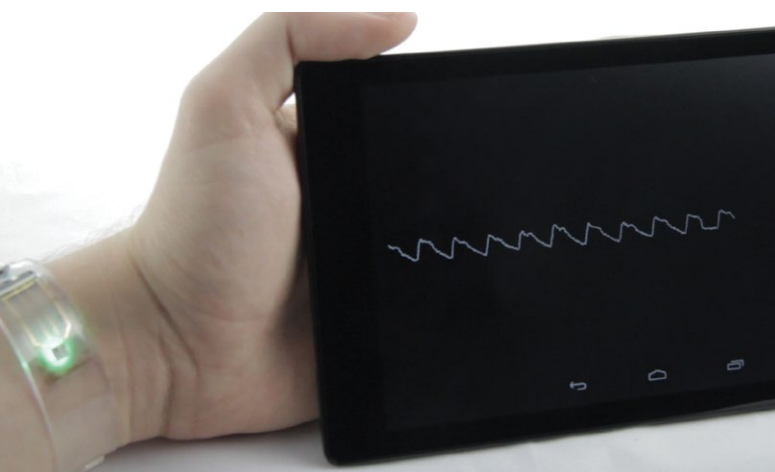
SITE WEB DU PROJET

graphene-flagship.eu



Des détecteurs de boîtes quantiques de graphène pour une technologie de suivi médical portable de nouvelle génération

Les systèmes de suivi médical encombrants seront peut-être vite oubliés grâce aux nouveaux dispositifs développés dans le cadre du projet GRAPHEALTH. En effet, ces dispositifs pourraient contribuer à la conception des circuits imprimés flexibles du futur et à la création de marchés des technologies portables intelligentes.



Jusqu'à présent, les ingénieurs devaient chercher le meilleur compromis entre fonctionnalités et confort: seul un nombre limité de composants pouvait être intégré, ce qui rendait tout le système beaucoup moins intéressant.

Selon le Dr Frank Koppens de l'Institut espagnol des sciences photoniques (ICFO), la solution réside dans les propriétés intrinsèques des détecteurs de boîtes quantiques de graphène (GQD) – des photodétecteurs avec des caractéristiques issues du graphène et des boîtes quantiques semi-conductrices. Les détecteurs GQD permettront en effet de concevoir un système flexible, compact et portable pour le suivi continu de la santé de l'utilisateur et de la santé musculaire des athlètes durant l'exercice physique ou après une blessure.

«Notre photodétecteur est un dispositif caractérisé par une très grande sensibilité à la lumière sur une plage très étendue de longueurs d'onde, de 300 à 2200 nm. Et, plus important, il est flexible», souligne le Dr Koppens. «Cette propriété tient au fait qu'il est possible de placer le détecteur sur n'importe quel substrat flexible. Son épaisseur n'est que de quelques centaines de nanomètres, il peut donc parfaitement s'intégrer dans les capteurs portables».

Le suivi médical, surtout durant l'exercice physique, a été l'une des premières applications qui a permis à la technologie portable intelligente d'évoluer d'un concept technologique intéressant vers de vrais produits commercialisables. Cependant, les systèmes de suivi médical élargis permettant de détecter tout type de marqueurs de santé ont tendance à devenir encombrants.

L'utilisation du graphène représente dans ce contexte un facteur crucial, car il assure une mobilité électronique considérable à un conducteur ultrafin possédant des propriétés de conductivité extrêmement élevées. En outre, le graphène peut être facilement transféré vers des substrats flexibles et peut couvrir des domaines relativement larges.

«Voici comment cela fonctionne», explique le Dr Koppens. «La lumière, ambiante ou émise par un dispositif LED, pénètre la peau et entre en interaction avec le tissu du corps et les vaisseaux sanguins: elle est partiellement absorbée, mais également partiellement réfléchi. Et c'est dans ce dernier cas qu'elle peut être détectée par le détecteur. En outre, quand les vaisseaux sanguins se dilatent et se contractent suite aux pulsations cardiaques, le signal de photodétection sera également modulé. En d'autres termes, le pouls est directement visible depuis le signal de photodétection».



Notre photodétecteur est un dispositif caractérisé par une très grande sensibilité à la lumière sur une plage très étendue de longueurs d'onde, de 300 à 2200 nm. Et, plus important, il est flexible.

Ce n'est bien sûr qu'un exemple. La technologie qui a été développée dans le cadre du projet GRAPHEALTH (Hybrid quantum dot and graphene wearable sensor for systemic haemodynamics and hydration monitoring) a prouvé sa capacité d'être également utilisée dans le domaine de la surveillance de l'oxygène. D'autres marqueurs de santé importants pourront être également détectés. Les photodétecteurs GRAPHEALTH sont compatibles avec les procédés actuels de fabrication de circuits imprimés flexibles, ce qui signifie qu'ils ne devraient pas engendrer de coûts d'investissement importants pour l'industrie.

«Nous avons créé plusieurs prototypes de technologie portable – dont un pour le poignet

et un patch qui ressemble plus à un autocollant fin – et nous avons prouvé qu'ils peuvent être fabriqués à partir de graphène flexible utilisable dans de nombreux domaines», s'enthousiasme le Dr Koppens.

Le projet étant à présent terminé, le Dr Koppens et son équipe ont l'intention de rendre le système GRAPHEALTH plus polyvalent en y intégrant davantage de marqueurs de santé. Ils veulent également concevoir un patch de santé entièrement intégré qui comprendrait non seulement le patch lui-même, mais également l'électronique et les transmissions mobiles de puissance et de données.

«Il est difficile de faire des pronostics quant à l'éventuelle commercialisation du produit, car les marchés des circuits imprimés flexibles et de la technologie mobile sont tout nouveaux. Nous pouvons concevoir une large gamme de technologies mobiles différentes et les intégrer dans celles qui existent déjà, en les combinant par exemple avec les montres connectées. Notre défi actuel consiste à choisir intelligemment l'application sur laquelle nous voulons nous concentrer», conclut le Dr Koppens.

PROJET

GRAPHEALTH - Hybrid quantum dot and graphene wearable sensor for systemic hemodynamics and hydration monitoring

COORDONNÉ PAR

Université de Naples - Frédéric II, Italie

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

N/A



Utiliser le graphène comme une loupe super-chargée

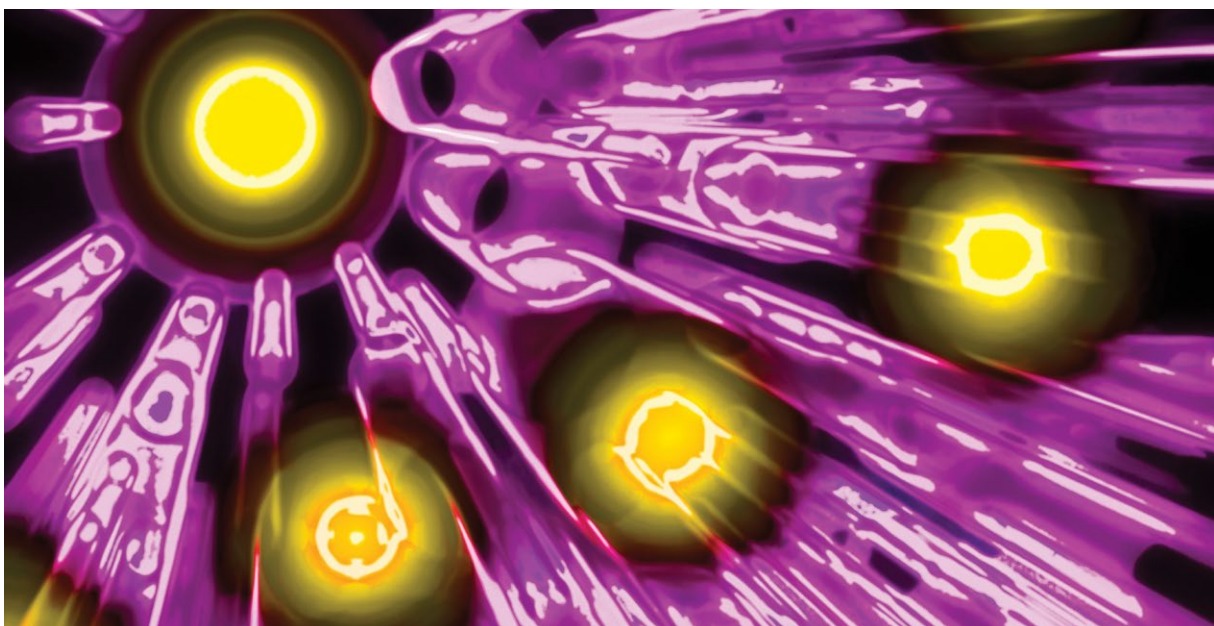
Les interactions complexes entre graphène et lumière sont désormais bien mieux comprises grâce aux travaux réalisés dans le cadre du projet GRASP. Les résultats de quatre années de recherche posent les bases de technologies futures qui exploiteront les effets optiques non-linéaires.

Outre leur importance pour comprendre la physique fondamentale, les effets optiques non-linéaires sont également la clé d'applications essentielles comme l'informatique quantique, la biomédecine et la commutation tout optique. Mais bien des obstacles empêchent encore d'en exploiter tout le potentiel, l'un d'entre eux étant de rendre possible l'activation des effets optiques non-linéaires à des puissances très faibles et sur des dispositifs à l'échelle d'une puce.

«C'est en effet l'un des défis majeurs en matière d'optique», explique le professeur Darrick Chang, responsable du groupe

de recherche Theoretical Quantum-Nano Photonics à l'ICFO. «Mettre en place des effets optiques non-linéaires requiert généralement de fortes intensités laser, et la consommation électrique qui en résulte, ou la puissance des sources de courant nécessaires, rend souvent impraticable l'application à petite échelle, comme pour des dispositifs portables».

L'objectif ultime serait d'observer les effets non-linéaires au niveau d'une particule de lumière quantique unique, et atteindre cet objectif en vaut vraiment la peine. Cela permettrait notamment les meilleures performances possibles et un large déploiement



de dispositifs classiques non-linéaires, tout en facilitant les protocoles d'information quantique de rupture qui ne peuvent pas être mis en place sur les plateformes classiques.

C'est avec cet objectif en tête que le projet GRASP a été lancé en 2014. «Le but du projet était de chercher si un matériau relativement récent et exotique, le graphène, pouvait permettre aux impulsions lumineuses d'interagir entre elles avec une consommation électrique bien moindre», explique-t-il. L'étape graphène est fondamentalement nouvelle en optique non-linéaire, mais le professeur Chang et son équipe sont convaincus que les propriétés uniques de ce matériau permettraient même à des particules uniques de lumière d'atteindre l'intensité requise pour activer les processus non-linéaires.

«L'une des propriétés très spécifiques du graphène, qui est à la fois prédite théoriquement et observée expérimentalement, est qu'il peut effectivement concentrer ou confiner spatialement la lumière à des échelles extrêmement petites. Par analogie, nous pourrions le comparer à une loupe qui rend possible de concentrer la lumière du soleil en un point de petite taille, ce qui permet à cette lumière d'être assez intense pour brûler un morceau de papier», explique le professeur Chang.

Dans cette analogie, le graphène pourrait être considéré comme une loupe super-chargée. Il peut compresser la lumière dans un espace des millions de fois plus petit que les meilleures loupes ou lentilles disponibles dans le commerce, et les intensités obtenues pourraient être suffisamment fortes pour activer des processus optiques non-linéaires.

Le projet GRASP est parvenu à observer des effets non-linéaires provoqués par cet effet loupe pour la première fois. C'est particulièrement remarquable si l'on considère que le graphène n'a l'épaisseur que d'un seul atome, tandis que les dispositifs optiques non-linéaires impliquent généralement le recours à des matériaux volumineux. Bien que l'objectif ultime de développer une génération totalement nouvelle de technologies basées sur les dispositifs optiques non-linéaires capables de fonctionner avec une puissance ultra faible reste encore lointain, les travaux réalisés par le consortium représentent une étape importante dans cette direction.



L'une des propriétés très spécifiques du graphène, qui est à la fois prédite théoriquement et observée expérimentalement, est qu'il peut effectivement concentrer ou confiner spatialement la lumière à des échelles extrêmement petites.

«Bien sûr, il faudra encore beaucoup de travaux pour que le graphène devienne une technologie mature pour l'optique non-linéaire. Mais nous avons développé beaucoup d'éléments du socle sur lequel il sera possible d'appuyer les travaux à venir. Cela inclut le fait d'avoir observé pour la première fois les effets optiques non-linéaires dans le graphène du fait de la forte concentration lumineuse, d'avoir appris à fabriquer du graphène avec des matériaux de meilleure qualité, d'avoir construit de nouveaux dispositifs qui peuvent concentrer des champs non pas des millions, mais des milliards de fois mieux que les meilleures lentilles, et d'avoir amélioré notre compréhension des interactions complexes entre le graphène et la lumière», déclare le professeur Chang.

Bien qu'il soit probablement trop tôt pour émettre des suppositions en ce qui concerne les voies de commercialisation spécifiques, l'utilisation du graphène pour des technologies d'optique non-linéaire quantique à la taille d'une puce qui pourraient être mises en œuvre à grande échelle est désormais bien plus plausible. C'est ce qui explique pourquoi le professeur Chang a l'intention de continuer ces travaux: «Après avoir établi ces éléments de bases indispensables, notre objectif est de continuer à suivre cette ligne de recherche enthousiasmante, et de commencer à réunir les différents éléments pour mettre en place des dispositifs rudimentaires mais réels dans les années à venir».

PROJET

GRASP - Graphene-Based Single-Photon Nonlinear Optics

COORDONNÉ PAR

Institut des sciences photoniques (ICFO), Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

FP7-ICT

SITE WEB DU PROJET

grasp-fet.eu



Utiliser le graphène pour des accéléromètres à effet tunnel sans défaut

Une bourse Proof of Concept du Conseil européen de la recherche permet à l'université Aalto de travailler sur un nouveau concept d'accéléromètre à effet tunnel en recourant aux propriétés uniques du graphène. S'il aboutit, le projet pourrait attirer les industries qui produisent des applications de haute précision.

Les accéléromètres sont utilisés dans de nombreuses applications, des systèmes de navigation des avions aux détecteurs de mouvement présents dans les voitures, en passant par les dispositifs électroniques portables. Mais les applications les plus exigeantes nécessitent des accéléromètres à haute résolution qui sont très grands et extrêmement chers à produire.

Recourir à des accéléromètres à effet tunnel pour ces applications qui comprennent des mesures de microgravité, des mesures acoustiques et la sismologie, semblerait logique. Bien en avance

sur leurs homologues conventionnels, ils peuvent être produits à un coût bien moindre tout en apportant une précision inégalée. Pourtant, leur commercialisation est toujours entravée par un processus de fabrication complexe et une instabilité à long terme.

S'engager dans le projet GraTA (Graphene Tunneling Accelerometer) qui développe le premier concept déjà breveté d'accéléromètre à effet tunnel à base de graphène de son genre. Ses avantages techniques, parmi lesquels sa plus petite taille, sa bande passante plus large, son mode de fabrication plus simple et sa stabilité naturelle, font déjà tourner les têtes dans l'industrie. Entre autres choses, il faciliterait la production de capteurs de haute technologie à base de graphène.

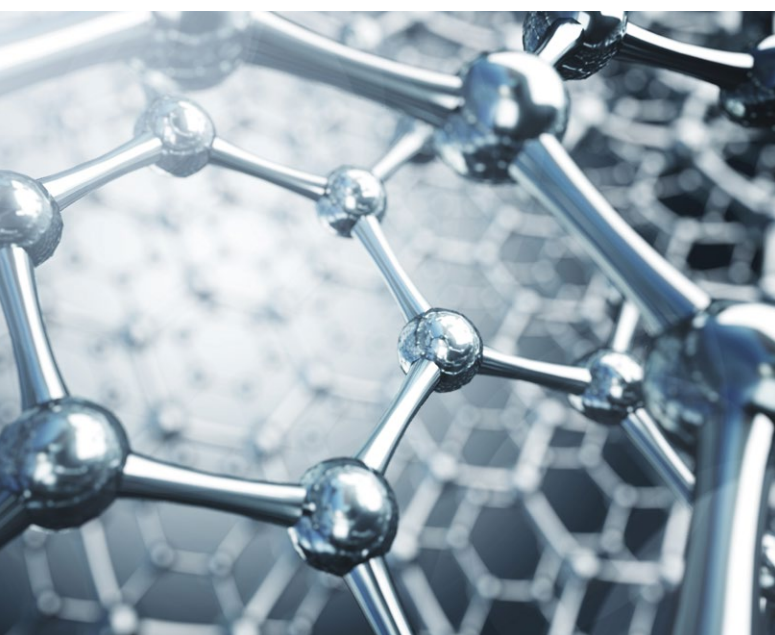
Le professeur Dr Pertti Hakonen, qui est en charge du projet, aborde son concept d'accéléromètre à effet tunnel, son processus de développement et ses perspectives de commercialisation.

À quelles lacunes des accéléromètres à effet tunnel souhaitez-vous remédier avec ce projet?

Le manque de stabilité à long terme des capteurs à effet tunnel à base de silicium et à revêtement métallique est la principale lacune que nous avons essayé de combler. La sensibilité et la largeur de bande seront également améliorées.



Avec le droit fondamental de propriété intellectuelle déposé et davantage de données collectées sur le terrain, nous sommes sur la bonne voie pour atteindre l'objectif de commercialisation.



Selon vous, pourquoi le graphène peut être une solution appropriée pour parvenir à cet objectif?

Le graphène est connu pour ses propriétés mécaniques supérieures (cristal de carbone léger, solide et robuste) et sa bonne conductivité électrique (pas besoin de revêtement métallique). Nous avons acquis de l'expérience dans le traitement de détails tels que la tension dans les structures des systèmes microélectromécaniques (MEMS) à base de graphène. La nature du matériau et notre savoir-faire font de l'accéléromètre en graphène une solution potentielle.

Quelles étaient les principales difficultés que vous avez rencontrées en réalisant ces nouveaux accéléromètres en graphène?

La fabricabilité (et la reproductibilité) est le principal défi rencontré lorsque l'on passe des échantillons de laboratoire aux futurs accéléromètres qui deviendront des produits.

Selon vous, quelles ont été vos plus importantes réalisations jusqu'à présent?

Nous avons prouvé que le minuscule écart n'est pas susceptible de s'effondrer, même dans l'air, ce qui est essentiel pour la fiabilité de l'accéléromètre. Son brevet principal a été déposé, et un autre concernant les matériaux connexes est en cours d'élaboration.

Que devez-vous encore accomplir avant la fin du projet?

Nous devons construire davantage de prototypes correctement intégrés, et collecter plus de données en laboratoire.

À quel genre d'applications de capteurs pensez-vous?

Par exemple, au suivi des vibrations des machines. Il s'agit de la méthode la plus répandue pour déterminer la santé de l'équipement de rotation. C'est utile pour la sécurité et la maintenance intelligente dans l'industrie moderne, notamment à l'ère de l'Internet des objets.

Selon vous, êtes-vous proche d'une éventuelle commercialisation?

C'est difficile à dire. La commercialisation prend plus de temps et nécessite des moyens différents que ceux dont nous disposons pour nos travaux de recherche dans l'environnement de laboratoire. Toutefois, avec le droit fondamental de propriété intellectuelle déposé et davantage de données collectées sur le terrain, nous sommes sur la bonne voie pour atteindre l'objectif de commercialisation.

PROJET

GraTA - Graphene Tunneling Accelerometer

COORDONNÉ PAR

Université Aalto, Finlande

FINANCÉ AU TITRE DE

H2020

SITE WEB DU PROJET

N/A



La technologie couche par couche (LbL) appliquée à l'oxyde de graphène

Un projet financé par l'UE a réussi à prouver que l'oxyde de graphène peut être assemblé avec d'autres matériaux pour fabriquer des composites polymères denses. Cette découverte pourrait donner lieu à des applications dans l'optoélectronique et la conversion énergétique, entre autres.

Le graphène est souvent présenté comme un super matériau en raison de sa résistance, de sa finesse, de sa conductivité et de ses propriétés optiques hors du commun. Mais son potentiel atteint un tout autre niveau lorsqu'il est combiné avec d'autres matériaux de natures différentes. Les propriétés du graphène peuvent être modifiées par la création de ces matériaux hybrides. Cette particularité offre aux chercheurs des perspectives nouvelles et prometteuses d'applications et peut également garantir une meilleure intégration du graphène dans les dispositifs.

C'est dans cette optique que le Dr Sergio Moya du Centre de recherche coopérative en biomatériaux (CIC biomaGUNE) a lancé, en mars 2014, le projet HIGRAPHEN (Hierarchical Functionalization of Graphene for Multiple device fabrication). En utilisant la technologie couche par couche – un simple procédé pour la fonctionnalisation des surfaces, reposant sur le dépôt progressif de molécules ou de matériaux de charges opposées – il cherchait à développer un procédé générique et polyvalent pour la fabrication de dispositifs hybrides qui combinent le graphène avec des matériaux polymères organiques et inorganiques.

«La force motrice qui se cache derrière l'assemblage couche par couche est l'interaction électrostatique entre les composants assemblés», explique le Dr Moya. «Au début, cette technique a été développée pour l'assemblage des polyélectrolytes, c.-à-d. des polymères avec des monomères à charge multiple. Mais depuis, son application a été étendue à différents composants: des polyélectrolytes couche par couche peuvent être associés à des nanoparticules, des lipides, des cellules, de l'oxyde de graphène, etc. Cette polyvalence offre une possibilité à la fois simple et puissante de concevoir des interfaces, tout en évitant les liaisons



© BONNINSTUDIO, Shutterstock

chimiques covalentes et montre un potentiel dans de nombreuses applications – des membranes de nanofiltration à des dispositifs optoélectroniques, des revêtements intelligents et des systèmes d'administration de médicaments.



Et montre un potentiel dans de nombreuses applications – des membranes de nanofiltration à des dispositifs optoélectroniques, des revêtements intelligents et des systèmes d'administration de médicaments.

Le projet a fait un pas en avant en se concentrant en particulier sur la combinaison de l'oxyde de graphène avec des nanoparticules de métal et d'oxyde de métal, ainsi qu'avec des polyélectrolytes, tout en envisageant des applications potentielles dans le stockage de l'énergie et la catalyse. Bien que la technique couche par couche soit largement utilisée dans l'ingénierie des surfaces et dans la production de fines pellicules, l'utilisation de cette technologie par le projet HIGRAPHEN pour assembler des composants hétérogènes avec l'oxyde de graphène est particulièrement innovante.

Le Dr Moya et son équipe ont commencé par synthétiser différents nanomatériaux tels que les boîtes quantiques de séléniure de zinc (ZnSe), les nanoparticules magnétiques et les polymères électroactifs comme les polyaminobenzylamines (PABA), avant de les intégrer dans des pellicules couche par couche avec de nombreux composants, notamment l'oxyde de graphène. Par la suite, l'équipe du projet HIGRAPHEN a intégré ces ensembles dans des revêtements et des dispositifs anticorrosifs macroscopiques destinés à des applications optoélectroniques et à la conversion énergétique.

d'obtenir une disposition dense d'oxyde de graphène en combinaison avec des polymères. Cela nous a permis de développer différentes approches de revêtement de l'oxyde de graphène et de sa combinaison avec des nanoparticules», explique le Dr Moya.

Globalement, le résultat le plus important du projet est la preuve que l'oxyde de graphène peut être assemblé pour créer des composites polymères denses et qu'il peut être facilement intégré à des nanoparticules de métal pour la catalyse. Si le projet HIGRAPHEN doit se terminer en mars 2018, le Dr Moya précise que les partenaires du projet suivent déjà de nouvelles pistes de recherche intéressantes qui reposent sur les résultats du projet, pour la fabrication de dispositifs et des applications catalytiques.

PROJET

HIGRAPHEN - Hierarchical Functionalization of Graphene for Multiple device fabrication

COORDONNÉ PAR

Centre de recherche coopérative en biomatériaux (CIC biomaGUNE), Espagne

FINANCÉ AU TITRE DE

FP7-PEOPLE

SITE WEB DU PROJET

personal.cicbiomagune.es/smoya/higraphen/index.html

«L'un des principaux défis auxquels nous avons dû faire face était



Des polymères enrichis en graphène prêts à être commercialisés

Un procédé de développement de quatre ans a permis d'identifier les matériaux et les techniques de production les plus adaptés aux revêtements, adhésifs et composites à base de graphène. Une fois que le marché du graphène atteindra sa maturité, ces nouveaux produits pourront susciter l'intérêt d'un grand nombre d'industries.




En réunissant 14 partenaires, y compris les petites et moyennes entreprises (PME), les sociétés, les universités et les centres de recherche, le projet visait à fournir à une échelle industrielle des quantités de polymères thermodurcissables enrichis en graphène.

«Nous nous sommes intéressés aux différentes façons d'améliorer les propriétés thermomécaniques et électriques des revêtements, des additifs et des composites», explique Maria Konstantakopoulou, ingénieur de développement de la société Coventive Composites qui coordonne le projet. Une fois les résultats cibles définis, l'équipe a choisi des polymères adéquats, a précisé une série de catégories de graphite et de graphène et a identifié les techniques d'exfoliation et de dispersion adéquates qui pourraient lui permettre, à terme, d'augmenter la production tout en assurant une distribution correcte du graphène dans le produit final.

Aujourd'hui encore, le graphène demeure assez coûteux, ce qui n'encourage pas son incorporation à grande échelle dans les produits commerciaux. Mais cela n'a pas empêché les chercheurs de toute l'Europe de poursuivre le développement de matériaux et de techniques de production qui peuvent éveiller l'intérêt de l'industrie lorsque de grands lots de graphène seront disponibles à moindre prix.

Le projet POLYGRAPH (Up-Scaled Production of Graphene Reinforced Thermosetting Polymers for Composite, Coating and Adhesive Applications) figure parmi ces entreprises pionnières.


Nous nous sommes intéressés aux différentes façons d'améliorer les propriétés thermomécaniques et électriques des revêtements, des additifs et des composites.

Comme le coordinateur du projet POLYGRAPH, Ben Hargreaves, l'explique, l'idée était de réaliser une production «à une échelle qui serait viable pour d'autres sociétés, leur permettant d'envisager l'intégration de notre solution dans leurs produits actuels ou futurs». La conversion des matériaux composites à grande échelle constitue en effet un obstacle à leur adoption par le marché. La capacité des partenaires du projet de produire 100 kg de graphite et 25 kg de graphène par lot a ouvert de nouvelles perspectives.

Le consortium du projet a produit différents matériaux composites dont la conductivité électrique et

les propriétés mécaniques ont été évaluées. Les revêtements, les adhésifs et les composites les plus prometteurs ont été utilisés dans des pièces de démonstration, respectivement un élément structurel pour l'aéronautique, un élément de radôme/carénage aéronautique peint, et un panneau dorsal pour siège arrière de voiture. Les avantages comprennent un meilleur comportement structurel, une réduction du poids, l'esthétique, les propriétés électriques et la résistance au feu.

«L'un des avantages principaux des composites enrichis en graphène issus de ce procédé de recherche et de développement repose sur leurs propriétés électriques qui permettent leur utilisation dans le blindage contre les interférences électromagnétiques (EMI) ou dans les systèmes de dégivrage des éoliennes», souligne Konstantakopoulou.

En attendant le moment opportun

Gary Foster, qui a été le gestionnaire du projet POLYGRAPH, précise que les perspectives commerciales varient fortement pour chacun des trois matériaux. «Du côté des revêtements, notre partenaire de projet HMG Paints peut lancer le processus de production directement, car les matériaux que nous avons développés sont assez proches des produits qu'ils vendent actuellement. Les adhésifs, en revanche, sont un peu plus sensibles au prix. Cela ne signifie pas que nos partenaires n'utiliseront pas ces matériaux, ils attendent simplement le moment propice, lorsqu'il y aura une demande pour le produit».

Le troisième produit, un composite préimprégné, aussi appelé prépreg, a été particulièrement important pour Conventive Composites, comme le souligne Hargreaves: «À la base, prépreg n'avait pas été prévu pour prendre une place aussi importante dans le projet que ce qui a fini par arriver. Nous avons également examiné d'autres techniques de production telles que l'infusion, mais les premiers travaux ont clairement démontré que le

prépreg deviendrait la technique optimale». Foster et Hargreaves s'accordent à dire que la société devrait désormais se concentrer sur la recherche d'un marché de niche adéquat pour ce composite, et que les efforts futurs devraient se concentrer sur l'identification des besoins des clients potentiels et sur la manière dont le produit pourrait être amélioré pour répondre à leurs exigences.

D'ici là, l'équipe suivra de près l'évolution du graphène. «Un certain niveau de généralisation est nécessaire», explique Foster. «Par exemple, si nous voulons utiliser notre produit dans le secteur aéronautique, les clients auront besoin de certaines données fondamentales des producteurs de graphène, que ceux-ci ne sont pas actuellement en mesure de fournir. Ce sont des obstacles que nous ne pouvons surmonter seuls».

C'est dans cette optique que le consortium POLYGRAPH a collaboré étroitement avec l'initiative Graphene Flagship, créant un lien entre les universités et l'industrie, de manière à ce que la recherche des premières réponde mieux aux besoins des derniers. En définitive, cette collaboration permettra à Conventive Composites d'apporter au marché des solutions innovantes pour des produits tels que le blindage EMI ou les systèmes de dégivrage des pales d'éoliennes.

PROJET

PolyGraph - Up-Scaled Production of Graphene Reinforced Thermosetting Polymers for Composite, Coating and Adhesive Applications

COORDONNÉ PAR

NetComposites Limited, Royaume-Uni

FINANCÉ AU TITRE DE

FP7-NMP

SITE WEB DU PROJET

polygraphproject.eu



Results Pack CORDIS

Disponible en ligne en 6 langues: cordis.europa.eu/article/id/401207

Publié

au nom de la Commission européenne par CORDIS à
l'Office des publications de l'Union européenne
2, rue Mercier
L-2985 Luxembourg
LUXEMBOURG

cordis@publications.europa.eu

Coordination éditoriale

Zsófia TÓTH, Silvia FEKETOVA

Avis de non-responsabilité

Les indications en ligne concernant le projet et les liens publiés dans le numéro actuel de Results Pack CORDIS sont corrects au moment où cette publication est mise sous presse. L'Office des publications ne peut être tenu responsable des informations qui ne sont plus à jour ou des sites web qui n'existent plus. Ni l'Office des publications ni toute autre personne agissant en son nom ne sont responsables de l'utilisation qui pourrait être faite des informations contenues dans cette publication ou de toute erreur qui pourrait subsister dans les textes, malgré l'attention portée à leur préparation.

Les technologies présentées dans cette publication peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle.

Ce Results Pack est le fruit d'une collaboration entre CORDIS et la direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies (DG CONNECT)

Printed by the Publications Office in Luxembourg

PRINT	ISBN 978-92-78-41897-7	doi:10.2830/634981	ZZ-AK-18-005-FR-C
PDF	ISBN 978-92-78-41894-6	doi:10.2830/665852	ZZ-AK-18-005-FR-N

Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, 2019
© Union européenne, 2019

Réutilisation autorisée, moyennant mention de la source.

La politique de réutilisation des documents de la Commission européenne est régie par la décision 2011/833/UE (JO L 330 du 14.12.2011, p. 39).

Toute utilisation ou reproduction de photos ou de tout autre matériel dont l'Union européenne ne possède pas les droits d'auteur requiert l'autorisation préalable des titulaires des droits en question.

Photo de couverture: © Kid A, Shutterstock

UN NOUVEAU RESULTS PACK DE CORDIS SUR L'INNOVATION DANS LE SECTEUR DE L'EAU

Plongez dans notre tout dernier Results Pack sur l'innovation dans le secteur de l'eau, consacré à 10 projets financés par l'UE ayant mis au point des technologies innovantes pour garantir à l'Europe une sécurité hydrique sur le long terme et durable.



Consultez le Pack sur:
cordis.europa.eu/article/id/401167



Office des publications
de l'Union européenne



Suivez-nous aussi sur les réseaux sociaux!
facebook.com/EULawandPublications
twitter.com/CORDIS_EU
youtube.com/CORDISdotEU

FR