

POUR DIFFUSION IMMÉDIATE

n° 3855

Ce texte est une traduction de la version anglaise officielle de ce communiqué de presse. Il est fourni à titre de référence et pour votre confort uniquement. Pour plus de détails ou de précisions, veuillez vous reporter à la version originale en anglais. En cas de divergence, la version originale en anglais prévaut.

Demandes de renseignements des clients

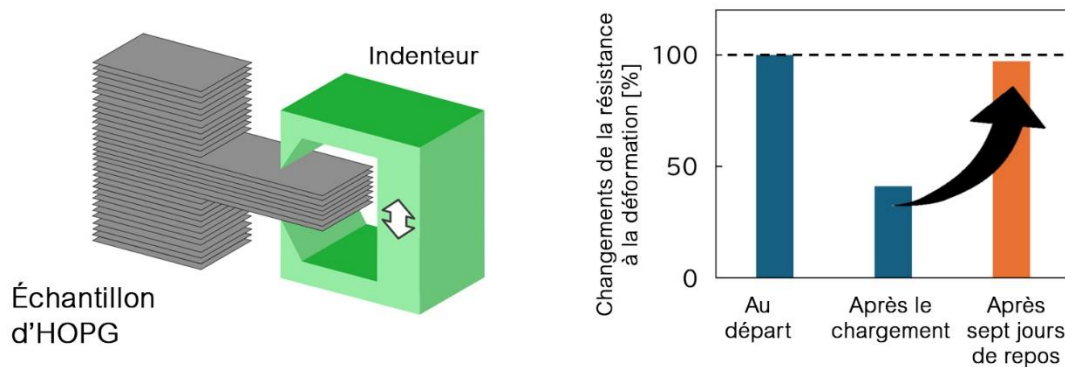
Demandes de renseignements des médias

Advanced Technology R&D Center
Mitsubishi Electric Corporation
Fax: +81-6-6497-7285
www.MitsubishiElectric.com/ssl/contact/company/rd/form.html
www.MitsubishiElectric.com/en/about/rd/

Public Relations Division
Mitsubishi Electric Corporation
prd.gnews@nk.MitsubishiElectric.co.jp
www.MitsubishiElectric.com/en/pr/

Mitsubishi Electric confirme la première mise en évidence de la propriété autoregénérante du graphite pyrolytique hautement orienté

La résistance accrue aux vibrations devrait prolonger la durée de vie opérationnelle des MEMS



Méthode d'essai et caractéristiques confirmées d'autoregénération

TOKYO, le 27 janvier 2026 : [Mitsubishi Electric Corporation](https://www.mitsubishielectric.com) (TOKYO : 6503) a annoncé aujourd'hui avoir confirmé la première mise en évidence¹ de la propriété autoregénérante du graphite pyrolytique hautement orienté (highly oriented pyrolytic graphite, HOPG),² un matériau stratifié de type van der Waals (vdW),³ dans le cadre de recherches conjointes avec le Solid Mechanics Laboratory (Hirakata Laboratory) du Graduate School of Engineering de l'université de Kyoto. Cette avancée devrait prolonger la durée de vie opérationnelle des microsystèmes électromécaniques (micro-electromechanical systems, MEMS)⁴ en utilisant des matériaux stratifiés de type vdW, contribuant ainsi à la fiabilité des appareils équipés de MEMS.

La demande en MEMS, y compris les accéléromètres et les capteurs de pression, s'accroît rapidement, grâce à l'évolution des fonctionnalités des smartphones, à la sophistication croissante de la conduite autonome et

¹ Selon une étude réalisée par Mitsubishi Electric, au 27 janvier 2026

² Un graphite très pur et bien orienté dans lequel l'orientation des cristallites de graphite individuelles est homogène.

³ Un matériau qui utilise la faible attraction entre les molécules pour former une structure.

⁴ Un dispositif micrométrique qui intègre des composants mécaniques, des capteurs, des actionneurs et des circuits électroniques sur un seul substrat.

des contrôles de sécurité dans les systèmes automobiles, et à l'adoption généralisée des dispositifs portables. Il est de plus en plus nécessaire de réduire le poids tout en garantissant la durabilité et la capacité à résister à des vibrations et à des chocs prolongés. Dans ce contexte, l'application de matériaux stratifiés de type vdW (légers, flexibles et très résistants) aux MEMS a été considérée comme prometteuse. Cependant, la production d'échantillons d'essai micrométriques de matériaux stratifiés de type vdW est techniquement difficile, et les méthodes d'essai n'ont pas encore été établies. Par conséquent, leur fiabilité à moyen et long terme, en particulier leurs propriétés de fatigue sous des charges répétées, n'a pas été étudiée jusqu'à présent.

Mitsubishi Electric, en collaboration avec l'université de Kyoto, a réussi à fabriquer des échantillons d'essai de HOPG à l'échelle micrométrique, et a établi une nouvelle méthode d'essai dans laquelle les échantillons sont soumis à des charges de flexion répétées pour induire une déformation par cisaillement. L'analyse des résultats des essais est en cours, et maintenant, pour la première fois au monde,¹ l'entreprise a confirmé que les échantillons HOPG présentent une propriété autoregénérante, c'est-à-dire qu'ils s'assouplissent lorsque le nombre de cycles de charge augmente ; puis, au fil du temps, leurs propriétés mécaniques, y compris la dureté, se rétablissent. Cette découverte suggère qu'il est possible d'utiliser du HOPG, qui dissipe intrinsèquement l'énergie vibratoire en raison de sa structure stratifiée, comme mécanisme d'absorption des vibrations⁵ avec capacité de récupération en cas de fatigue induite par les vibrations. L'application d'un tel mécanisme devrait contribuer au développement de dispositifs hautement fiables qui sont résistants aux dommages même en cas de vibrations continues. À l'avenir, cette méthode d'essai de fatigue sera appliquée à d'autres matériaux stratifiés de type vdW, faisant progresser la recherche visant à prolonger la durée de vie opérationnelle des MEMS.

Les résultats de cette recherche ont été sélectionnés pour publication dans la revue internationale *Diamond and Related Materials*.⁶

Caractéristiques

Première technologie au monde à confirmer la propriété autoregénérante du HOPG, démontrant une récupération de la résistance à la déformation de 41 % à 97 % en sept jours

- Un essai impliquant des charges de flexion répétées a été réalisé sur des échantillons micrométriques de HOPG. Il a été confirmé pour la première fois au monde que, bien que les échantillons s'assouplissent avec un nombre croissant de cycles de charge, ils présentent une propriété autoregénérante qui permet à leurs propriétés mécaniques, y compris la dureté, de revenir progressivement à leurs états d'origine au fil du temps.

⁵ En absorbant et en dispersant l'énergie vibratoire appliquée de l'extérieur, les vibrations et les impacts subis par l'objet sont réduits, ce qui permet de limiter les dommages et la fatigue.

⁶ <https://www.sciencedirect.com/journal/diamond-and-related-materials>

- Lors d'essais impliquant une déformation des échantillons dans les deux sens, il a été confirmé que ceux-ci s'assouplissaient jusqu'à 41 % de leur résistance initiale à la déformation après 1 000 cycles de chargement. Cependant, après avoir laissé les échantillons pendant sept jours, la résistance à la déformation s'est rétablie à 97 %. Ce comportement d'autorégénération devrait contribuer à l'extension de la durée de vie opérationnelle des MEMS fabriqués à partir de HOPG.

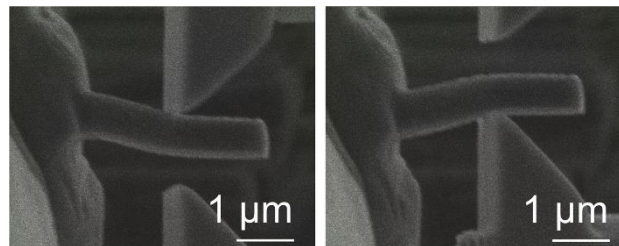
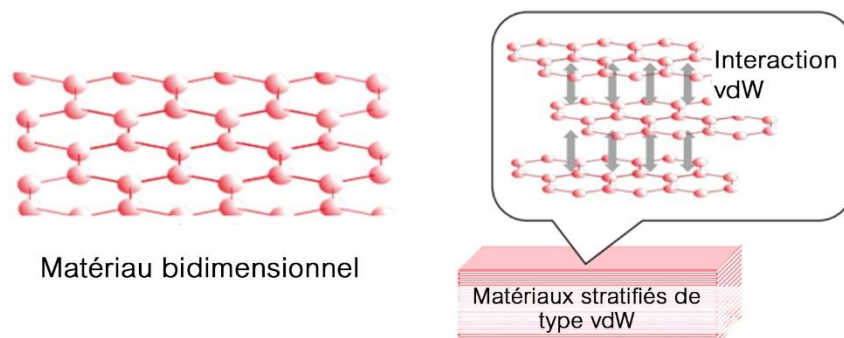


Image prise au microscope électronique pendant l'essai

Les métaux couramment utilisés dans les produits de tous les jours se détériorent et finissent par présenter des défaillances lorsqu'ils sont soumis à des flexions ou à des charges répétées, en raison de la fatigue du métal. Cela se produit parce que l'application répétée d'une force entraîne l'apparition et la propagation de fissures. En revanche, les matériaux stratifiés de type vdW tels que le graphite ont une structure unique dans laquelle des feuilles minces avec de fortes liaisons atomiques (couches de graphène) sont empilées en plusieurs couches et sont maintenues ensemble par des forces vdW très faibles. Grâce à cette structure, les couches peuvent glisser les unes par rapport aux autres (glissement intercouche) lorsqu'elles sont pliées, permettant ainsi au matériau d'absorber de manière flexible de grandes déformations sans se rompre.



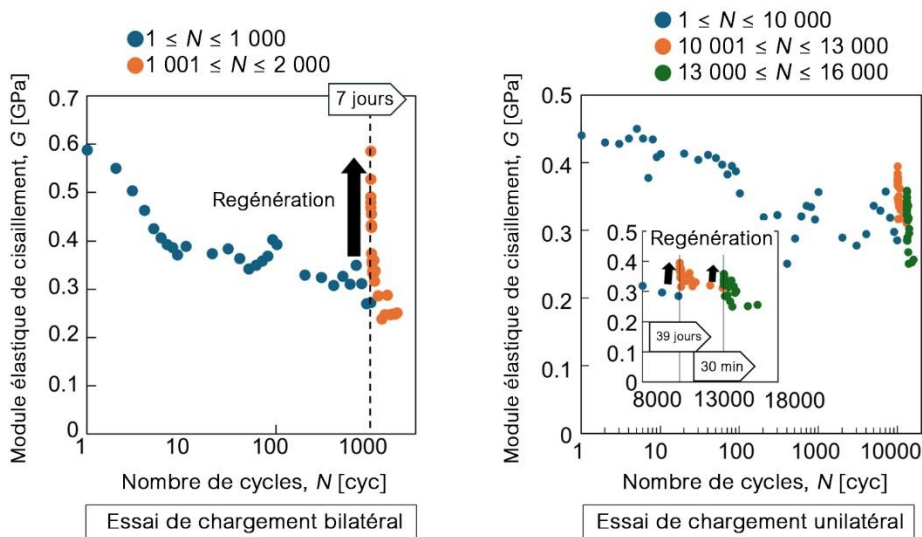
Configuration du stratifié vdW

Dans cette étude, des essais lors desquels des charges répétées ont été appliquées à des échantillons HOPG extrêmement petits ont été réalisés sous un microscope électronique. Deux méthodes de chargement ont été utilisées : l'une dans laquelle la déformation a été appliquée dans une seule direction (charge unilatérale) et l'autre dans laquelle la déformation a été appliquée dans les deux directions (charge bilatérale). Lors de l'essai de chargement unilatéral, l'échantillon a été soumis à 10 000 cycles de chargement, puis laissé au repos pendant 38 jours. Cela a été suivi de 3 000 cycles de charge avec une charge légèrement accrue, une période de repos de 30 minutes, puis de 3 000 cycles de charge supplémentaires avec une charge encore accrue, pour un total de 16 000 cycles. Lors de l'essai de chargement bilatéral, l'échantillon a été soumis à 1 000 cycles de charge, laissé au repos pendant sept jours, puis soumis à 1 000 cycles de charge supplémentaires avec une

charge plus élevée, pour un total de 2 000 cycles.

Par conséquent, dans les deux essais, il a été constaté qu’augmenter le nombre de cycles de charge a entraîné un ramollissement des échantillons (diminution de la résistance à la déformation). Lors de l’essai de chargement unilatéral, la résistance à la déformation a chuté à 66 % de sa valeur initiale après 10 000 cycles, et lors de l’essai de chargement bilatéral, elle a chuté à 41 % après 1 000 cycles. En outre, pour la première fois au monde, il a été confirmé que cet état ramolli se rétablit au fil du temps, une propriété appelée autogénération. Lors de l’essai de chargement unilatéral, la résistance à la déformation s’est rétablie à 91 % lorsque l’échantillon a été laissé au repos pendant 38 jours après 10 000 cycles de charge. Lors de l’essai de chargement bilatéral, elle s’est presque complètement rétablie à 97 %, après sept jours de repos après 1 000 cycles de charge. Lors de l’essai unilatéral, même après une courte période de repos de 30 minutes entre les 13 000e et 13 001e cycles, la résistance à la déformation est passée de 70 % à 82 %. Cette propriété autogénérente observée dans le HOPG est attribuée à deux facteurs : la résistance et la flexibilité élevées du graphène, qui est le matériau bidimensionnel formant la structure stratifiée de type vdW, et la caractéristique des interactions de vdW entre les couches de graphène se reformant après avoir été temporairement cassées en raison d’un glissement intercouche.

Ces résultats indiquent que les MEMS fabriqués à partir de HOPG ont une durée de vie prolongée et sont donc plus fiables à long terme. En outre, les résultats devraient contribuer à accroître la fiabilité de divers appareils équipés de MEMS, renforçant ainsi leurs performances globales et leur durabilité.



Relation entre le module de cisaillement et le nombre de cycles d’essai

Rôles

Organisation	Responsabilités
Mitsubishi Electric	Caractérisation de la fatigue du HOPG et analyse des résultats
Université de Kyoto	Recherche fondamentale sur les propriétés physiques des nanostructures

Prochaines étapes du développement

La propriété autoregénérante confirmée cette fois-ci sera appliquée aux mécanismes d'absorption des vibrations dans les MEMS, dans le but de développer des systèmes d'amortissement des vibrations hautement fiables et durables. En outre, la recherche sur les caractéristiques d'autoregénération sera étendue à d'autres matériaux stratifiés de type vdW, et des efforts seront déployés pour appliquer ces matériaux à des systèmes où la déformation induit un potentiel électrique. Cette approche vise à permettre aux MEMS de convertir efficacement et en continu l'énergie de déformation en énergie électrique, faisant ainsi progresser le développement de MEMS qui récupèrent l'énergie.

###

À propos de Mitsubishi Electric Corporation

Depuis plus de 100 ans, Mitsubishi Electric Corporation (TOKYO : 6503) propose des produits fiables et de haute qualité. Ce leader international est reconnu pour la fabrication, le marketing et la vente d'équipements électriques et électroniques utilisés dans les domaines suivants : le traitement et la communication de l'information, le développement spatial et les communications par satellite, l'électronique grand public, la technologie industrielle, l'énergie, les transports et l'équipement dans le bâtiment. Mitsubishi Electric enrichit la société par la technologie dans l'esprit de sa devise « Changes for the Better ». L'entreprise a enregistré un chiffre d'affaires de 5 521,7 milliards de yens (36,8 milliards de dollars US*) au cours de la dernière année fiscale qui a pris fin le 31 mars 2025. Pour plus d'informations, veuillez consulter le site www.MitsubishiElectric.com

* Les montants en dollars américains sont convertis à partir du yen au taux de 150 yens = 1 dollar US, taux approximatif indiqué par le Tokyo Foreign Exchange Market le 31 mars 2025