

DA PUBBLICARE IMMEDIATAMENTE

N. 3855

Il presente testo è una traduzione della versione inglese ufficiale del comunicato stampa e viene fornito unicamente per comodità di consultazione. Fare riferimento al testo inglese originale per conoscere i dettagli e/o le specifiche. In caso di eventuali discrepanze, prevale il contenuto della versione inglese originale.

Richieste dei clienti

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/

Richieste dei media

Public Relations Division

Mitsubishi Electric Corporation

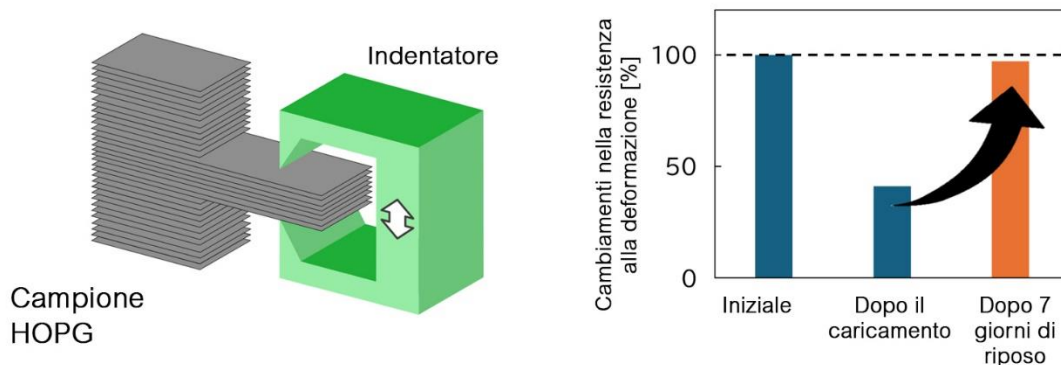
prd.gnews@nk.MitsubishiElectric.co.jp

www.MitsubishiElectric.com/en/pr/

**Mitsubishi Electric conferma la prima
proprietà di auto-recupero della grafite pirolitica altamente orientata al
mondo**

Si prevede che la maggiore resistenza alle vibrazioni prolunghi la durata operativa dei dispositivi

MEMS



Metodo di test e caratteristiche di auto-recupero confermate

TOKYO, 27 gennaio 2026 – [Mitsubishi Electric Corporation](https://www.mitsubishi-electric.com) (TOKYO: 6503) ha annunciato oggi di aver confermato la prima¹ proprietà di auto-recupero al mondo della grafite pirolitica altamente orientata (HOPG),² un materiale stratificato van der Waals (vdW),³ in una ricerca congiunta con il Solid Mechanics Laboratory (Hirakata Laboratory) della Graduate School of Engineering dell'Università di Kyoto. Questo risultato dovrebbe prolungare la durata dei sistemi micro elettromeccanici (MEMS)⁴ utilizzando materiali stratificati vdW, contribuendo così all'affidabilità dei dispositivi dotati di MEMS.

¹ Secondo le ricerche di Mitsubishi Electric alla data del 27 gennaio 2026.

² Grafite altamente pura e ben orientata in cui l'orientamento dei singoli cristalliti di grafite corrisponde.

³ Un materiale che utilizza la debole attrazione tra le molecole per formare una struttura.

⁴ Un dispositivo a livello di micron che integra componenti meccanici, sensori, attuatori e circuiti elettronici su un singolo substrato.

La domanda di MEMS, inclusi accelerometri e sensori di pressione, è in rapida espansione, spinta dal progresso delle funzionalità degli smartphone, dalla crescente sofisticazione della guida autonoma e dei controlli di sicurezza nei sistemi automobilistici e dall'adozione diffusa di dispositivi indossabili. C'è una crescente necessità di ridurre il peso garantendo al contempo una durata in grado di resistere a vibrazioni e urti prolungati nel tempo. In questo contesto, l'applicazione di materiali stratificati vdW (leggeri, flessibili e con elevata resistenza) ai MEMS è considerata promettente. Tuttavia, la produzione di campioni di test su microscala di materiali stratificati con vdW è tecnicamente impegnativa e non sono ancora stati stabiliti metodi di test. Di conseguenza, la loro affidabilità a medio-lungo termine, in particolare le proprietà di resistenza alla fatica sotto carico ripetuto, è rimasta finora inesplorata.

Mitsubishi Electric, in collaborazione con l'Università di Kyoto, è riuscita a produrre campioni di test su microscala di HOPG e ha stabilito un nuovo metodo di test dove i campioni sono sottoposti a ripetuti carichi di flessione per indurre deformazione da taglio. L'analisi dei risultati dei test è in corso e ora, per la prima volta al mondo,¹ l'azienda ha confermato che i campioni di HOPG presentano una proprietà di auto-recupero, per cui si ammorbidiscono con l'aumentare del numero di cicli di carico e poi, nel tempo, recuperano le loro proprietà meccaniche, inclusa la durezza. Questa scoperta suggerisce il potenziale di utilizzo dell'HOPG, che disperde intrinsecamente l'energia vibrazionale grazie alla sua struttura stratificata, come meccanismo di assorbimento delle vibrazioni⁵ dotato della capacità di riprendersi dalla fatica indotta dalle vibrazioni. L'applicazione di tale meccanismo dovrebbe contribuire allo sviluppo di dispositivi altamente affidabili e resistenti ai danni anche in ambienti a vibrazione continua. In futuro, questo metodo di test di fatica sarà applicato ad altri materiali stratificati vdW, avanzando la ricerca volta ad estendere la durata operativa di MEMS.

I risultati di questa ricerca sono stati selezionati per la pubblicazione sulla rivista internazionale *Diamond and Related Materials*.⁶

Caratteristiche

La prima tecnologia al mondo a confermare la proprietà di auto-recupero di HOPG, dimostrando il recupero della resistenza alla deformazione dal 41% al 97% in sette giorni

- È stato condotto un test con carichi di flessione ripetuti su campioni su microscala di HOPG. È stato confermato per la prima volta al mondo che, sebbene i campioni si ammorbidiscano con un numero crescente di cicli di carico, sono dotati di una proprietà di auto-recupero per cui le loro proprietà meccaniche, inclusa la durezza, ritornano gradualmente allo stato originale nel tempo.

⁵ Assorbendo e disperdendo l'energia vibratoria applicata dall'esterno, la vibrazione e l'impatto dell'oggetto vengono ridotti e i danni e la fatica eliminati.

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

- Nei test che coinvolgono la deformazione dei campioni in entrambe le direzioni, è stato confermato che i campioni si sono ammorbiditi al 41% della loro resistenza alla deformazione originale dopo 1.000 cicli di carico. Tuttavia, dopo aver lasciato i campioni per sette giorni, la resistenza alla deformazione è tornata al 97%. Questo comportamento di auto-recupero dovrebbe contribuire all'estensione della durata dei MEMS fatti di HOPG.

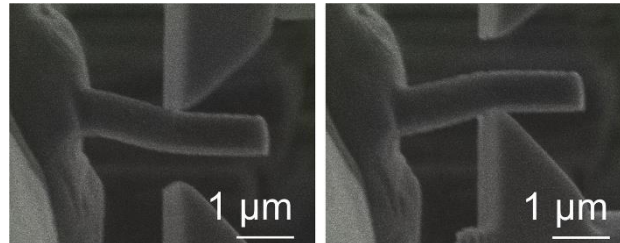
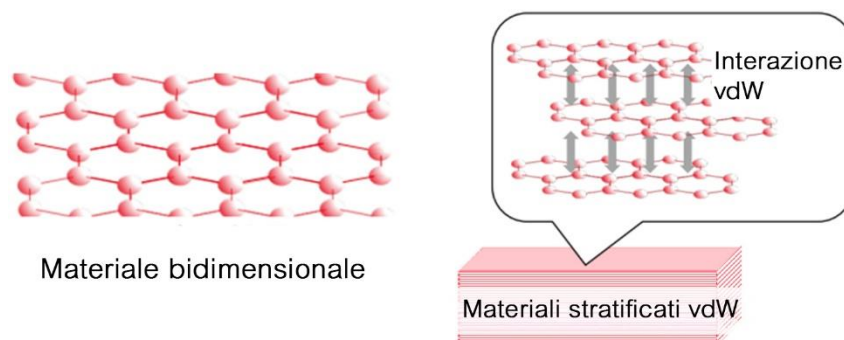


Immagine al microscopio elettronico acquisita durante il test

I metalli comunemente usati nei prodotti di uso quotidiano si deteriorano e alla fine cedono se sottoposti a ripetute sollecitazioni o carichi a causa dell'affaticamento del metallo. Ciò si verifica perché l'applicazione ripetuta della forza porta alla creazione e alla propagazione di crepe. Al contrario, i materiali stratificati con vdW come la grafite hanno una struttura unica in cui fogli sottili con forti legami atomici (strati di grafene) sono impilati in più strati tenuti insieme da forze vdW molto deboli. Grazie a questa struttura, gli strati possono scivolare l'uno rispetto all'altro (slittamento interstrato) quando piegati, consentendo al materiale di assorbire in modo flessibile grandi deformazioni senza rompersi.

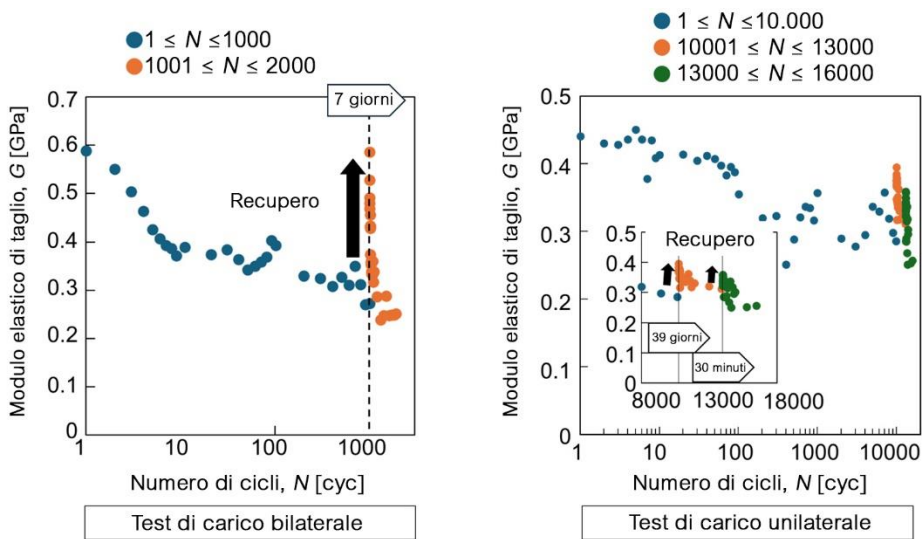


Configurazione del laminato vdW

In questo studio, i test in cui sono stati applicati carichi ripetuti a campioni di HOPG estremamente piccoli sono stati condotti all'interno di un microscopio elettronico. Sono stati utilizzati due metodi di caricamento: uno in cui la deformazione è stata applicata in una sola direzione (carico unilaterale) e un altro in cui la deformazione è stata applicata in entrambe le direzioni (carico bilaterale). Nel test di carico unilaterale, il campione è stato sottoposto a 10.000 cicli di carico, quindi lasciato riposare per 38 giorni. Quindi è stato seguito da 3.000 cicli di carico con un carico leggermente maggiore, un periodo di riposo di 30 minuti e poi altri 3.000 cicli di carico con un ulteriore carico aumentato per un totale di 16.000 cicli. Nel test di carico bilaterale, il campione è stato sottoposto a 1.000 cicli di carico, lasciato a riposo per 7 giorni, e poi sottoposto ad altri 1.000 cicli di carico con un carico maggiore, per un totale di 2.000 cicli.

Di conseguenza, in entrambi i test è stato riscontrato che l’aumento del numero di cicli di carico ha portato all’ammorbidimento dei campioni (una diminuzione della resistenza alla deformazione). Nel test di carico unilaterale, la resistenza alla deformazione è scesa al 66% del suo valore iniziale dopo 10.000 cicli e nel test di carico bilaterale è scesa al 41% dopo 1.000 cicli. Inoltre, per la prima volta al mondo, è stato confermato che questo stato più morbido si riprende nel tempo, una proprietà denominata auto-recupero. Nel test di carico unilaterale, la resistenza alla deformazione è tornata al 91% quando il campione è stato lasciato riposare per 38 giorni dopo 10.000 cicli di carico. Nel test di carico su due lati, è tornato quasi completamente al 97% dopo 7 giorni di riposo dopo essere stato sottoposto a 1.000 cicli di carico. Nel test unilaterale, anche dopo un breve periodo di riposo di 30 minuti tra il 13.000° e il 13.001° ciclo, la resistenza alla deformazione è aumentata dal 70% all’82%. Questa proprietà di auto-recupero osservata in HOPG è attribuita a due fattori: l’elevata resistenza e flessibilità del grafene, il materiale bidimensionale che forma la struttura stratificata vdW, e la caratteristica delle interazioni vdW tra strati di grafene che si riformano dopo essere stati temporaneamente rotti a causa dello slittamento interstrato.

Questi risultati indicano che i MEMS realizzati con HOPG raggiungono una durata prolungata e quindi un’affidabilità a lungo termine. Inoltre, si prevede che i risultati sosterranno la realizzazione di una maggiore affidabilità su vari dispositivi dotati di MEMS, migliorando le prestazioni e la durata complessiva.



Relazione tra il modulo di taglio e il numero di cicli nei test

Ruoli

Organizzazione	Responsabilità
Mitsubishi Electric	Caratterizzazione dell’affaticamento dell’HOPG e analisi dei risultati
Università di Kyoto	Ricerca di base sulle proprietà fisiche delle nanostrutture

Sviluppi futuri

La proprietà di auto-recupero confermata questa volta sarà applicata ai meccanismi di assorbimento delle vibrazioni nei MEMS, con l'obiettivo di sviluppare sistemi di smorzamento delle vibrazioni altamente affidabili e di lunga durata. Inoltre, la ricerca sulle caratteristiche di auto-recupero sarà estesa ad altri materiali stratificati vdW e saranno fatti sforzi per applicare questi materiali a sistemi in cui la deformazione induce potenziale elettrico. Questo approccio mira a consentire ai MEMS di convertire in modo efficiente l'energia di deformazione in energia elettrica in modo continuo, favorendo lo sviluppo di MEMS per la raccolta di energia.

###

Informazioni su Mitsubishi Electric Corporation

Con oltre 100 anni di esperienza nella fornitura di prodotti affidabili e di alta qualità, Mitsubishi Electric Corporation (TOKYO: 6503) è leader mondiale e riconosciuto nella produzione, marketing e vendita di apparecchi elettrici ed elettronici per i settori informatico e delle comunicazioni, spaziale e delle comunicazioni satellitari, dell'elettronica di consumo, delle tecnologie industriali, energetico, dei trasporti e delle costruzioni. Mitsubishi Electric utilizza la tecnologia per migliorare la società, incarnando lo spirito del concetto "Changes for the Better". L'azienda ha registrato un volume di vendite di 5.521,7 miliardi di yen (36,8 miliardi di dollari USA*) nell'anno fiscale terminato il 31 marzo 2025. Per ulteriori informazioni, visitare il sito www.MitsubishiElectric.com

*Gli importi in dollari statunitensi sono convertiti in yen al tasso di cambio di 150 yen = 1 dollaro statunitense, tasso approssimativo del mercato dei cambi esteri di Tokyo al 31 marzo 2025