

# Il futuro è nel grafene?

MASSIMO GIUSSANI

Il processo di miniaturizzazione della tecnologia elettronica è vincolato da ben precisi limiti fisici: procedendo al ritmo attuale, si prevede che il downscaling dei dispositivi in silicio subirà una battuta d'arresto entro i prossimi quindici anni. È inevitabile quindi che le ricerche si concentrino su alternative adatte alla realizzazione di circuiti su scala nanometrica che non presentino quei problemi di instabilità delle strutture e di dipendenza dalla temperatura che affliggono il silicio.

## TANTO COMUNE QUANTO RARO

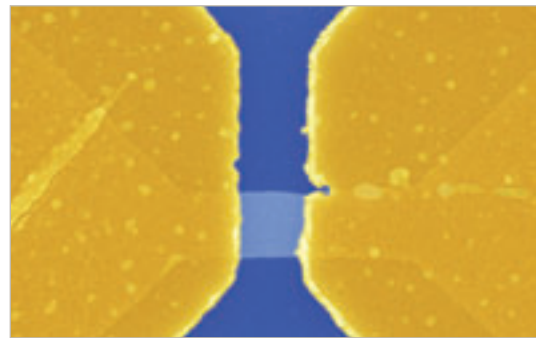
Un materiale che appare particolarmente promettente da questo punto di vista è il grafene, una forma allotropica del carbonio costituita da un reticolo di celle esagonali spesso un solo atomo. Non si tratta di un materiale nuovo o esotico: la comune grafite, il componente delle mine per matite, è di fatto costituita da piani di grafene accatastati l'uno sull'altro e legati tra loro da deboli forze di Van Der Waals. Nel singolo piano di grafene, però, gli atomi sono tenuti assieme da forti legami covalenti (lunghi circa 0,14 nm) che ne fanno la sostanza più resistente nota all'uomo. Un cristallo di grafene può essere considerato un'entità bidimensionale; con il giusto numero di 'inserti' pentagonali, gli atomi di carbonio si possono disporre anche in una forma arro-

tolata, un nanotubo, che si sviluppa in una sola dimensione; con ulteriori deformazioni gli atomi si raggruppano in quello che prende il nome di fullerene. Nonostante facciano parte di una sostanza comune come la grafite e siano stati studiati teoricamente da decenni, i singoli cristalli di grafene sono difficilmente isolabili proprio perché spessi un solo atomo. Solo recentemente sono state messe a punto tecniche (la prima nel 2004, all'università di Manchester) per produrne quantitativi sufficienti a studiarne le proprietà.

## PROPRIETÀ FUORI DAL COMUNE

Il confinamento spaziale nella dimensione trasversale conferisce al grafene delle caratteristiche uniche anche per il già controintuitivo mondo della meccanica quantistica non relativistica (Nrqm) alla base dei tradizionali dispositivi a semiconduttore. A questa scala, l'interazione delle cariche mobili con il reticolo di atomi di carbonio è caratterizzata da due circostanze del tutto nuove: la massa efficace dei portatori mobili si annulla e la mobilità mostra un'ampia indipendenza dalla temperatura. La resistività intrinseca del materiale è molto bassa e non risente dell'eccitazione termica. Il risultato è che gli elettroni si spostano molto velocemente all'interno del grafene, che può essere usato per realizzare transistor balistici anche a temperatura ambiente. Il movimento delle cariche nel grafene è retto dalle equazioni della mecca-

Nanotransistor a basso consumo, centinaia di volte più veloci dei dispositivi attuali: ecco le promesse del grafene



nica quantistica relativistica e presenta differenze sostanziali con la Nrqm, in particolare relativamente alle modalità di tunnelling. La probabilità di attraversamento di una barriera di potenziale di un elettrone veloce risulta infatti essere del 100% e non più un valore inferiore all'unità e dipendente dall'altezza della barriera.

## TRANSISTOR DI NUOVA GENERAZIONE

I primi transistor a singolo elettrone in grafene sono stati messi a punto all'università di Manchester, già nel 2004. Dato che il materiale agisce da semiconduttore senza salto di banda, il controllo del flusso viene effettuato basandosi su un altro principio noto come blocco coulombiano: il trasferimento di carica tra le regioni di source e drain viene interdetto dall'applicazione di un determinato potenziale elettrico all'elettrodo di gate posto sopra un'isola di grafene costituita da pochi atomi di carbonio. L'applicazione di un piccolo potenziale positivo rende possibile l'effetto tunnel con il totale trasferimento di carica tra le regioni ad alta mobilità. Si ottiene così un transistor estremamente veloce (per le piccole dimensioni e la velocità dei portatori) e teoricamen-

te a basso consumo (per le basse tensioni in gioco e la minima resistività offerta dal materiale). I primi dispositivi erano tuttavia affetti da perdite elevate per via dell'imprecisione dei nastri di grafene costituenti l'isola, con conseguente basso rapporto tra gli stati di conduzione e interdizione (30:1). Recentemente a Princeton è stata messa a punto una tecnica per la produzione di strisce di grafene che ha portato a transistor con un rapporto on/off di oltre 100000:1. Il processo non è tuttavia adatto all'impiego industriale perché i nastri, prodotti per esfoliazione chimica, devono essere selezionati volta per volta per essere posizionati sui circuiti integrati.

## ANCORA LONTANI

I ricercatori non prevedono un impatto significativo della tecnologia in grafene prima di 10-15 anni. La ricerca in questo campo è attiva in tutto il mondo: in particolare negli Usa con il programma Cera (Carbon Electronics for RF Applications), iniziato a luglio con il contributo di Darpa, e in Europa, ove la CE ha avviato a gennaio il programma Grand (GRAphene Nanoelectronics Devices) per capire se il futuro dell'elettronica è davvero nel grafene.

readerservice.it n.19060

**contradata®**

**dalla più piccola scheda CPU alla Workstation...  
le soluzioni più affidabili e competitive**

Tutti i formati  
per applicazioni  
embedded

AID...DIA...I/O

Sistemi embedded  
pronti all'uso

PC industriali  
Panel PC  
Workstation

**Alla sicurezza non si può rinunciare**

www.contradata.com

Contradata Milano S.r.l.  
support@contradata.com