

Magneti molecolari su grafene per la spintronica

Una ricerca, svolta in collaborazione fra fisici e chimici italiani, tedeschi e spagnoli, mostra che è possibile realizzare nano-sistemi ibridi depositando magneti molecolari su grafene. L'interazione fra gli spin dei magneti molecolari e il gas bidimensionale di elettroni del grafene modifica profondamente la dinamica quantistica degli spin molecolari. Ciò apre la strada al controllo dello spin mediante campi elettrici nei nano-dispositivi per la spintronica (elettronica di spin) basati sul grafene.

Il grafene, il cosiddetto “materiale delle meraviglie” costituito da un singolo strato perfettamente bidimensionale di atomi di carbonio, è considerato il migliore candidato per tutta una serie di applicazioni nano-tecnologiche. Un campo applicativo di particolare interesse è quello della spintronica, ovvero l'elettronica fondata sullo spin, nella quale si sfrutta il fatto che l'elettrone possiede, oltre alla carica elettrica, anche un momento magnetico intrinseco, detto spin.

Per progettare dei nano-dispositivi basati sulla spintronica degli stati di superficie e la manipolazione elettrica dello spin, è fondamentale riuscire a depositare sul grafene delle molecole o degli atomi dotati di un proprio spin e controllare la loro dinamica. In particolare, un ambizioso progetto è quello di realizzare nano-dispositivi spintronici le cui caratteristiche sono determinate dalle proprietà quantistiche di pochi “magneti a singola molecola” agganciati al grafene. Un “magnete a singola molecola” (acronimo SMM, dall'inglese Single Molecule Magnet) è una molecola con dimensioni dell'ordine del nanometro (un miliardesimo di metro) che, a basse temperature, è capace di mantenere la propria magnetizzazione per un tempo estremamente lungo. Il vantaggio che si ha nell'utilizzo di queste molecole magnetiche, rispetto al caso di altri sistemi (ad esempio atomi) dotati di spin individuali, è di poterle variamente funzionalizzare, tramite tecniche di vera e propria ingegneria chimica, per ancorarle al piano di grafene.

A questo riguardo, è interessante segnalare un lavoro, appena pubblicato sulla versione online della rivista Nature Materials, che rappresenta il frutto di una collaborazione internazionale fra chimici e fisici, operanti in varie università e centri di ricerca italiani, tedeschi e spagnoli. Gli autori sono riusciti ad “attaccare” al grafene singole molecole magnetiche del tipo Fe₄ (una complessa molecola il cui centro magnetico è costituito da quattro ioni di ferro) grazie al fatto di averle funzionalizzate con pirene, un idrocarburo policiclico aromatico che agisce come un'ancora sul substrato. Questo ha permesso di studiare la dinamica del momento magnetico di spin associato alle molecole.

Mentre le proprietà statiche (magnetizzazione e suscettività magnetica) rimangono inalterate rispetto a quanto osservato in un cristallo tridimensionale formato solo da tali molecole, nel sistema ibrido costituito dalle molecole magnetiche disposte sul grafene la dinamica quantistica può essere profondamente modificata in conseguenza delle peculiari proprietà elettroniche del grafene, i cui elettroni formano un gas bidimensionale di particelle relativistiche.

Il principale risultato del lavoro è che, a bassissima temperatura ($T < 1$ K), il tempo di rilassamento della magnetizzazione si riduce di ben sei ordini di grandezza nel sistema ibrido rispetto al cristallo magnetico molecolare. Ciò avviene perché l'interazione fra gli spin delle molecole e gli elettroni del grafene attiva un meccanismo di tunnel quantistico risonante altamente coerente.

Questo regime nella dinamica quantistica di spin era stato predetto venti anni fa dal fisico teorico francese [Jacques Villain](#) ma non era mai stato osservato nei cristalli magnetici molecolari perché occorre che la molecola risenta di una perturbazione elettronica piuttosto forte e, al tempo stesso, l'interazione magnetica dipolare sia trascurabile. Nei sistemi ibridi entrambe le condizioni sono soddisfatte: la perturbazione prodotta dagli elettroni del grafene è sufficientemente forte; inoltre, sia la maggiore diluizione delle molecole magnetiche rispetto al caso del cristallo, sia lo schermaggio delle interazioni magnetiche da parte del grafene, riducono fortemente le interazioni dipolari.

Quanto trovato costituisce un progresso nella comprensione a livello fondamentale dell'interazione spin-grafene, che potrebbe in futuro aprire la strada alla manipolazione elettrica dello spin nei nano-dispositivi spintronici basati sul grafene.

Fonte:

Maria Gloria Pini, Istituto dei Sistemi Complessi del CNR (ISC-CNR), Unità di Sesto Fiorentino (FI), tel. 055 5226628, email mariagloria.pini@isc.cnr.it

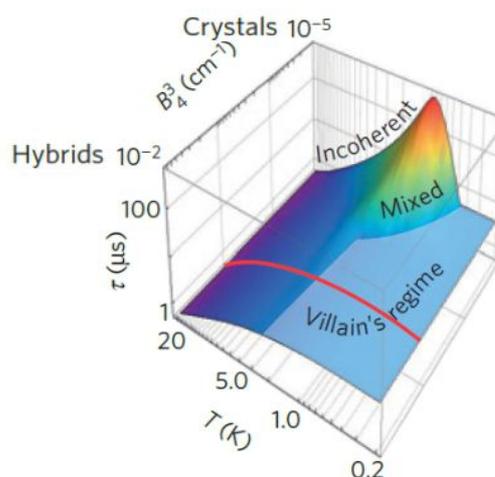
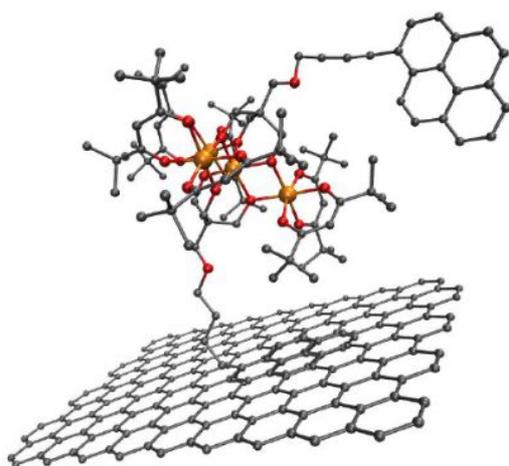
Riferimenti bibliografici:

Christian Cervetti, Angelo Rettori, Maria Gloria Pini, Andrea Cornia, Ana Repollés, Fernando Luis, Martin Dressel, Stephan Raushenbach, Klaus Kern, Marko Burghard and Lapo Bogani

The classical and quantum dynamics of molecular spins on graphene

Nature Materials, published online 7 December 2015 <http://www.nature.com/nmat/index.html>

doi:10.1038/nmat4490 <http://www.nature.com/nmat/journal/vaop/ncurrent/full/nmat4490.html>



Sistema ibrido, costituito da molecole magnetiche di Fe₄ deposte su grafene per mezzo di gruppi pirenici.

Tempo di rilassamento τ della molecola magnetica in funzione della temperatura T, nei cristalli magnetici e negli ibridi.