



## TEHNOLOŠKE ZABILJEŠKE

Uređuje: Dušan Ražem

### Bezbrojne mogućnosti primjene grafenskih kvantnih točaka u različitim područjima

#### Kvantni skokovi

Otkako je 2004. godine prvi put izoliran, grafen se pokazuje kao jedan od najsvestranijih materijala ikad otkrivenih. Jedinstvena kombinacija svojstava čini da su njegove potencijalne primjene predmet mnogih područja znanstvenih istraživanja, ali već se zna da je deset puta jači od čelika i da se odlikuje malom otrovnošću, kemijskom postojanošću i dobrom vodljivošću topline i električnosti, te da stoga može biti veoma koristan na brojnim područjima.

Grafen može imati mnogo različitih oblika. Jedan od njih su grafenske kvantne točke (GKT), napredni višefunkcionalni materijal koji se sastoji od jednog sloja ili, što je vjerojatnije, do deset slojeva grafena, a tanji je od 30 nanometara. GKT iskorištava jedinstvena svojstva grafena, pri čemu jedinstvena optička, električna, spinska i fotoelektrična svojstva omogućavaju brojne i značajne primjene, tako da se GKT drži važnim novim materijalom.

#### Umjetni atomi

Istraživačka skupina s Tehničkog sveučilišta u Beču zajedno sa znanstvenicima sveučilišta u Aachenu i Manchesteru upotrebljava umjetne atome kako bi istražila svojstva elektrona u grafenu. Elektroni zarobljeni u sićušnim kvantnim stupicama ponašaju se potpuno različito od slobodnih elektrona: u tim stupicama elektroni mogu zauzimati samo diskretne razine energije što podsjeća na ponašanje elektrona u atomu. Stoga se ti "zatvori za elektrone" zovu umjetni atomi. Već je bilo pokazano da se elektroni mogu zarobiti u malenim stupicama u poluvodičkim materijalima kao što je galijev arsenid. U tim umjetnim atomima elektroni su prisiljeni zauzeti diskretna kvantna stanja, slično kao što u stvarnim atomima zauzimaju striktno određene orbitale. Takvi umjetni atomi, osim svojstava koje pokazuju obični atomi, mogu imati i dodatna svojstva, koja mogu imati mnoge potencijalne primjene u kvantnom računanju i na drugim područjima. Jedan od sudionika u istraživanjima, profesor Joachim Burgdorfer kaže da mogućnost "ugađanja" svojstava umjetnih atoma pruža znanstvenicima izvanredne mogućnosti za neke tipove eksperimenata i otvara niz mogućnosti za daljnja istraživanja.

Istraživačka skupina s Tehničkog sveučilišta u Beču pokazala je, rabeći grafen, da umjetni atomi imaju niz potencijalno korisnih svojstava. Prva zadaća pred istraživačima bila je razviti novu metodu za stvaranje takvih dobro kontroliranih umjetnih atoma u grafenu, što se pokazalo većim izazovom od očekivanog. Iz materijala se izrezuju tanke ljuskice u koje se ubacuju elektroni; ne može se postići da rubovi tih ljuskica budu savršeno glatki, što znači da je simetrija materijala narušena i da je jedinstveni četverostruki multiplicitet stanja elektrona u grafenu sveden na konvencionalni dvostruki. Stoga je tim odlučio razviti drugačiju metodu, čijom bi se primjenom očuvao četverostruki multiplicitet. Otkrili su da mogu stvoriti sićušno područje na površini grafena tako da ga podvrgnu električnom polju koje stvara pretražni tunelirajući elektronski mikroskop. Simultano podvrgavanje magnetskom polju prisiljava niskoenergetske elektrone na kruženje po zatvorenim putanjama, koji tako ostaju zarobljeni na tom po-

dručju. Florian Libisch, jedan od istraživača, objašnjava potrebu da se za stvaranje umjetnih atoma doda magnetsko polje: "Ako bismo upotrebljavali samo električno polje, kvantni učinci omogućili bi elektronima brzo napuštanje stupice." Libisch nastavlja tumačiti što grafen čini tako svestranim za dobivanje umjetnih atoma: "U većini materijala elektroni mogu zauzimati dva različita kvantna stanja pri nekoj energiji. Visoka simetrija grafenske rešetke dopušta postojanje četiriju različitih kvantnih stanja. To otvara nove mogućnosti za obradu i uskladištenje informacija."

Postojanje četiri moguća kvantna stanja omogućava da lokalizirani elektroni u grafenu pohrane više informacija i sačuvaju neke superpozicije tijekom duljih razdoblja, što ih čini idealnim za kvantne primjene. Dodatna posebna prednost nove metode je mogućnost njezine primjene u različitim mjerilima: teorijski je moguće smjestiti mnogo umjetnih atoma na mali čip, što otvara brojne potencijalne primjene za kvantno računanje.

#### Pretvaranje CO<sub>2</sub> u gorivo

Skupina znanstvenika sa Sveučilišta Rice u Houstonu, Texas, pokazala je da se grafenske kvantne točke u kombinaciji s atomima dušika mogu upotrijebiti za pretvorbu otpadnog ugljikova dioksida u tekuće gorivo, što bi moglo imati odlučujući utjecaj na smanjenje atmosferskog ugljika i štete koju on uzrokuje u okolišu. Prema istraživanjima objavljenim u *Nature Communications* takve dušikom dopirane grafenske kvantne točke (NGKT) djeluju kao učinkovit elektrokatalizatori koji od ugljikova dioksida prave složene ugljikovodike. Postupak uključuje dodavanje dušikovih atoma grafenskim kvantnim točkama jedan nanometar debljine i nekoliko nanometara širine, što omogućava odvijanje različitih kemijskih reakcija kad se dovede ugljikov dioksid i pusti električna struja. Istraživačka skupina Sveučilišta Rice koju predvodi Pulickel Ajayan tako je dobila etilen i etanol iz CO<sub>2</sub>.

Istraživači su otkrili da su NGKT kao katalizator gotovo jednako učinkovite kao bakar, čiju su sposobnost da katalizira pretvorbu otpadnog ugljikova dioksida u gorivo također istraživali. U laboratorijskim pokusima pokazali su da NGKT reducira do 90 % CO<sub>2</sub> i oko 45 % pretvara u etilen ili alkohol, što je usporedivo s bakrenim elektrokatalizatorima.

Ajayan napominje da su rezultati bili neočekivani: "Već su bile iskušane razne vrste katalizatora i nije pronađen materijal bolji od bakra. Mislim da je otkriće zanimljivo jer pruža učinkovit način za ispitivanje novih tipova katalizatora za pretvorbu ugljikova dioksida u vrjednije proizvode." Točke zadržavaju svoju katalitičku aktivnost dulje vremena. Međutim istraživači priznaju da u ovom trenutku ne razumiju u potpunosti mehanizam djelovanja. Postizanje boljeg razumijevanja motivacija je za daljnja istraživanja.

Ajayan nastavlja: "Ugljik uopće nije katalizator. Jedno od pitanja je zašto je to dopiranje dušikom tako učinkovito. Kad se dušik ugrađuje u šesterokutnu grafitnu rešetku, on može zauzeti razne položaje. Svaki od njih, zavisno o tome gdje se nalazi dušik, ima različitu katalitičku aktivnost. To je zagonetka, pa iako je u posljednjih pet do deset godina napisano mnogo radova o dopiranom i defektnom ugljiku kao katalizatoru, zagonetka nije odgonetnuta."

Postupak pretvorbe otpadnog CO<sub>2</sub> u tekuća goriva od vidljive je koristi za postizanje ciljeva u zaštiti okoliša. Jedan od tekućih prioriteta Europske komisije za smanjivanje atmosferskog ugljika je energijski intenzivna industrija, a pretvorba otpadnog ugljika u goriva i kemikalije mogla bi biti rješenje ako se pokaže da je komercijalno isplativa. Paul Kenis sa Sveučilišta Illinois, koautor studije, tumači potencijal tehnologije: "Ako bismo uspjeli pretvoriti znatan dio ugljika koji se sada emitira u atmosferu, mogli bismo zaustaviti porast atmosferskog ugljikova dioksida koji se povezuje s klimatskim promjenama." Dok se elektrokataliza pokazala učinkovita u laboratorijskom mjerilu, preostaje mnogo posla da bi se pokazala njezina učinkovitost u komercijalnom mjerilu. Industrija se trenutačno oslanja na termičku katalizu za proizvodnju goriva i kemikalija i nije vjerojatno da će prihvatiti NGKT bez dodatnih napora i investicija. Zajedno s istraživanjima kemijskih procesa koji čine tu katalizu uspješnom istraživači planiraju povećati koncentraciju dušika u NGKT da bi ispitali koje će učinke to imati na prinos ugljikovodika koji se mogu dobiti u procesu.

### Opažanje elektrona

Valnu prirodu elektrona teško je opaziti u komadima metala koji su veći od nekoliko atoma po širini jer je u takvim metalima gustoća elektrona velika. To je još jedno područje na kojemu se pokazuje korisnost grafena: budući da ima debljinu od samo jednog atoma, elektronska gustoća grafena mnogo je manja, a može se i promijeniti tako da se napravi tranzistor, što znači da je valnu prirodu elektrona, kako je opisuje kvantna mehanika, lakše opaziti. Rabeći grafen, skupina istraživača s Tata Institute of Fundamental Research iz Indije poduzela je pionirsko istraživanje gibanja elektrona i feromagnetskih svojstava što ih stvaraju njihova međudjelovanja. U metalima kao što je bakar elektroni se raspršuju svakih 100 nm. Međutim, stavljanje grafena između slojeva borova nitrida – koji u kristalnoj rešetki sadrži nekoliko defekata koji usporavaju protok – elektroni mogu putovati i do 100 puta dalje do udaljenosti od desetak mikrometara. Smanjivanjem broja defekata elektronima se omogućava da putuju još dalje, a komunikaciju između njih postaje još lakše pratiti. Istraživači taj proces uspoređuju sa smirivanjem buke u nekoj prostoriji dok se ne uzmgogne čuti šapat između pojedinih govornika. Upotreba borova nitrida s manje defekata omogućava istraživačima da oslušuju "šapat" mnoštva elektrona u međusobnim interakcijama.

Istraživači su ustanovili da se isti rezultat može postići s tri sloja grafena, što bi im omogućilo opažanje međudjelovanje elektrona u istoj vrsti "tišine" koja bi se dobila u kombinaciji grafena i borova nitrida. Skupina koju predvode doktorski student Biswajit Datta i profesor Mandar Deshmukh ustanovila je postojanje jakih elektronskih međudjelovanja i do sada neopaženog tipa kvantnog feromagnetizma između slojeva grafena. Istraživanje je pokazalo da taj novi tip magnetizma između tri sloja grafena opstaje čak i na temperaturi od -272 °C i omogućava uvid u to kako to i druga otkrivena svojstva čine grafen idealnim materijalom za upotrebu u elektroničkim napravama.

### Grafenski mikročipovi

U međuvremenu su istraživači u Ujedinjenom kraljevstvu razvili inovativnu novu tehniku koja rabi grafen, a mogla bi revolucionirati inženjerstvo optoelektroničkih materijala, tj. naprava koje

proizvode, detektiraju i kontroliraju svjetlo. Prema tom istraživanju, tehnika ima niz potencijalnih primjena; npr. mogla bi se primijeniti za stvaranje najsuvremenijih višenamjenskih mikročipova koji bi mogli biti brži, učinkovitiji i imati veći kapacitet od onih koji se trenutačno nalaze na tržištu. Mikročipovi bi također mogli biti jeftiniji i lakši za proizvodnju od onih koji se dobivaju konvencionalnim metodama.

Znanstvenici iz Centra za istraživanje grafena Sveučilišta u Exeteru poslužili su se sintetskom kemijom i tehnologijom poznatom kao mikrofluidika, koja uključuje niz minijaturnih kanalića za kontrolu protoka sićušnih volumena tekućine. Da bi napravili mikročipove, istraživači su dodali ljuskice grafena oksida u kanaliće; kako su ljuskice od grafena dvodimenzionalne, upotrijebili su svjetlo da bi olakšali formiranje trodimenzionalnih struktura mikročipova.

Voditeljica istraživanja dr. Anna Baldycheva uzbuđena je potencijalom koji bi nova tehnologija mogla imati u računarstvu i novim materijalima. "Nadam se da će taj prodor dovesti do preokreta u razvoju ključnih novih materijala za računalnu elektroniku. Naš rad pruža solidnu osnovicu za razvoj sljedeće generacije optoelektroničkih naprava. Povrh toga, materijali i metode koji se upotrebljavaju iznimno mnogo obećavaju u razvoju drugih novih mogućih primjena izvan neposrednog razvoja uređaja kojima se mi ovdje bavimo." Osim što dokazuje valjanost novih metoda, znanstveno istraživanje djeluje i kao vodič koji omogućava drugima da naprave jednake čipove koje je napravio znanstveni tim, što potvrđuje da će te nove revolucionarne naprave moći postati komercijalno dostupne u bliskoj budućnosti.

### Otkrivanje raka

Skupina znanstvenika u Indiji izgradila je senzor na osnovi GKT-a koji otkriva mutacije gena koje prate rak gušterača. Tim u Combichem Bioresource Center Nacionalnog kemijskog laboratorija iz Pune osmislio je tiskani senzor DNA koji može otkriti rane promjene u genu p16 (tumor suprimirajući gen), koje su povezane s nastupanjem raka pankreasa. Rak pankreasa jedan je od vodećih uzroka smrti u svijetu. Teško se otkriva budući da se simptomi razvijaju tek u kasnim fazama bolesti. Petogodišnje preživljavanje iznosi samo 2 – 7 % i zato se tim usredotočio na rano otkrivanje.

Primjenjujući niz elektrokemijskih tehnika, među njima diferencijalnu pulsnu voltametriju i spektroskopiju elektrokemijske impedancije te elektronsku mikroskopiju i spektroskopiju u vidljivom i ultraljubičastom, tim je proizveo senzor hibridizacije DNA za gen p16, koji je pokazao neočekivanu sposobnost detekcije.

Budući da su za razvoj senzora primijenjene grafenske kvantne točke, tim istraživanjem utvrđena je njihova primjenjivost kao senzorskog matriksa, što otvara nov pristup detekciji mutacije gena na čipu. Tim očekuje da će daljnji razvoj tehnologije dovesti do integralnog prenosivog sustava ranog otkrivanja raka.

Kad je grafen bio prvi put izoliran 2009. godine, pojavilo se niz predviđanja o njegovim raznovrsnim primjenama. Usporedbe s novim istraživačkim rezultatima pokazuju da su ta predviđanja zapravo bila ograničena. Očito je da su istraživanja grafena u svrhu rješavanja problema u zdravstvu, okolišu, kemiji i drugim područjima tek na početku.

Izvor: Pan European Network, broj 22 od 18. 4. 2017.