

Grafeeni on yhden atomikerroksen paksuinen, hiiliatomeista muodostunut kaksikulotteinen verkosto.

Kemia muokkaa

grafeenia

Kun grafeeni vuonna 2004 löydettiin, huomiota herättivät atominohuen kaksikulotteisen materiaalin fysikaaliset ja sähköiset ominaisuudet. Nyt tutkijoita kiinnostaa grafeenin kemiallinen muokkaus, joka avaa sille aivan uusia sovellusmahdollisuuksia.

Jari Koponen

Grafeenia voi sen kaksiuotteisen kana-verkkorakenteen perusteella pitää jättimäisenä molekyylina, jonka kemiallinen reaktiivisuus on hyödynnettävissä. Professori **Andre Geim**, alan johtava tutkija, antaa yksinkertaisen esimerkin kemian käytöstä.

”Grafeenista voidaan tehdä suspensio ja siitä puolestaan kalvoja. Ne ovat metallisia, hyvin sähköä johtavia, huokoisia ja läpinäkyvyyttä”, Geim kuvailee.

”Jos sama toistetaan grafeenioksidisuspensiolla, saadaan timantinkova, naarmuuntumaton, läpinäkyvä ja huonosti sähköä johtava kalvo. Hiukkanen kemialla, ja lopputulos on aivan erilainen.”

Grafeenijohdannaisten valmistamisen kaksi perusmenetelmää ovat hydraus ja hapetus. Hydrauksessa käytetyn vedyn on oltava atomimuodossa normaalien vetymolekyylien sijaan. Jos grafeeni hapetetaan voimakkaalla hapolla, sopivalla käsittelyllä saadaan sen jälkeen aikaan grafeenioksidin vesisuspensio.

Kaksiuotteinen hiilivety

Hydrattu grafeeni eli grafaani kuvattiin teoreettisesti vuonna 2007. Sen valmistus onnistui Geimin ryhmältä tänä vuonna. Grafaania voi pitää kaksiuotteisena kiinteänä hiilivetyä (HC_n).

Hydraus muuttaa grafeenin sähköisesti johtavasta materiaalista eristeeksi, sillä hiiliatomien vapaat johtavat piiorbitaalit tulevat käytetyiksi vetyatomien sidoksiin. Grafeenin ominaisuudet voidaan kuitenkin palauttaa lämpökäsittelyllä, jossa vety poistetaan.

Grafeenia onkin ehdotettu vedyn varastointimateriaaliksi, sillä se voi sitoa yli seitsemän painoprosenttia vetyä. Vetymolekyylien hajottaminen atomeiksi esimerkiksi plasmalla kuluttaa kuitenkin liikaa energiaa.

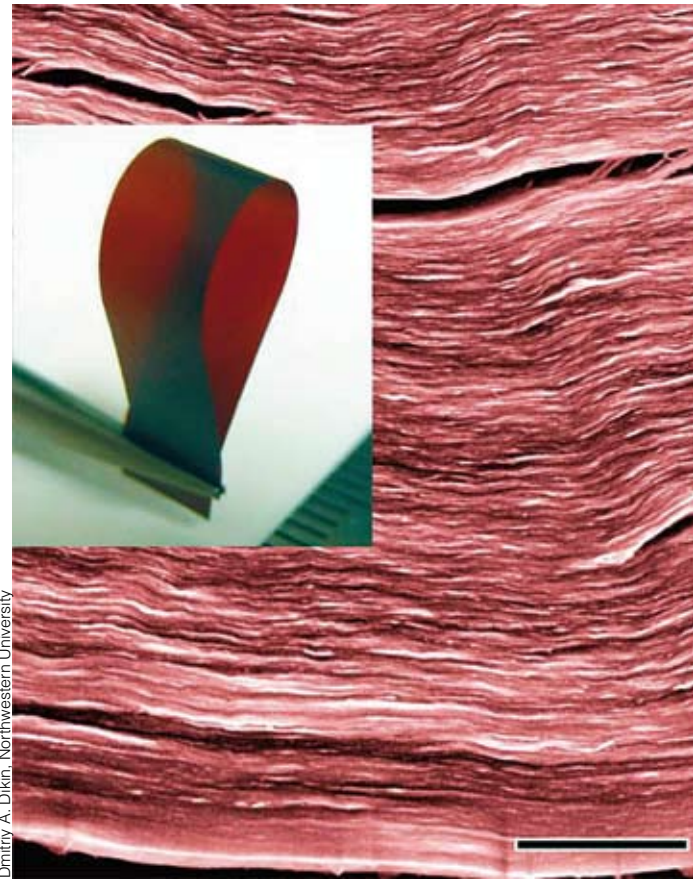
Elektroniikassa grafaanilla on merkitystä, mikäli hydraus onnistutaan tekemään hallitusti rajatuille alueille grafeenia. Tällöin sama materiaali toimii sekä johteena että eristeenä.

Enää puuttuu, että löydetään atomeja tai molekyyliä, joiden avulla grafeeni voidaan muuttaa puolijohdeksi. Silloin nykyisestä piielektroniikasta voitaisiin siirtyä hiilielektroniikkaan.

Monikäyttöinen oksidi

Grafeenioksidia ei nimestään huolimatta sisällä pelkästään happea, vaan myös hydroksyyliyhdistymiä. Ne ja happi ovat jakautuneet satunnaisesti grafeenin pinnalle ja tarjoavat hyvän lähtökohdan materiaalin funktionalisoinnille edelleen.

Päällekkäisistä grafeenioksidilevystä muodostuva paperi on sekä taipuisaa että erittäin lujaa. Kuvan mittapalkki on yhden mikrometrin pituinen.



Dmitry A. Dikin, Northwestern University

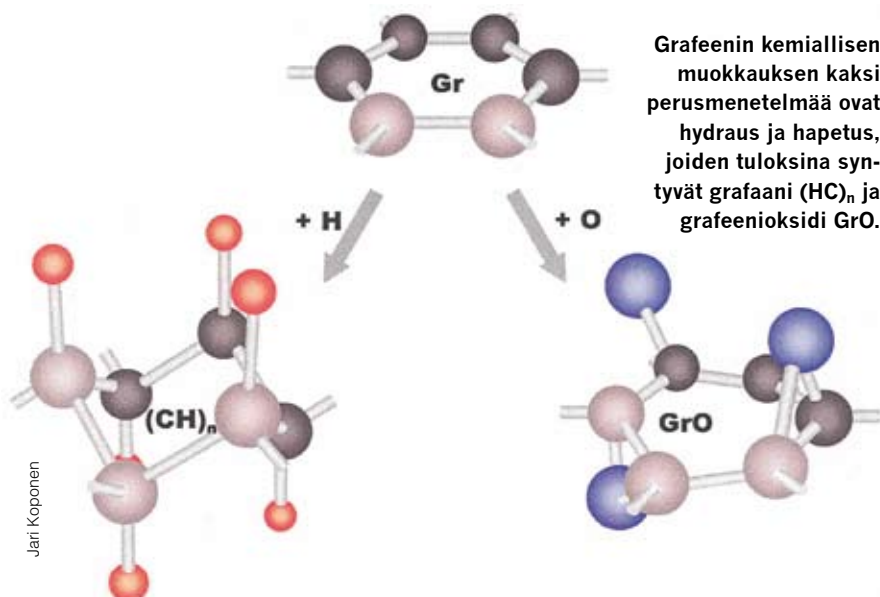
Kun grafeenioksidia käsitellään orgaanisilla isosyanaateilla, saadaan aikaan uusia funktionaalisia ryhmiä, joiden ansiosta grafeeni sekoittuu hyvin polymeerien kanssa. Tällä tavoin on valmistettu polystyreeni-grafeenikomposiitteja ja monia muita sähköä johtavia komposiitteja.

Eniten julkisuutta on saanut paperi, joka rakentuu muutamasta kymmenestä päällekkäisestä, toisiinsa lukkiutuneesta grafeenioksidilevystä. Hyvin taipuisaa ja vahvaa materiaalia voidaan valmistaa suurinakin pinta-aloina. Materiaalilla on sovelluskohteita esimerkiksi erilaisissa pakkauksissa.

Kemiallisen funktionalisoinnin avulla grafeenille on löydetty myös biologisia ja lääketieteellisiä sovelluksia. Grafeeni ja monet sen johdannaiset sakkautuvat biologisissa nesteissä, mikä on lääketieteellisessä käytössä estettävä. Se tapahtuu kiinnittämällä polyetyleniglykopolymeeria ultrapienten, alle 10 nanometrin grafeenioksidihitujen pintaan.

Sen jälkeen polymeeriin voidaan liittää kohdistinmolekyylit, joka kiinnittää kokonaisuuden esimerkiksi syöpäsolukoon, sekä lääkeainemolekyylit; soluviljelykokeissa on käytetty doksorubiinia. Lääke irtoaa grafeenista kohdesolukossa,

▶ ▶ ▶



Grafeenin kemiallisen muokkauksen kaksi perusmenetelmää ovat hydraus ja hapetus, joiden tuloksina syntyvät grafaani (HC_n) ja grafeenioksidi GrO .

Jari Koponen



Gekkoja ja leijuvia sammakoita

Manchesterin yliopiston fysiikan professori Andre Geim löysi grafeenin kovin ”epätieteellisellä” tavalla eli irrottamalla sitä grafiitista tavallisen teipin avulla (ks. *Kemia* 1/2008). Metodi oli tutkijalle tunnusomainen.

Venäjän saksalaisten vanhempien poika syntyi ja sai koulutuksensa Neuvostoliitossa. Sen jälkeen Hollannissa työskennellyt tutkija on tätä nykyä Hollannin kansalainen.

Monikansallinen tausta on ehkä vaikuttanut Geimin Lego-opiksi kutsumaan tutkimustapaan, joka muistuttaa palikoilla askartelua. Mitä uutta voidaan saavuttaa käsillä olevilla laitteilla ja tiedoilla, hän pohtii.

”Kenenkään päähän ei ollut pälkähtänyt kaataa vettä vahvan, yli kymmenen Teslan magneetin päälle”, hän kertoo esimerkin. ”Me teimme niin ja näimme, kuinka vesi kellui ilmassa.”

Nijmegenin yliopistossa vuonna 1997 tekemissään magneetikokeissa Geim leijutti muun muassa eläviä sammakoita (videon voi katsoa osoitteessa www.hfml.ru.nl/froglev.html).

”Taustalla on kaikissa materiaaleissa piilevä diamagnetismi, jonka voimakas magneettikenttä tuo esiin. Leijuva esine ja magneetti hylkivät toisiaan kuin tavallisen magneetin samanimiset navat.”

Kuin gekko kattoon

Vuonna 2003 Geimin vei otsikoihin teippi, joka syntyi erikoisen liskon innoittamana.

”Gekon kyky liikkua katossa perustuu fysikaaliseen ilmiöön, heikkoihin van der Waals -voimiin. Liskon tassujen miljoonat ohuet tartuntakarvat muodostavat niin suuren kosketuspinta-alan, että heikkokin voima riittää pitämään eläimen katossa”, tutkija selvittää.

Neliösentin pa-

lassa gekkoteippiä oli 10 miljoonaa polylimidistä tehtyä karvoja jäljittelevää rakennetta. Palanen kannatti kilon kuorman, eli kämmenenkokoisen palan avulla ihminen pystyisi roikkumaan katossa. Teipille löytyisi järkevämpääkin käyttöä, mutta kaupallista tuotantomenetelmää ei toistaiseksi ole.

Grafeeni oli Geimin seuraava ja toistaiseksi tärkein löytö, johon hän nyt keskittyy kokonaan.

”Grafeeni on äärettömän rikas, tieteellinen alue. Aloitimme valmistusmenetelmillä ja elektroniikkasovelluksilla, sitten tulivat grafeenin optiset ominaisuudet, kemiallinen muokattavuus ja mikromekaaniset sovellukset. Tätä nykyä mietin grafeenin käyttömahdollisuuksia pakkausteollisuudessa.”

Nykyistä tutkimuskohdettaan Geim ei aio vaihtaa ennen kuin kaikki grafeenin mahdollisuudet on kartoitettu.



Andre Geim vieraili Suomessa kertomassa grafeenitutkimuksen kehityksestä maaliskuisilla Fysiikan päivillä.



jossa happamuustaso on erilainen kuin solukon ulkopuolella.

Molekyylintarkka keinonenä

Grafeeni on myös erinomainen sensorimateriaali. Andre Geim ryhmineen on tutkinut sitä kaasuanturina.

Hyvän sensorin kaksi tärkeintä perusominaisuutta ovat herkkyys eli mahdollisimman alhainen sähköinen kohinataso ja toistettavuus. Kaupalliselta kannalta

tärkeitä ovat myös pieni koko ja edulliset valmistuskustannukset.

Grafeenilla on kaikki tarvittavat ominaisuudet. Sillä on hyvin alhainen kohinataso, joten sen pinnalle kiinnittyvien molekyylien aiheuttama muutos vastuksessa on helppo mitata. Lisäksi grafeenissa on hyvin vähän hilavirheitä, joten materiaali on aina samanlaista ja toiminnan toistettavuus sensorista toiseen hyvä.

Materiaali on myös helppo funktiona-

lisoida molekyylien mittaukseen. ”Grafeenisensorilla pystytään havaitsemaan jopa yksittäiset typpidioksidi- ja ammoniakimolekyylit”, Geim kertoo.

Grafeeni tarjoaakin mahdollisuuden valmistaa sähkönenä, jossa suuri joukko sensoreita on funktionalisoitu eri molekyyille. Kukaan ei ole vielä tällaista laitetta kehittänyt, mutta kaikki tarpeellinen on nyt olemassa. □

Kirjoittaja on kemisti ja vapaa toimittaja.