



NANOTEKNOLOGIAN KOKEELLISET TYÖT

KOHDERYHMÄ: Yläkoulu: Raaka-aineet ja tuotteet, Lukio KE2 ja KE4

KESTO: Yksittäisten töiden kesto 10-20 min

MOTIVAATIO: Tutustua nanoteknologian sovelluksiin.

TAVOITE: Nanoteknologian kokeelliset työt on tarkoitettu suoritettavaksi työpistetyöskentelynä. Aluksi on tarkoitus käydä nanoteknologian yleinen teoria yhdessä läpi, ohjeistaa töiden suorittaminen ja jakaa opiskelijat sopiviin ryhmiin. Sujuvuuden kannalta joustavinta olisi, jos työpisteitä olisi enemmän kuin muodostettuja ryhmiä. Näin nopeammin työn suorittavat tai nopeammin suoritettavien töiden jälkeen pääsisi ilman odotusta suorittamaan seuraavaa työtä.

Opettajan ohjeessa on työohjeiden vastaukset, lisätietoa ja ohjeita töiden suorittamiseen sekä kaksi töihin liittyvää demonstraatiota

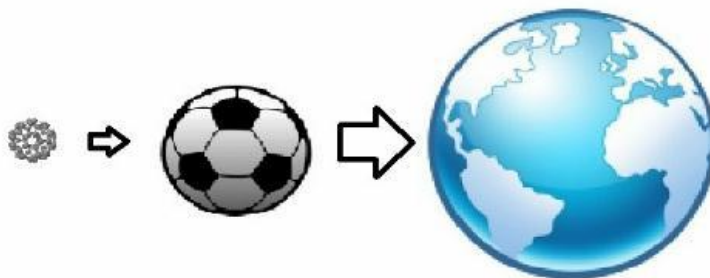
VINKKEJÄ: Työohjeet suunniteltu salkkuun: NanoSchoolBox –Descriptions of experiments. Salkku sisältää kaikki töissä tarvittavat kemikaalit.

Nanoteknologian töihin liittyviä videoita: <http://www.youtube.com/playlist?list=PLB694F77EC7C8A01E>

TAUSTAA

Nano on etuliite, kuten milli tai sentti. (nanometri, mikrometri, millimetri, senttimetri...)
Yksi nanometri (1nm) on yhden metrin miljardisosa eli $1 \cdot 10^{-9}$ m.

Yksittäinen atomi on kooltaan alle 1 nm ja esimerkiksi ihmisen hius 60 000 – 120 000 nm.
Kuvassa oleva fullereeni on halkaisijaltaan noin 1 nanometrin kokoinen.



(Kuva: Kolehmainen, K. (2012). Pro gradu tutkielma, Kehittämistutkimus:
Videopohjainen nanoteknologian opetusmateriaali kemian opetukseen.)

Fullereenin koko on suhteessa yhtä pieni jalkapalloon nähden kuin jalkapallon koko on maapalloon nähden. (fullereeni on yleensä 60 hiliatomista koostuva ”pallohiili”. Jos fullereenin koko kasvatettaisiin vastaamaan jalkapallon kokoa, kasvaisi jalkapallo vastaavasti maapallon kokoiseksi.)

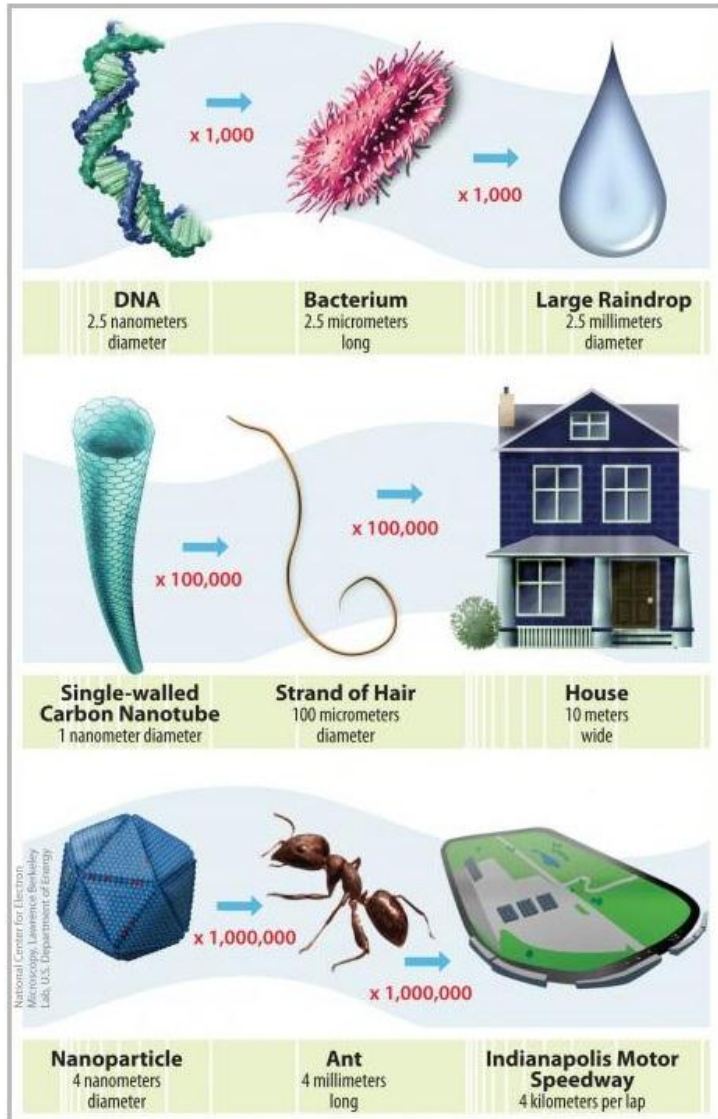
Nanotiede on tieteenala, joka tutkii 1-100nm kokoisten nanopartikkeleita.

Nanopartikkeleista tutkitaan pienestä koosta johtuvia eroja kemiallisiin ja fysikaalisiin



ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi lämmön- ja sähkönjohtokyky, reaktiivisuus, sulamislämpö, elektronirakenne ja kestävyys.

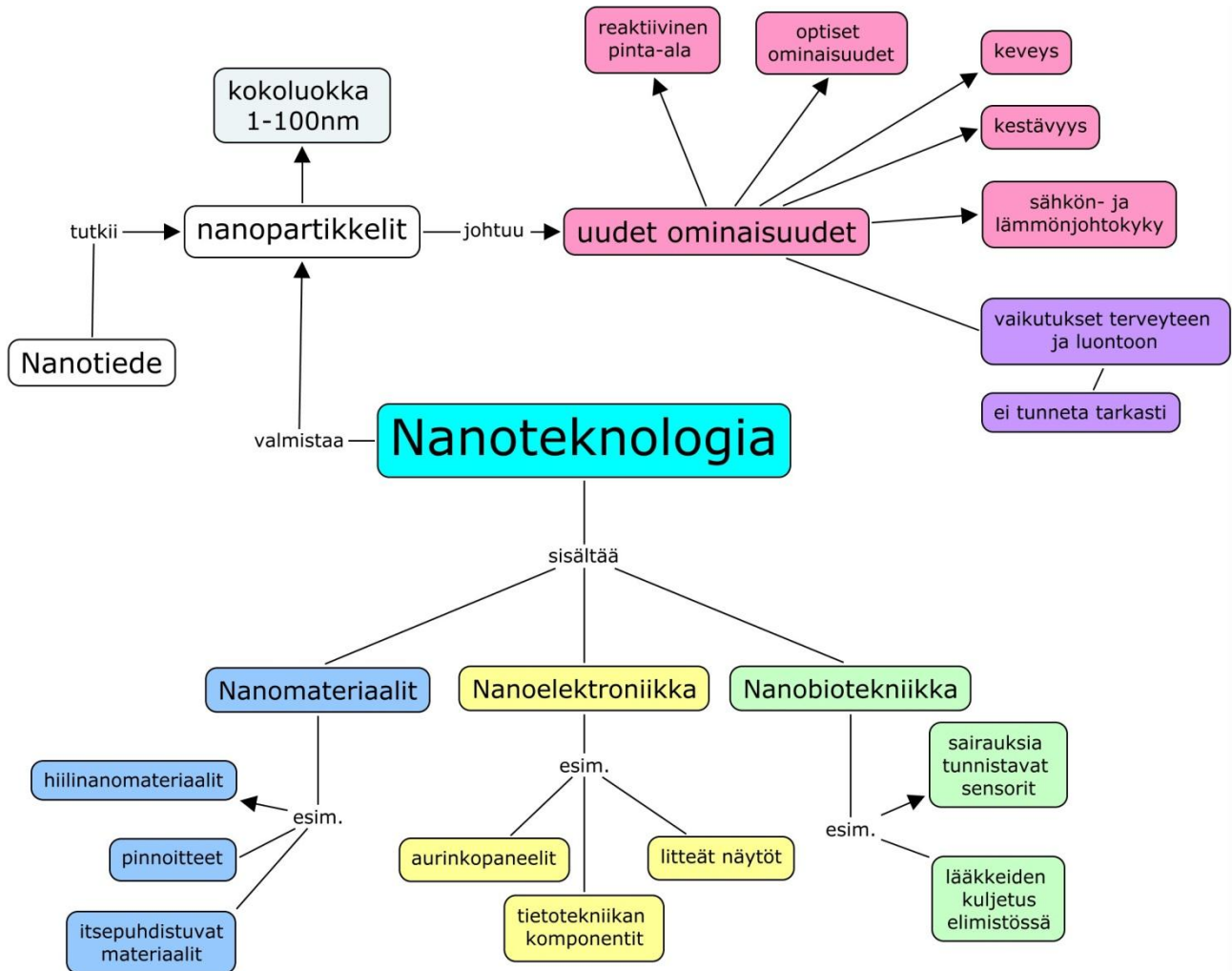
Nanoteknologia on tekniikka, joka valmistaa nanomittakaavan rakenteita käytännön sovelluksiin. Nanomittakaavan rakenteita ovat esimerkiksi hiilinanoputket, grafiini ja ohutkalvot.



(Kuva: muokattu

<http://www.nano.gov/nanotech-101/what/nano-size>

CreativeCommons)



(Kuva: Jarkko Huusko)



1. HYDROFOBISET PINNAT

TAVOITE: Oppia havainnoimaan veden käyttäytymisominaisuuksia erilaisilla pinnoilla, sekä oppia hydrofobisuus käsite.

AVAINSANAT: hydrofobisuus - veden käyttäytyminen pinnoitteella.

Unohtuuko sinullakin sateenvarjo tai sadevaatteet aina kotiin ja kastut matkalla harrastuksiin kavereiden luo?

Luonto on kehittänyt omat keinonsa suojautua sateelta ja lialta. Esimerkiksi lootuksen lehtien kidemäinen ja nanorakenteinen vahapinta mahdollistavat sen itsepuhdistuvuuden. Lootuksen karheille lehille tarttuneet likapartikkelit poistuvat helposti sadeveden avulla kiinnittymällä poispyöriviin vesipisaroihin. Lehtien matalan pintajännityksen vuoksi useimmat likapartikkelit kiinnittyvät vahvemmin pallomaisten vesipisaroiden pinnalle kuin itse lehteen. Näin pisarat pystyvät puhdistamaan lehdet epäpuhtauksista.



(Kuva: tanakawho/Flickr.com Creative Commons)

Luonnon esimerkkien avulla ihminenkin pyrkii kehittämään tarpeelliseksi havaittuja ominaisuuksia omiin käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi ulkovaatteita ja kenkiä voi päällystää superhydrofobisella, vain muutaman nanometrin paksuisella, kalvolla. Tällainen nanokokoluokan kalvo on läpinäkyvä, hylkii vettä ja likaa sekä pitää suojattavan materiaalin kuivana. Tutki, tekstiilipalan avulla, haluaisitko sinä tällaisen pinnoitteen takkiisi ja miten nesteet käyttäytyvät eri materiaaleilla.

TARVIKKEET

- valmiiksi pinnoitettu tekstiili
- pipetti tai tippapullo
- vesi
- muita nesteitä (mehu, limppari, tee, kahvi...)
- hienoa pölyä esim. murskattua taululiitua
- muita tutkittavia materiaaleja: kasvien lehdet, ruoho, pinnoittamaton tekstiili, tiskipöytä, muovipinta...

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Työssä ei synny erikoista huomiota vaativia jätteitä.



TYÖOHJE

Työ kannattaa suorittaa lavuaarin päällä tai varata työpisteelle käsipyyhepapereita nesteiden poispyyhintään.

Pudota vesipisaroita eri materiaaleille ja liikuttele niitä.

Voit kokeilla muodostaa pisaroista yhden suuremman tai kokeilla vaikuttaako sormella koskeminen mitään.

Pudota muutama pisara muita saatavilla olevia nesteitä eri materiaaleille.

Onko eri nesteiden välillä eroja?

Levitä ohuesti hienoa pölyä eri materiaaleille.

Lisää pisaroittain vettä pölyn päälle. Mitä tapahtuu? Havaitsetko eroa pinnoitetun ja pinnoittamaton tekstiili välillä?

Täydennä havaintosi vastauslomakkeen taulukkoon.

KYSYMYKSIÄ

Mitkä materiaalit hylkivät parhaiten nesteitä?

Pinnoitettu tekstiili ja erilaiset kasvit.

Mitä hydrofobisuus tarkoittaa?

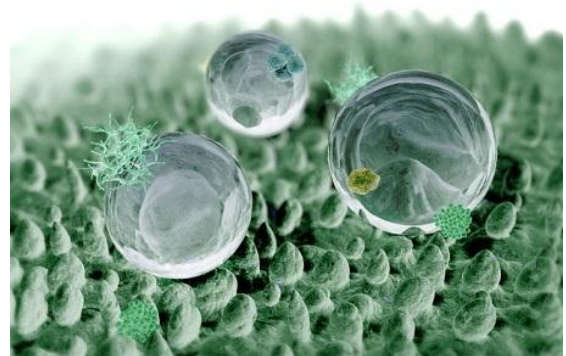
Hydrofobisuus tarkoittaa vettä hylkivää.

Miten vesi käyttäytyy hydrofobisella pinnalla?

Vesi muodostaa pisaroita pinnalle, eikä imeydy tai kastele materiaalia. Kun pinnoitetulla tekstiilillä on hienoa pölyä, se kiinnittyy pinnalle pudotettuihin vesipisarioihin (pölyn ja veden välinen adheesio on suurempi kuin pinnoitteen ja pölyn välillä). Pinnoittamattomalla tekstiilillä vastaavaa ei tapahdu yhtä helposti.

Piirrä suurennettu kuva pisarasta hydrofobisella pinnalla sivustapäin katsottuna.

Tarkoitus piirtää selkeästi vesi selkeästi pisaran muotoon niin kuin se hydrofobisella pinnalla onkin. Hydrofobisuuteen vaikuttaa myös materiaalin pintarakenne, joten pisaraa ei kannata piirtää ”tasaiselle” pinnalle. Pinnan mikro- ja nanotason karheus edesauttaa hydrofobisuutta. Vesipisaran ja pinnan välisen kontaktikulman ollessa $>90^\circ$ pinta määritellään hydrofobiseksi ja kontaktikulman ollessa $>150^\circ$ pintaa kutsutaan superhydrofobiseksi.



(Kuva: William Thielicke/Wikimedia Commons)



Missä hydrofobisia materiaaleja voisi käyttää?

Kaikenlaiset tekstiilit, maalit, silmälasit, optisten laitteiden linssit, ikkunat, autojen maali- ja lasipinnat ja vaikkapa älypuhelimien pinnoitteet.

Yleisin hydrofobisen pinnoitteen esimerkki on paistinpannun teflonpinnoite.

Olis kiva jos: limppari tai punaviini ei sotkisi sohvaa tai vaatteita, kännykän päälle kaatunut vesilasi ei aiheuttaisi sen hajoamista...

Hydrofobinen pinnoite on voitu toteuttaa esimerkiksi epäorgaanisella silikalla (SiO_2), joka integroitu orgaaniseen matriisiin (yleensä liuottimeen).

TYÖN OHJAAJALLE

Käytettävä pinnoite ei ole yhtä kestävä, kuin kaupalliset valmisteet, joten se ei kestä esim. hankausta. Hydrofobisia tekstiileitä voidaan valmistaa myös tekemällä tekstiili nanokuiduista, jonka rakenne koostuu hyvin ohuesta ”karvoista”, jotka hylkivät vettä.

Tässä työssä ohjaajan tulee ETUKÄTEEN valmistella hydrofobinen tekstiili. Etukäteisvalmistelu tehdään, koska suihkutettava tekstiilin pinnoitusaineen kuivumisaika on vähintään 1 tunti (vaihtoehtoisesti kuumennus 160 asteeseen). Tekstiiliksi kannattaa valita joku polyesteripohjainen kangas, kuten vanhan labratakan pala (silkkiä tai kerittyä villaa ei suositella).

Hydrofobisen tekstiilin esikäsittelyohje:

- Sekoita suihkutettava tekstiililiuos (”textile coating”) hyvin.
- Leikkaa esim 20x40cm kokoinen puhdas tekstiilinpala.
- Suihkuta tekstiilin suoja-aineella ainakin puolet tekstiilistä. Jätä osa pinnoittamatta peittämällä esimerkiksi paperilla. Näin työssä voi havaita suojatun ja suojaamattoman tekstiilin ero.
- Suihkuta tekstiili niin, että pinta kastuu selvästi ja anna tekstiilin kuivua vähintään tunti (voit tarvittaessa nopeuttaa kuivumista hiustenkuivaajalla).
- Tekstiilin suihkutetus suoritetaan vetokaapissa.
- Voit käyttää samaa tekstiiliä uudestaan, jos pinnoite ei ole menettänyt hydrofobisuuttaan.

Jos työssä halutaan tutkia hydrofobiseksi pinnoitettua puuta (käsittelemätön) tai kiveä tulee ohjaajan käsitellä haluttu kappale etukäteen. Puun tai kiven pinnoitteen (wood/stone coating) kuivuminen kestää 2-6 tuntia. Pinnoitteen suihkutetus tulee tehdä vetokaapissa, eikä lämpötilaa saa nostaa yli 40 asteen. Esikäsittelyohje:

- Sekoita liuos hyvin ja suihkuta puhtaalle kivi- tai puupinnalle.
- Suihkuta sopiva alue selvästi kosteaksi.
- Anna kuivua 2-6h.



Kemianluokka
Gadolin



ALFRED
KORDELININ
SÄÄTIÖ

Kemian opetuksen keskus
Helsingin yliopisto
Nanoteknologian kokeelliset työt
Opettajan ohje

Kesällä kasvienlehdillä, nurmikolla yms. tai kaalinlehdillä voi tutkia samoja asioita kuin pinnoitetulla materiaalilla. Laboratoriossa tai luokassa voi tutkia myös muiden pintojen (lavuaarit, muovipinnat yms.) vedenhylkimisominaisuuksia.



2. NÄKYMÄTÖN KIRJOITUS

TAVOITE: oppia havainnoimaan molekyylien välisiä vuorovaikutuksia veden pintajännityksen avulla sekä oppia hydrofiilisyyden käsite.

AVAINSANAT: hydrofiilisyyden-lasipinnoite.

Pitkän ja kuuman suihkussa käynnin jälkeen pesuhuoneen peili on usein ikävästi huurussa. Jos haluat nähdä itsesi vaikka hiuksia harjatessa, on sinun saatava peili kirkkaaksi jollakin tavoin.

Nanoteknologian avulla on kehitetty erilaisia pinnoitteita meidän käyttötarpeisiimme. Yksi pinnoitemuoto on huurtumaton pinnoite. Pinnoite muodostaa hydrofiilisen pinnan, jolloin vesipisaroita ei muodostu vaan vesi leviää tasaiseksi kalvoksi. Hydrofiilisyyden tarkoittaa vesihakuisuutta ja se on hydrofobisuuden vastakohta. Kokeile voitko piirtää tai kirjoittaa huurtumisen estävällä nesteellä.



(Kuva: Aaron Gustafson /Flickr.com Creative commons)

TARVIKKEET

- näkymätön kirjoitus liuos ("invisible ink")
- pensseli
- lasiastia

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Työssä käytettävä liuos sisältää propanolia ja on helposti syttyvää. Pidä liuos kaukana tulesta.

Työssä ei synny jätteitä.



TYÖOHJE

Sekoita ”näkyvätön kirjoitus” liuos hyvin ennen korkin avaamista.
Kostuta hieman pensseliä liuoksessa.

Piirrä tai kirjoita hyvin ohuesti pensselillä jotain lasiin tai peiliin.
Odota muutama minuutti, jotta liuos kuivuu.

Hengitä lasiin niin, että pintaan muodostuu huurua.
Näetkö mitä kirjoitit lasin pinnalle?

KYSYMYKSIÄ

Miksi huurua ei muodostu kirjoituksen/kuvan kohdalle?

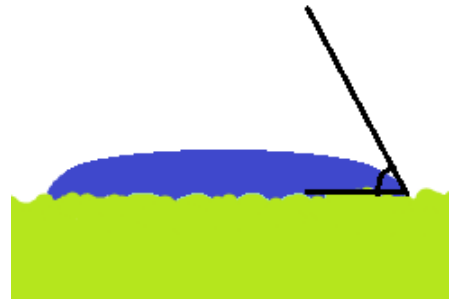
Liuos muodostaa hydrofiilisen kalvon, jonka pinnalle vesi levittäytyy tasaisesti muodostamatta pisaroita.

Miten selittäisit tapahtuman molekyyalitasolla? (Tiedät varmaan lasin huurtumisen johtuvan pienistä vesipisaroista ja vesipisaroiden muodostuvan veden pintajännityksen vuoksi.)

Pinnoite vetää vesimolekyylejä puoleensa suuremmalla voimalla kuin vesimolekyylien välinen vuorovaikutus. Niinpä pisaroita ei muodostu vaan vesi tarttuu pinnoitteeseen.

Piirrä kuva vesipisarasta hydrofiilisella pinnalla. Piirrä kuvaan myös lasin ja veden välinen kontaktikulma ja anna arvio kulman suuruudesta.

Vesi muodostaa litteän pisaran hydrofiilisellä pinnalla. Kun nesteen ja tutkittavan pinnan välinen kontaktikulma on $< 90^\circ$, on pinta hydrofiilinen. Veden kontaktikulman lähestyessä 0° kutsutaan pintaa superhydrofiiliseksi. Tässä tapauksessa veden ja lasin välinen kontaktikulma on lähellä 0° .



Missä sinä käyttäisit tällaista huurtumatonta pinnoitetta?

Yleisesti ikkunoissa ja peileissä, suihkukaapeissa, auton tuulilasissa ja peileissä, silmälasissa ja mopon tai moottoripyörän visiirissä.

Huurtumattomia pinnoitteita voidaan toteuttaa esimerkiksi titaanidioksidin avulla.



3. NAARMUUNTUMISTA EHKÄISEVÄN PUUN PINNOITE

TAVOITE: Tutustua nanoteknologian sovellukseen ja oppia komposiitti käsite.

AVAINSANAT: naarmuuntumaton pinnoite - komposiitti.

Olet valitsemassa ensimmäiseen asuntoosi parketti- tai laminaattilattiaa. Myyjä kysyy tarvitsetko erityisen kestävä ja naarmuja ehkäisevällä pinnoitteella päällystetyn lattian. Mitä vastaat?

Naarmuuntumaton nanopinnoite suojaa haluamamme kohteet kuten silmälasien linssit, huonekalut tai lattiat pidempään hyväkuntoisina pidentäen niiden käyttöikä. Tutkittava lattiapinnoite koostuu komposiittirakenteesta, jonka muodostaa erittäin kova epäorgaaninen silaanikerros ja joustava orgaaninen polymeerikerros. Tässä pinnoitteessa nanopartikkelit toimivat sitomalla eri yhdisteitä toisiinsa. Tutki lattiavaihtoehtoja, jotta osaat tehdä oman valintasi.



(Kuva: Bee Nouveau /Flickr.com
Creative Commons)

TARVIKKEET

- laminaatin palat (pinnoitettu ja pinnoittamaton)
- teräsvillan pala
- tussi tai huopakynä

TYÖOHJE

Valitse laminaatista testattavaksi pieni alue (noin 4x2 cm).

Tarkastele alueen naarmuja valoa vasten.

Miten eri pinnoitettu lattiamateriaali poikkeaa ulkonäöltään pinnoittamattomasta?

Voit halutessasi piirtää alueelle kynällä pienen viivan.

Hiero puupalaa teräsvillalla valitsemaltasi alueelta.

Tarkkaile naarmujen syntymistä.

Näkyvätkö naarmut helposti vai pelkästään valoa vasten? Ehkäisikö pinnoite naarmuuntumisen?

Tapahtuiko piirretylle viivalle mitään?

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -
hanskat.

Työssä ei synny jätteitä.



KYSYMYKSIÄ

Miksi sinun mielestäsi pinnoitettu lattianpala ei naarmuunnu helposti?

Nanokomposiiteista saadaan erityisen vahvoja ja kovaa kulutusta kestäviä materiaaleja, johon verrattuna puu on pehmeä materiaali. Komposiitin epäorgaaninen lasimainen rakenne on kovaa ja orgaaninen polymeeri rakenne joustavaa, joten naarmuja syntyy vähemmän. Lyhyesti kovempaan materiaaliin syntyy vaikeammin naarmuja.

Mitä tarkoitetaan komposiitilla? Mitä muita komposiitteja tiedät?

Komposiitti on kahden tai useamman materiaalin yhdiste, jossa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole sulautuneet tai lienneet toisiinsa.

Muita komposiitteja: puu (selluloosa/ligniini), teräsbetoni (metalli-kerami), hiilikuitu (hiilisäikeet/muovi) ja lasikuitu (kerami-muovi).

Valitsitko tavallisen vai pinnoitetun lattian? Mitkä asiat vaikuttivat valintaasi?

Lemmikit (kissa, koira..) naarmuttavat kynsillään lattiat. Lapset saattavat naarmuttaa pöytiä, penkkejä tai lattioita veitsillä ja haarukoilla. Muu selitys, esimerkiksi saatat skeitata tai pelata salibandyä kotonasi ja aiheuttaa näin jälkiä lattiaan. Tietenkin pinnoitteen hinta ja mahdollinen vaikutus ulkonäköön vaikuttaa myös ostopäätökseen.

Missä käyttäisit naarmuuntumatonta pinnoitetta?

Kännykän tai tabletin näytöt, silmälasien linssit, autojen maalipinnat, kovalle kulutukselle joutuvat sisätilojen pinnat, kuten lattiat, pöydät ja huonekalut.

TYÖN OHJAAJALLE

Pinnoittamaton lattianpala täyttyy pian viivoista, joten siihen ei tarvitse lisätä aina uusia. Tussilla viivojen piirtäminen ei ole muutoinkaan välttämätöntä.



4. PALONSUOJAUS

TAVOITE: Tutustua nanoteknologian sovellukseen. Palauttaa mieleen palamisen teoria.

AVAINSANAT: palonsuojaus.



(Kuva: dirtymouse/Flickr.com Creative Commons)

Kun tuli on irti, voi pienikin hetki pelastaa hengen. Nanoteknologian avulla on valmistettu erityisen korkeissa lämpötiloissa toimivia palonsuoja-aineita. Palonsuojauksessa käytettävät nanokomposiitit toimivat muodostamalla ”kuoren” suojatun materiaalin ympärille estäen itse materiaalin nopean haihtumisen.

TARVIKKEET

- ”palonsuojaus” (”fire protection”) suihkepullo
- pala paperia tai kartonkia
- sytytin

TYÖOHJE

Työ suoritetaan vetokaapissa!

Suihkuta palonsuojaliuksella paperinpala molemmin puolin. Käytä hieman yli 10 cm suihkutusetäisyyttä.

Anna paperin kuivua täysin. (Hiustenkuivaimella voi nopeuttaa kuivumisaikaa.)

Koeta sytyttää paperi sytyttimellä. Mitä tapahtuu?

KYSYMYKSIÄ

Muistele, mitkä 3 asiaa vaaditaan palamisessa?

Palava-aine, riittävä lämpötila ja happi.

Kuvaile, mitä havaitsit yrittäessäsi polttaa paperi.

Paperi ei syttynyt tuleen, vaan hiiltyi ilman liekkiä.

Mihin palamisessa vaadittaviin ominaisuuksiin nanokomposiitteihin perustuvat palonestoaineet vaikuttavat?

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Työ tulee suorittaa vetokaapissa!

Varmista, että työ tehdään palonkestävällä pinnan päällä (eikä tilassa ole palo- tai savuhälyttimeä).

Tässä työssä ei käytetä nanopartikkeleita, koska käytetty lämpötila ei vaadi niiden käyttöä. Näin työhön on voitu valita liuos, jonka käyttö on fysiologisesti turvallista käyttöä.



”Kuori” muodostaa suojan, joka pidättelee palon etenemistä suojattuun kohteeseen. Näin paloa hidastaa palavan-aineen määrä.

Missä paikoissa voisit kuvitella palonestoaineiden olevan hyödyllisiä?
Erilaiset rakennusmateriaalit ja erityisesti rakennusten palokatkoseinät tai palo-ovet tms. ja vaikkapa tekstiilit...

TYÖN OHJAAJALLE:

Suoritetaan mieluummin opettajan demonstraationa.

Työ opettajan demonstraationa (valmistele paperi etukäteen):

Suihkuta puolet paperista palonsuojaliuoksella (min 10cm etäisyydeltä).

Anna paperin kuivua täysin.

Pitele paperia suojatulta puolelta.

Yritä sytyttää käsittelemättömältä puolelta.

Työpistetyöskentelyssä ensimmäinen ryhmä voi ruiskuttaa paperin märäksi ja antaa kuivua. Muut ryhmät voivat koettaa polttaa samaa paperia.

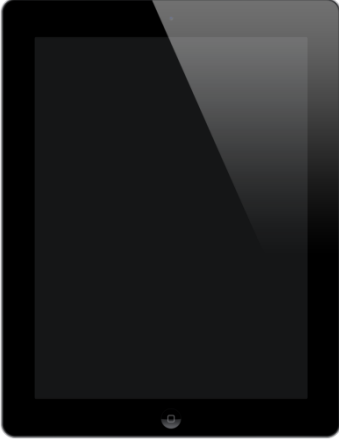
Työssä ei matalan lämpötilan vuoksi käytetty nanokomposiitteihin perustuvia palonestoaineita. Työssä käytettävä palonestoaine toimi seuraavalla tavalla: korkeassa lämpötilassa palonestoeineen sisältämät fosfaatit reagoivat sitoutumalla paperin selluloosan (hiilihydraattia) kanssa muodostaen hiiltä ilman tulta. Reaktiossa muodostuneet typpiyhdisteet puolestaan hajoavat lämmön vaikutuksesta muodostaen typpikaasua, joka syrjäyttää hapen estäen palamisen.



5. SÄHKÖÄJOHTAVA PINNOITE

TAVOITE: Tutustua nanoteknologian sovellukseen.

AVAINSANAT: sähkönjohtavuus- eriste



Oletko koskaan miettinyt, miten puhelimesi kosketusnäyttö toimii? Voitko käyttää puhelintasi tavalliset sormikkaat kädessä?

Elektronisten laitteiden kehitys tuo jatkuvasti uusia sovelluksia, jotka pyrkivät parantamaan laitteiden käyttöä ja ominaisuuksia. Indiumtinaoksidi-(ITO)-yhdiste on erittäin ohut ja läpinäkyvä kalvomateriaali elektroniikan sovelluksiin, kuten aurinkopaneeleihin ja erilaisiin näyttöihin. Tutki tavallisen ja ITO-pinnoitetun lasin sähkönjohtavuutta. Jos sinun kännykkäsi tai tablettisi käyttäisi pelkästään sähkönjohtavuutta hyväksi, voisiko sitä käyttää sormikkaat kädessä?

(Kuva: Zach Vega /Wikimedia Creative Commons)

TARVIKKEET

- Tavallinen lasinpala
- ITO-pinnoitettu lasi
- 3 hauenleukakaapelia
- 1 paristo
- 1 LED-valo
- pala puuvillakangasta

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Työssä ei synny jätteitä.

TYÖOHJE

Muodosta hauenleukajohtimia apuna käyttäen virtapiiri.

Kiinnitä yksi johdin tavalliseen lasiin ja LEDin lyhyempään piikkiin, toinen LEDin **pidemmältä piikiltä** pariston + napaan

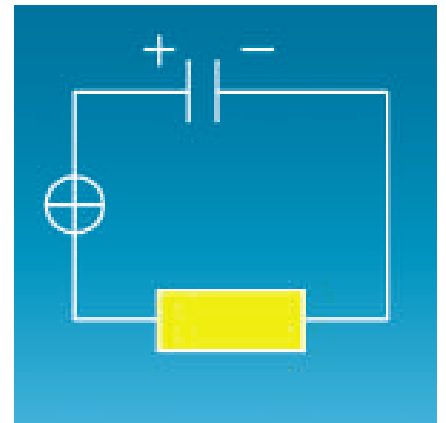
ja kolmas lasilta pariston – napaan.

Tapahtuuko ledillä mitään?

Vaihda lasiksi ITO-pinnoitettu lasi. Huomaatko eron?

Selvitä kummalla puolella lasia pinnoite on. Voiko pinnoitteen nähdä?

Kokeile mitä tapahtuu, jos laitat toisen hauenleuan ja lasin väliin puuvillakangaspalan.





KYSYMYKSIÄ

Selvitä kummalla puolella lasia pinnoite on. Voiko pinnoitteen nähdä?

Voit selvittää kummalla puolella pinnoite on irrottamalla toisen hauenleuan ja koskemalla sillä vain toiselle puolelle lasia. Pinnoite on läpinäkyvä ja huonosti silmin havaittava.

Miten lasipalojen sähkönjohtavuus eroaa?

Tavallinen lasi ei johda sähköä vaan toimi eristeenä ja ITO-lasi johti sähköä (LED:in syttyi valo). (ITO on puolijohdemateriaali)

Toimiiko kännykkäsi tavallisilla sormikkailla? Voiko kangaspalakokeen avulla selittää, miksi näyttö ei toimi sormikkaat kädessä?

Puhelimesi kosketusnäyttö voi olla toteutettu käyttämällä ITO-nanokalvoa. Esim. kapasitiivisissa kosketusnäytöissä sähköjohtava sormi aiheuttaa muutoksen näytön sähkökentässä aiheuttaen antureilla mitattavan kapasitanssin muutoksen. Kangaspalakoe selittää sormikkaiden estävän sähkönjohtokykyä hyödyntävien näyttöjen toimintaa, koska kosketus ei sormikkaiden läpi voi aiheuttaa muutoksia sähkökentässä.

Ohut kangaspala ei välttämättä estä käyttämästä kosketusnäyttöä, koska näyttö voi toimia myös paineen tai infrapunasäteilyn avulla. Kännyköissä ja tableteissa on paljon erilaisia näyttötyyppisiä, jotka vaihtuvat jatkuvasti. Siksi on vaikea tietää, mitkä näyttötyyppit hyödyntävät juuri ITO-teknologiaa. ITO-kalvoja käytetään ainakin kapasitiivisissa kosketusnäytöissä, OLED- ja AMOLED-näytöissä (useissa samsung puhelimissa v.2013-2014).

Millaisia käyttökohteita keksit tällaiselle pinnoitteelle?

Aurinkopaneelit, erilaiset näytöt (litteät näytöt, nestekidenäytöt, kapasitiiviset kosketusnäytöt: OLED- ja AMOLED-näytöt), lämmitettävät ikkunat (toimivat sähköllä lämpöpatterien tavoin) ja diagnostiset vaa`at (mittaa painon, rasvan, nesteen ja lihasten määrän).



6. MAGNEETTIKENTTÄ

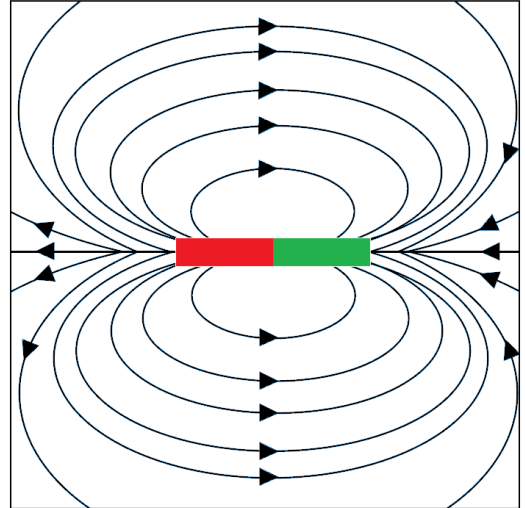
TAVOITE: Tutustua magneettikentän aiheuttamiin vuorovaikutuksiin ja nanoteknologian sovellukseen.

AVAINSANAT: ferroneste- magneettisuus- metalli.

Olet varmaan kuullut TV:ssä, lehdissä tai koulussa puhuttavan magneettikentästä.

Mikä se on, kun sitä ei näe, eikä siihen voi koskea? Tässä kokeellisessa työssä näet magneettikentän konkreettisen vaikutuksen.

Ferroneste on ainoa yhtä aikaa nestemäinen ja magneettinen materiaali. Se ei kuitenkaan toimi koko ajan magneetin tavoin. Ferronesteen sisältämät pienet hiukkaset toimivat magneetin tavoin vain ulkoisen magneetin läheisyydessä. Ferroneste sisältää hyvin pieniä halkaisijaltaan noin 10 nanometrin kokoisia rauta partikkeleita (*myös koboltti tai nikkeli sopisivat raudan tilalle*). Partikkeleiden yhteen kasautumisen ja kiinteän aineen muodostamisen estävät pitkäketjuiset pinta-aktiiviset yhdisteet tai samanlaiset sähkövaraukset. Ferronestettä käytetään esimerkiksi:



- Elektronisten laitteiden kovalevyjen suojauksessa.
- Tutkassa näkymättömissä maaleissa yhdessä ei magneettisen aineen kanssa estämään radioaaltojen takaisinheijastuminen.
- Syövän hoidossa ferroneste voidaan injektoida syöpäsoluun ja vaikuttaa magneetilla nesteeseen, jolloin syöpäsolu ylikuumenee ja kuolee.



TARVIKKEET

- ferroneste
- korkillinen lasiputki
- saippualliuos
- magneetti
- pipetti
- vesi

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja –hanskat.

Ferronestettä on käsiteltävä varoen, koska siitä jää pysyviä jälkiä vaikkapa vaatteisiin. Työpiste kannattaa suojata paperilla. Jos ferronestettä joutuu iholle, pese iho runsaalla vedellä ja saippualla.

Säilytä ferronestettä suljetussa astiassa höyrystymisen välttämiseksi.

Käytä pipettiä ferronesteen annosteluun, varo roiskeita ja muista, että ferronestettä ei saa sekoittaa.

Älä koskaan käytä magneettia suoraan ferronesteeseen tai sulkemattomaan ferronestepurkkiin.

Älä käytä magneettia sydämentahdistajan omaavan henkilön välittömässä läheisyydessä.

Ferroneste on ongelmajätettä, joten huolehdi ferronesteen asiallisesta hävittämisestä. Ferroneste hävitetään, kuten käytetyt moottoriöljyt.

TYÖOHJE

Tutki magneetin ja ferronesteen välistä vuorovaikutusta.

Lisää työalustalle paperia ja käsittele ferronestettä vain suojatulla paikalla. Muista suojavarusteet.

Täytä 4/5 osaa lasiputkesta vedellä ja lisää 2-5 pisaraa saippualliuosta.

Lisää pipetillä 5 pisaraa ferronestettä putkeen.

Sulje korkki kunnolla!

Tuo magneetti lasiputken luo ja tutki ferronesteen käyttäytymistä.

Kääntelee magneettia ja putkea, jolloin näet magneettikentän ja ferronesteen vuorovaikutuksen.

Miten magneetin etäisyys vaikuttaa ferronesteen piikkeihin.



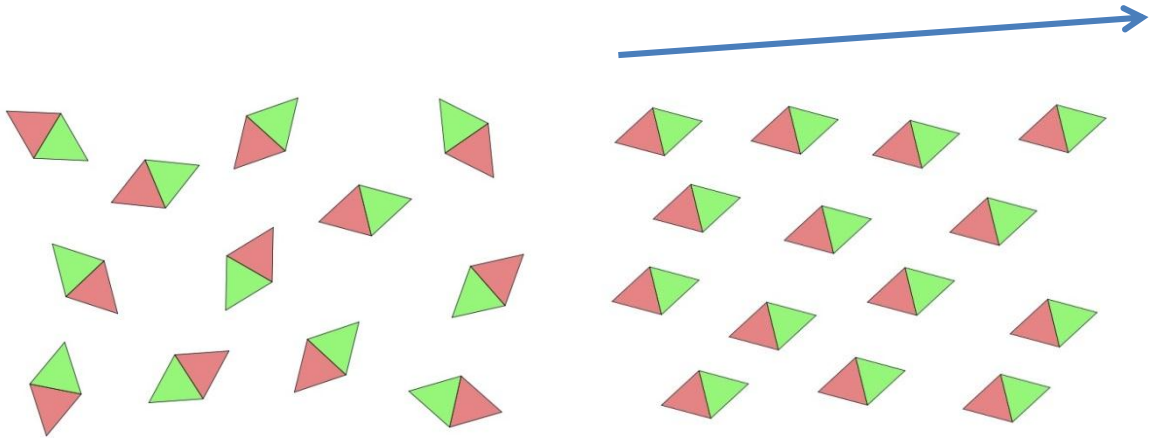
Voit myös sekoittaa liuosta hieman, jolloin ferroneste dispergoituu veteen. Ferroneste laskeutuu hitaasti takaisin pohjalle. Voit muodostaa eri kuvioita, kuten piikkejä ja pilviä pyörittämällä magneettia nopeasti putken ympärillä.

KYSYMYKSIÄ

Mikä aiheuttaa ”piikit” ferronesteeseen, kun magneetti tuodaan liuoksen lähelle?

Ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta ferronesteen nanohiukkaset järjestäytyvät magneettikentän kenttäviivojen mukaisesti. Niinpä magneettikenttä aiheuttaa piikit, jotka kuvastavat magneettikentän kenttäviivoja.

Kumpi alla olevista kuvista kuvaa mielestäsi nanokokoluokan alkeishiukkasten järjestystä magneettikentässä? Merkitse kuvan ylle nuolella magneettikentän suunta.



Oikeanpuoleinen kuva vastaa alkeishiukkasten järjestäytymistä magneettikentässä. Kuvassa alkeishiukkasten magneettiset dipolimomentit järjestäytyvät magneettikentän kenttäviivojen suuntaisesti.

Auttoiko ferronesteen tutkiminen ymmärtämään magneettikenttää tai siihen liittyviä vuorovaikutuksia?

TYÖN OHJAAJALLE:

Ferroneste sotkee pahasti, eikä ole helppo siivottava.

- Korosta käsittelyn varovaisuutta ja suojavaarusteita, ettei vaatteet yms sotkeennu.
- Ferronestettä otetaan purkista vain pipetillä.
- Suojaa työpiste paperilla.
- Magneettia voi esim. pienessä minigrip-pussissa vahinkojen välttämiseksi.
- Käytä samoja työvälineitä (pipetti ja lasiputket) uudestaan, vaikkei niitä saa täysin puhtaiksi.

Viisi pisaraa ferronestettä on niin pieni määrä, ettei sitä kannata alkaa (on hankalaa) kerätä ongelmajätteeksi. Ferroneste on moottoriöljyyn verrattava ongelmajäte.



Kemianluokka
Gadolin



ALFRED
KORDELININ
SÄÄTIÖ

Kemian opetuksen keskus
Helsingin yliopisto
Nanoteknologian kokeelliset työt
Opettajan ohje

Työpistetyöskentelyssä ensimmäinen ryhmä voi tehdä lisätä veden ja nesteet lasiputkeen, jota seuraavat ryhmät voivat käyttää.

Työssä käytettävä ”tenside solution” liuksen sijasta toimii normaali käsisäippua.

Luultavasti vastaavan ferronesteen valmistusohje löytyy osoitteesta
<http://nanokoulu.net/node/25>



7. KOLIKON LÄPÄISEVÄ FERRONESTE

TAVOITE: Tutustua magneettikentän aiheuttamiin vuorovaikutuksiin ja nanoteknologian sovellukseen.

AVAINSANAT: ferroneste- magneettisuus- metalli.

Olet varmaan kuullut TV:ssä, lehdissä tai koulussa puhuttavan magneettikentästä. Mikä se on, kun sitä ei näe, eikä siihen voi koskea? Tässä kokeellisessa työssä näet magneettikentän konkreettisen vaikutuksen.

Ferroneste on ainoa yhtä aikaa nestemäinen ja magneettinen materiaali. Se ei kuitenkaan toimi koko ajan magneetin tavoin. Ferronesteen sisältämät pienet hiukkaset toimivat magneetin tavoin vain ulkoisen magneetin läheisyydessä. Ferroneste sisältää hyvin pieniä halkaisijaltaan noin 10 nanometrin kokoisia rautapartikkeleita (*myös koboltti tai nikkeli sopisivat raudan tilalle*). Partikkeleiden yhteen kasautumisen ja kiinteän aineen muodostamisen estävät pitkäketjuiset pinta-aktiiviset yhdisteet tai samanlaiset sähkövaraukset. Ferronestettä käytetään esimerkiksi:

- Elektronisten laitteiden kovalevyjen suojauksessa.
- Tutkassa näkymättömissä maaleissa yhdessä ei magneettisen aineen kanssa estämään radioaaltojen takaisinheijastuminen.
- Syövän hoidossa ferroneste voidaan injektoida syöpäsoluun ja vaikuttaa magneetilla nesteeseen, jolloin syöpäsolu ylikuumenee ja kuolee.

TARVIKKEET

- ferroneste
- pipetti
- magneetti
- kolikko (ei magneettinen)

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Ferronestettä on käsiteltävä varoen, koska siitä jää pysyviä jälkiä vaikkapa vaatteisiin. Työpiste kannattaa suojata paperilla. Jos ferronestettä joutuu iholle, pese iho runsaalla vedellä ja saippualla.

Säilytä ferronestettä suljetussa astiassa höyrystymisen välttämiseksi.

Käytä pipettiä ferronesteen annosteluun, varo roiskeita ja muista, että ferronestettä ei saa sekoittaa.

Älä koskaan käytä magneettia suoraan ferronesteeseen tai sulkemattomaan ferronestepurkkiin.

Älä käytä magneettia sydämentahdistajan omaavan henkilön välittömässä läheisyydessä.

Ferroneste on ongelmajätettä, joten huolehdi ferronesteen asiallisesta hävittämisestä. Ferroneste



TYÖOHJE

Tutki metallin, magneetin ja ferronesteen välistä vuorovaikutusta.

Aseta kolikko pieneen petrialjaan.

Lisää varovasti ferronestettä pipetillä niin, ettei kolikkoa enää näy.

Aseta magneetti petrialjan alle ja liikuttele sitä.

KYSYMYKSIÄ

Miksi kolikko liikkuu?

Magneetti reagoi ferronesteen kanssa, joka liikuttaa kolikkoa.

Miten kolikko vaikuttaa ferronesteen käyttäytymiseen?

Ferroneste muodostaa piikkejä magneettikentän kenttäviivojen mukaisesti. Ferroneste näyttää toimivan muodostavan piikkejä myös kolikon läpi, joten kolikko ei vaikuta sen toimintaan.

Mitä olisi tapahtunut, jos kolikko olisi ollut magneettinen?

Kolikko olisi liikkunut magneetin avulla eikä ferronesteen. Magneetin ja kolikon välinen vuorovaikutus (vetovoima) olisi ollut suurempi kuin ferronesteen ja kolikon.

Auttoiko ferronesteen tutkiminen ymmärtämään magneettikenttää tai siihen liittyviä vuorovaikutuksia?

TYÖNOHJAAJALLE:

Muilla magneettisilla esineillä voi koettaa tehdä taidetta ferronesteellä. Aluksi voi kokeilla esimerkiksi pulttia.

Ferroneste sotkee pahasti, eikä ole helppo siivottava.

- Korosta käsittelyn varovaisuutta ja suojavaarusteita, ettei vaatteet yms sotkeennu.
- Ferronestettä otetaan purkista vain pipetillä.
- Suojaa työpiste paperilla.
- Magneettia voi esim. pienessä minigrip-pussissa vahinkojen välttämiseksi.
- Käytä samoja työvälineitä (pipetti ja petrialja) uudestaan, vaikei niitä saa täysin puhtaiksi.

Työpistetyöskentelyssä ensimmäinen ryhmä voi tehdä lisätä ferronesteen petrialjaan, jota seuraavat ryhmät voivat käyttää.



Kemianluokka
Gadolin



ALFRED
KORDELININ
SÄÄTIÖ

Kemian opetuksen keskus
Helsingin yliopisto
Nanoteknologian kokeelliset työt
Opettajan ohje

Pieneen petrimaljaan 10 sentin kolikko on sopivan kokoinen. (20 ja 50 sentin kolikot soveltuvat työhön, koska eivät ole magneettisia. 5 sentin, 1 ja 2 euron kolikot eivät sovellu työhön, koska ovat magneettisia, eli sisältävät rautaa, kobolttia tai nikkeliä).

Luultavasti vastaavan ferronesteen valmistusohje löytyy osoitteesta
<http://nanokoulu.net/node/25>

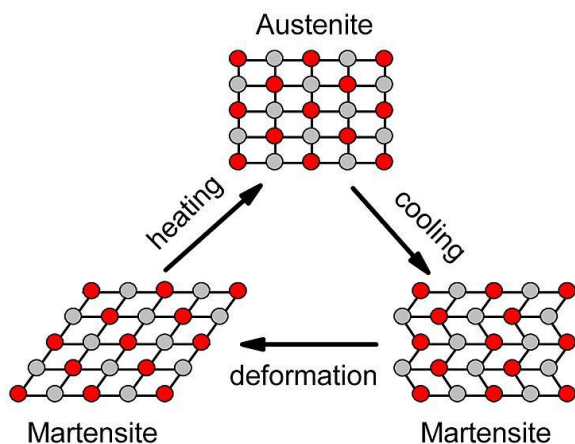


8. MUISTIMETALLI – ATOMIEN LIKETTÄ NANOKOKOLUOKASSA

TAVOITE: Tutustua uuteen nanoteknologian sovellukseen.

AVAINSANAT: muistimetalli - metalliseos - kiderakenne.

Voiko metallilla olla muisti? Tässä työssä tutkitaan, mitä nikkelin ja titaanin metalliseos muistaa. Metallien kiderakenne eli metallihila mahdollistaa metallien taivuttamisen. Muistimetallilla on kaksi eri nanokoon hilarakennetta (austeniitti ja martensiitti), joista toinen esiintyy korkeammassa lämpötilassa ja toinen matalammassa. Tutki miten nanokokoluokassa tapahtuvat kidehilan muodon muutokset vaikuttavat muistimetallin todelliseen muotoon.



NITINOL-seoksen kiderakenteen muutos
(Kuva: Mmm-jun/Wikimedia Creative Commons)



(Kuva: photosteve101/flickr.com Creative Commons)

TARVIKKEET

- paperiliittimen muotoinen muistimetalli
- muoviset pinsetit
- lämpömittari
- keitinlevy
- veden lämmitykseen sopiva astia
- vesi

TYÖOHJE

Vääntelee paperiliitin haluamaasi muotoon.

Aseta paperiliitin huoneenlämpöiseen veteen.

Aloita veden lämmitys. Tarkkaile veden lämpötilaa, koska vesi ei saa lämmitä yli 70°C:n. Missä lämpötilassa muodonmuutos tapahtuu? Arvio, kuinka kauan muodonmuutos kesti?

Kun metalli on muuttanut muotonsa takaisin, nosta se pois muovipinseteillä.

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Laboratoriotakki, -lasit ja -hanskat.

Työssä ei synny jätteitä. Älä heitä tarvikkeita roskeen.



KYSYMYKSIÄ

Minkä ominaisuuden muistimetalli ”muisti”?

Muistimetalli muistaa, missä muodossa se on ollut korkeamman lämpötilan kiderakenteessa (austeniitti.) Siksi se muuttuu alkuperäiseen muotoonsa aina lämmittäessä. Eli se muistaa vanhan muotonsa.

Mikä metalleille yleinen ominaisuus mahdollistaa paperiliittimen taivuttelun ilman metallilangan katkeamista? Mitä muita metalleille tyypillisiä ominaisuuksia muistat?

Metallilangan taivuttelu on mahdollista, koska metallit ovat yleensä helposti muokattavia ja sitkeitä. Muita metallien yleisiä ominaisuuksia ovat metallinkiilto, hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky, korkea sulamispiste, ne luovuttavat helposti elektroneja...

Keksitkö, miksi muistimetallia käytetään hammasraudoissa tai silmälaseissa?

Hammasraudoissa muistimetalli pyrkii itse sellaiseen muotoon, jossa hampaat olisivat halutussa muodossa. Näin käyttö vähentää kiristämisen tarvetta. Muistimetalli hyödyntävät silmälasit pyrkivät palautumaan alkuperäiseen muotoonsa vaikka vääntyisivät jollakin tavalla.

TYÖN OHJAAJALLE

Lämmitettävä vesi ei voi olla valmiiksi kuumaa, koska silloin muodonmuutos tapahtuu heti, eikä havainnointiin jää aikaa. Kädenlämpöinen vesi on aika sopiva.

Muistimetalli ei palaudu, jos vesi on ollut yli 90 asteista!

9. NANOKULTAA!

TAVOITE: Tutustua värillisen kultaseoksen sekä kullan valmistukseen nanoteknologian välineillä.

AVAINSANAT: Värjäysaineet – Kolloidinen seos - Liukoisuus.

Oletko koskaan miettinyt, millaisia väriaineita käytetään lasi- ja keramiikka-astioissa? Ja miksi osa samanvärisistä astioista on kalliimpia kuin toiset? Raskasmetalleista perinteisimpiä käytettyjä värjäysaineita ovat epäjalojen metallien oksidisuolat, jotka käytössä olevan metalli-ionin perusteella antavat sille ominaisen värin. Myös jalometalleja voidaan käyttää astioiden värjäykseen. Tässä työssä pääset valmistamaan erään värjäysaineena käytetyn kultaseoksen sekä tutkimaan mahdollisuutta valmistaa kultaa klustereina (ryppäinä) pienessä kokoluokassa.

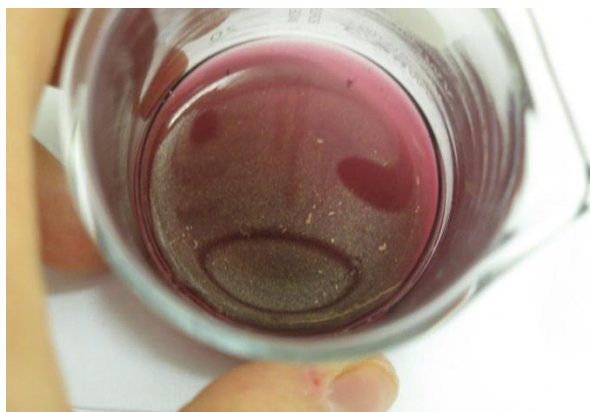


(Kuva: PetitPoulailler/Wikimedia Commons-CC-BY-2.0 Generic)



(Kuva: Rob Lavinsky, iRocks.com/Wikimedia Commons-CC-BY-SA-3.0 Unported)

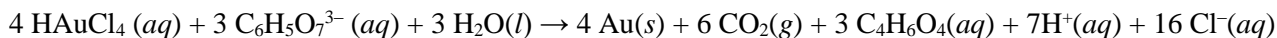
Työssä kultaseoksen valmistuksen lähtöaineina käytetään kultakloridiliuosta (HAuCl_4) ja sitraattiliuosta (natriumsitraatti dihydraatti $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Kokeen aikana kultaionit pelkistetään lämpimissä olosuhteissa sitraatilla atomikultaryppäiksi eli klustereiksi. Samalla sitraatti stabiloi klusterit, jolloin muodostuu kolloidinen seos. Sitraatti pelkistyy meripihkahapoksi. Seoksen väri muuttuu sitraatin hapettumisen ohessa punaiseksi tai violetiksi riippuen sitraatin määrästä. Suuri määrä sitraattia tekee klustereista epäpuhtaampia ja pienempikokoisia. Alkoholin lisäys toisessa vaiheessa vähentää klustereiden liukoisuutta.



Kuva: Kultaklustereita (Toni Rantaniitty)



Valmistuksessa tapahtuva kemiallinen reaktio:



TARVIKKEET

- kultakloridiliuos ("Auric Chloride")
- sitraattiliuos ("Citrate Solution")
- pipetti
- tislattu vesi
- magneettisekoittaja kuumennustoiminnolla + magneetti
- 100 ml keitinlasi
- 2 x 10 ml:n mittalasia
- (lämpömittari)
- etanolia tai propanolia

TYÖOHJE

Kirjaa muistiin nesteiden värit ennen työn aloittamista.

Lisää keitinlasiin 6 pientä tippaa kultakloridiliuosta. Kaada keitinlasiin mittalasin avulla 10 ml tislattua vettä. Sekoita huolella magneettisekoittajalla.

Laita lämmitys täydelle teholle ja sekoitus sopivan voimakkaalle, jotta liuos sekoittuu työn aikana kunnolla.

Kuumenna kiehuvaaksi (100 °C) tai kunnes kuplia alkaa kehittyä säännöllisesti.

Lisää pipetillä 0,5 ml sitraattiliuosta. Jatka edelleen sekoittamista ja kuumennusta.

Mitä tapahtuu?

Sitraatti pelkistää kullan hapettuen itse meripihkahapoksi ja hiilidioksidiksi. Muodostuu kolloidinen seos.

Lopeta kuumennus ja lisää 10 ml etanolia tai propanolia.

Sekoita huolella noin 1-2 minuuttia. Tutki nesteen pintaa pimeässä ja valossa.

Mitä tapahtuu? Mikä tehtävä etanolilla/propanolilla on työssä havaintojesi perusteella?

Kultaklustereiden liukoisuus pienenee alkoholin lisäyksellä, jolloin keltaiset klusterit tulevat selvemmin esille kolloidisesta seoksesta.

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Suojalasit, -takki ja hanskat!

Etanoli ja propanoli ovat palavia nesteitä, jotka kuivattavat ja ärsyttävät ihoa.

Kultakloridi ärsyttää ja syövyttää ihoa sekä on terveydelle haitallista nieltynä.

Jos kultakloridia joutuu iholle tai silmiin, pese **heti runsaalla vedellä** ja iho myös saippualla.

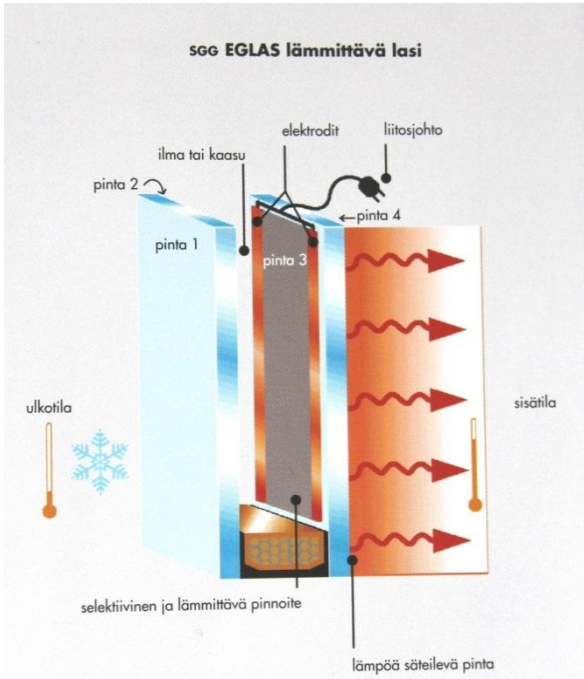
Tarvittaessa yhteys myrkytystietokeskukseen tai lääkäriin.

Kultakloridijätteet kerätään raskasmetallijätteeseen.



Lämmittävä lasi

Tavallista ikkunaa voidaan käyttää myös lämmitystarkoitukseen pinnoittamalla ikkuna puolijohdekalvolla. Kalvo asennetaan sisätiloja lämmitettäessä sisimmän lasin ulkopinnalle eikä siitä näin voi saada sähköiskua. Puolijohdekalvo toimii lämpövastuksen tavoin, kun siihen johdetaan sähköä. Tässä lämpölasissa on tinaoksidi kalvo, jolla lasia voidaan lämmittää 25-40 °C:ksi (teho 300W/m² 20V sulakkeella). Ikkunoiden lämpöhyötysuhde on n. 90%.

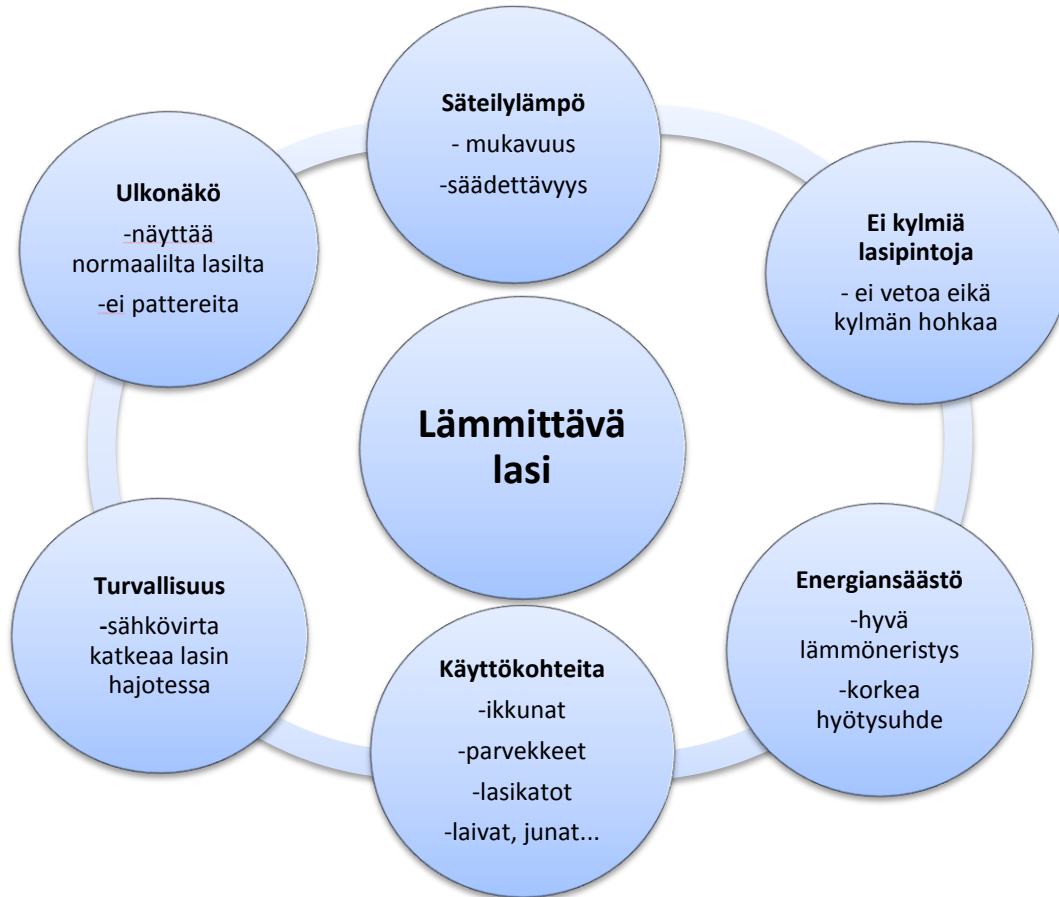


Iso-Syöteen Kotkanpesän
sähkölämmitteiset näköalaikkunat ja
valokatteet. ©Hotelli Iso-Syöte.

SGG EGLAS® lämmittävän lasin
toimintaperiaate. © Saint Gobain Glass
Finland Oy.



Lämmitettävän edut, ominaisuudet ja käyttökohteet.





Helmiäisvärillä maalattu puolipallo

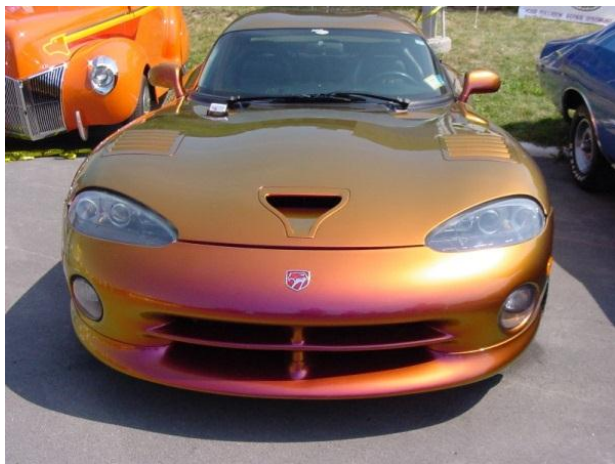
Helmiäisväri näyttää eriväriseltä eri suunnasta katsottuna. Titaanidioksidin avulla tuotettu helmiäisefekti johtuu titaanidioksidin ohutkalvolla päällystetyistä kiille pigmenteistä. Eri vahvuiset titaanidioksidikalvot heijastavat eriväristä valoa, joten valon taittuminen ja heijastuminen pigmenteissä saavat värin näyttämään toisenlaiselta eri katselukulmista. Muuttamalla kiilteiden päällysteen paksuutta saadaan myös erivärisiä helmiäismaaleja.



Helmiäisväritys halkaistun helmiveneen (meressä elävä nilviäinen) sisäpinnalla.
(Kuva: Chris 73 / Wikimedia Commons)



Helmiäisväri kosmetiikassa
(Kuva: pumpkincat210 / flickr.com.
Creative Commons)



LÄHTEET

Huusko, Jarkko (2014). Pro Gradu –tutkielma: Nanoteknologian kokeelliset työt kemian opetuksessa.



NanoBioNet (2009;2010). NanoSchoolBox. Descriptions of Experiments. Advanced Materials Science rano GmbH (RANO). Saarland – Rheinhessen Pfalz e.V.

Turkevich, J., Stevenson, P. C. & Hillier, J. (1951). A Study of the Nucleation and Growth Processes in the Synthesis of Colloidal Gold, *Discuss. Faraday. Soc.*, 11, s. 55–75. Royal Society of Chemistry.

Kimling, J., Maier, M., Okenve, B., Kotaidis, V., Ballot, H. & Plech, A. (2006). Turkevich Method for Gold Nanoparticle Synthesis Revisited, *J. Phys. Chem. B*, 110, s. 15700-15707. American Chemical Society.

Blair, A. Colin, Fisher, Ellen R. & Rickey, Dawn (2012). Supplementary Materials for Discovering Nanoscience, *Science*, **337**(6098), s. 1056-1057. AAAS. www.sciencemag.org/cgi/content/full/337/6098/1056/DC1 .

Alshammari, Ahmad, Köckritz, Angela, Kalevaru, Venkata Narayana, Bagabas, Abdulaziz & Martin, Andreas (2012). Influence of Single Use and Combination of reductants on the Size, Morphology and Growth Steps of Gold Nanoparticles in Colloidal Mixture, *Open Journal of Physical Chemistry*, 2, s.252-261. Scientific Research.