

TYÖ 11. TITAANIDIOKSIDI-VÄRIAINE- AURINKOKENNON VALMISTAMINEN

[HUOM. Opettajan ohjeessa taustatietoja ja kysymyksiin vastaukset]

KOHDERYHMÄ: Työ soveltuu yläasteelle sekä lukioon.

KESTO: 1,5-2 h.

TAVOITE: Ymmärtää elektronien vaikutus sähköilmiöön, käsittää miten auringon energiaa voidaan käyttää sähköön tuottamiseksi.

AVAINSANAT: Aurinkokenno, sähkö, fotoni, energia, teknologia



Kuva 1: Chelsea (Unsplash)

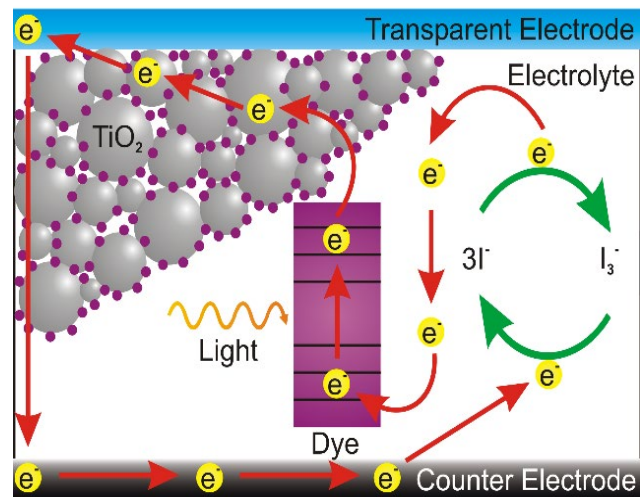
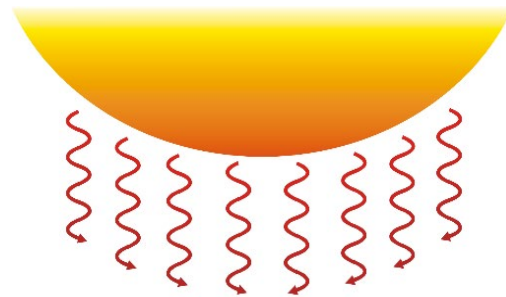
1. TYÖN IDEA

Aurinkokennot tuottavat sähköä auringonvalosta. Tässä työssä valmistetaan yksinkertainen Grätzel- eli väriaineherkistetty aurinkokenno ja tutkitaan sen tuottamaa jännitettä eri valonlähteissä.

2. TAUSTATEORIA

Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa valon energia irrottaa materiaalin pinnasta elektroneja ja täten saa aikaan sähkövirtaa. Aurinkokennoilla säteilyn energiasta noin 21 prosenttia voidaan muuttaa sähköksi.

Yleisimpiä aurinkokennoja ovat piistä valmistetut kennot, joiden valmistus on kallista ja 2000-luvulla on kehitetty edullisempi Grätzel-kenno, joka on ns. väriaineherkistetty aurinkokenno. Kyseisissä kennoissa väriaine absorboi valoa ja siirtää virittyneet elektronit puolijohtavalle titaaniidioksidille, joka kuljettaa elektronit ulkoiseen virtapiiriin katodille (Kuva 2). Piirin sulkemiseen tarvitaan hapetus-pelkistyspari, joka useimmiten on jodiliuos, joka hapettuu ja luovuttaa väriaineelle lisää elektroneja sitä mukaan, kun elektroneja irtoaa valon vaikutuksesta. Anodilta jodidi-ionit vastaanottavat elektroneja ja pelkistyvät siten takaisin trijodidiksi. Monet kasvit, kuten vadelma, mustikka ja granaattiomena, sisältävät väriainetta, jonka kykyä absorboida valoa käytetään hyväksi aurinkokennossa.



Kuva 2: väriaineherkistetyn aurinkokennon toiminta

Aurinkokennoilla voidaan muuttaa maksimissaan noin 21 prosenttia auringonsäteilyn energiasta sähköksi. Aurinkoenergian määrä per neliometri Keski-Suomessa on noin 900 kWh, sama arvo Hampurissa on noin 940 kWh ja Lissabonissa 1700 kWh. Vuonna 2016 1,3% maailman sähköstä saatiin aurinkoenergialla, mutta luvut ovat selkeässä kasvussa. Aurinkokennojen hinnat ovat laskeneet esimerkiksi Saksassa kymmeniä prosentteja viime vuosina teknologian kehittymisen ja massatuotannon ansiosta.

3. ENNAKKOTEHTÄVÄT ENNEN OPINTOKÄYNTIÄ

Minkälaisia erilaisia aurinkokennoja on? Miten ne eroavat toisistaan?

- *“Tavallinen” aurinkokenno on valmistettu piistä tai galliumarsenidista*
- *Orgaaniset aurinkokennot*
- *Väriaineherkistetyt aurinkokennot*

Kuinka suuri osa maailman sähköstä saadaan aurinkoenergiasta?

- *Noin 1,3% (vuonna 2016)*

Mitä muita uusiutuvia energiamuotoja markkinoilla on?

- *Tuulivoima*
- *Vesivoima -> vuorovesi- ja aaltovoima*
- *Geoterminen energia*

Mitä väriaineherkistetyn aurinkokennon eri osat tekevät?

- *FTO-lasi: sähköjohtava, mutta läpinäkyvä lasi päästää valon reaktiivisille aineille. Johtavat puolet sulkevat piirin.*
- *TiO₂-pasta anodin päällä: absorboi UV-säteilyä muodostaen elektroneja*
- *Väriaine absorboi tiettyjä valon aallonpituuksia ja virittää elektroneja.*
- *KI + I₂-liuos toimii hapetus-pelkistysparina ja auttaa väriainetta saamaan elektroneja takaisin.*
- *Noki toimii katodina, joka palauttaa elektronit elektrolyyttille.*

4. TYÖTURVALLISUUS JA KEMIKAALIT

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Käytä laboratoriotakkia, -laseja ja -hanskoja työskennellessäsi kemikaalien kanssa.

Lue työohjeen työturvallisuus ja kemikaalit -osio huolellisesti!

A!

Aalto-yliopisto

A³ Aalto-yliopisto
RUMU ROIMU
JUNIOR



I. Titaanidioksidi

- Valkoinen jauhe
- Vältettävä pölyn muodostusta ja aineen hengittämistä
- **Ensiaputoimenpiteet:**



- **Hengitettynä:** Anna raitista ilmaa.
- **Iholle saatuna:** Suihkuta iho vedellä.
- **Silmäkosketus:** Huuho huolellisesti vedellä usean minuutin ajan.
- **Nieltynä:** Huuho suu.
- Kaikissa epävarmoissa tilanteissa tai kun oireet eivät hellitä, on saatettava lääkärin hoitoon.

II. Etikkahappo

- Voi syövyttää metalleja
- Ärsyttää ihoa ja voimakkaasti silmiä
- **Ensiaputoimenpiteet:**



- **Hengitettynä:** Anna raitista ilmaa.
- **Iholle saatuna:** Suihkuta iho vedellä.
- **Silmäkosketus:** Huuho huolellisesti vedellä usean minuutin ajan.
- **Nieltynä:** Huuho suu.

III. Kaliumjodidi-jodiliuos

- Haitallista nieltynä, joutuessaan iholle tai hengitettynä
- Ärsyttää ihoa ja silmiä voimakkaasti
- Hapettava liuos
- **Ensiaputoimenpiteet:**



- **Hengitettynä:** Anna raitista ilmaa.
- **Iholle saatuna:** Suihkuta iho vedellä. Ihoärsytyksessä hakeuduttava lääkärin hoitoon..
- **Silmäkosketus:** Silmiä huuhdottava luomet auki juoksvan veden alla vähintään 10 minuuttia. Jos silmien ärsytystä esiintyy, on konsultoitava lääkäriä.
- **Nieltynä:** Huuho suu.

IV. Etyleeniglykoli

- Haitallista nieltynä
- Älä hengitä höyryä
- **Ensiaputoimenpiteet:**



- **Hengitettynä:** Anna raitista ilmaa.
- **Iholle saatuna:** Suihkuta iho vedellä.
- **Silmäkosketus:** Huuhdottava silmiä luomet auki juoksevan veden alla usean minuutin ajan.
- **Nieltynä:** Huuho suu ja juo paljon vettä.
- **Jos ärsytystä ilmenee, niin on konsultoitava lääkäriä.**

5. TYÖN SUORITUS

a. Tarvittavat välineet

- Kaksi sähköä johtavaa (F-)SnO₂-pinnoitettua lasilevyä (FTO-lasi)
- Yleismittari ja kaksi johtoa
- Teippiä
- Mikroskooppilasi
- Lämpölevy
- Kynttilä
- Pihdit
- Vanupuikkoja
- Kaksi klipsiä
- Kaksi hauenleukaa
- Petrimalja

b. Reagenssit

- TiO₂-pastaa
- KI+I₂-liuos etyleeniglykolissa
- Väriaine (punakaalimehu/murskattuja vadelmia)

c. Kemikaalien valmistaminen

TiO₂-pastan valmistaminen

Jauha huumareessa 0,5 g nanokiteistä titaanidioksidia (TiO₂) ja lisää muutama pisara erittäin laimeaa etikkahappoa ($1 \cdot 10^{-6}$ M). Lisää happoa niin, että koostumus on tasainen ja muistuttaa maalia. Jos koostumus on lähempänä hammastahnaa, lisää nestettä. Lisää pisara väritöntä astianpesuainetta pinta-aktiiviseksi aineeksi. Pastaa kannattaa säilyttää näyteputkessa. Kuivuneeseen pastaan voi lisätä etikkahappoliuosta.

KI+I₂-liuoksen valmistaminen

Punnitse ja liuota vedettömään etyleeniglykoliin kiinteää kaliumjodidia ja jodia niin, että niiden pitoisuudeksi tulee $c(\text{KI}) = 0,5 \text{ M}$ ja $c(\text{I}_2) = 0,05 \text{ M}$. Liuos kannattaa säilyttää tippapullossa, josta sitä on helppo annostella pisaroittain.

d. Työvaiheet

Ota kirkkaampi FTO-lasi ja tarkista yleismittarilla, kumpi puoli siitä johtaa sähköä mittaamalla pintojen sähkönvastus. Aseta lasi johtava puoli ylöspäin ja teippaa tasaisesti sen kolme reunaa noin yhden senttimetrin päästä reunasta. Lasin voi suoraan teipata kiinni käsipaperiin.

Levitä mikroskooppilasin avulla mahdollisimman tasainen kerros TiO_2 -pasta lasin pinnalle. Kerroksen pitäisi olla noin teipin paksuinen. Poista teipit varovasti, jotta pastakerros ei vahingoittuisi. Aseta lasi lämpölevylle pastapuoli ylöspäin vetokaappiin kuivumaan. Lämpötilaa ei kannata nostaa erittäin korkeaksi, jotta lasi ei rikkoudu. Sammuta lämpölevy, kun pasta on kuivunut ja anna levyjen jäähtyä sen päällä.

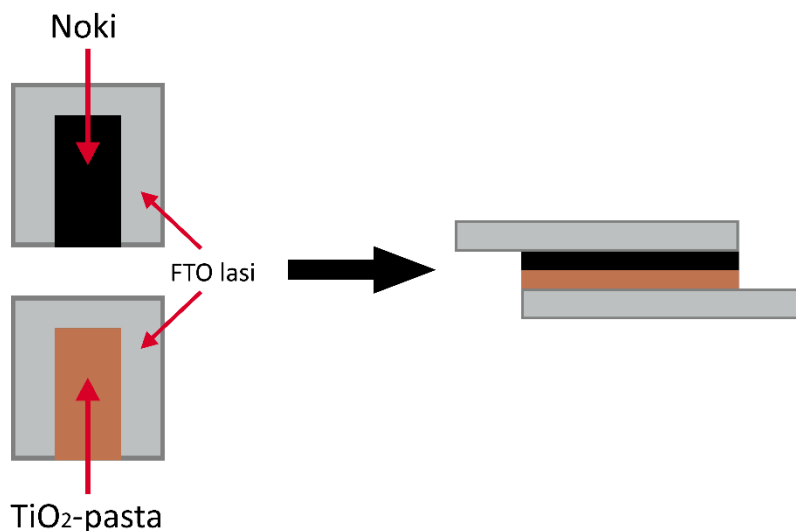
Ota tummempi FTO-lasi ja tarkista sen johtava puoli yleismittarilla. Ota levyn reunasta kiinni pihdeillä ja vie johtava puoli palavan kynttilän liekkiin, niin että sen pintaan tulee tasainen musta nokikerros. Pyyhi vanupuikon avulla noki pois levyn kolmelta reunalta noin senttimetrin leveydeltä.

Kun TiO_2 -päällysteinen lasilevy on jäähtynyt, tiputa sen päälle muutama pisara värillistä nestettä niin, että valkoinen pasta värjäytyy. Kannattaa olla erittäin varovainen, ettei pastakerros lähde liikkeelle nesteen mukana. Aseta lasi lämpölevylle, jotta vesi haihtuisi pois pastakerrokselta.

Aseta pinnoitetut FTO-lasit vastakkain hieman lomittain niin, että molemmista levyistä on vastakkaisilla puolilla esillä noin 1 cm pinnoittamatonta lasia, kuten kuvassa 2. Varo hankaamasta laseja toisiinsa. Kiinnitä levyt kahdella klipsillä tasaisista reunoista.

Tiputa jodiliuosta 1-2 pisaraa levyn pinnoittamattomille alueille juuri lasilevyjen väliin. Kapillaarivoimat levittävät liuoksen koko pinnoitetulle alueelle. Pyyhi ylimääräiset jodiliuokset pois lasin reunoilta.

Kiinnitä hauenleukapäiset johdot kennon pinnoittamattomille alueille ja yhdistä ne yleismittariin. Seuraa yleismittarista, miten jännitteen arvo muuttuu yleismittarissa, kun viet kennoa eri etäisyyksille valon lähteistä. Käy myös ulkona kokeilemassa, miten kenno reagoi auringonvaloon.



Kuva 3. Lasilevyjen TiO_2 -pasta- ja nokipinnat käännetään vastakkain, levyt hieman lomittain. (Aalto-yliopisto Junior)

d. Siivous ja jätteiden käsittely

FTO-lasit puhdistetaan tiskaamalla runsaalla vedellä. Jäljelle jäänyttä jodiliuosta ei saa kaataa viemäriin, vaan se säilötään omassa astiassaan.

6. TULOKSET JA KOONTI

Listaa yleismittarin eri jännitteiden arvot eri valonlähteistä ja verratkaa tuloksia toisten ryhmien kanssa ja pohtikaa, mistä erot johtuvat.

Paljonko aurinkokenno voi tuottaa sähköä?

Mitkä ovat aurinkokennon hyvät ja huonot puolet?

Mitkä ovat uusiutuvan energian hyvät ja huonot puolet?

7. VIITTEET

- I. M. Grätzel, "Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells", Inorg. Chem., 44 (2005) 6841-6851.
- II. G. Boschloo ja A. Hagfeldt, "Characteristics of the Iodide/Triiodide Redox Mediator in Dye-Sensitized Solar Cells", Acc. Chem. Research, 42 (2009) 1819–1826.
- III. G. Lisensky: Titanium Dioxide Raspberry Solar Cell (<http://education.mrsec.wisc.edu/289.htm>),
- IV. Kuva 1: Chelsea, Unsplash, CC, Haettu 5.1.2023 osoitteesta <https://unsplash.com/photos/WvusC5M-TM8>
- V. Kuva 2: väriaineherkistetyn aurinkokennon toiminta
- VI. Kuva 3: Aalto-yliopisto Junior/Arni Alaniemi