



Biopohjaisia pietsoantureita

BioÄly-hanke, seminaari-työpaja, 10.3.2020

Sampo Tuukkanen, Assoc. Prof.,

Lääketieteen ja terveysteknologian tiedekunta (MET),

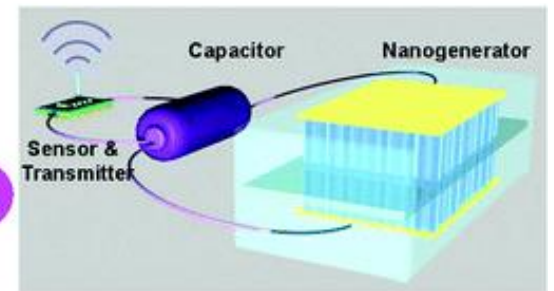
Tampereen Yliopisto (TAU)

Biopohjaisia pietsoantureita – Esityksen sisältö

- Motivaatio
- Teoreettinen tausta
- Tulokset
 - Puupohjainen nanoselluloosa
 - Kitosaanikalvot
 - Bakteeriselluloosa ja sen komposiitit
- Painetut anturit
- Tulevaisuuden näkymät

Miksi tarvitaan biopohjaisia antureita?

- Tulevaisuuden visio: "Trillion sensor for Internet-of-Things applications" ja älykkäät pakkaukset.
 - Datat keräämisen ja siirtämisen määrät kasvavat räjähdysmäisesti.
 - Jätteen määrä ja energian tarve kasvavat räjähdysmäisesti.
 - Tarve **ekologisemmille anturiratkaisuille!**
 - Ratkaisuna biohajoavat anturit ja energian louhinta: "self-powered and biodegradable sensors".
- Biopohjaiset materiaalit ja energianlouhinta:
 - Biopohjaisten materiaalien **luontaisten pietsosähköisten ominaisuuksien** hyödyntäminen (1) antureissa ja (2) energianlouhinnassa.
 - Tieteellisestä kirjallisuudesta löytyy useita lupaavia "nanogenerator" –demonstraatioita biopohjaisilla elementeillä.

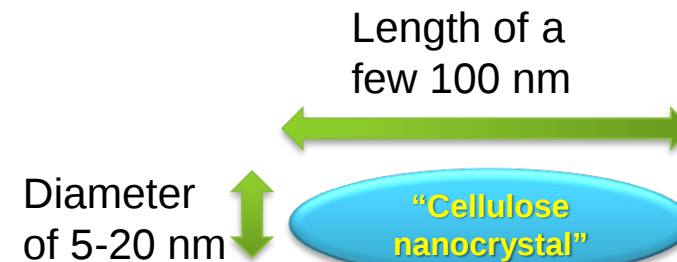
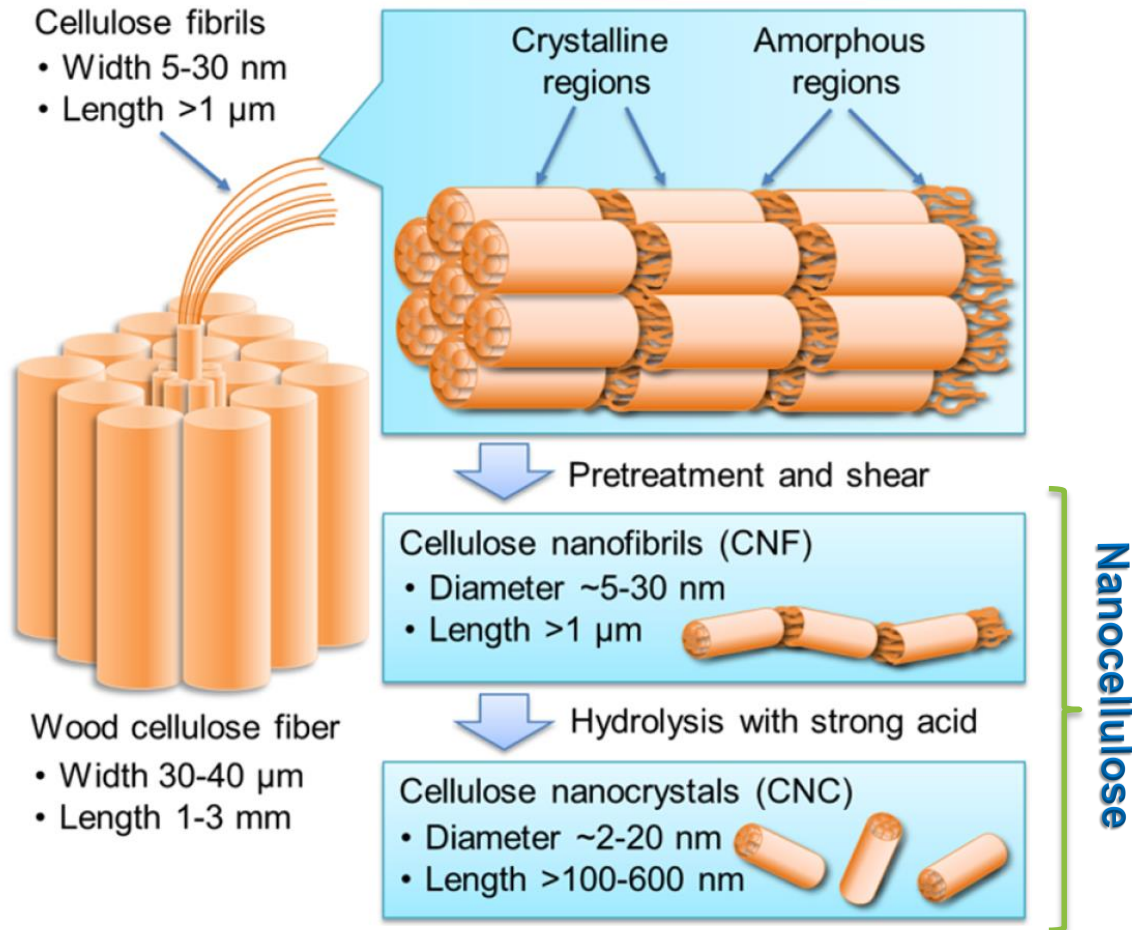


"Self-Powered System with Wireless Data Transmission"
Nano Lett., 2011, 11 (6), pp 2572–2577 [DOI: 10.1021/nl201505c](https://doi.org/10.1021/nl201505c)

Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Puustakuidusta nanoselluloosaksi?

AFM-image of CNCs



Selluloosan pietsosähköisyys

- Nanoselluloosan kiteisellä osalla (*cellulose nanocrystals*, CNC) on **pysyvä dipolimomentti** (*permanent electromagnetic dipole*)
 - Epälineaarinen kiderakenne aiheuttaa sen, että kiteeseen kohdistuva mekaaninen voima aikaansaa varausjakauman muutoksen
 - **Varausten erottuminen** eri puolille kidettä.
 - Tästä syystä selluloosakiteillä on pietsosähköisiä (ja ferrosähköisiä) ominaisuuksia, ja niitä voidaan käyttää **pietsoantureina**.

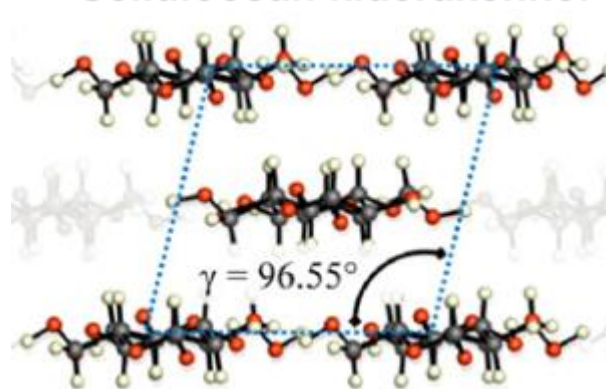
Pietsosähköinen tensori:

$$d_{mn} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

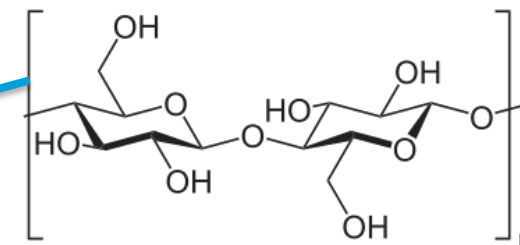
where $d_{14} = -d_{25}$

[E. Fukada, *J. Phys. Soc. Japan* (1955)]

Selluloosan kiderakenne:



[Zuluaga et al. (2013)]

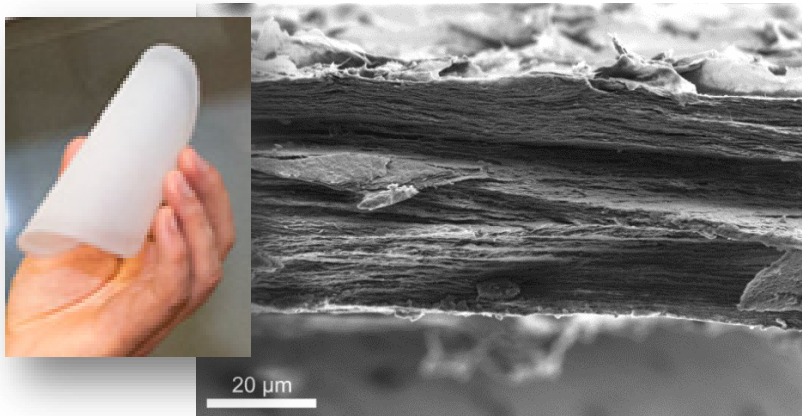


Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Nanoselluloosapohjaiset pietsoanturit

- Nanofibrilloitu selluloosa (NFC) ja mikrofibrilloitu selluloosa (MFC) kalvojen pietsosähköisten ominaisuuksien mittaus
 - Pietsoherkkydet NFC ja MFC kalvoilla lupaavia (5-15 pC/N)!
 - Kilpailukykyisiä kaupallisen fluoropolymeerin PVDF:n ($d_{33} = -33$ pC/N) kanssa.
 - Kalvot itsejärjestäytyneitä. Voitaisiko CNC-kiteiden paremmalla suuntaamisella parantaa suorituskykyä??

SEM poikkileikkauskuva NFC kalvosta

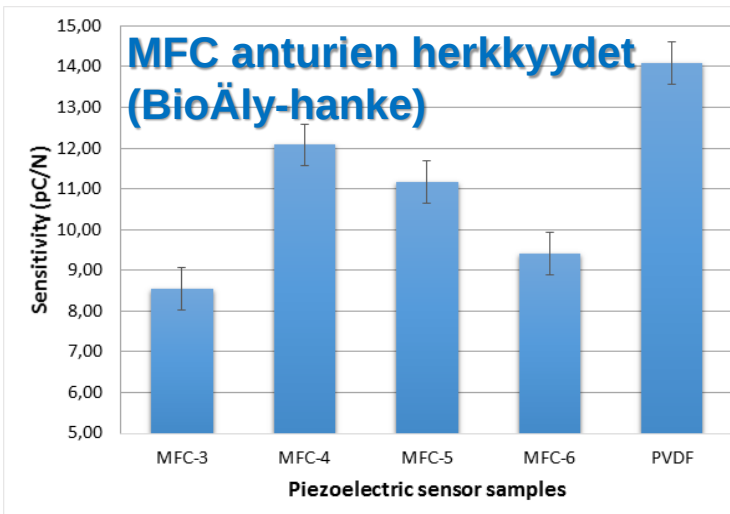


[Satu Rajala et al, ACS AMI (2016)]

Nanoselluloosa-massat: NFC valmistettu Aalto yliopistossa ja MFC itse BioÄly-hankeessa

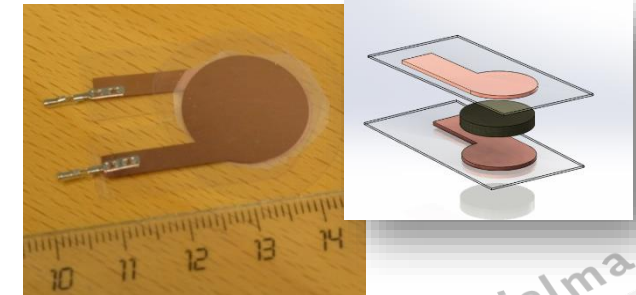
Sampo Tuukkanen

10.3.2020



[Unpublished data from BioÄly]

Mittauksissa käytetty sandwich-anturirakenne:



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

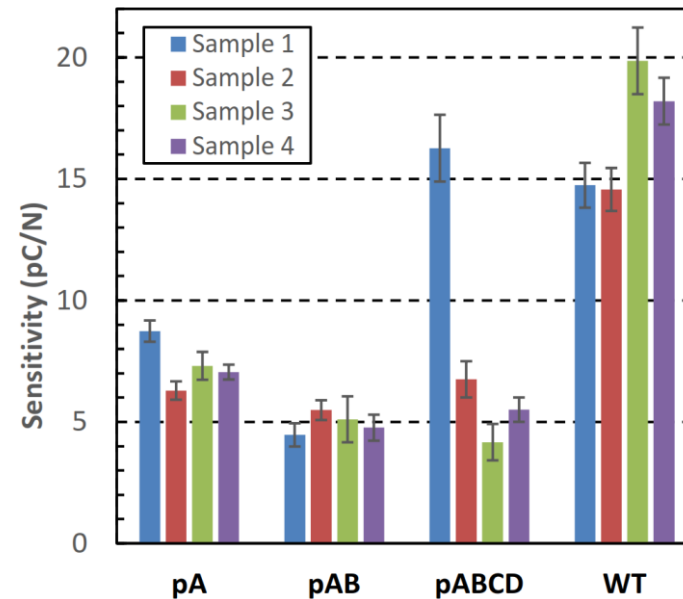
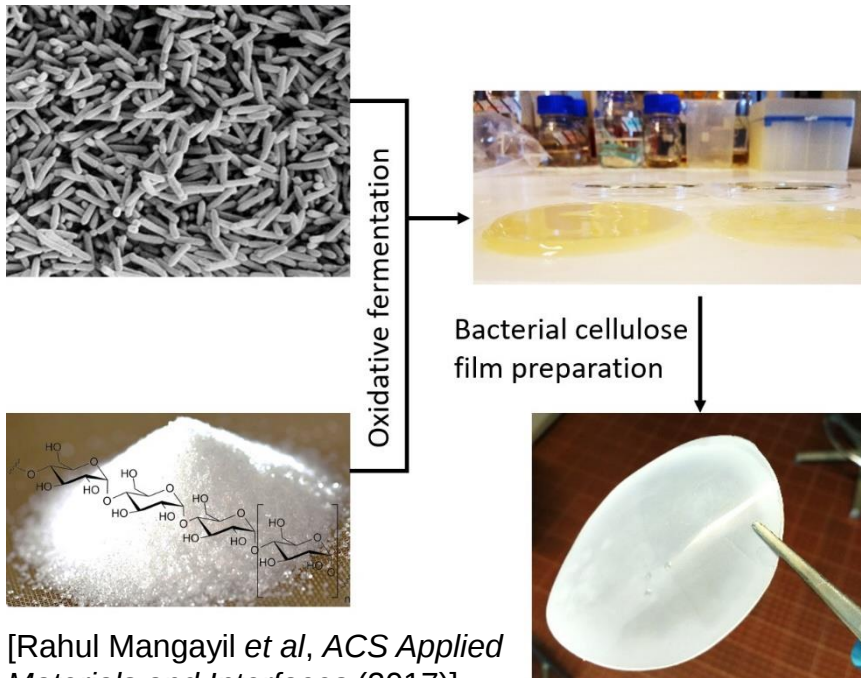
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Bakteeriselluloosapohjaiset pietsoanturit

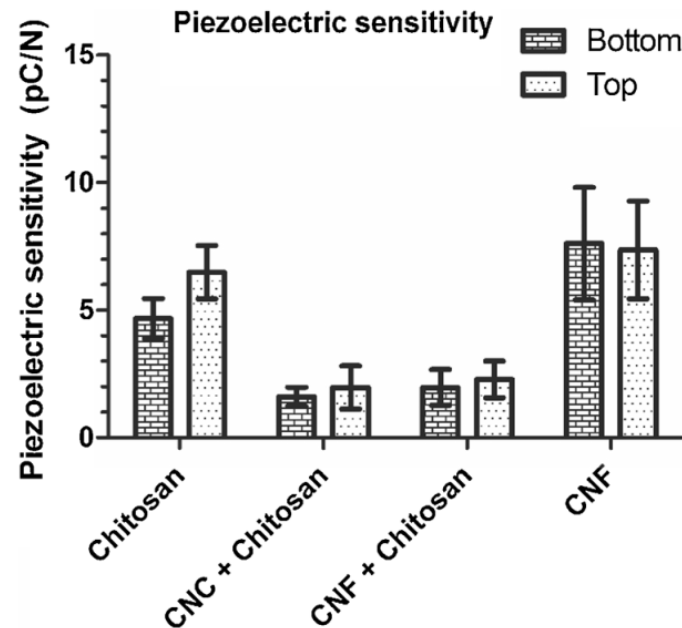
- Bakteeripohjaisesta nanoselluloosakalvosta tehdyt anturit
 - **Tietyt bakteerit voivat tuottaa hiilivetypohjaisista jätteistä nanoselluloosakalvoja!**
 - Sovellus anturimateriaaleja tai älylaastareita (lääketieteen sovellus).
 - Anturiherkkyydet 5-20 pC/N riippuen bakteerista (bacterial strain).



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Kitosaanipohjaiset pietsoanturit

- Kitosaani (esim. ravun kuoresta saatavan kitiinin johdannainen) on nanoselluloosan tapaan pietsosähköinen materiaali.
 - Alentaako CNF ja kitosaani faasien sekoittuminen komposiittikalvossa pietsoherkkyyttä?
→ Kalvon itsejärjestyminen oleellista anturiominaisuuksille?
 - Kalvonvalmistus kaipa parantamista...

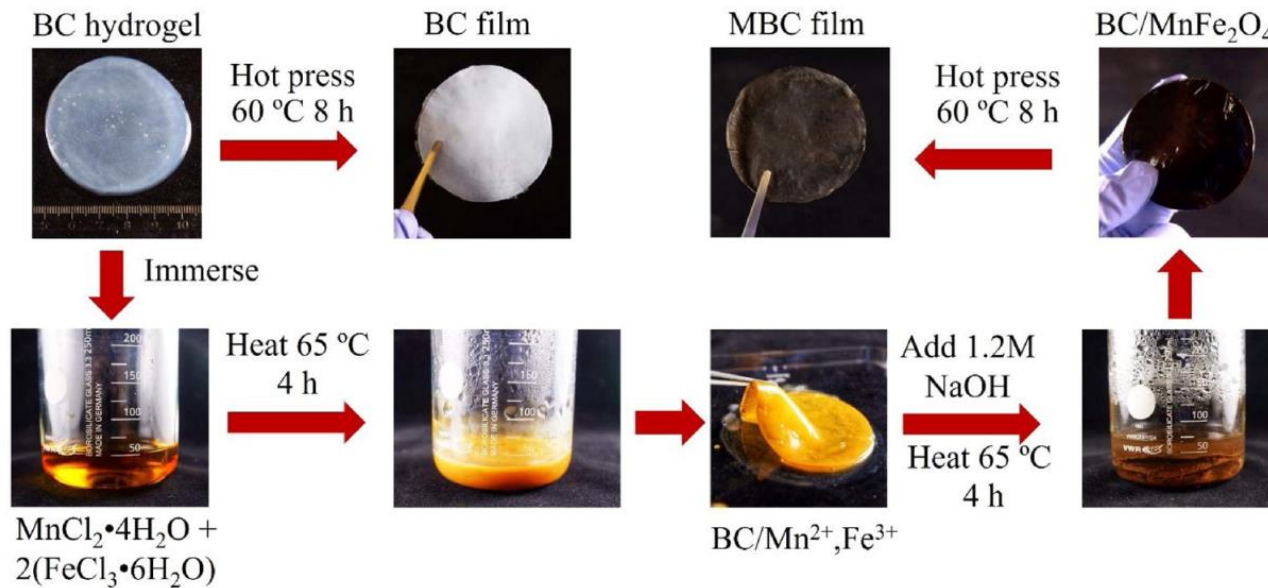


["Nanocellulose and chitosan based films as low cost, green piezoelectric materials",
Aleksi Hänninen et al., *Carbohydrate Polymers* (2018)]

Nanokomposiittipohjaiset pietsoanturit

- Pietsosähköisyyden kasvattaminen käyttämällä komposiittirakennetta
 - Nanokomposiittikalvo bakteeriselluloosasta ja MnFe_2O_4 nanopartikkeleista.
 - Hyvin korkeita herkkyysarvoja ("normal mode" ~20 pC/N, "bending mode" ~50 pC/N)
 - Haaste: komposiittikalvot melko hauraita...

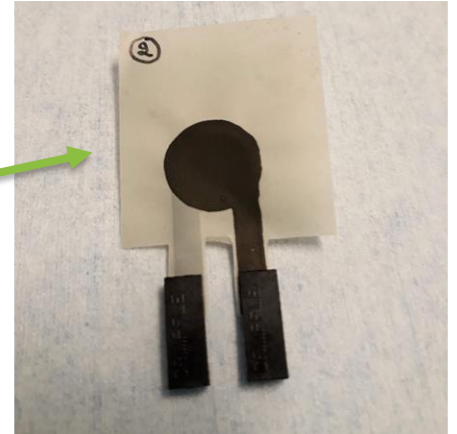
PDMS-rengasta käytetty "bending mode" mittauksissa muiden kuin d33 kerrointen havainnointiin



Nipaporn Sriplai et al., *Carbohydrate Polymers* (2020).

Painettavat anturit

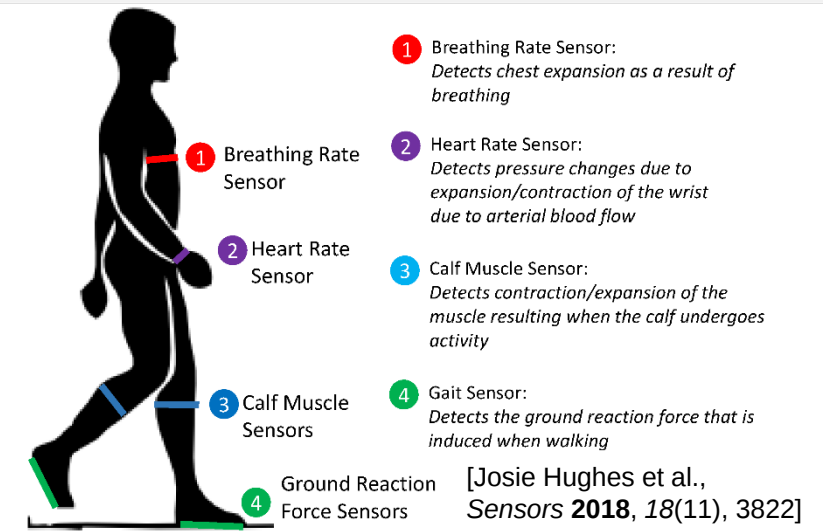
- Tavoitteena painettavan anturin valmistaminen?
 - Grafiittimuste-elektrodit seripainolla (*screen printing*)?
 - Koko monikerrosrakenteen printtaus monoliittisesti?
 - Johtavan nanokomposiitin käyttö elektrodina?
- Haasteet:
 - Painettujen elektrodien välillä vuotovirtaa kalvon läpi, joka pilaa anturin toiminnan...
- Ratkaisuvaihtoehtoja?
 - Kalvon pinnoitus vuotovirran vähentämiseksi.
 - Vaihtoehtoisten liuotteiden käyttö johtavassa painomusteessa.
 - Elektrodien laminointi anturikalvon pintaan.
- Tarvitaan lisää tietoa ja osaamista materiaaleista ja valmistuksesta!



Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma

Tulevaisuuden potentiaalisia sovelluksia

- Voima-anturit **lääketieteellisiin** mittauksiin (syke, hengitys, askellusvirheet jne.)
- **Energiaa** tuulesta keräävä keinotekoinen puu!
- **Autonominen** anturi:
 - Anturi generoi itse tarvitsemansa energian.
 - Painettavan elektroniikan käyttö lisäämään ekologisuutta ja valmistuksen skaalattavuutta.
 - Painetun tasasuuntaaja, superkondensaattorin ja anturin lisäksi mahdollisesti tarvitaan hybridi-elektroniikkaa tiedon tallentamiseen/käsittelyyn.



[Yuanjing Lin et al., *Advanced Materials* 31.5 (2019): 1804285]

Kiitos! Kysymyksiä?

