



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU



PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA

Komponenteista

© Jari Hannu, Oulun yliopisto

JOHTIMET

- Johtimet ovat tärkeimmät komponentit
 - Johtavat sähköä ja mahdollistavat piirit
- Perinteisten johtimien lisäksi johtavia materiaaleja käytetään
 - Elektrodeissa
 - Antenneissa
- **Painetut johtimet** perustuvat
 - Metallipartikkeleihin
 - Pääasiassa hopea, käytetään myös kuparia ja alumiinia
 - Mikropartikkeleita ja nanopartikkeleita
 - Ioniset metallimusteet
 - Hiilipohjaiset musteet
 - Johtavat polymeerit

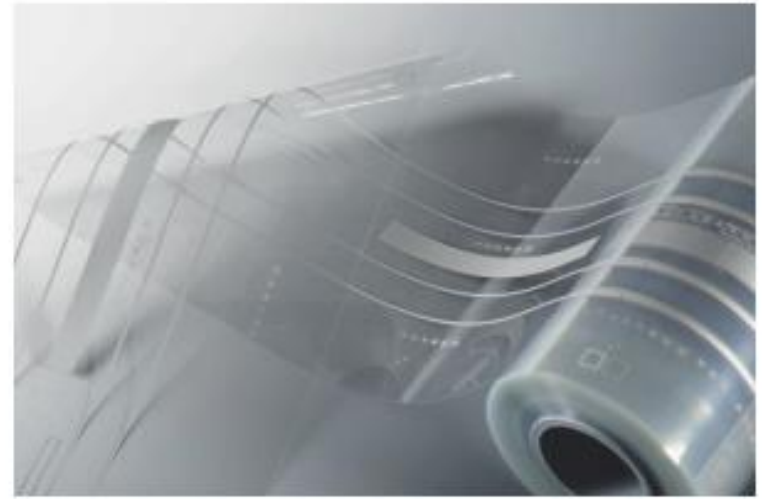


Figure 1. Rotary screen printed conductors



JOHTIMET

- **Painettujen johtimien ominaisuudet**
 - Neliöresistansit muutamia kymmeniä milliohmeja, kun johdinten paksuus on yli 10 μm
 - Resistanssiin vaikuttava 1) painolaitteet, 2) substraatit ja 3) musteet
 - Pääasiallinen vaikutusmekanismi on muste
 - Painolaitteilla tarkoitetaan kuivatussta, painonopeutta ja painomenetelmään liittyviä parametrejä
- Johtimien suojauksen kanssa pitää olla tarkkana
 - Kupari hapettuu, hopean migraatio



PASSIIVIKOMPONENTIT - VASTUKSET

- Vastuksia voidaan tulostaa erityyppisillä johtavilla musteilla
- Vastuksen arvo määräytyy resistiivisyyden ja dimensioiden mukaan
- Vastuksen suunnittelusäännöt
- Fyysinen koko nykyisillä valmistusmenetelmillä suositellaan pidettävän kohtuu suurena
 - Parempi tuotantosaanto
 - Parempi toleranssi

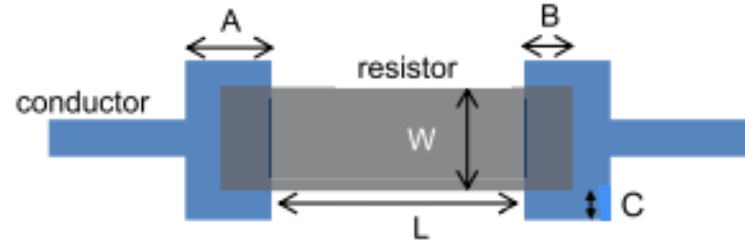


Figure 2. Printed resistor layout

Table 1. Recommended physical design rules for resistor

design rules		recommended	special cases
W	resistor width	> 5mm	1mm
L	resistor length	> 5mm	1mm
A	termination width	> 2mm	0,5mm
B	termination / resistor overlap	> 2mm	0,5mm
C	$(\text{termination length} - \text{resistor width}) / 2$		



PASSIIVIKOMPONENTIT - KONDENSAATTORIT

- Painettavin menetelmin valmistetaan pääasiassa levykondensaattoreita
- Kondensaattoreiden arvot pikofaradeista jopa mikrofaraadiin

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

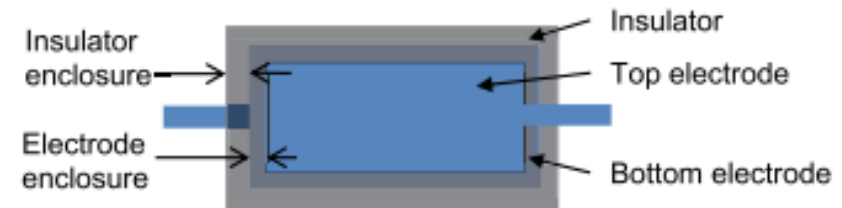


Figure 3. Stacked capacitor layout

Table 3. Design limitations to printed capacitors

factor	recommended limits	limits for special cases
A	1 - 25cm ²	0,25 cm ² – no upper limit / set by application
ϵ_r	3 - 10	2 - 50
d	5 μ m - 10 μ m	50 nm – no upper limit

Table 2. Stacked capacitor layout design rules

rule	insulator enclosure	electrode enclosure	capacitor size (length/width)
	recommended > 2 mm Special case > 500 μ m	Recommended >2mm Special case > 500 μ m	recommended > 2 mm Special case > 500 μ m



PASSIIVIKOMPONENTIT - KELAT

- Painettavin menetelmin valmistettavat kelat pääasiassa plana-arakenteisia
- Ongelmallista kelojen kanssa on johtimien resistiivisyys
 - Häviöllisiä komponentteja

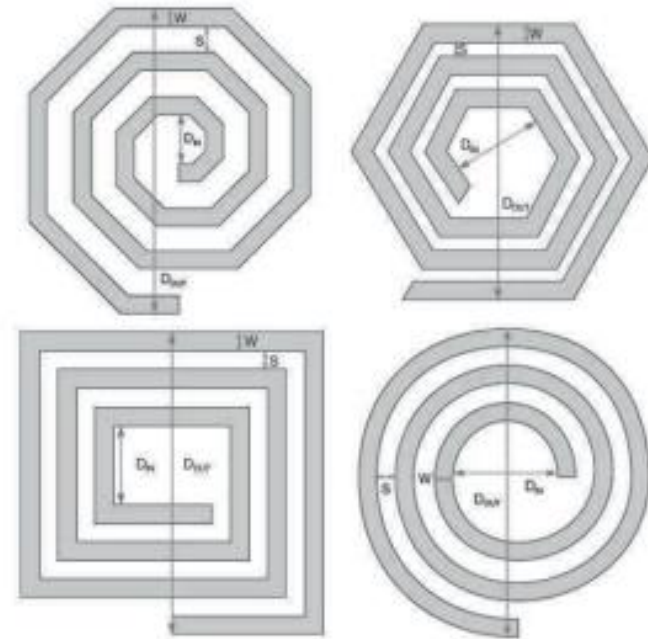


Figure 5. Different shapes for planar spiral coil (Simple Accurate Expressions for Planar Spiral Inductances (IEEE Journal of Solid-State Circuits, Oct. 1999, pp. 1419-24).



PASSIIVIKOMPONENTIT YHTEENVETO

Table 4. General and special case performance of printed passive components

component	recommended value	value in special cases
resistor	no practical limits std dev 5-8%	no practical limits std dev < 1 %
capacitor	< 5nF std dev < 3 %	up to μ F-level
inductor (100kHz)	up to few μ H std dev 10%	tens of μ H



MUISTIELEMENTIT - PAINETTAVAT MEMRISTORIT

- Memristori on vastus, jonka vastusarvoa voidaan muuttaa virralla ja se voidaan lukea
 - Positiivisella virralla resistanssia kasvatetaan
 - Negatiivisella virralla resistanssia pienennetään
- Yksinkertainen rakenne
 - Kaksi elektrodia
 - Välissä memristiivistä väliainetta
- Toiminta perustuu oksidivakanssien ja ionien siirtymiseen memristiivisessä materiaalissa
- Onnistuttu toteuttamaan täysin painomenetelmillä
 - inkjet

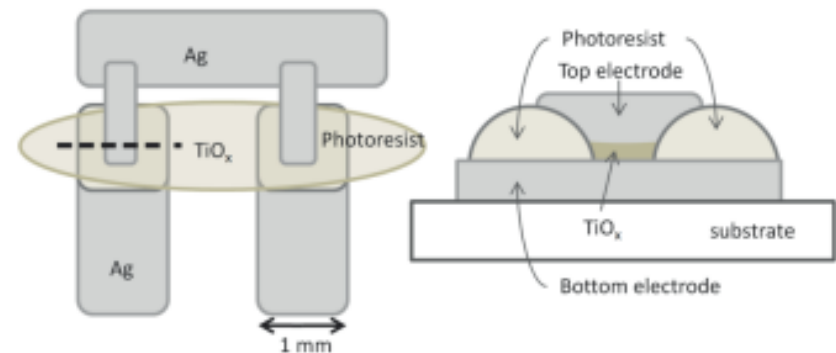


Figure 1. Illustration of the memristor structure



MUISTIELEMENTIT - WORM MUISTI

- WORM - write-once-read-many
- Resistiivisiä muisteja
 - 0 - korkea resistanssi
 - 1 - matala resistanssi
- RES - Rapid Electrical Sintering
- Syötetään virta elementtiin, jonka virran avulla sintrautuu hyvin johtavaksi
- Matalajännitteinen kirjoitus (< 6V)
- Resistanssin muutos kilo-ohmeista kymmeniin ohmeihin
- Kirjoitus alle 100 ms



Figure 1. Electronic voting card using WORM memories



NÄYTÖT JA VALAISTUS - OLED

- OLED (Organic light-emitting diode) orgaanisiin materiaaleihin perustuva valonlähde

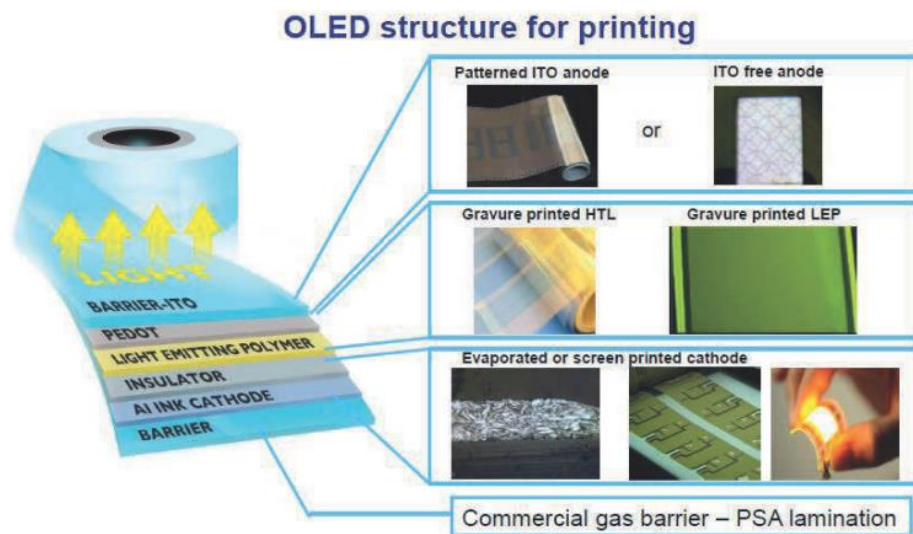


Figure 5. Printed OLED structure.



Figure 1. Printed OLED examples

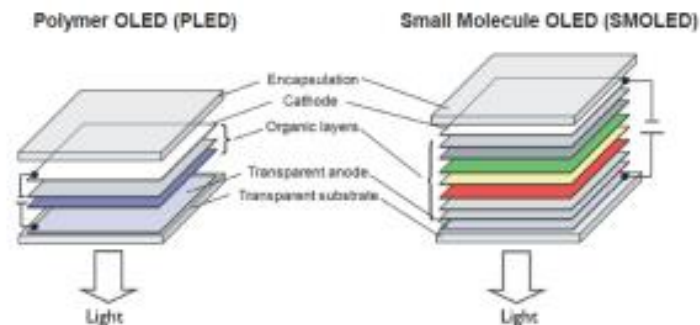


Figure 6. Printed polymer OLED vs. Small molecule OLED.

NÄYTÖT JA VALAISTUS - ECD

- ECD (Electrochromic devices) ovat kaupallisesti hyvin tarjolla olevia painettava elektroniikan tuotteita
- Varauksen vaihtuessa materiaalin väri muuttuu
- Ei säteile, luettavissa vaikkapa auringonvalossa
- Joustavia, läpinäkyviä



Figure 1. Practical example of an Interactive Greeting Card from Ynvisible. The display uses a symmetric configuration and presents two images Image 1 (left) and image 2 (right).

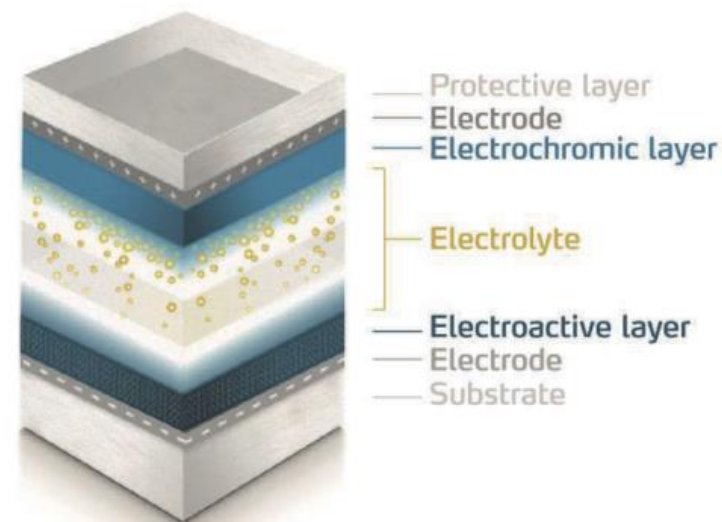


Figure 2. Typical vertical EC structure

VALOKENNOT

- Painettavan elektroniikan menetelmillä pystytään valmistamaan joustavia aurinkokennorakenteita
- Tehon tuotto ei ole vielä lähelläkään piikkenojen luokkaa, mutta kehitysaskleet ovat olleet viime vuosina huimia
- Tällä hetkellä kehitys keskittyy materiaalikehitykseen
 - Kestävämpiä kennoja
 - Tehokkaampia kennoja

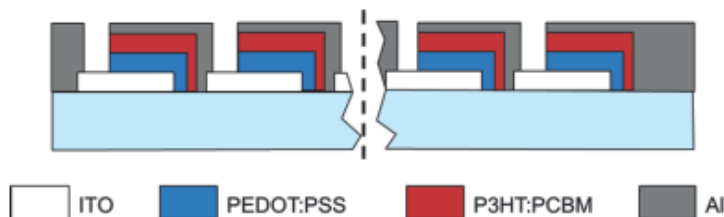


Figure 3. Series connected OPV module structure

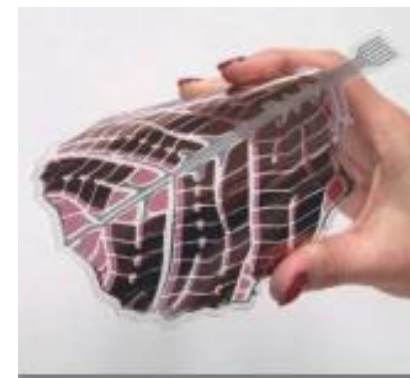


Figure 2. A leaf-shaped OPV module

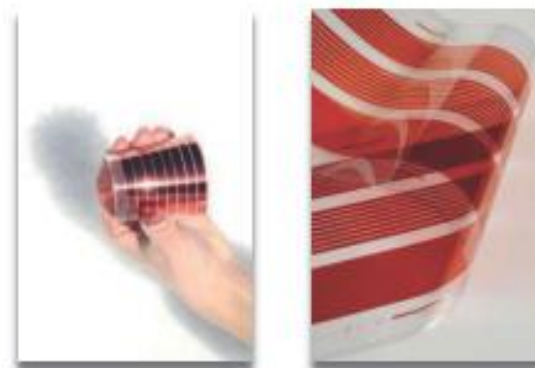


Figure 1. Printed organic photovoltaic module and R2R produced foil.

PAINETTAVAT PARISTOT

- Enfucell on kaupallistanut pehmeät paristot
- Elektrokemiallinen rakenne
 - Suoja
 - Sinkki (Zn) anodi
 - Paperi ZnCl_2 elektrolyytti
 - Mangaanidioksidi (MnO_2) katodi
 - substraatti

Table 1. Printed battery properties

	<i>SoftBattery Mini 1,5V</i>	Generic values for a 1.5 volt cell
Thickness	0.7 mm	0.7 mm
Dimensions	36 x 46 mm	
Weight	0.90 g	$\sim 50 \text{ mg/cm}^2$
Nominal voltage	1.5 V	1.5 V
Capacity	18 mAh	$\sim 4.0 \text{ mAh/cm}^2$ (cell active area)
Nominal current	0.2 mA	0.01 C ($40 \mu\text{A/cm}^2$)
Internal resistance	$\sim 150 \Omega$	$\sim 600 \Omega \cdot \text{cm}^2$

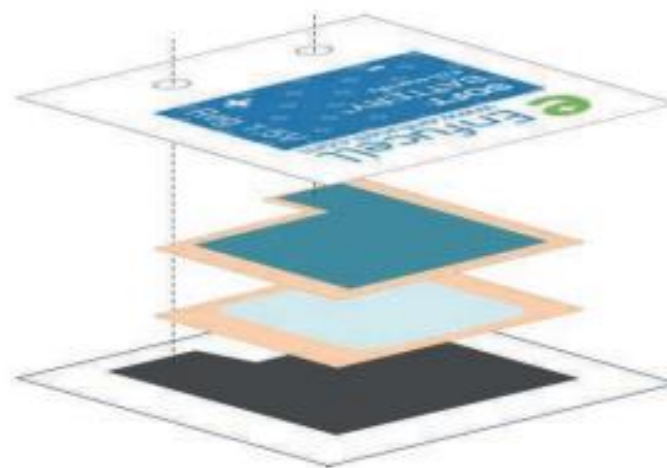


Figure 2. Enfucell SoftBattery structure

SUPERKONDENSAATTORIT

- Superkondensaattori on elektrokemiallinen energianvarastointiväline, joka toimii kuten kondensaattori
 - Tehotiheys kymmenkertainen (kW/kg) suhteessa Li-Ion akkuihin
 - Latausaika superkonkalle on sekunteja
 - Energiatiheys (J/kg) on kuitenkin vain noin 10% suhteessa Li-Ion akkuihin
 - **Eli saa nopeasti virtaa ulos, mutta virtaa ei riitä pitkäksi aikaa**
- Superkondensaattorin lataussyklien määrä voi olla yli miljoonan
 - Akuilla tyypillisesti 500-3000 kertaa

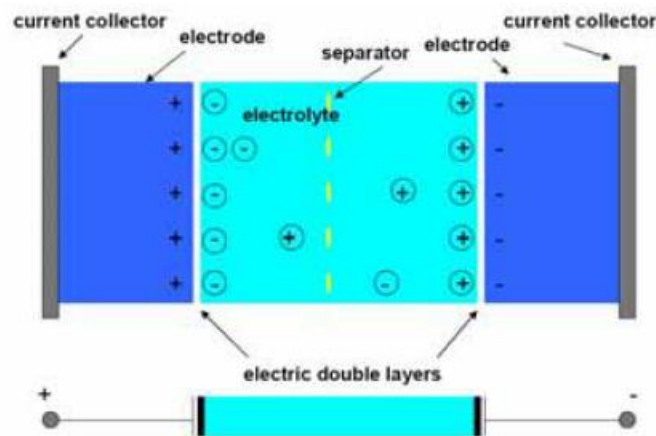


Figure *. Supercapacitor functionality principle

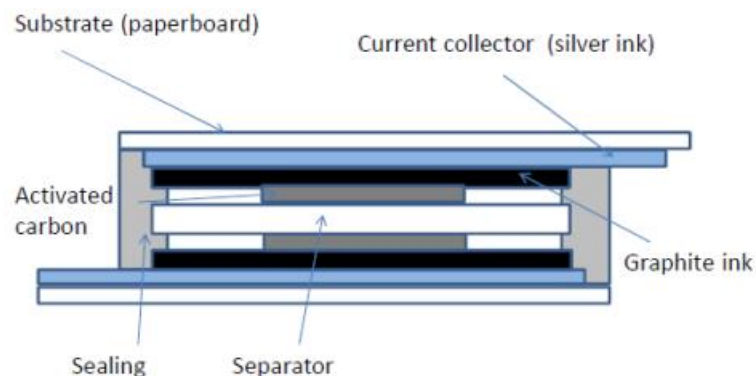


Figure **. Printed supercapacitor structure (thickness \ll 1 mm, length and width e.g. 5 cm).

SUPERKONDENSAATTORIT

- Painetut superkonkat ovat kapasitanssiltaan 0.1...20 F
 - Riippuu suoraan elektrodien koosta
- Kriittisin materiaali on elektrolyytti elektrodien välissä
 - Tällä hetkellä vielä nestettä imeytettynä esim paperiin
- Kehitystyötä vaaditaan vielä paljon materiaalien suoritustason parantamiseen

<i>flat supercapacitor</i>	<i>aqueous electrolytes</i>	<i>organic electrolytes</i>
TRL level	4 - 5	3 - 4
manufacturing	rotary screen	rotary screen
¹ capacitance	0.1 - 20F	0.1 - 20F
max. Voltage	1.2V	2.5V
² power	10mW - 5W	10mW - 5W
manufacturing yield	70 - 90%	70 - 90%
³ lifetime	10 years / 1M cycles	10 years / 1M cycles
1 can be scaled; 2 can be scaled; 3 Theoretical value, not enough experience to guarantee		



ANTURIT - KOSTEUSANTURIT

- Kosteusanturit voivat mitata esimerkiksi suhteellista ilmankosteutta (RH sensors)
- Anturit ovat kapasitiivisa planaariantureita, joiden väliaineen suhteellinen permittiivisyys muuttuu ilmankosteuden suhteen
 - Ilman permittiivisyys ~ 1
 - Veden permittiivisyys ~ 80
- Väliaineen polymeeri tasapainottaa kosteudensa ilmankosteuden tasolle, joten permittiivisyys muuttuu

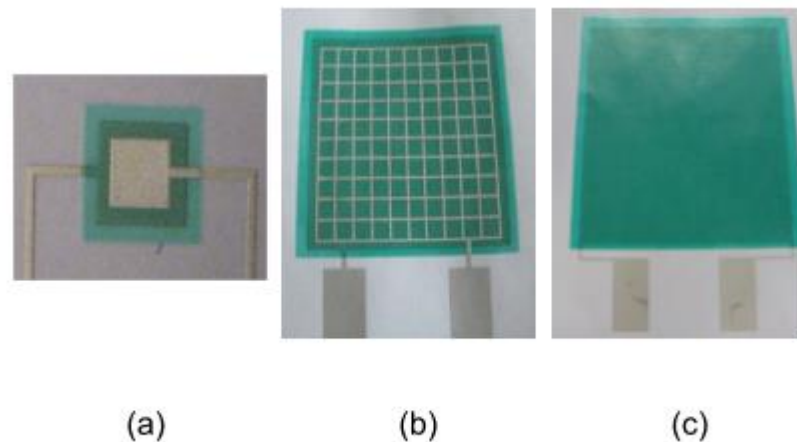


Figure 1. Printed capacitive humidity sensor structures

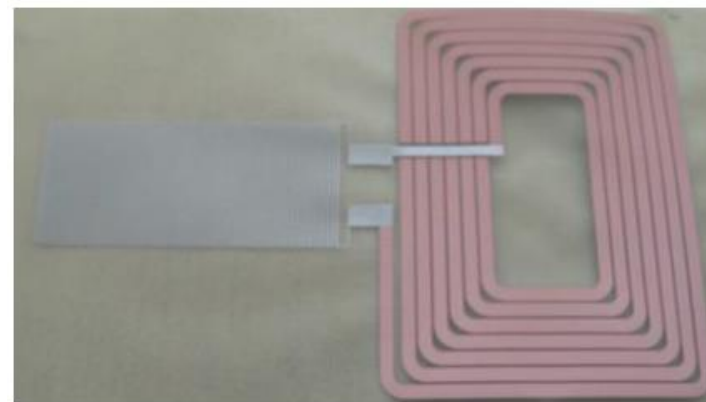


Figure 2. A remote readable RH sensor.

ANTURIT - LÄMPÖTILA-ANTURIT

- Lämpötila-antureita löytyy resistiivisiä, kapasitiivisia ym.
- Painoprosessiin soveltuvin on ollut kapasitiivinen
- Kuten kosteusanturi perustuu dielektrisen väliaineen permittiivisyyden muutokseen lämpötilan suhteen

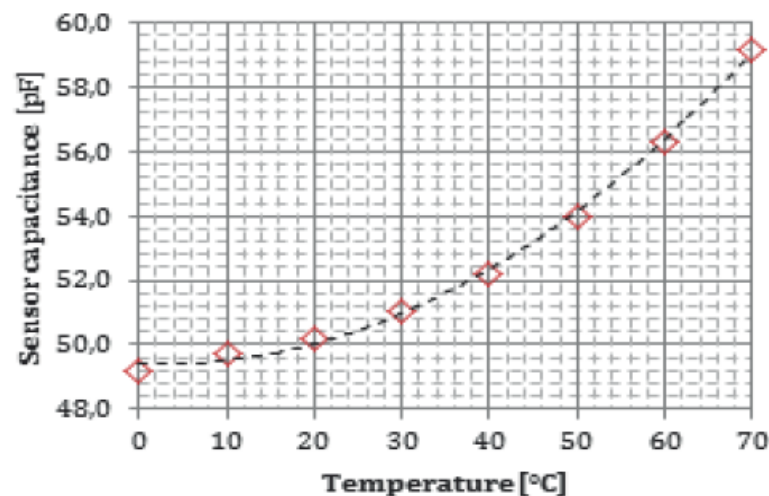
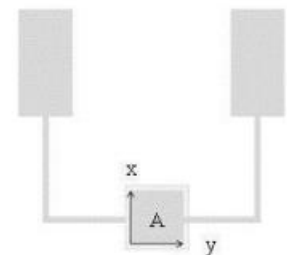
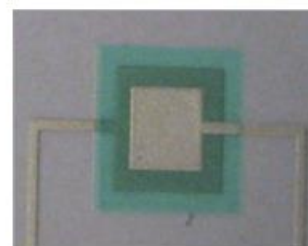


Figure 1. Sensor (constructed from ASAHI CR18 KT1) capacitance as a function of temperature



ANTURIT - KAPASITIIVISET KOSKETUS JA LÄHESTYMISANTURIT

- Kapasitiivisia antureita, jotka tunnistavat kosketuksen tai lähestymisen
- Yksinkertainen elektrodirakenne riittää kapasitanssin mittaukseen
- Spesifioidut kapasitanssin mittaukseen keskittyvät piirit (CDC) arvioivat kosketuksen tapahtumisen tai etäisyyden elektrodiin

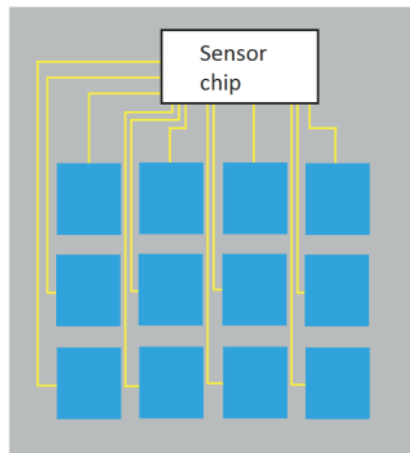


Figure 3. A simple system consisting of 12 electrodes.

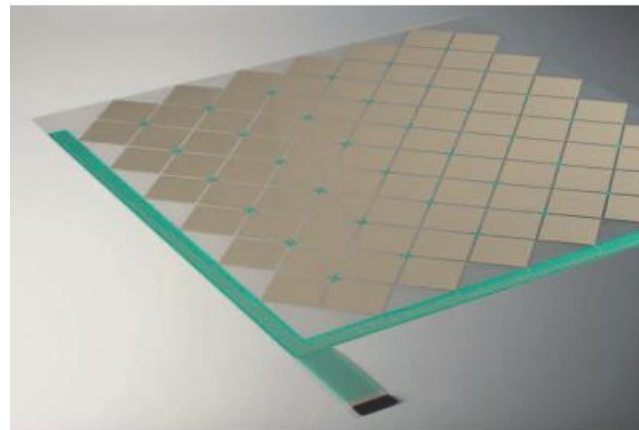


Figure 1. Capacitive touch sensor

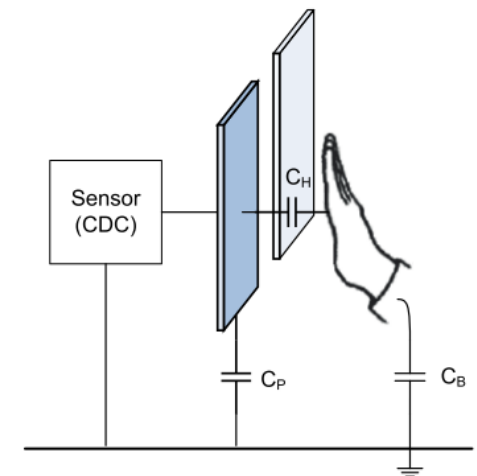


Figure 2. A simplified equivalent circuit of a hand placed in front of a large projected capacitance electrode.



ANTURIT - RESITIIVISET KOSKETUSANTURIT

- Resistiiviset kosketusanturit perustuvat resistanssin pienentymiseen kosketuksen alla

Table 2. Sensor specifications

Mechanical	
Input method	Touch stylus or finger
Activation force	Without a graphic label >20g With a graphic label >50g
Surface hardness	Melinex ST506 3H
Total light transmission	80% at 500nm, >60% over 400-800nm
Thickness	Typical 0.10...0.25mm
Temperature	
Operating temperature	-20°C - +70°C
Storage temperature	-30°C - +80°C
Electrical	
Loop resistance (active area 0.12m ²)	Rx-x / Ry-y ~40-50ohms ± 4ohms
Insulation resistance	> Mohms
Durability	
High Temp & High Humidity Storage test	35°C x 85%RH x 240hours

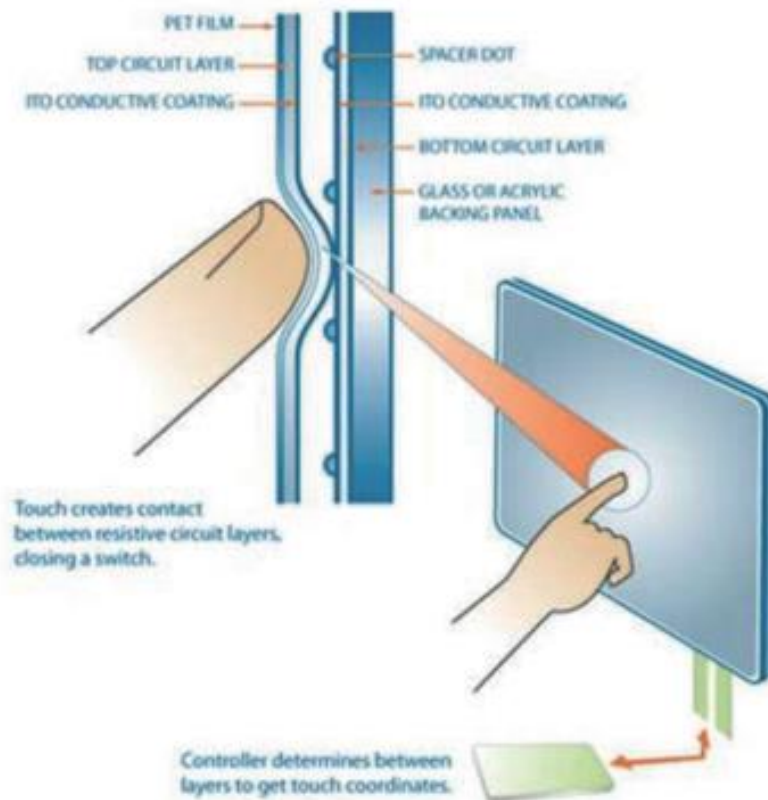


Figure 2. Resistive touch sensor structure

ANTURIT- KAASUANTURIT

- Kaasuanturit tunnistavat eri kaasumaisten aineiden läsnäolon jollain alueella
- Pääosin resistiivisiä ja kapasitiivisia antureita
 - Myös puolijohtavia

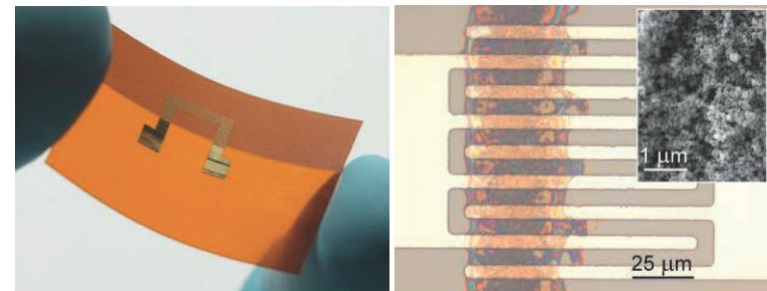


Figure 1. Printed gas sensors

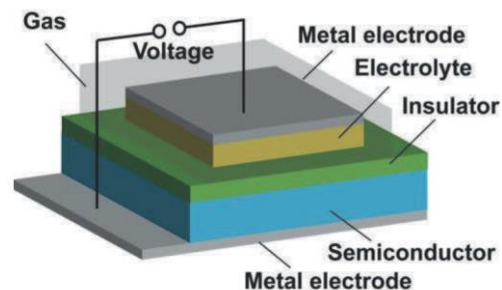
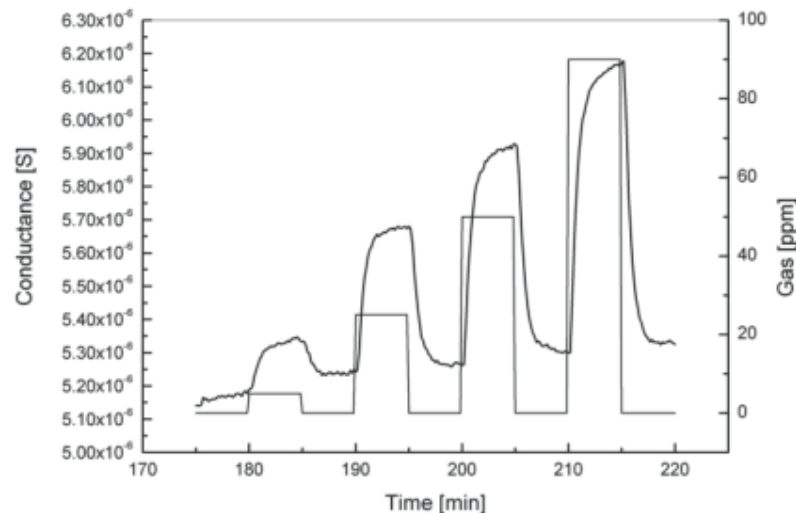


Figure 2. Gas sensor structure



ANTURIT KAASUANTURIT

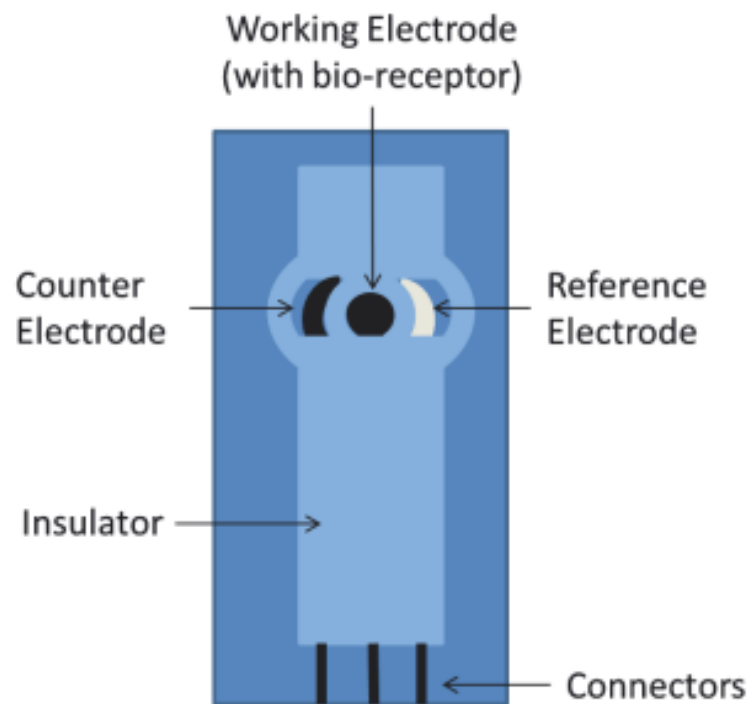
- Kaasuantureiden ongelmat ovat
 - Tarkkuus - kuinka paljon tarvitaan kaasua
 - Selektiivisyys - tunnistetaanko pelkkää yhtä kaasua
 - Palautuvuus - jos tunnistetaan, voidaanko käyttää useampaan kertaan
- Kehitetyistä antureista:
 - Resistiiviset typpioksidi (NO) -anturit ovat hyvin herkkiä (10 ppm)
 - Kapasitiiviset vety (H₂) -anturit ovat hyvin selektiivisiä ja kynnsraja on 100 ppm



ANTURIT. - ELEKTROKEMIAALLISET BIOANTURIT

- Bioanturit ovat analyttisiä laitteita, joilla tunnistetaan elimistön toimintaan liittyviä komponentteja
- Eli luettava vaste biologiseen tapahtumaan
- Painettavissa teknologioissa pystytään perusanturi tuottamaan melko hyvin
- Aktiivisten elementtien painaminen haastavampaa
 - Vasta-aineet yms.

Electrochemical biosensor



HYBRIDITEKNOLOGIA

- Hybriditeknologia tarkoittaa perinteisemmäksi koetun elektroniikan lisäämistä painettavaan elektroniikkaan
- Edut
 - Puolijohdekomponenttien todennettu tehokkuus
 - Joustavat alustat
 - Halvemmat valmistusmenetelmät
 - Saumaton integrointi
- Tarvitaan
 - Komponenttien liittäminen
 - Ylivalu
 - Kapselointi



1) R2R assembled LED strips with overall thickness less than 300 micrometre



2) 2 m x 0.2 m flexible LED luminaire



8) Disposable healthcare sensor

