

Skogsindustridagarna 2014
Thomas Öhlund

Papper för flexibel elektronik och andra nya tillämpningar

Vad menas med tryckt elektronik?

- Tryckt funktionalitet: Funktionellt material applicerat med tryckteknik
- Materialet är upplöst i en vätska för att bilda ett "bläck"
- Funktionen kan vara tex.
 - Ledande
 - Halvledande
 - Isolerande
 - Biologisk
 - Kemisk
 - Optisk
 - Magnetisk
 - Mekanisk

Tryckt elektronik = en ny metod att tillverka elektronik med nya möjligheter!

Varför tryckt elektronik?

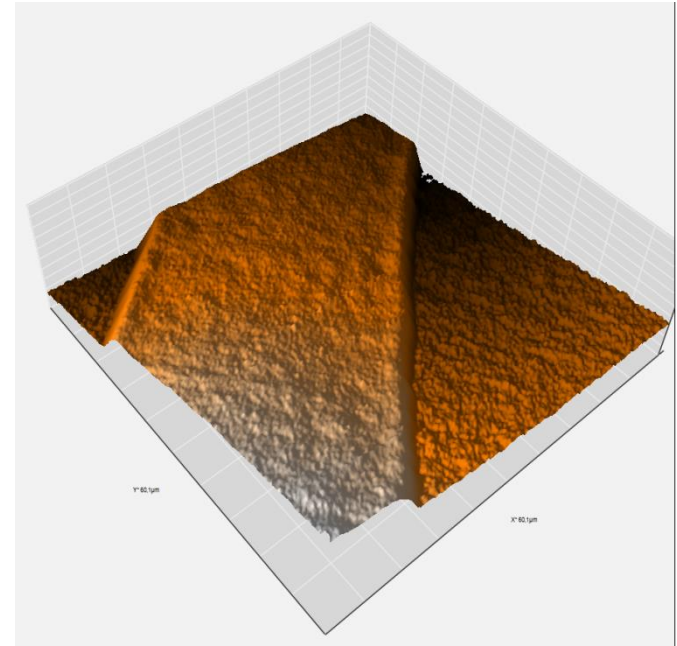
- **Kostnadseffektiv för större ytor**
- **Flexibilitet och lägre investeringskostnad** Färre processteg, enklare process, skalbarhet, integrerbar i befintliga tryckmiljöer
- **Additiv process** Mindre materialåtgång = Lägre kostnad och miljöpåverkan
- **Nya substrat** möjliga (billigare, miljövänligare, flexibla)
- **Rulle-till-rulle** tillverkning möjligt
- **Nya applikationer** möjliga

Utmaningar

- **Större dimensioner** "feature size" $> 10\mu\text{m}$
- **Lägre tillförlitlighet** och repeterbarhet "precision"
- **Lägre prestanda**, begränsade högfrekvenssegenskaper etc
- **Substraten** (ytråhet, ytkemi etc)
- **Lager på lager** svåra i Rulle-till rulle processer

Tryckt elektronik på papper

- Flexibelt (böjbart)
- Låg vikt och kostnad
- Förnybart, lägre miljöpåverkan
- Stor exponering i samhället: förpackningar, tidningar, biljetter osv.
- Öppnar för lågkostnadsapplikationer / engångsapplikationer

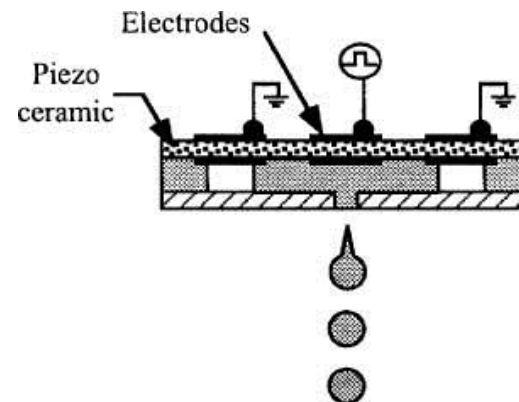


Tryckmetoder

Metod	Viskositet	Tryckkvalitet
Screen	Mycket hög	Låg
Offset	Hög	Hög
Flexografi	Låg	Medel
Gravyr	Låg	Hög
Inkjet	Mycket låg	Medel-Hög

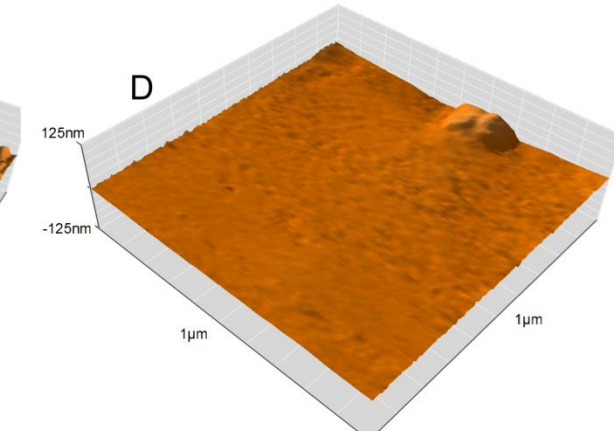
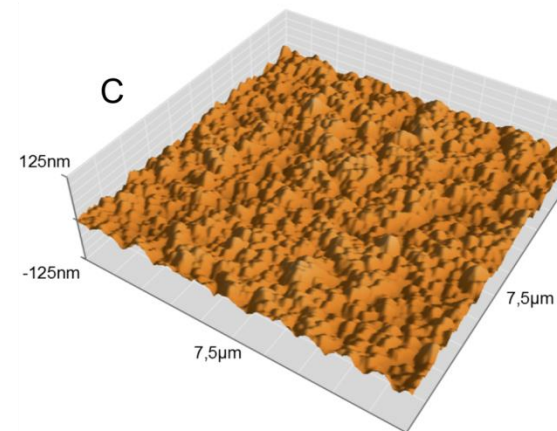
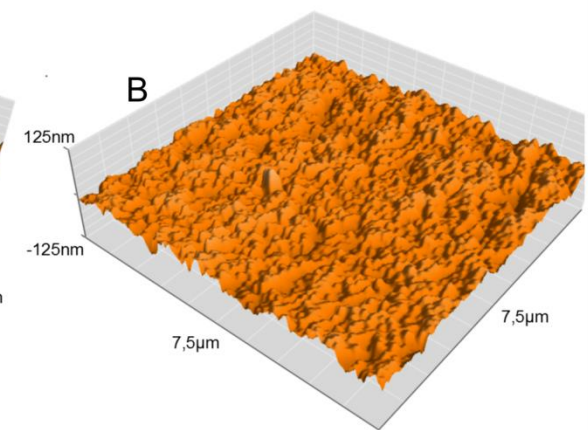
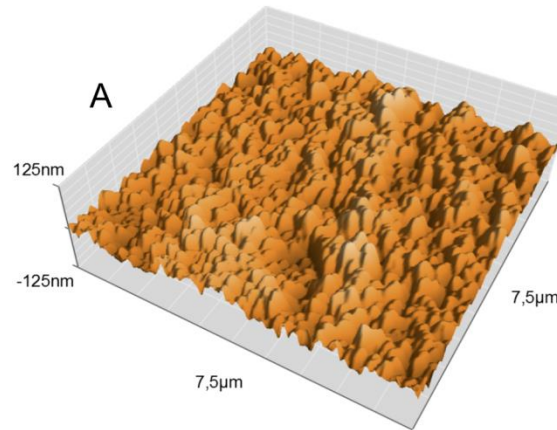
Inkjet

- Inget kontakttryck
- Digital metod
- Kan trycka på många olika typer av material
- Skalbar till stora ytor













Mätning av topografi i nanoskala











- A: Fotopapper 1
- B: Fotopapper 2
- C: Fotopapper 3
- D: Plastfilm



Linjedefinition

Viktigt för prestanda och tillförlitlighet i ledningsbanor och tryckta komponenter!
Inkjet, 10 pL droppvolym, värden i μm

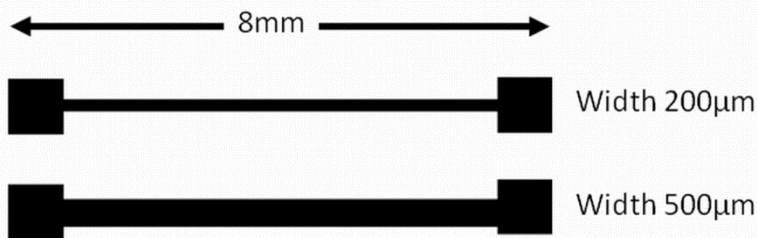
Substrate	Polar ink		Non-polar ink	
	Line Width	Raggedness	Line Width	Raggedness
1. Semigloss photopaper	38.4	0.83	40.2	1.38
				
2. Glossy Photopaper1	36.4	0.63	34.6	0.75
				
3. Glossy Photopaper2	46.9	0.72	40.8	0.92
				
4. Glossy Photopaper3	39.9	0.82	39.4	0.79
				
5. Swellable Photopaper	110	4.6	61.7	2.4
				

Substrate	Polar ink		Non-polar ink	
	Line Width	Raggedness	Line Width	Raggedness
6. LWC1	56.0	2.8	89.6	5.1
				
7. LWC2	49.2	1.8	99.6	5.3
				
8. Matte Inkjet Paper	58.9	1.7	60.7	3.4
				
9. Copy Paper	99.5	9.6	123	9.7
				
10. Polyimide film	105	7.3	300	14.9
				

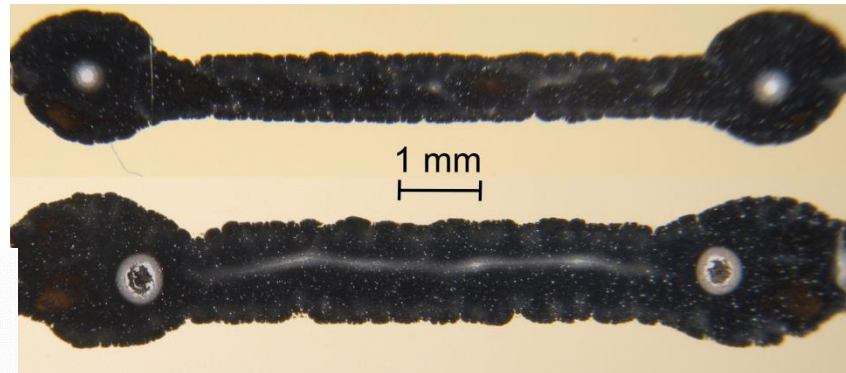
Snabb absorption minskar linjebredden och minskar skillnaden mellan bläcken

Bestrykning av polymerfilm

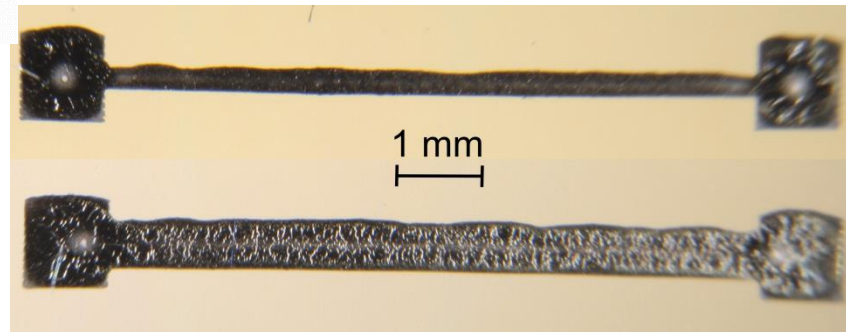
Mönsterdefinition förbättrad av
absorbtion



Nominellt mönster



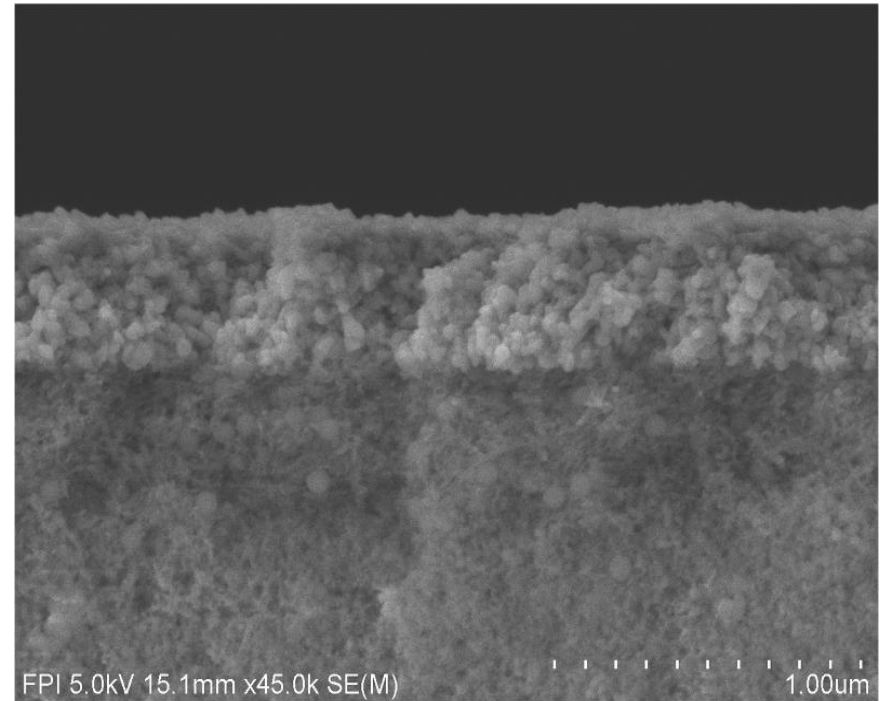
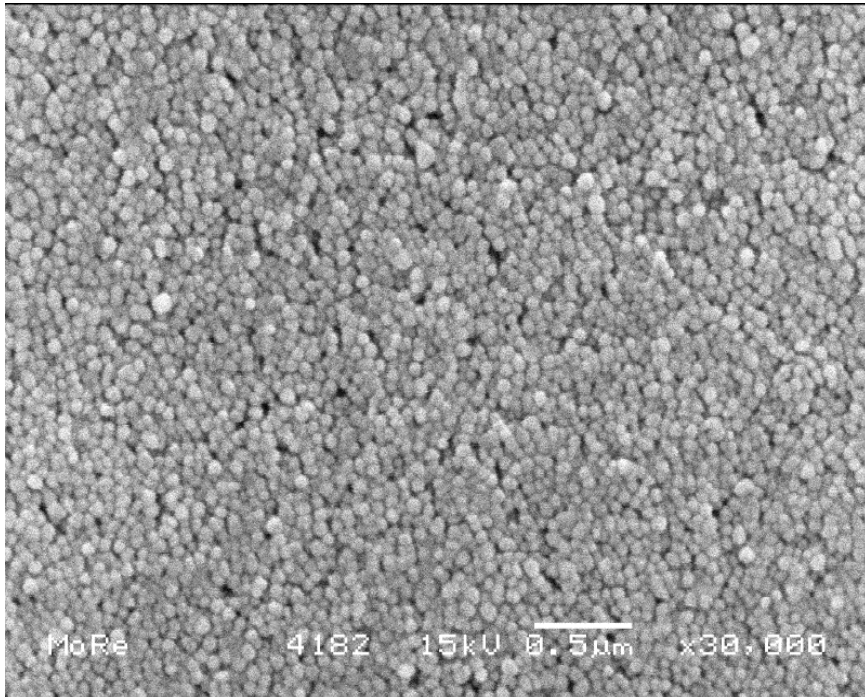
Obstruken PE film



Bestruken med polymerlager (5 µm våtjocklek)

H. Andersson, C. Lidenmark, T. Öhlund, J. Örtengren, A. Manuilskiy, S. Forsberg, H-E. Nilsson,
Evaluation of coatings applied to flexible substrates to enhance quality of inkjet-printed silver nano-particle structures,
IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2(2), pp. 342-348, 2012

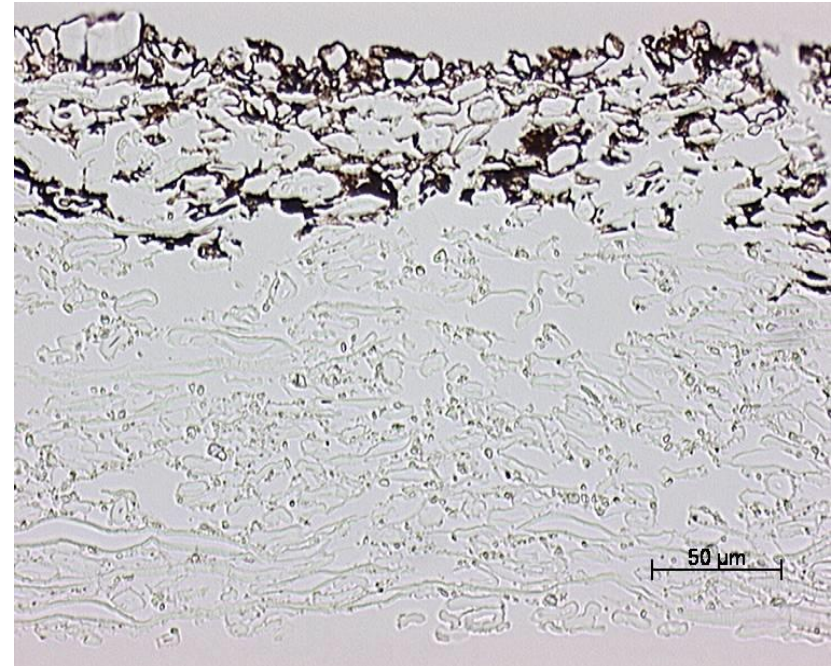
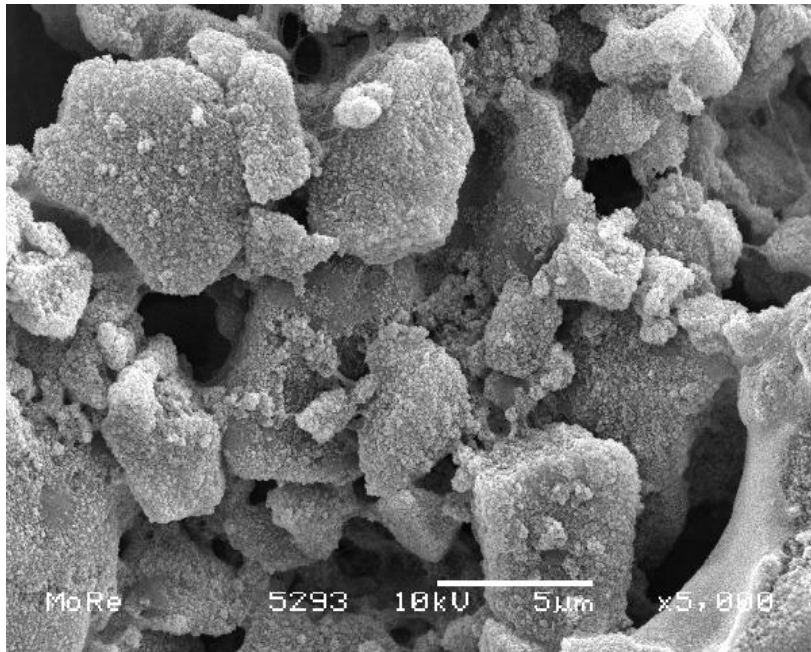
Fotopapper för inkjet



Jämn yta med mycket små porer, ytporer mindre än partikelstorleken i bläcket

Kontinuerlig film bildas, alla partiklar stannar på ytan med snabb undantransport av vätska

Mattbestruket inkjetpapper



Hög ytråhet och tät porstruktur

Ingen kontinuerlig film

Sintring

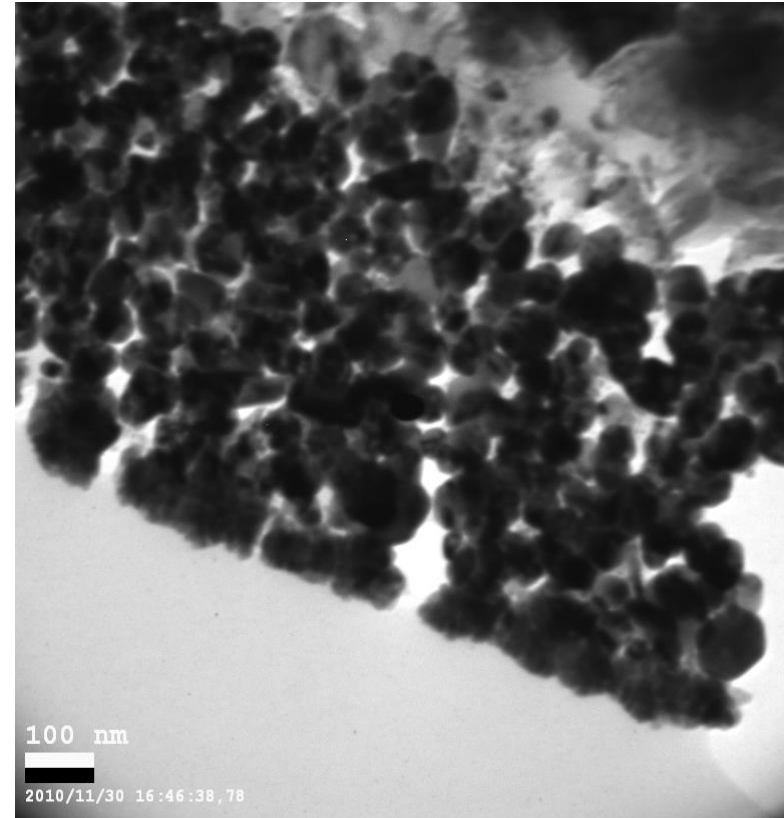
Energi tillförs för att:

- Förånga all tryckvätska och organiska ämnen
- Smälta ihop partiklarna till en homogen film

- Små partiklar » stor yta/volym
» smältpunkt sänks

Rent silver: 960°C

Lager av nanopartiklar: 150-300 °C

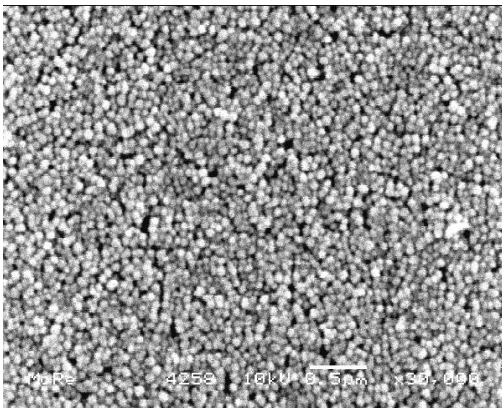


Silvernanopartiklar på LWC-papper
Partikelstorlek ca. 50 nanometer
(Magnus Hummelgård /Miun)

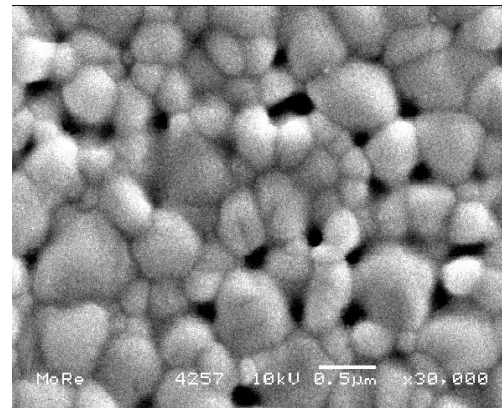
Sintringsmetoder

Energi/värme kan tillföras på olika sätt

- Ugn
- Högeffekts-lampor (IR/UV)
- Laser
- Mikrovågor
- Blixtlampor

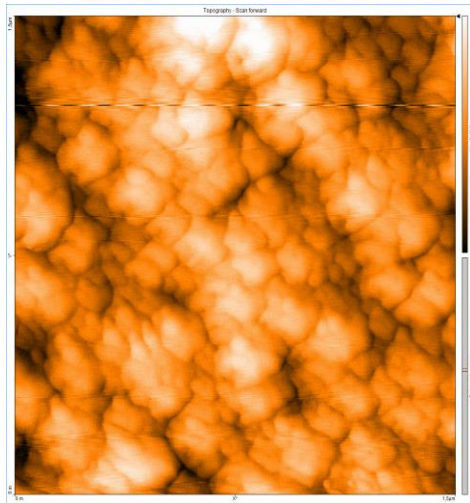


Osintrat silverlager
ingen synlig partikeltillväxt
Låg/ingen ledningsförmåga

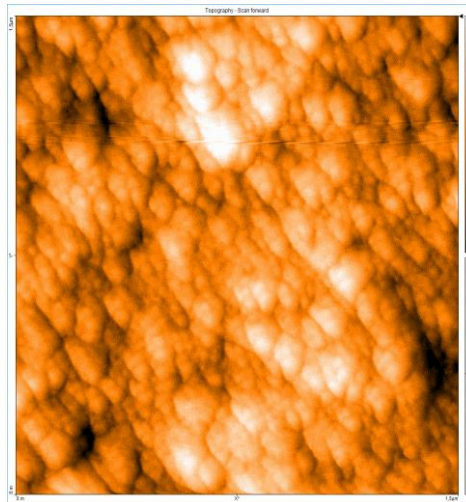


Efter effektiv sintring
 $\sigma > 50\%$ av rent silver

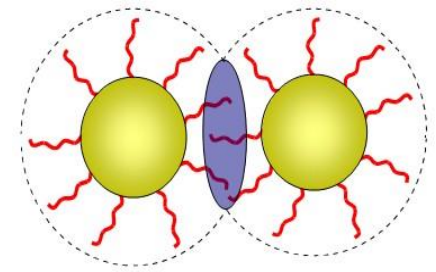
Kemisk sintring



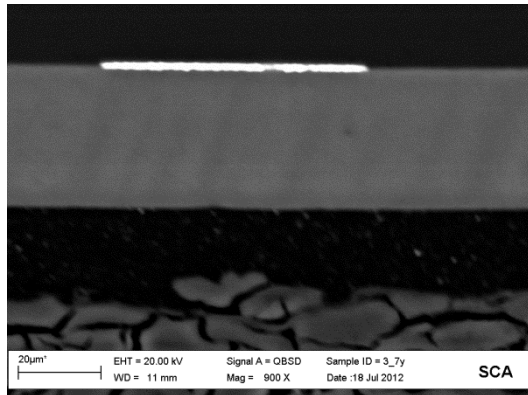
Pappersyta
med lågt pH



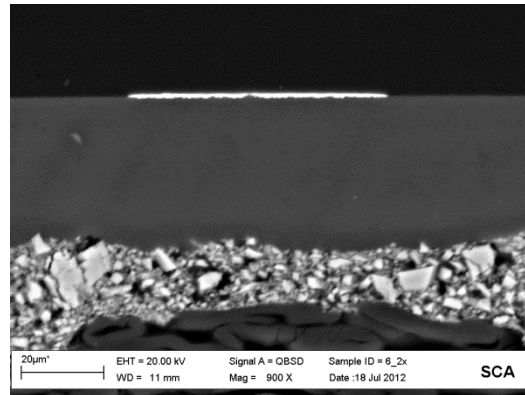
Pappersyta
med högt pH



"Skräddarsydda" papper



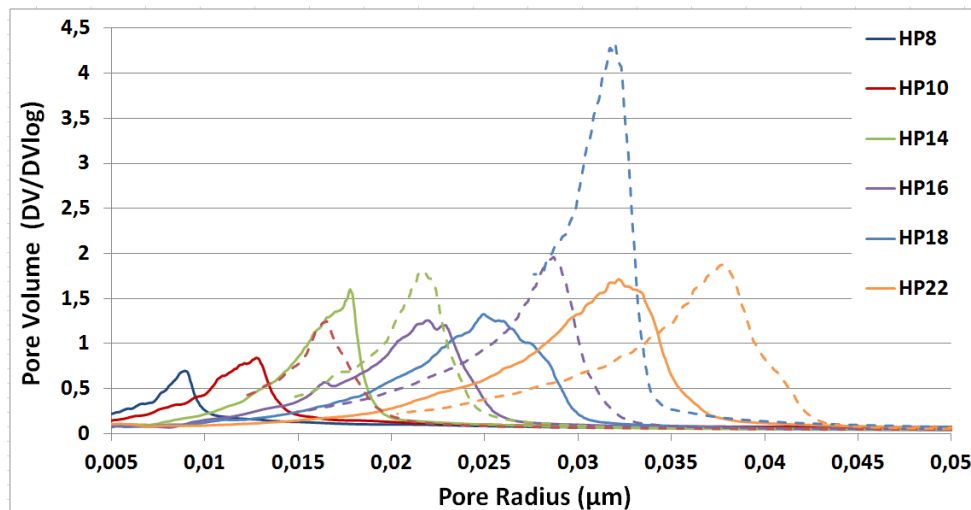
PE precoating



CaCO₃ precoating

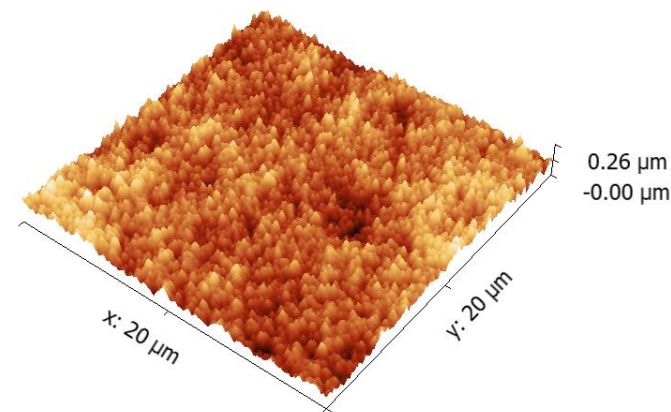
Mesoporös AlO(OH) bestrykning
med varierad porstorlek (6 steg)

Precoating av PE eller CaCO₃



Solid: PE precoat

Streckad: CaCO₃ precoat



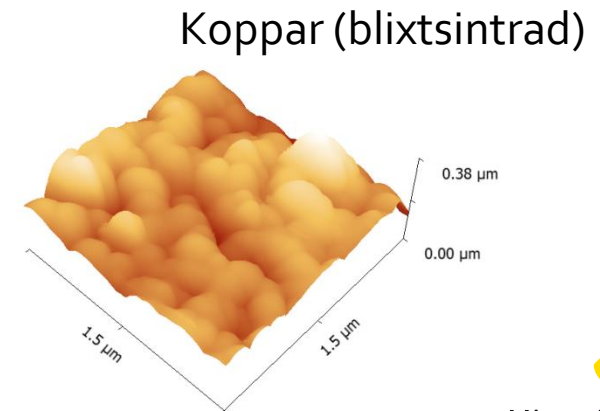
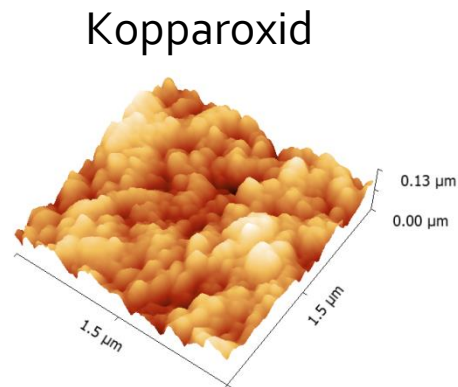
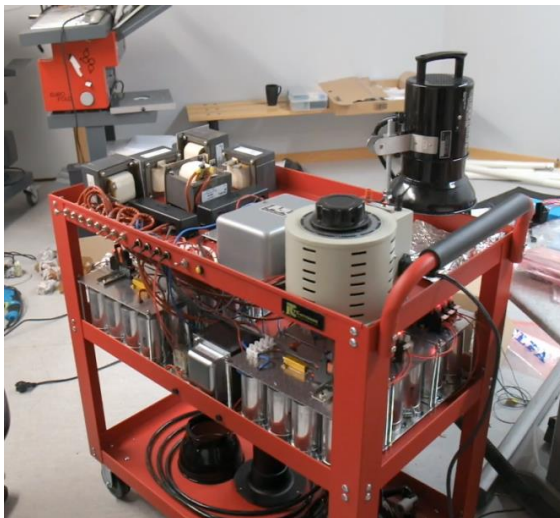
HP22 bestrykning

Blixtsintring

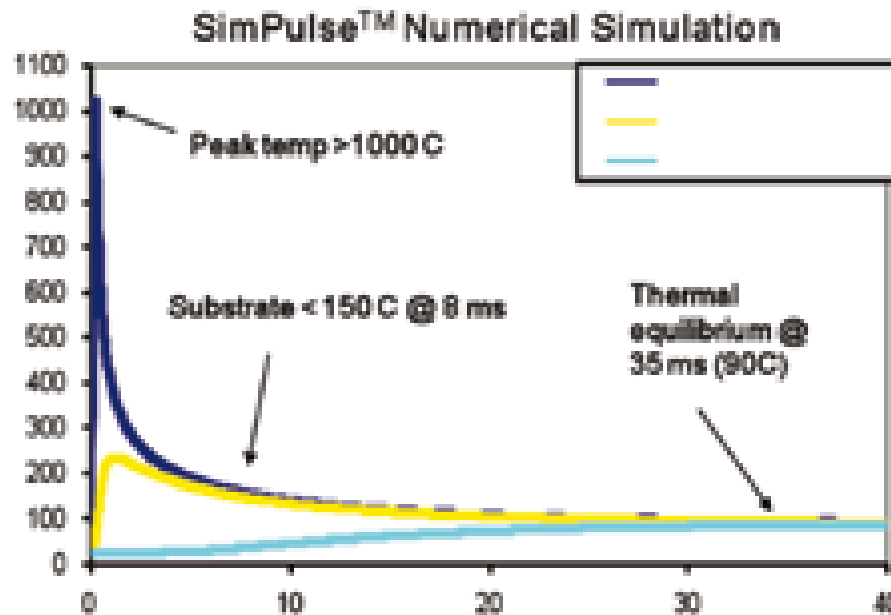
Snabb upphettning ($< 1\text{ms}$ $> 1\text{ MW}$ $> 1000^\circ\text{C}$)

- Reduktion av CuO ger Cu, utan att återoxideras
- Sintring av nanopartiklar (Cu, Ag, Au etc.)
- Minimierad värmeöverföring till substratet
- Icke-kontakt-metod, stor yta, snabb

Lämplig för rulle-till-rulle processer



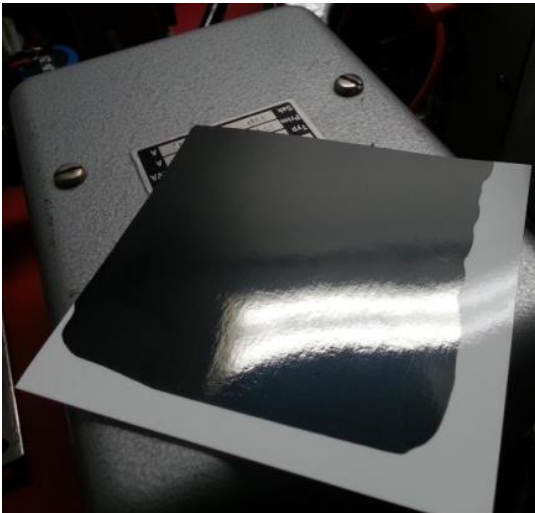
Blixtsintring



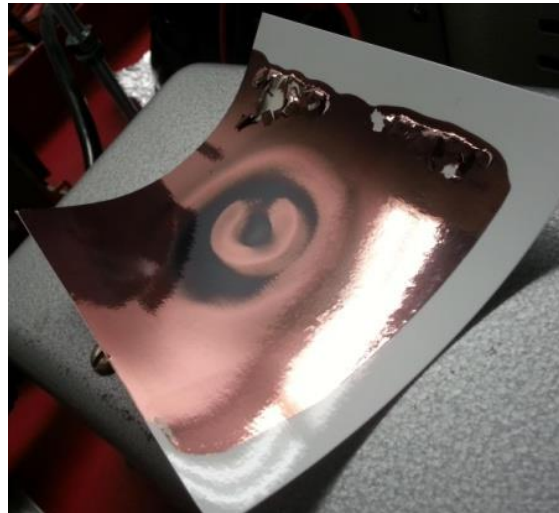
Datorsimulering av Novacentrix
300 μ s blytpuls, 1 J/cm²
1 μ m Ag på 150 μ m PET

Blixtsintring

Bestruken CuO på fotopapper (1 dm²)

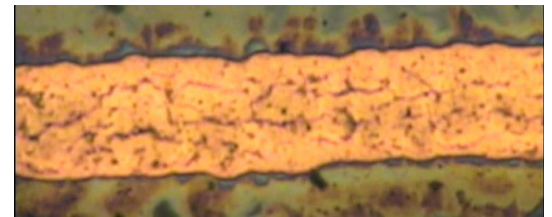
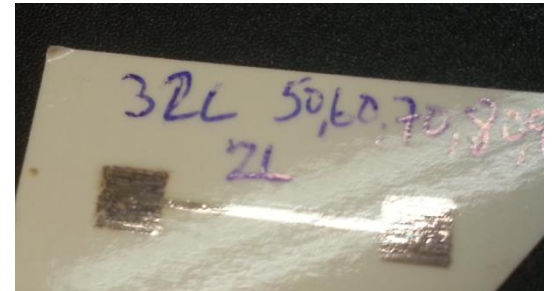


CuO (före blix) t)



Cu (efter blix) t)

Inkjet-tryckt CuO på
Fotopapper (efter blix) t)



Ett samspel mellan många faktorer

Bläck

- Ytspänning
- Viskositet
- Ångtryck
- Partikelstorlek
- Stabilitet

Omgivning

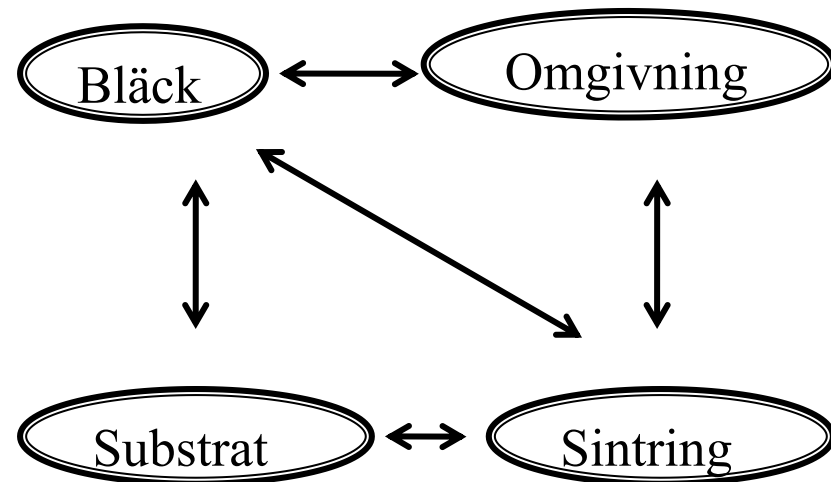
- Tryckhuvud
- Temperatur
- Luftfuktighet
- Spänning
- Vågform

Substrat

- Absorption
- Ytråhet
- Porositet
- Ytenergi
- pH etc.

Sintring

- Sintringsmetod
- Exponeringstid
- Effekt

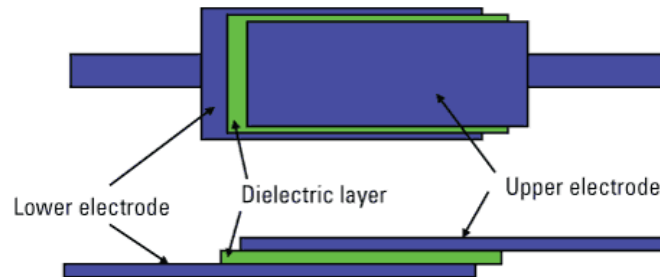


Tryckta elektronikkomponenter

Resistor

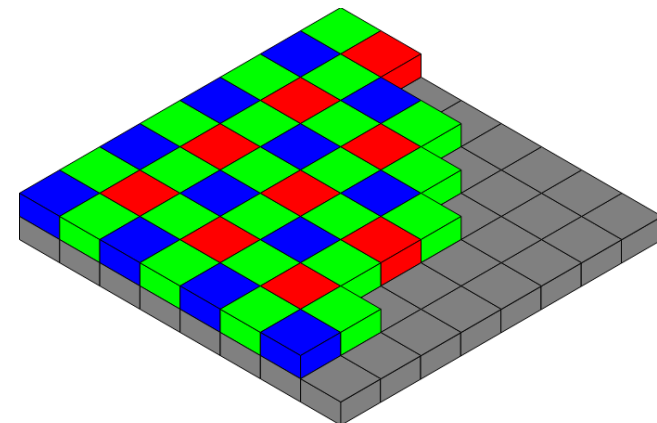
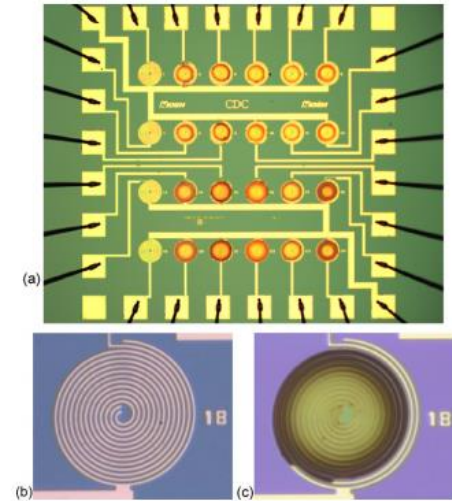


Kondensator



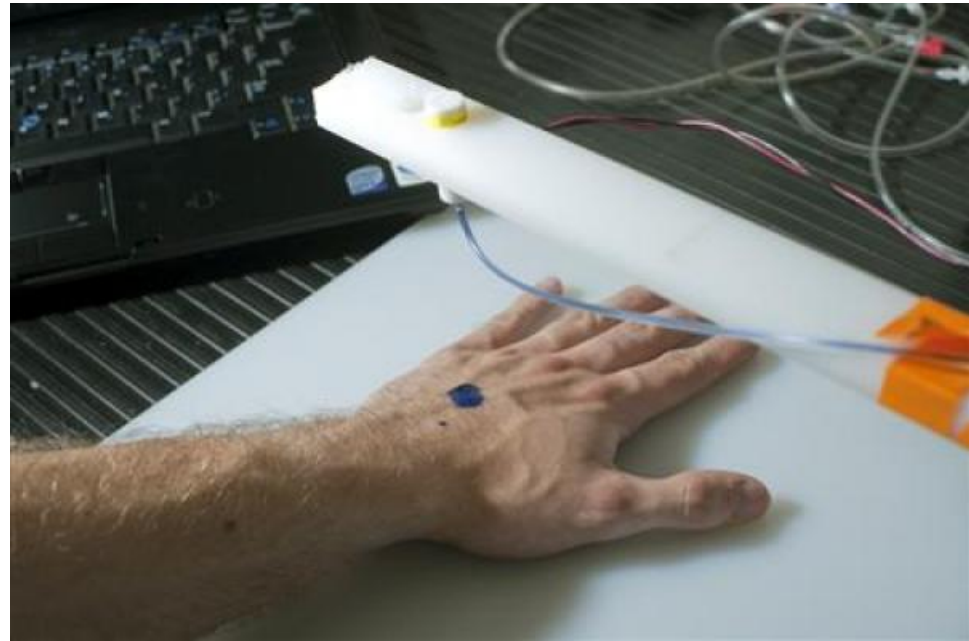
Applikationer

- Elektroniska komponenter (resistorer, kondensatorer, transistorer, OLED, batterier, antenner)
- Sensorer (elektriska, biosensorer, kemiska sensorer)
- Tryckta bildskärmar
- RFID (Radio Frequency Identification)
- Energikällor (solceller, bränsleceller, batterier)
- Biologisk/kemisk materialanalys
- Mikro-optik, färgfilter etc.



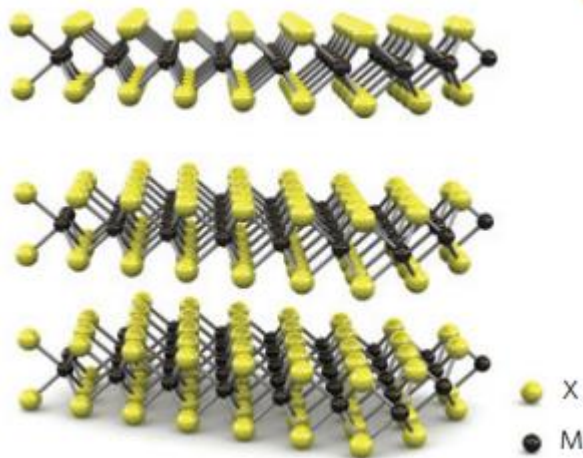
Inkjet av bio-material

- Hudceller odlas i lab
- Laser scannar det skadade områdets storlek och form
- Hudcellerna inkjettrycks
- Detta påskyndar den naturliga läkningen

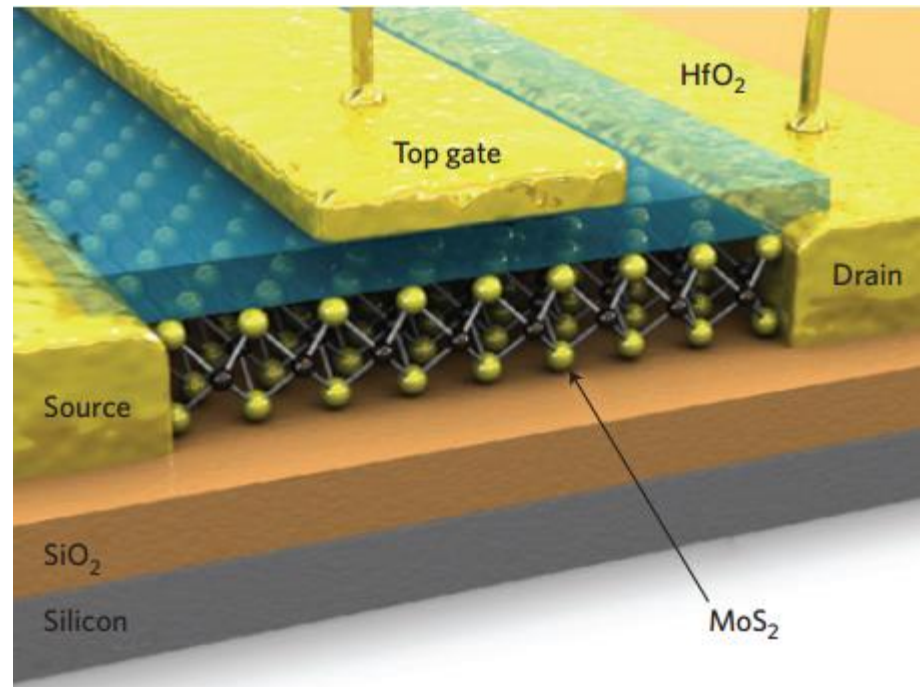


(Wake Forest University, North Carolina)

Nya material för framtidens produkter



Atomstruktur av TMDC-material
(Transition-Metal Di-Chalcogenide)



Single layer MoS₂ field effect transistor (FET)

Bilder av Q. H. Wang et al. 2012

Tack !
thomas.ohlund@miun.se



Investing in your future



EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund

Gunnar Sundblads forskningsfond

Kempestiftelserna