



ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP- OD TEÓRIE K PRAXI

Romana Grossová

Osнова prezentácie

Elektrónová mikroskopia

SEM

Porovnanie vplyvu urýchľovacieho napätia a hĺbku ostrosti

Prezentácia obrázkov



ELEKTRÓNÓVÁ MIKROSKOPIA

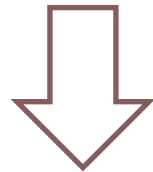
Elektrónová mikroskopia

Prečo práve elektróny?

- Vlnová dĺžka svetla v optických mikroskopoch je 400-800 nm
- Vlnová dĺžka elektrónu urýchlenného potenciálom 5kV a 30kV

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \quad \lambda = \frac{h}{p} \quad E_k = Ue \quad p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Pre $U = 30\text{kV}$: $\lambda = 7\text{pm}$



Pre $U = 5\text{kV}$: $\lambda = 17\text{pm}$

Elektrónová mikroskopia

Svetelná mikroskopia

Zväčšenie: 1 000 000x

1 000x

Rozlíšenie: 0,1 nm

0,2 μm



Druhy elektrónových mikroskopov

SEM

(scanning electron microscope)

TEM

(transmission electron microscope)

Urýchľovacie napätie:

~ 100V-30kV*

~ 50kV-300kV*

Rozlíšenie:

1 nm

0,1 nm

Zväčšenie:

400 tis

1 mil

Vlnová dĺžka:

100V: 120pm

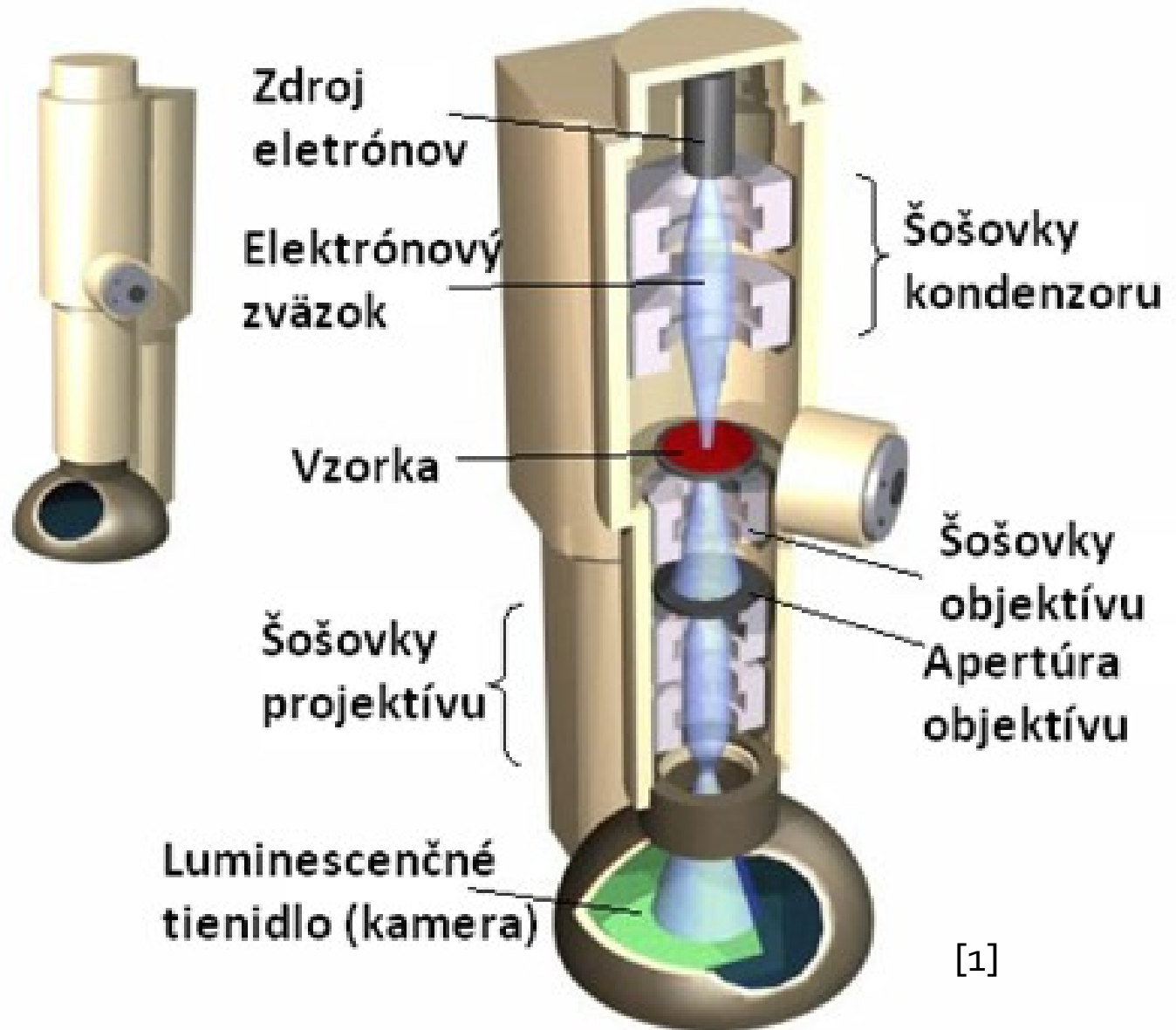
30kV: 7pm

50kV: 5,3pm

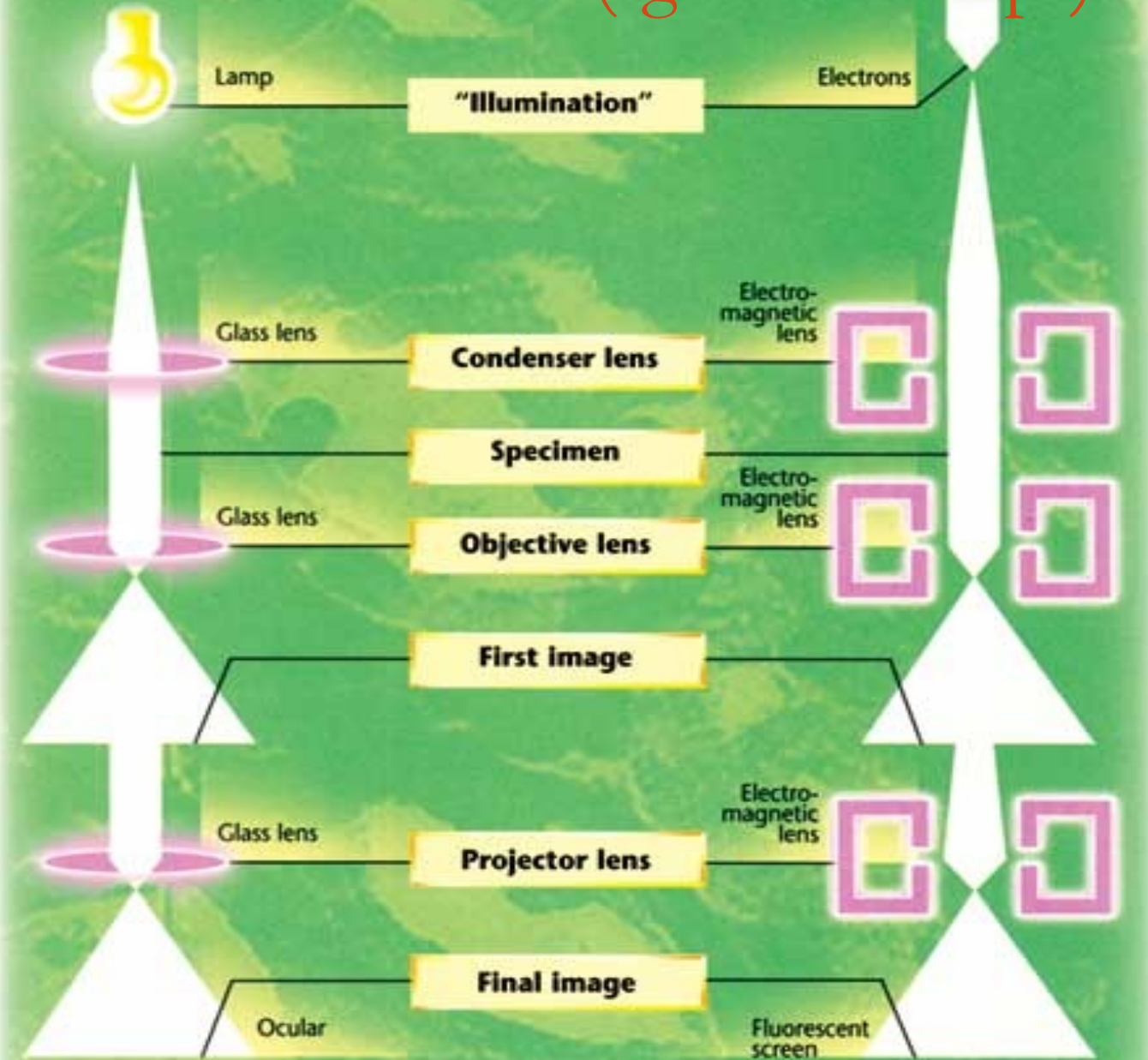
300kV: 1,96pm

*urýchľovacie napätie používané v komerčných mikroskopoch FEI Company

TEM

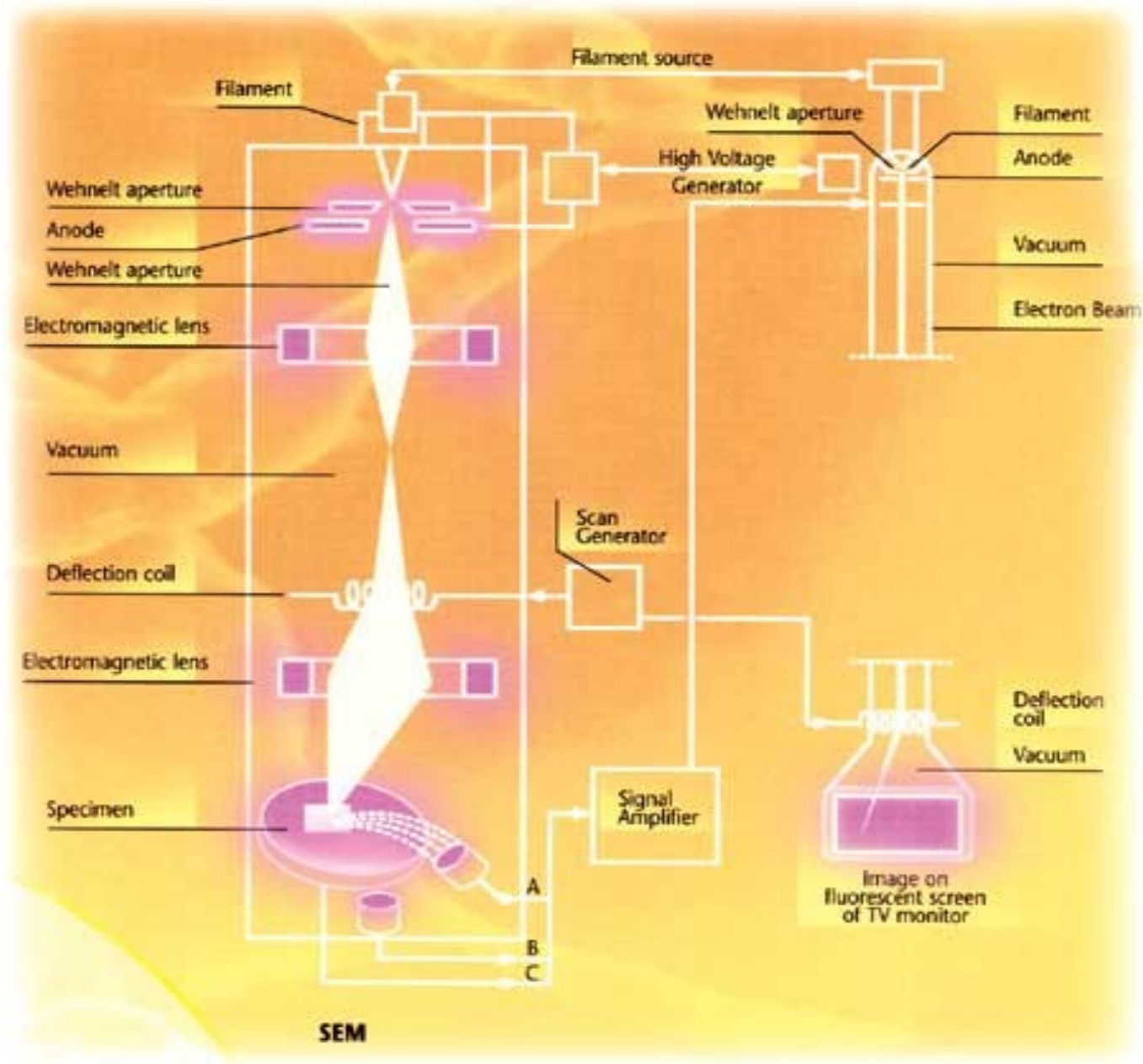


Porovnanie s LM (light microscope)



SEM

- Schématický obrázok SEMu a spôsob vytvárania obrázku na monitore





Výhody a nevýhody

SEM

TEM

Výhody:

- **Menšie nároky na spracovanie vzorkou**
- Cenovo dostupnejší
- Možnosť ESEM (environmental SEM)- pre pozorovanie vzorkou potreba menšieho vákua
- Možnosť prídavnej techniky FIB (úprava vzorkou fokusovaným iontovým zväzkom)

- **Vyššie rozlíšenie a zväčšenie**
- Možnosť flexibilnejšej rentgenovej štruktúrnej analýzy

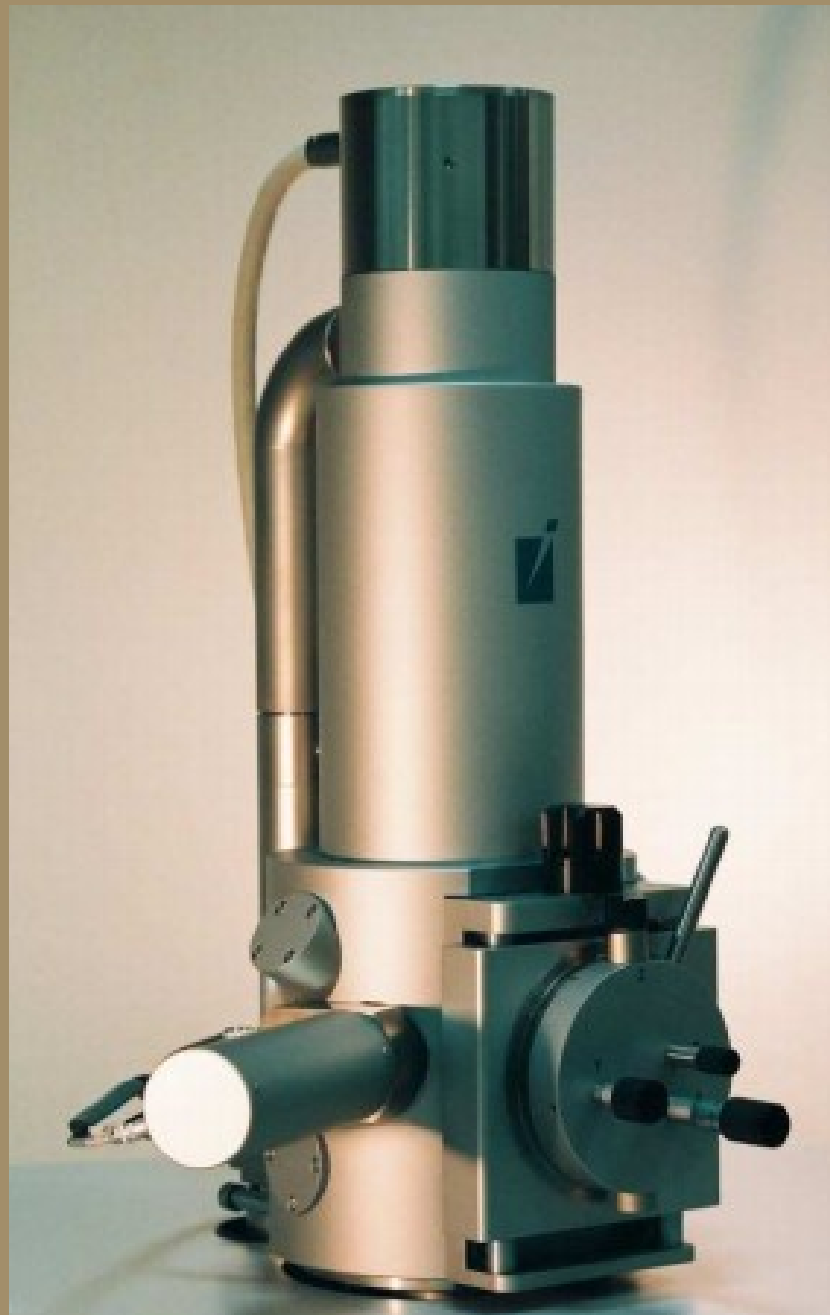
Nevýhody:

- Nabíjanie nevodivých predmetov

- Extrémne nároky na riadiacu elektroniku
- Nutnosť tenkých - okolo $0,5\mu\text{m}$ a malých- 3mm a stabilných vzorkou
- Väčšie rozmery
- Nemožnosť skúmať povrchy



SEM



[4]

SEM- Vega Tescan

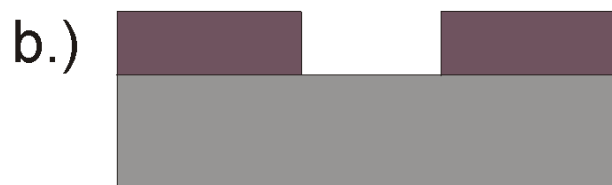
- Zdroj elektrónov- wolframová žhavená katóda
- Štvoršošovkový optický systém
- Beam blanker- možnosť okamžite zastaviť zväzok elektrónov v priebehu merania (vhodné pre elektrónovú litografiu)
- Značná úroveň automatizácie (kontrolovaná emisia vlákna, ...)
- Softwarové rozhranie pre elektrónovú litografiu (vytváranie štruktúr pomocou elektrónového zväzku)
- Vzhľadom k absencii ESEM vhodný skôr pre pozorovanie vodivých premetov

Elektrónová litografia

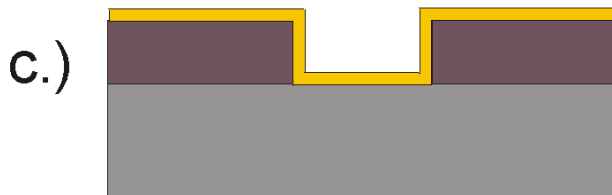
- Pomerne jednoduchá metóda prípravy štruktúr o rozmeroch mikro až nano



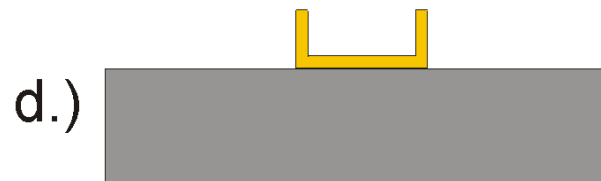
Na substrát je nanosený pozitívny rezist metódou „spin coating“



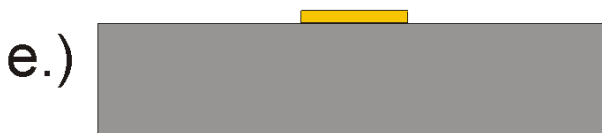
Ožiarenie elektrónov zmení chemické reakcie tak, že môžeme cielene odstrániť len ožiarenú časť rezistu (pozitívny rezist)



Nanesenie vrstvy kovu (zväzkové iónové naprašovanie)



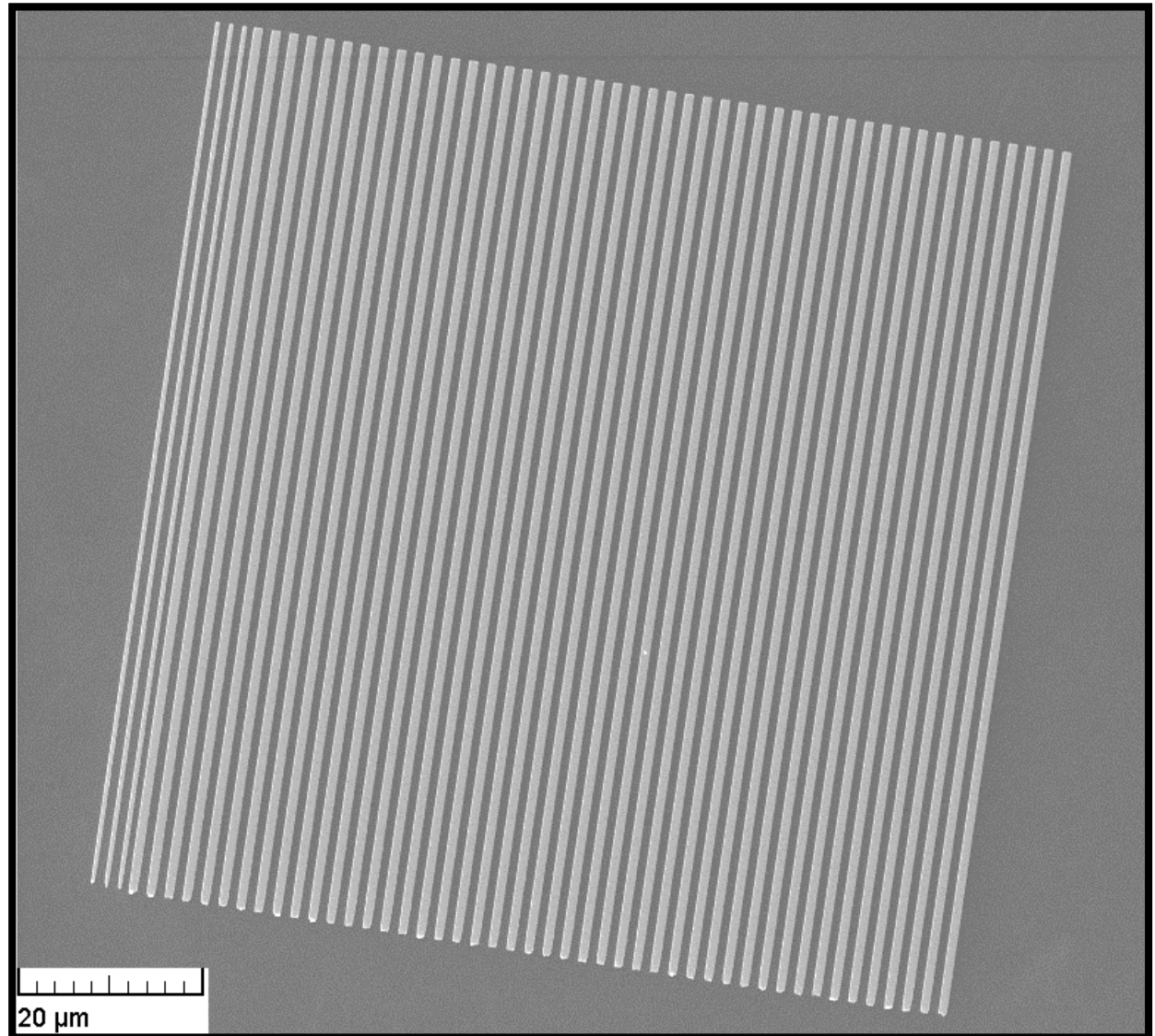
Chemické odstránenie zbytkového rezistu



Mechanicky (ultrazvukom) odstranené nežiaduce časti

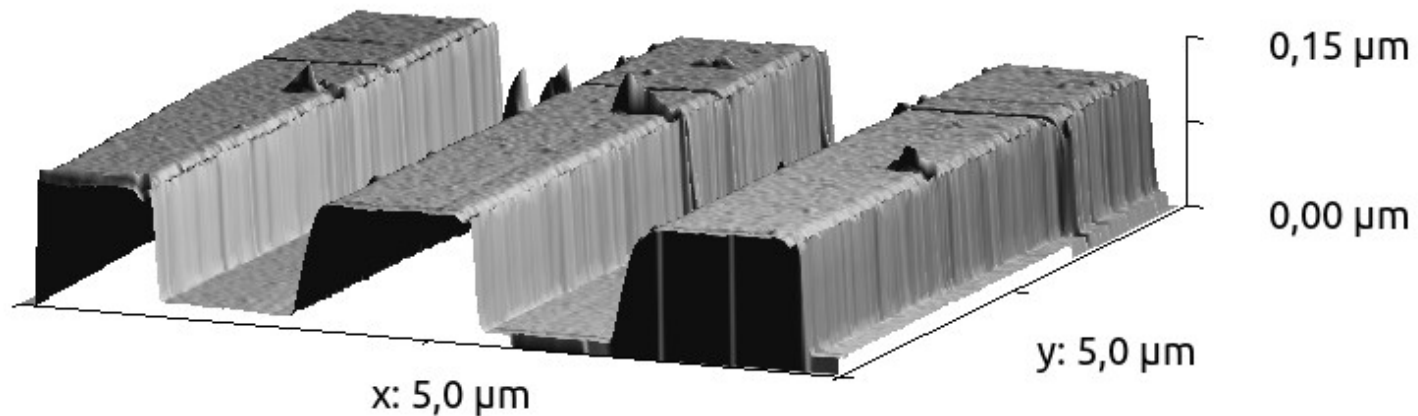
|| Litografia v praxi

- Výroba mriežok pre testovanie laserovej stopy pri aparatúre pre meranie Kerrovho javu (rôzna odrazivosť žiarenia od povrchu alebo teda pootočenie laserového paprsku)
- Šírka $1\ \mu\text{m}$ a výška $10\ \mu\text{m}$
- Materiál NiFe prekryt 2nm zlata (kvôli oxidácii)
- Substrát: nevodivý kremík



Litografia v praxi

- 3D snímok získaný metódou AFM (atomic force microscope)
- Šírka $1\ \mu\text{m}$ a výška $10\ \mu\text{m}$
- Materiál NiFe prekryt 2nm zlata (kvôli oxidácii)

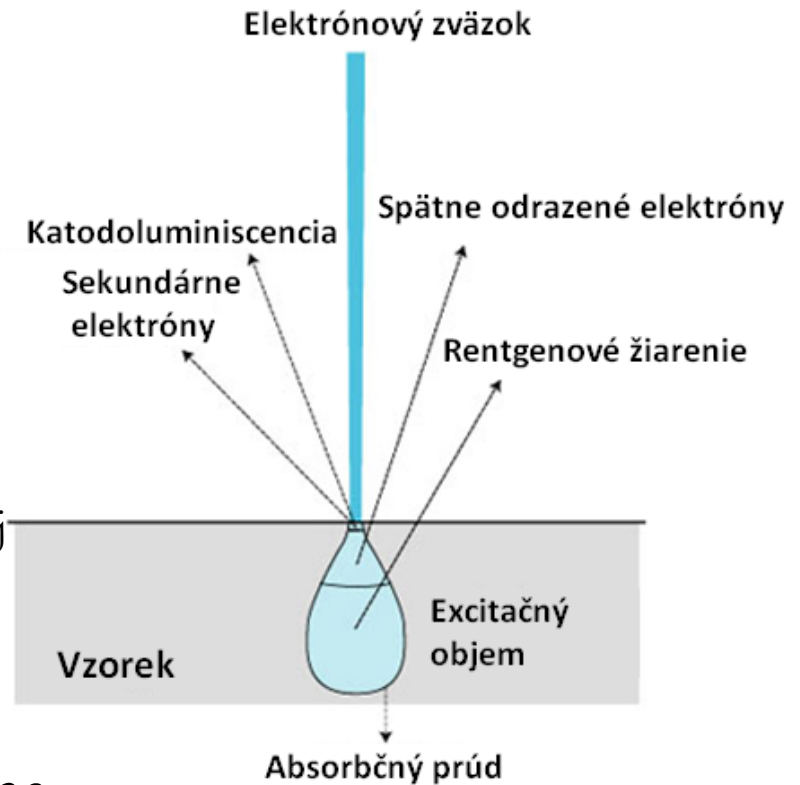


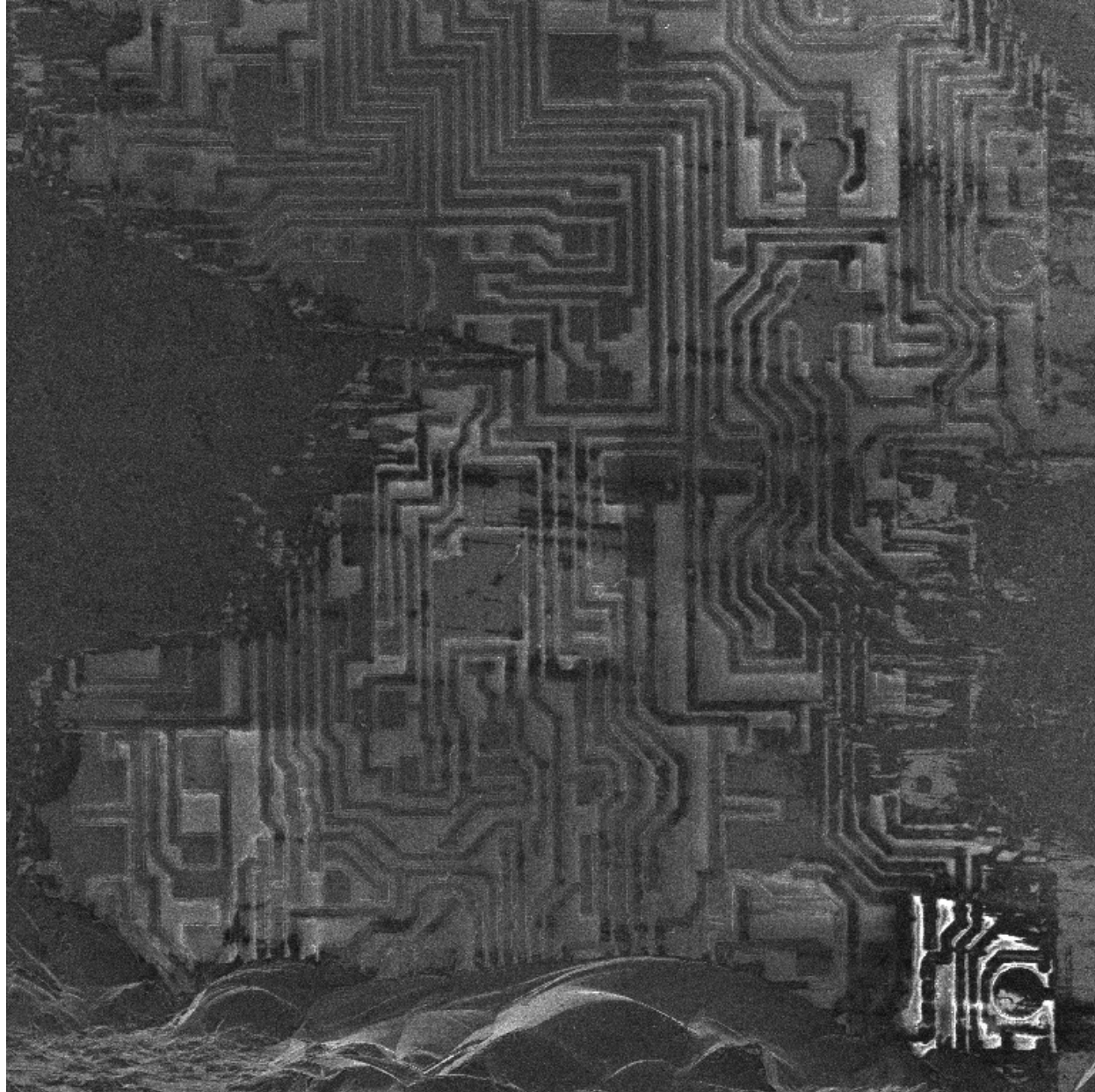
POROVNANIE VPLYVU
URÝCHLOVACIEHO NAPÄTIA A
HĽBKU OSTROSTI

Interakcia primárnych elektrónov s povrchom vzorku

- Sekundárne elektróny (SE)
- Spätne odrazené elektróny (BSE)
- Katodoluminiscencia (CL)- vybudenie luminiscenčných centier
- Kontinuálne rentgenové žiarenie
- Charakteristické rentgenové žiarenie- určenie chemického zloženia
- Fonóny - energetické kvantum kmitov kryštálovej mriežky

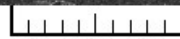
Urýchľovacie napätie má vplyv na penetračnú hĺbku elektrónov a tiež na excitačný objem





SEM HV: 5.00 kV

WD: 9.456 mm



VEGA\\ TESCAN

View field: 1.46 mm

Det: SE Detector

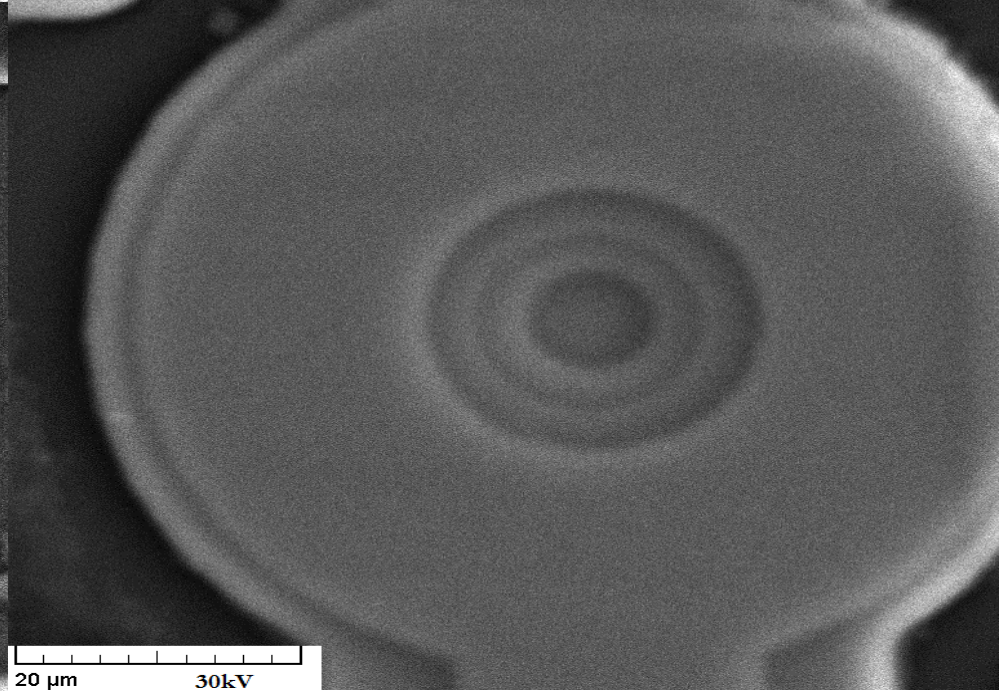
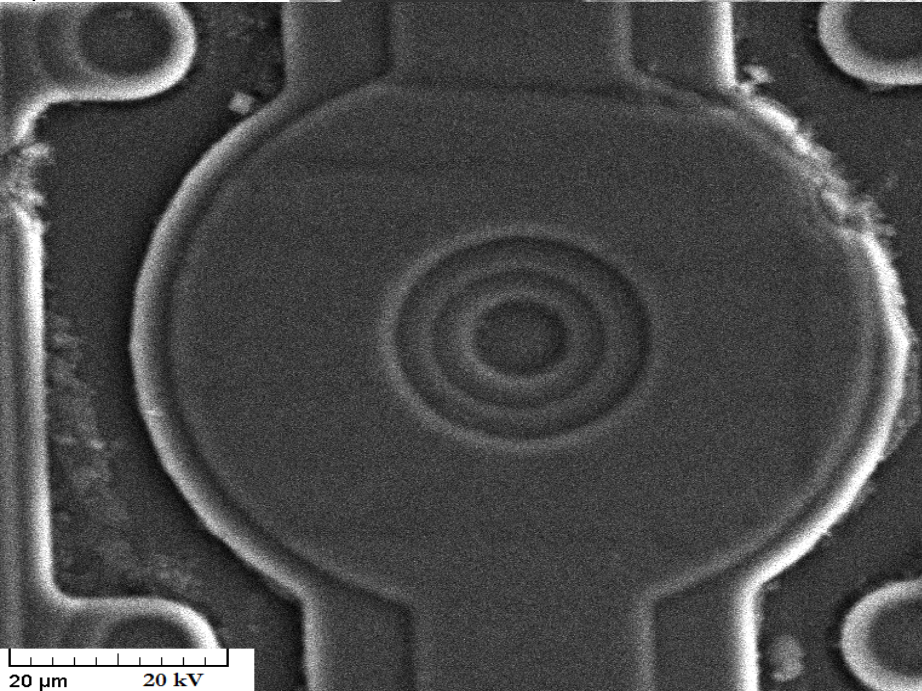
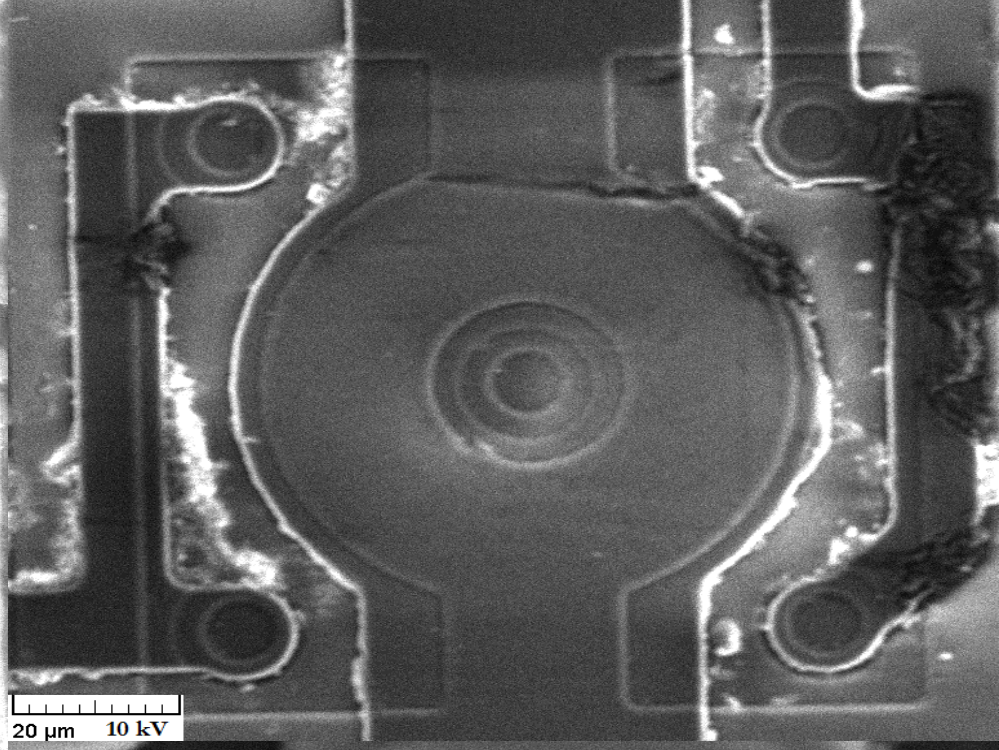
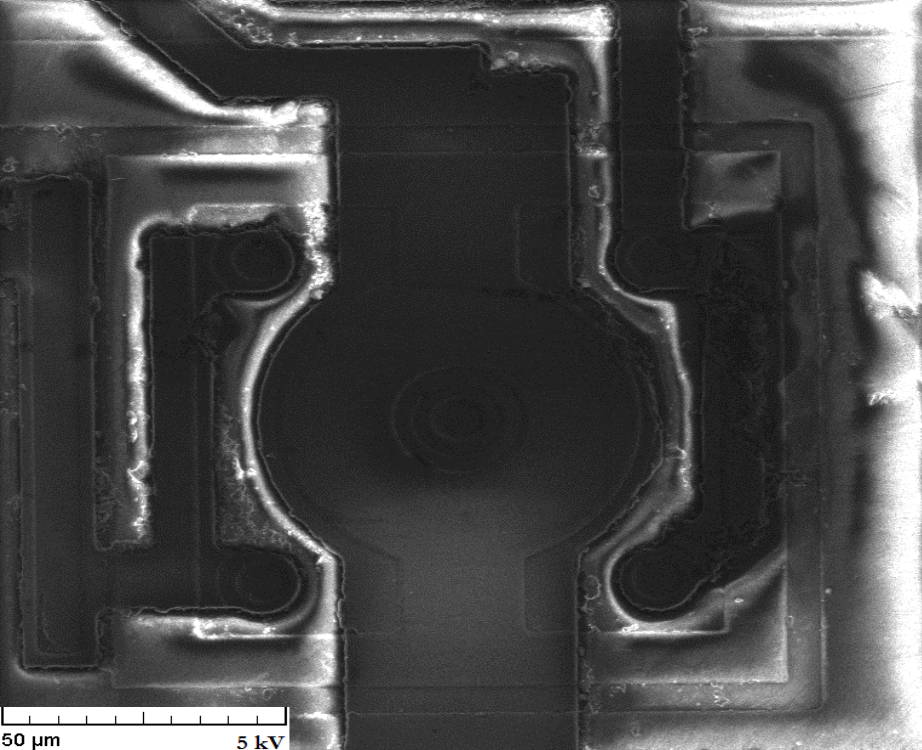
200 μ m

Date(m/d/y): 06/13/12

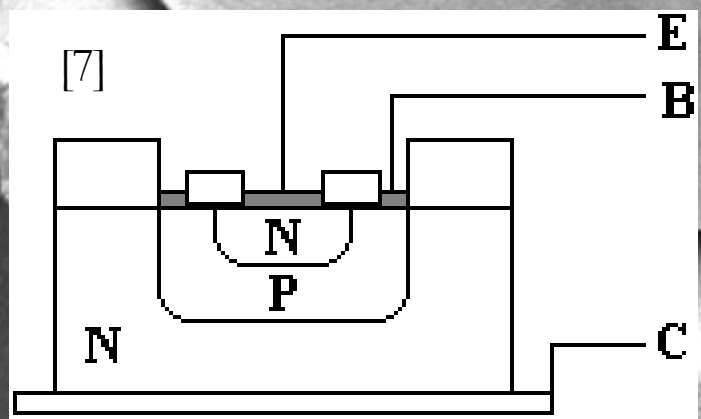
guest

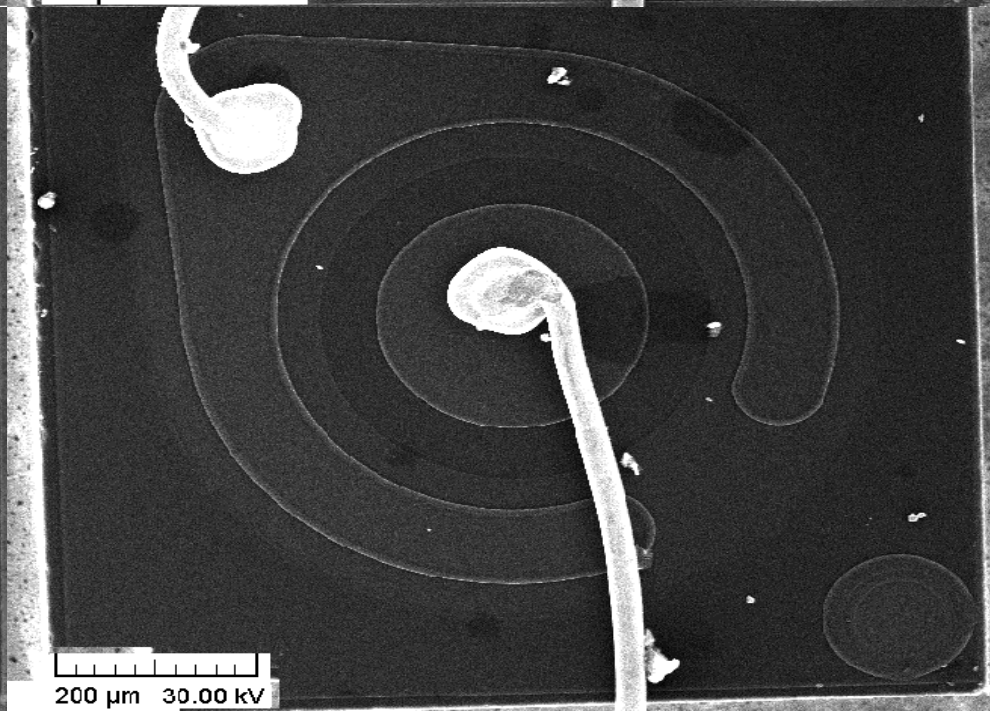
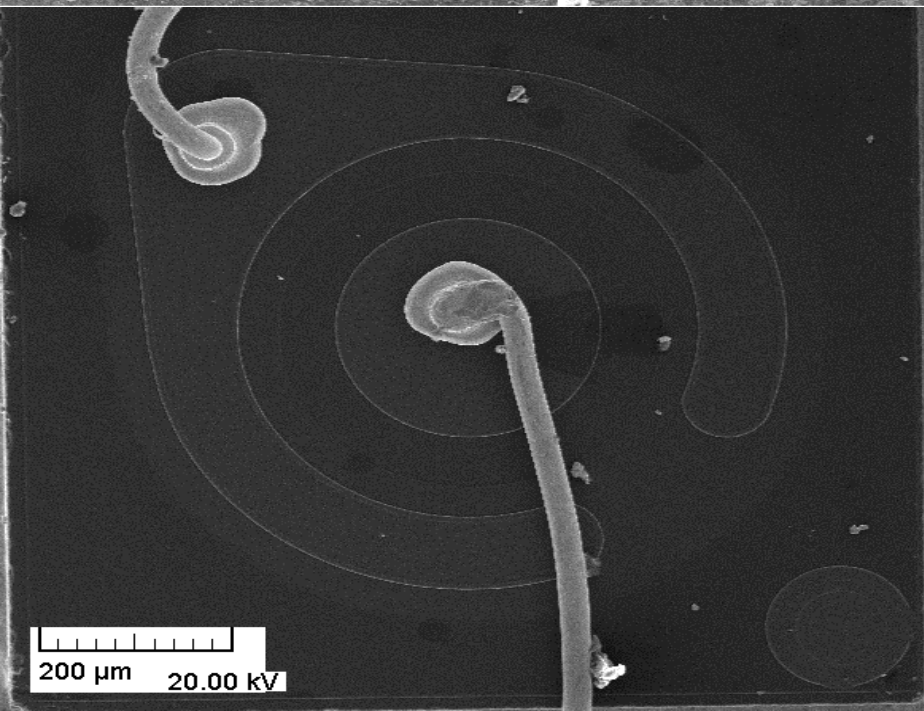
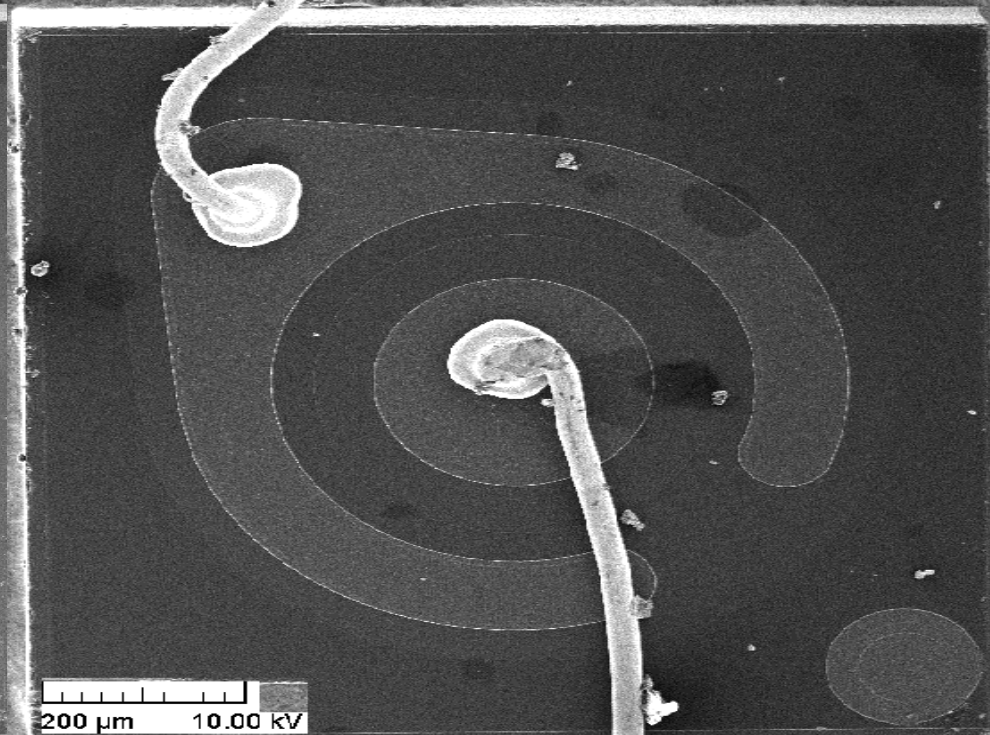
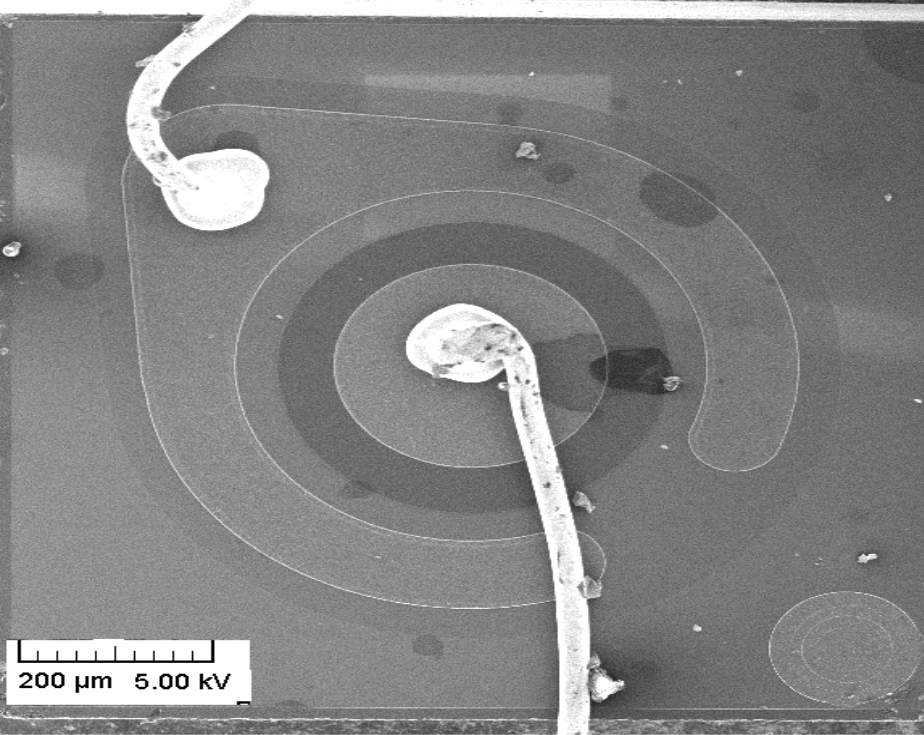
Digital Microscopy Imaging



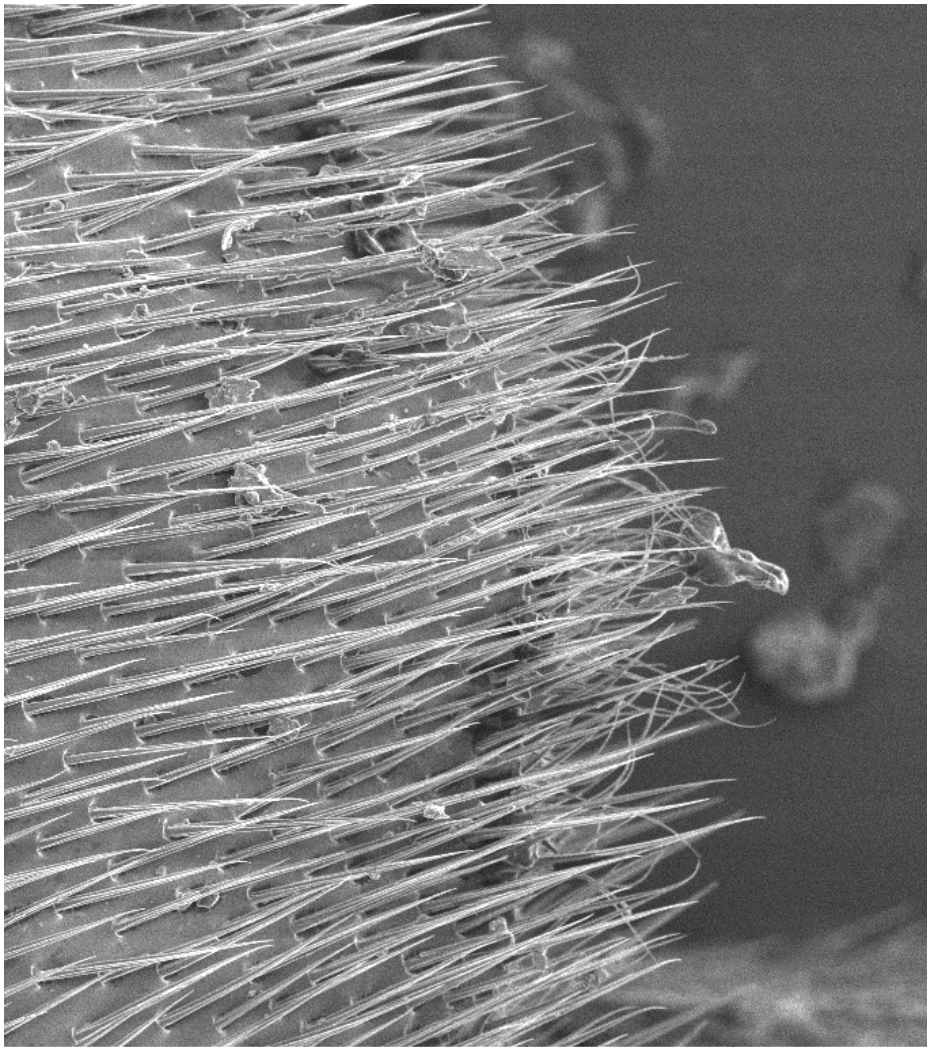


NPN tranzistor KFY34



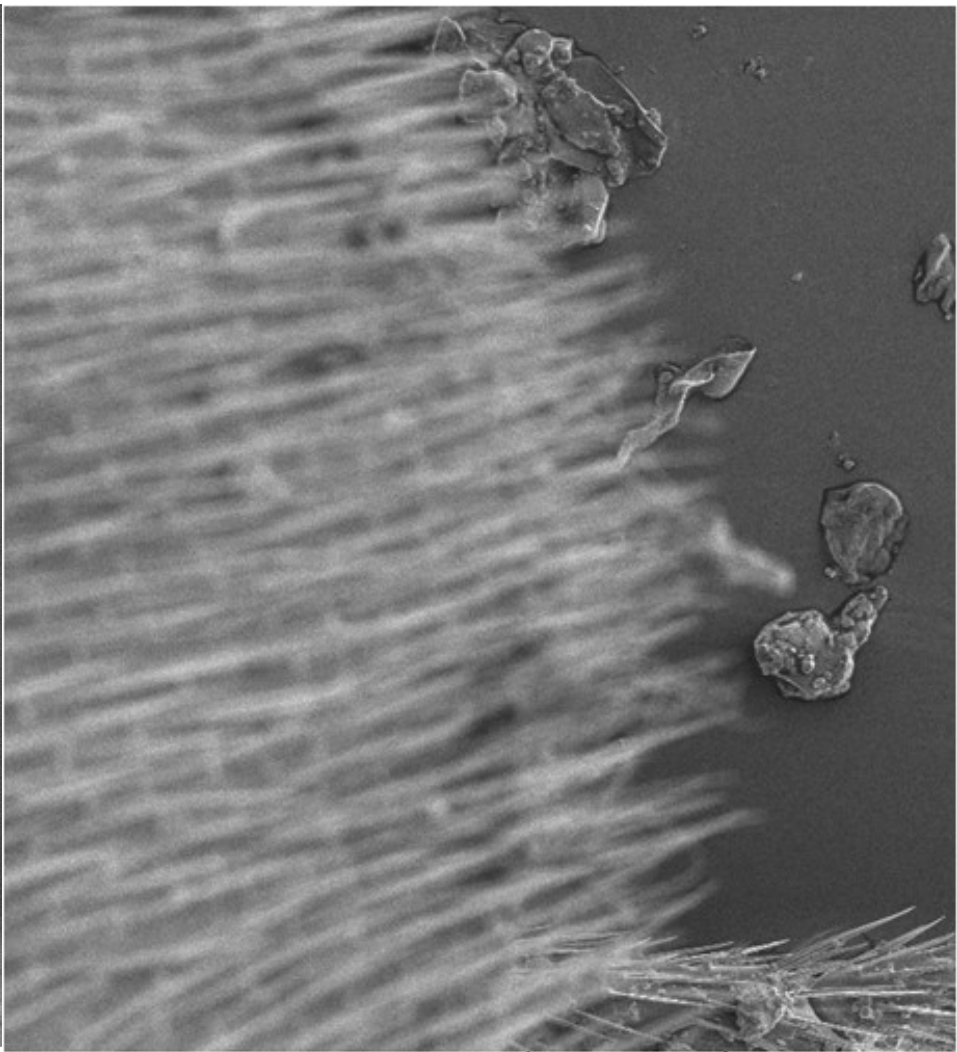


Hĺbka ostrostrosti



SEM HV: 5.00 kV
View field: 253.0 μm
WD: 7.291 mm
Det: SE Detector

50 μm

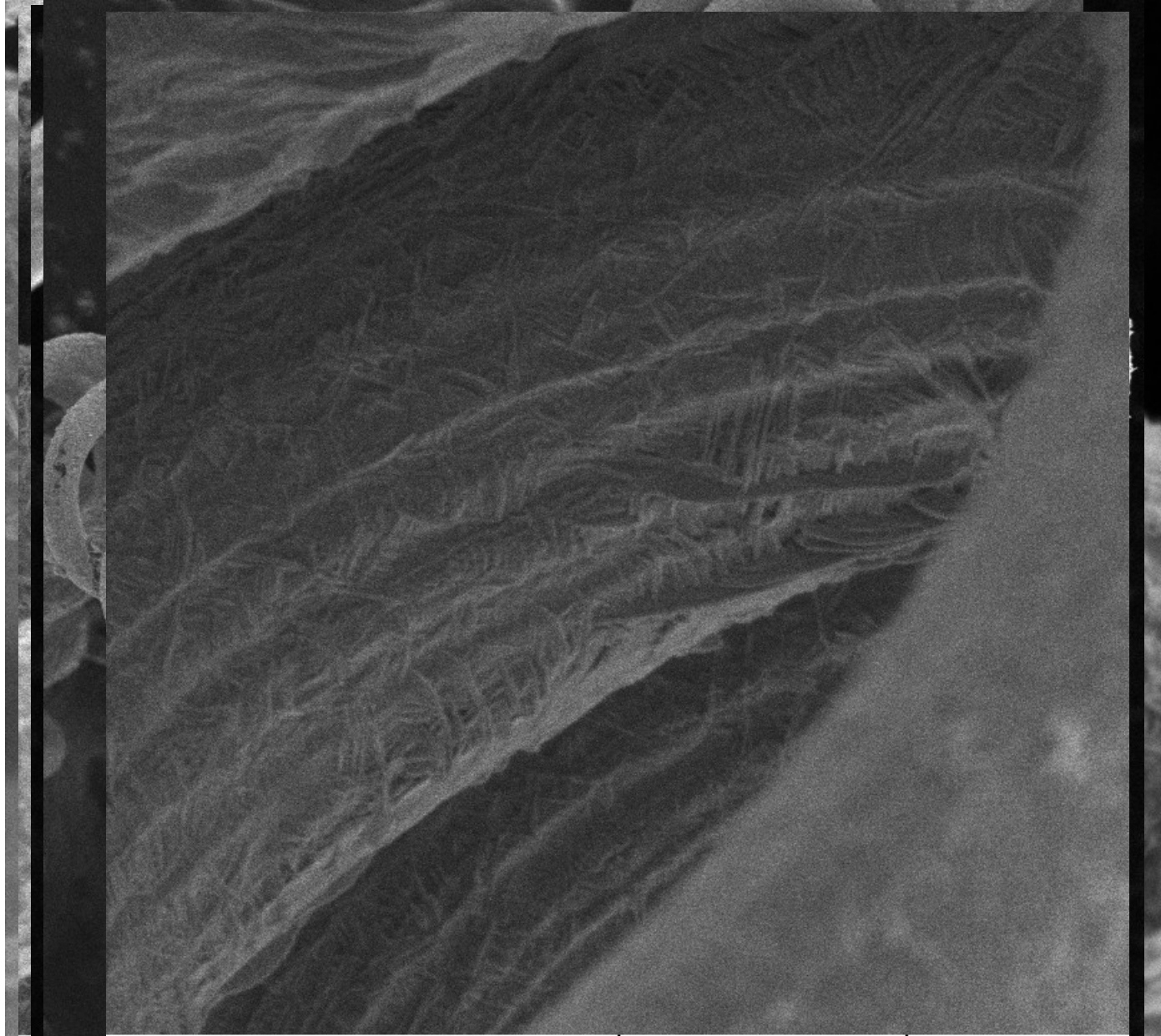


SEM HV: 5.00 kV
View field: 264.5 μm
WD: 7.938 mm
Det: SE Detector

50 μm

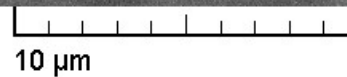


PREZENTÁCIA OBRÁZKOV



SEM HV: 5.00 kV
View field: 35.56 µm
Date(m/d/y): 06/13/12

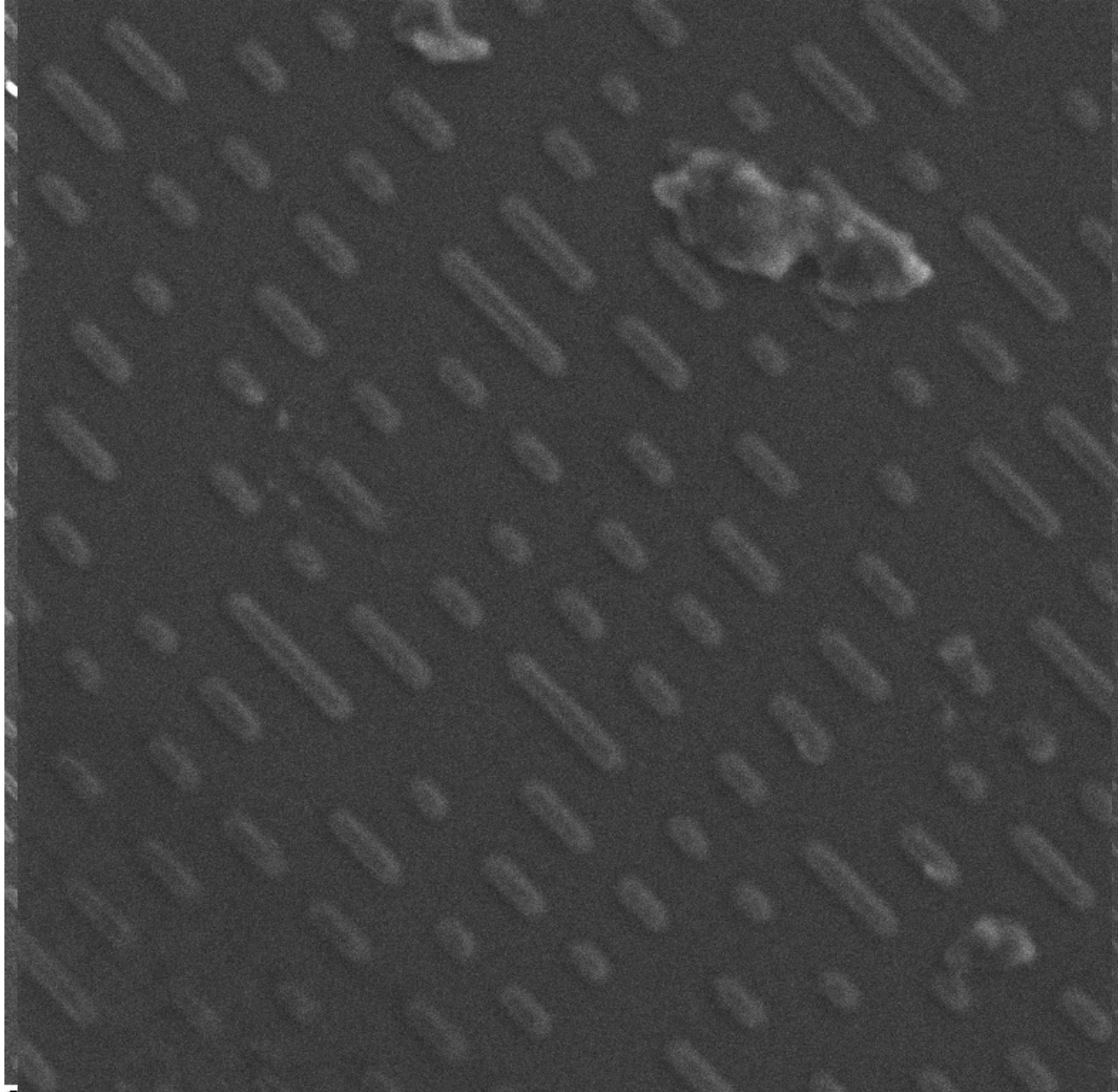
WD: 7.498 mm
Det: SE Detector
guest



VEGA\\ TESCAN\\ N

Digital Microscopy Imaging





SSEM HV: 5.00 kV

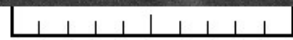
WD: 8.288 mm

View field: 22.25 μm

Det: SE Detector

Date(m/d/y): 06/13/12

guest



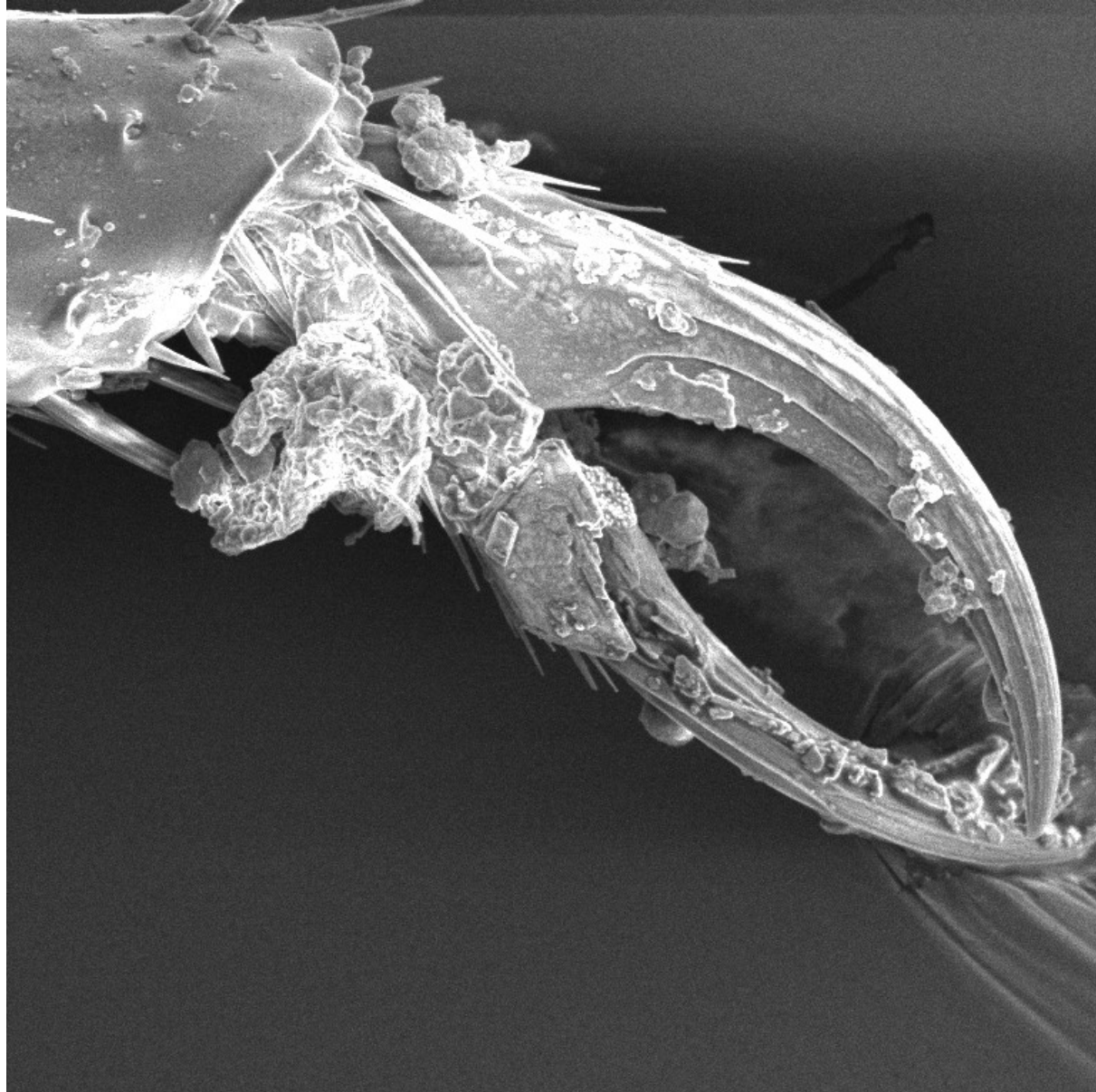
5 μm

VEGA\\ TESCANI

Digital Microscopy Imaging



t:



SEM HV: 5.00 kV

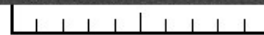
WD: 7.838 mm

View field: 93.45 μ m

Det: SE Detector

Date(m/d/y): 06/13/12

guest

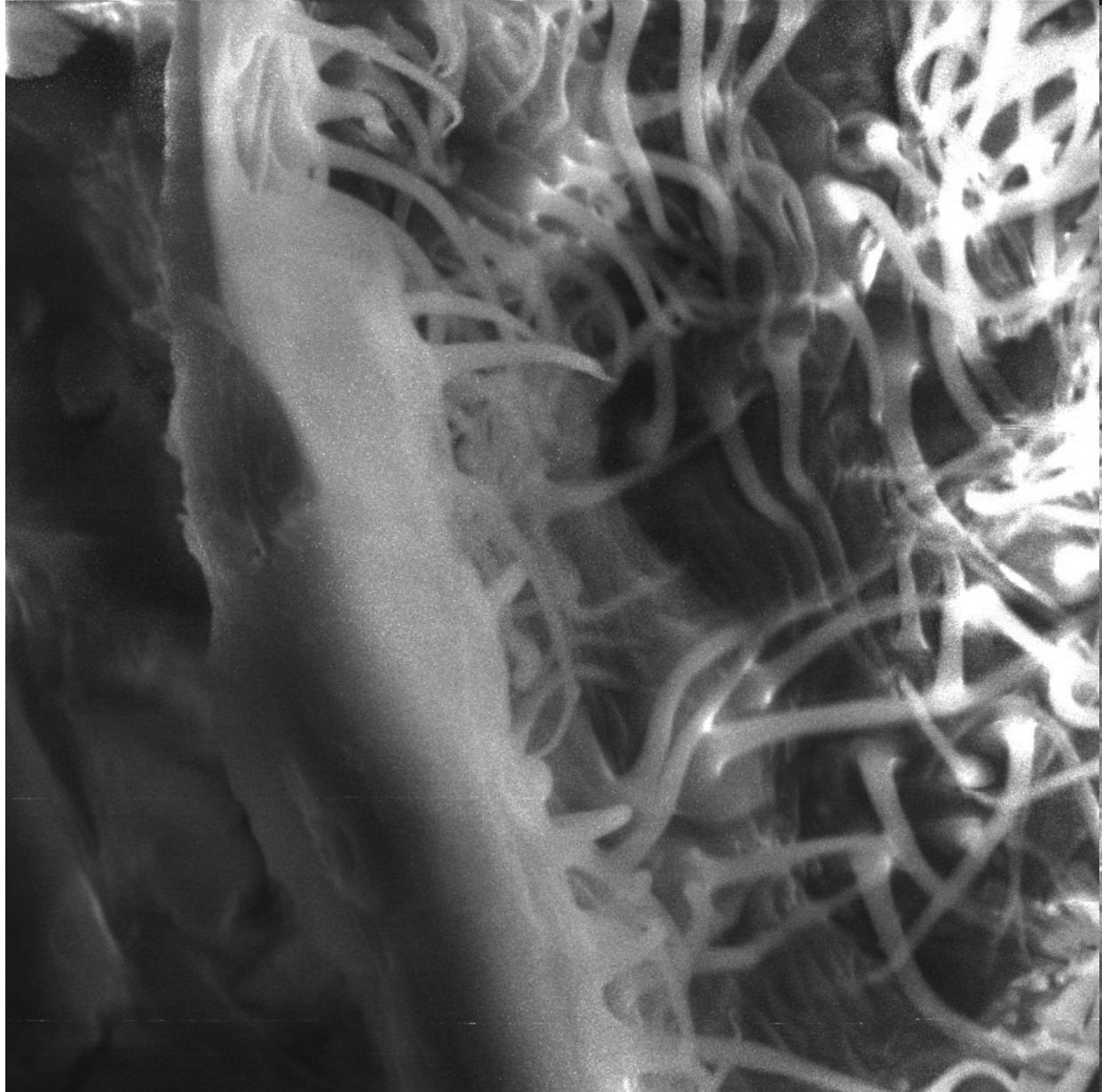


20 μ m

VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging





SEM HV: 20.00 kV

WD: 10.14 mm

View field: 28.15 μ m

Det: SE Detector

Date(m/d/y): 06/13/12

guest



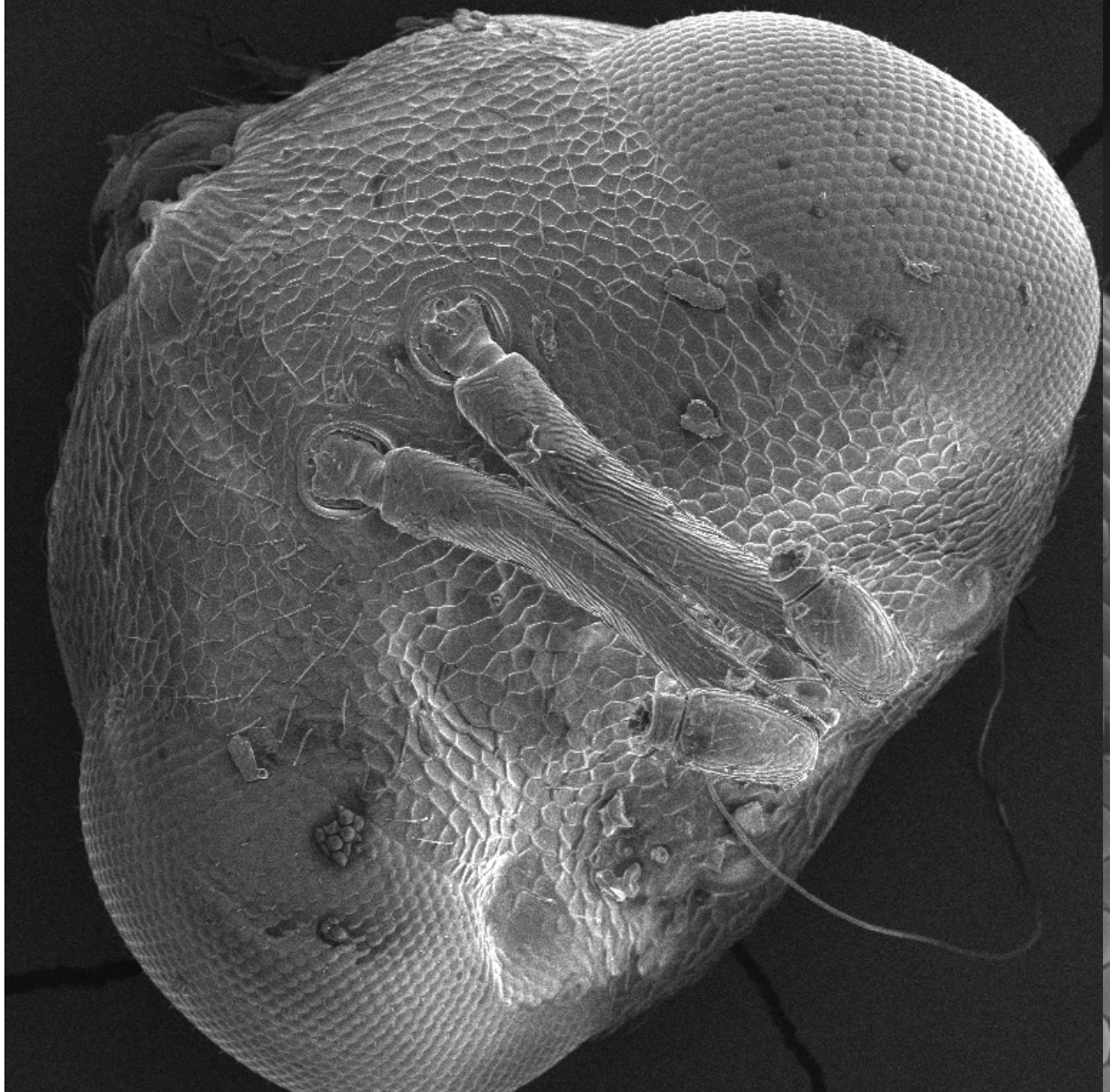
5 μ m

VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging

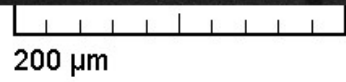


hmyz



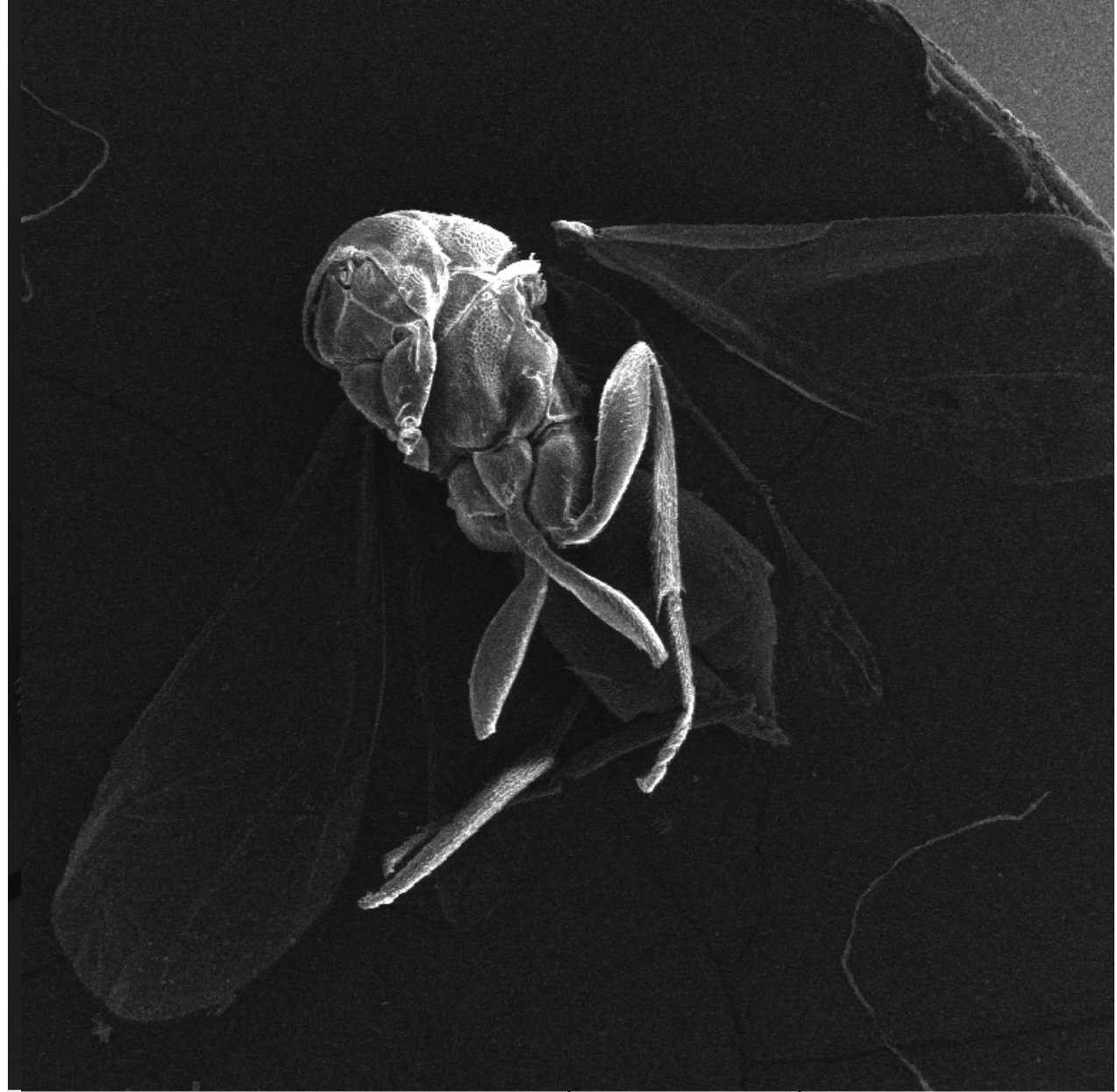
SEM HV: 5.00 kV
View field: 753.7 μ m
Date(m/d/y): 06/13/12

WD: 11.20 mm
Det: SE Detector
guest



VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging
muchah₁



SSEM HV: 20.00 kV

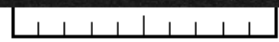
WD: 7.297 mm

View field: 2.37 mm

Det: SE Detector

CDate(m/d/y): 06/13/12

guest



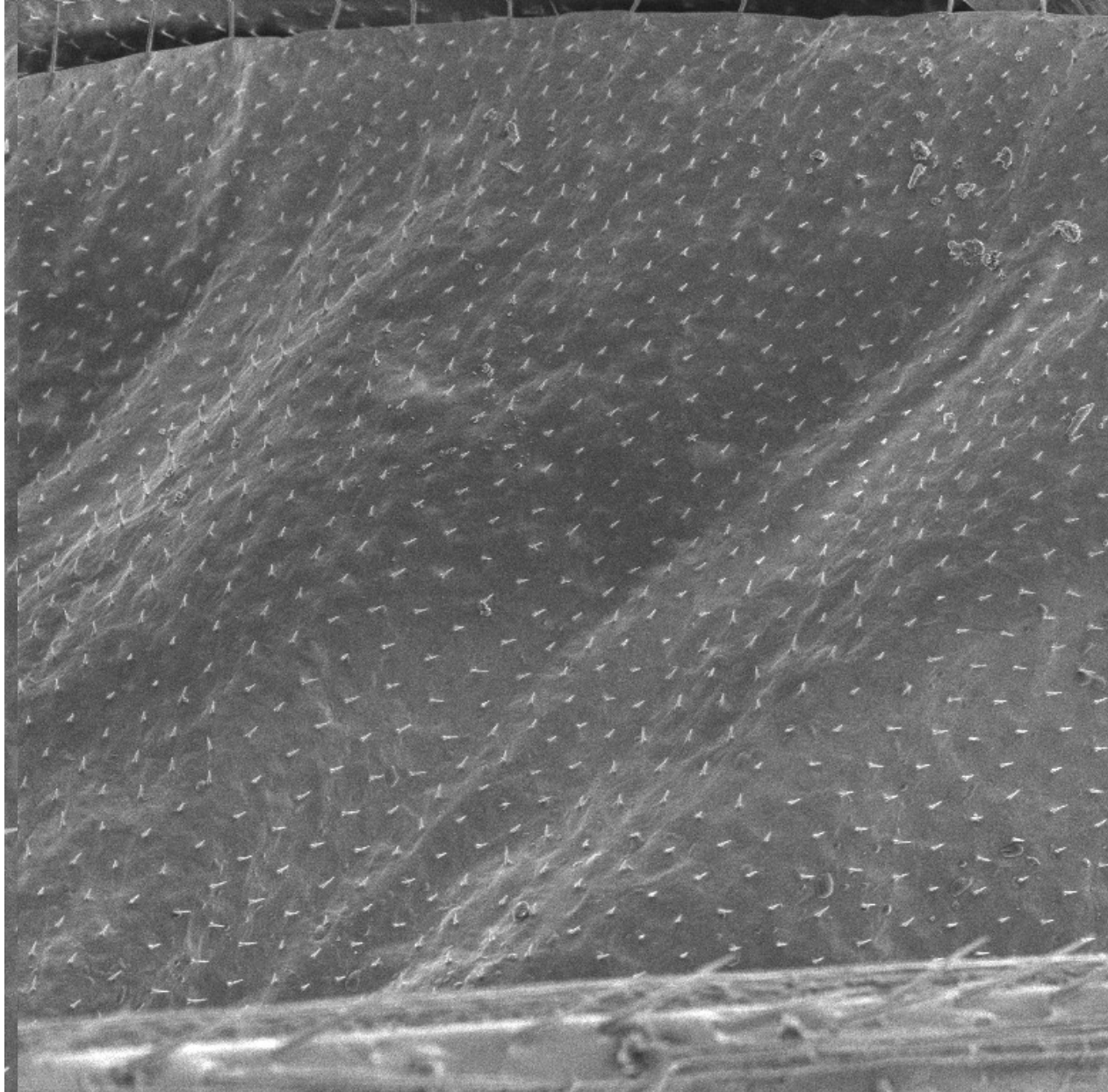
500 μ m

VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging



muchavd



SSEM HV: 5.00 kV

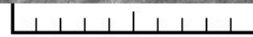
WD: 7.130 mm

View field: 256.3 μm

Det: SE Detector

CDate(m/d/y): 06/13/12

guest



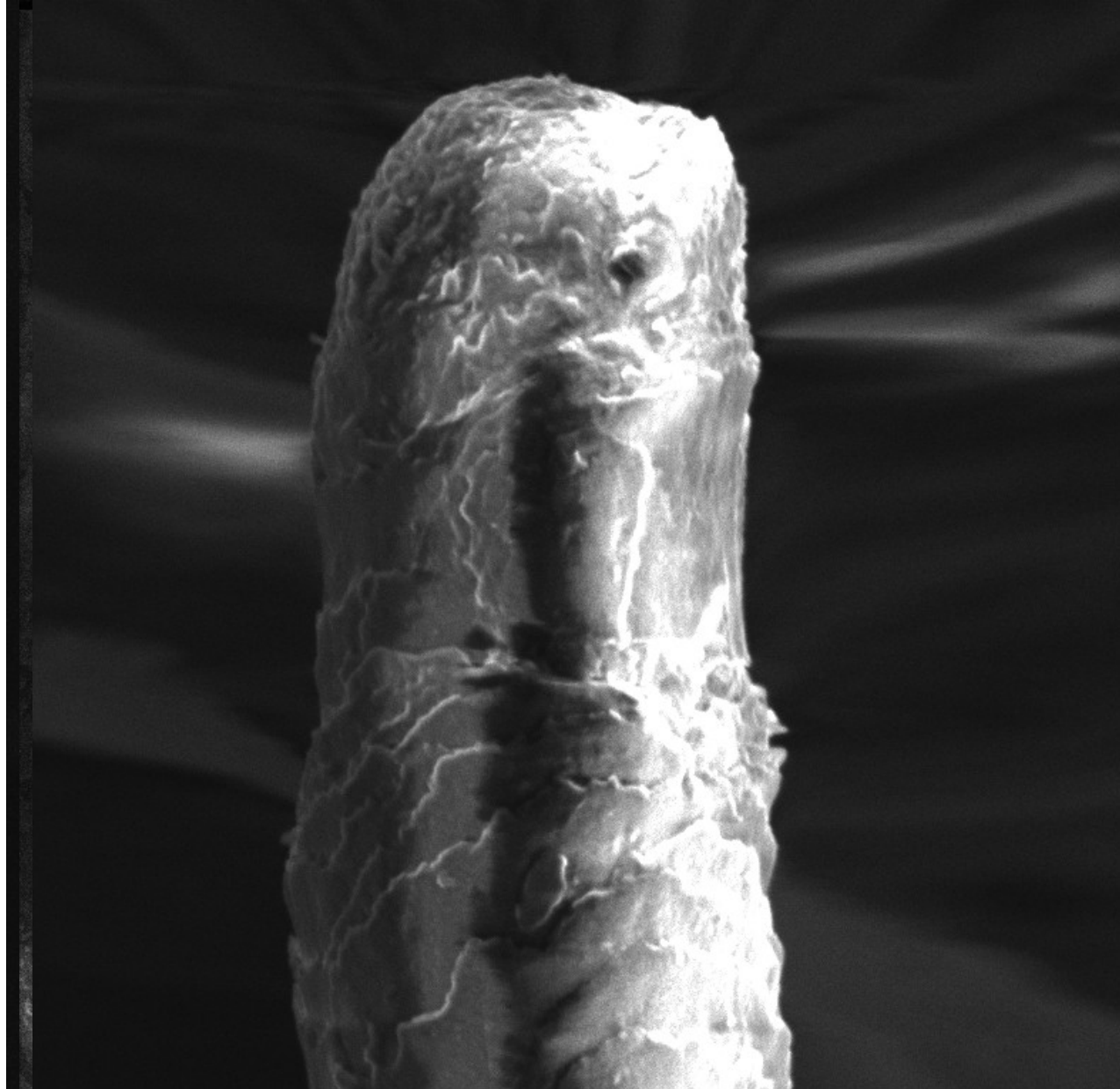
50 μm

VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging

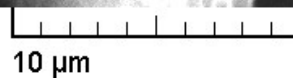


t



SSSEM HV: 5.00 kV
WView field: 43.17 μm
CCDate(m/d/y): 06/13/12

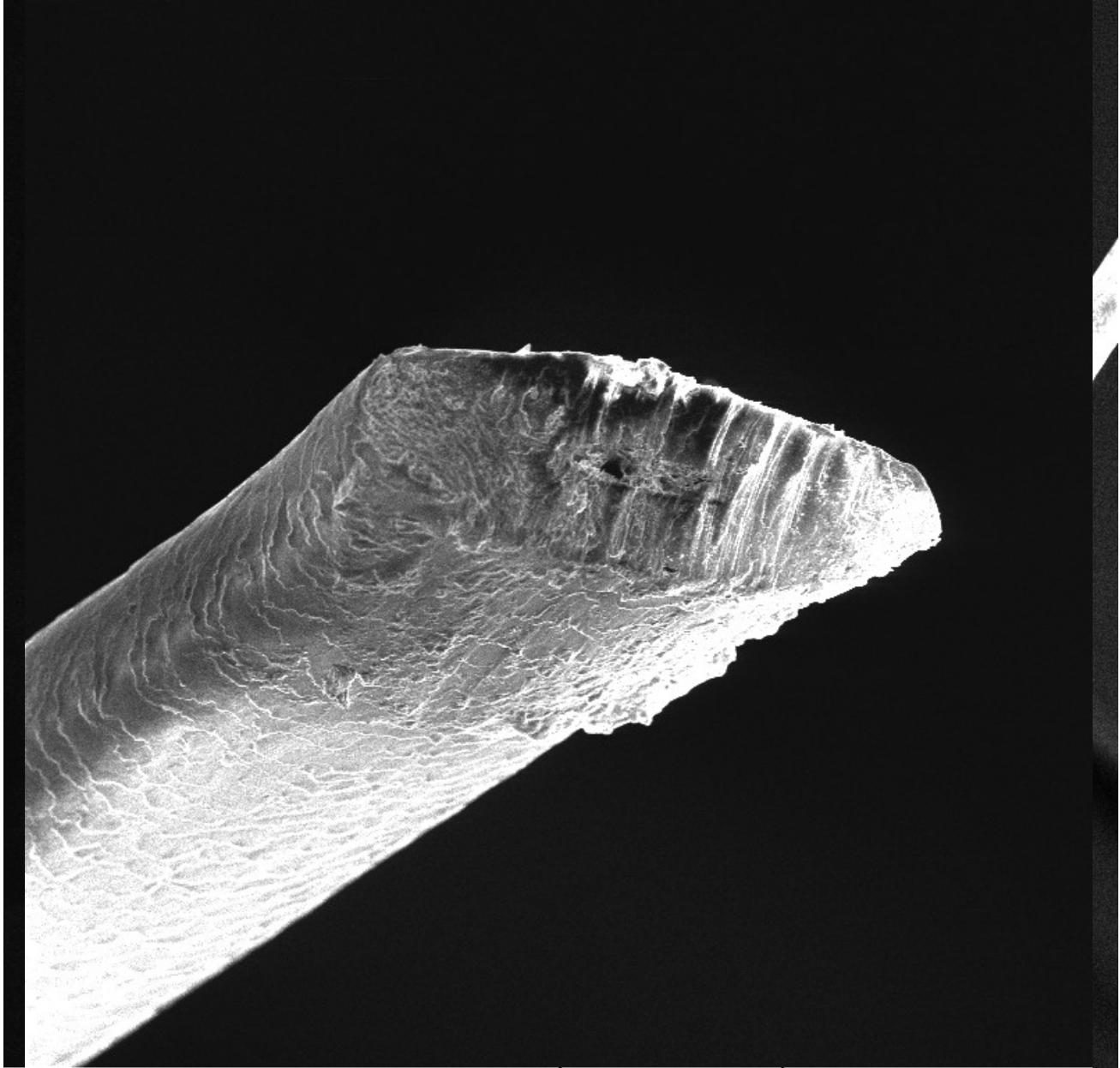
WD: 8.305 mm
Det: SE Detector
guest



VEGA\\ TESCAN

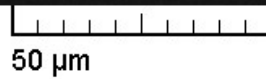
Digital Microscopy Imaging 

t




SISEM HV: 5.00 kV
ViView field: 239.3 μ m
DDate(m/d/y): 06/13/12

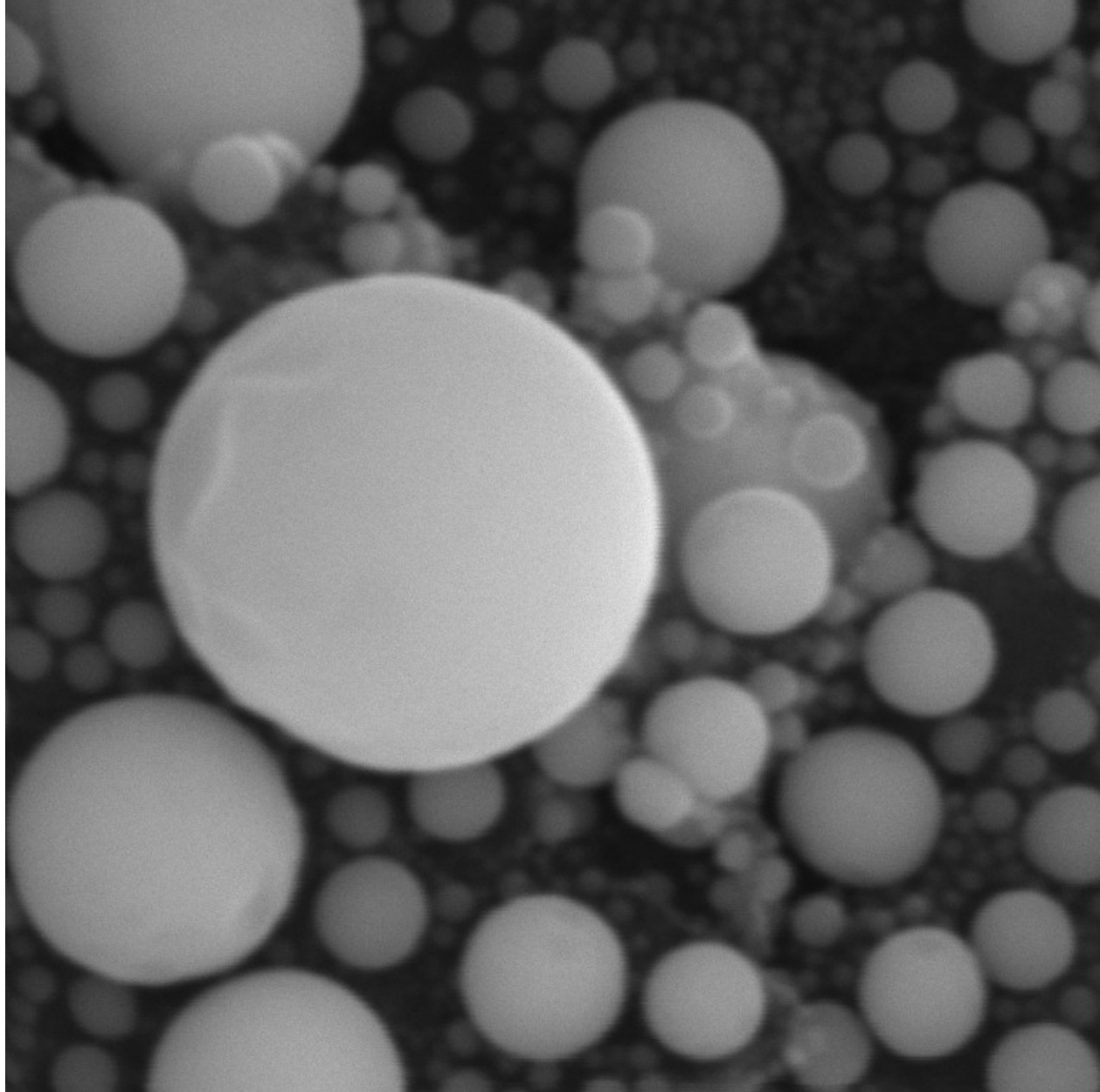
WD: 4.137 mm
Det: SE Detector
guest



VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging 

IN
t
t




SEM HV: 20.00 kV
View field: 2.923 μm
Date(m/d/y): 06/13/12

WD: 7.778 mm
Det: SE Detector
guest



VEGA\\ TESCAN

Digital Microscopy Imaging 
77kx cin 20kv

Zdroje

- [1] <http://barrett-group.mcgill.ca/tutorials/nanotechnology/nanoo2.htm>
- [2] FEI Company
- [3] FEI Company
- [4] <http://physics.fme.vutbr.cz/files/159/FP111/mikroskop.pdf>
- [5] <https://snf.stanford.edu/SNF/processes/process-modules/photolithography/lift-off-lol-procedures/liftoff>
- [6] <http://www4.nau.edu/microanalysis/Microprobe-SEM/Signals.html>
- [7] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/344-vyroba-tranzistoru>

PodĎakovanie ÚFI za umožnenie práce s elektrónovým mikroskopom