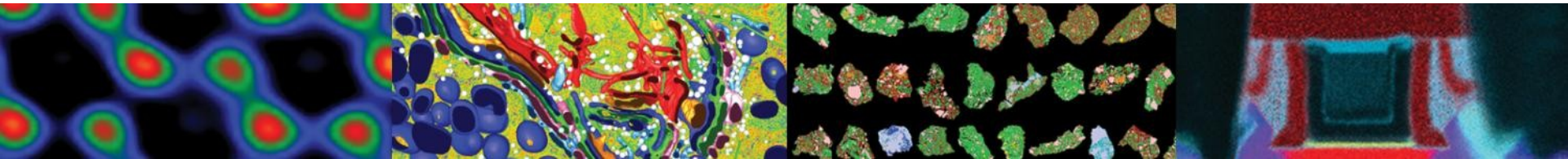


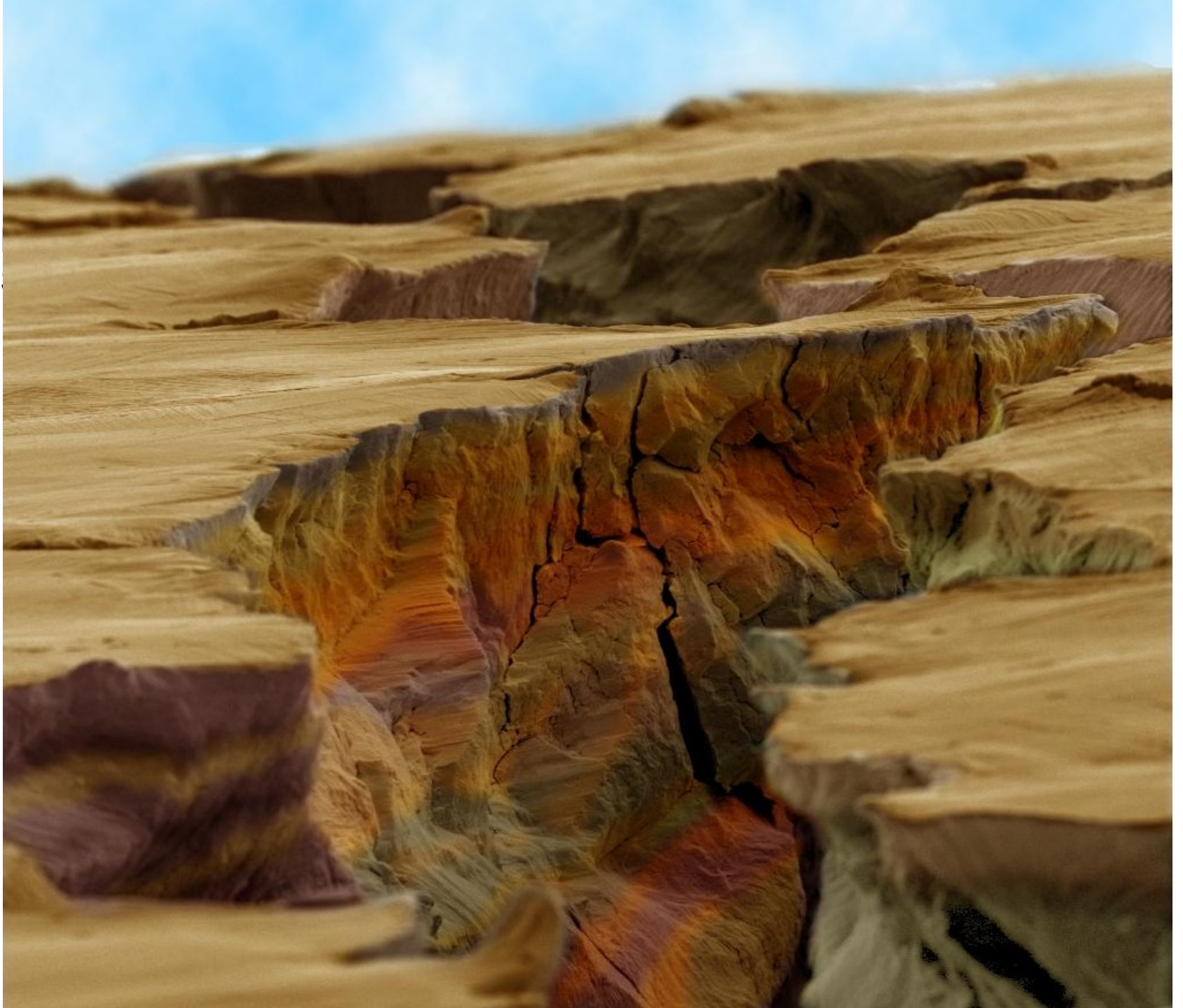
# Fyzika ve Firmě FEI

Přednáška pro MU, PŘF

Jiří Očadlík,

VP Manufacturing FEI





# Kdo jsme?

- Jsme největším dodavatelem elektronově a iontově optických zařízení pro širokou škálu výzkumných a vývojových laboratoří i průmyslových podniků.
- Celosvětově máme 2150 zaměstnanců z toho v Brně 500.
- Prodej a servis našich přístrojů zajišťujeme ve více než 50 zemích po celém světě.
- Jsme listováni na trhu NASDAQ.
- Z Brna - největší továrna FEI - dodáváme asi čtvrtinu (25%) celosvětového obchodu s elektronovými mikroskopy



# Kde sídlíme?

Naše tři výrobní a vývojová centra:

Hillsboro - USA



Eindhoven - Nizozemí



Brno - Česká republika



# Vize kam směřuje FEI ...

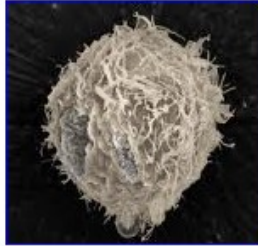
Představte si...

Za 20 let ...

Svět bez...

- Rakoviny

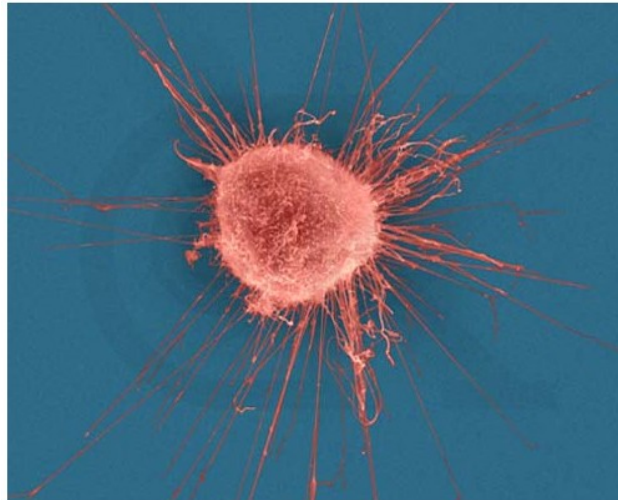
Prostate cancer cell



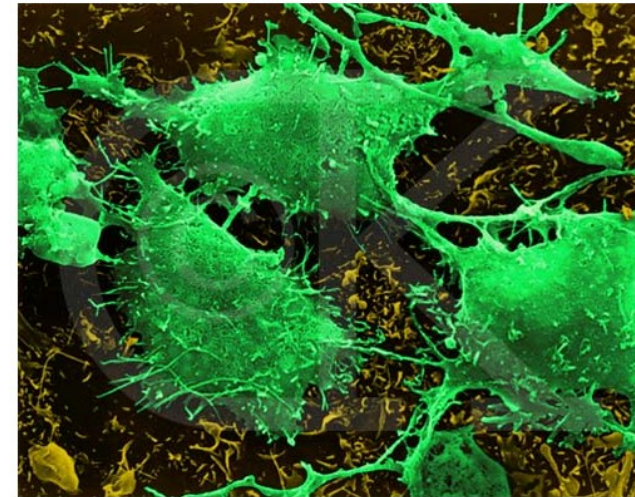
Cancer cell being attacked by the immune system



Breast Cancer Cell



Brain Cancer Cell



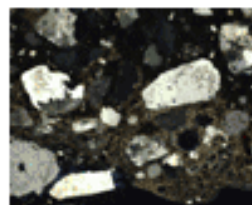
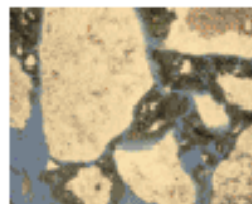
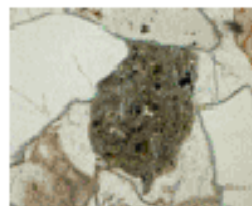
# Vize kam směřuje FEI ...

Představte si...

Za 20 let ...

Svět bez...

- Nedostatku energie



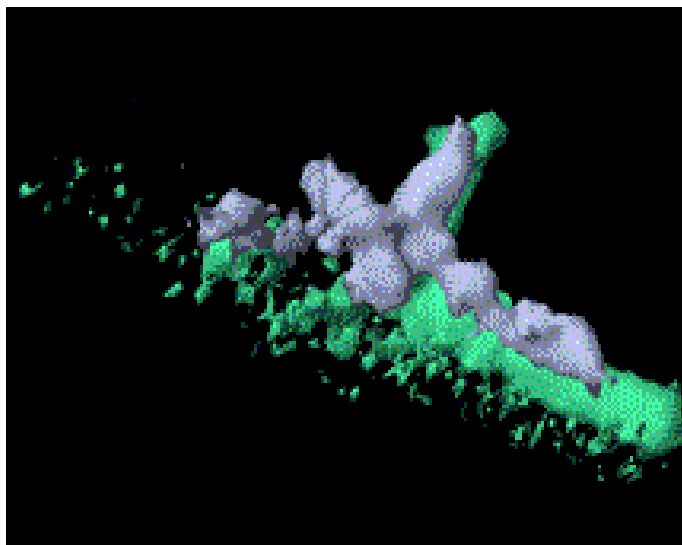
# Vize kam směřuje FEI ...

Představte si.....

Za 20 let ....

## Svět s výzkumem

- v ohromném tempu
- Výzkumnými daty sdílenými po celém světě
- Porozuměním jak fungují molekuly



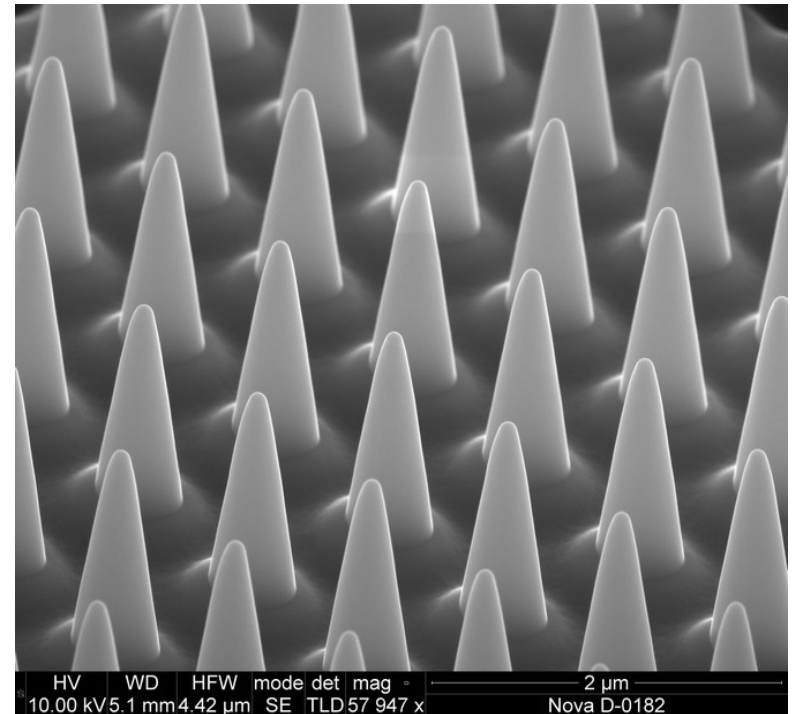
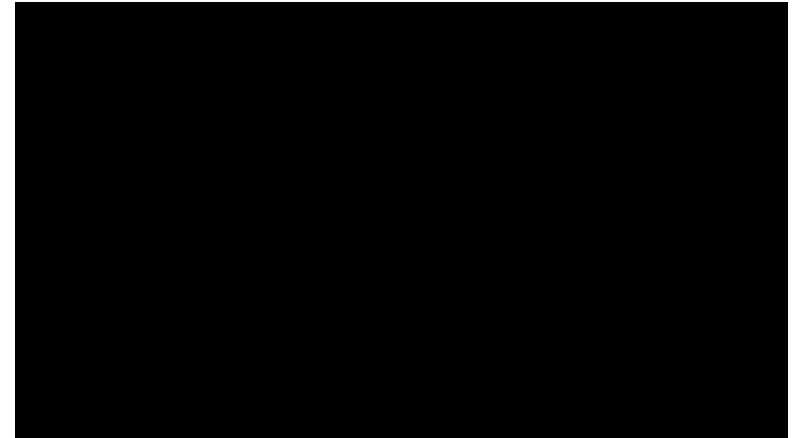
# Vize kam směřuje FEI ...

A již.....

Dnes....

## Elektronika v našich rukách

- Internet
- Mobile communication
- Zábava





**Fyzika** (Wikipedie) je přírodní věda, která zahrnuje studium hmoty a její pohyb v časoprostoru, spolu s příbuznými pojmy, jako je energie a síly. V širším měřítku, je to obecná analýza přírody, vedená s cílem pochopit, jak se vesmír chová.

Potřebujeme fyziky, aby pochopili nano-vesmír a nacházeli nová a neznámá:

- technická
- technologická řešení
- Ve výzkumu,
- Ve vývoji,
- V inženýrství,
- V aplikacích

vedoucí ke kvalitním a výkonným produktům, k zákaznické spokojenosti s produkty FEI.

# Od vývojáře po presidenta

## Fyzikové nacházejí uplatnění jako

- Výrobní inženýr - řeší technická řešení v okruhu výrobitelnosti, jakosti,
- Vývojový inženýr – hledá nová řešení a jejich uplatnění v produktech
- Systémový inženýr – hledá způsoby fungování celých systémů, jejich vzájemnou vazbu
- Projektový manažer – řídí projekty
- Produktový manažer – řídí výrobky, jejich životní cyklus, vlastnosti
- Aplikační inženýr – nachází a zkoumá zákaznické aplikace přístrojů
- Leader – vedoucí na všech stupních – fyziky jsou CEO Don Kania a mnoho dalších.

## Práce v týmu – klíč k dosahování výsledů - spolupráce

Komunikace – jak se umíte vyjadřovat, působit na ostatní  
Řídící schopnosti, schopnost ovlivnit svět kolem sebe

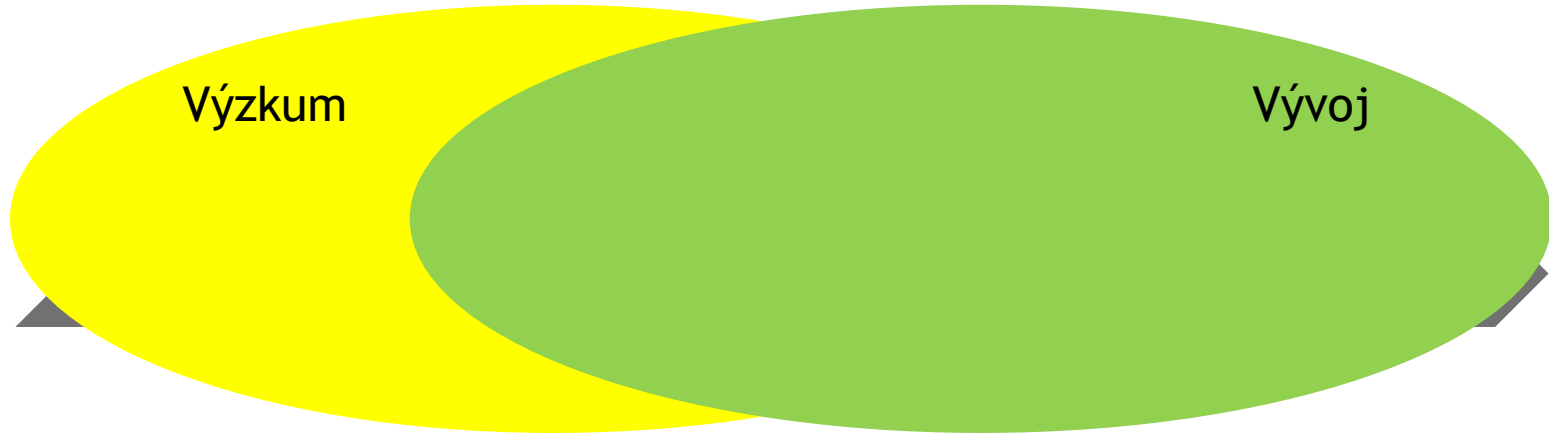
Jazyky

Přizpůsobivost, pružnost

Chtění dále růst

# Fyzika v průmyslu

- V průmyslu pracuje mnohem víc fyziků než na školách a v ústavech
- Rozdíl mezi fyzikou v průmyslu a v institucích:
  - Je v poměru počtu fyziků, kteří se zabývají výzkumem, a kteří se zabývají vývojem
  - Je v rychlosti realizace výsledků





# Fyzici a Moore's law

- Mooreův zákon pomáhá realizovat v každém okamžiku stovky a tisíce fyziků v různých oborech zabývajících se materiály, nanostrukturami, výrobními a diagnostickými přístroji
- FEI má mimo jiné vedoucí roli ve vývoji přístrojů pro diagnostiku nanoelektronických struktur
  - Každé 3 až 4 roky musíme být schopni rozlišit dvakrát menší struktury
  - Musíme adekvátně zrychlovat analýzu vzorků tak, aby přes narůstající počet technologických kroků a testů se nezvyšovaly náklady na čip

# Titan Family – Téma 1



Titan 80-300

Titan ETEM



Titan<sup>3</sup> 80-300

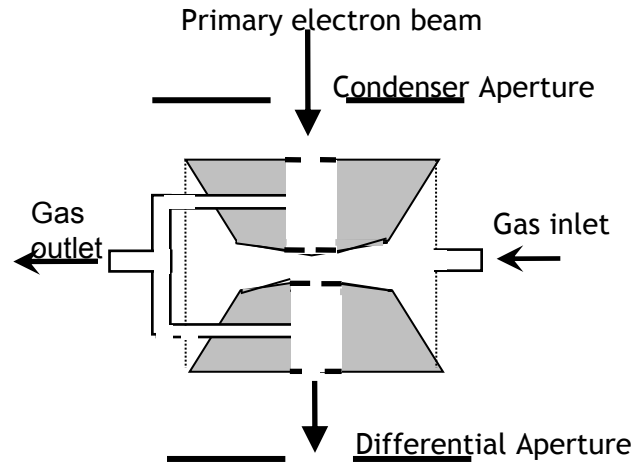
# Titan ETEM technology and hardware components

Gas control unit with valves for accurate control of the gas pressure and mixture



+

E-cell with differential pumping apertures and additional oil free pumps



+

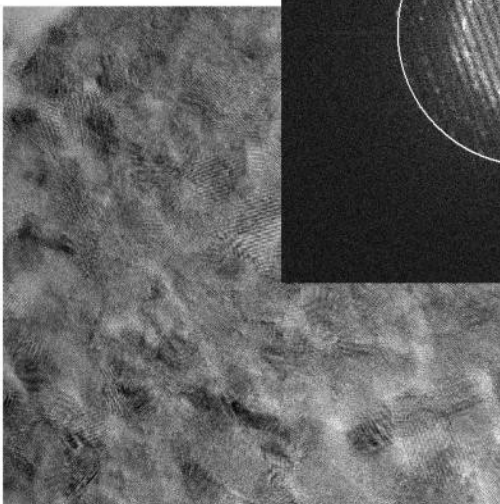
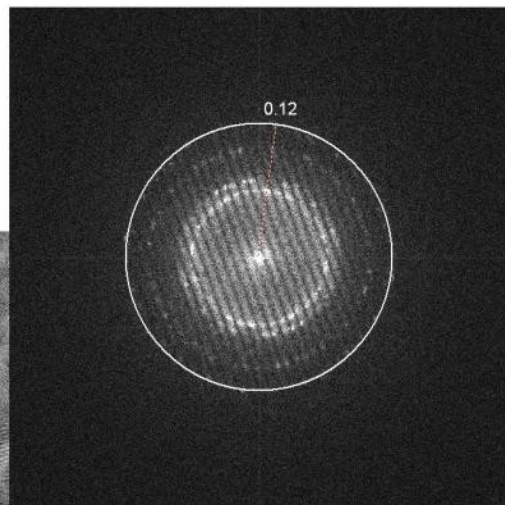
Mass spectrometer to determine gas composition



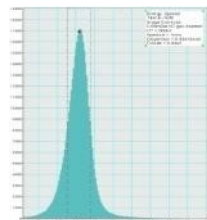
# Titan ETEM performance in various modes

Youngs fringe experiment  
at 5mbar pressure

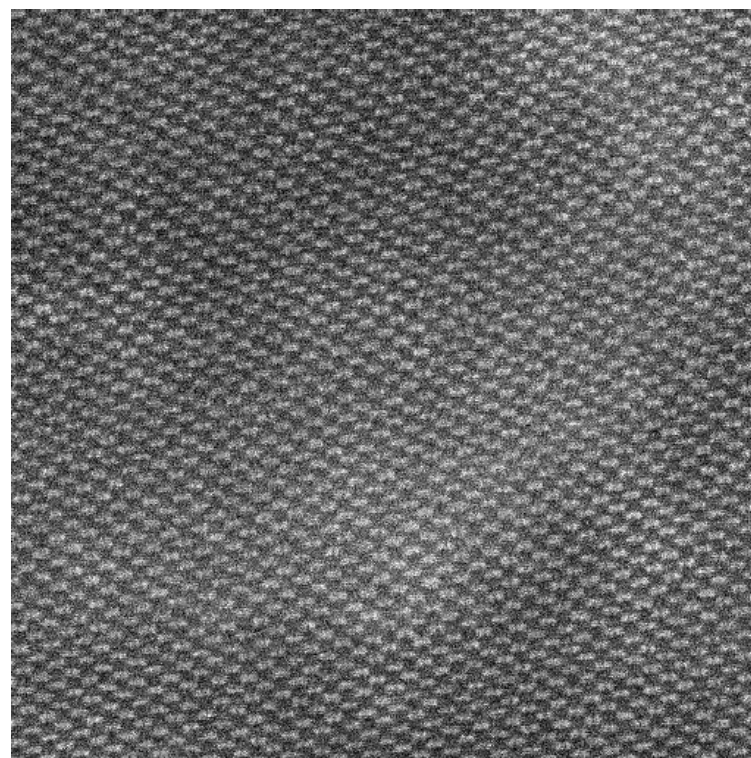
Information Limit  
Titan E-TEM  
Image Corrector  
5mBar gas inserted



EELS zero-loss peak  
in ETEM mode



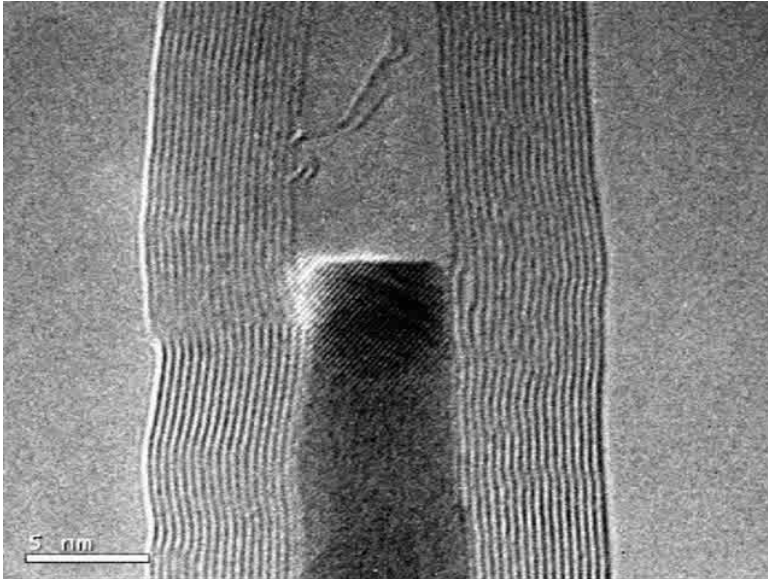
HR-STEM image of Si110  
in ETEM mode





# Where are we going...?

*In situ* experiments - down to the atoms  
Heating + vapour

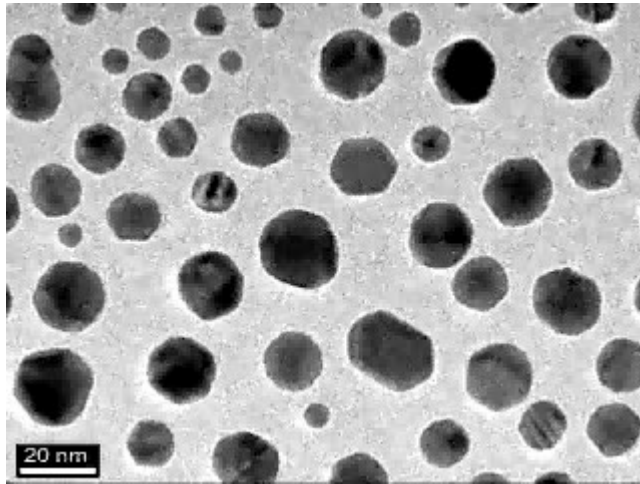


MWNT from a FeCo crystal

*In situ* nucleation of carbon nanotubes by the injection of carbon atoms into metal particles . by J.A. Rodriguez-Manzo et al. *nature nanotechnology*

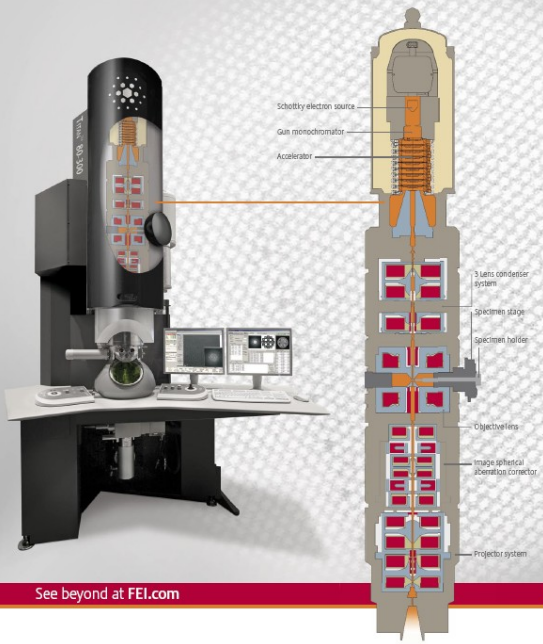
*In situ* experiments – down to the atoms  
Heating + vapour (+ correctors)

Where are we going...?



*Hofmann et al (2008) Nature Materials 7(5)*  
*Au catalyst crystals on SiOx membrane, exposed to Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> vapour at T = 590 °C. On melting an Au-Si liquid alloy is formed, before nucleation of Si and growth of nanowires*

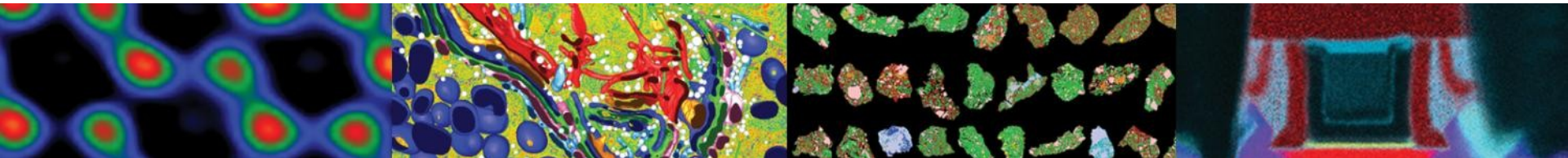
Titan<sup>TM</sup> 80-300



See beyond at [FEI.com](http://FEI.com)

## New application results on Titan G2

Sorin Lazar Bert Freitag 2010



# Advantages of the new FEI triple On-axis BF/DF1/DF2 detectors

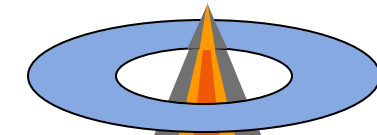
## Position and geometry of the multiple STEM detectors on Titan G2

### Detector positions

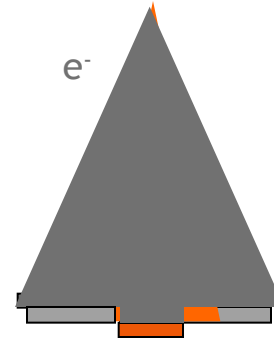
### Cross section

### Mechanical design

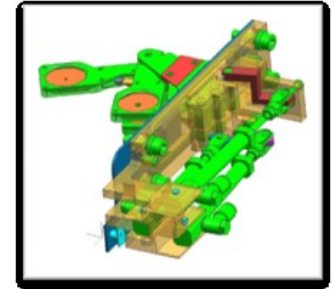
HAADF



$e^-$

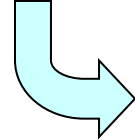


DF1  
ABF/DF2  
BF

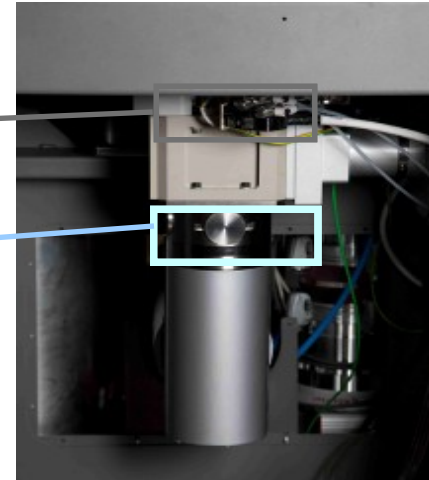


DF1  
ABF/DF2  
BF

Entrance aperture  
filter



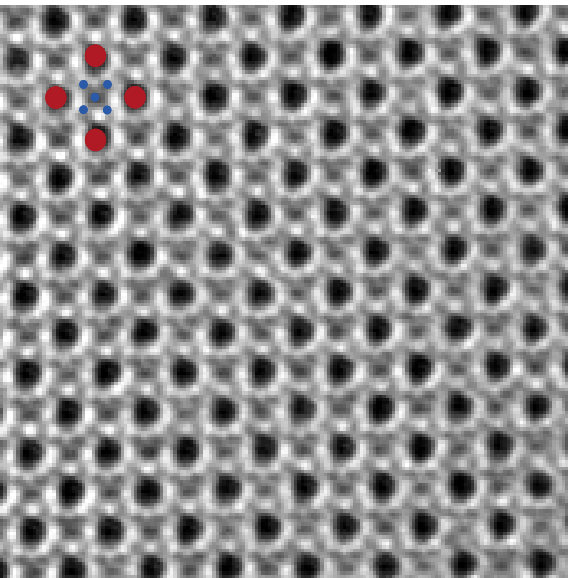
EELS



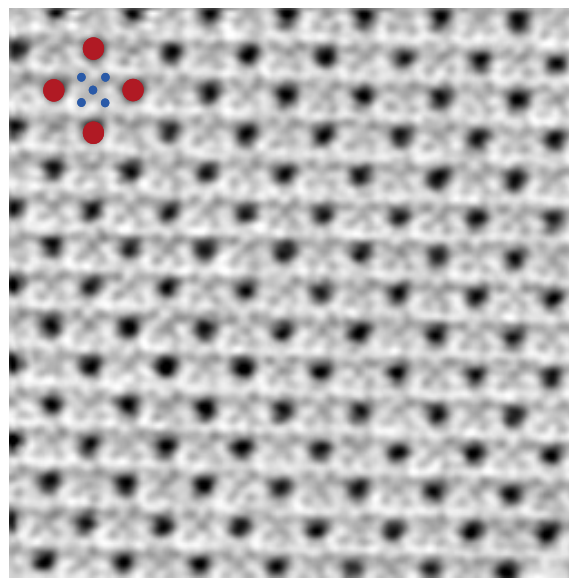
- Optimized for simultaneous acquisition of **BF/ABF/ADF/HAADF** images
- Optimized geometry for simultaneous acquisition of **ADF/HAADF/EELS** signals

Comparison between HR-TEM, ABF STEM and HAADF STEM imaging on the same sample of  $\text{LaB}_6$  in  $[100]$  projection The images are taken on  $C_s$  corrected Titan G2

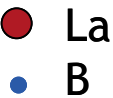
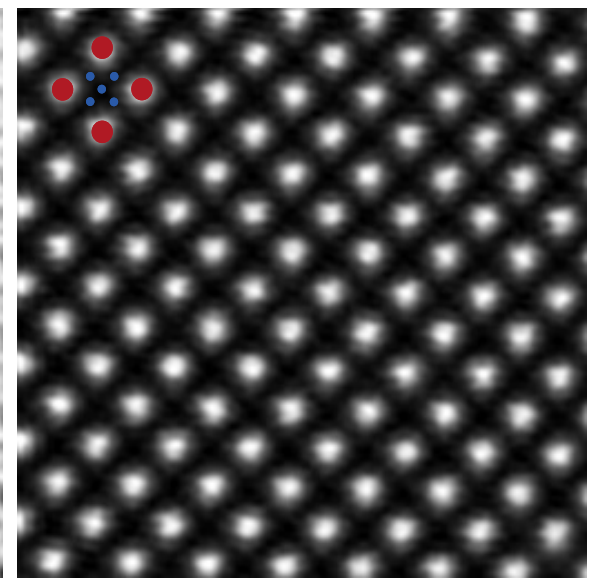
HR-TEM



ABF



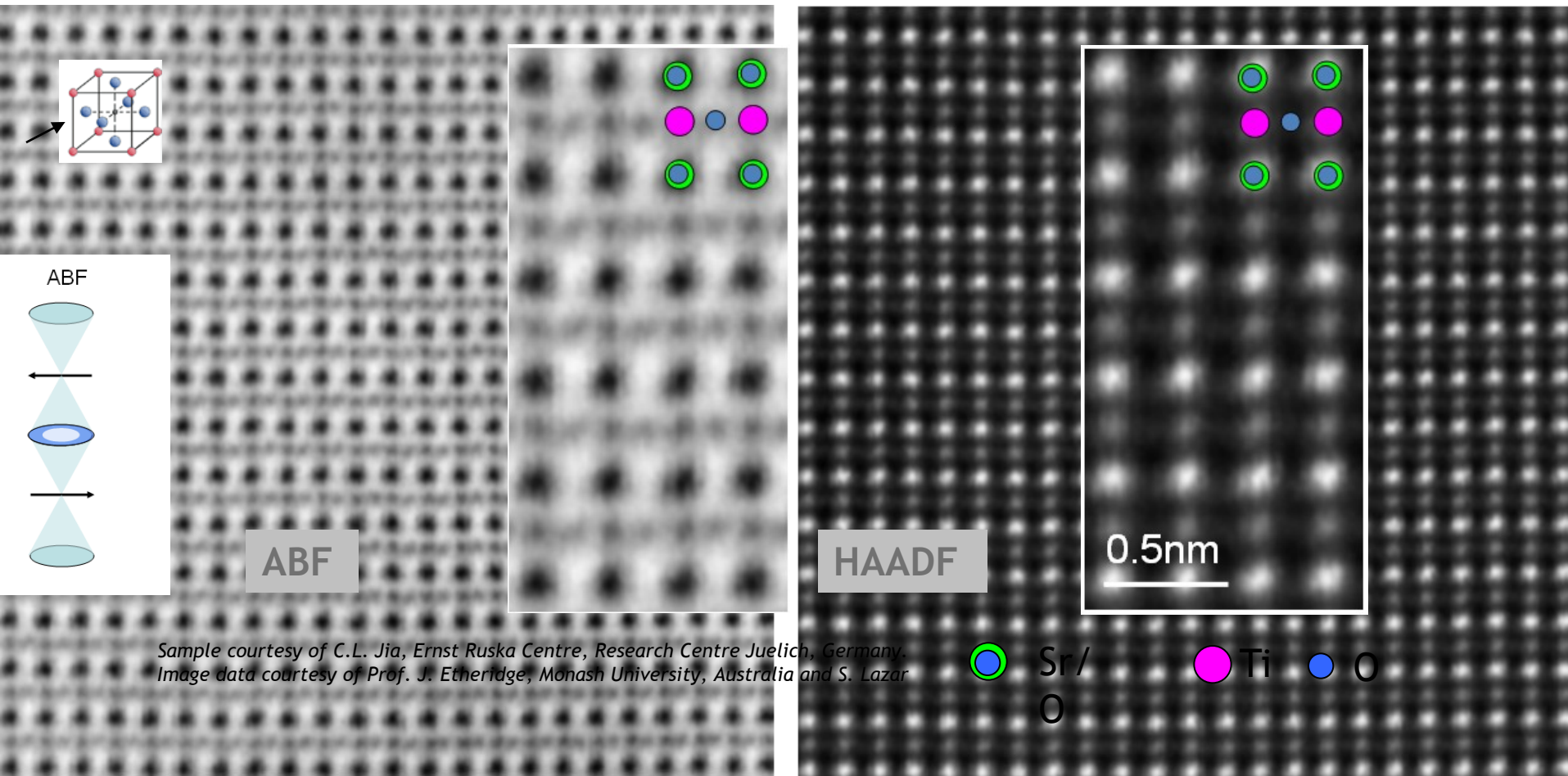
HAADF



The boron lattice can be visualized using HR-TEM and ABF imaging, while it is invisible in the HAADF image.



# ABF/HAADF STEM on Cs-corrected Titan G2 at 200kV SrTiO<sub>3</sub> in [110] projection

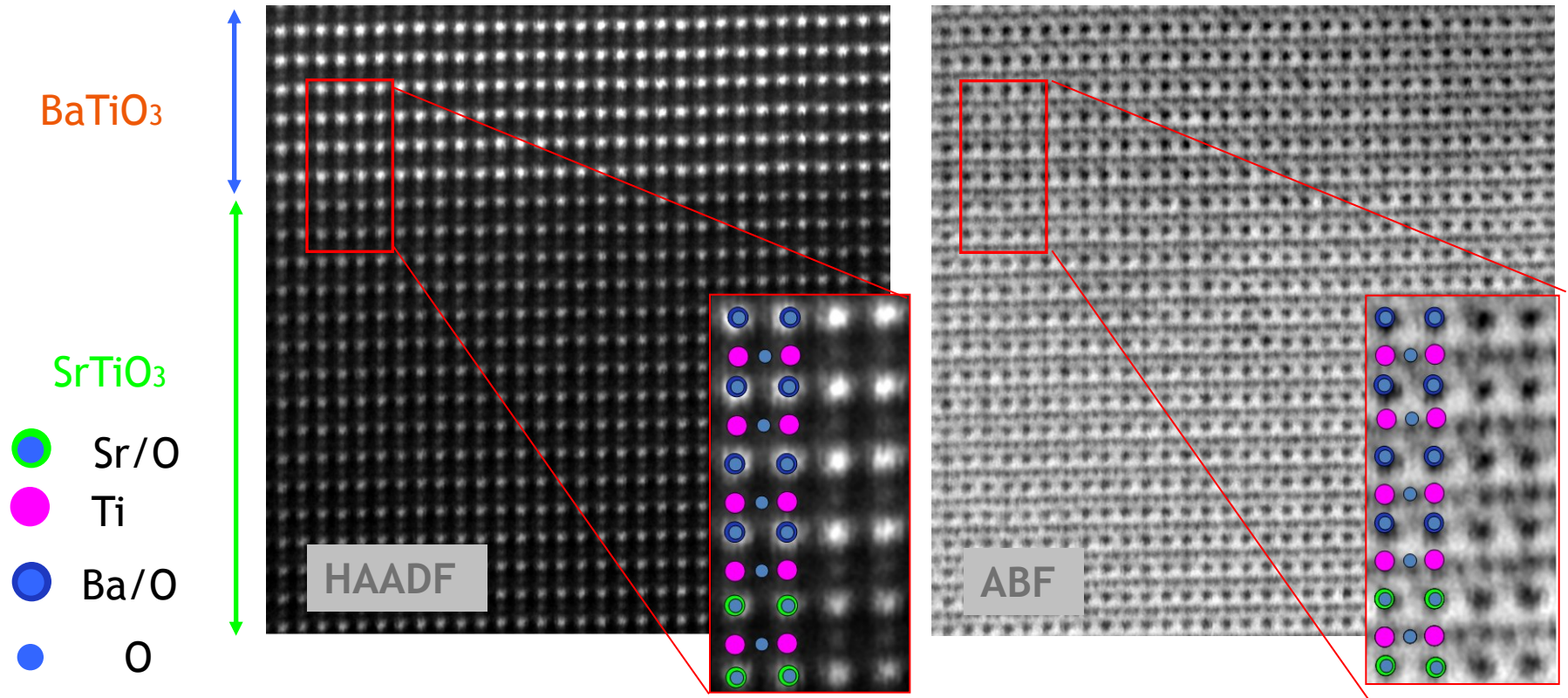


Sample courtesy of C.L. Jia, Ernst Ruska Centre, Research Centre Juelich, Germany.  
Image data courtesy of Prof. J. Etheridge, Monash University, Australia and S. Lazar

The Strontium oxide, Titanium and the pure oxygen columns can be visualized in the atomic resolution ABF STEM images in [110] projection.

A contrast difference between the titanium and pure oxygen columns is in the ABF images detectable.

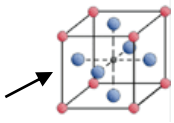
# ABF/HAADF STEM on Cs-corrected Titan G2 at 200kV BaTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> interface in [110] projection



The Strontium oxide, Titanium and the pure oxygen columns can be visualized in the atomic resolution ABF STEM images in [110] projection.

Hardly any contrast difference between the Ba and Sr columns is visible in the BaTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> interface sample using ABF imaging, while it is clearly visible in the HAADF image taken at the same area.

Sample courtesy of C.L. Jia, Ernst Ruska Centre, Research Centre Juelich, Germany.  
Image data courtesy of Prof. J. Etheridge, Monash University, Australia and S. Lazar



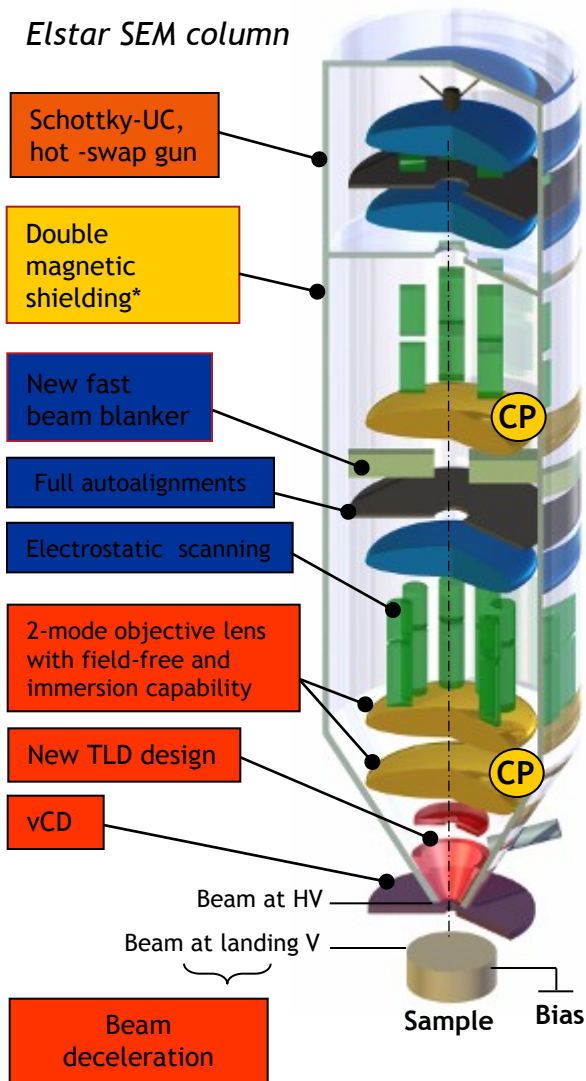
# Téma 2 – touch the limits

## SEM monochromator story

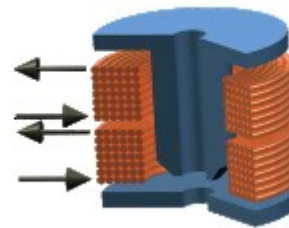




# The Magellan 400 - Unique electron optics



*XHR performance*  
**Schottky-UC (monochromatized) gun**



CP

*ConstantPower™*  
*lens technology\**

**Uncompromised stability**

**New fast beam blanker** *for lithography and prototyping*  
**Full autoalignment\*** *for best use of the different regimes*  
**Electrostatic scanning** *for improved linearity & reproducibility*

**Uncompromised detection**

**TLD** *(through the lens detector, SE/BSE)*  
**ETD** *(Everhart Thornley, SE)*  
**vCD** *(low voltage high contrast solid state detector, below the lens)*  
**STEM** *BF DF HAADF, 14 segments*

*\* inherited from Titan developments*

# How to improve further SEM resolution?

Aim: better resolution at low kV's ( $\leq 2$  kV)

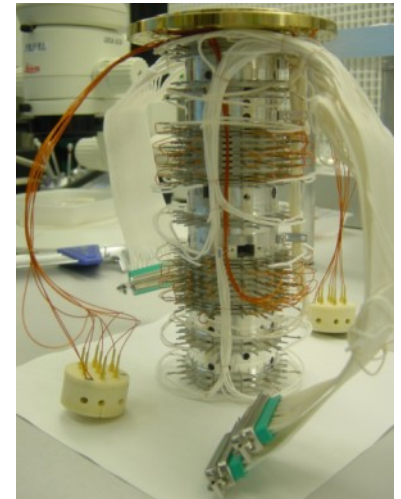
→ limiting contribution: chromatic aberration  $\sim C_c \cdot \Delta U / U$

~~Correct lens aberration  $C_c$ ? →  $C_c$ -corrector needed: complex and costly mechanics/electronics/software~~

Decrease  $\Delta U$ ?

~~→ using cold-FEG: less stable and less max current than Schottky FEG~~

→ using monochromator: can we maintain versatility of the column?



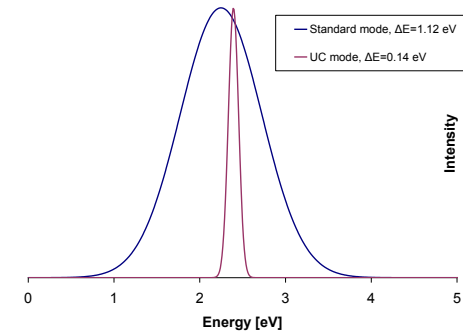
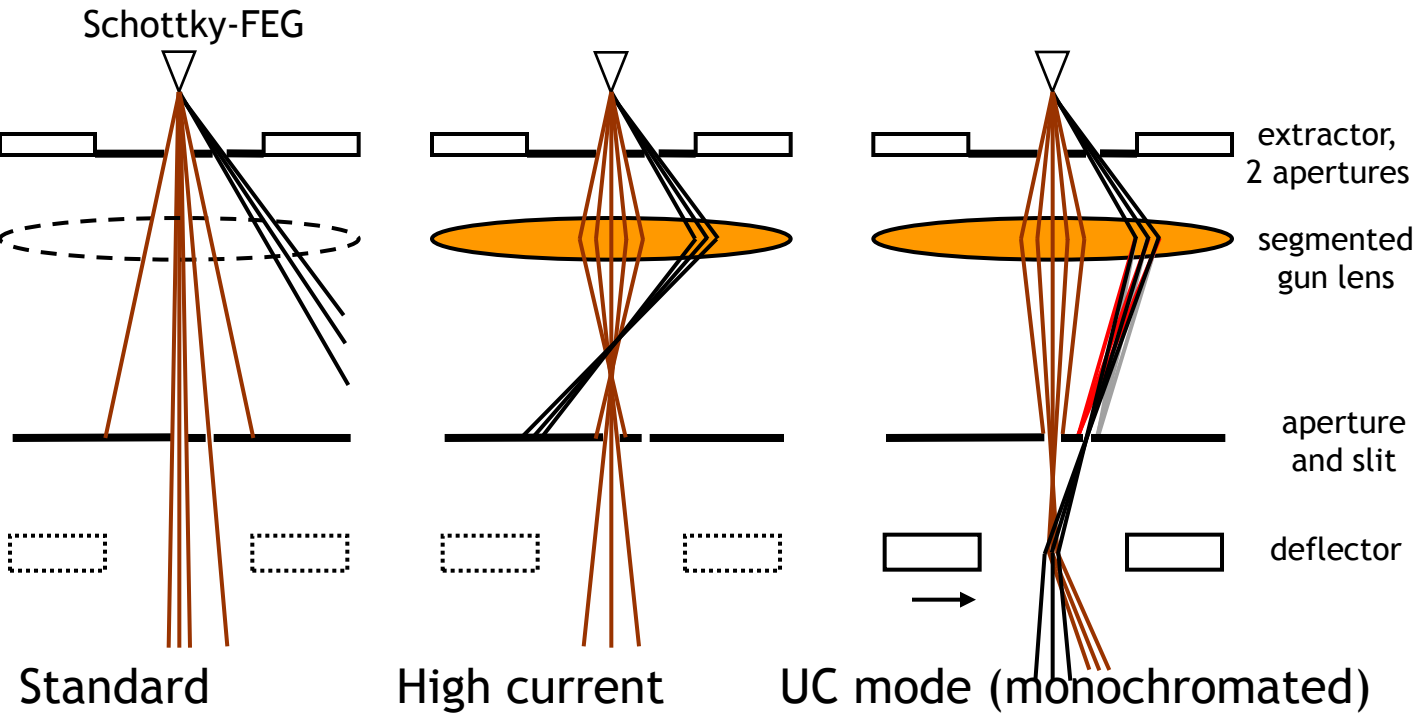
SEM Corrector

# The UC Gun

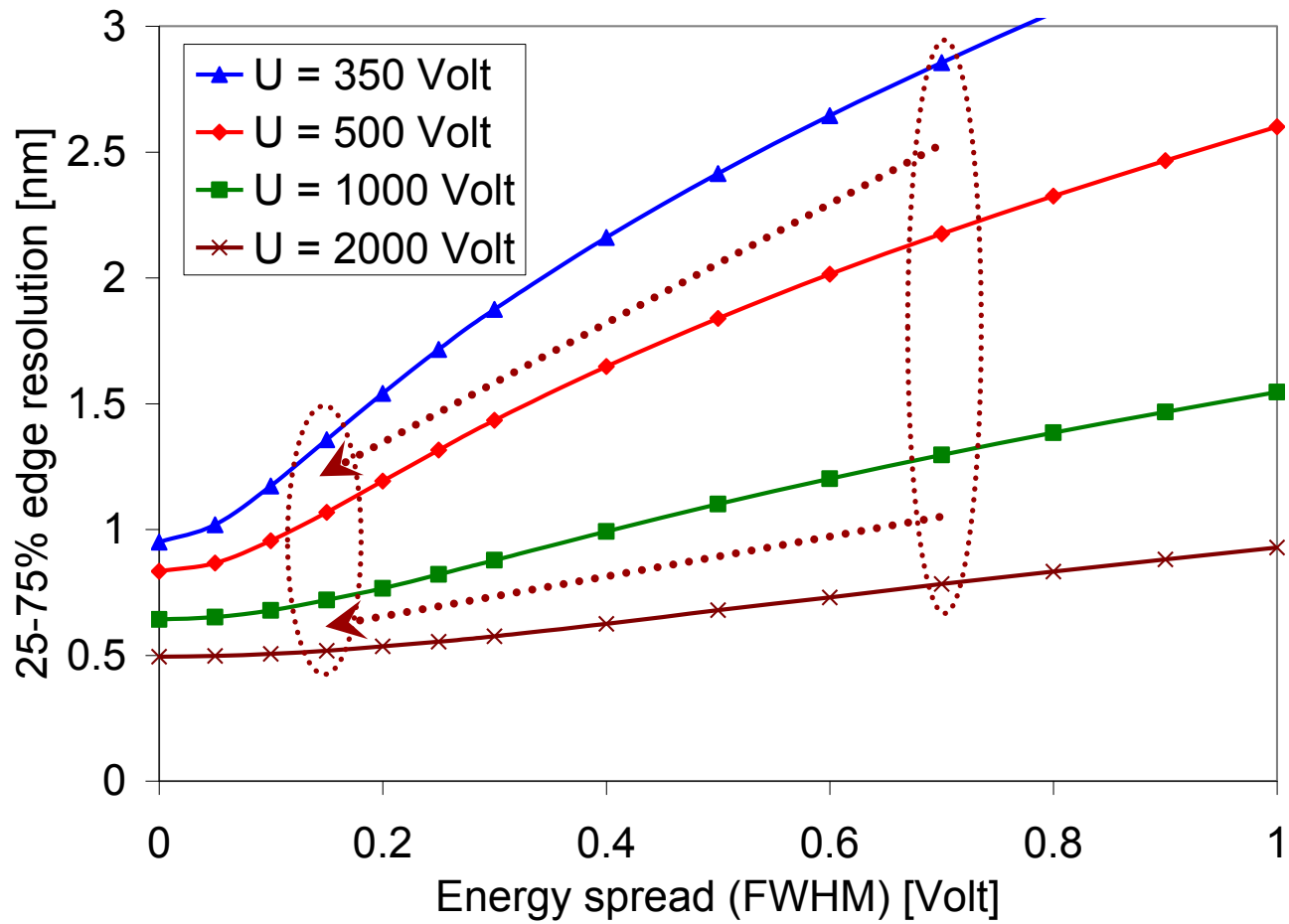
## 3 beam modes

From: Henstra et al, M&M 2008 proc.

Gun technology	Energy spread
Schottky	0.5-1.0 eV
Cold Field	0.25-0.35 eV
Schottky-UC	0.15 eV



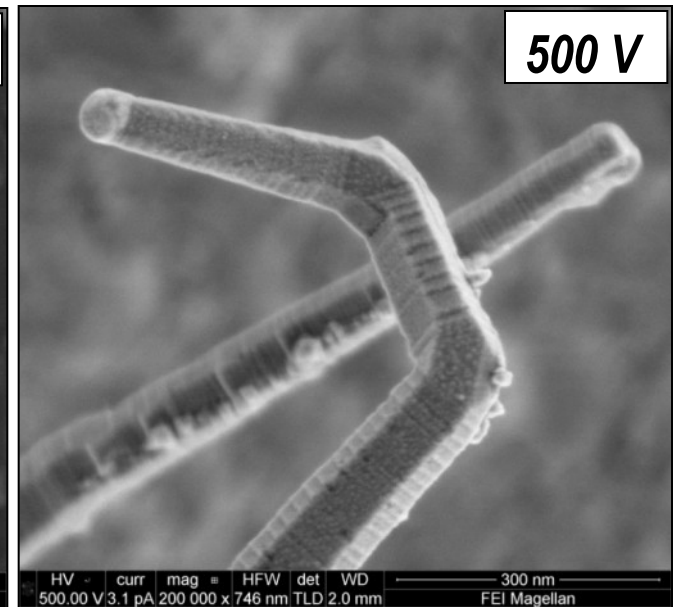
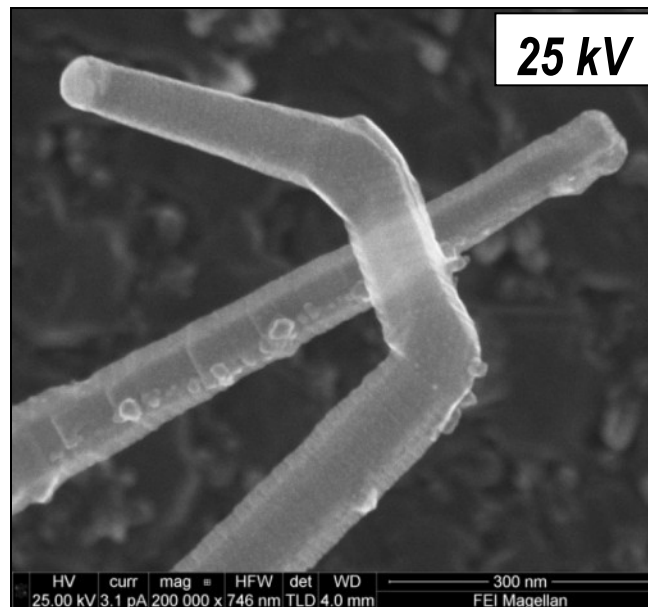
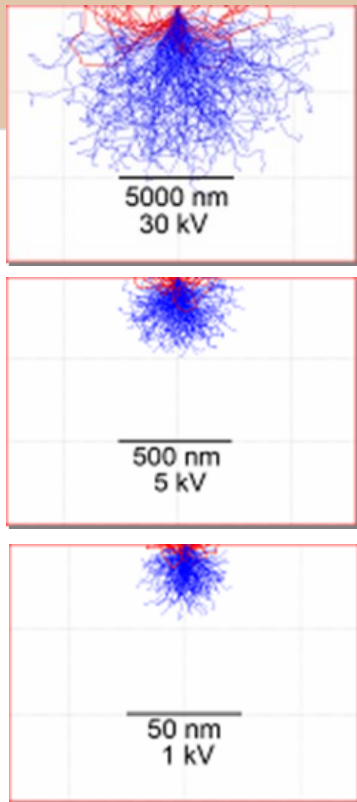
# The Elstar UC Gun - Benefit of reducing the energy spread



From: Young et al, SPIE 2009

# Why a low-voltage, high resolution SEM?

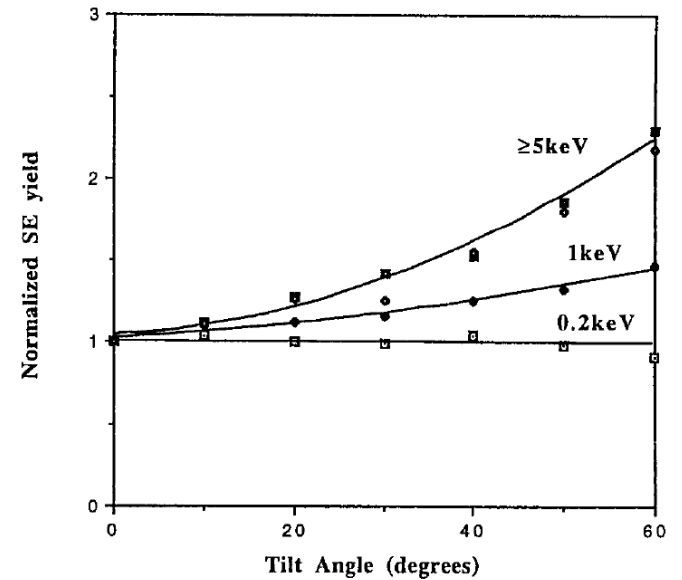
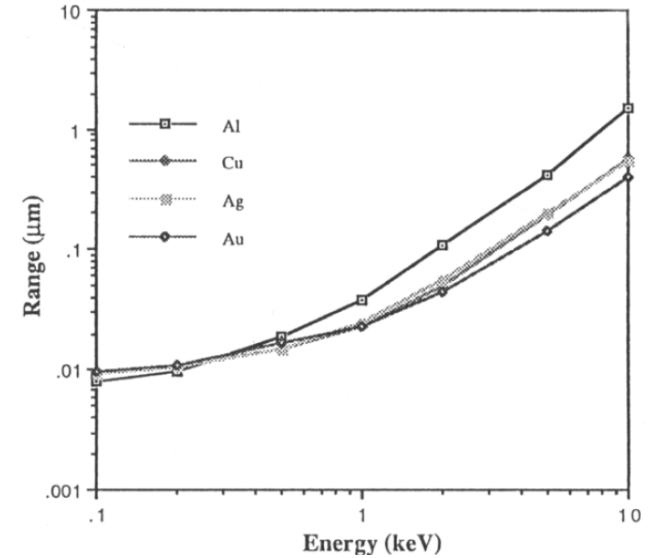
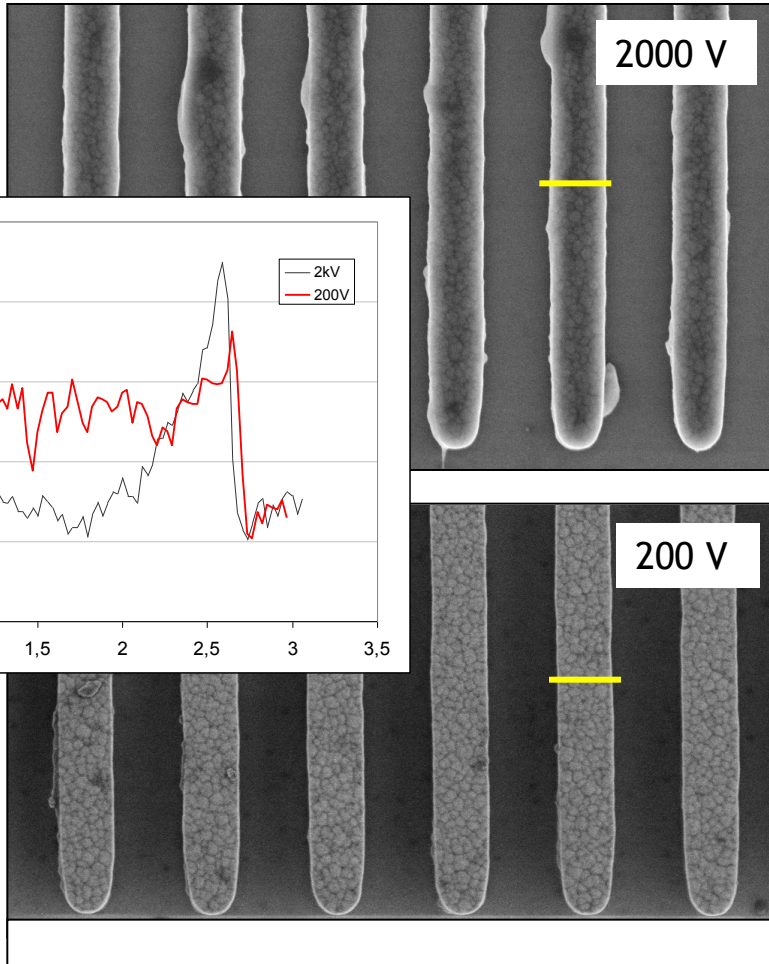
- Higher surface sensitivity
- Reduced edge effects
- More control over beam damage or charging
- Different contrasts



*Nanowires sample courtesy of Dr. Emanuel Tutuc, University of Texas, Austin*

*Monte Carlo simulations of electron scattering in silicon illustrate the effect of beam energy on interaction volume over two orders of magnitude. Primary electrons are blue, back-scattered electrons are red.*

# Reduced edge effects



Source: Joy and Joy, Micron  
27(3-4), 247-263 (1996)

## Co můžete čekat vy od nás?

- Dovedeme pracovat se studenty - Internship program
- Udělujeme každoročně FEI stipendium pro absolventy do 30let ve výši 2 x 100tis.Kč
- Podporujeme Přednášky na školách – nyní MU Elektronová mikroskopie
- Zapůjčili jsme přístroj Quanta 3D na MU PŘF
- Umožníme Vám získat mezinárodní zkušenosti.
- V platovém ohodnocení jsme na špici průmyslu IT/Telco.
- Systémem výhod podporujeme zaměstnance v každé etapě jejich života.
- Záleží nám na životním prostředí a našem okolí.

...a hlavně s námi není nuda 😊





# Imagine

# Děkuji Vám za pozornost

[Jiri.Ocadlik@fei.com](mailto:Jiri.Ocadlik@fei.com)

