

---

# Akceleratory w fizyce materiałów

**Andrzej Turowski**



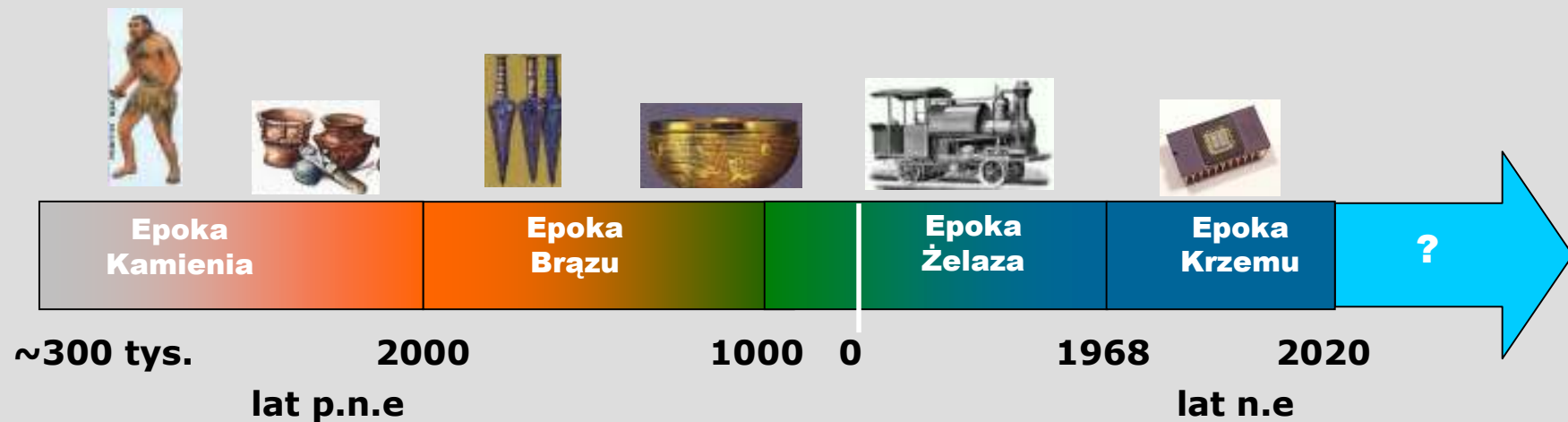
*Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych  
Warszawa*

**&**



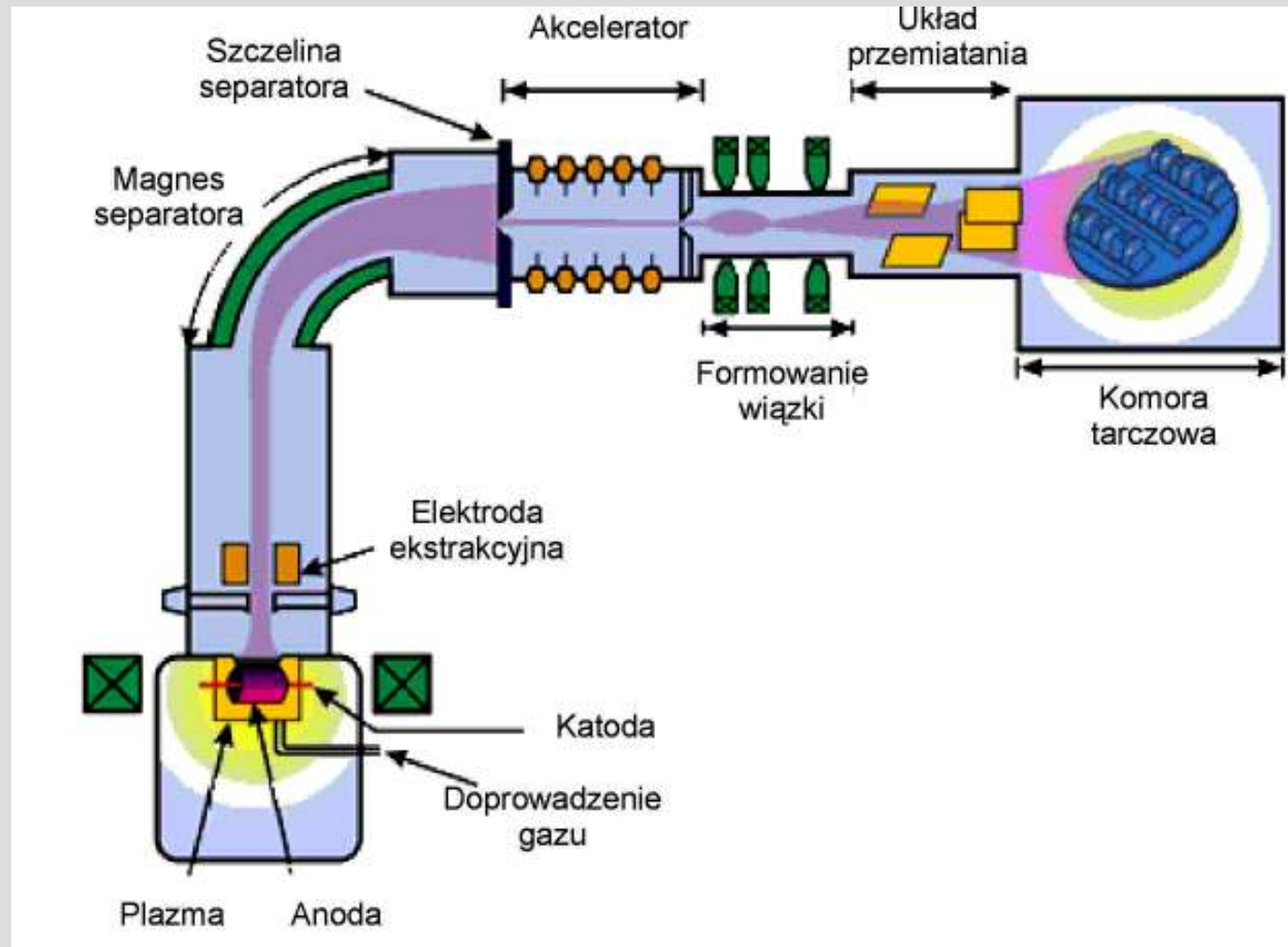
*Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana  
Świerk/Otwock*

O postępie cywilizacji decydują  
**materiały wykorzystywane przez ludzi  
do wytwarzania narzędzi**

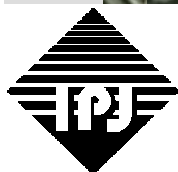
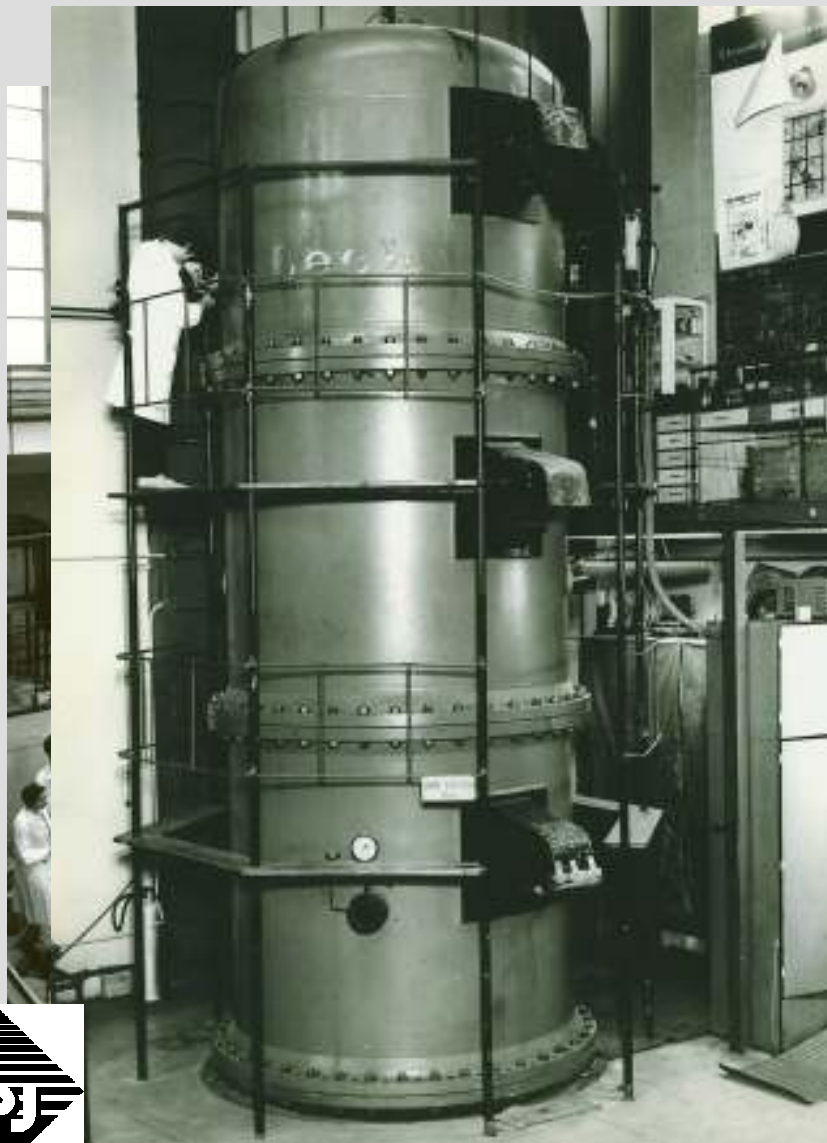


***Fizyka materiałów***

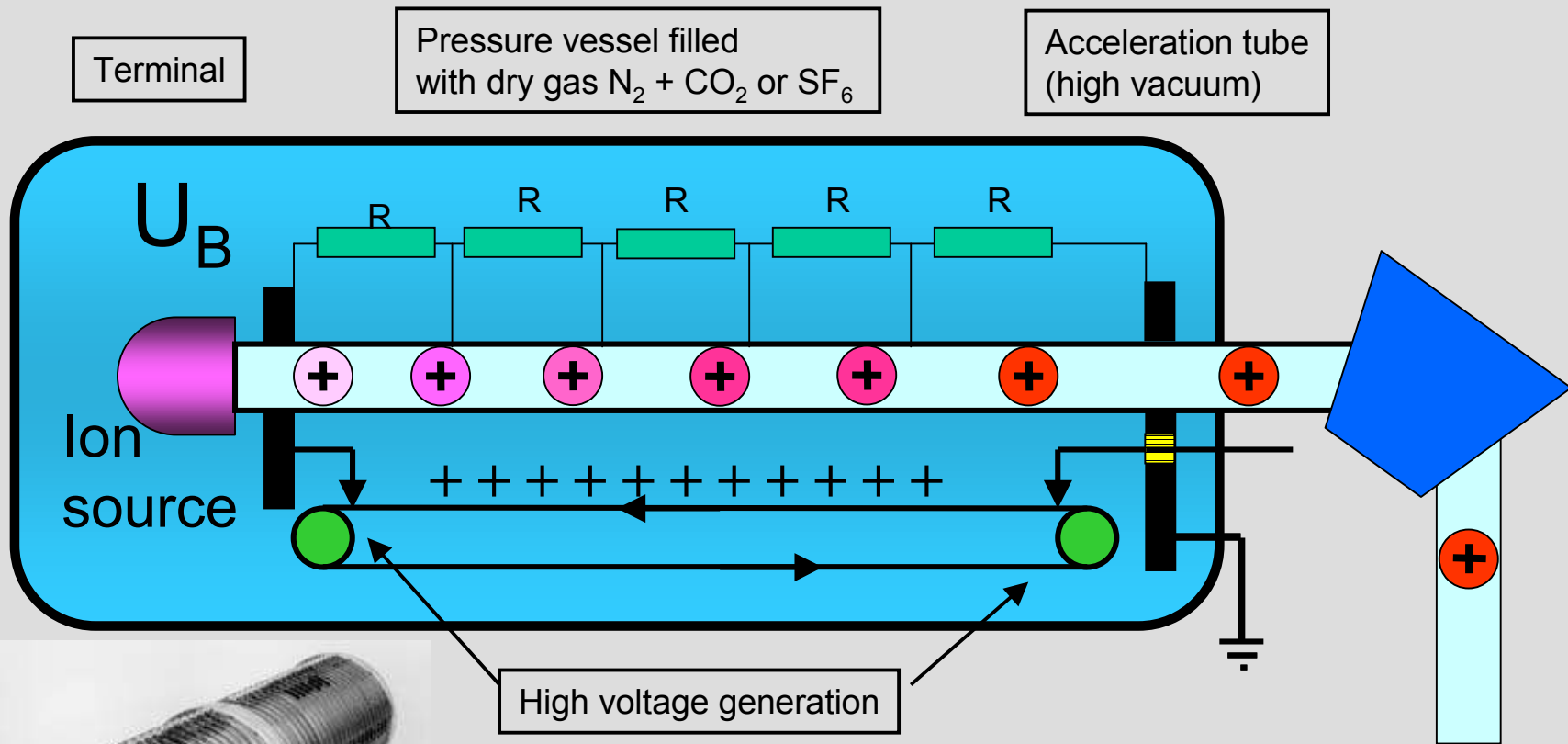
# Akcelerator jonów



Dawne akceleratory



Akcelerator Van de Graaffa



## Jakie akceleratory stosujemy w badaniach materiałowych?

### ❖ **Implantatory jonów**

Napięcie przyspieszające: 50 - 500 kV

Natężenie prądu wiązki może przekraczać 250 mA

Naświetlana powierzchnia kilka tys. cm<sup>2</sup>

### ❖ **Akceleratory wysokich energii**

Napięcie przyspieszające: 1 - 6 MV

Energia przyspieszanych jonów może przekraczać 100 MeV

# Akceleratory w fizyce materiałów

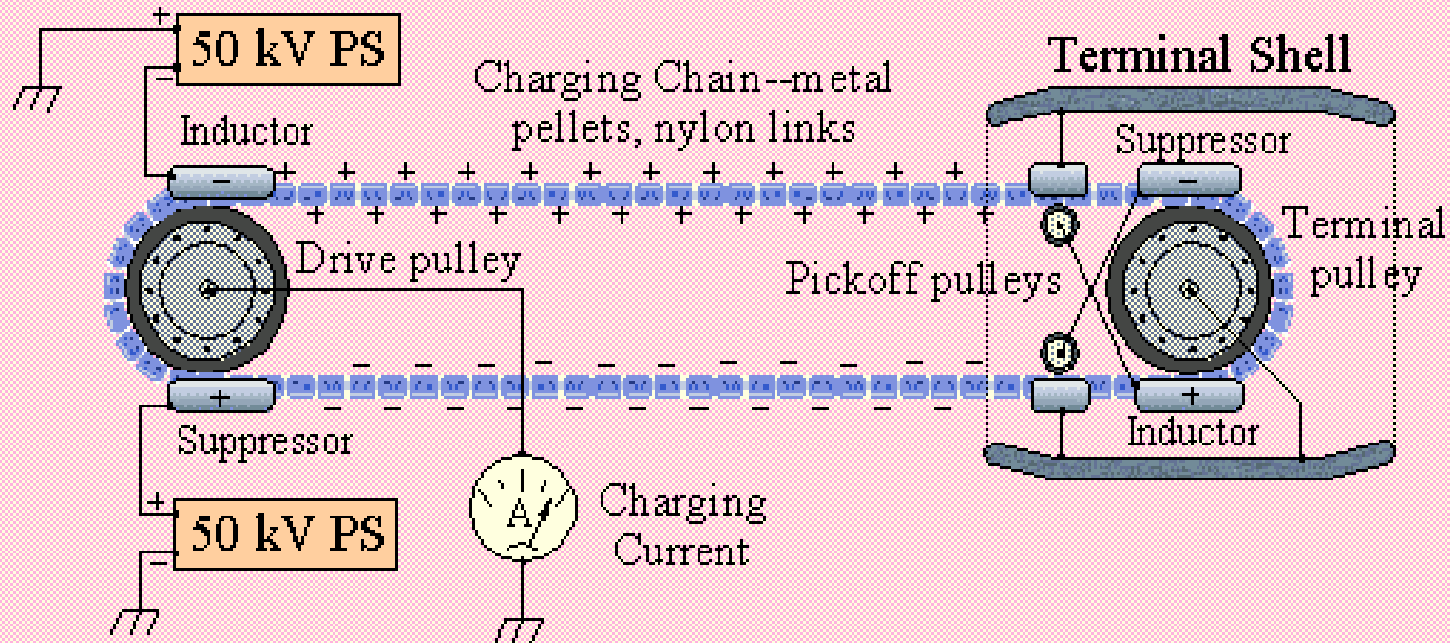


National Electrostatics Corp.

# NEC



## Pelletron Charging System (Positive configuration shown)



Model 3SDH  
tandem Pelletron  
Channeling RBS

*NEC Pelletron Accelerator Systems provide high quality ion and electron beams with energies from 10's of keV to 100's of MeV*



## Akceleratory w fizyce materiałów



**HIGH VOLTAGE ENGINEERING**

Particle Accelerator Systems, Amersfoort, The Netherlands

**Singletron accelerators up to 6.0 MV**

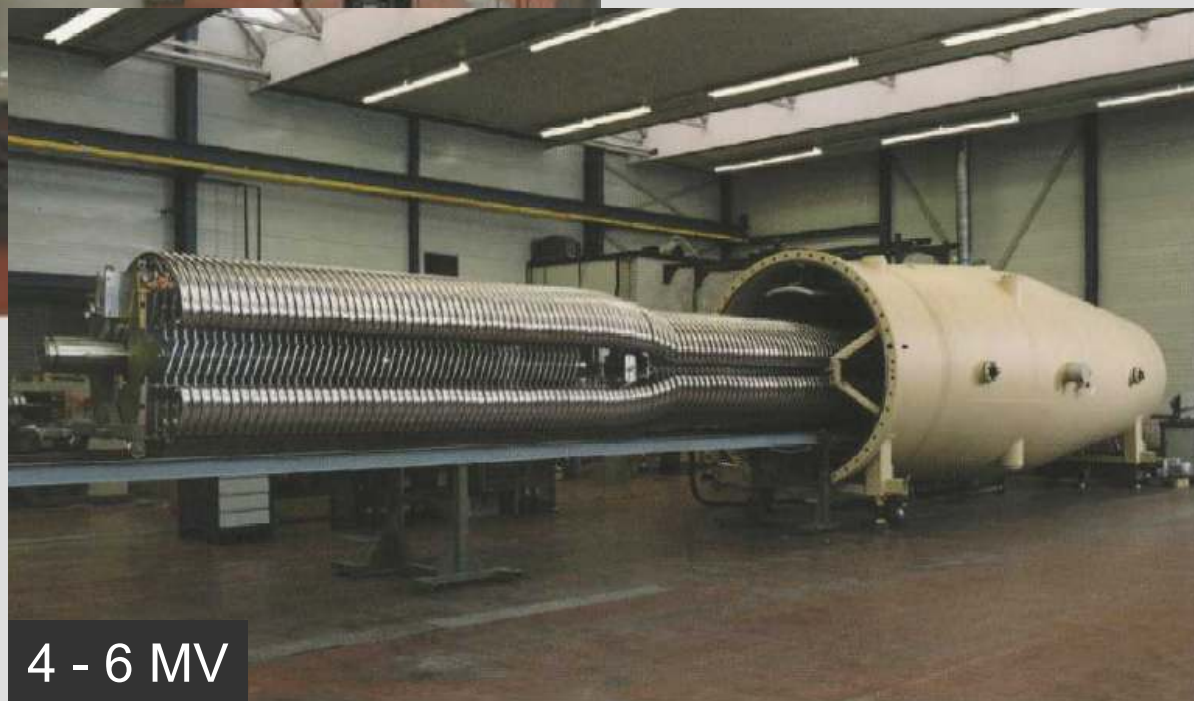




**Tandetron tandem accelerators**



1 - 3 MV



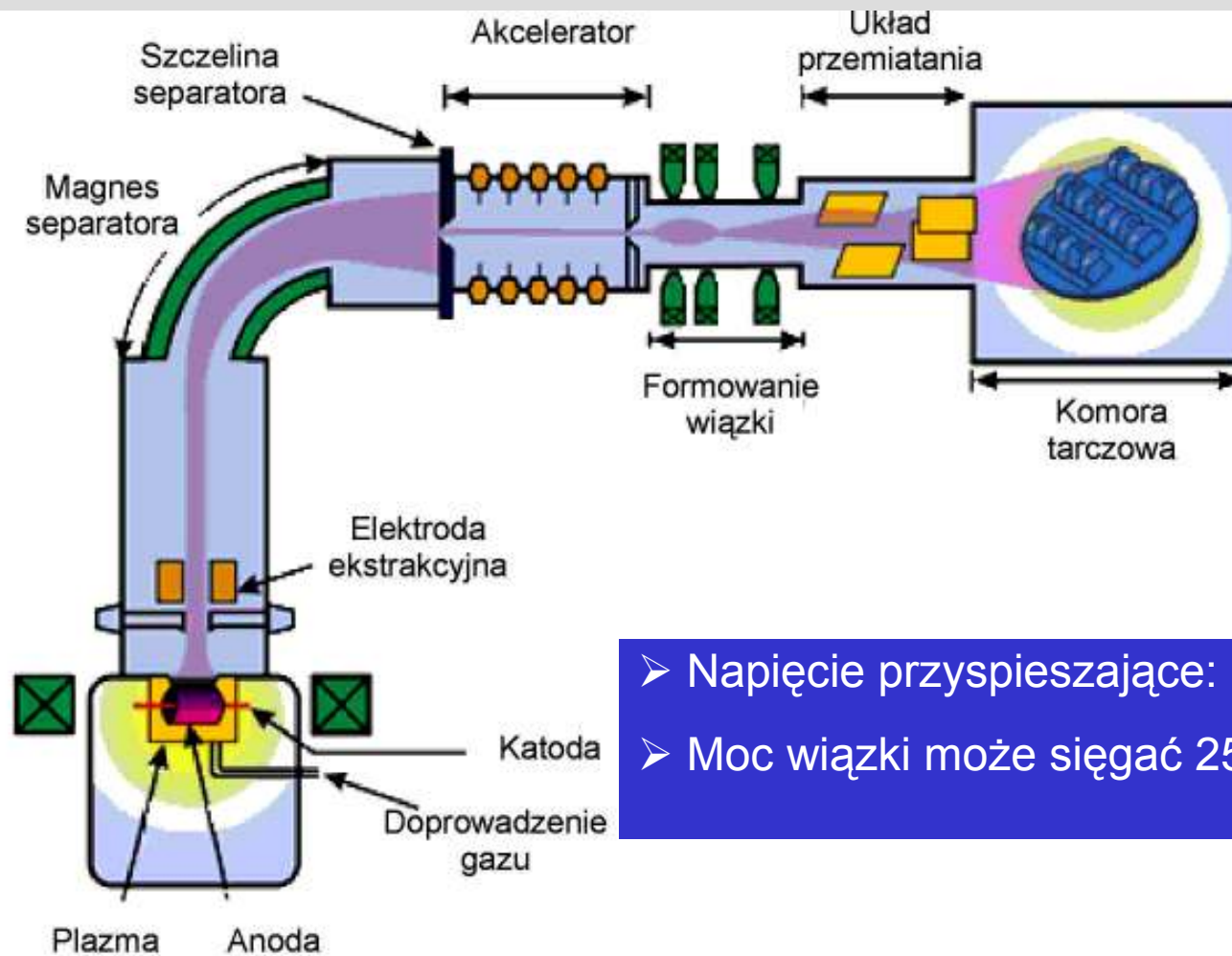
4 - 6 MV

Moc wiązki do 25 kW

## Do czego służą akceleratory w fizyce materiałów?

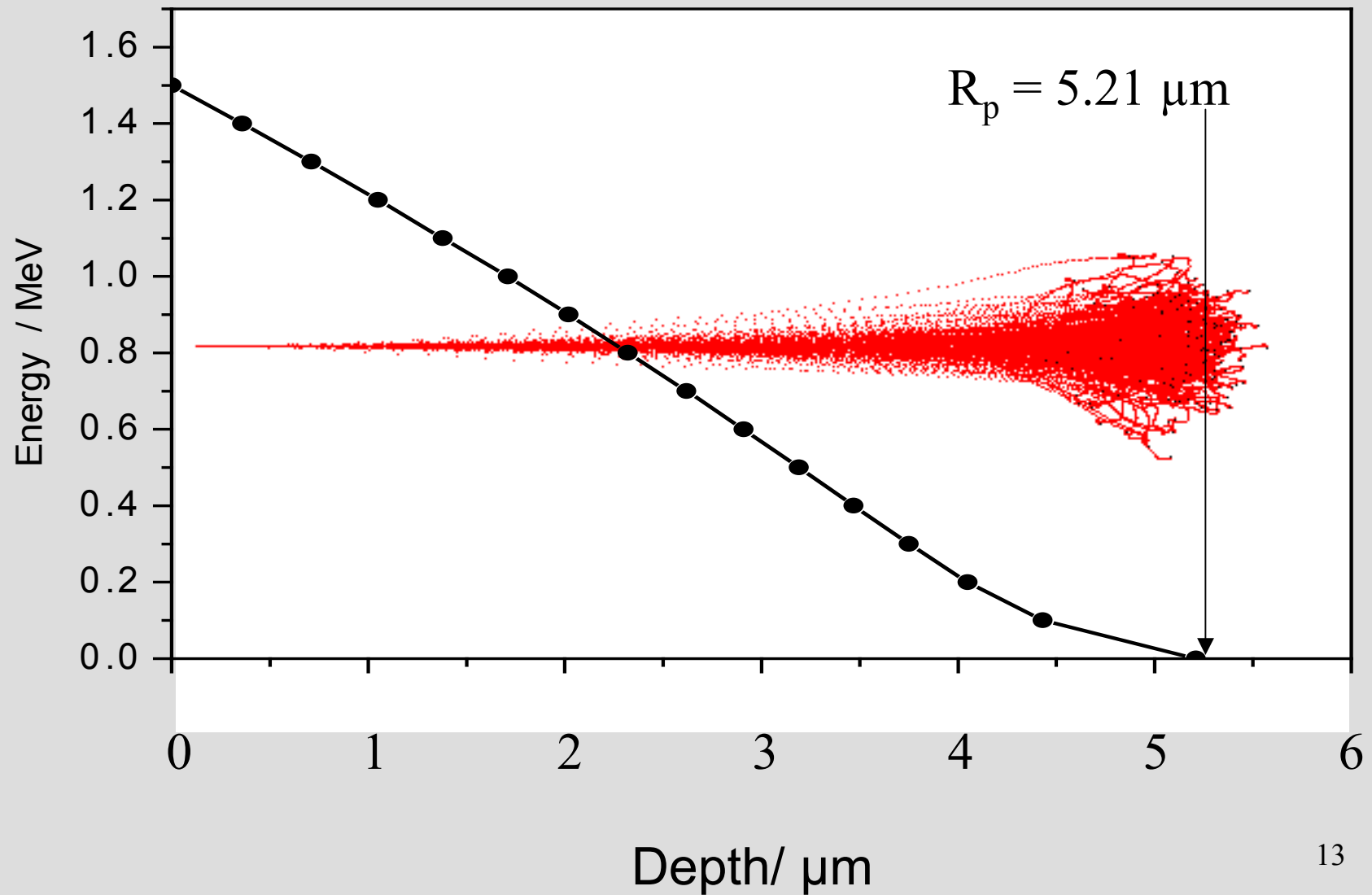
- ❖ Modyfikacja warstw powierzchniowych ciał stałych  
Ion Beam Modification of Materials
- ❖ Mikroanaliza warstw powierzchniowych  
Ion Beam Analysis

## Implantator jonów



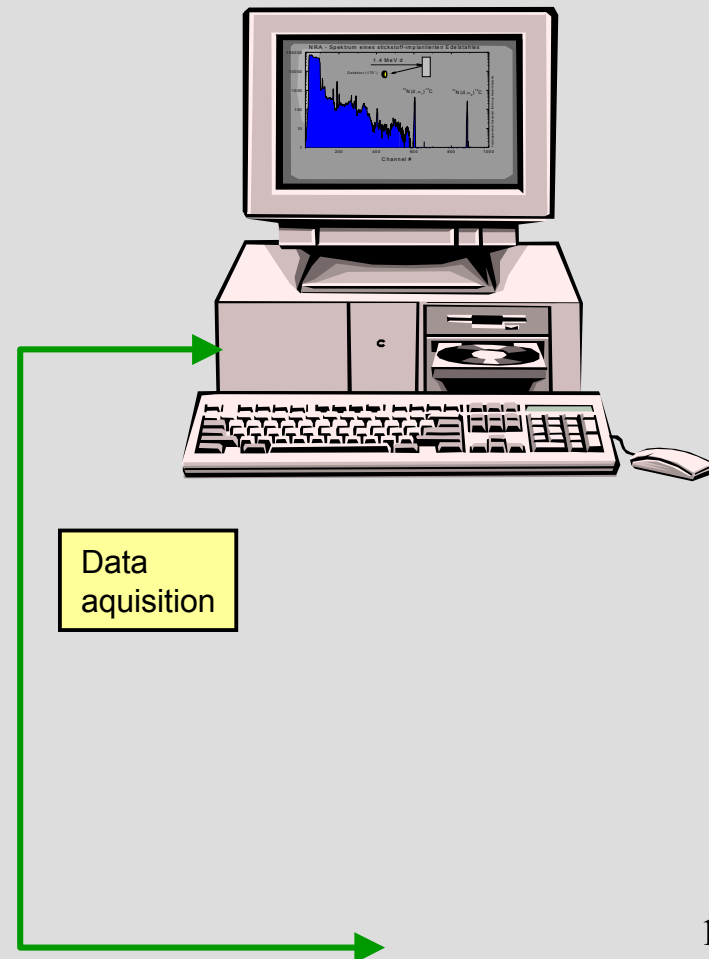
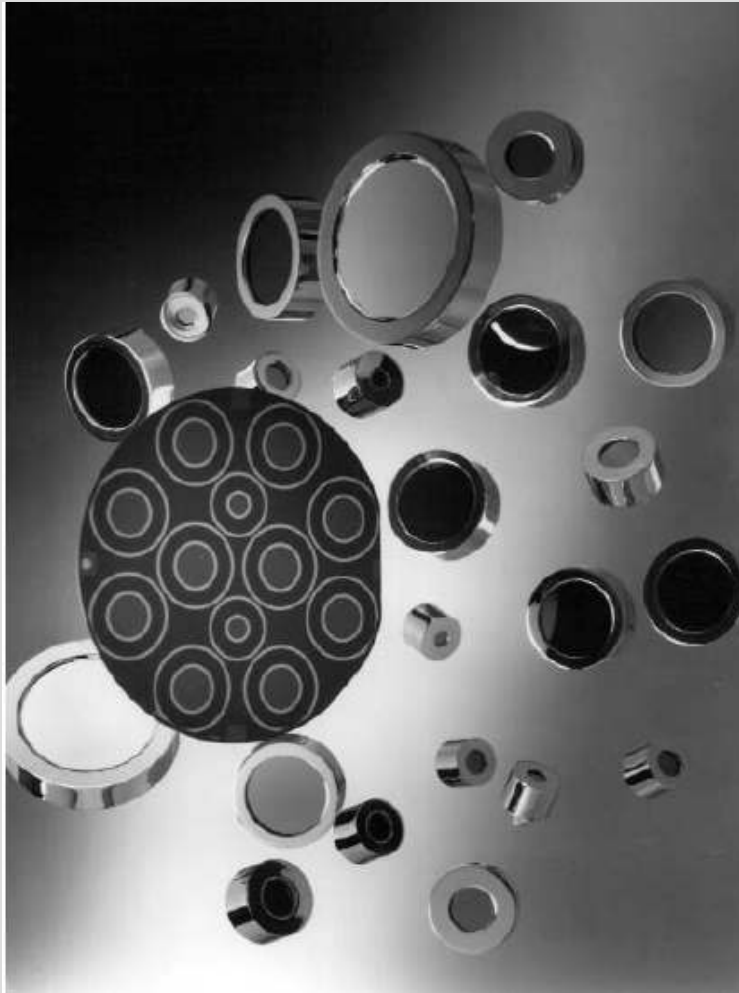
- Napięcie przyspieszające: 100 - 500 kV
- Moc wiązki może sięgać 25 kW

Energy - Depth – Relation for 1.5 MeV He-ions in Si

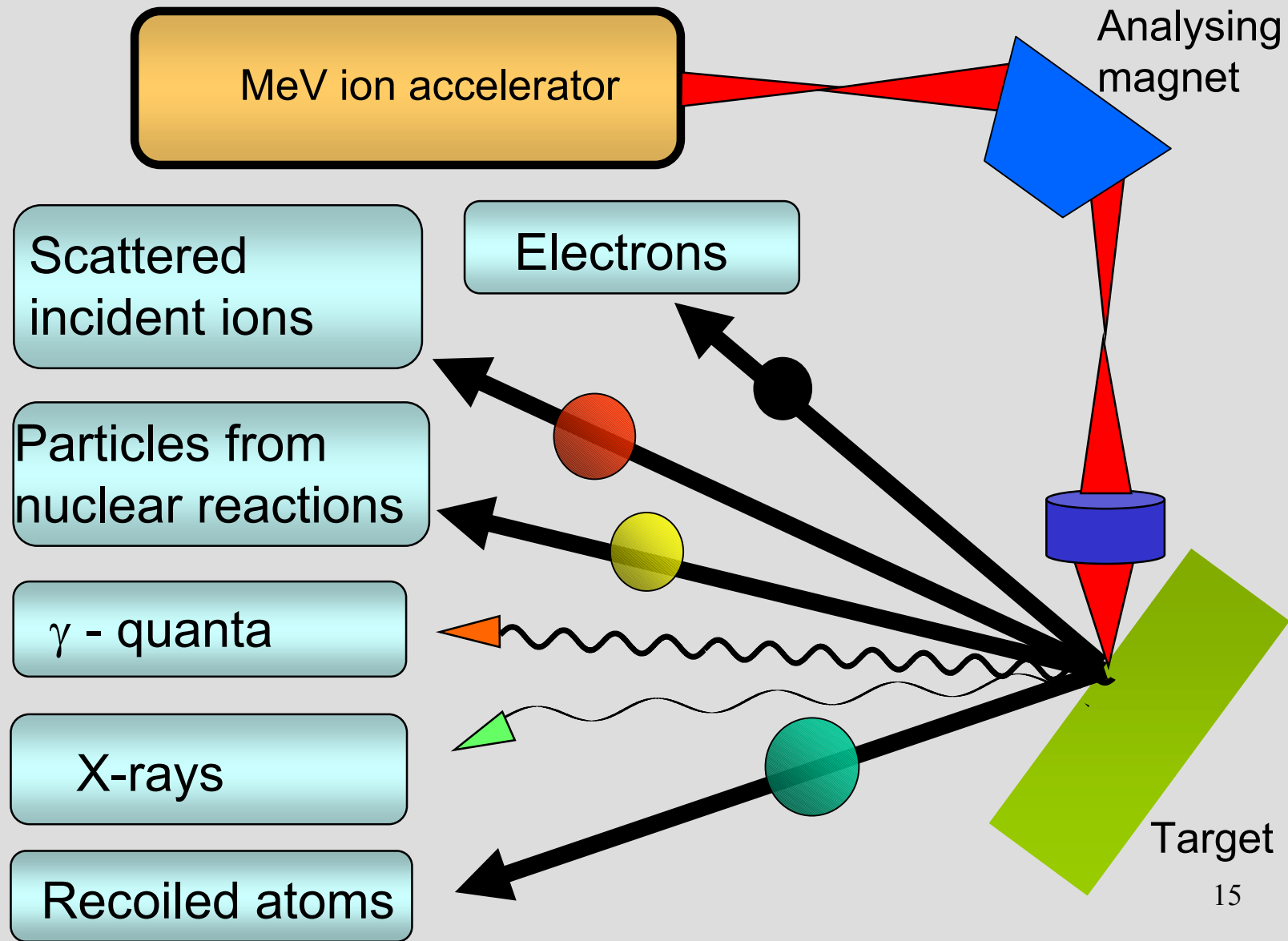




## Mikroanaliza jądrowa – Ion Beam Analysis



# Ion Beam Analysis with MeV- ions



## Mikroanaliza jądrowa – Ion Beam Analysis

*Jest to unikalna metoda badawcza pozwalająca na (zazwyczaj) nieniszczącą analizę warstw powierzchniowych o grubościach poniżej 2  $\mu\text{m}$  a w szczególności na:*

- ilościową analizę pierwiastkową
- wyznaczanie głębokościowych rozkładów koncentracji składników próbek
- badanie struktur defektowych kryształów

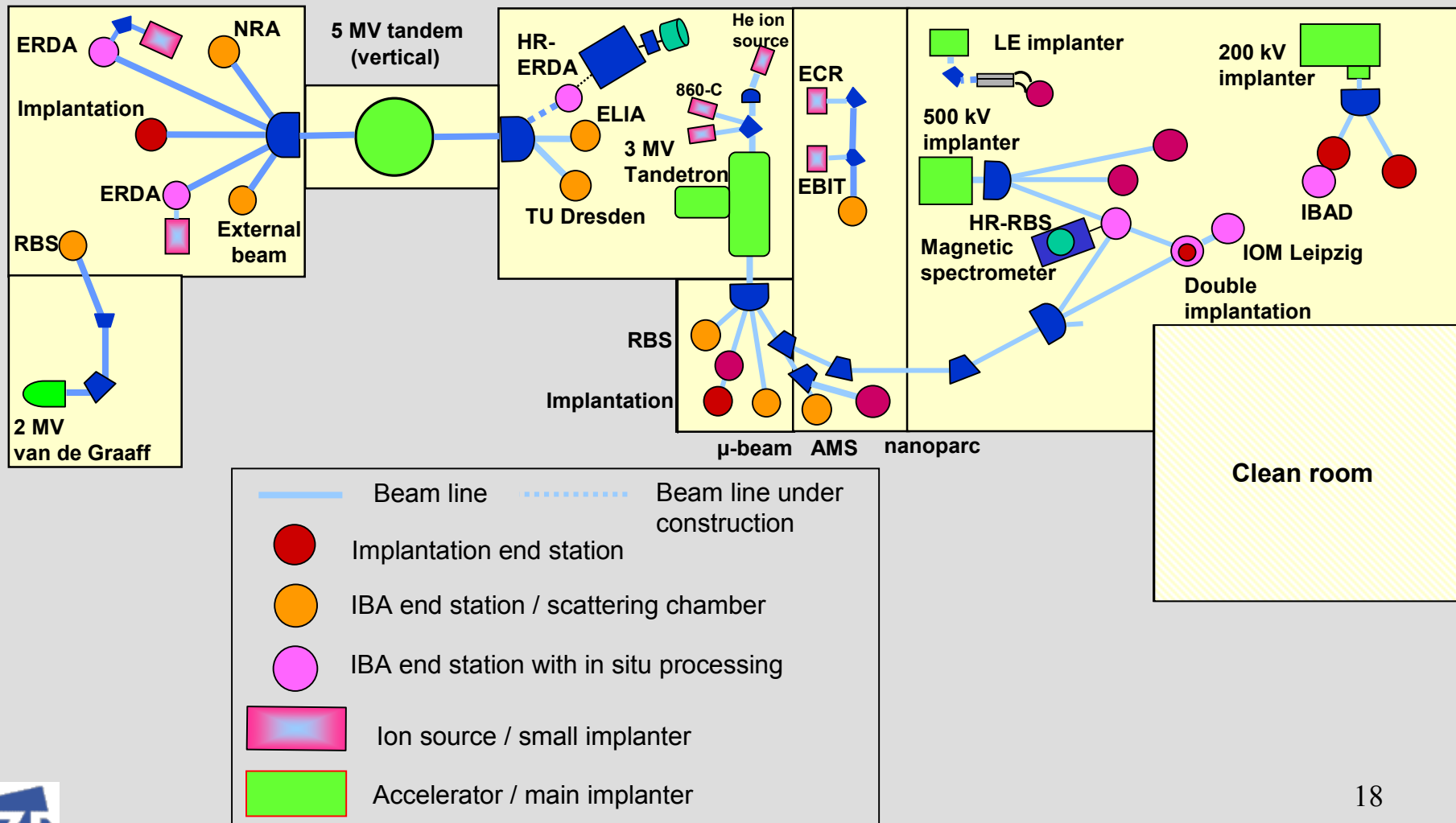


## Ośrodki badawcze

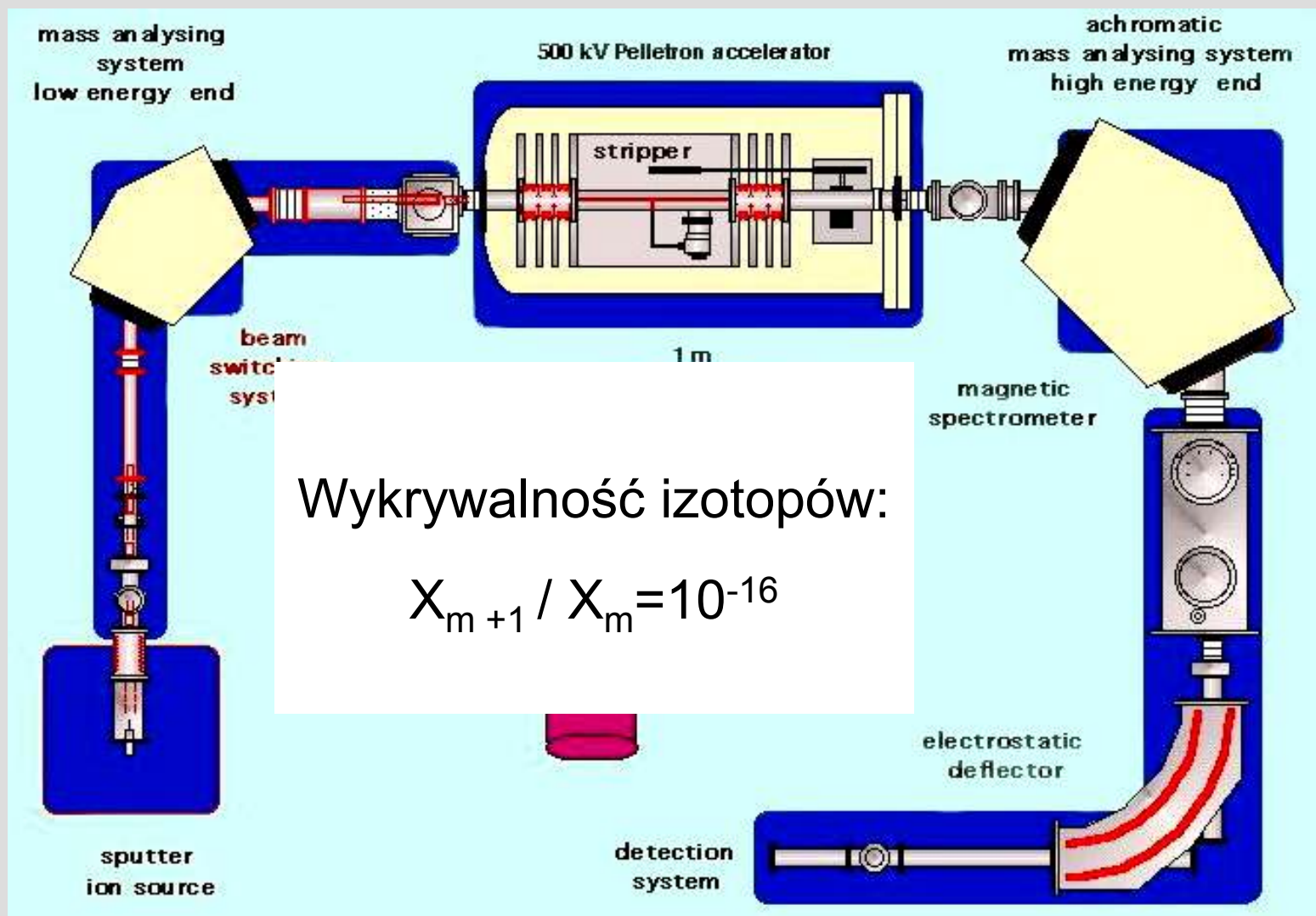
### **Narodowe centra badawcze (koszt inwestycji ok.100 mln €) :**

- Ion Engineering Research Center (1988), Kansai Science City, Osaka (Japonia)
- TIARA (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Applications), Japan Atomic Energy Research Institute
- Institute of Ion Beam Physics and Materials Science (1991), Forschungszentrum Rossendorf (Niemcy)
- Research Center for Nuclear Microscopy, National University of Singapore
- Wielkie laboratoria amerykańskie jak: Sandia, Los Alamos i in.

# Rossendorf Ion Beam Laboratory (Institute of Materials Research)



## Accelerator Mass Spectrometry



Dwa największe wyzwania stojące przed fizyką materiałów u progu XXI wieku to wg. Materials Research Society:

**1) materiały dla nowych przyrządów elektronicznych**

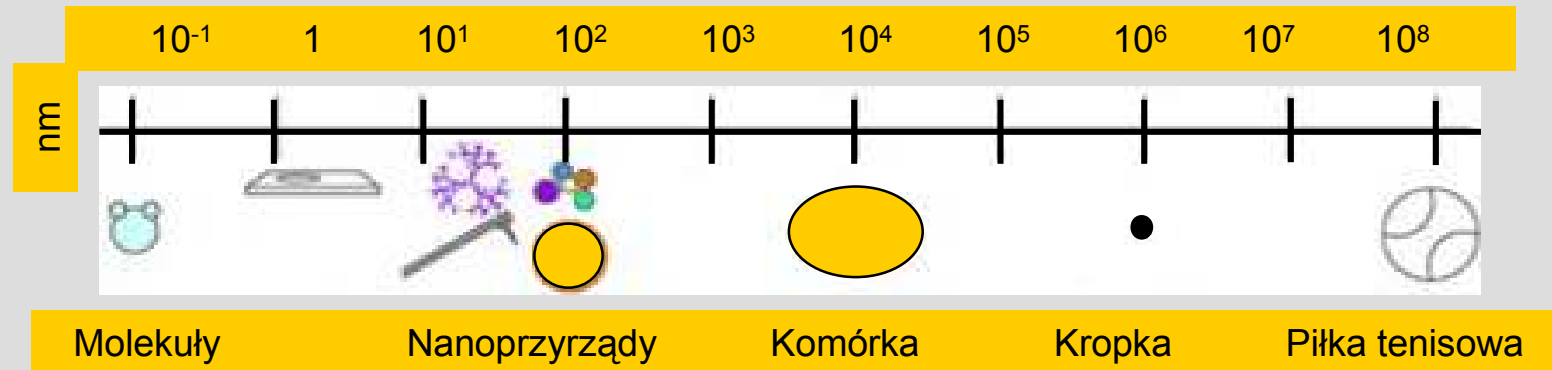
które pozwolą na opanowanie lawinowego przyrostu ilości informacji (przechowywanie i transmisja)

**2) materiały biozgodne**

z których można wytwarzać części zamienne dla żywych organizmów

Szansą jest **nanotechnologia**

## Akceleratory w fizyce materiałów



*Nanometr* =  $10^{-9} m$  - długość typowego wiązania atomowego  $\cong 0.5$  nm

*Typowa cząstka kurzu* (średnica  $\cong 0.1$  mm) - zawiera  $10^{16}$  atomów

*Typowe ziarno polikryształu* (średnica  $\cong 10$   $\mu m$ )

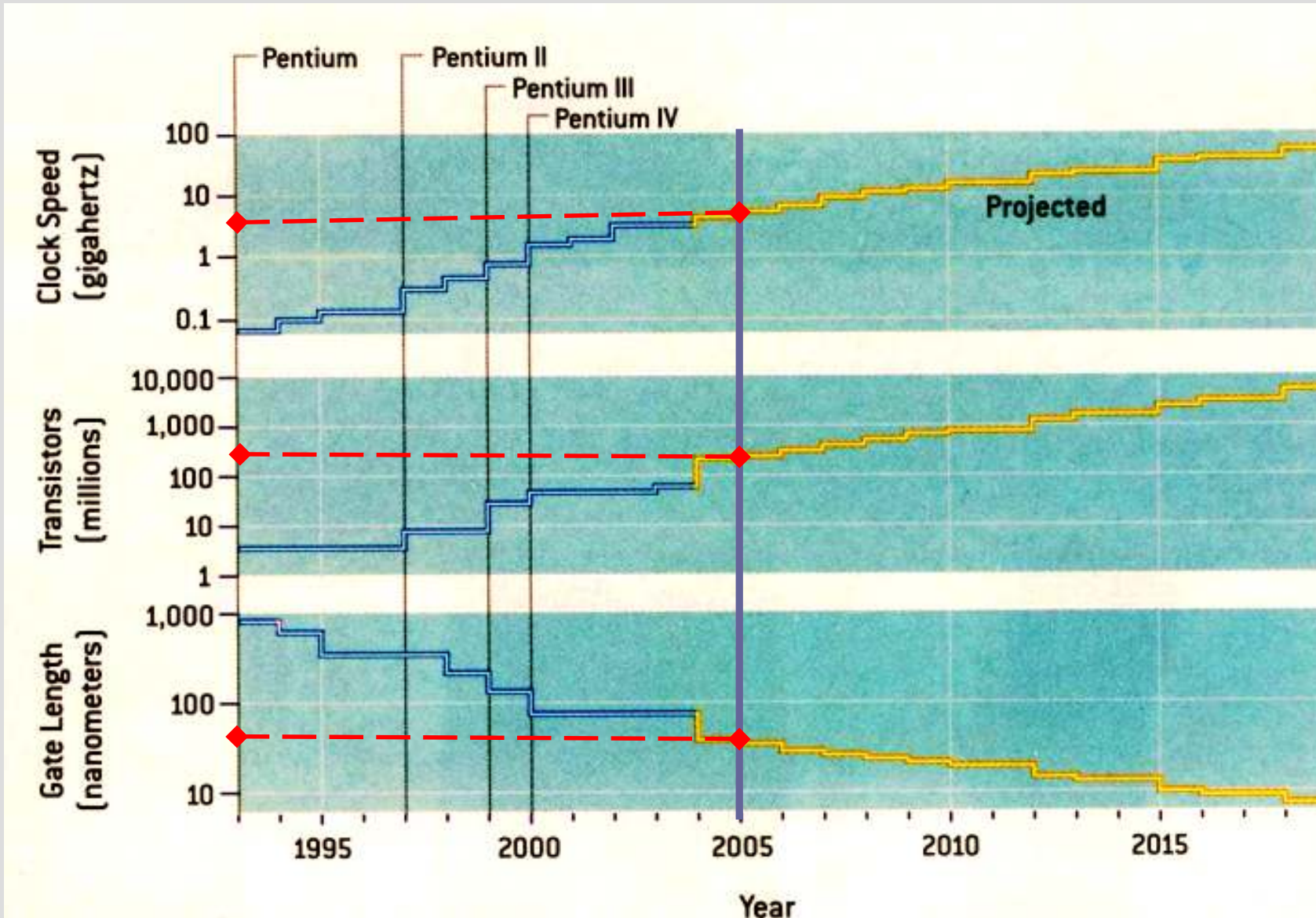
- zawiera  $10^{13-14}$  atomów

*Półprzewodnikowa kropka kwantowa* (średnica  $\cong 1-50$  nm)

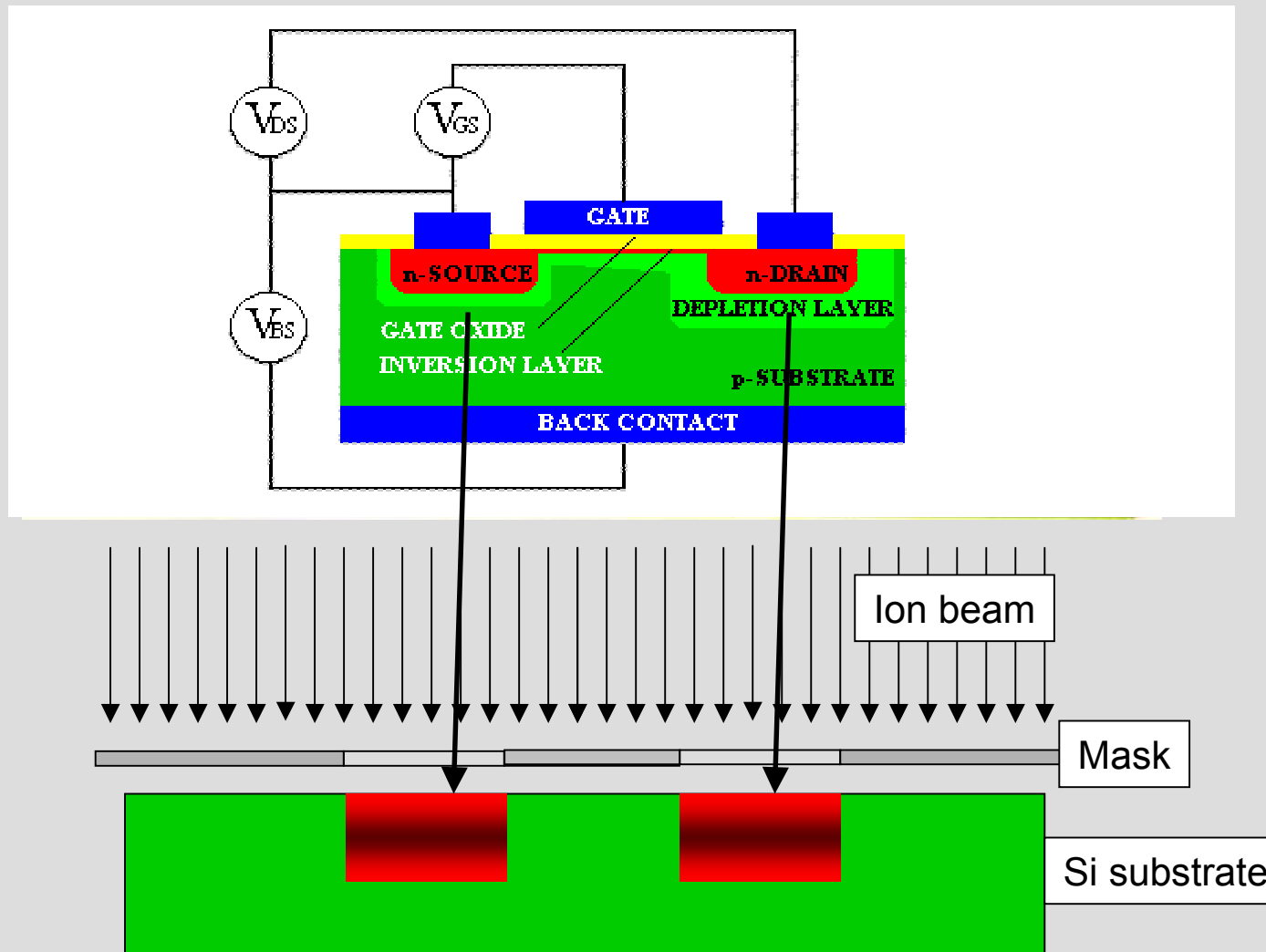
- zawiera 20-5000 atomów

**Już w tej dekadzie rozwinie się nowy rodzaj technologii pozwalającej na wytwarzanie urządzeń poprzez umieszczanie poszczególnych atomów we właściwym miejscu**

## Mikroelektronika w XXI wieku

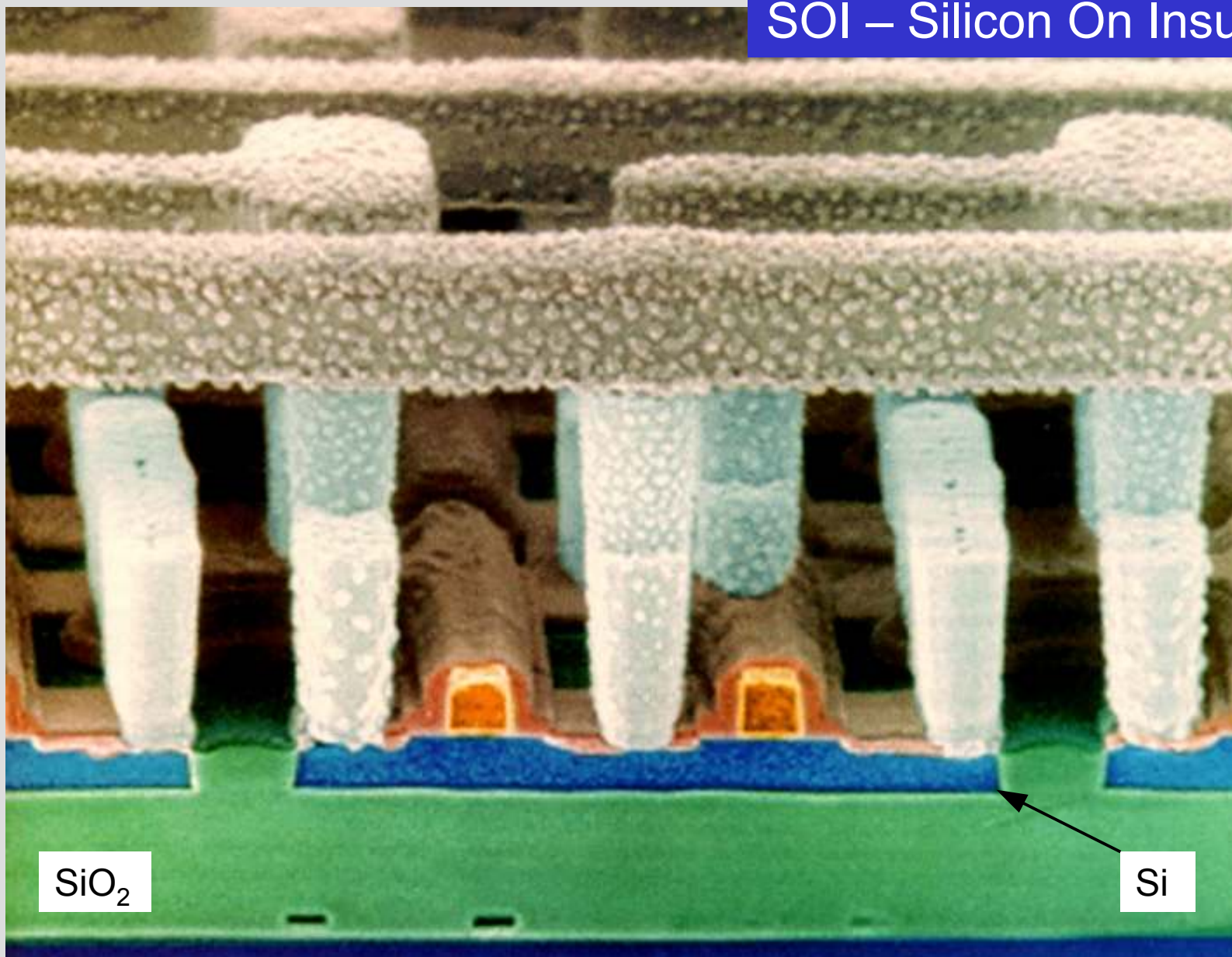


# Tranzystor polowy (FET)





SOI – Silicon On Insulator



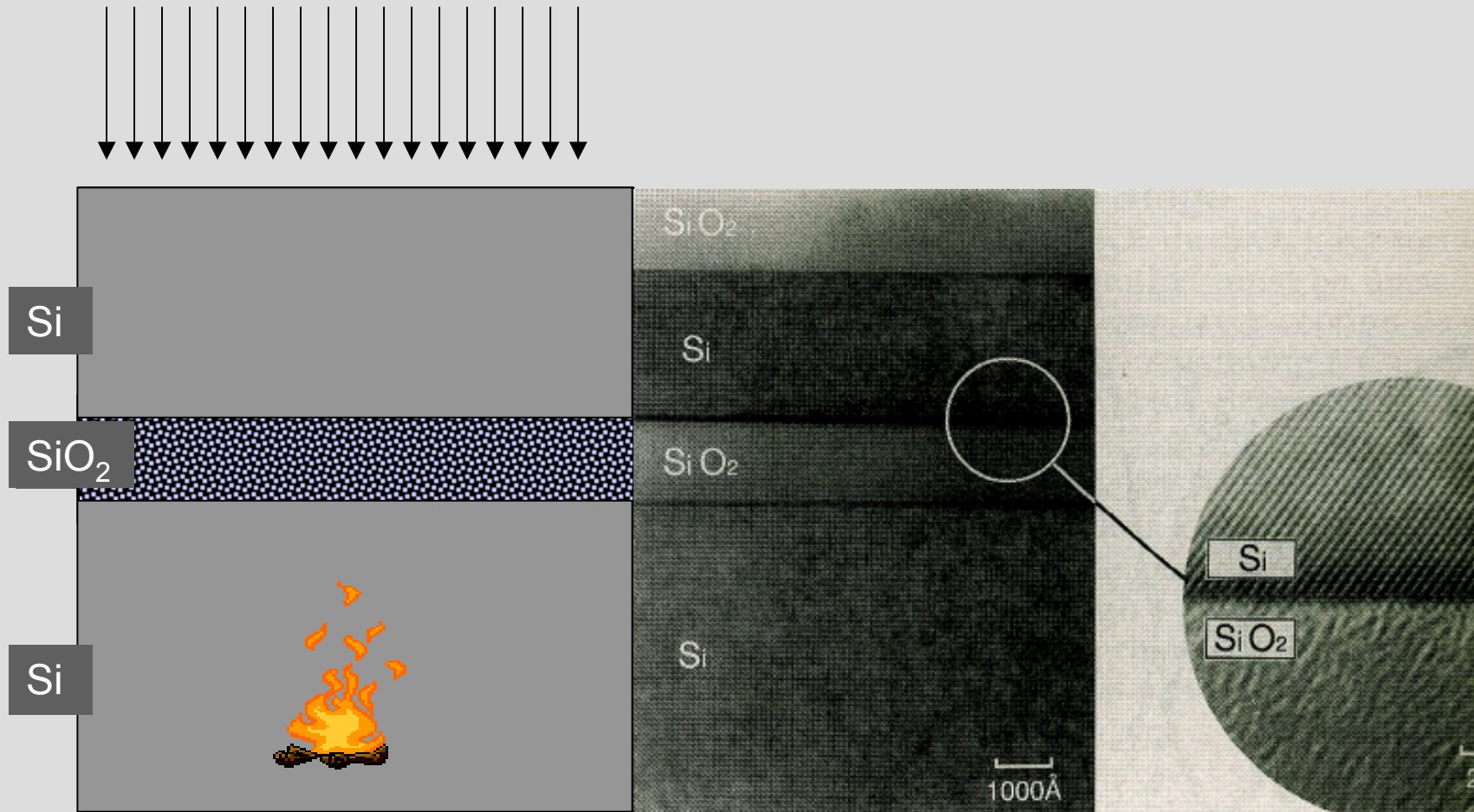


**SIMOX**

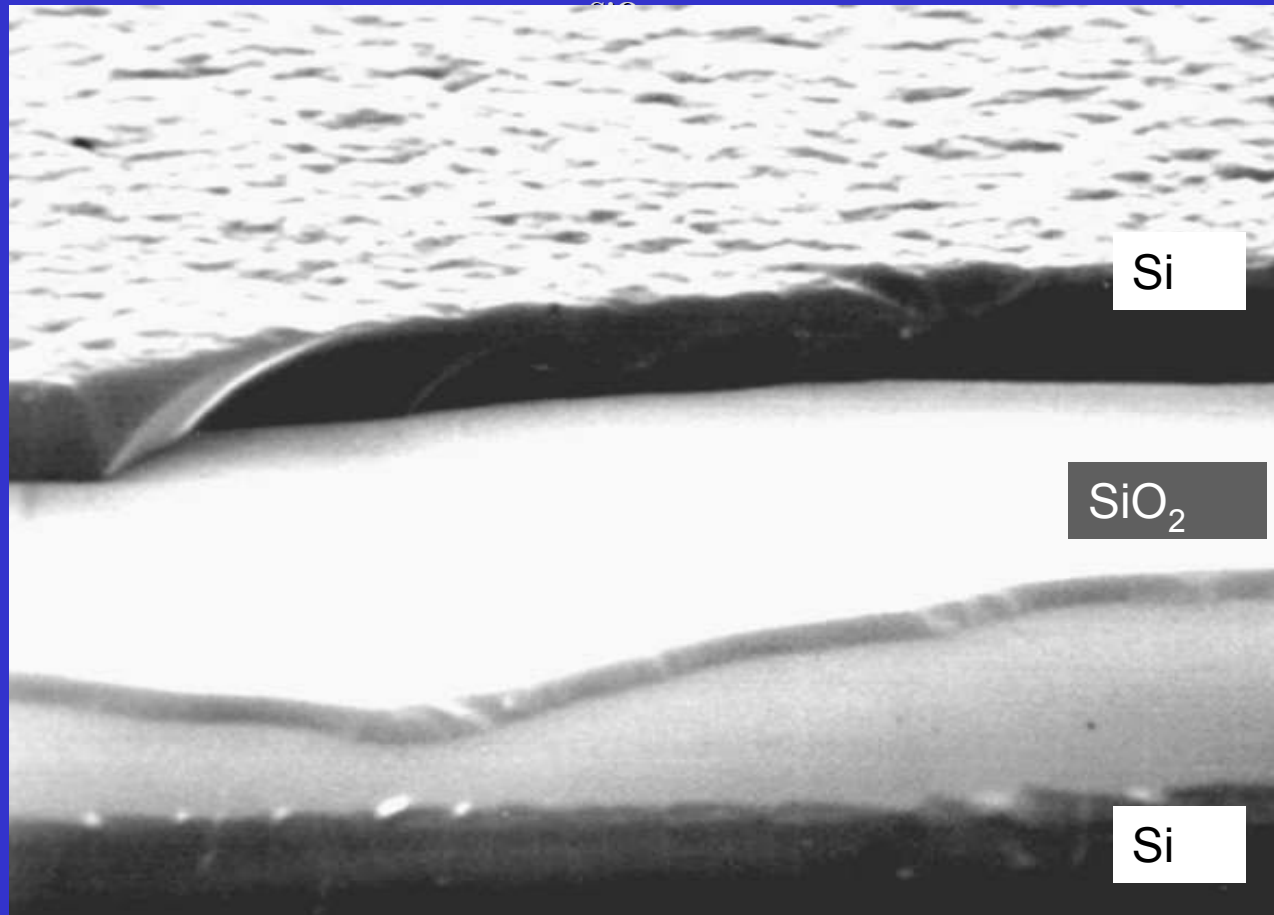
**S**eparation by **IM**planting **OX**ygen

Implantacja O<sup>+</sup>

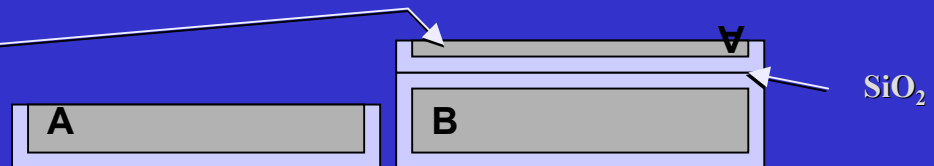
150-200 keV, 10<sup>18</sup> at/cm<sup>2</sup>



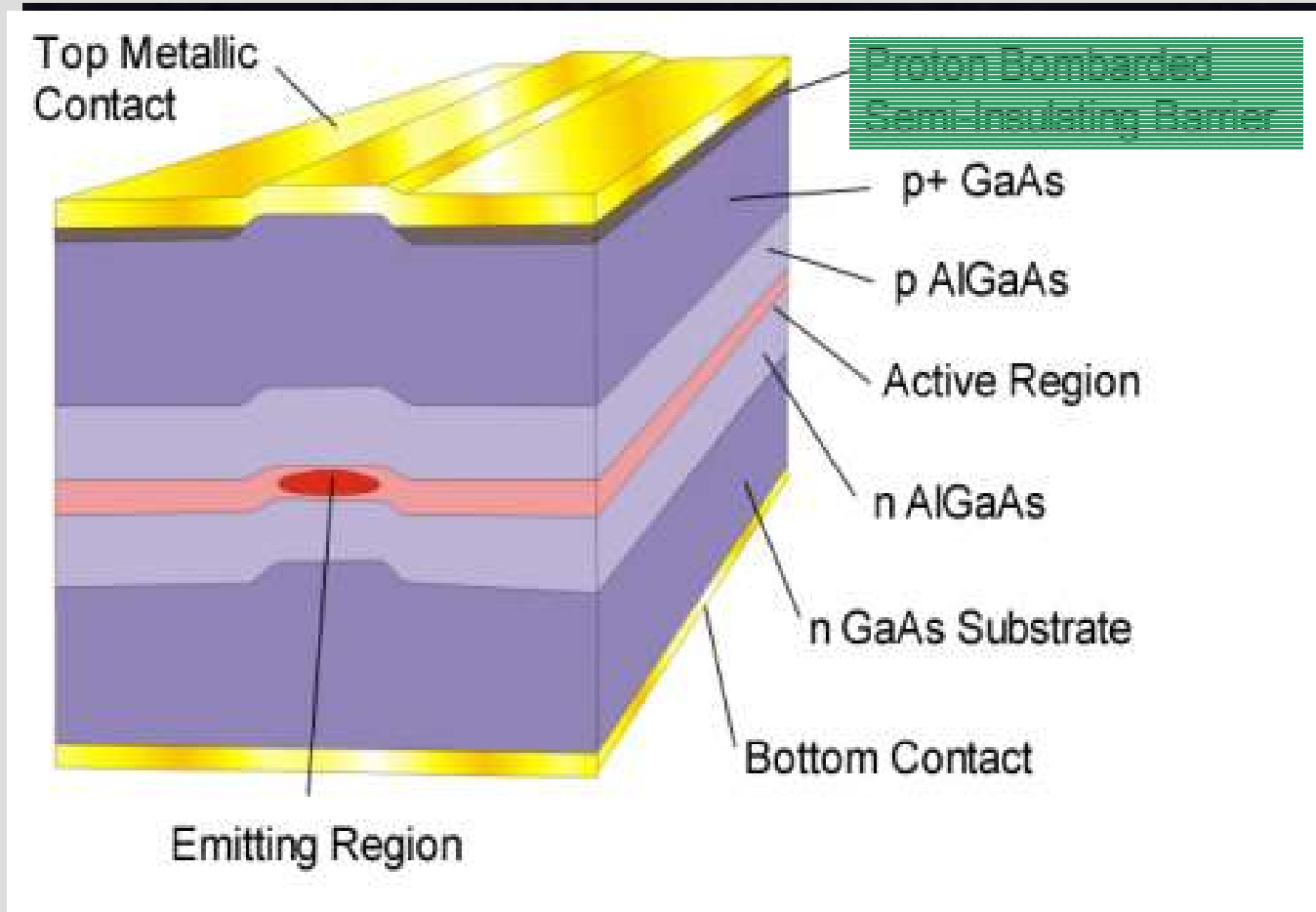
# Smart Cut



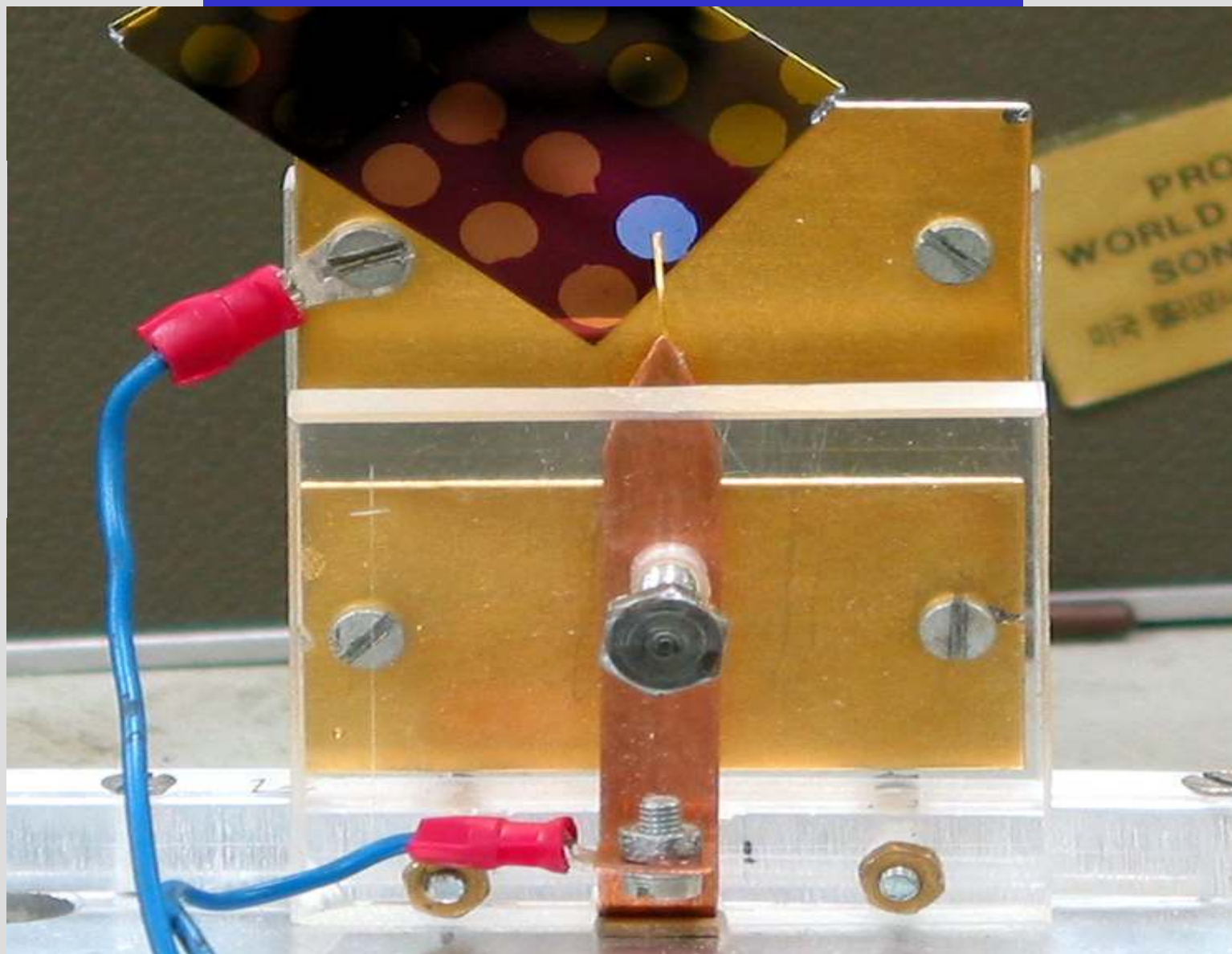
Silicon On Insulator  
SOI



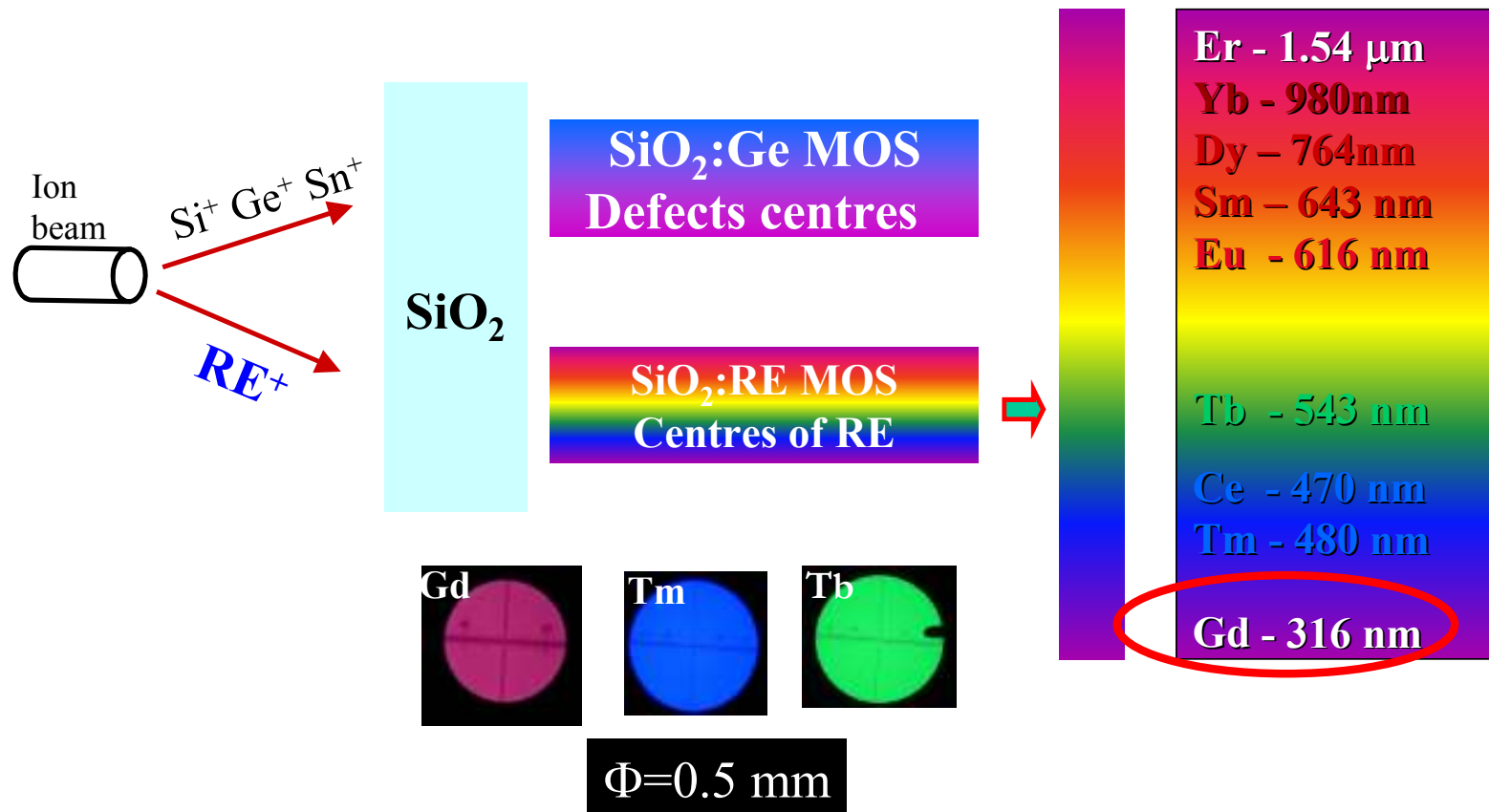
## Optoelektronika



Jak zmusić krzem do świecenia ?



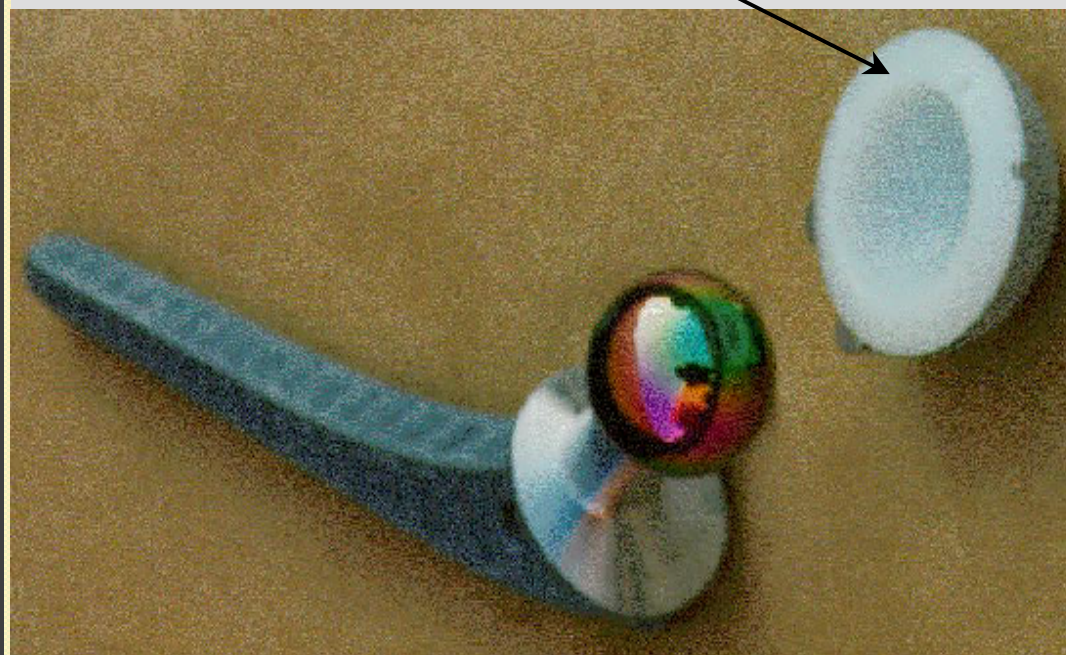
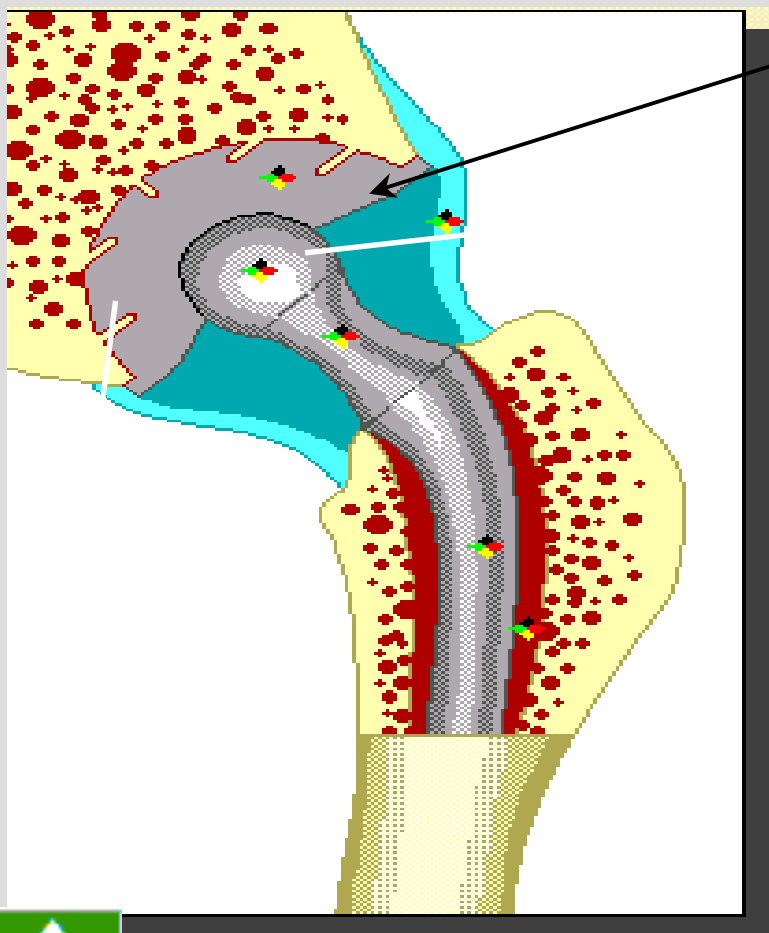
## Why rare earth's ?...More colour...!!!

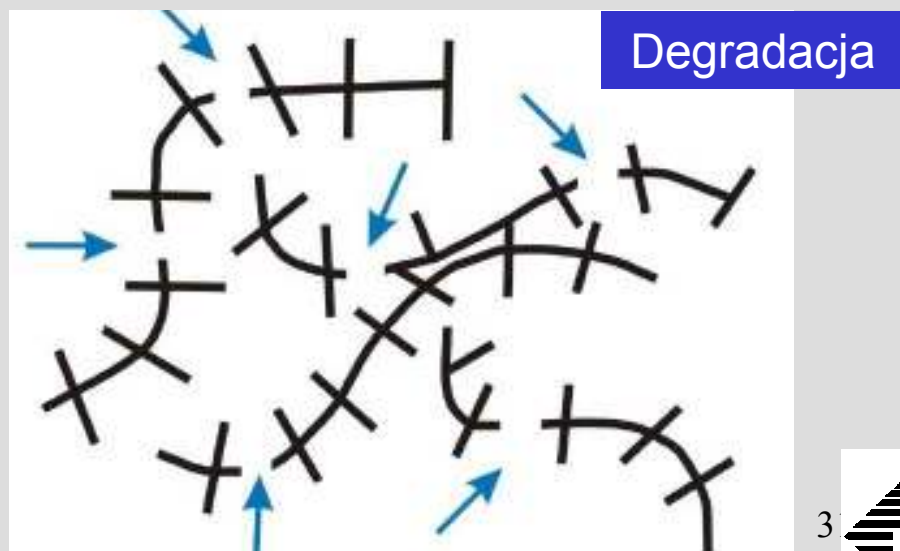
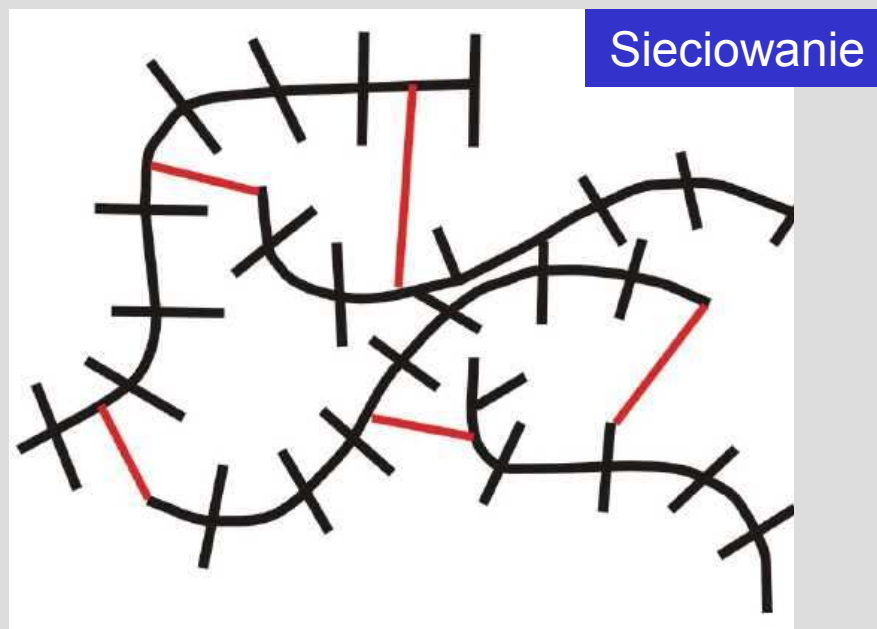
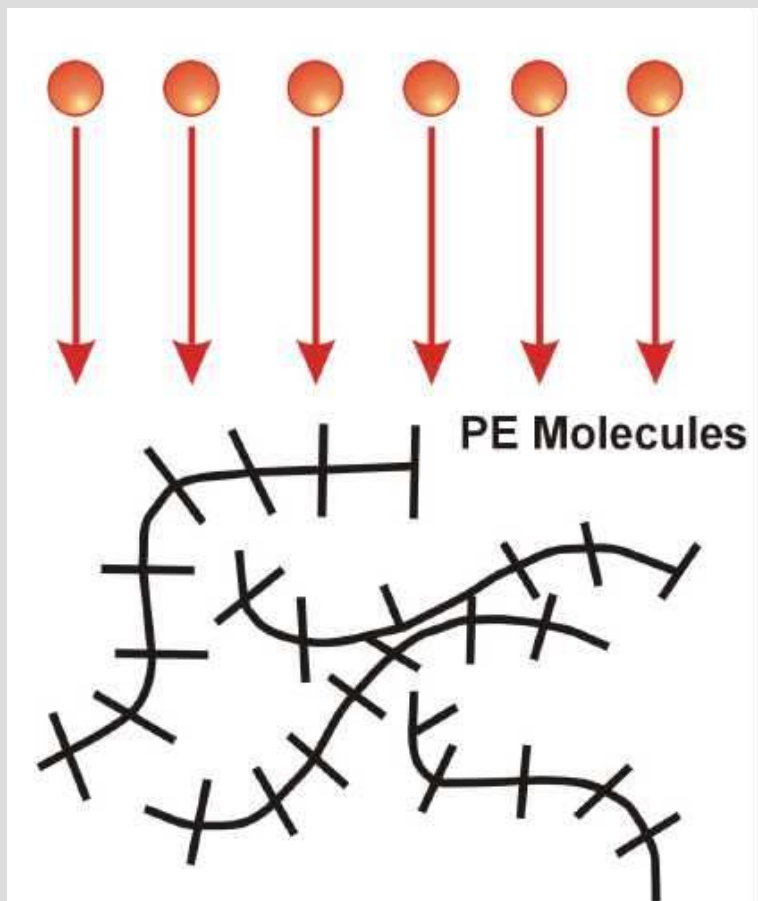




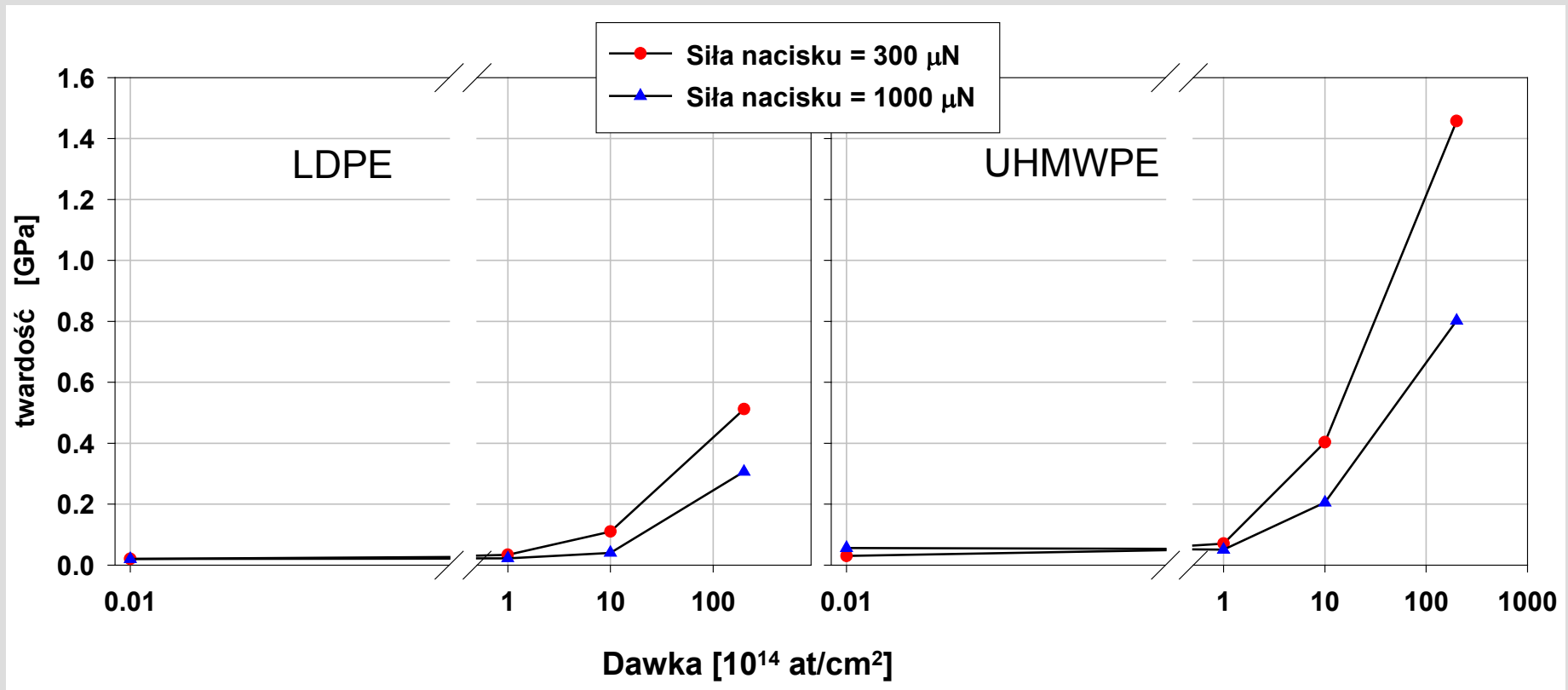
Materiały biozgodne

UltraHighMolecularWeightPolyEthylene



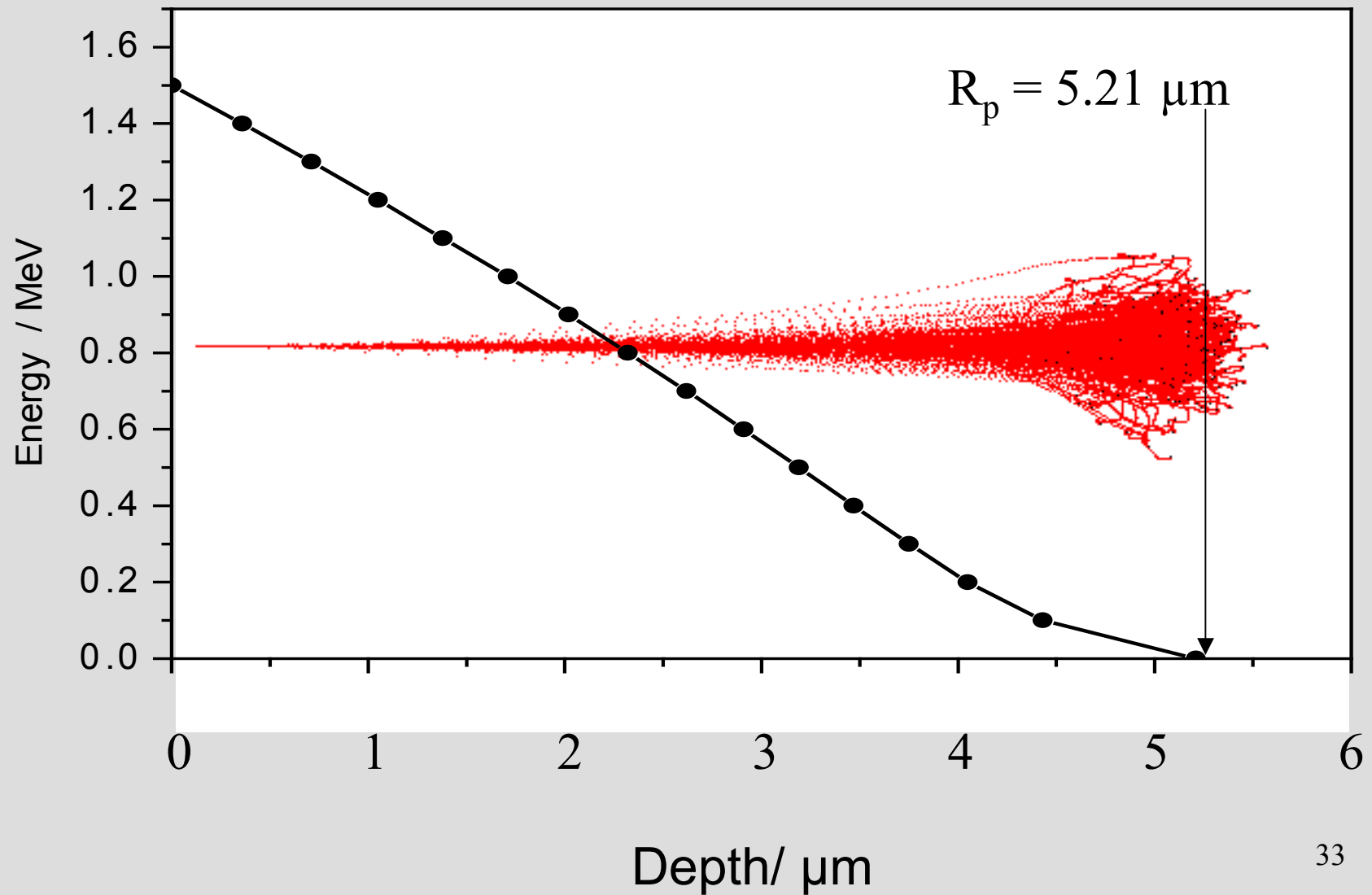


Zmiana mikrotwardości polietylenu pod wpływem bombardowania jonami He o energii 130 keV

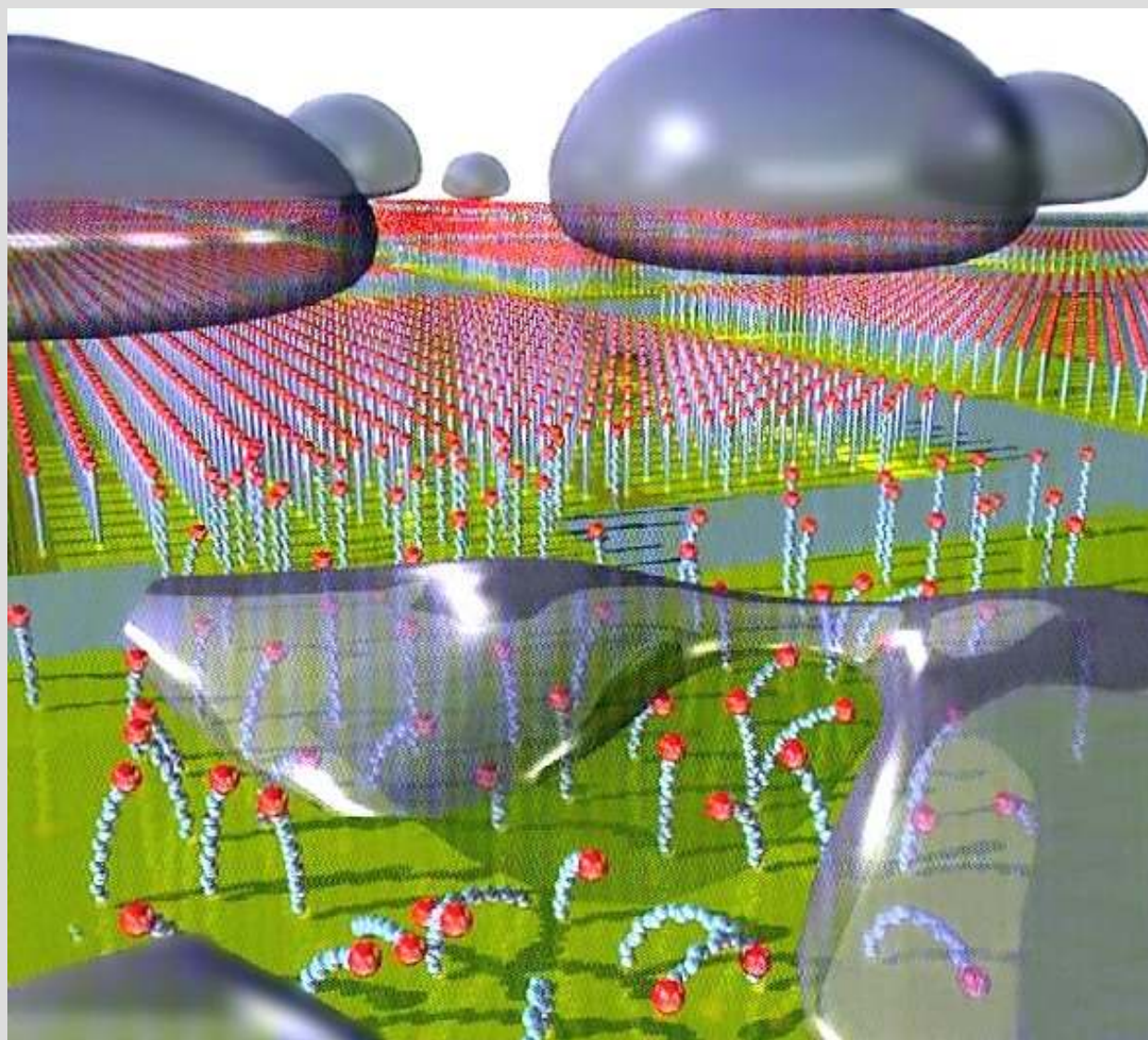




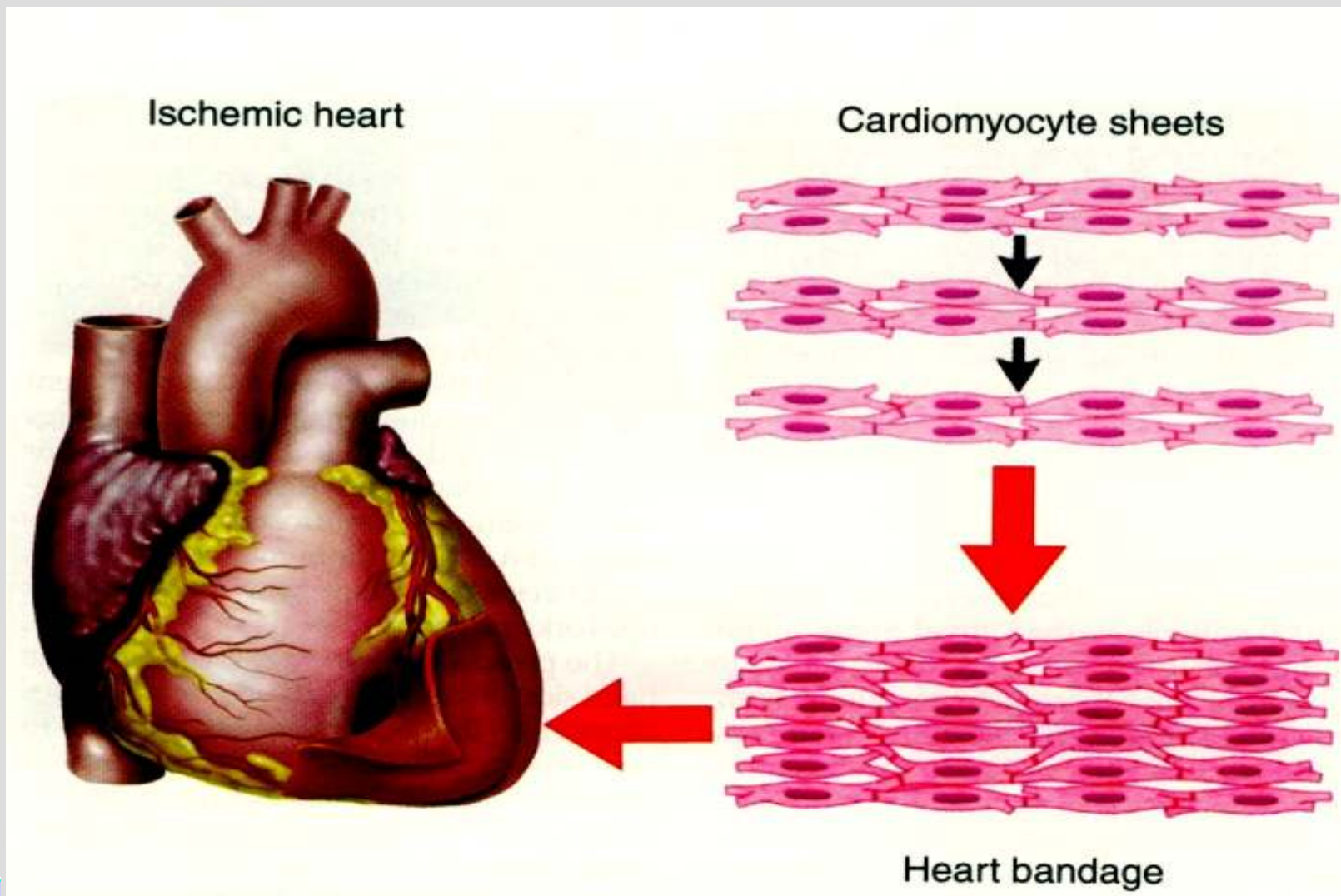
Energy - Depth – Relation for 1.5 MeV He-ions in Si



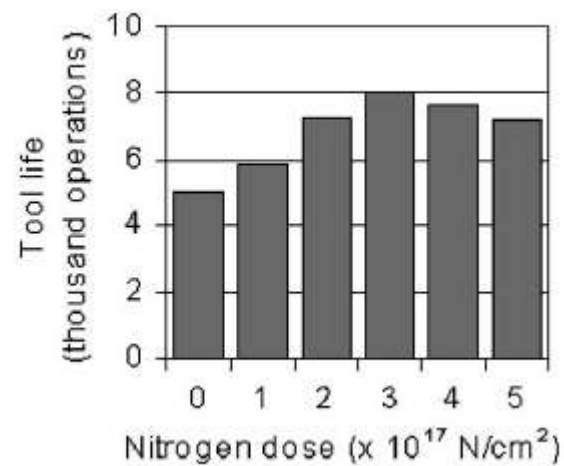
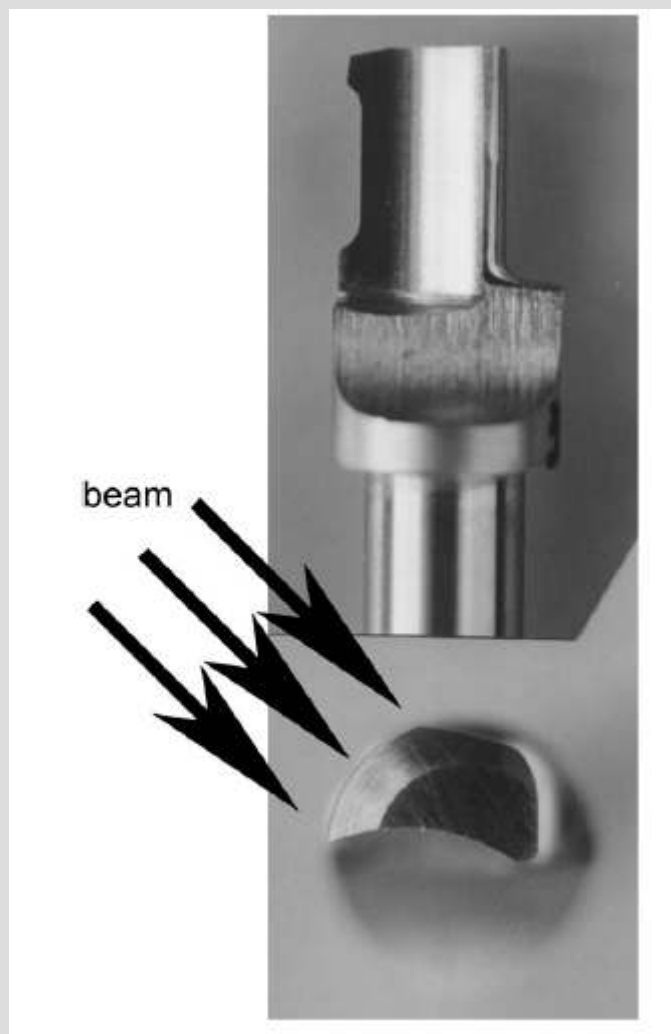
## Biointerface engineering



## Inteligentna hodowla komórek

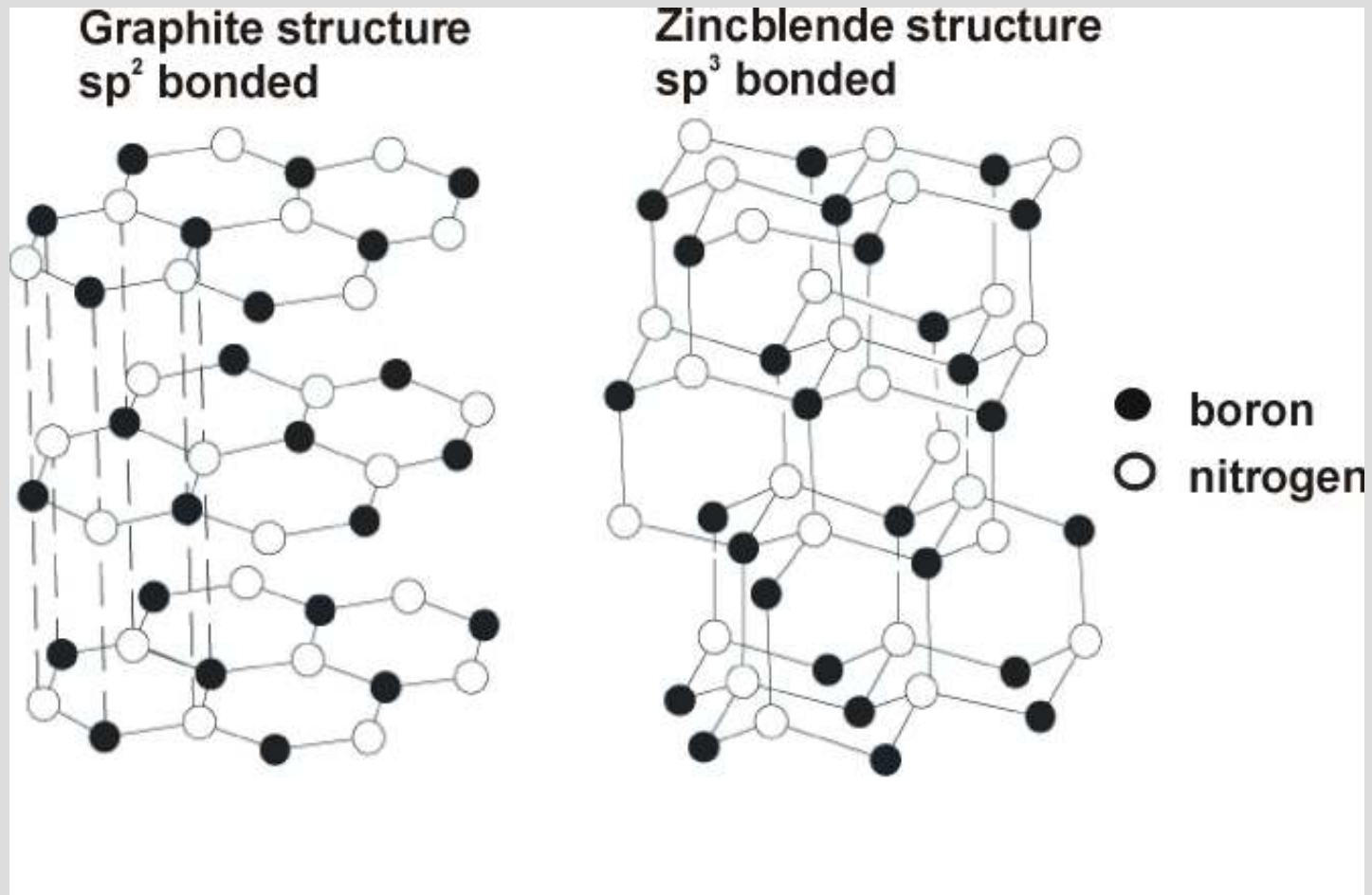


## Materiały supertwarde





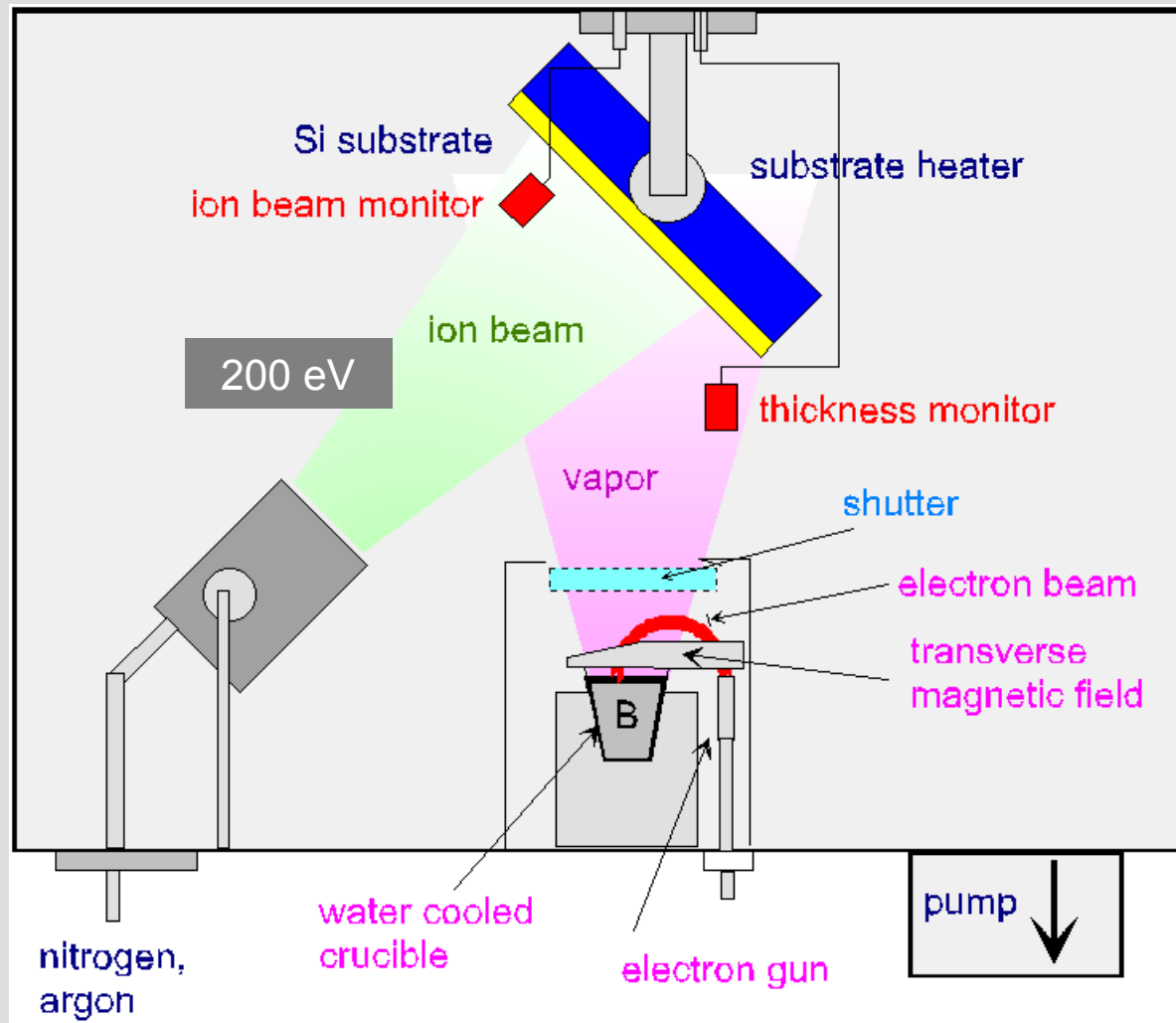
## Materiały supertwarde



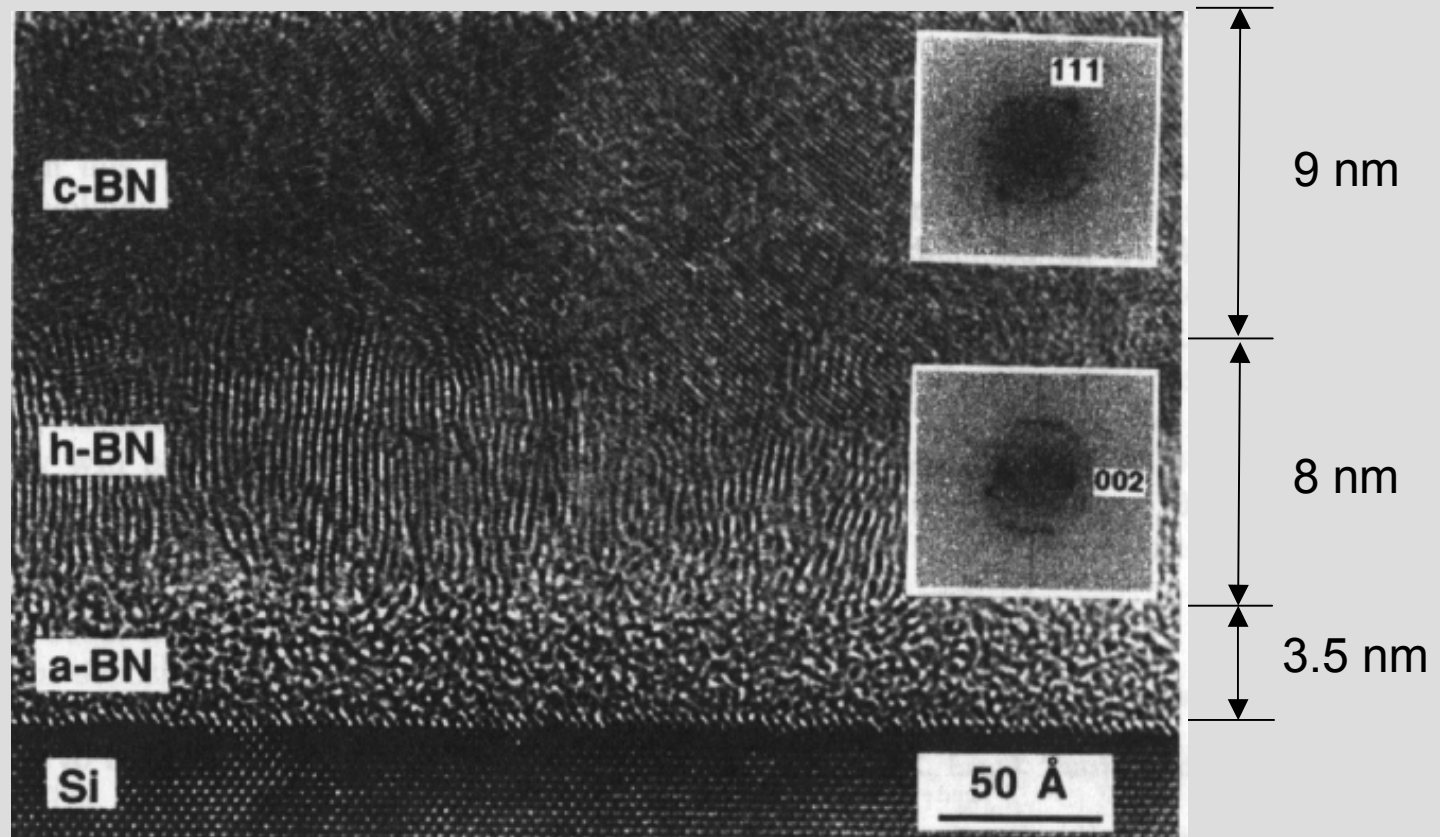
Heksagonalny  
azotek boru (hBN)

Regularny (kubiczny) azotek  
boru (cBN)

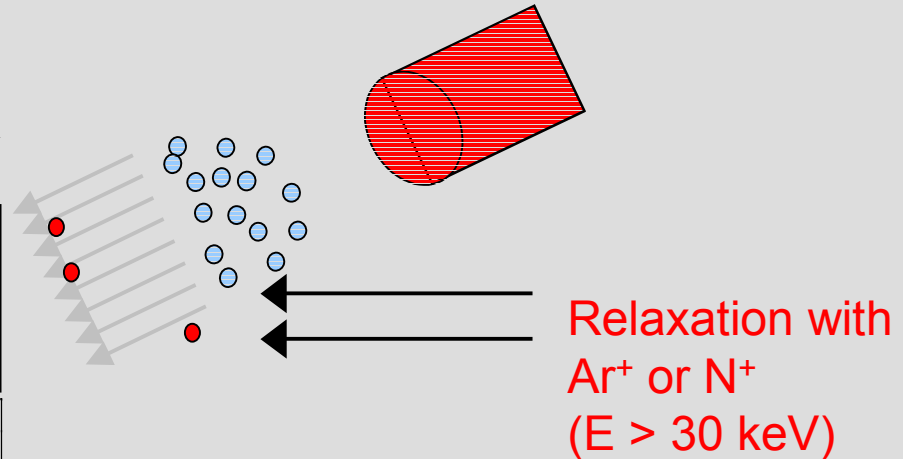
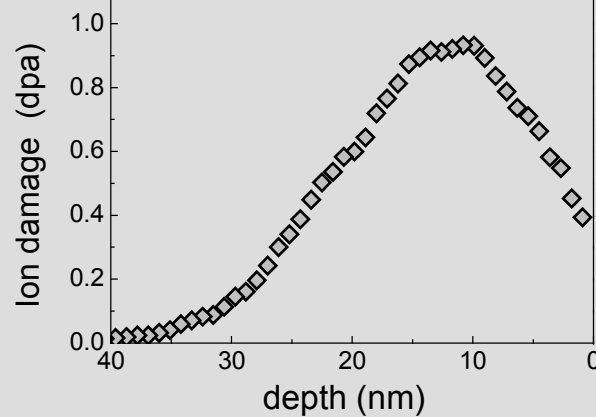
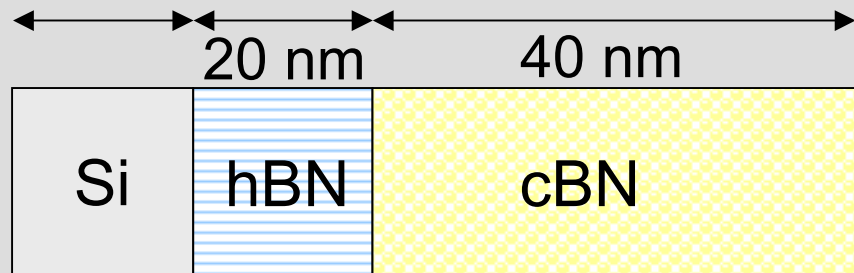
# IBAD Ion Beam Assisted Deposition



# Sekwencja warstw hBN/cBN



# Jednoczesna implantacja jonów N (35 keV) i wzrost IBAD cBN



Relaxation:

$N_2^+$ ,  $Ar^+$ ,  $E > 30$  keV

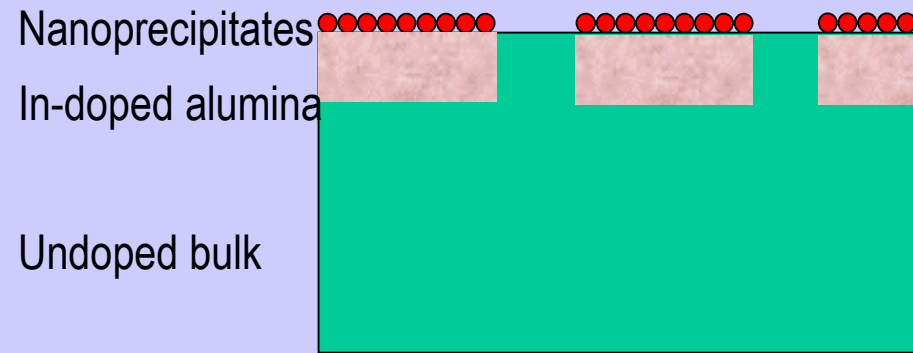
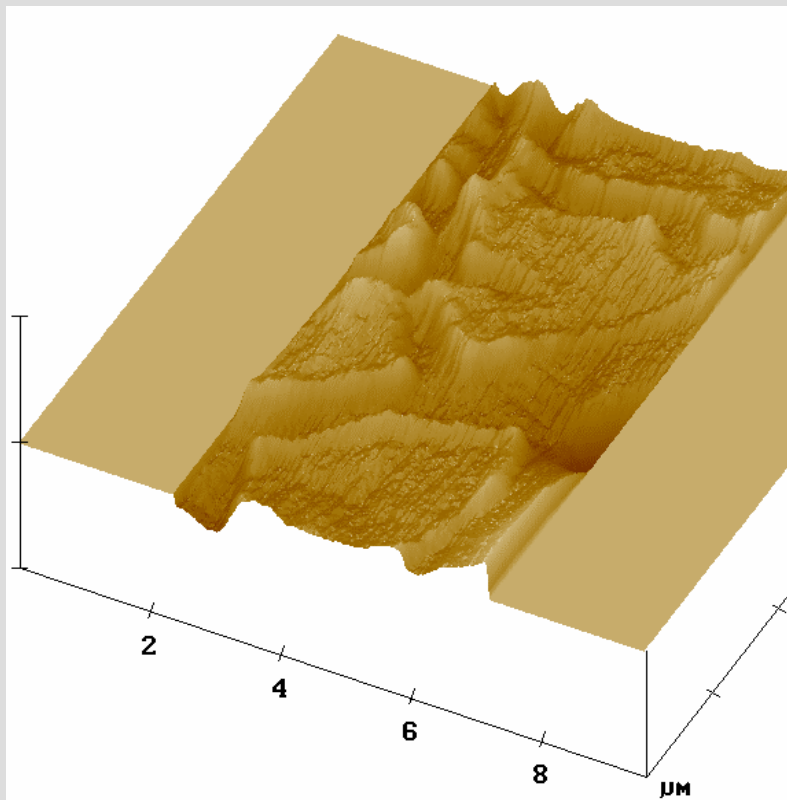
Atomic displacements  
below the surface

both ion interactions sequential  
or simultaneous



# Smarowanie w fazie stałej

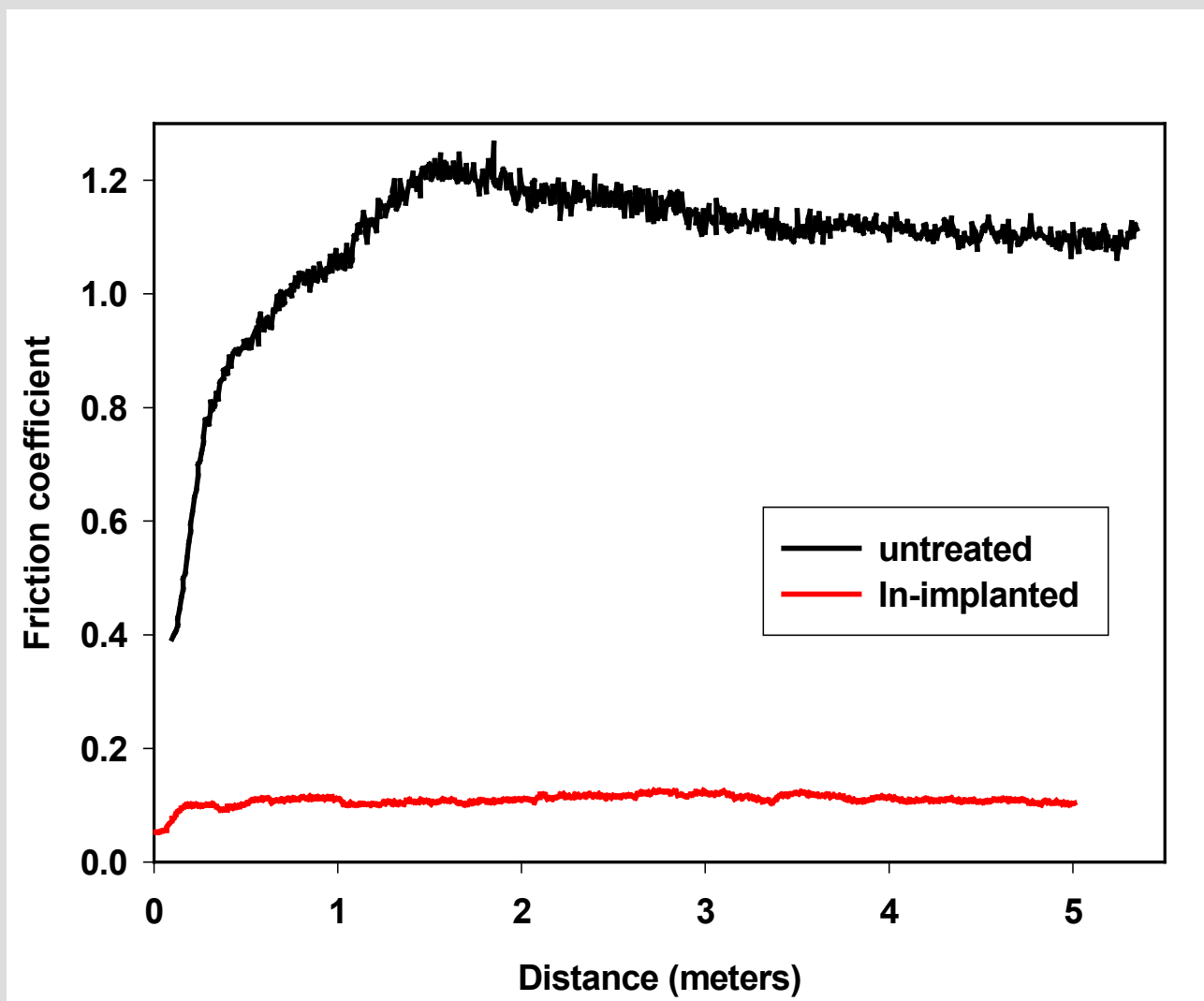
Implantacja jonów In w  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ceramika alundowa)



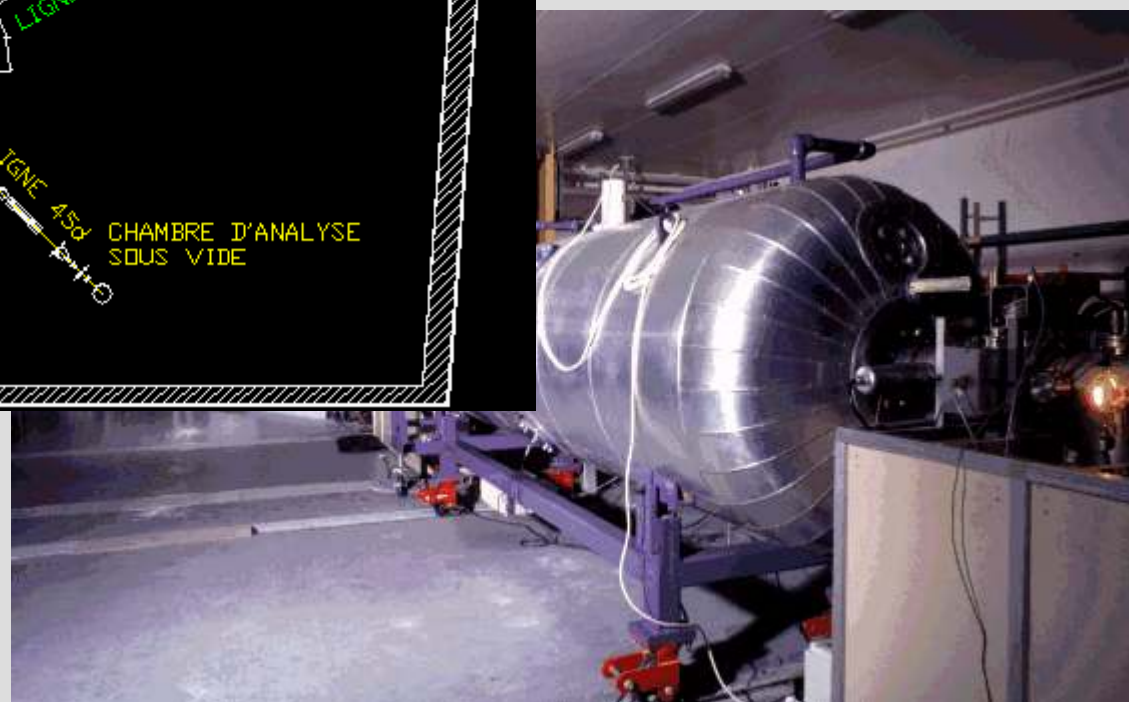
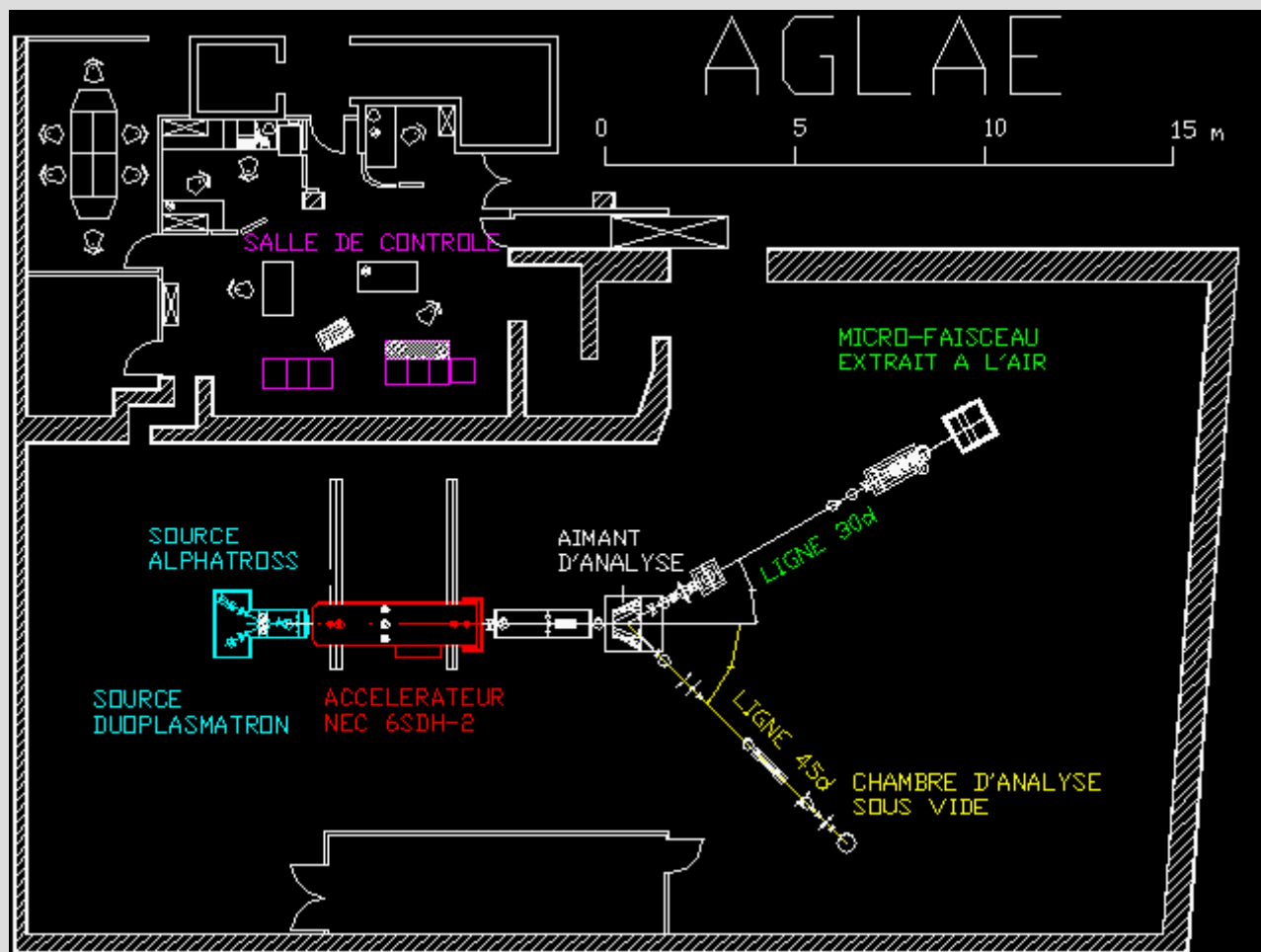
4e16 In /1

X 2.000  $\mu\text{m}/\mu\text{m}$   
Z 20.000 nm

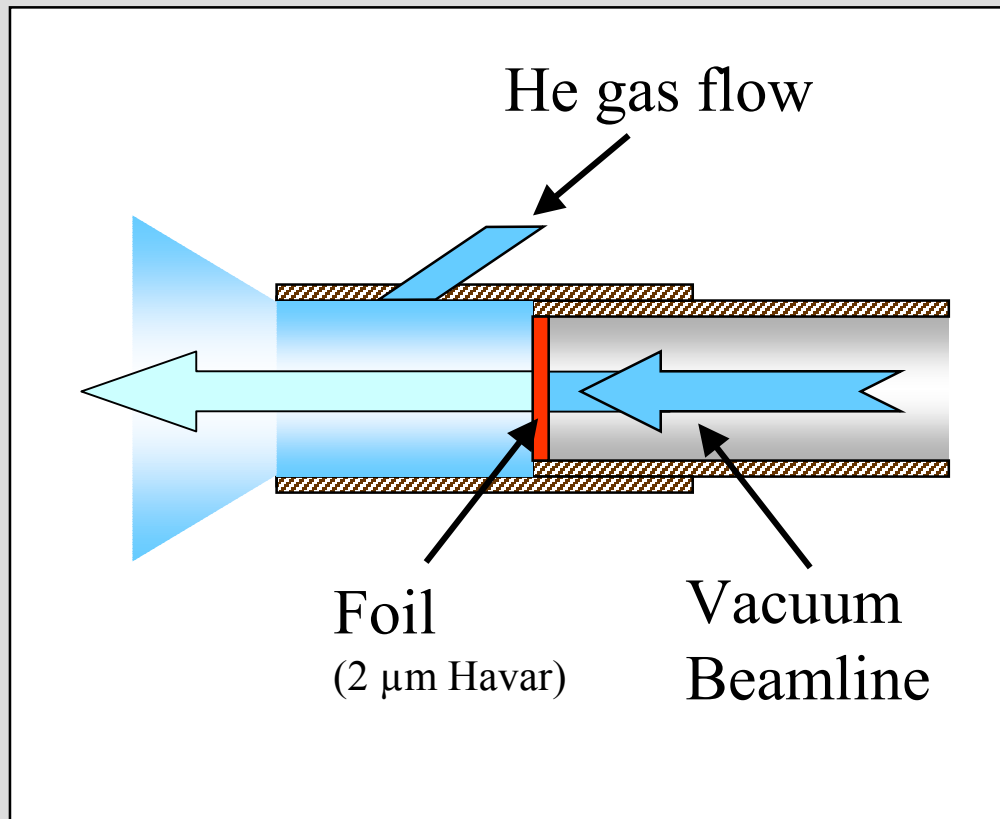
## Zmiana współczynnika tarcia (badanie w próżni)



## Akceleratory w fizyce materiałów



## Ion beam analysis in the air

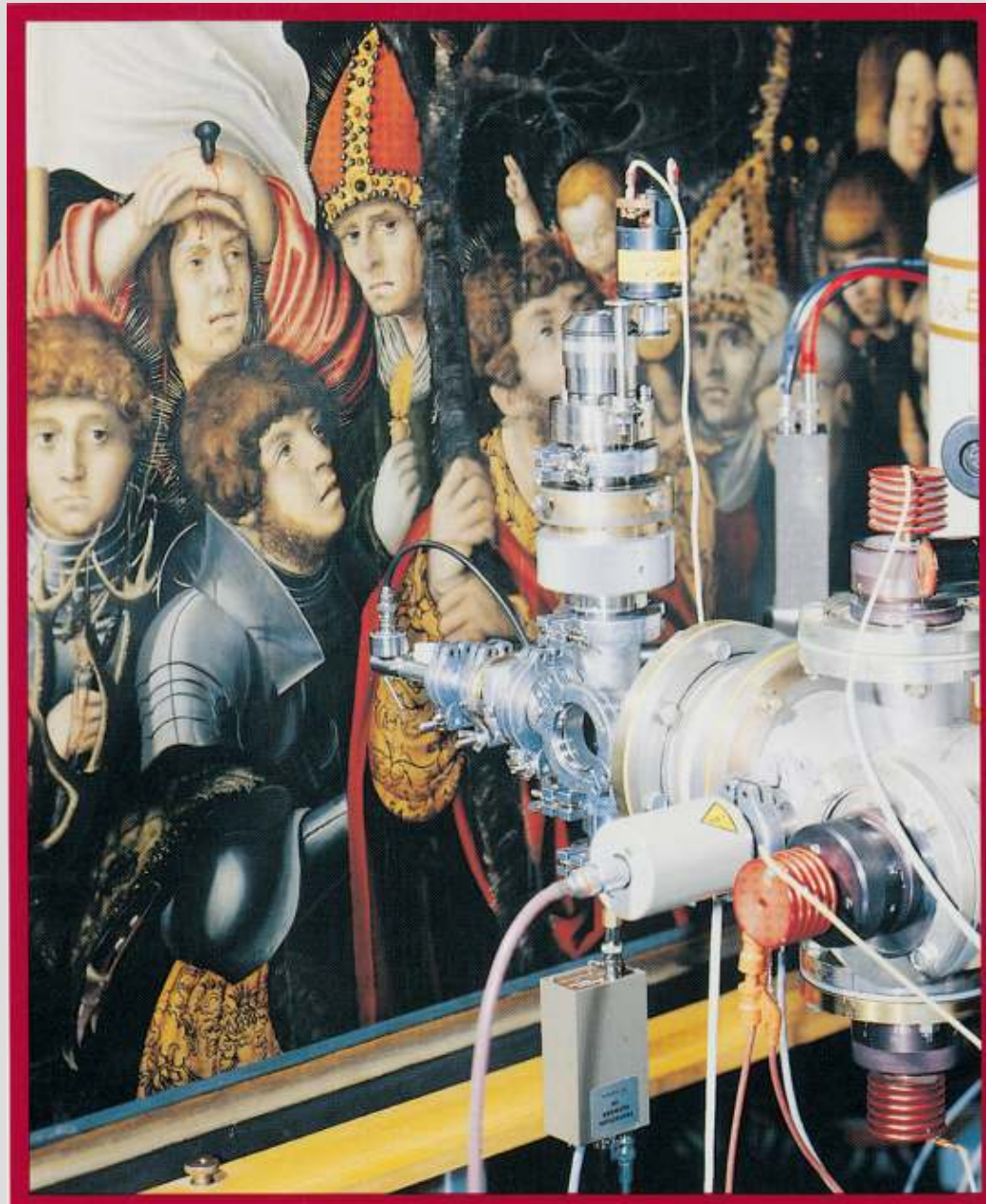


- Protons
- Energy: 1 - 4 MeV
- Helium atmosphere
- External ion beam
  
- Beam parameters:
  - \* 1 mm  $\varnothing$
  - \* 100 pA
  - \* Data recording time  
30 s bis  $\sim$ min

## Akceleratory w fizyce materiałów

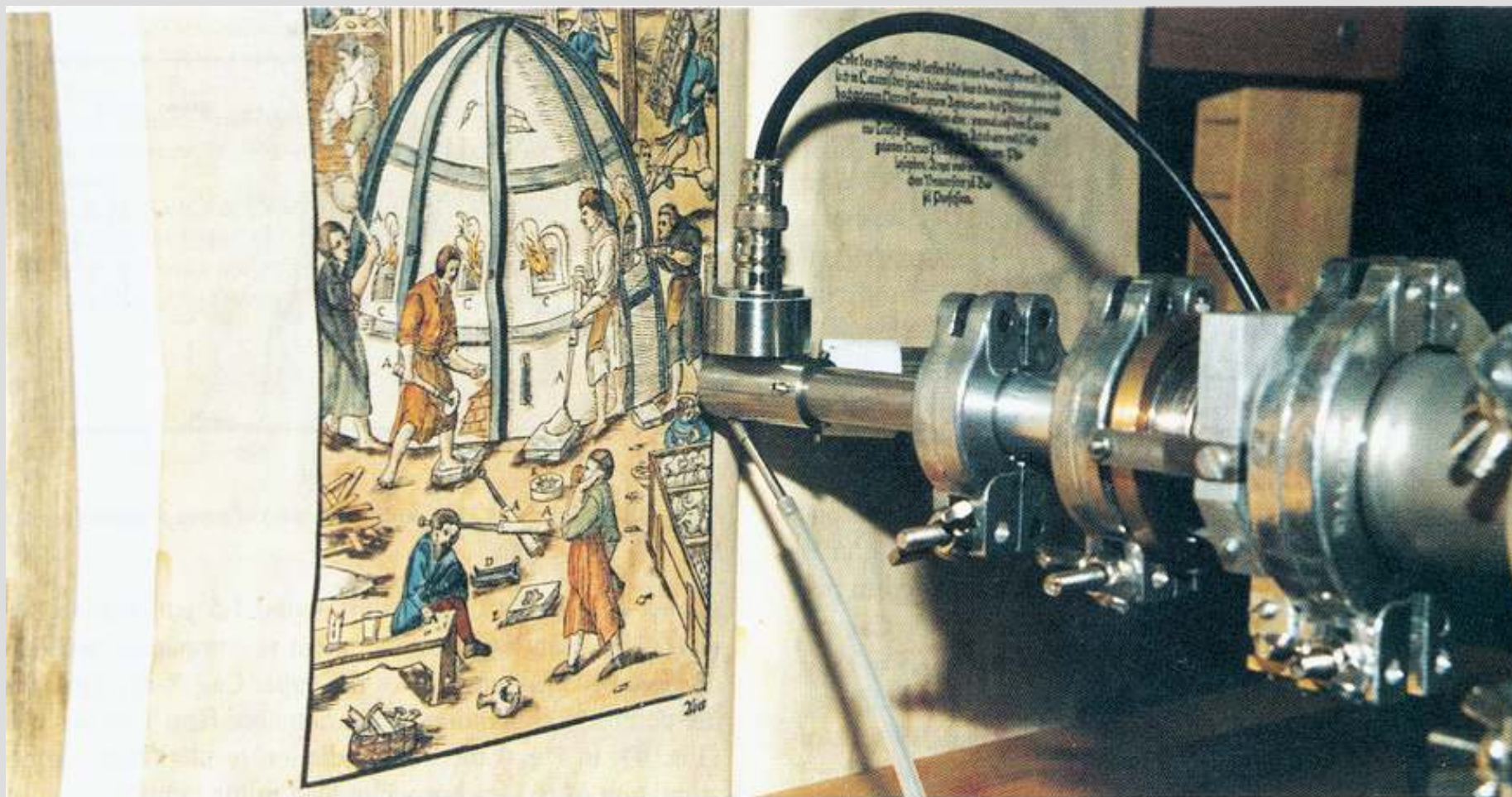


## Akceleratory w fizyce materiałów



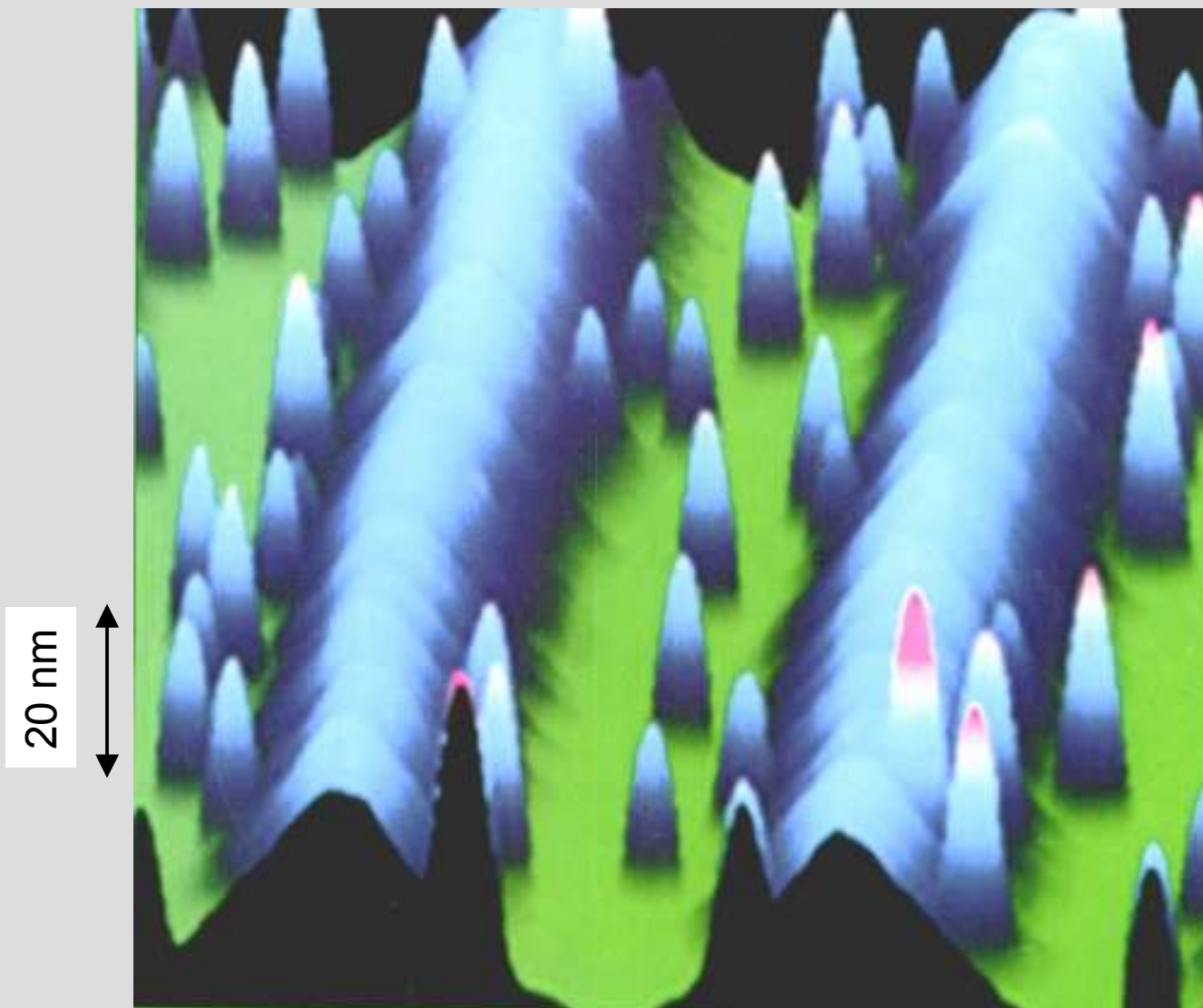


## Akceleratory w fizyce materiałów

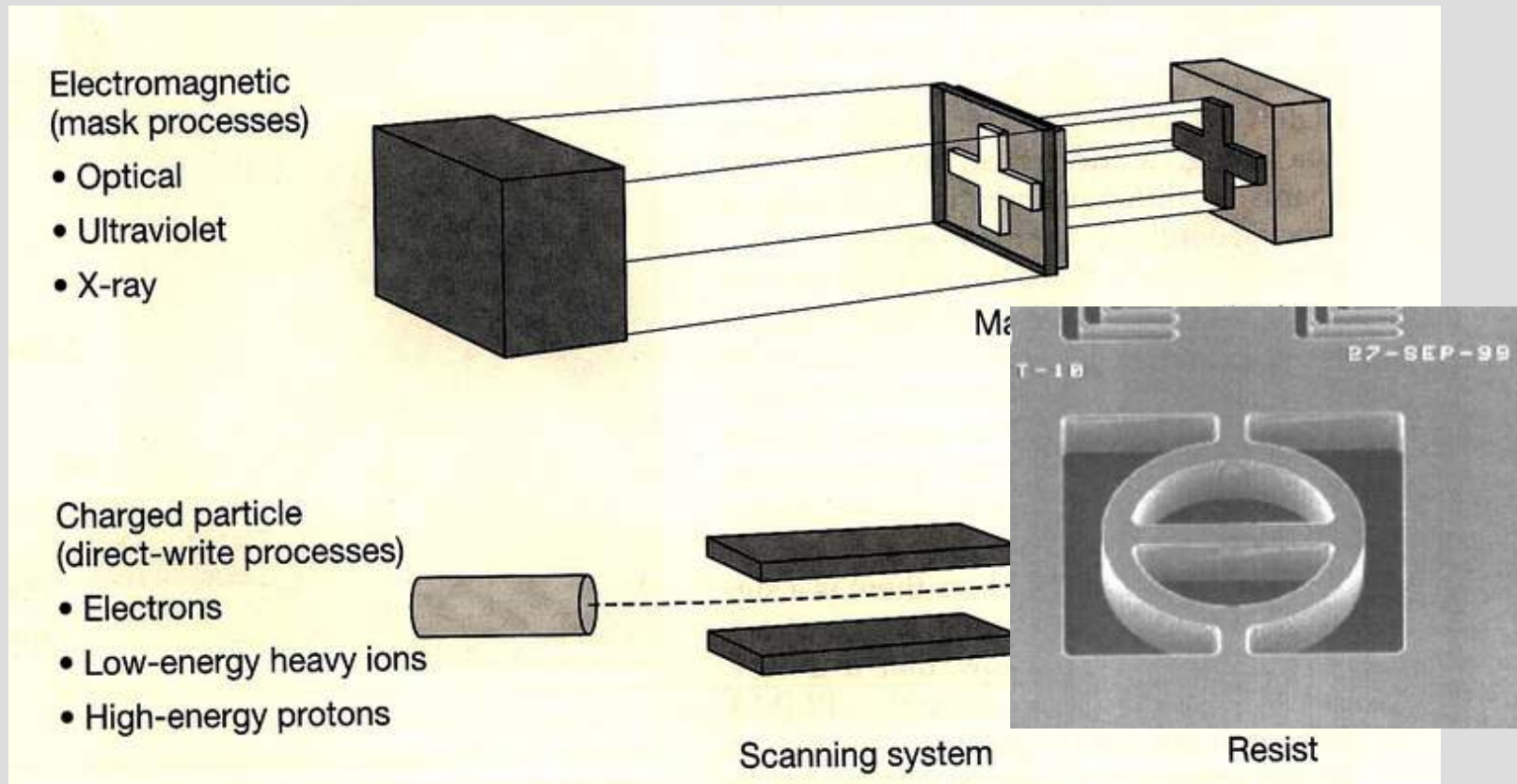




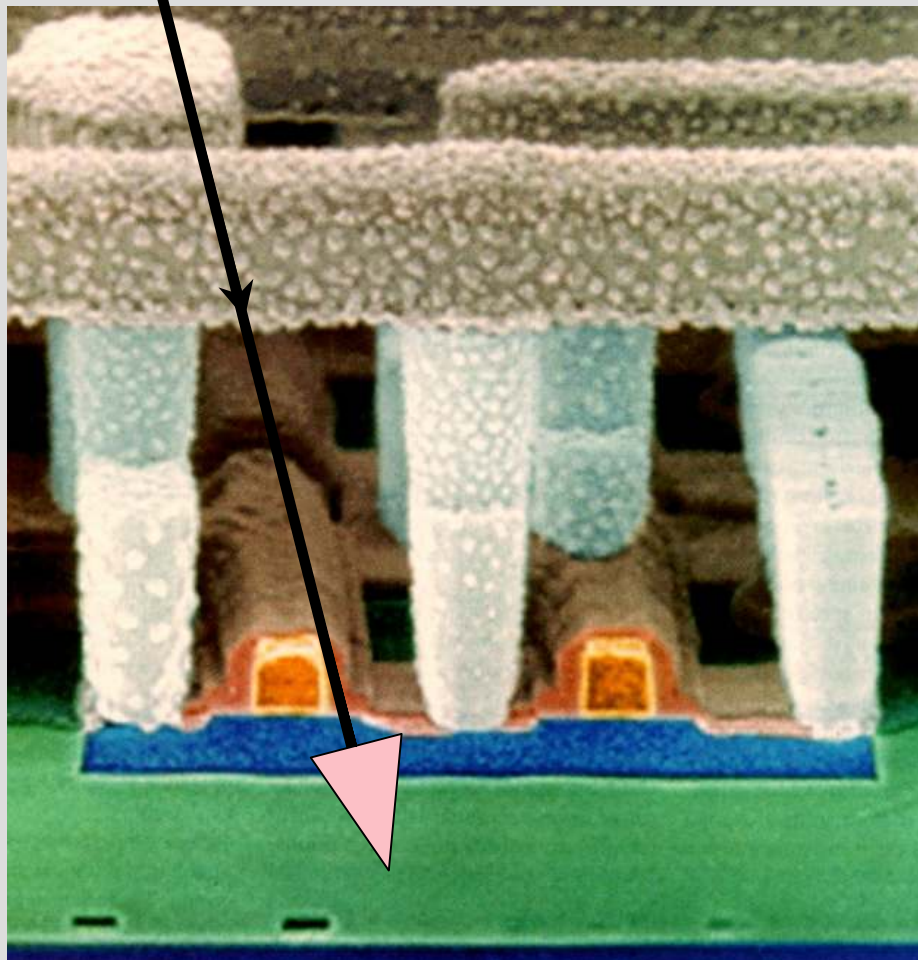




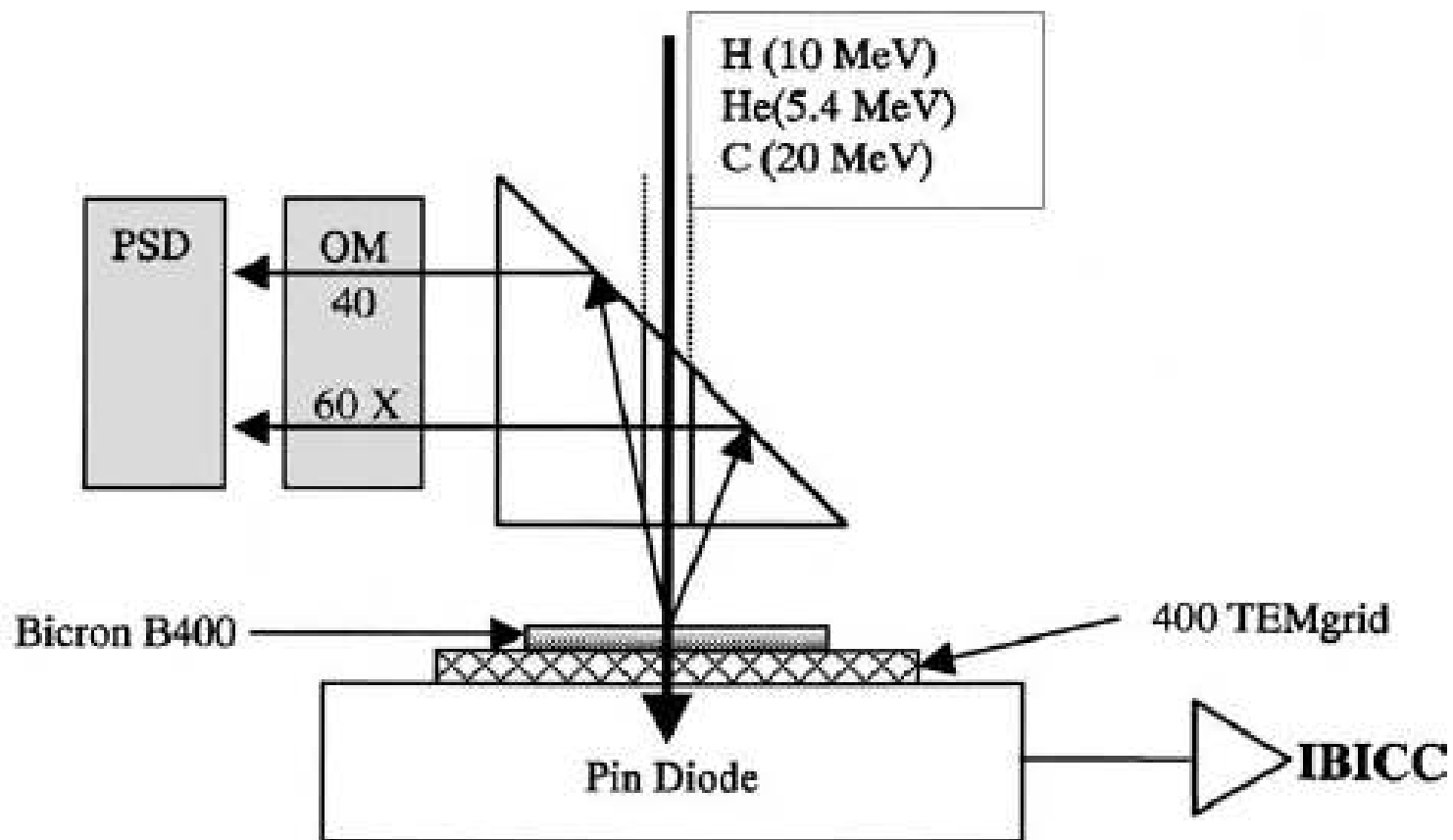
## FIB – Fine Ion Beam



Single Event Upset



## Single Event Upset





## Podsumowanie

➤ Różnorodne typy nowoczesnych akceleratorów dostarczają wiązki jonów o energiach od **kilkudziesięciu eV do kilkuset MeV** a współczesne układy optyki jonowej pozwalają na prowadzenie napromieniowania poczynając od **pojedynczych jonów aż do wiązek o mocy sięgającej 50 kW** mogących pokrywać obiekty o **powierzchni sięgającej 1 m<sup>2</sup>**.

➤ Jednakże tylko w nielicznych przypadkach cały proces technologiczny może być wykonany przy użyciu technik jonowych. W przytłaczającej większości zastosowań stanowią one, wprawdzie ważny, ale tylko

**jeden z etapów wysokiej technologii.**

## Podsumowanie

Najbliższa przyszłość przyniesie z pewnością znaczące postępy w dziedzinie techniki formowania wiązek jonów i systemów detekcji widm energetycznych cząstek naładowanych

trudno jest więc sobie wyobrazić dziedzinę technologii lub fizyki materiałów, która mogłaby się obejść bez akceleratorów cząstek naładowanych.

# Podziękowanie



**Jacek Jagielski, Grzegorz Gawlik, Anna Piątkowska**

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych



**Jerzy Piekoszewski, Zbigniew Werner, Lech Nowicki,  
A. M. Abdul-Kader, Anna Stonert, Renata Ratajczak**

Instytut Problemów Jądrowych

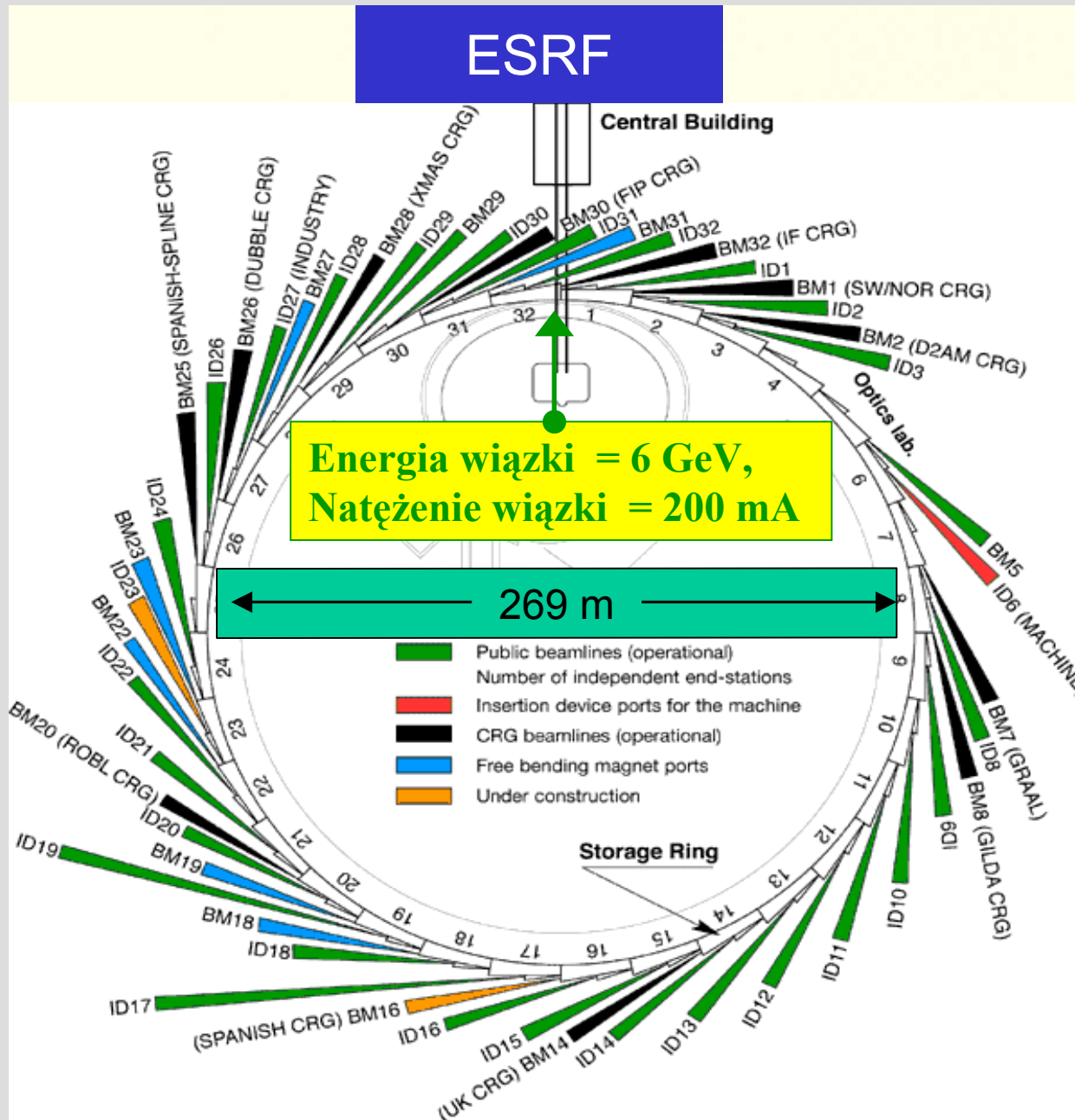


**Wolfhard Möller, Wolfgang Skorupa, Andreas Kolitsch  
Christian Neelmeijer, Rainer Groetzschel**

Forschungszentrum Rossendorf

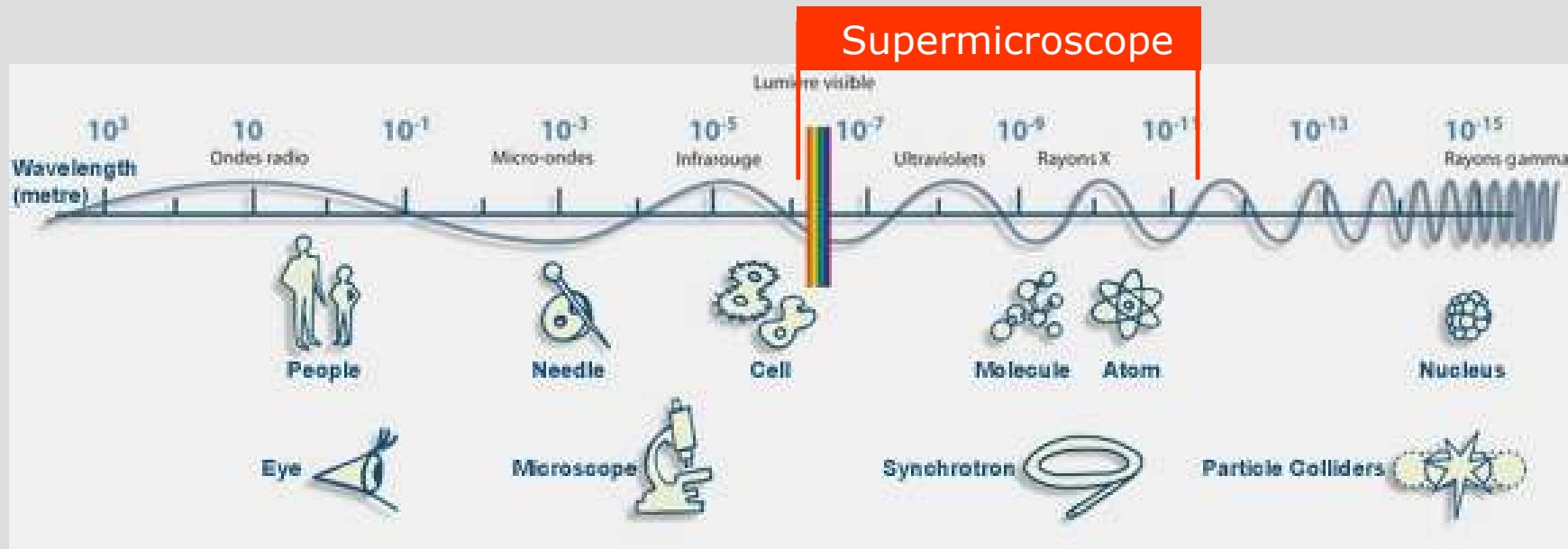


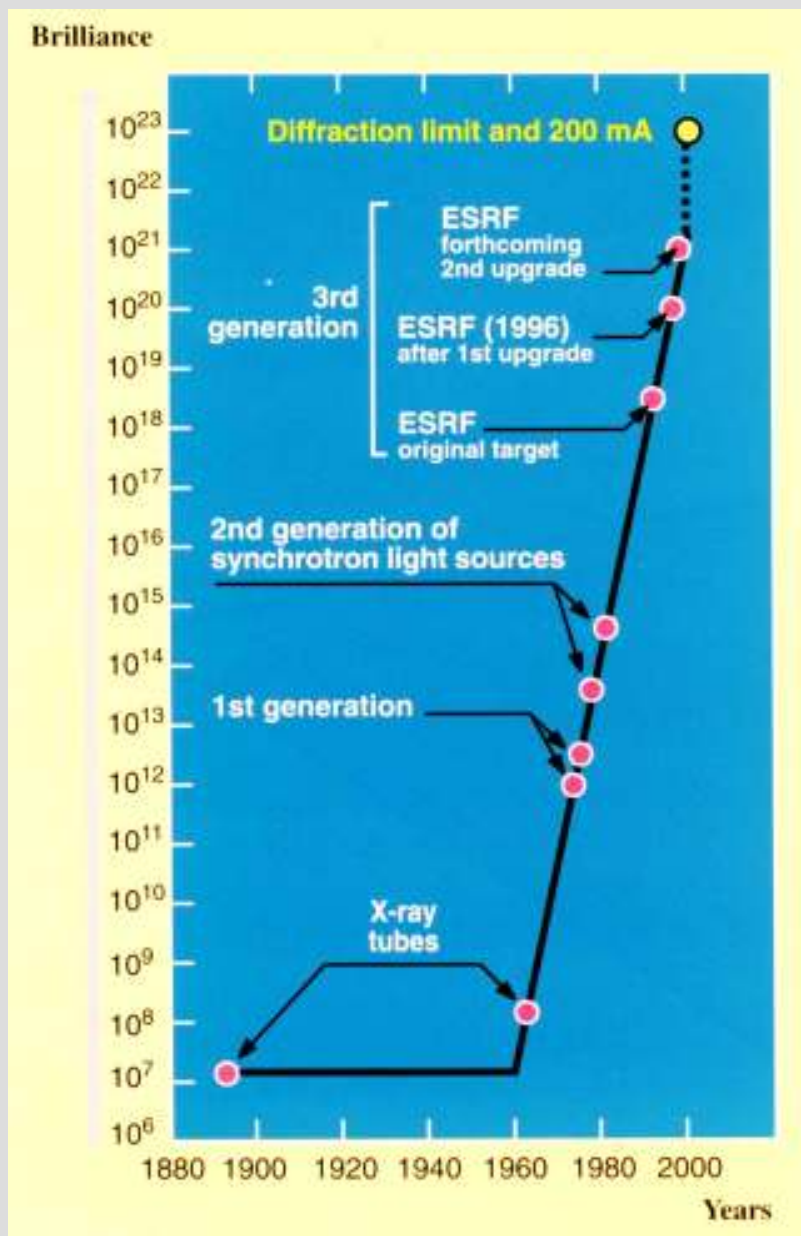




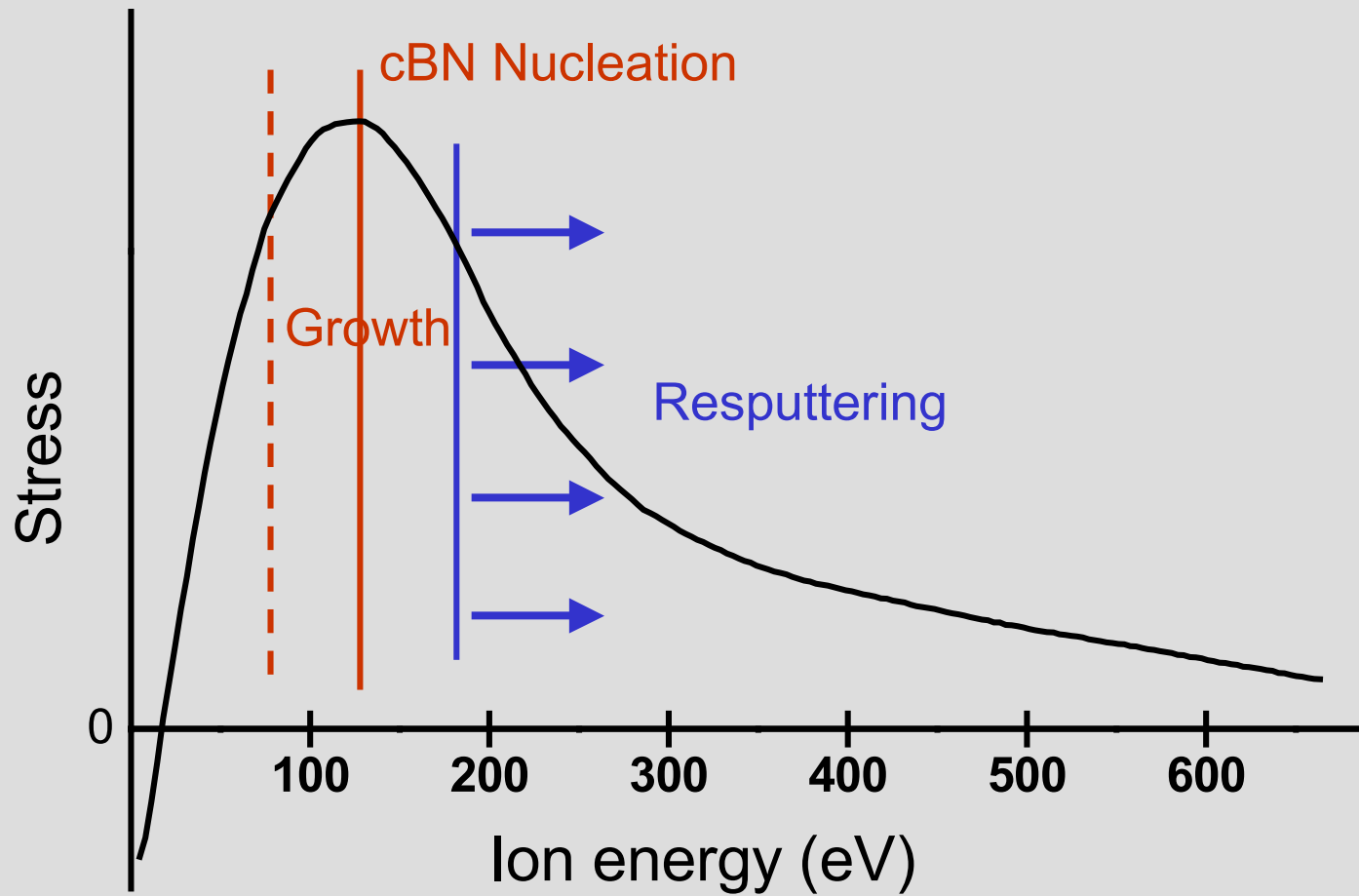


# What is a synchrotron ?

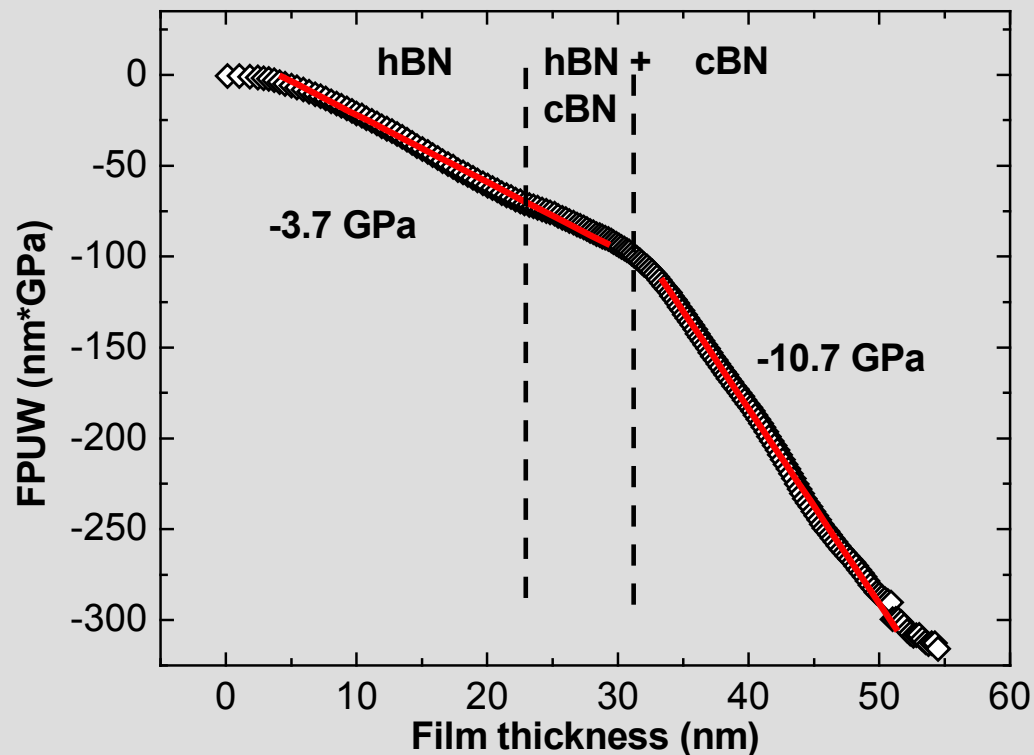




# Osadzanie cBN

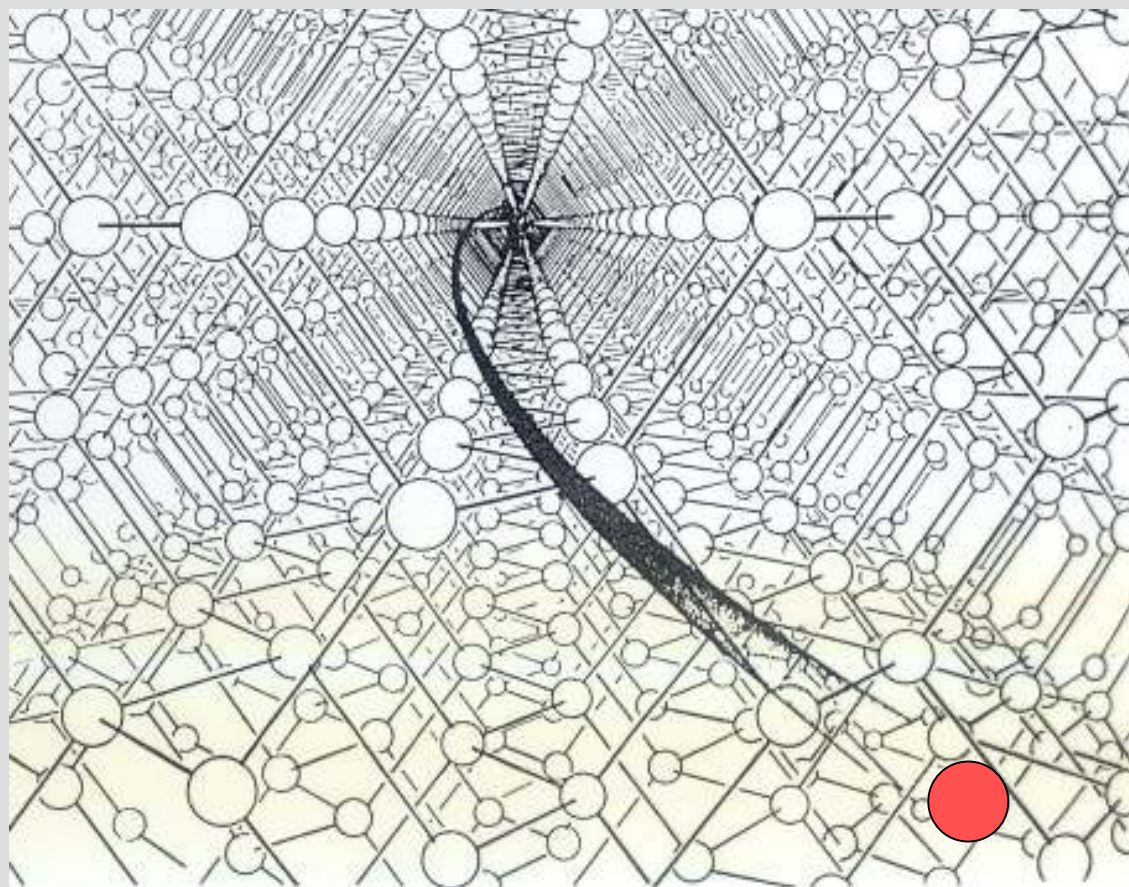


## Naprężenia podczas wzrostu cBN



- hBN → cBN: growth rate reduces
- Stress in hBN: -3 to -4 GPa
- After cBN nucleation and coalescence stress increases up to - 10 GPa

Kanałowanie jonów





Badanie kruchości polietylenu metodą zarysowania  
(obciążenie = 50 N,  $\varnothing = 200 \mu\text{m}$ )

