

Jerzy Pełka
Instytut Fizyki PAN

LASERY NA SWOBODNYCH ELEKTRONACH

ODDZIAŁYWANIE Z MATERIAŁĄ

ZASTOSOWANIA W BADANIACH MATERIAŁÓW

DIAGNOSTYKA WIĄZEK ELEKTRONÓW I FOTONÓW

Czym się zajmujemy?

Instytut Fizyki PAN, 02-668 Warszawa, Al. Lotników 32/46

SL-1.1 Zespół Optyki Rentgenowskiej i Atomowych Badań Strukturalnych
(3 pracowników naukowych + 2 inżynierjno-technicznych)

Tematyka: *Promieniowanie rentgenowskie i silne wiązki promieniowania krótkofalowego w badaniach materii*

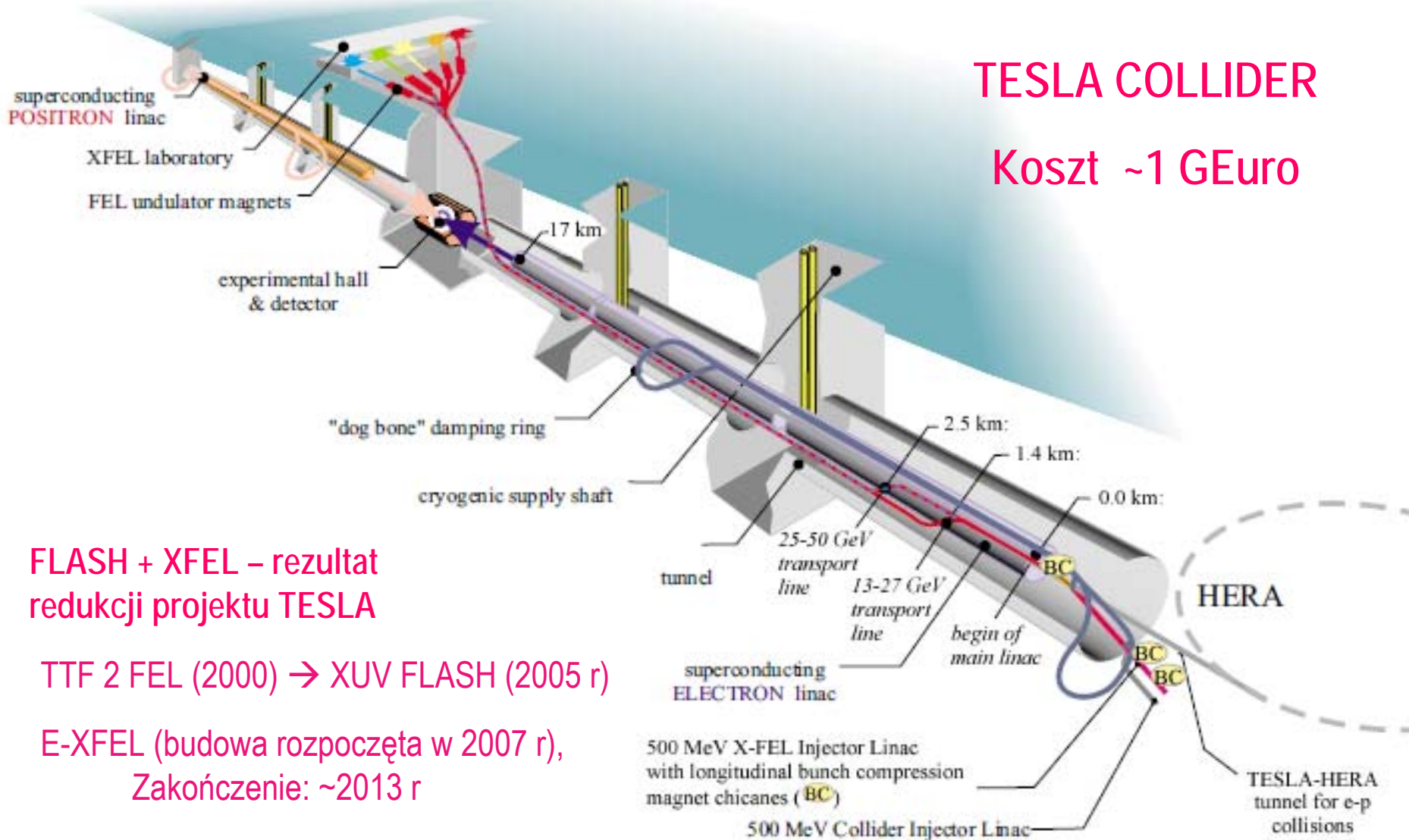
Materiały niskowymiarowe
Nanoklastry, ML,
druty, kropki
Badania, metody z zast. SR

Interakcja XUV FEL
z materią
Zniszczenia, optyka

Rozwój koncepcji
krajowych źródeł PS
Synchrotron w Krakowie
POLFEL

- Laser SASE- FEL a akcelerator liniowy
- Wybrane zastosowania nowych źródeł – obrazowanie makromolekuł
- Oddziaływanie impulsów lasera XUV-FLASH z materią
- Mikrodrżania urządzeń dużej skali

Program budowy laserów FEL w DESY (Hamburg)



TESLA COLLIDER

Koszt ~1 GEuro

FLASH + XFEL – rezultat
redukcji projektu TESLA

TTF 2 FEL (2000) → XUV FLASH (2005 r)

E-XFEL (budowa rozpoczęta w 2007 r),
Zakończenie: ~2013 r

(TTF FEL Tech. Report 2001)

Figure 1.0.4.: Schematic presentation of the whole TESLA facility.

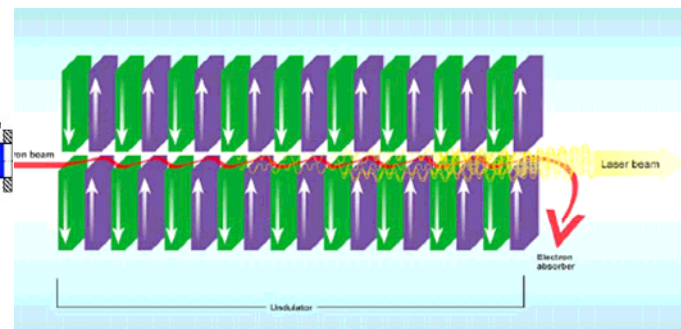
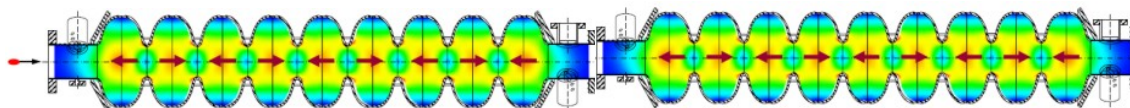
Laser na swobodnych elektronach (FEL):

(Liniowy) akcelerator elektronów

+

(długi) undulator

[Technologia TESLA → ILC]



Elektrony superrelatywistyczne (0.5-20 GeV)

Monoenergetyczne elektrony w wiązce

Optyka elektronowa formująca paczki elektronów

Duże gęstości ładunku

Silne pola elektryczne (20-40 MV/m)

Duży średni prąd

Emisja promieniowania EM

w periodycznym polu magnetycznym

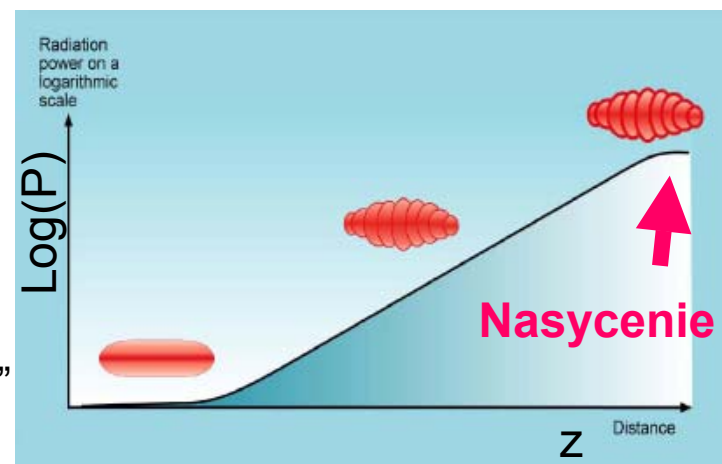
Sprężenie elektrony-promieniowanie

Laser SASE-FEL

SASE: Self-Amplified Spontaneous Emission

Warunek: segmentacja paczki elektronów w undulatorze

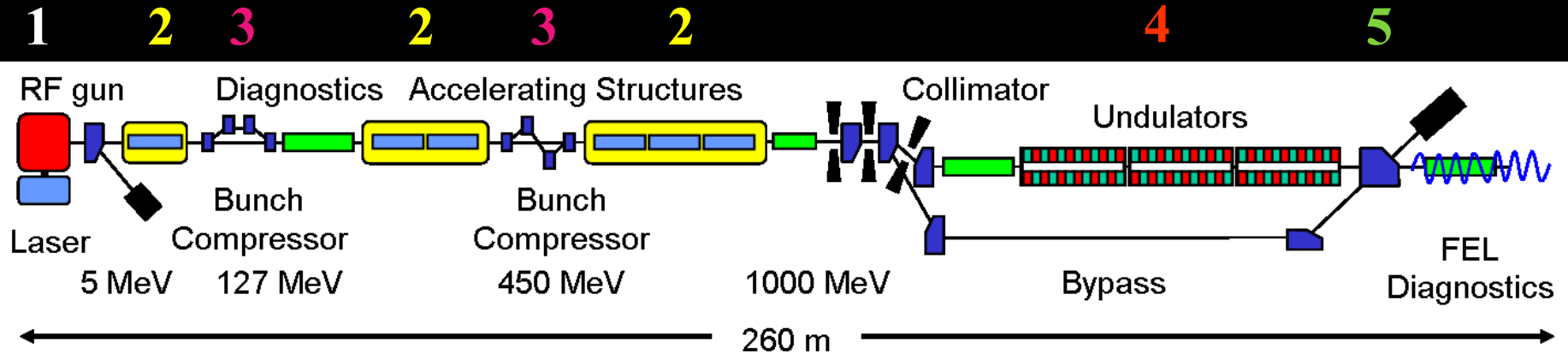
→ maksymalizacja gęstości ładunku w „plasterkach”



Paczka elektronowa – e^- przechodzi przez **undulator** promieniując fotony – $h\nu$
podłużna modulacja **paczki elektronowej**

→ wykładniczy wzrost mocy P lasera w funkcji drogi w undulatorze – z .

FLASH – Free-electron LASer in Hamburg



1 The electron bunches are produced in a laser-driven photoinjector.

2 Accelerated by a superconducting linear accelerator.

3 At intermediate energies of 125 and 450 MeV the 1 nC electron bunches are longitudinally compressed, thereby increasing the peak current from initially 50 -80 A to approximately 1-2 kA

4 The 30 m long undulator consists of NdFeB permanent magnets with a fixed gap of 12 mm, a period length of 27.3 mm and peak magnetic field of 0.47 T.

5 A dipole magnet deflects the electron beam into a dump, while the FEL radiation propagates to the experimental hall.

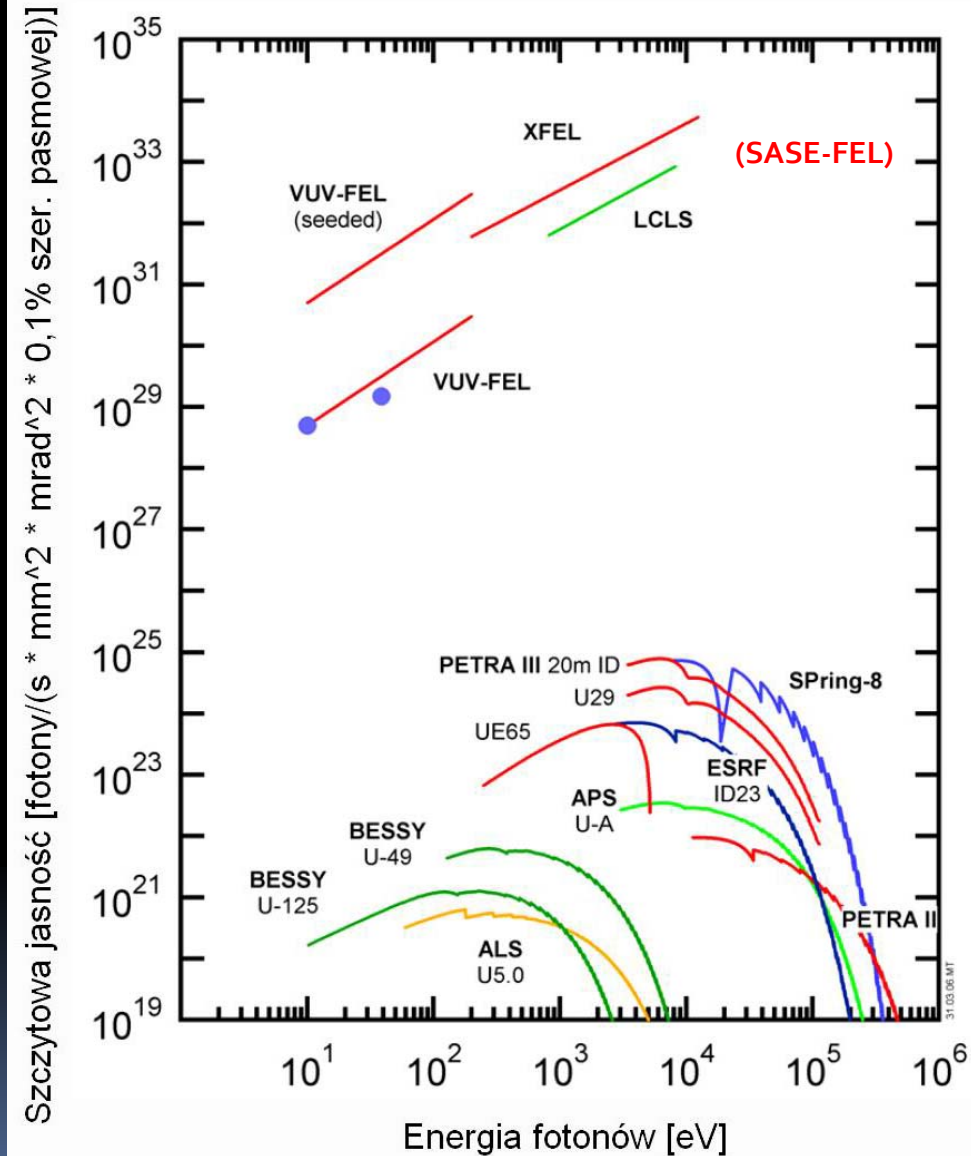
Własności lasera SASE-FEL

Własności

- > Wysokie natężenie (szczytowa jasność)
- > Ultrakrótkie impulsy < 50 fs
- > przestrajalność
- > źródło monochromatyczne (+harmoniczne)
- > spójność
- > nieprzewidywalność energii impulsu

Parametry – laser FLASH (stan na 11.2007)

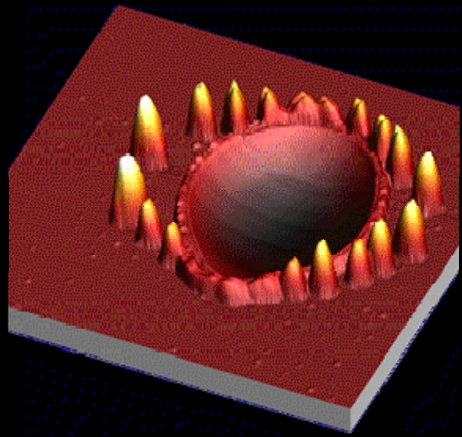
- > 48-11 nm (100 – 11 nm) **VUV-XUV**
- > 8.5 nm na III harmoniczej
- > nasycenie przy 13.7 nm
- > dł. Impulsu < 50 fs , typowa: 25 fs
- > moc szczytowa 1 GW
- > energia > 100 μJ/impuls
- > osiągalna gęstość mocy > 10^{14} W/cm²



> Nie istniało dotąd silne źródło VUV-XUV o takiej kombinacji parametrów

FLASH experimental hall (2007)





Oddziaływanie impulsów lasera XUV-FLASH z materią stałą

- Nowe procesy i zjawiska
- Własności optyczne materiałów
litych, warstw, wielowarstw, membran
- Damage [w kontekście optyki]

Badanie i modelowanie frontu falowego, koherencja

- obrazowanie bezsoczewkowe

Podstawy teoretyczne i nowe metody doświadczalne
dla XUV FEL i XFEL

Obrazowanie makromolekuł, nano- i mikroobiektów

- Rewolucja w określaniu struktury białek

Stan warm dense matter (ciepła plazma)

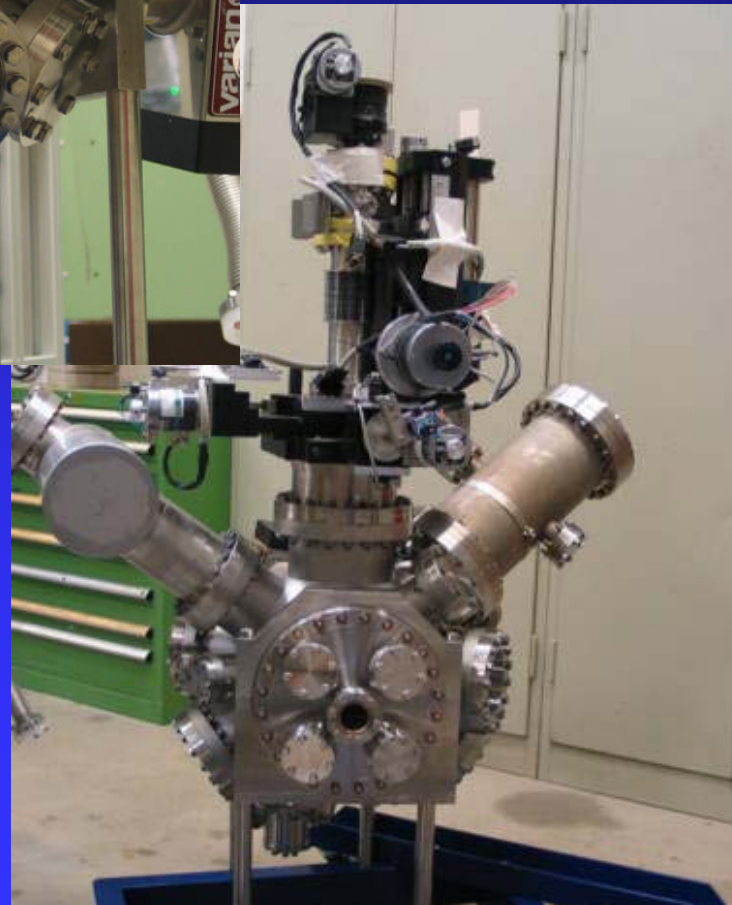
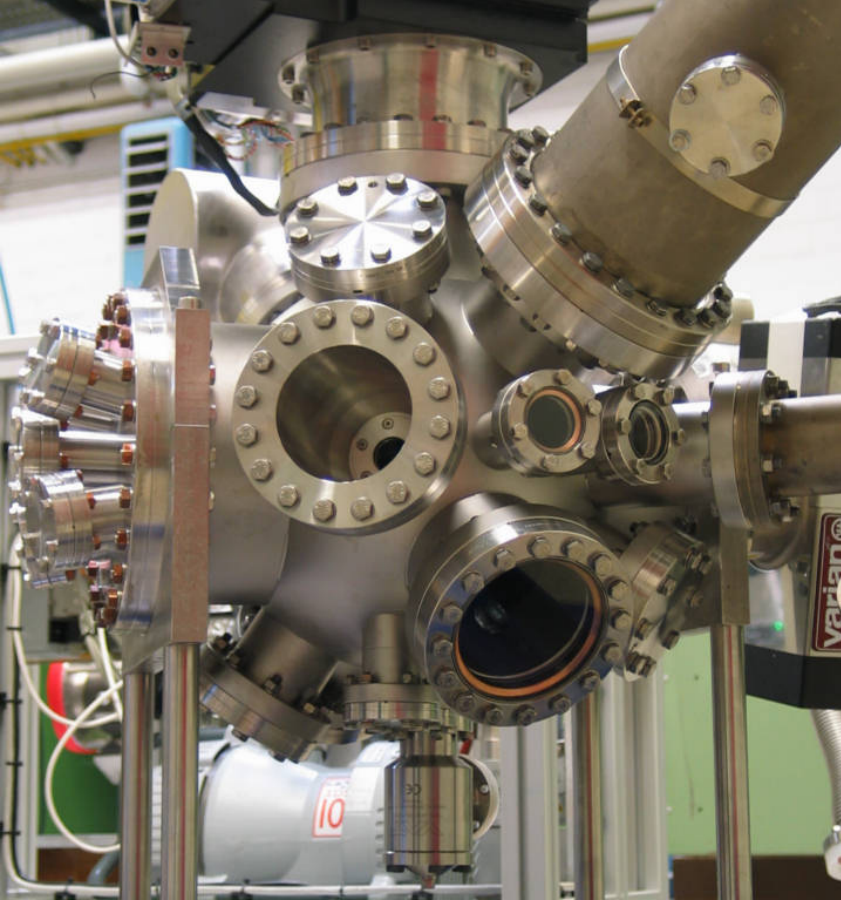
Efekty jądrowe...(?)

Fizyka cząstek elementarnych (aksjony)

Experimental Chamber FELIS II

[Jurek, Sobierajski, Krzywiński, Pełka, et. al., 2001, 2005]

- Dust-free, ultra-clean UHV
- Resistant to extreme radiation intensity
- Off-axis TOF (electrons and ions)
- Sophisticated sample manipulator

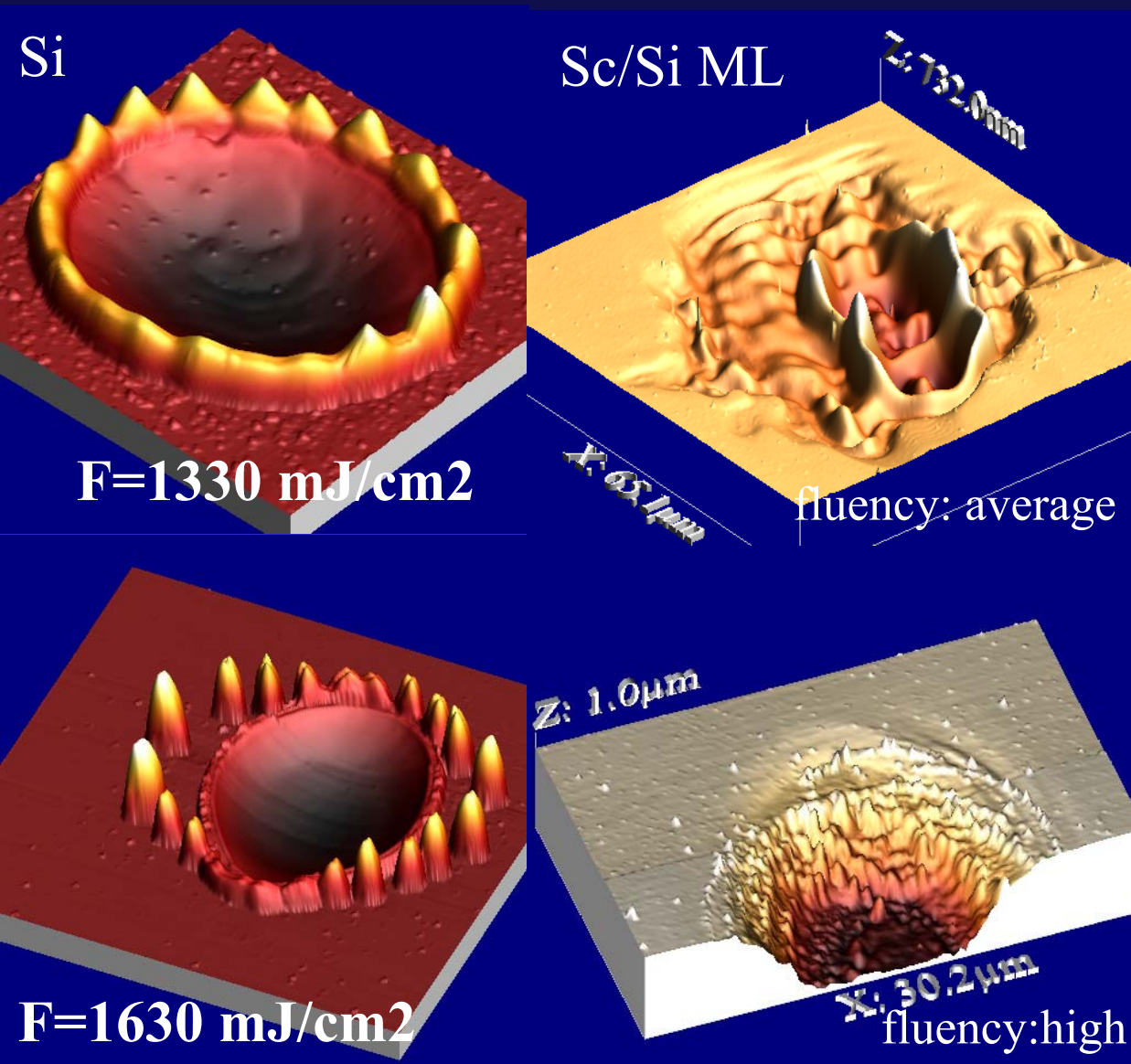


Masurement types:

- Reflectivity,
- Transmission
- Ion, Electron spectra
- 2D scattering pattern
- Pump & Probe
- Fluorescence

- Sample annealing to 1200K
- film sputtering
- variety of EM detectors inside
- multiport construction
- Optical laser input
- optical microscope ports
- ...

- Interaction of intense short wavelength (VUV to X-ray) beams with solids
- Study of modifications in materials and devices applicable to strong beam optics
- modification and damage of solids by fs FEL pulses (bulk, films, ML, membranes)
- comparison with sources operating with longer pulses and other photon energies



Research group:

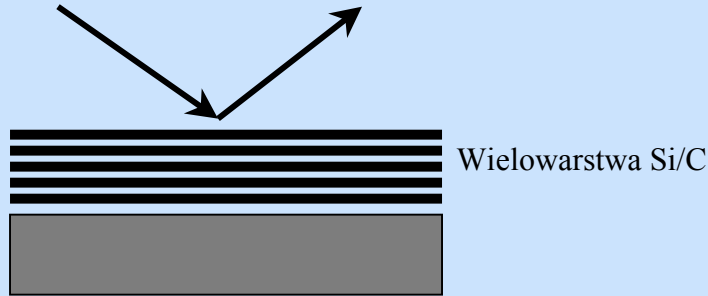
Jerzy Pełka
 Ryszard Sobierajski
 Dorota Klinger
 Marek Jurek
 Danuta Zymierska
 Robert Nietubyć

Andrzej Andrejczuk
 Andrzej Wawro
Jacek Krzywiński

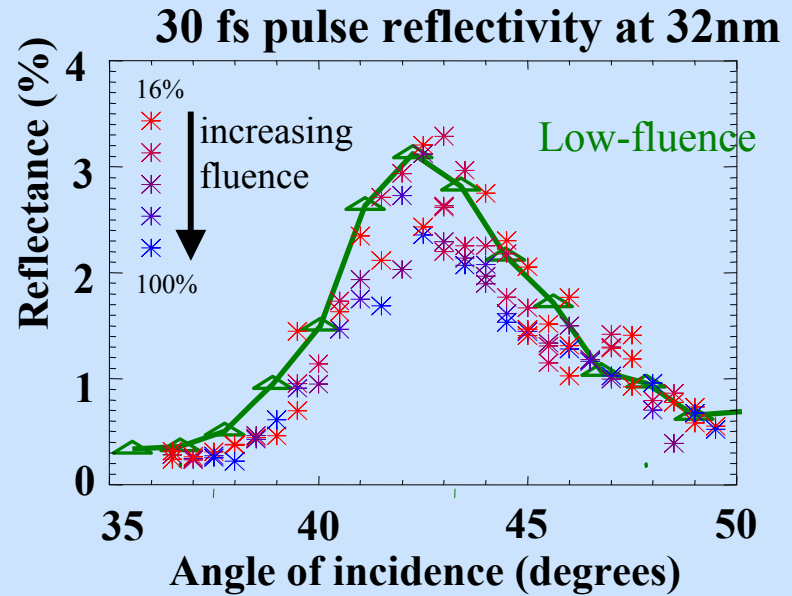
single shot damage
 @ 32 nm, 30 fs,
 AFM patterns

Pierwsze eksperymenty z XUV-FEL wskazują, że informację strukturalną można otrzymać zanim obiekt ulegnie zniszczeniu

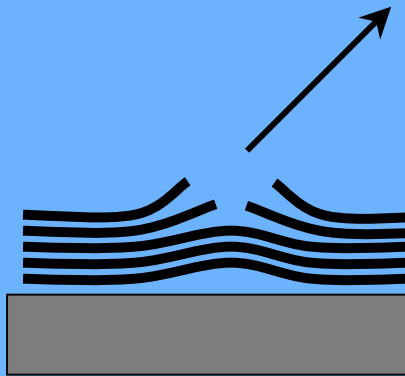
podczas impulsu 30 fs (10^{14} W cm⁻²)
32 nm dł. fali



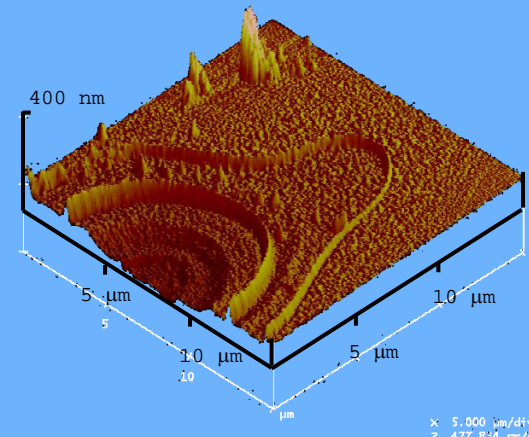
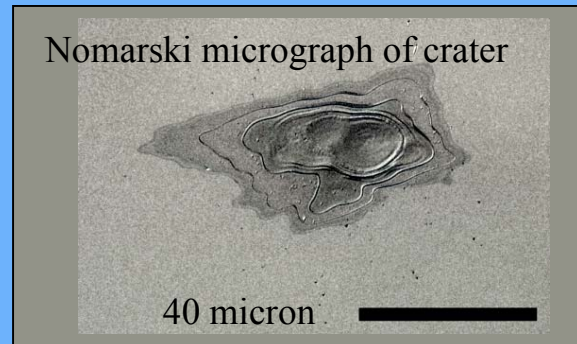
Wsp. odbicia niezmienny
Grubość d wielowarstwy nie zmienia się o więcej niż 0.3 nm



Po impulsie



Tworzy się plazma, warstwy ablują

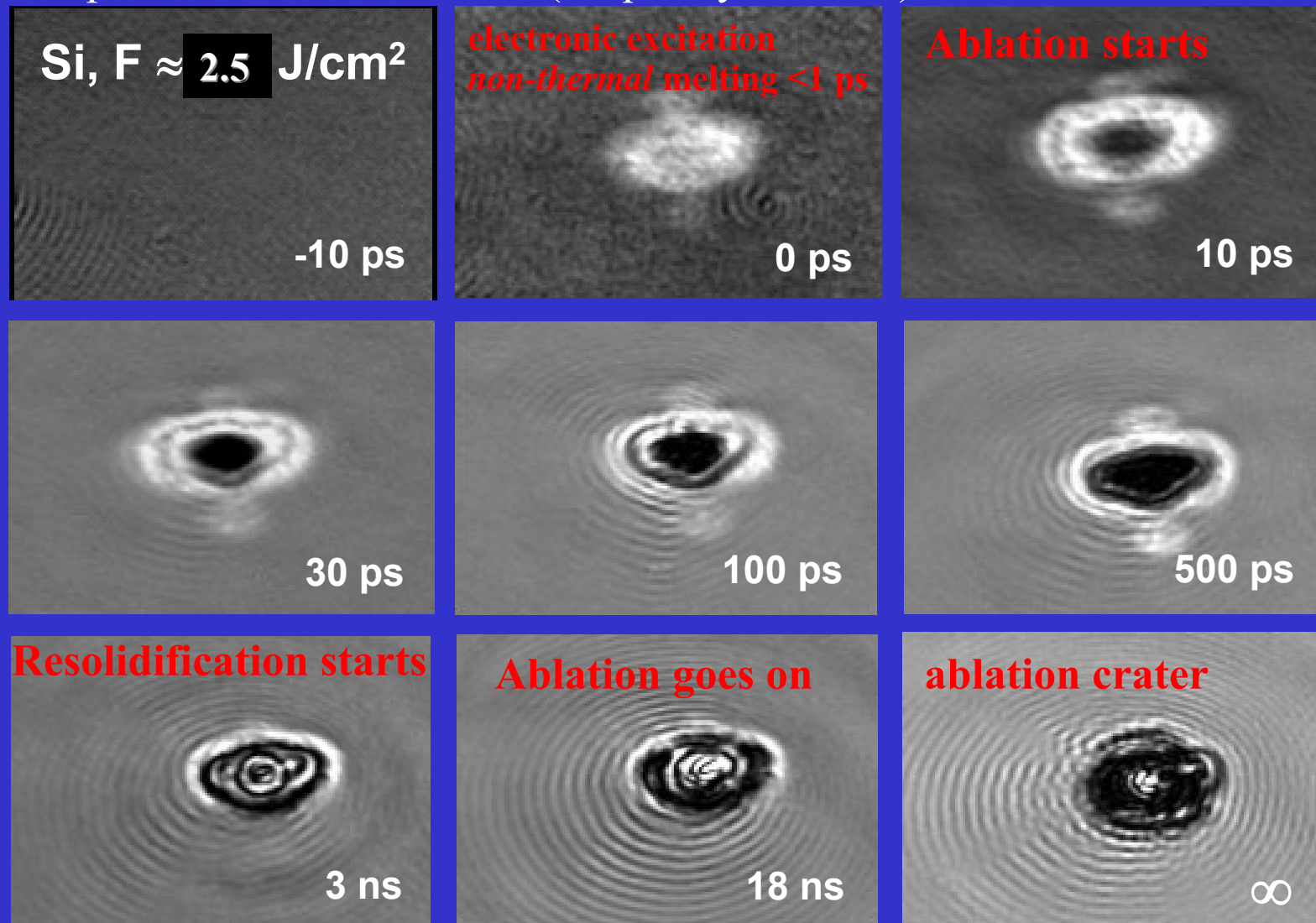


P&P movie of a Si-wafer damage by VUV-FEL single shot

Pump: 30 fs, 32 nm FLASH pulse fluence: 2.5 J/cm^2

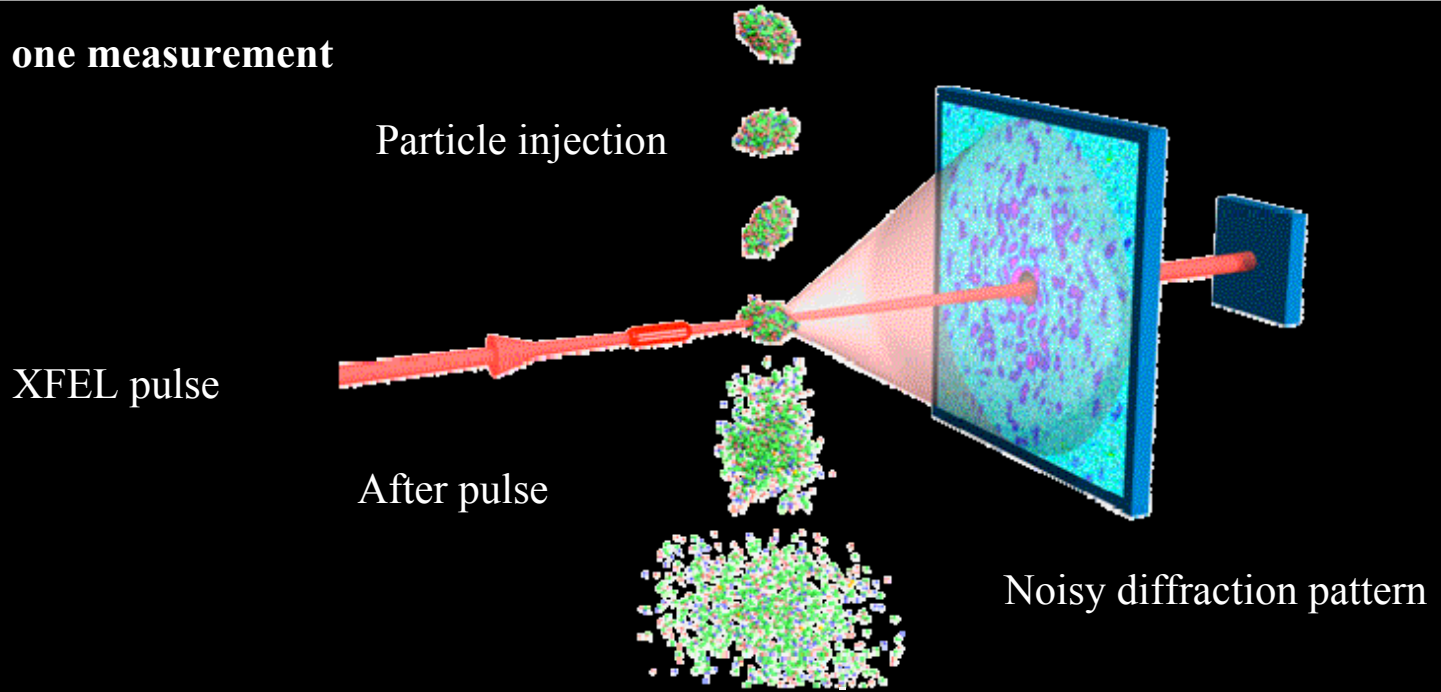
(25 x melting threshold and 6.3 x ablation threshold).

Probe: 10 ps Nd:YLF-laser 532 nm (frequency-doubled)

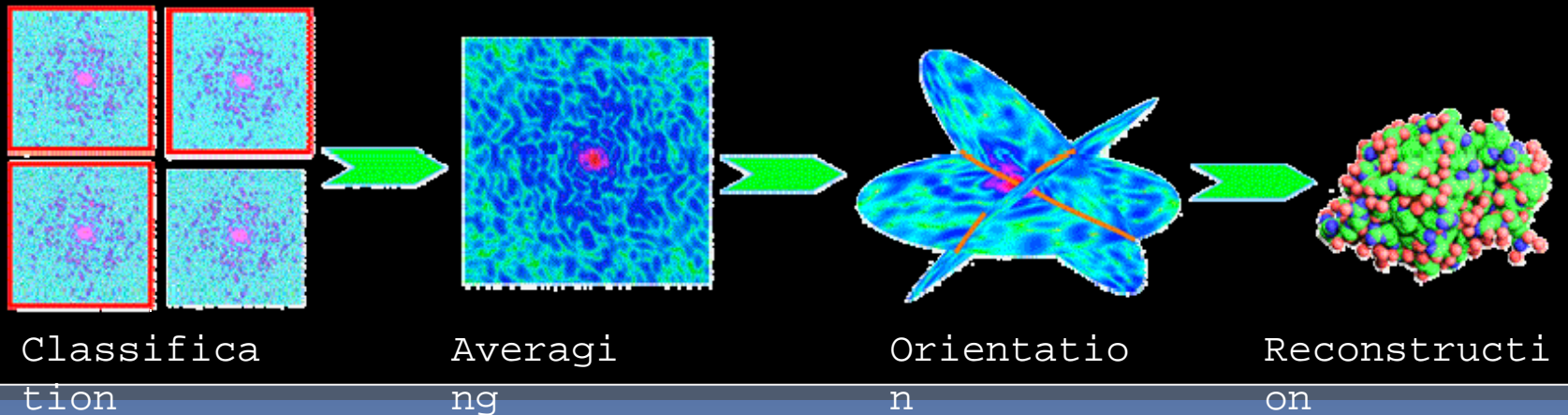


Obrazowanie pojedynczych molekuł (X-FEL)

One pulse, one measurement



Combine 10^5-10^7 measurements



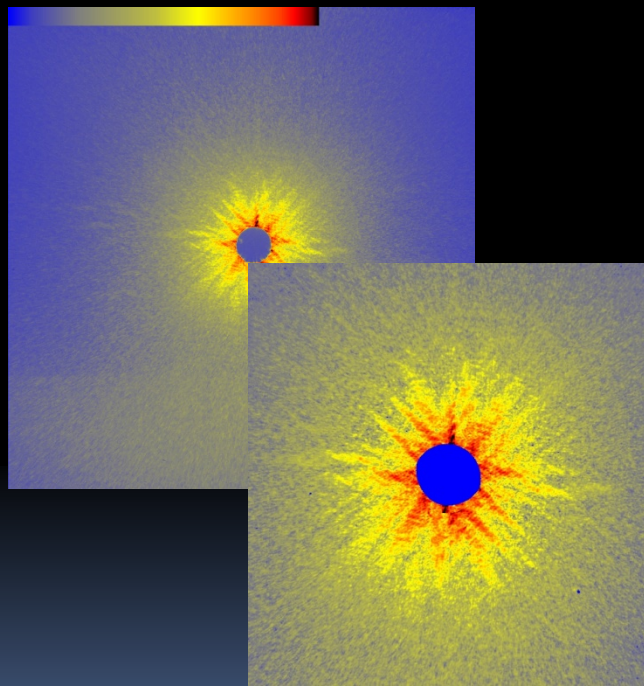
Obrazowanie komórek

Dyfrakcja w pojedynczym impulsie FEL na komórkach

Spiroplasma - małe bakterie, (klasa Mollicutes), jak wszystkie prokarioty nie mają błony jądrowej, zakażają rośliny, przenoszone są przez owady.

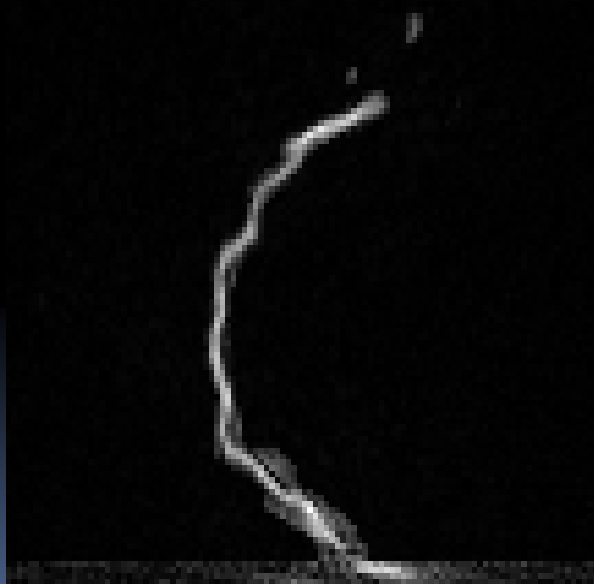
Długie ($>1 \mu\text{m}$) cienkie ($\sim 100\text{nm}$) komórki

Dane eksperymentalne



Centralna część obrazu dyfr.

Obliczona gęstość elektronowa



Obraz SEM przed ekspozycją w FEL



Dane przy wyższych kątach są zaszumione, tylko środkową część danych użyto do rekonstrukcji.

Mikroruchy podłoża a akceleratory

- Różne skale częstości i amplitudy
- Przyczyny
 - Geologia
 - Pływy skorupy ziemskiej (Petra: $\sim 80 \mu\text{m}$)
 - Własności konstrukcji
 - Pogoda i klimat: zmiany temperatury, wilgotności, ciśnienia, poziom wód gruntowych, etc...
 - Działalność człowieka – ruch uliczny, samoloty, ruch pieszy, pracujące urządzenia ...
- Problemy dla akceleratorów
 - Stabilność i jakość wiązki – różne skale czasowe
 - Synchronizacja procesów i detekcji
- Sposoby pomiaru i kompensacji

Różnicowy detektor drutowy

Konstruktor: mgr inż. M. Jurek, IFPAN

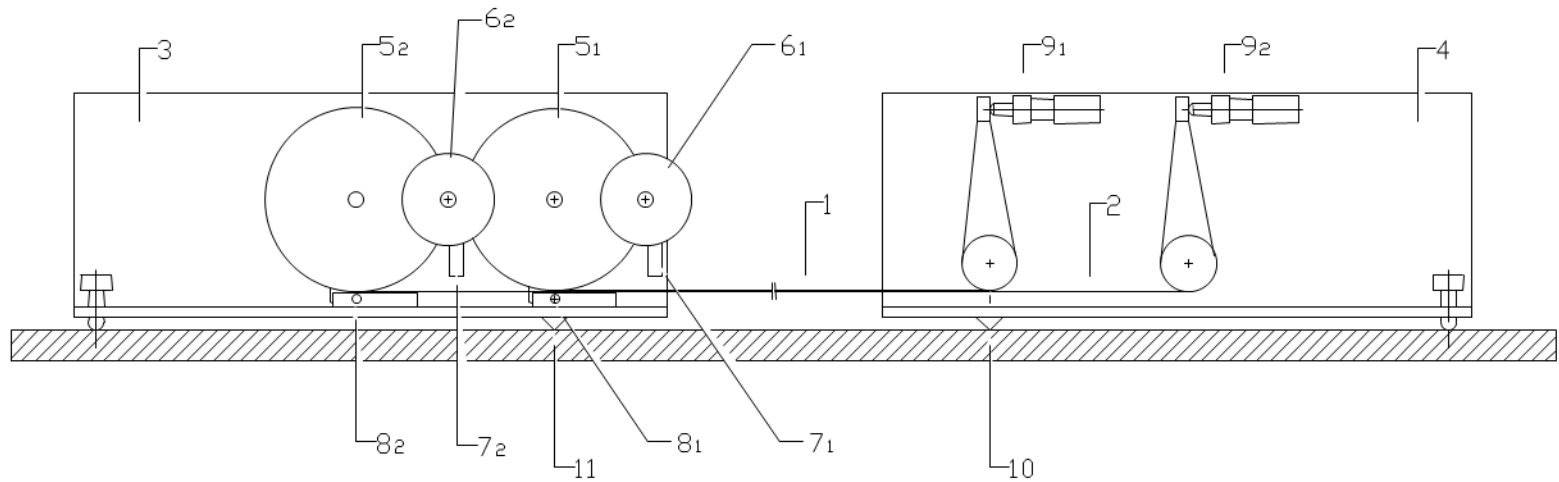
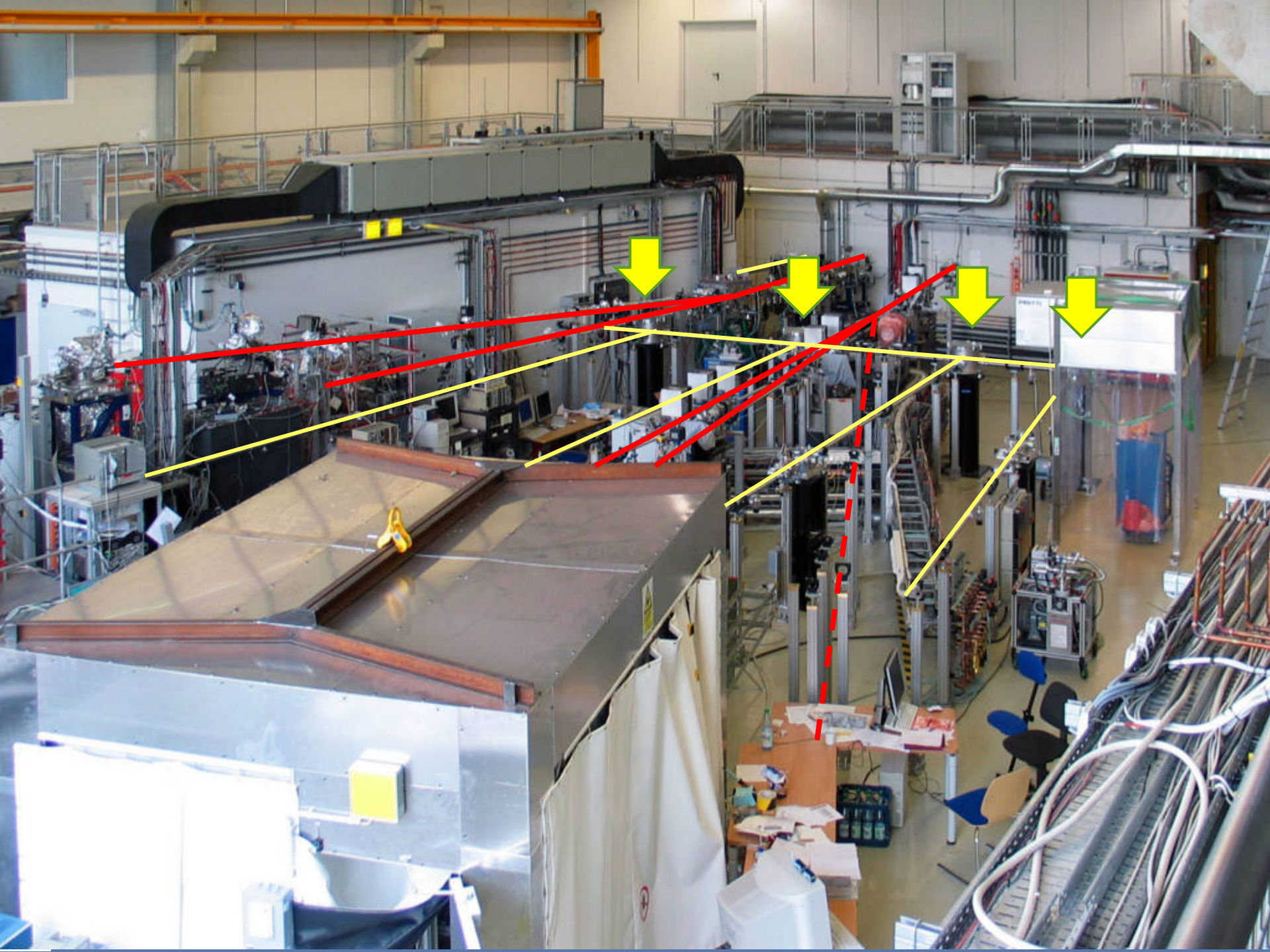


Figure 1 Schematic drawing of the apparatus.

1— invar wire, 2 — stainless steel wire, 3,4 — apparatus units, 5₁, 5₂ — levers stretching the wires, 6₁, 6₂ — weights, 7₁, 7₂ — dampers, 8₁, 8₂ — optical sensors, 9₁, 9₂ — micrometer screw, 10, 11 — fixing points

Czułość: ~ 300 nm/10 m; częstość graniczna ~ 3 Hz



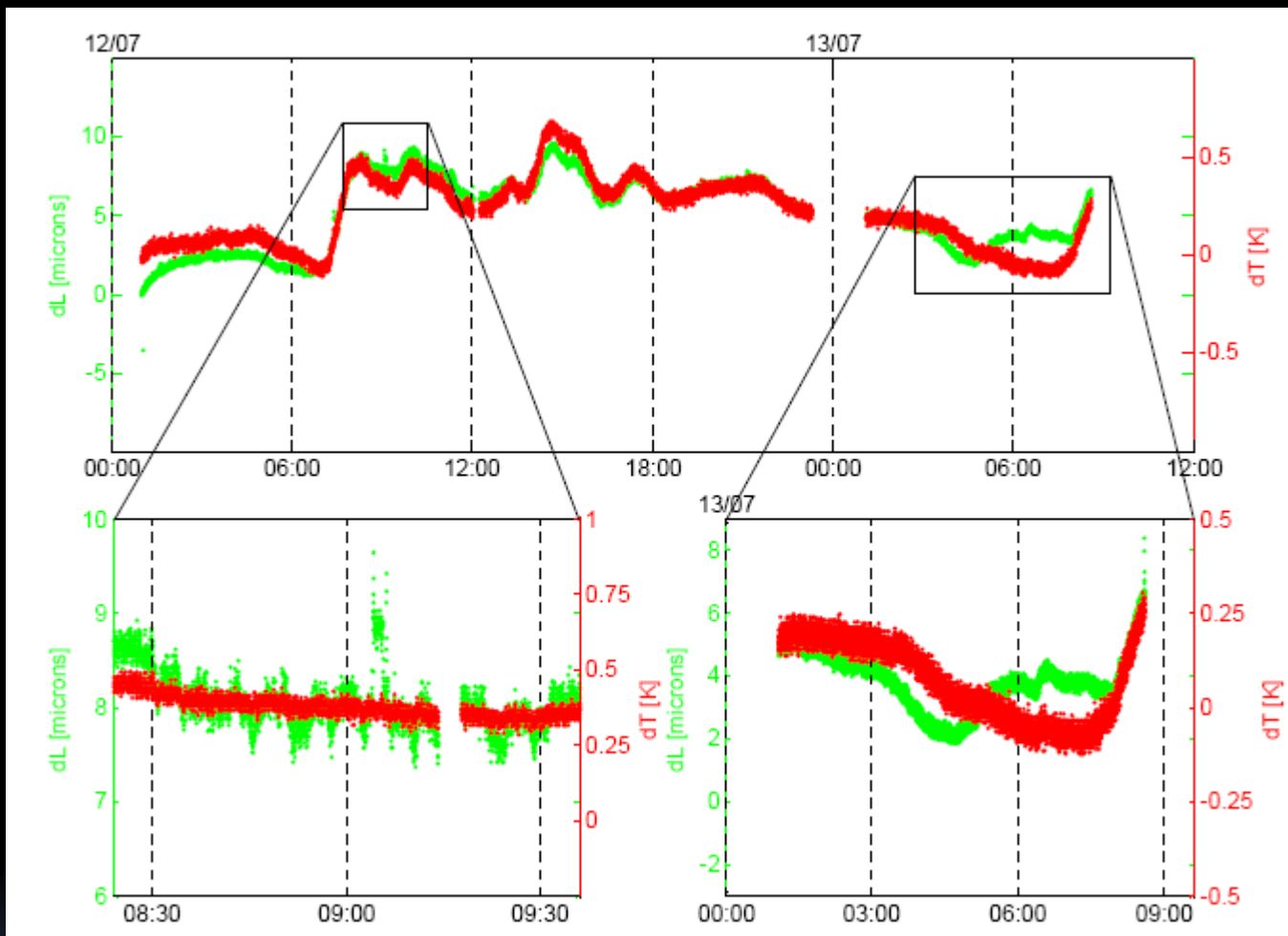
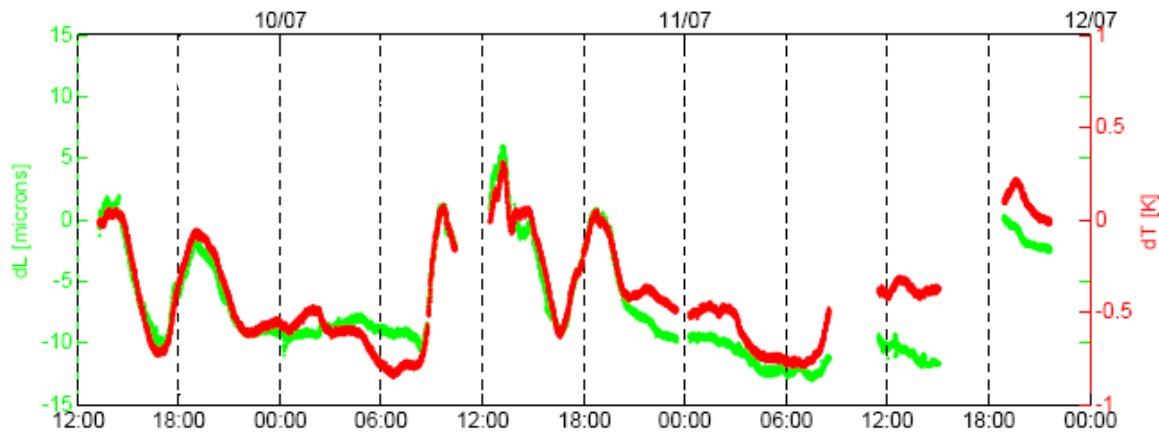


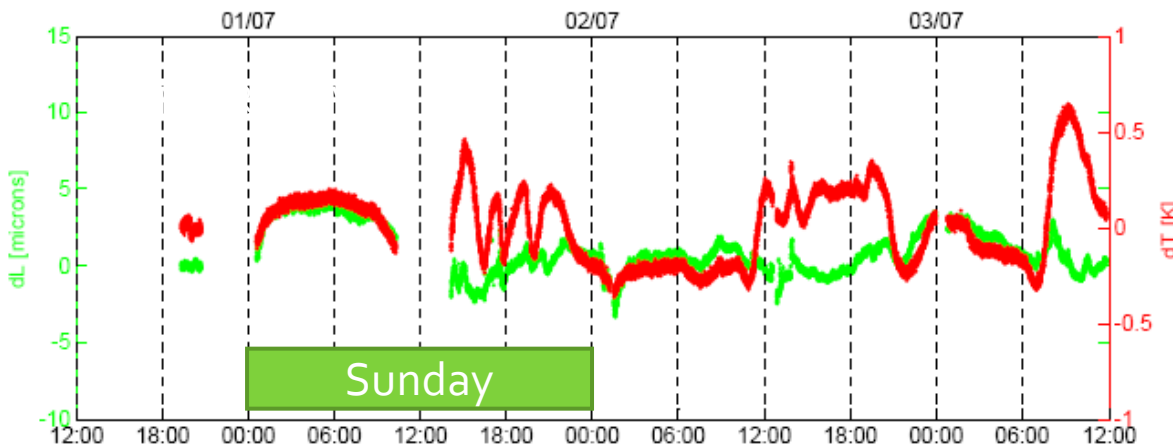
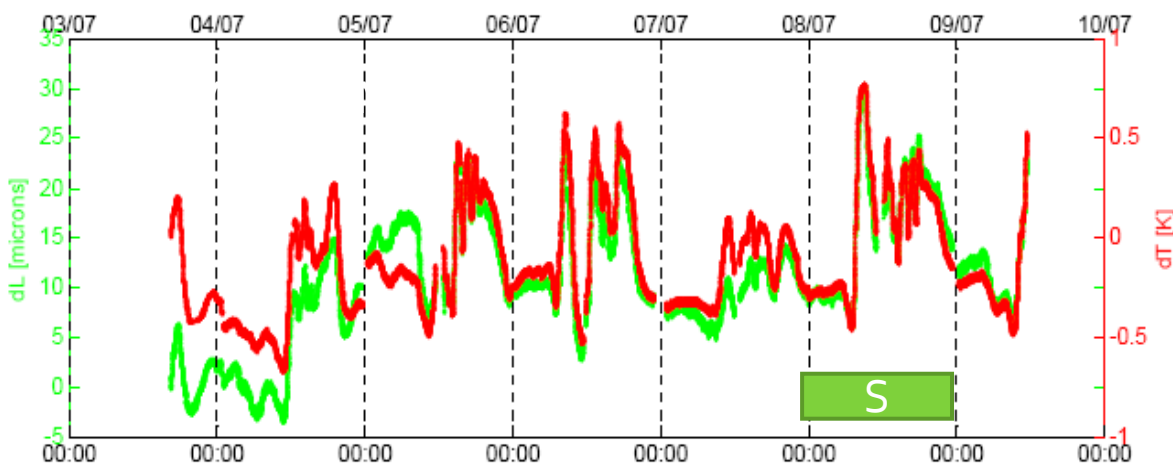
Figure 2 Changes of distance (green) and mean temperature (red) measured between pair of mirrors PPMo & PPM1 in the FLASH hall measured on July, 12th and 13th. For almost all the time, the change of the distance correlates with the changes of the mean temperature – the curves overlap (top). Nevertheless, in some periods of time, another tendency was observed (bottom), both on the short (left) and long (right) time scale



Changes of distance (green) and mean temperature (red) measured between pairs of mirrors

Distances and extracted STECs:

- PPM₂ - PPM₃ : 1544 mm : 8.8e-3
- PPM₁ - PPM₀ : 2445 mm : 6.2e-3
- PPM₂ - PPM₁ : 4933 mm : 3.0e-3
- PPM₃ - PPM₁ : 6477 mm : 3.1e-3



Polscy uczestnicy eksperymentów na TTF FEL / FLASH

Eksperymentatorzy:

Jacek Krzywiński → Livermore
Ryszard Sobierajski IF PAN
Jerzy Pełka SL-1.1
Dorota Klinger
Marek Jurek
Robert Nietubyc → IPJ Świerk

Marcin Sikora AGH → ESRF
Andrzej Andrejczuk UWB → Spring-8
Henryk Reniewicz UWB
Łukasz Pluciński PW → (USA)
Andrzej Bartnik WAT
Henryk Fiedorowicz WAT

Studenci:

M. Brancewicz (UWB)
R. Werpachowski (UKW)
K. Fudalej (UKW)
A. Kauch (UW)

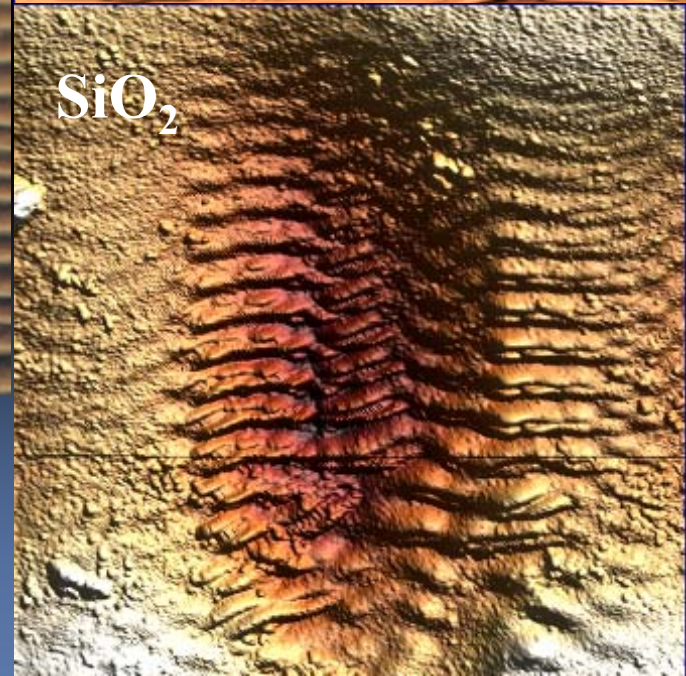
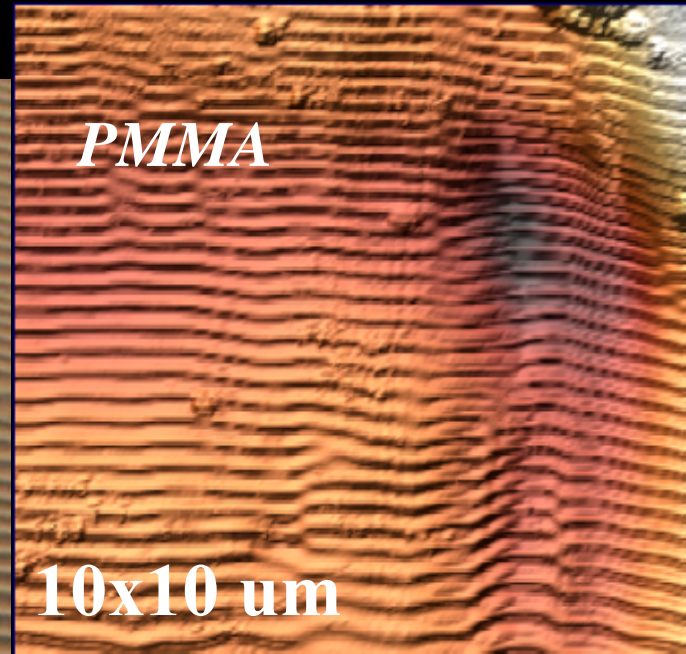
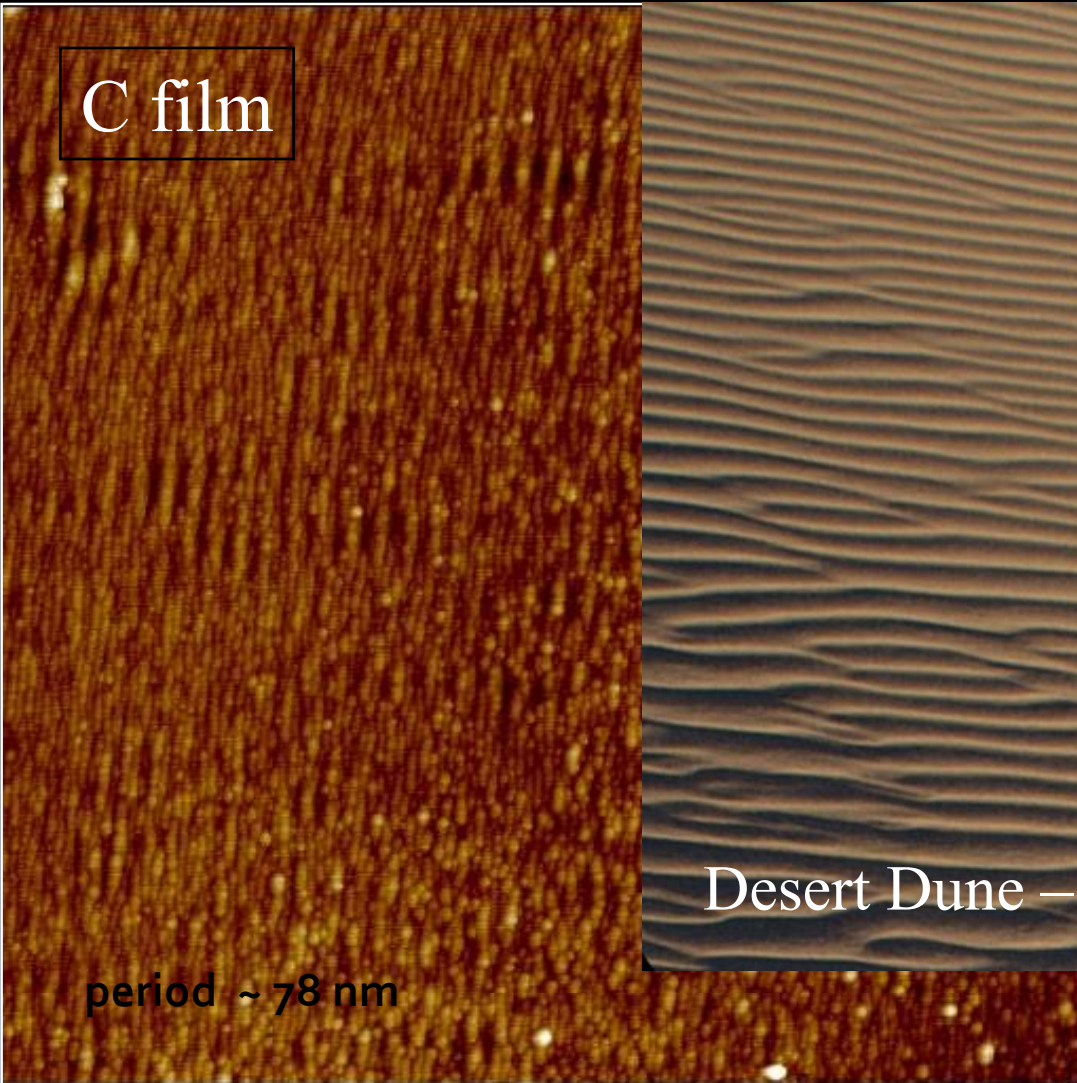
...

Teoretycy: M. Brewczyk (UWB), M. Gajda (CFT),
M. Rusek (IF PAN), B. Ziaja (UJ → DESY) ...

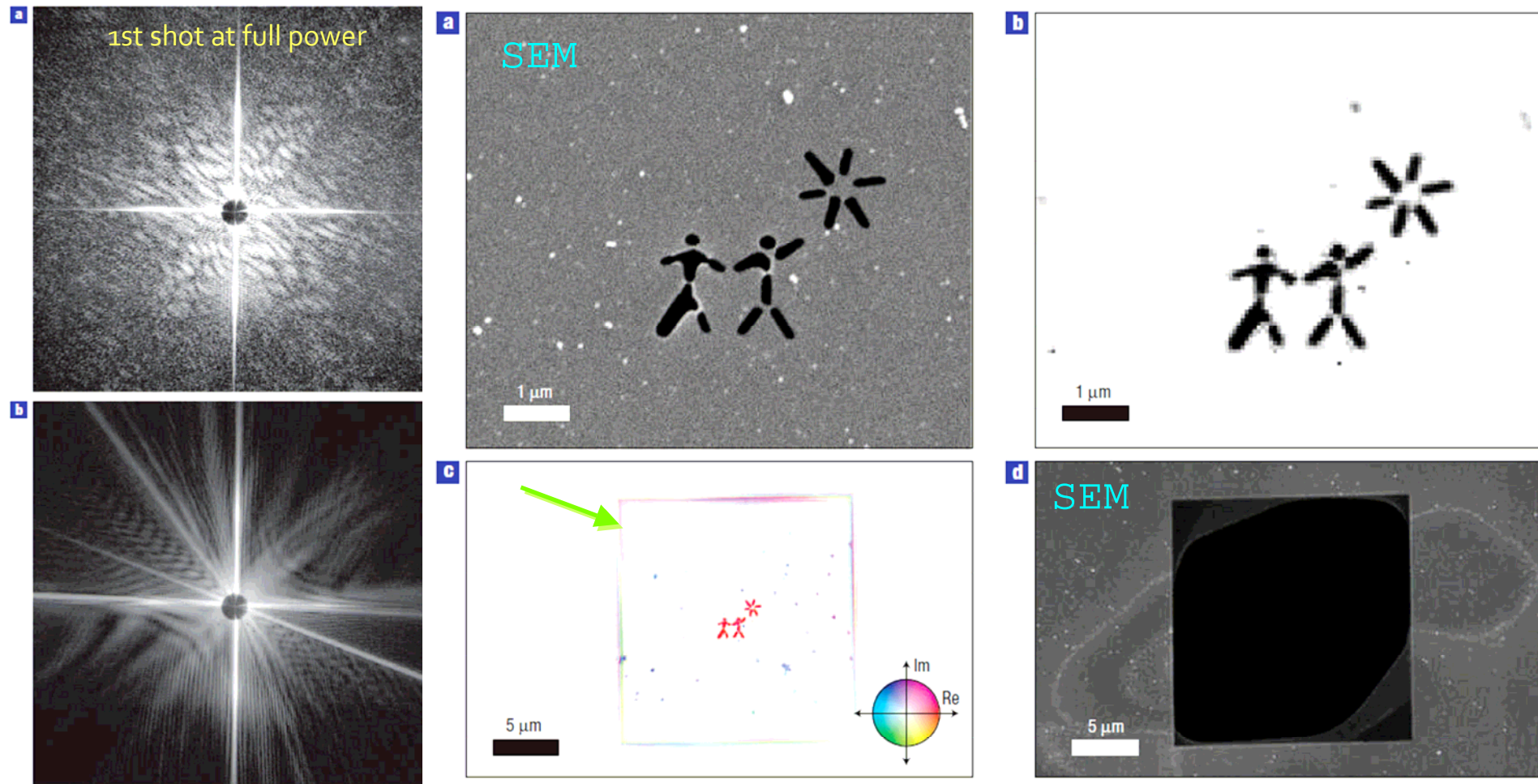
Publikacje z IF PAN 2002-2010

~15 artykułów z IF > 2.5 (Nature, PRL, Opt. Expr., APL, ...)
>30 z IF (1; 2.5)

LIPSS - Laser Induced Periodic Surface Structures



Rekonstrukcja obrazu na podstawie dyfrakcji w ultrakrótkim impulsie FEL (FLASH)



Obiekt – membrana SiN z wytrawionym wzorem

Pump and probe

- a technique to investigate ultrafast phenomena (fs-ps)

Pump pulses – generate some kind of excitation (or other modification) in a sample

Probe pulses - hit the sample after adjustable time delays giving snapshots of processes induced by pump pulse

Some P&P experimental modes

