



Końcowe Sprawozdanie z Realizacji Projektu Krajowe Centrum Nanostruktur Magnetycznych do Zastosowań w Elektronice Spinowej - SPINLAB



Tomasz Stobiecki
Katedra Elektroniki AGH, Kraków

**Maciej Czapkiewicz, Jarosław Kanak, Piotr Mietniowski, Wiesław Powroźnik,
Witold Skowroński, Zbigniew Szklarski, Piotr Wiśniowski**

Lidia Krawentek, Joanna Kożuch,



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO**



ZADANIA

1. Adaptacja pomieszczeń oraz zakup i montaż mebli laboratoryjnych

Całkowita kwota – 314.984,61 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 31.12.2010

2. Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

Całkowita kwota – 2.208.118,00 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

3. Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

Całkowita kwota – 1.730.942,79 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

Adaptacja pomieszczeń oraz zakup i montaż mebli laboratoryjnych

p. 308 i 212

laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych



p. 309

pokój dla pracowników



Całkowita kwota – 314.984,61 zł

ZADANIA

1. Adaptacja pomieszczeń oraz zakup i montaż mebli laboratoryjnych

Całkowita kwota – 314.984,61 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 31.12.2010

2. Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

Całkowita kwota – 2.208.118,00 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

3. Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

Całkowita kwota – 1.730.942,79 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

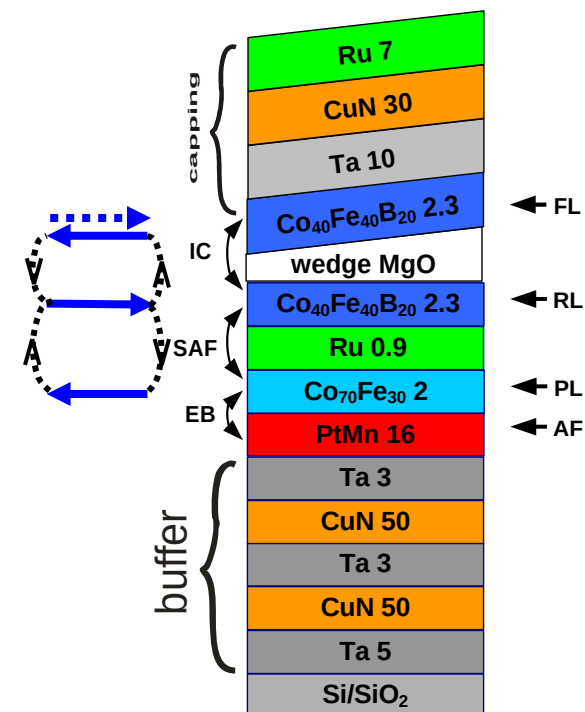
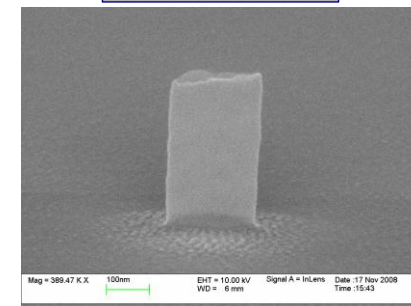
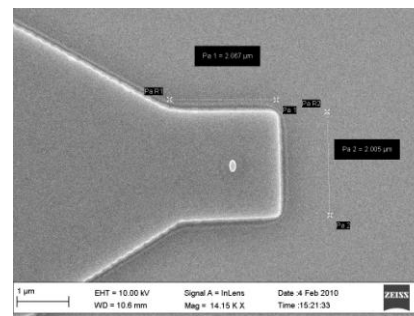
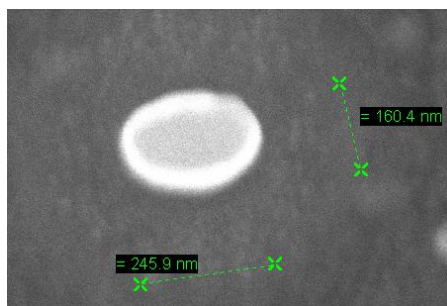
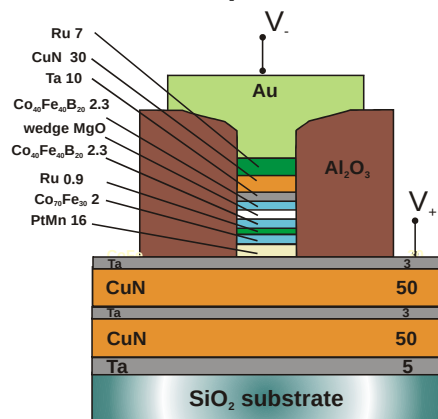
Multilayer pillar

- MTJ stack sputtering deposited **in Singulus**
MgO wedge thickness: 0.6 nm up to 1nm
(slope 0.017 nm/cm)

MBE pillar prof. J.Korecki Fe/MgO/Fe

Nanopillars

- 3 step e-beam lithography, ion etching, lift-off

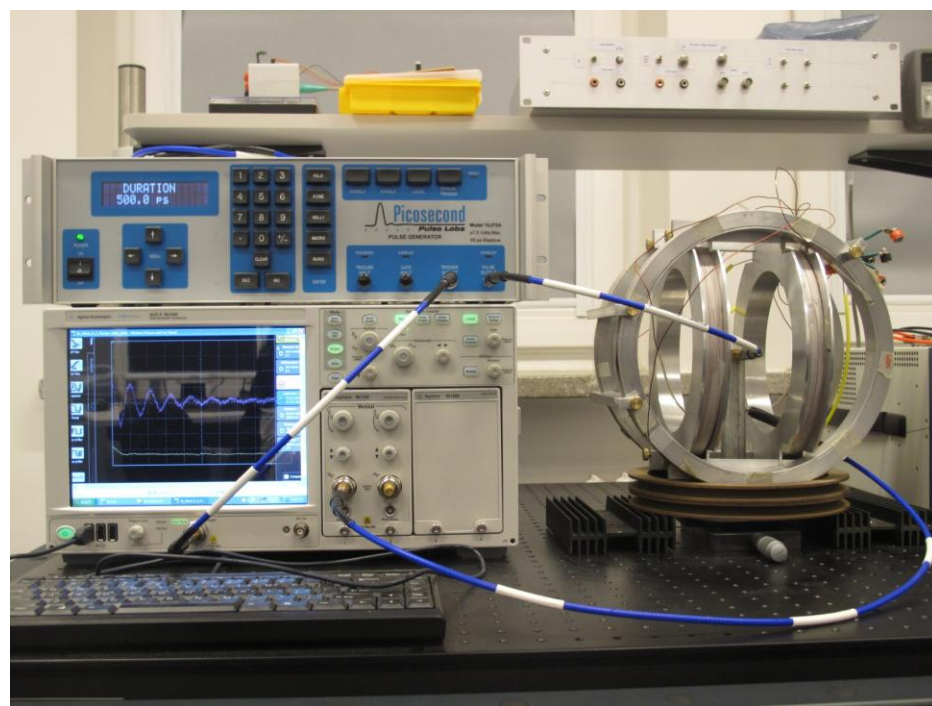
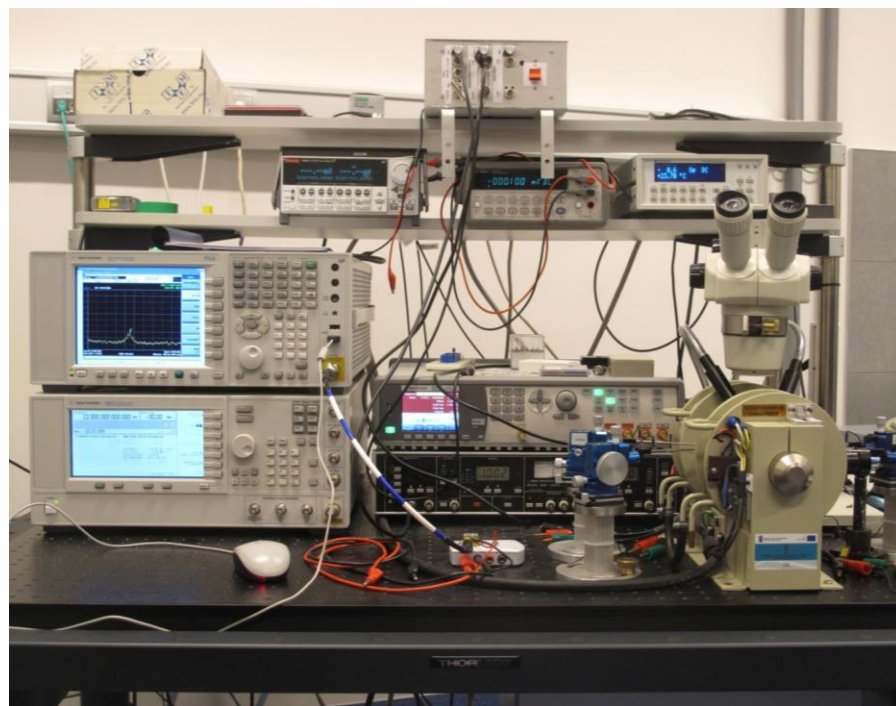


Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

W ramach zadania została zakupiona następująca aparatura:

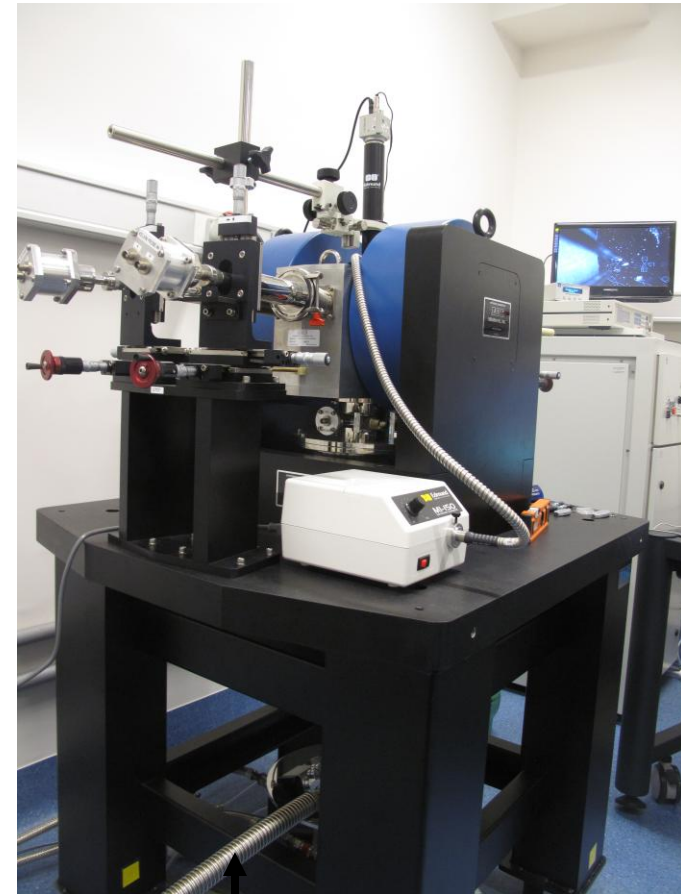
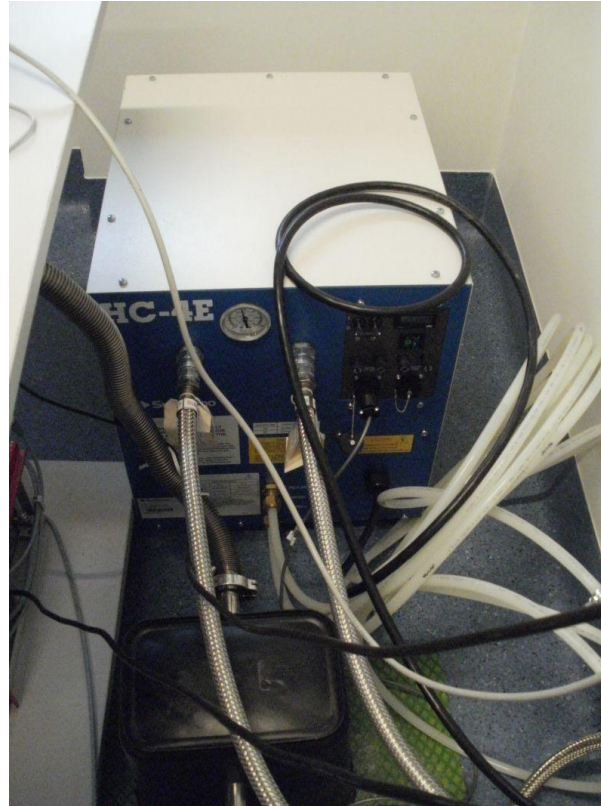
Zestaw urządzeń do dynamicznych pomiarów czasowo-rozdzielczych

oscylloskop 20 GHz, generator sygnałowy i impulsowy, generator pikosekundowy - 1.6 GHz
analizator widma - DC - 8GHz



Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

Chłodziarka helowa (z zamkniętym obiegiem helu) podłączona do układu pomiarowego z kriostatem



do układu pomiarowego



do chłodziarki helowej

- kriostat,
- 4 sondy DC, 2 RF (<40GHz)
- Pole magnetyczne +/- 0.55 T
- Zakres temperaturowy 12 – 475 K

PIMM

Pulse inductive microwave magnetometer

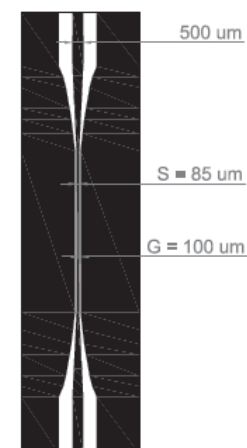
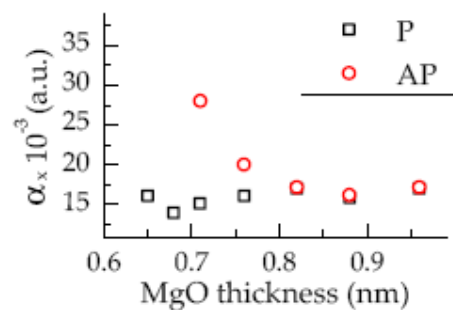
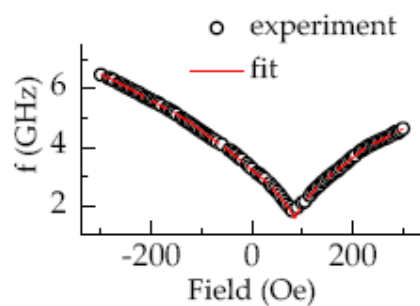
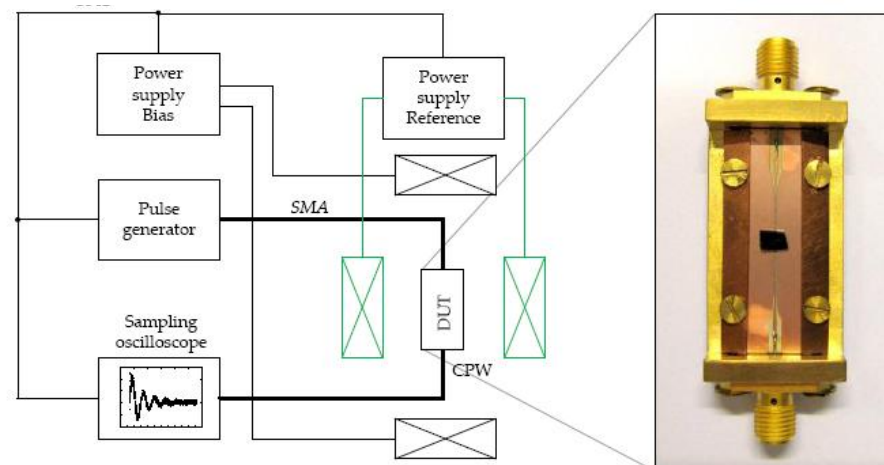
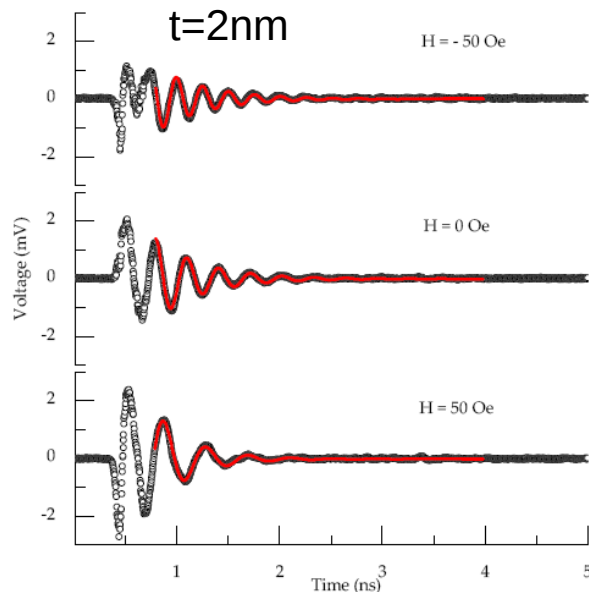
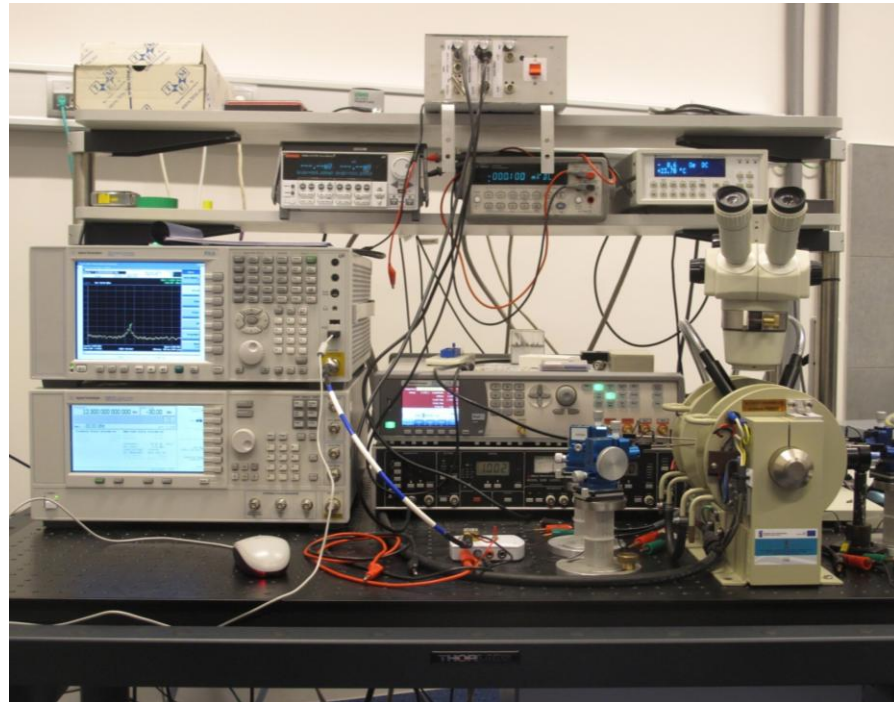


Figure 55: CPW design for the PIMM setup.

Magneto-transport measurement setup (pillars)

AGH



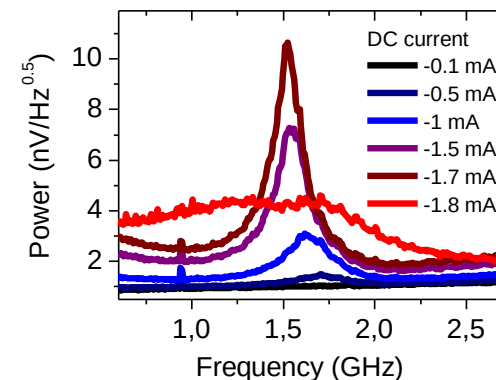
Możliwości pomiarowe:

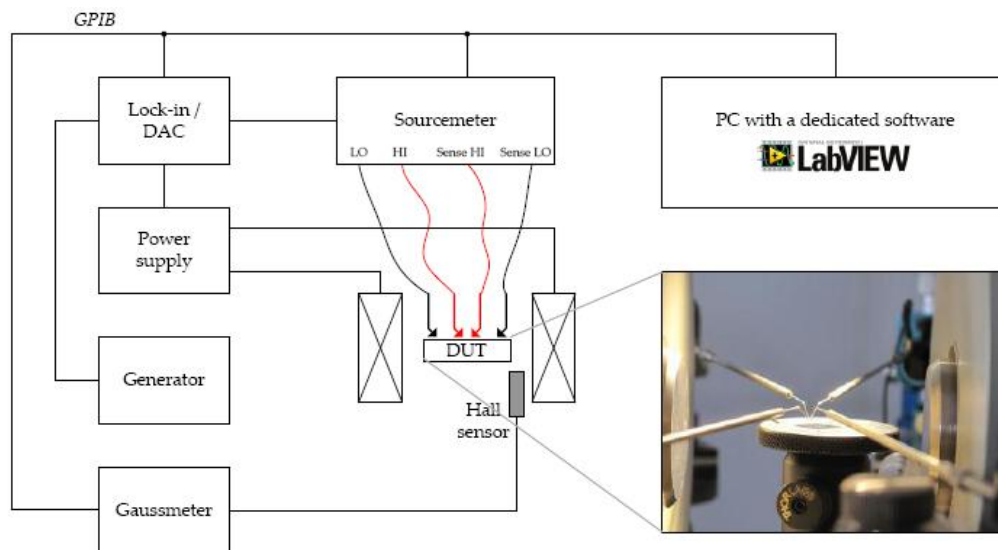
- Pomiar rezystancji od pola magnetycznego,
- prąd-napięcie,
- Dynamiczna konduktancja,
- Spin torque (diode, oscillators),
- Czułość czujników,
- Szumy niskich częstotliwości.

Integrated Power 0.4 nW

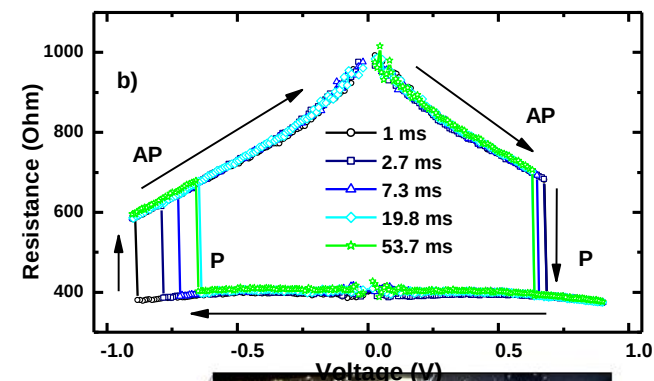
- Pole magnetyczne ± 0.8 T
- Częstotliwość DC – 20 GHz
- Rozdzielczość optyczna $< 5 \mu\text{m}$

W. Skowroński, T.Stobiecki et al. Appl. Phys. Express 5,(2012) 063005





CIMSand STT diode effect



ST-oscillator

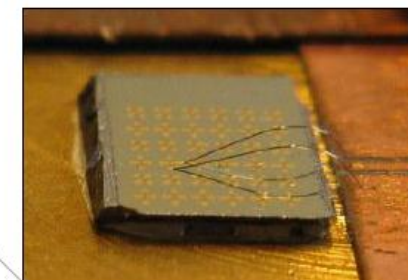
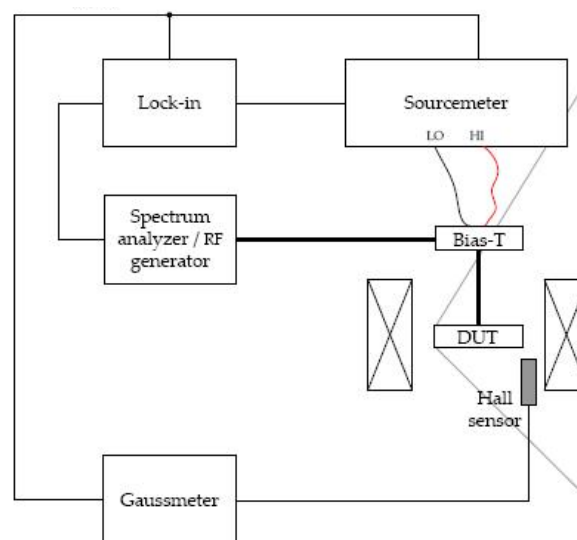
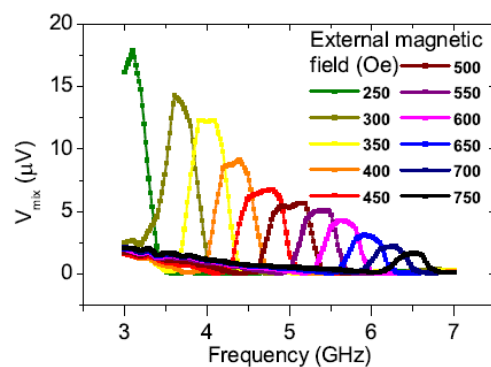


FIG. 1: ST-FMR spectra measured with different external magnetic field applied.

NOISE

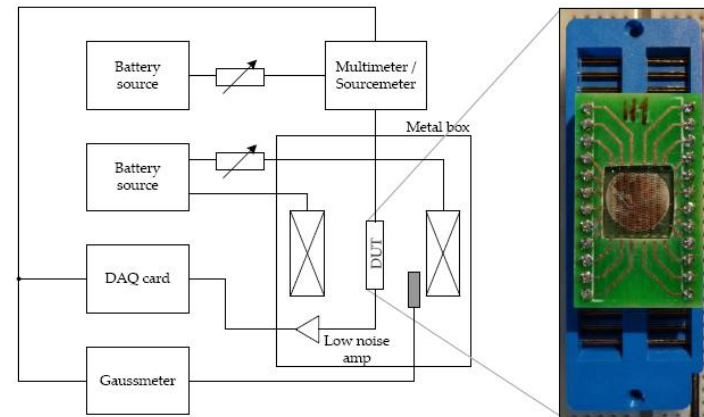
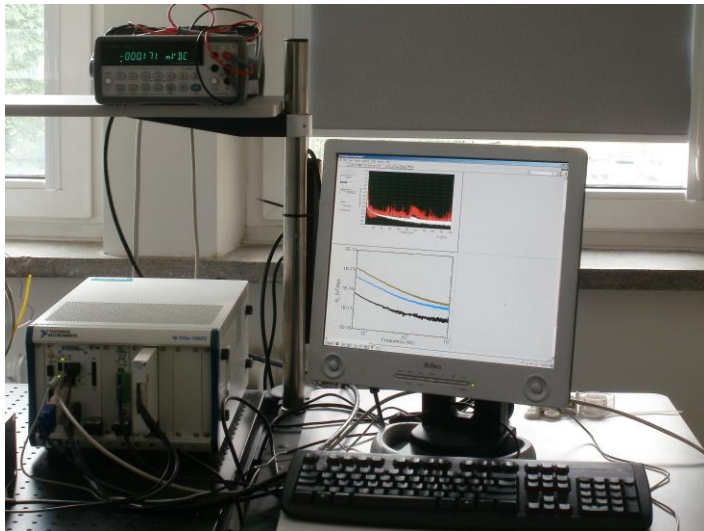
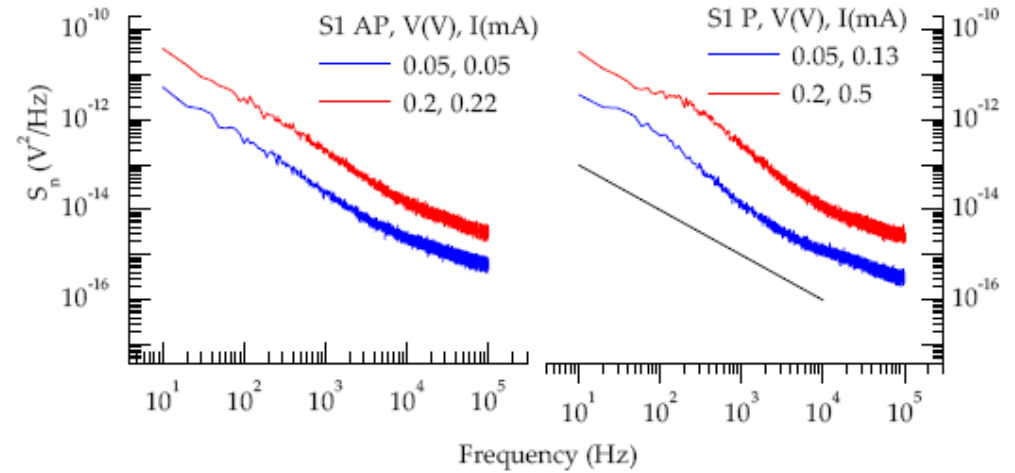


Figure 57: The schematics of the noise measurement setup.

Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

Klaster obliczeniowy „Layer”



klimatyzator

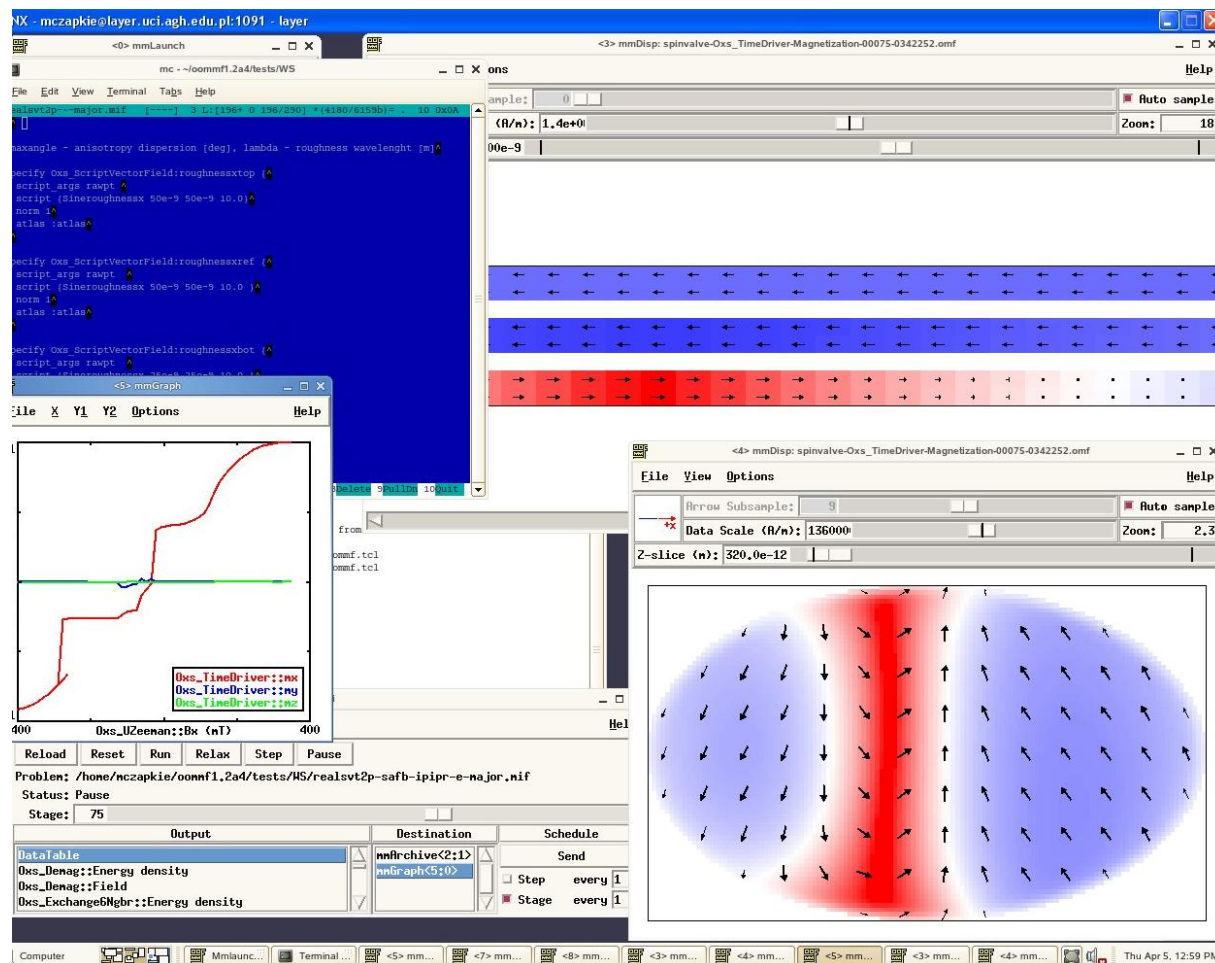
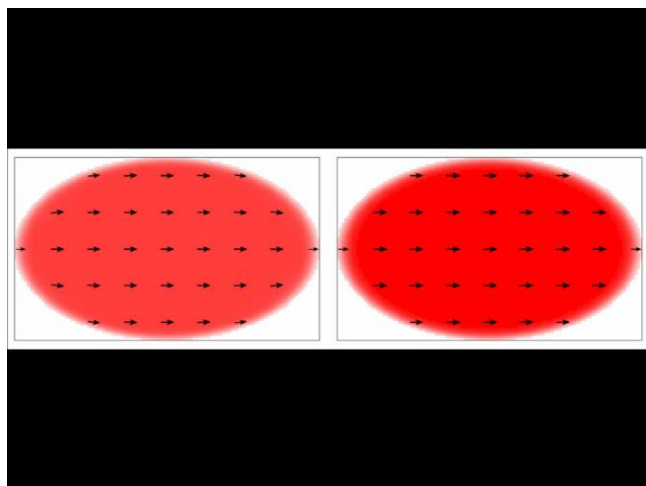


- Lokalizacja: AGH budynek C-3 sala 303
- trzy węzły obliczeniowe wyposażone w procesory czterordzeniowe 2.26GHz i 16GB RAM każdy
- praca w trybie serwera, system zasilania awaryjnego
- możliwość wykonywania programów na każdym węźle niezależnie

Micromagnetic simulation (OOMMF)

AGH Przykład pracy klastra - symulacja działania urządzeń elektroniki spinowej

modele mikrospinowe
dynamika magnetyzacji
wizualizacje w czasie rzeczywistym



ZADANIA

1. Adaptacja pomieszczeń oraz zakup i montaż mebli laboratoryjnych

Całkowita kwota – 314.984,61 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 31.12.2010

2. Laboratorium charakteryzacji elektrycznej i magnetycznej nanostruktur spintronicznych w warunkach dynamicznych

Całkowita kwota – 2.208.118,00 zł

Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

3. Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

Całkowita kwota – 1.730.942,79 zł

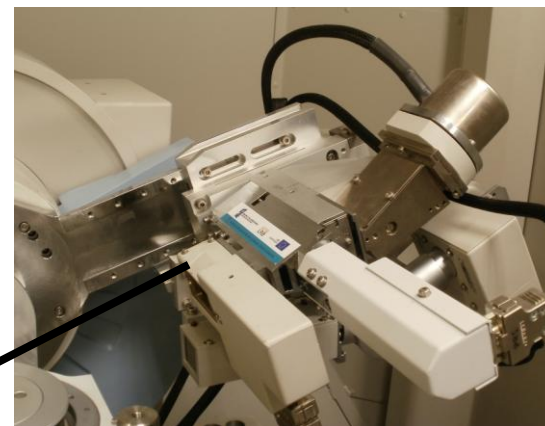
Okres realizacji 01.01.2010 - 30.06.2012

Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

Wyposażenie

2. Blok optyki wtórnej z programowaną szczeliną odbiorczą

1. Ceramiczna lampa Cu do dyfraktometru



3. Otwarte koło Eulera z translacją Z, ze sterowaniem kątów Phi, Psi

4. Zwierciadło (lustro) wielowarstwowe dla lampy Cu w systemie X'Pert MPD

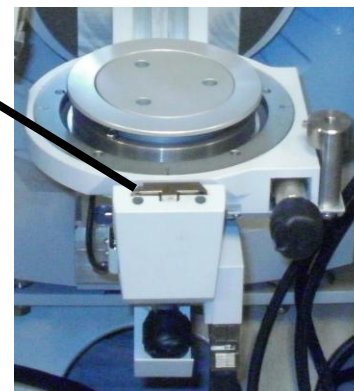
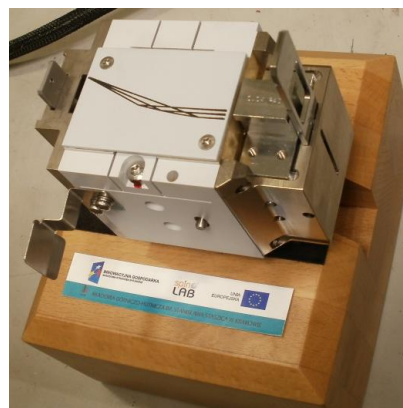
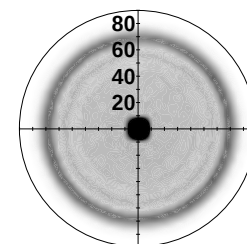


Figura biegunowa



Oprogramowanie

1. X'Pert Data Collector – program sterujący dyfraktometrem do zbierania i akwizycji danych + płyta sterująca do dyfraktometru X'Pert
2. X'Pert Data Viewer – program do przeglądania i prezentacji danych pomiarowych
3. X'Pert HighScore – program do analizy fazowej
4. X'Pert Stress – program do analizy naprężeń

Wyposażenie

1. Ceramiczna lampa Cu do dyfraktometru
2. Blok optyki wtórnej z programowaną szczeliną odbiorczą
3. Otwarte koło Eulera z translacją Z, ze sterowaniem kątów Phi, Psi
4. Zwierciadło (lustro) wielowarstwowe dla lampy Cu w systemie X'Pert MPD

Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

J. Kanak, W. Powroźnik

Dyfraktometr X'Pert MPD:

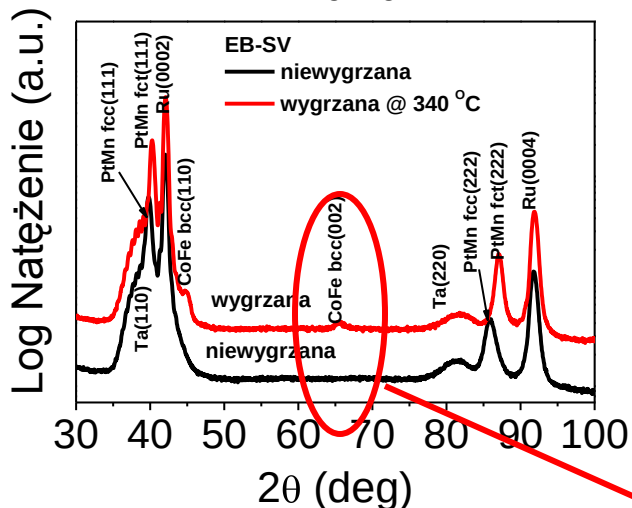
- Reflektometria
- analiza fazowa,
- Naprężenia,
- Tekstura (figury biegunowe).

Komora wysokotemperaturowa (300K – 1200K).

EDX-XRF.



XRD - θ -2 θ



XRR

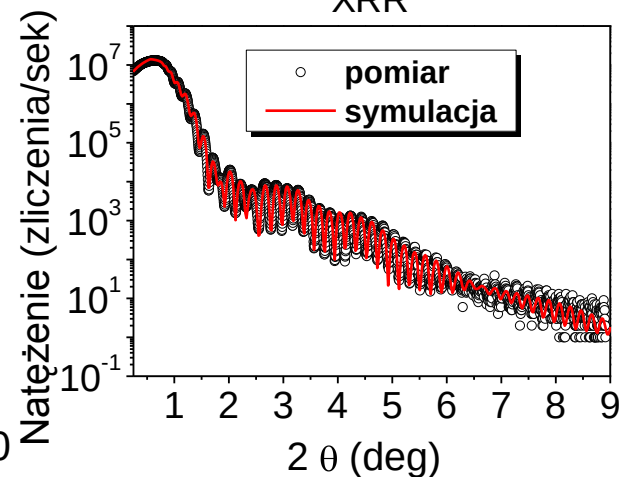
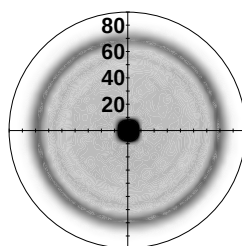
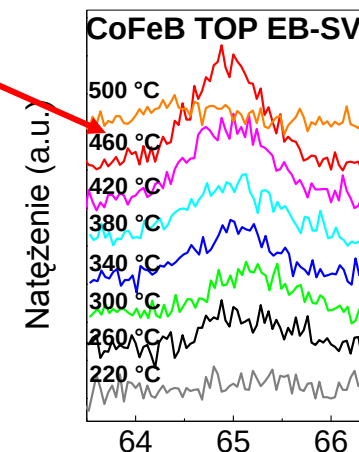
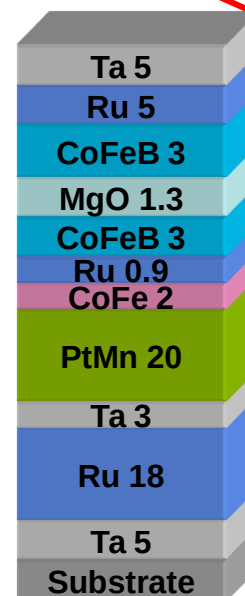


Figura biegunowa



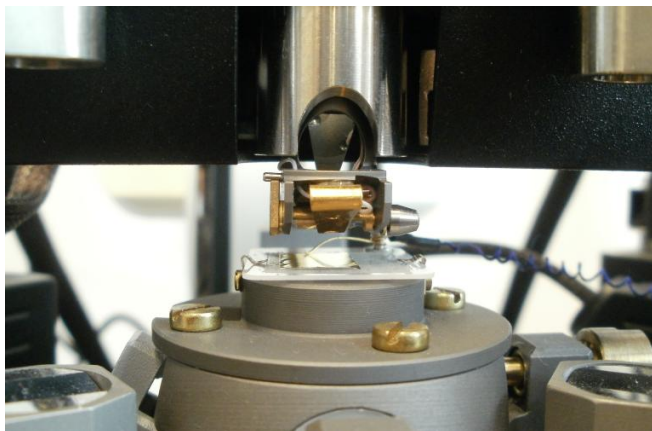
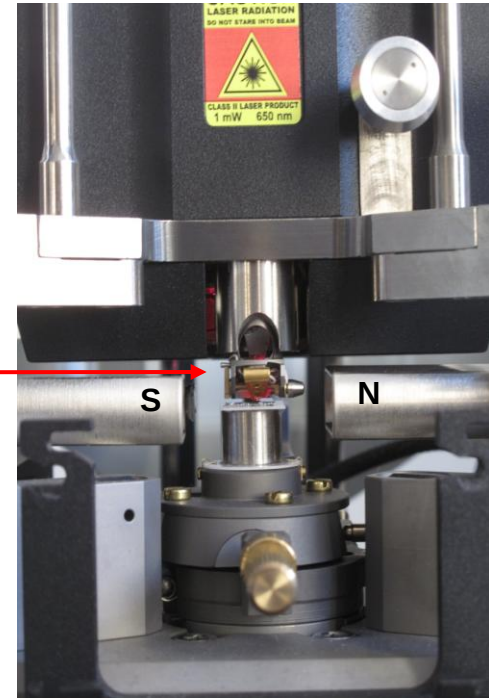
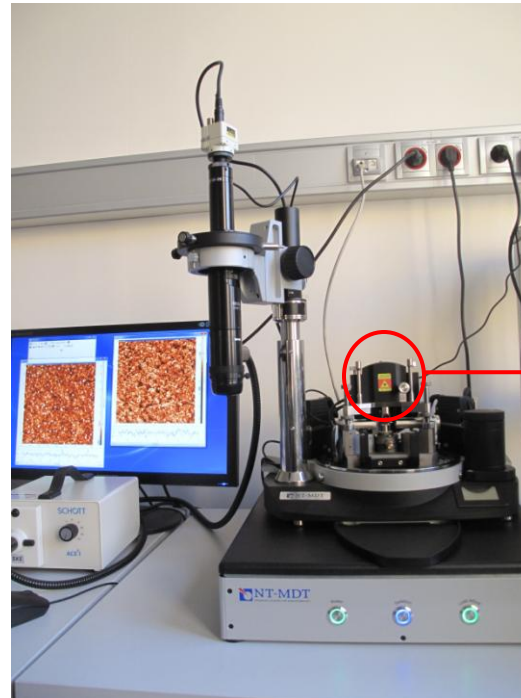
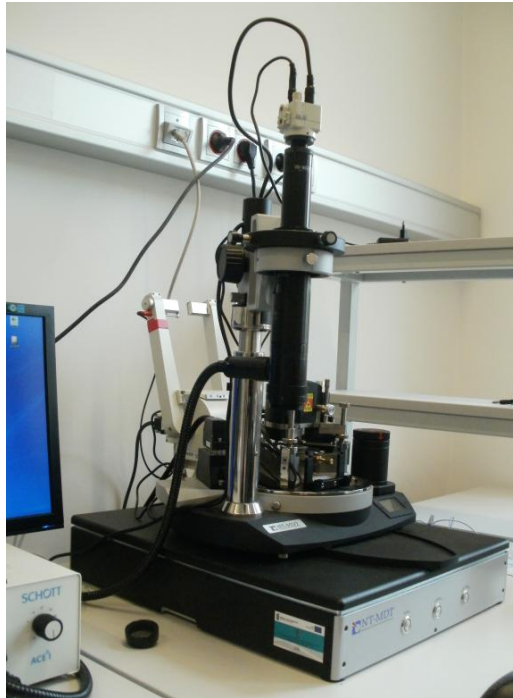
PtMn fct(111)
@2 θ = 40.3 °



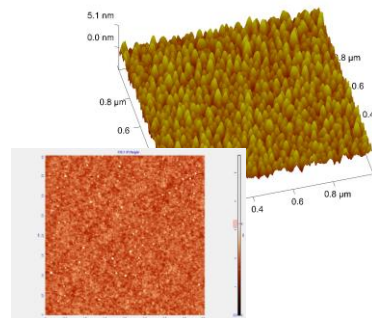
Pomiary
temperaturowe in situ
XRD

Laboratorium badań strukturalnych SPM-XRD

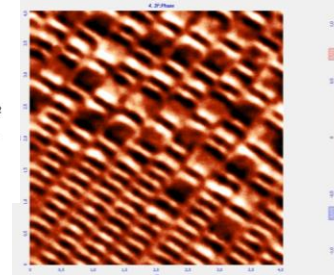
Mikroskop SPM



AFM - topografia



MFM



- MFM (pole magnetyczne prostopadłe i w płaszczyźnie),
- SRI (Conductive-AFM),
- STM,
- obrazowanie fazowe,
- KPM,
- Piezo Response,
- LFM,
- Nanolitografia,
- FMM,
- EFM.

ACMIN AGH

- System do nanolitografii Raith eLine plus
- Trawienie jonowe + nanoszenie warstw R&R IonSys500
- Cleanroom klasy ISO5, ISO7

