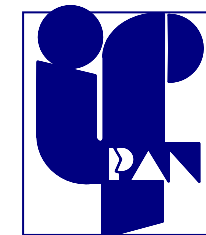


Możliwości nowego Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych w IFPAN

Tomasz Wojciechowski^{1,2}, Tomasz Wojtowicz^{2,1}

¹ *Zespół technologii struktur niskowymiarowych SL3.1,
Środowiskowe Laboratorium Fizyki i Wzrostu Kryształów Niskowymiarowych SL3
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa*

² *Międzynarodowe Centrum Badawcze MagTop, Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa
www.MagTop.ifpan.edu.pl*



**Oficjalne otwarcie Laboratorium
przez Dyrektora IFPAN,
Prof. dra hab. Romana Puźniaka
(przecięcie wstęgi)
zaraz po seminarium a potem
Dyrektor zaprasza na kawę i ciastka**

Historia działań inwestycyjnych na rzecz rozwoju technologii nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

Numer wniosku: POIG.02.01.00-14-188/09 Działanie/Poddziałanie: 2.1

Tytuł projektu: **Konsolidacja bazy technologicznej i badawczej nanostruktur kwantowych i cząsteczek funkcjonalnych**

Prof. dr hab. Adrian Kozanecki

Rok 2009, suma 48 703 000,00 zł

Lp.	Zakup inwestycyjny	Oddział Naukowy	Koszt (zł)
I	APARATURA TECHNOLOGICZNA		18 100 000
1.	Reaktor MBE do związków II-VI	SL3	5 800 000
2.	Rozszerzenie konfiguracji systemu GaN/ZnO,	ON4	1 000 000.00
3.	Modernizacja systemu MBE do metali	ON3	700 000.00
4.	Zestaw do processingu struktur półprzewodnikowych	ON4	4 500 000
a	reaktor do trawienia plazmowego typu ICP/RIE z instalacją gazów i materiałami do trawienia		2 500 000
b	fotolitografia		1 500 000
c	metalizacja (napylarka)		400 000
d	wire bonder do kontaktów elektrycznych		50 000
e	coater do nakładania fotorezystu		50 000
5.	Układ próżniowy do rozpylania katodowego z działem elektronowym i komórką efuzyjną	ON3	1 800 000
6.	Stanowisko do ablacji laserowej tlenków magnetycznych i nadprzewodzących	ON2	1 600 000
7.	Skraplarka helowa	SL2	2 700 000

Działania Dyrekcji

Zapoczątkowane przez

Dyr. Prof. dra hab. Jacka Kossuta

Vice-Dyr. Prof. dra hab. Andrzeja Suchockiego

Vice-Dyr. Prof. dra hab. Leszka Sirko

Vice-Dyr. dra Pawła Głoda

Kontynuowane przez

Dyr. Prof. dra hab. Leszka Sirko

Vice-Dyr. Prof. dra hab. Romana Puźniaka

Vice-Dyr. dra Pawła Głoda

Kontynuowane przez

Dyr. Prof. dra hab. Romana Puźniaka

Vice-Dyr. dra hab. Tomasza Sowińskiego, Prof. IFPAN

Vice-Dyr. dra Pawła Głoda

Historia działań inwestycyjnych na rzecz rozwoju technologii nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

Numer wniosku: POIG.02.01.00-14-188/09 Działanie/Poddziałanie: 2.1

Tytuł projektu: **Konsolidacja bazy technologicznej i badawczej nanostruktur kwantowych i cząsteczek funkcjonalnych**

Prof. dr hab. Adrian Kozanecki

Rok 2009, suma 48 703 000,00 zł

Lp.	Zakup inwestycyjny	Oddział Naukowy	Koszt (zł)
	APARATURA TECHNOLOGICZNA		18 100 000
1.	Reaktor MBE do związków II-VI SL3		5 800 000
2.	Rozszerzenie konfiguracji systemu GaN/ZnO, ON4		1 000 000.00
3.	Modernizacja systemu MBE do metali ON3		700 000.00
4.	Zestaw do processingu struktur półprzewodnikowych ON4		4 500 000
	a reaktor do trawienia plazmowego typu ICP/RIE z instalacją gazów i materiałami do trawienia		2 500 000
	b fotolitografia		1 500 000
	c metalizacja (napylarka)		400 000
	d wire bonder do kontaktów elektrycznych		50 000
	e coater do nakładania fotorezystu		50 000
5.	Układ próżniowy do rozpylania katodowego z działem elektronowym i komórką efuzyjną ON3		1 800 000
6.	Stanowisko do ablacji laserowej tlenków magnetycznych i nadprzewodzących ON2		1 600 000
7.	Skraplarka helowa SL2		2 700 000

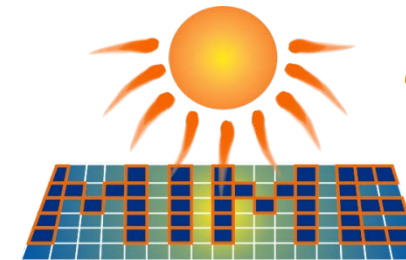
Niestety projekt ten nie uzyskał finansowania !



NanoBiom

2007-2013

Kwantowe Nanostruktury Półprzewodnikowe do Zastosowań w Biologii i Medycynie



MIME

2009-2014

Nowoczesne Materiały i Innowacyjne Metody dla Przetwarzania i Monitorowania Energii



Narodowe
Laboratorium
Technologii
Kwantowych

2009-2011

Historia działań inwestycyjnych na rzecz rozwoju technologii nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

W 2011 r. podjęto decyzję o składaniu wniosków w zakresie dużej infrastruktury badawczej do Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

APARATURA TECHNOLOGICZNA

3. Infrastruktura „Clean room” w Hali A + reaktor MBE do związków II-VI

Rozszerzenie konfiguracji systemu GaN/ZnO,
Modernizacja systemu MBE do metali

Zestaw do processingu struktur półprzewodnikowych

- a reaktor do trawienia plazmowego typu ICP/RIE z instalacją gazów i materiałami do trawienia
 - b fotolitografia
 - c metalizacja (napylarka)
 - d wire bonder do kontaktów elektrycznych
 - e coater do nakładania fotorezystu
- Układ próżniowy do rozpylania katodowego z działem elektronowym i komórką efuzyjną
Stanowisko do ablacji laserowej tlenków magnetycznych i nadprzewodzących

1. Skraplarka helowa

Pod kierownictwem Dyr. Prof. dra hab. Leszka Sirko

- Ustalenie priorytetów (ważnych dla IFPAN)**
- Przygotowanie bardzo dobrych wniosków**

Historia działań inwestycyjnych na rzecz rozwoju technologii nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

Część ze składanych wniosków uzyskała finansowanie



APARATURA TECHNOLOGICZNA

3. Infrastruktura „Clean room” w Hali A + reaktor MBE do związków II-VI

Rozszerzenie konfiguracji systemu GaN/ZnO,
Modernizacja systemu MBE do metali

Zestaw do processingu struktur półprzewodnikowych

a reaktor do trawienia plazmowego typu ICP/RIE z instalacją gazów i materiałami do trawienia

b fotolitografia

c metalizacja (napylarka)

d wire bonder do kontaktów elektrycznych

e coater do nakładania fotorezystu

Układ próżniowy do rozpylania katodowego z działem elektronowym i komórką efuzyjną

Stanowisko do ablacji laserowej tlenków magnetycznych i nadprzewodzących

1. Skraplarka helowa

INW-45 (2012)

dr P. Głód (m.in. przeniesienie warsztatu z Hali A)

INW-48 (2014-2016)

dr T. Wojciechowski
dr P. Głód (budowlanka)

INW-47 (2013-2015)

dr T. Wojciechowski
dr M. Zgirski (na początkowym etapie)

INW-46 (2012-2013)

Prof. dr hab. A. Wiśniewski
dr P. Głód

Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Prządów Półprzewodnikowych w IFPAN

Pozostałe osoby* zaangażowane w realizację inwestycji:

Przygotowanie SIWZ

Clean room: T. Wojciechowski, P. Głód

Litografia: T. Wojciechowski, K. Fronc

Napylarka UHV:, K. Fronc, M. Zgirski, T. Wojciechowski

ALD : T. Wojciechowski, M. Foltyn, Ł. Wachnicki

RIE : T. Wojciechowski

MBE: T. Wojtowicz, T. Wojciechowski

Budowa laboratoriów:

T. Wojciechowski, P. Głód, T. Jarosiński, P. Czerwiński

Uruchamianie wytworzonej aparatury technologicznej:

Wszystko poza MBE: T. Wojciechowski

MBE: W. Zaleszczyk, M. Wiater, R. Rudniewski, P. Ungier, T. Wojciechowski,
P. Czerwiński, T. Wojtowicz

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk

*Nagroda Specjalna
Dyrektora*

została przyznana
dla

**dr. Tomasz
Wojciechowskiego**

za

**zaangażowanie w zdobywanie funduszy
i budowę Międzyodziałowego
Laboratorium**

*„Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania
nanostruktur i prototypów prządów półprzewodnikowych,
nadprzewodnikowych i metalicznych”*

Warszawa, dnia 23 kwietnia 2015 r.

Dyrektor Instytutu Fizyki PAN



Prof. dr hab. Leszek Sirko

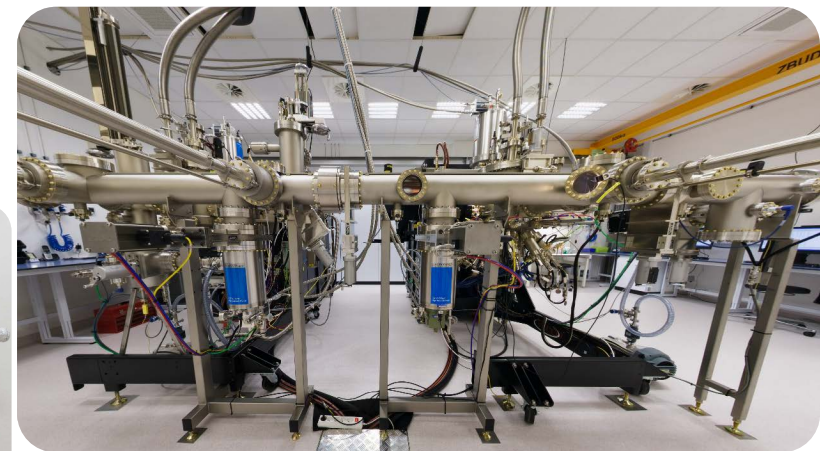
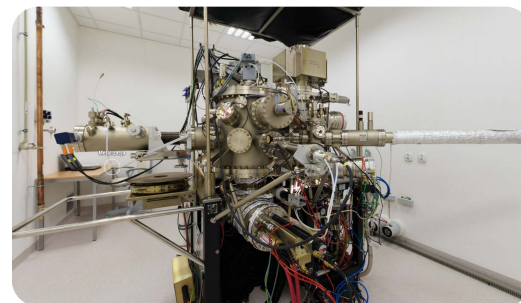
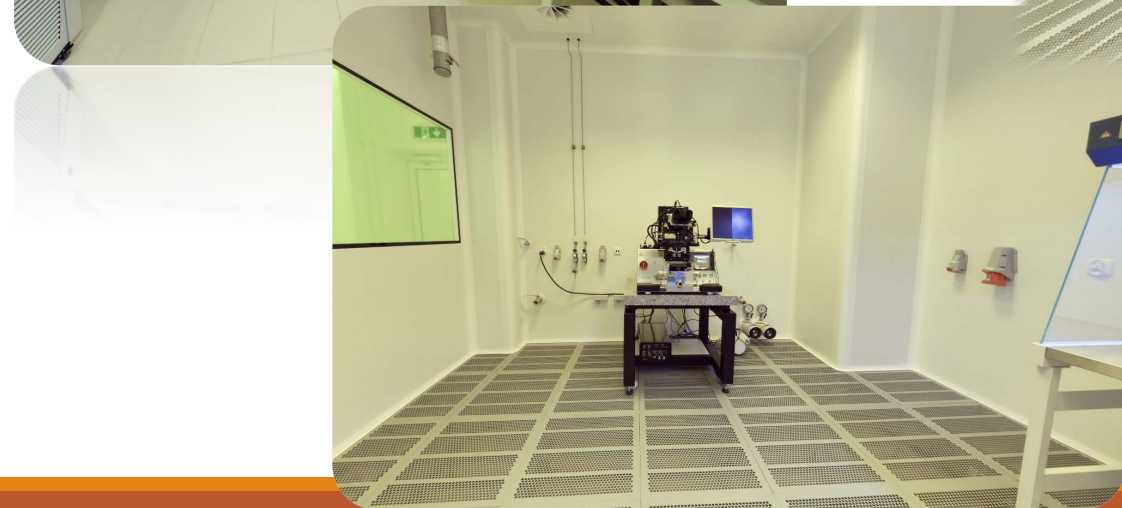
* oprócz tych wymienionych wcześniej i biorących udział w przygotowaniu wniosków

Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych w IFPAN

Plan

- Krótka historia realizacji wniosków inwestycyjnych INW-47, INW-48
- INW-47 : „Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych”
 - a) Stanowisko do litografii optycznej,
 - b) Urządzenie plazmowe do trawienia związkami chloru,
 - c) Urządzenie plazmowe do trawienia związkami fluoru z funkcjonalnością osadzania związków krzemu,
 - d) Urządzenie do osadzania próżniowego warstw o wysokiej stałej dielektrycznej ALD,
 - e) Komora UHV do napyłania cienkich warstw oparta na dziale elektronowym z działem jonowym.
- INW-48: „Infrastruktura badawcza do procesów nanotechnologicznych struktur półprzewodnikowych, metalicznych i nadprzewodzących”
 - a) Clean rooms klasy 1 000 i 10 000,
 - b) Uniwersalne urządzenie MBE (T. Wojtowicz).

Międzyoddziałowe Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych



Cel inwestycji

Głównym celem inwestycji było podniesienie potencjału naukowego Instytutu Fizyki PAN poprzez stworzenie **międzyoddziałowego laboratorium technologicznego** - linii technologicznej do wytwarzania nanostruktur i przyrządów w **Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych** w Instytucie Fizyki PAN.

Inwestycja obejmowała:

Zakup aparatury - stanowiącej ciąg technologiczny i będącej uzupełnieniem brakującego ogniwa w procesie wytwarzania prototypów przyrządów półprzewodnikowych w IF PAN w oparciu o rodzime materiały.

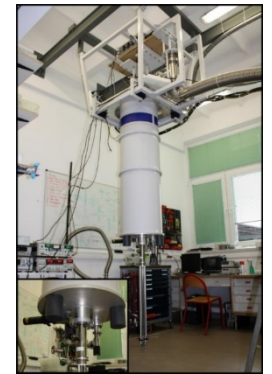
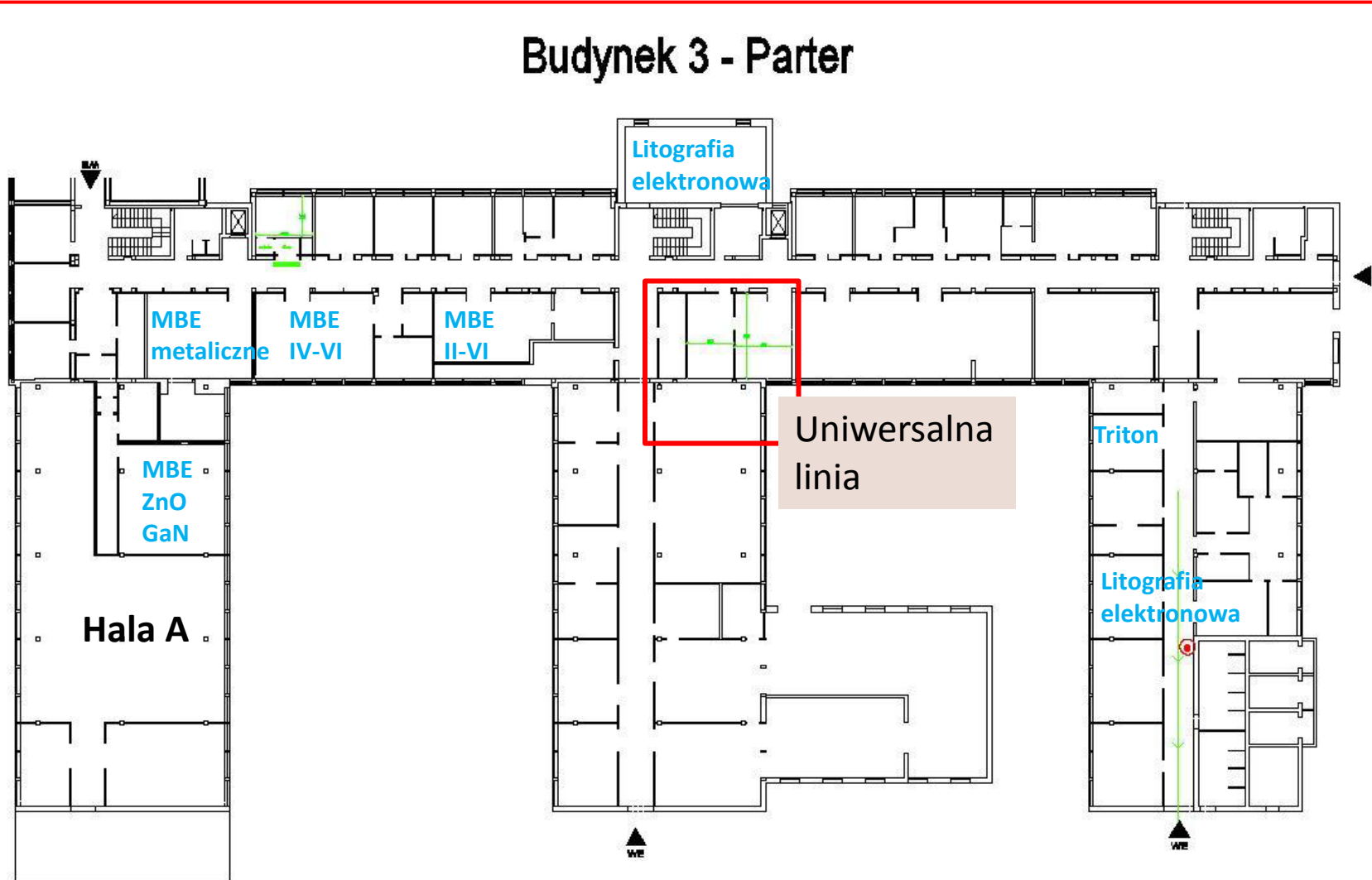
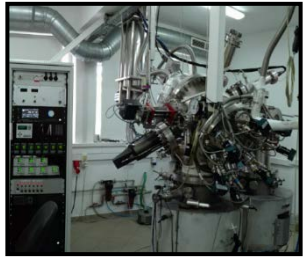
Wytworzenie infrastruktury typu „clean-room” - ważnym atutem wyboru lokalizacji była **możliwość połączenia** czystym korytarzem laboratorium MBE w którym odbywa się wzrost struktur azotkowych i tlenkowych z **Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych** w **jeden kompleks pracowni zlokalizowanych w obrębie czystej strefy technologicznej**. Tylko wówczas bowiem będzie można uniknąć ewentualnego zanieczyszczenia struktur podczas transferu próbek z urządzeń wzrostu do laboratoriów litografii i obróbki powierzchni.

☐ **24 marca 2014** – Instytut otrzymał Decyzję przyznającą dotacje na inwestycję w zakresie dużej infrastruktury badawczej, ***Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych - INW47***



Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Wybrano tymczasową lokalizację na zainstalowanie linii technologicznej - tak aby urządzenia MBE i processingowe znajdowały się w jednym budynku, zlokalizowane blisko siebie.



☐ **30 Sierpnia 2014** – Instytut złożył [wniosek aparaturowy](#) (inwestycja 2015-2016)

o przyznanie dotacji na inwestycję w zakresie dużej infrastruktury badawczej, **Infrastruktura badawcza do procesów nanotechnologicznych struktur półprzewodnikowych, metalicznych i nadprzewodzących.**

Wniosek aparaturowy obejmował:

- [wykonanie infrastruktury typu Clean Room](#) na potrzeby zainstalowania uniwersalnej linii technologicznej, przeznaczonej do badania procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, z uwzględnieniem wykonania także wymaganych systemów technologicznych a w szczególności: specjalistycznego [układu wentylacyjno-klimatyzacyjnego](#) odpowiedniego dla klasy czystości ISO 6 (1000) i ISO7 (10000), [specjalistycznych systemów czystych gazów i ultraczystej wody](#) do procesów technologicznych oraz [układów technologicznych wymaganych do podłączenia urządzeń wchodzących w skład uniwersalnej linii technologicznej](#) oraz [zakup uniwersalnego urządzenia do epitaksji z wiązek molekularnych \(MBE\).](#)

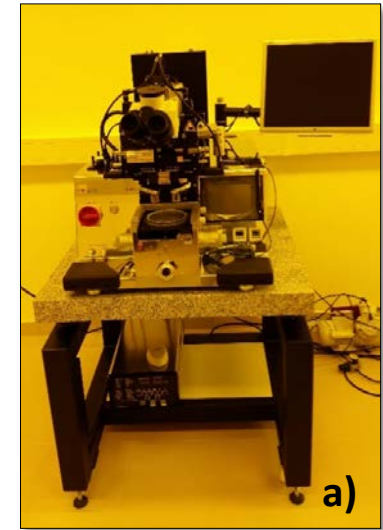
cząstki/stopa sześcienna						
Klasa	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	35	7	3	1		
10	350	75	30	10	1	
100	3 500	750	300	100	10	1
1 000				1 000	100	10
10 000				10 000	1 000	100
100 000				100 000	10 000	1 000

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

W wyniku realizacji Inwestycji INW 47 w 2014 zakupiono następującą aparaturę.

Elementy wyposażenia laboratorium fotolitografii:

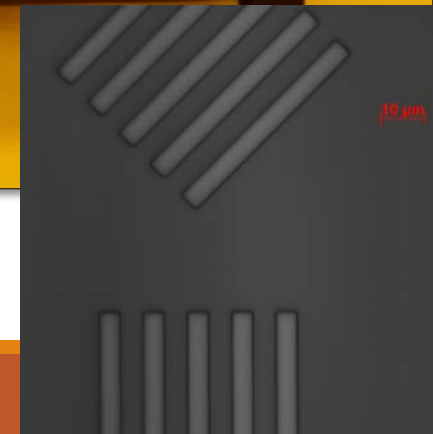
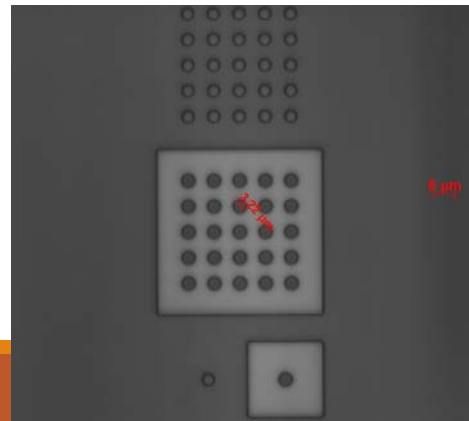
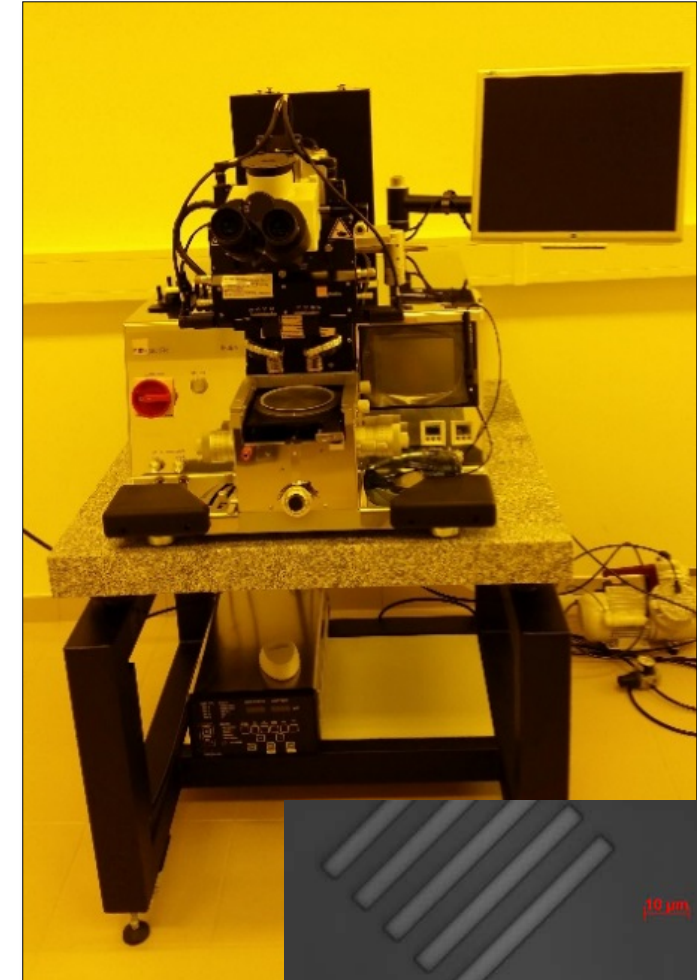
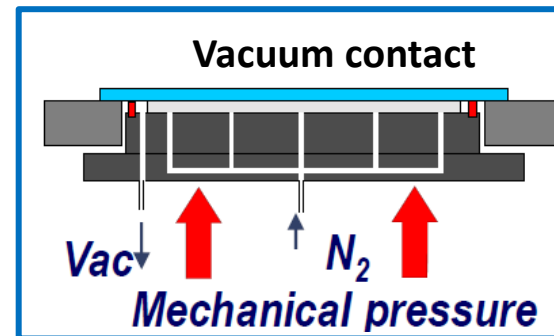
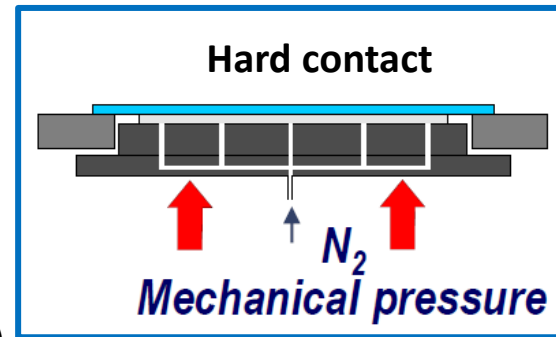
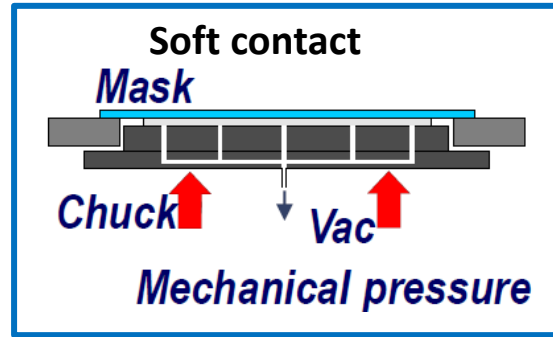
- a) stacja fotolitograficzna do definiowania mikrostruktur za pomocą masek i lampy UV, MicroTec Mask Aligner MJB4 UV250/300/400 z firmy Karl Suss,
- b) wirówka do nakładania fotorezystu, LabSpin6 z firmy Karl Suss,
- c) piecyk do wygrzewania fotorezystu, Hotplate HP-150 z firmy Sawatec,
- d) mikroskop optyczny odbiciowy do weryfikacji fotolitografii, Mikroskop Axio z firmy Carl Zeiss,
- e) profilometr DektakXT z firmy Bruker,
- f) bonder Wire Bonder HB10 z firmy TPT.



Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Stacja do fotolitografii MBJ4:

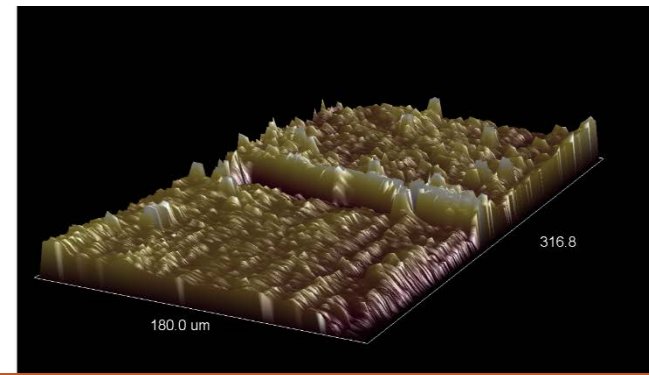
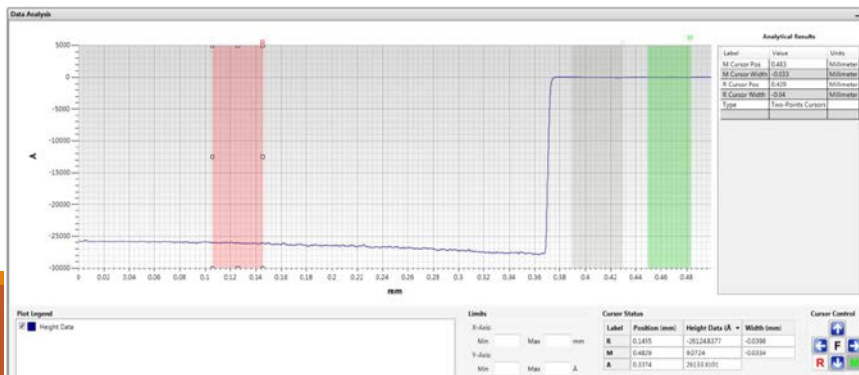
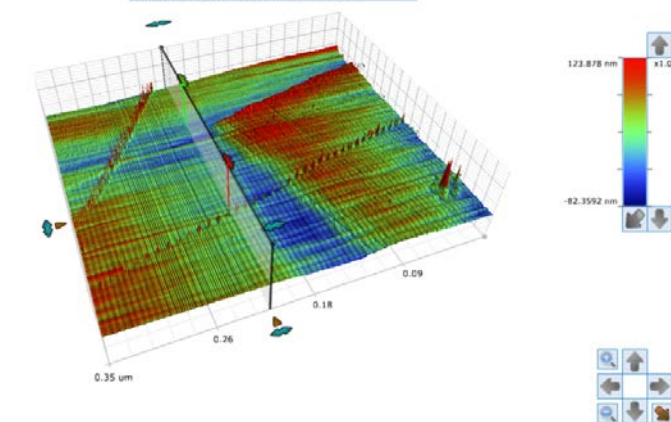
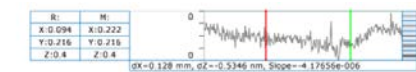
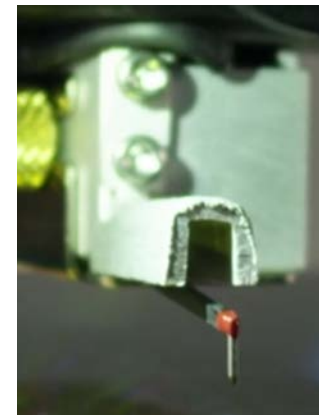
- lampa UV o mocy 500W Xe,
- **długości fali od 250 nm do 450nm:**
 - UV400 filtr
 - UV300 filtr
 - UV250 filtr
- **rozdzielczość lepsza niż:**
 - < 2.0 μm w trybie soft contact,
 - < 1.0 μm w trybie hard contact
 - < 0.5 μm w trybie vacuum contact
- rozmiar maski 5"x 5" z 4" polem naświetlenia
- **dedykowany uchwyt dla masek elastycznych - folii** (drukowanych) z polem naświetlenia 4" (rozmiar maski 5"x 5"),
- **uchwyty na podłoża:**
 - od 10x10 mm do 20x20 mm,
 - średnicy 2", 4",



Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Profilometr firmy Bruker – model DektakXT:

- umożliwia automatyczny pomiar trójwymiarowej powierzchni przy użyciu metody kontaktowej, mapowanie 3D, mierzenie grubości powłoki, chropowatości,
- zmotoryzowany stolik X/Y, zapewniający przesuw na długości 6" ze zmotoryzowaną rotacją w zakresie 0-360°,
- siła nacisku sondy pomiarowej od 0.03 mg do 15 mg,
- rozdzielczość w osi Z przy zakresie skanowania 6.55 μm - 1 \AA ,
- standardowa końcówka pomiarowa o promieniu zaokrąglenia 2 μm ,
- kończówka pomiarowa, promień 200 nm,
- Możliwość zainstalowania igieł pomiarowych od 50 nm do 50 μm ,
- powtarzalność pomiaru wysokości stopnia na poziomie 5A na stopniu o wysokości 100 nm,
- długość skanowania do 55mm,
- stiching umożliwia zwiększenie długości skanowania do 200mm,
- maksymalna grubość próbki wynosi do 100 mm,
- zakres pionowy skanowania: 1mm,



Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

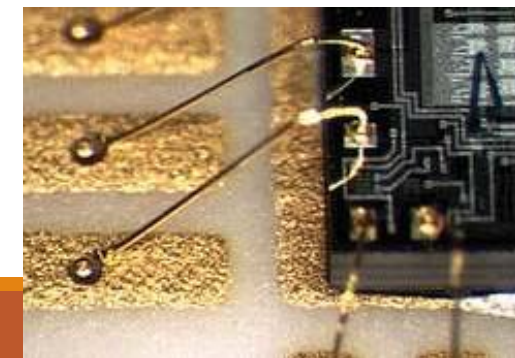
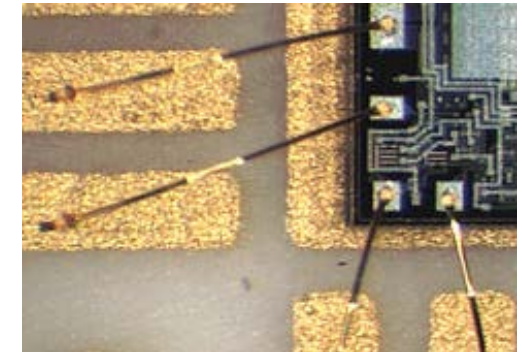
Mikroskop optyczny odbiciowy do weryfikacji fotolitografii, Mikroskop Axio z firmy Carl Zeiss:

- do obserwacji w świetle: przechodzącym i odbitym
- tryby pracy BF - Bright Field oraz DF – Dark Field,
- kontrakt Nomarskiego,
- okulary o powiększeniu 10x
- obiektywy 5x, 20x, 50x, 100x , 150x,
- kamera cyfrowa, chłodzona Peltier, 2580 x 1930 pikseli



Bonder Wire Bonder HB10 z firmy TPT:

- do wykonywania połączeń elektrycznych w następujących trybach pracy: krawędziowym, kulkowym i wstęgowym (wedge, ball, ribbon bonder)
- ruch Z automatyczny i manualny, X i Y manualny,



Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

- **W maju 2015** – zakupiono z *Oxford Instruments* dwa urządzenia plazmowe: **do trawienia związkami chloru** oraz **trawienia związkami fluoru z funkcjonalnością osadzania związków krzemu.**



Okolo trzech miesięcy trwało podłączanie i uruchamianie urządzeń:

- a) instalacje gazowe wykonano z rurek elektropolerowanych SS316, spawanie orbitalne,
- a) armatura na połączenia VCR, swagelok,
- b) zainstalowano scrubery do neutralizacji gazów,
- c) systemy wykrywania gazów,
- d) układ chłodzenia wodnego,
- e) układ sprężonego powietrza.

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Stanowisko do trawienia związkami chloru - Inductively Coupled Plasma (ICP) - Reactive Ion Etching (RIE) – Oxford PlasmaPro 100 Cobra:

- odpowiednie do trawienia między innymi takich materiałów jak: [GaAs](#), [GaAs/AlGaAs](#), [InP](#), [GaN](#), [ZnO](#), [CdTe](#), [PbSe](#), [ZnSe](#), [HfO2](#).
- regulacja temperatury podłoża w zakresie od -30°C do 60°C ,
- regulacja temperatury podłoża w zakresie od -150°C do 400°C przy chłodzeniu LN2,
- generator plazmy RF max 300W, generator plazmy ICP max 300W,
- Gazy: chlor (Cl_2), trójchlorek boru (BCl_3), metan (CH_4), azot analityczny (N), tlen (O_2), argon (Ar), wodór (H_2), sześciofluorek siarki (SF_6),
- interferometr laserowy, monitorowania głębokości trawienia in-situ,
- próbki do 2",



Technika suchego trawienia umożliwia uzyskanie wzorów o większej rozdzielczości niż w przypadku trawienia mokrego:

Główne mechanizmy trawienia to reakcje chemiczne i fizyczne:

Mechanizm chemiczny polega na reakcji wolnych rodników z materiałem trawionym, wytworzeniu lotnych produktów tej reakcji i odpompowaniu ich z reaktora.

Mechanizm fizyczny polega na wybijaniu atomów lub cząstek materiału przez wysokoenergetyczne jony.



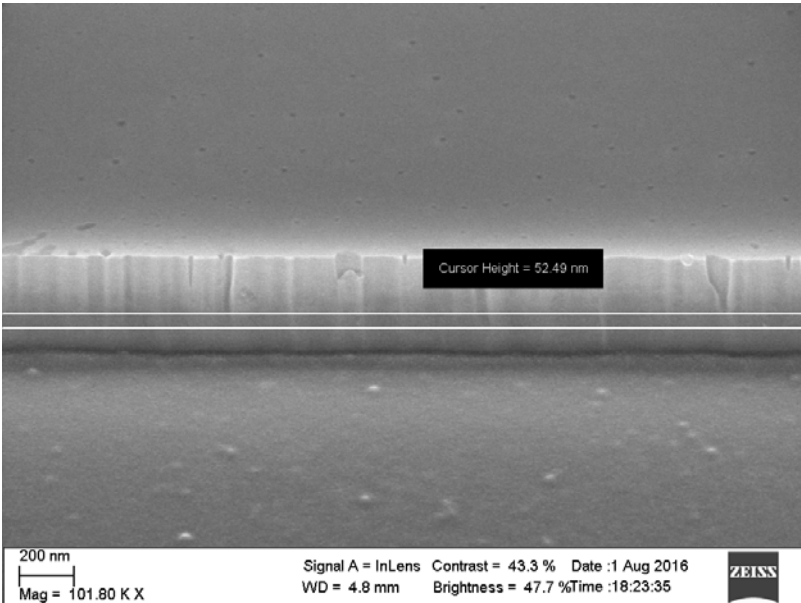
Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Przykładowe trawienia

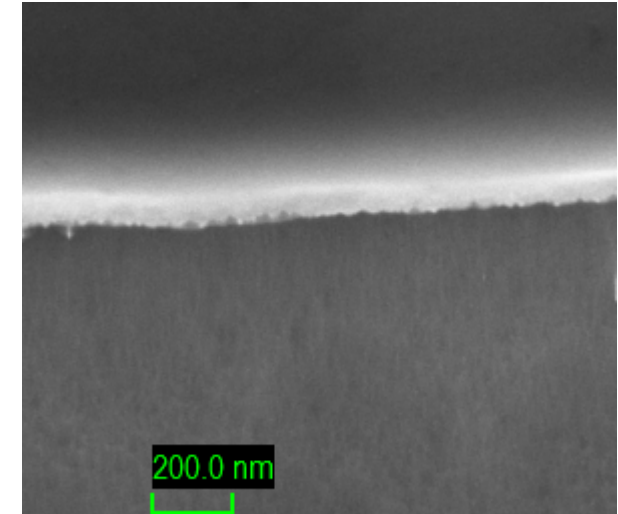
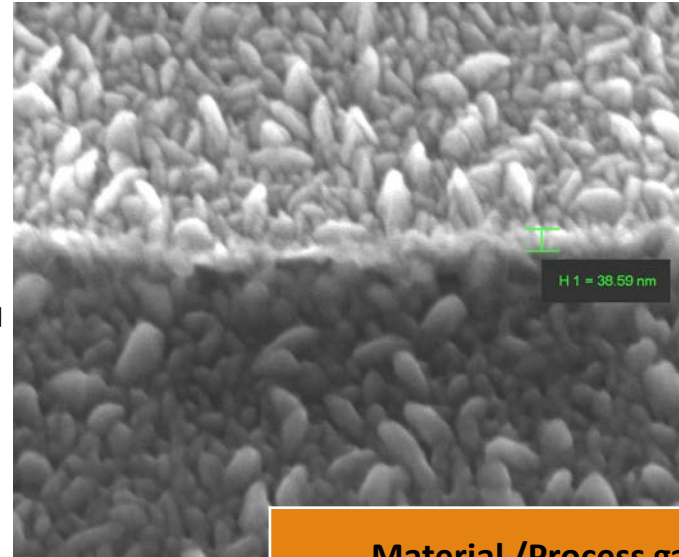
GaN – 300nm BCl₃/Cl₂

ZnO – 40nm CH₄/H₂

CdTe – 200nm CH₄/H₂



GaN:Si
(Ga,Mn)N
GaN:Si



Material /Process gases	Etch rate (nm/min)
GaN / BCl ₃ +Cl ₂	300,0
GaN / Ar+Cl ₂	450,0
GaN / BCl ₃ +Cl ₂ low rate RIE	3,0
ZnO / CH ₄ +H ₂	40,0
ZnO / BCl ₃	25,0
CdTe / CH ₄ +H ₂	150,0
CdTe / CH ₄ +H ₂ low rate	10,0

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Stanowisko do trawienia związkami fluoru z funkcjonalnością osadzania związków krzemu (ICP –PECVD – Inductively Coupled Plasma – Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) Oxford PlasmaPro 100 Cobra:

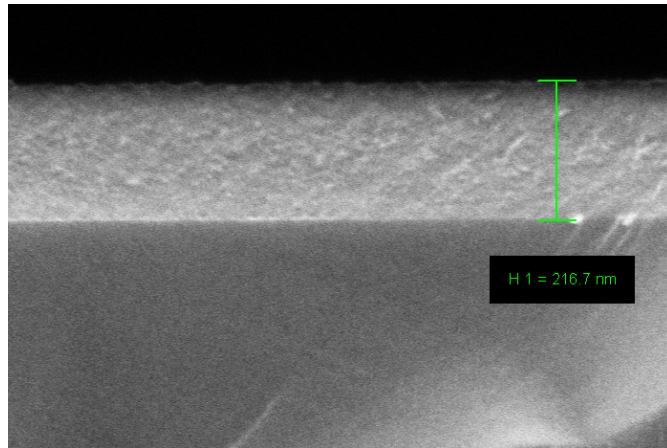
- trawienie warstw dielektrycznych: **SiO₂, SiC, Si, Si₃N₄** oraz krzemowych warstw półprzewodnikowych, niobu **Nb**, usuwanie emulsji fotolitograficznych,
- osadzanie warstw dielektrycznych, m.in.: **osadzanie dwutlenku krzemu (SiO₂), azotku krzemu (Si₃N₄), tlenku-azotku krzemu (SiO_xN_y) oraz półprzewodnikowych (amorficznego krzemu – a-Si),**
- regulacja temperatury podłoża w zakresie od -30°C do 60°C,
- regulacja temperatury podłoża w zakresie od -150°C do 400°C przy chłodzeniu LN₂,
- generator plazmy ICP max 300W,
- Gazy: **silan (SiH₄), podtlenek azotu (N₂O), tlen (O₂), argon (Ar), wodór (H₂), azot (N₂), sześćfluorek siarki (SF₆), trifluorometan (CHF₃), ośmio fluoro cyklobutan (C₄F₈),**
- próbki do 2".



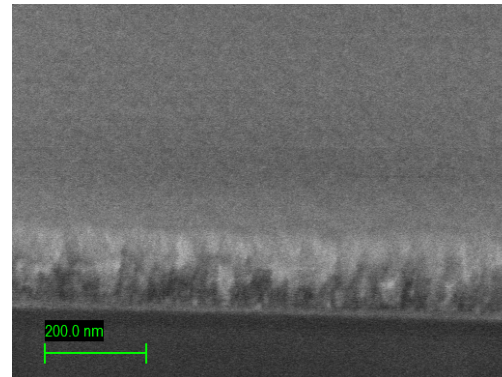
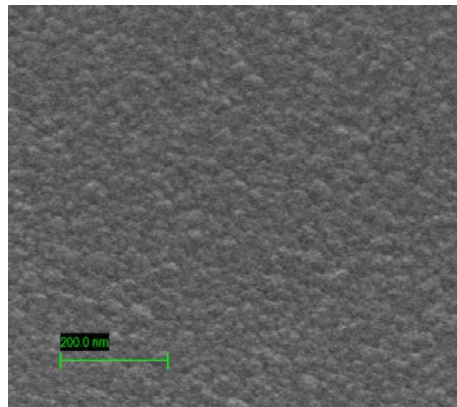
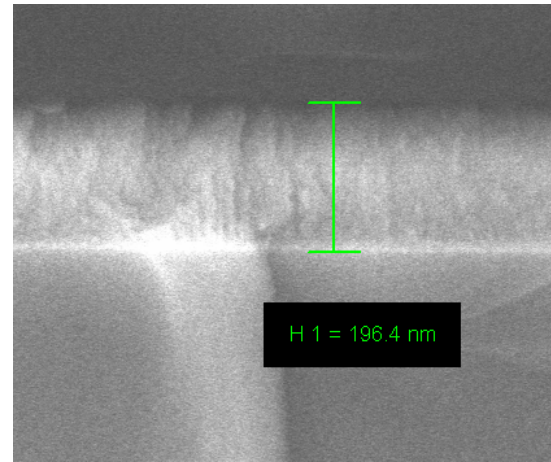
Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Stanowisko do trawienia związkami fluoru z funkcjonalnością osadzania związków krzemu

Si₃N₄ – 216nm



SiO₂ – 196nm



Przykładowe osadzanie

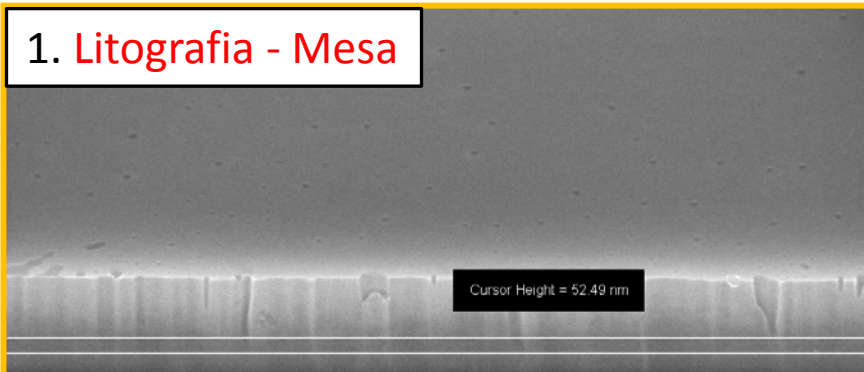
Material /Process gases	Deposition rate (nm/min)
SiO ₂ / SiH ₄ + N ₂ O	8
Si ₃ N ₄ / SiH ₄ + N ₂	7

Material /Process gases	Etch rate (nm/min)
SiO ₂ / C ₄ F ₈ +O ₂	20
Nb/ SF ₆	50

Przykład wytwarzania filtra spinowego (Ga,Mn)N

GaN:Si / (Ga,Mn)N / GaN:Si

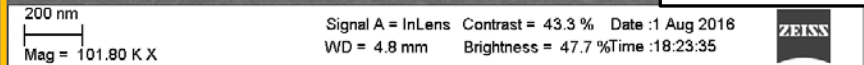
1. Litografia - Mesa



2. Trawienie mesy ICP-RIE

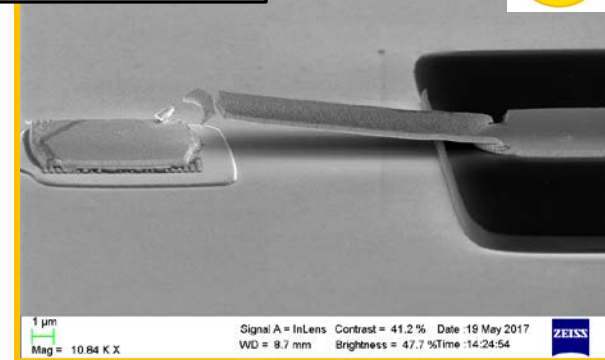
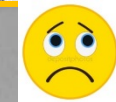
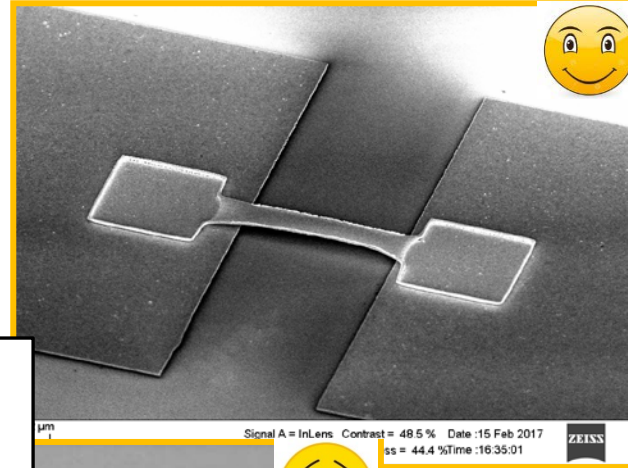
GaN:Si / (Ga,Mn)N / GaN:Si

Profilometr pomiar grubości + SEM



7. Litografia mostka powietrznego

8. Metalizacja

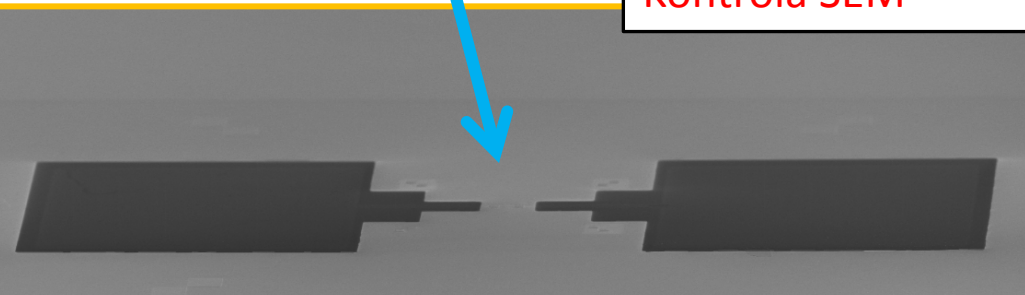


2 μm

3. Litografia – kontakt

4. Metalizacja

Kontrola SEM



SiON

5. Litografia maska pod dielektryk

6. SiON – ICP-PECVD

Marek Foltyn, Magdalena Majewicz

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Urządzenie do osadzania próżniowego warstw o wysokiej stałej dielektrycznej (Atomic Layer Deposition - ALD) - OXFORD model FlexAL:

- umożliwia wykonywanie procesów termicznych, plazmowych oraz wspomaganych ozonem,
- 6 linii na prekursor + zbiornik na wodę
- próbki do 8",
- śluza załadownicza,
- generator plazmy ICP max 300W, plazma O₂, N₂, H₂,
- temperatura podłoża do 400°C
- w chwili obecnej zainstalowane są prekursorzy:

- ✓ Hf - TEMAHF
- ✓ Al - TMAI (TMA)
- ✓ Zn - DEZn
- ✓ Ti - TDMAT



Process Conditions - Confidential

FlexAL™ remote plasma ALD deposition of TiO₂
AL1-S - system for remote plasma and thermal Atomic Layer Deposition

Precursors		Results	
Metal Precursor	TTIP	Deposition Temp. / °C	50-300
Non-metal Precursor(s)	O ₂ plasma	Expected R _f / Å/cycle	0.55 @ 200°C
Bubbling Gas	Ar	Expected R _f / Å/cycle	1.50 @ 200°C
ALD Cycle Purge Gas	Ar (or N ₂)		
ALD Cycle Time	11.7 s		

The conditions outlined herein are for processing at the maximum temperature of the range given above. At lower temperatures the residence time of both precursors and by-products on internal surfaces will increase and so longer purge times will be needed. In addition, lower reactivities may necessitate an increase in precursor dose times. ALD saturation curves should be plotted.

TTIP	
Delivery Method	Bubbled
Oven Temperature	45°C
Minimum Manifold Temperature	45°C
Minimum Line Temperature	75°C

Conditions

Step 1: Pump: 1 minute, 0 mTorr, no gas flow
 Step 2: Pre-heat: 3 minutes, 200 mTorr, 200 sccm Ar through the PT valve
 Step 3: Pressure Set-up: 5 sec, pressure and gas flows as in Step 9
 Step 4: Repeat n cycles

ALD Cycle:

	5. Precursor Dose	6. Precursor Purge	7. Plasma Gas Sub.	8. Plasma (PB)	9. Post Plasma Purge
Bubbler Flow /ccm (value)	100	20	20	20	100
Purge Flow /ccm (value)	200	200	20	200	200
Flow /ccm (value)	100	100	0	0	100
Pressure /mTorr (Gate Valve)	80	80	15	15	80
Other Flows /ccm	open	open	open	open	open
Power /W			O ₂ = 60	O ₂ = 60	
RF Automatch	hold	hold	hold	hold	hold
Time /ms	1200	3000	1500	4000	2000

Step 10: Loop
 Step 11: Pump (1 minute) - to remove all residuals before opening the slit valve

*This length is used for up to 6" of gas and line length.
 *Purge rate of the bubbler should not be less than 100 sccm.
 *Inert gas automatically in line can be N₂ or Ar as well.

©Oxford Instruments Plasma Technology Ltd, 2016
 Report (Rev. 1) generated by omahony on 14/02/2016

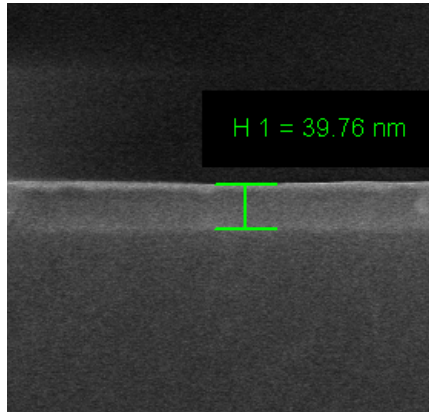
OXFORD INSTRUMENTS
 The Business of Science™

Korzyści ALD z plazmą:

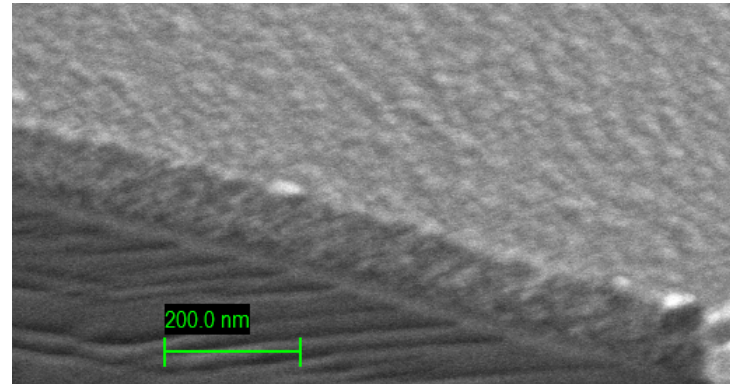
- Obniżenie temperatury podłoża,
- Aktywacja powierzchni (początkowa powierzchnia np. kiedy powierzchnia nie reaguje w kierunku prekursora),
- Większe tempo wzrostu,
- Zwiększony wybór prekursorów i materiałów:
 - ✓ Azotki (mniejsza zawartość tlenu, niższe opory TaN)
 - ✓ Metale (zmniejszenie zarodkowania)
- mniej zanieczyszczeń,

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

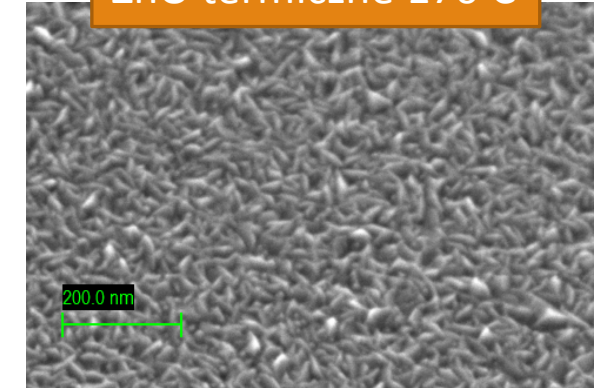
Al₂O₃ plazma 200 C



HfO₂ plazma 100 C

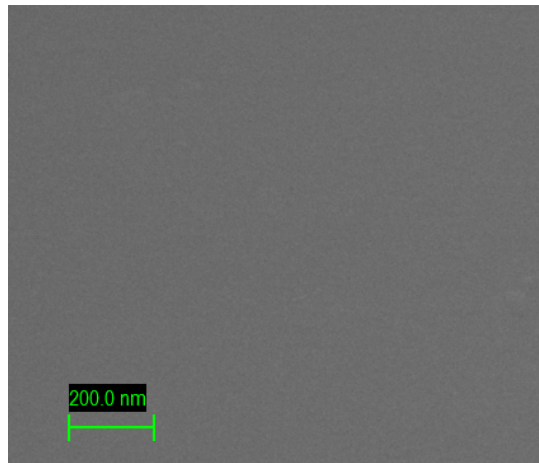
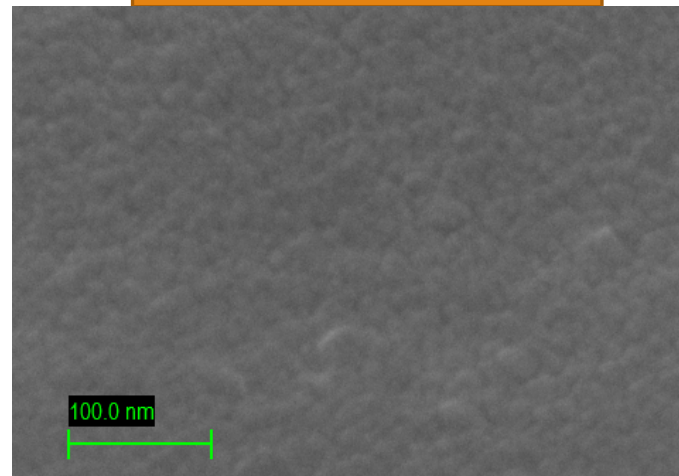


ZnO termiczne 170 C



Po każdym procesie czyszcimy komorę plazmą tlenową

HfO₂ termicznie 290 C



Process control software interface for CHAMBER 1. The interface displays various parameters and controls for the plasma process.

Process Control

Process started, all tolerances OK
Load complete wafer loaded into Process Chamber

START STOP PAUSE | PUMP TO PRESSURE
STEP TIME: 00:02:00 | 010 | 0
Manual Process

Total Steps	Recipe Length	Total Cycles
1	00:02:00.010	0
Completed	Time Left	Completed
3	00:00:00.00	3

Manual Process: Water <1>

PROCESS MODE: TURBO | FROTH

TABLE HEATER Deg C: 29 | 31 | HEATER READY

APC CONTROLLER: Set Presets: 15 | Chamber Pressure: 14.9 in Torr | Pressure: | Set Position: 0.0 | Valve Position: 33.5 Deg | Position: |

RF GENERATOR: Forward Power: 300 W | Reflected Power: 0 W

RF AUTOMATCH: CAPACITOR 1: 0.0 | CAPACITOR 2: 0.0 | 55.5 % | 80.5 % | AUTO | MANUAL | HOLD

OZONE: 0 | EX | CH

Gas 6: 0.0 | Air-200 | 0.0 sccm

Gas 5: 0.0 | N2-100 | 0.0 sccm

Gas 4: 60.0 | O2-100 | 60.1 sccm

Gas 3: 0.0 | H2-50 | 0.0 sccm

Gas 2: 0.0 | AirPurge-500 | 0.0 sccm

Gas 1: 0.0 | AirBubbler-500 | 0.0 sccm

Pressure: | P20

as speed

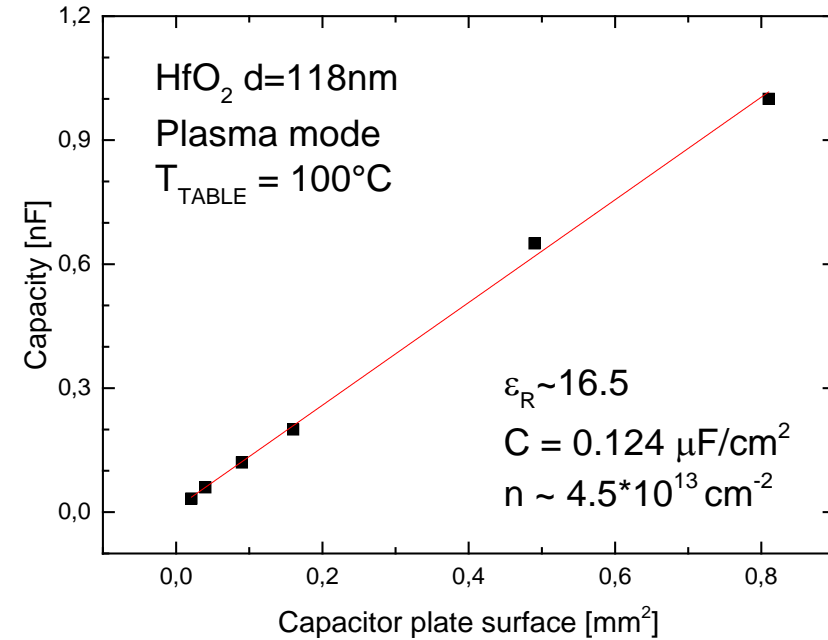
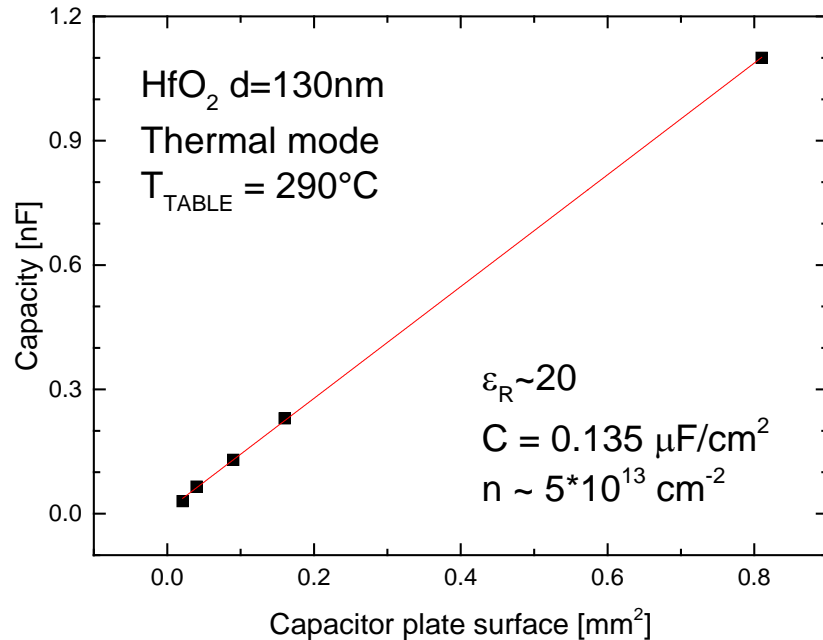
POT1 POT2 POT3 POT4 POT5 POT6

z16: 3276.7 C | z18: 3276.7 C | z20: 3276.7 C | z22: 27.9 C | z24: 27.9 C

Loadlock | Sys | Gas-Post Interlock | Rod Air Supply | Wafer Flow Heater | Wafer Flow IC-6 | CH1 | +15 Volts | +15 Volts | +24 Volts

Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

ALD - osadzanie HfO₂



Stała dielektryczne HfO₂ :

18 – 20: dla procesów termicznych osadzanych w T = 290°C,

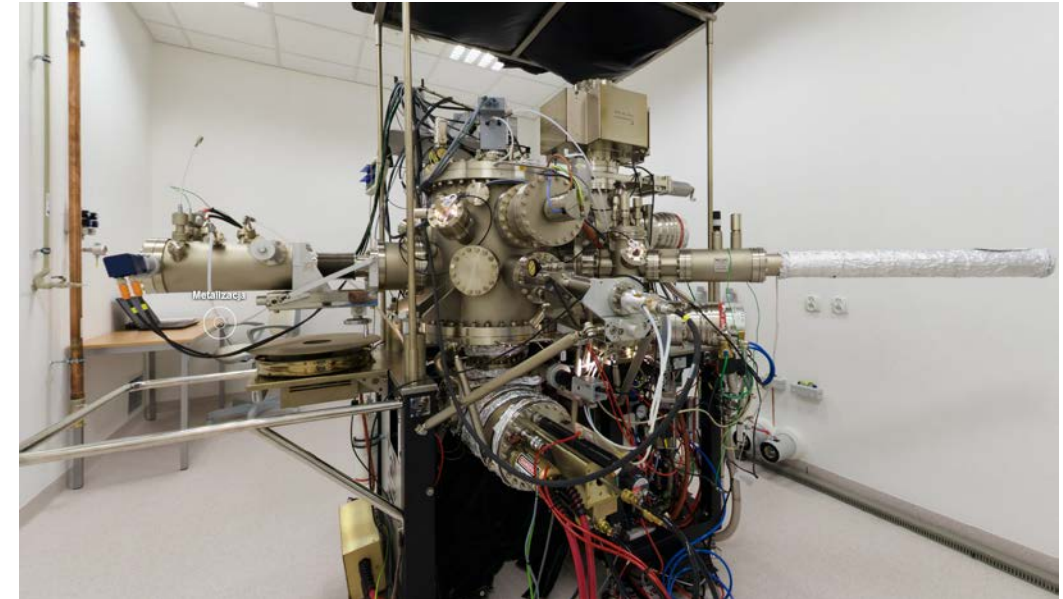
15 – 16.5: dla procesów wspomaganych plazmą tlenową w T=100°C.

Kondensatory działały w zakresie +/- 30V.

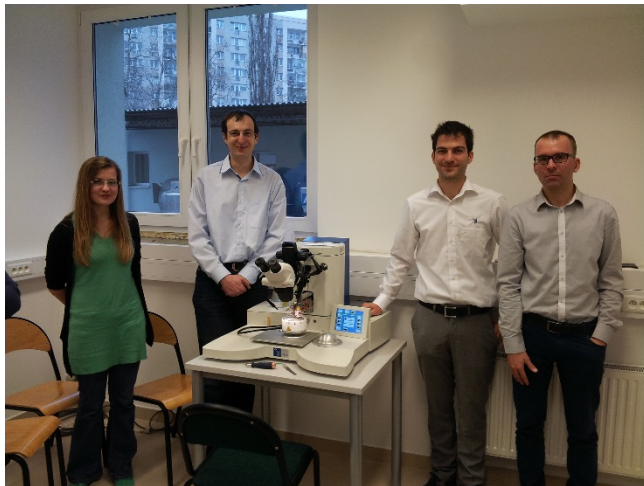
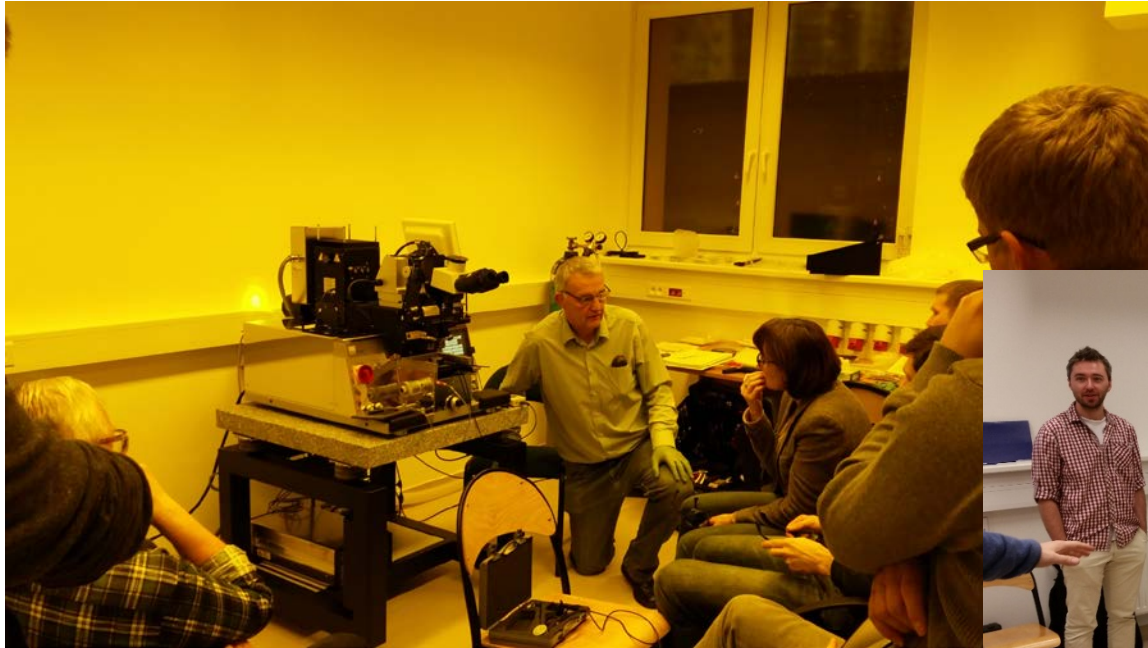
Uniwersalna linia technologiczna do badań procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, nadprzewodnikowych i metalicznych.

Komora UHV do napyłania cienkich warstw oparta na dziale elektronowym z działem jonowym w pełni kompatybilna z procesami litograficznymi, PREVAC:

- kriopanel,
- 3 pompy turbomolekularne, pompa jonowa i pompa tytanowa.
- działo elektronowe 10kV z systemem automatycznego utrzymywania zadanej wielkości strumienia naporowywanych materiałów, 6 kieszeniowe, TELEMAR 575-05 ,
- 2 wagi kwarcowe po pomiaru grubości osadzonej warstwy,
- ciśnienie 1×10^{-10} mbar w komorze głównej,
- śluza załadownicza, 3 pozycyjna,
- działo jonowe do podczyszczania struktur GENII Tectra ,
- 3 magnetrony, 2”.
- wielkość próbek do 2”,
- temperatura podłoża od -150 do 800 °C



Zdjęcia ze szkoleń



□ **11 marca 2015** – Instytut otrzymał Decyzję przyznającą dotację na inwestycje aparaturę aparaturową (inwestycja 2015-2016)

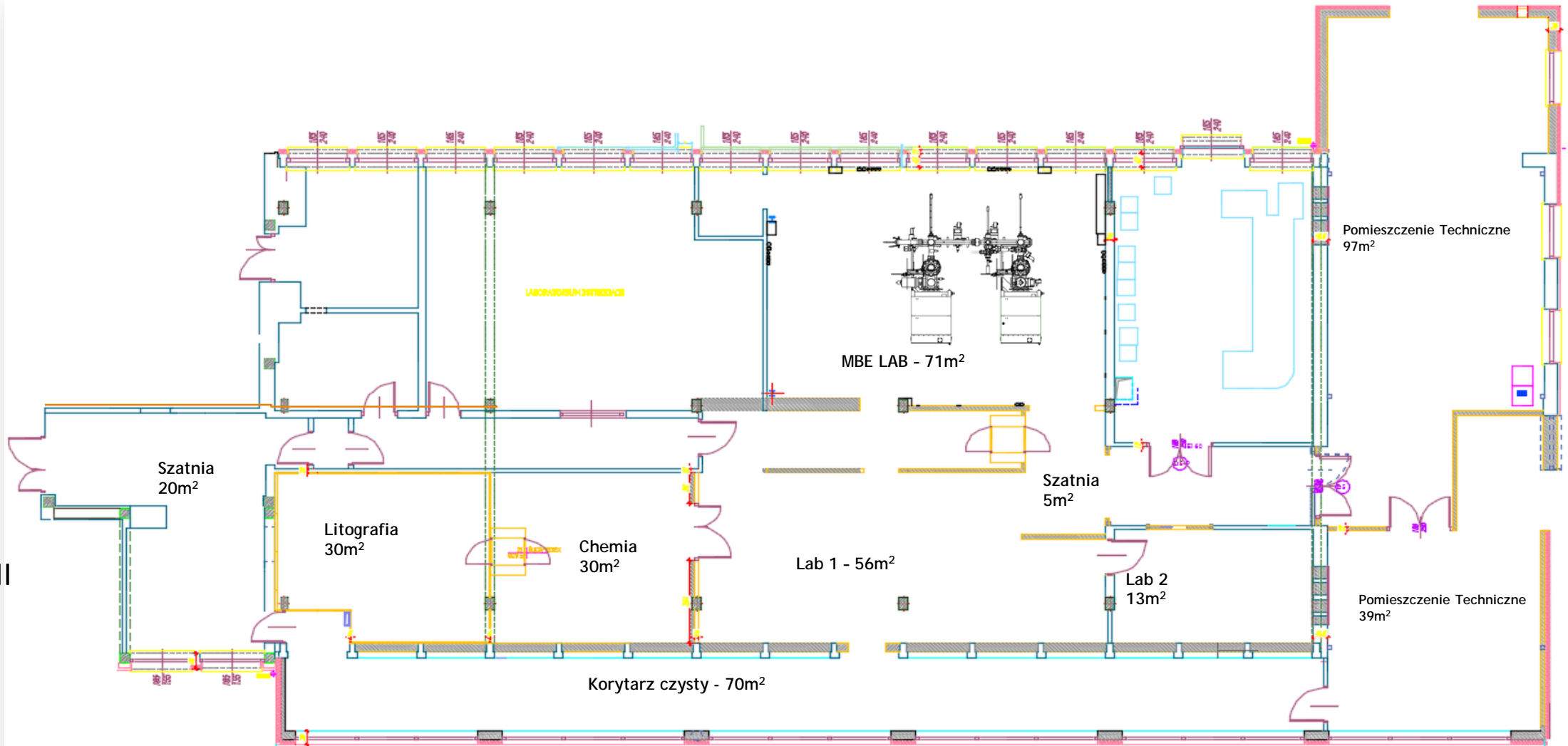
Infrastruktura badawcza do procesów nanotechnologicznych struktur półprzewodnikowych, metalicznych i nadprzewodzących.

Fundusze przeznaczone na:

- wykonanie infrastruktury typu Clean Room na potrzeby zainstalowania uniwersalnej linii technologicznej, przeznaczonej do badania procesów wytwarzania nanostruktur i prototypów przyrządów półprzewodnikowych, z uwzględnieniem wykonania także wymaganych systemów technologicznych a w szczególności: specjalistycznego układu wentylacyjno-klimatyzacyjnego odpowiedniego dla klasy czystości ISO 6 (1000) i ISO7 (10000), specjalistycznych systemów czystych gazów i ultraczystej wody do procesów technologicznych oraz układów technologicznych wymaganych do podłączenia urządzeń wchodzących w skład uniwersalnej linii technologicznej
- zakup uniwersalnego urządzenia do epitaksji z wiązek molekularnych (MBE)

Projekt zakładał wykonanie infrastruktury typu „clean-room”:

Wejście
do Hali A
od strony
budynku II



03.2016



04.2016



06.2016



08.2016 Układ chłodzenia wodnego 80KW



08.2016



Lab MBE



Zasilacz awaryjny UPS 80KVA



Pomieszczenie techniczne



Pomieszczenie techniczne



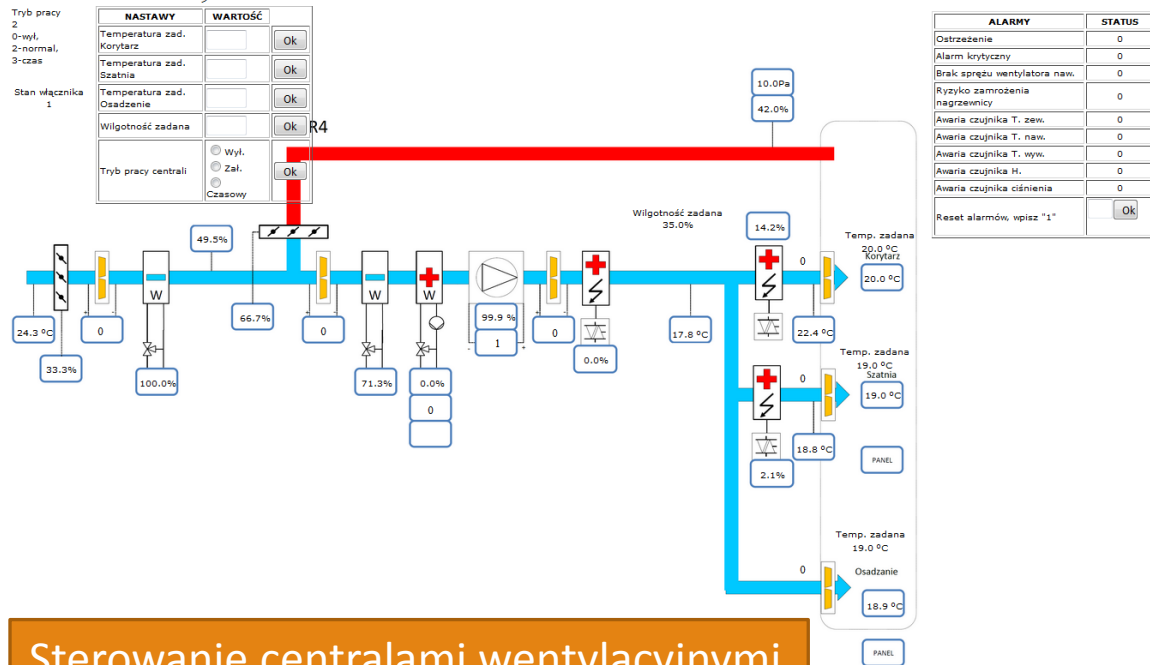
Wyniku zrealizowanej inwestycji wykonano pomieszczenia:

- o klasie czystości 1 000 – 30 m²
(55-60 wymian powietrza na godz.)
- o klasie czystości 10 000 – 240 m²
(25-30 wymian powietrza na godz.)

Pomieszczenia techniczne, szatnie: 170 m²

W laboratoriach wykonano:

- ściany i sufity odpowiednie do klasy czystości,
- Lab litografii wykonano z paneli metalowych (ściany i sufity) w technologii bezkrzemowej,
- wykładziną odporną na chemię,
- instalację gazów z rurek elektropolerowanych SS316, łączenia spawane orbitalnie,
- armaturę na połączeniach VCR, swagelok,
- instalacje sprężonego powietrza wraz z sitem molekularnym,
- instalację próżni,
- instalacje wody lodowej do chłodzenia urządzeń,
- oświetlenie w tym awaryjne i ewakuacyjne,
- zasilanie awaryjne UPS, zasilanie amerykańskie,
- uziemienie technologiczne, listwy wyrównywujące,
- system kontroli wejść na karty,
- sterowanie centralami wentylacyjnymi w poziomie komputera.



Sterowanie centralami wentylacyjnymi

Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych w IFPAN **w realu**

Wirtualny Spacer:

Hali A

<http://info.ifpan.edu.pl/vt/>

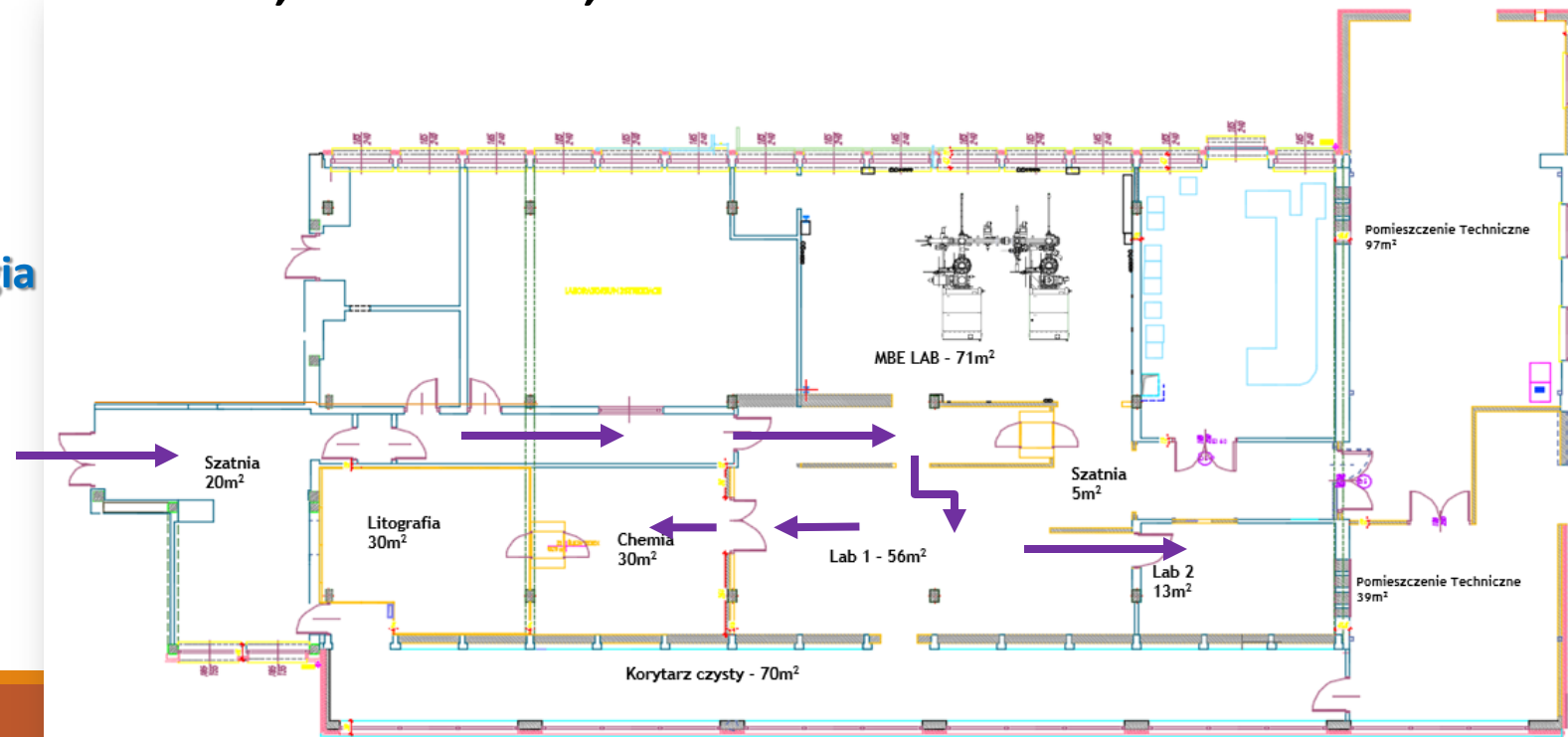
Laboratorium trawienia i osadzania ICP-RIE, ICP-PECVD, ALD

<http://info.ifpan.edu.pl/vt/>

Wirtualny Spacer

Laboratoria

Nanotechnologia



Schemat urządzenia do epitaksji z wiązek molekularnych MBE (Molecular Beam Epitaxy)*

epi = na, taxis=uporządkowany

* Mega Bucks Equipment, Mostly Broken Equipment

MBE rozwinięta w późnych latach 60-tych w Laboratoriach Bella przez Alfreda Y. Cho

Cechy i zalety MBE:

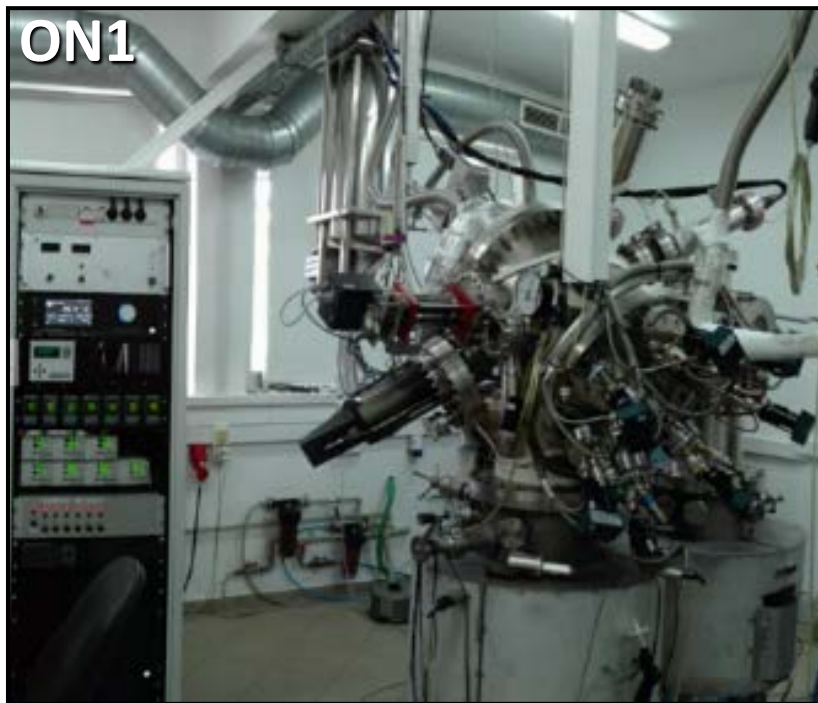
- UHV (10^{-10} Torr) + pierw. 7-9N mało resztkowych domieszek a więc wysoka ruchliwość
- Nierównowagowa - materiały inaczej niedostępne: (ZB MnTe, LT-GaMnAs, InMnSb)
- Łatwość wprowadzania domieszek w tym modulacyjne
- Indywidualne przesłony (natychmiastowy start i koniec wzrostu) -
- Małe szybkości wzrostu – kontrola na poziomie atomowym (poniżej monowarstwy)
- Relatywnie niskie T podłoża: mała interdyfuzja i ilość defektów
- Kontrola „in-situ”(RHEED) – „oczy” MBE

Preferowana do hodowania nanostruktur niskowymiarowych

Historia epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

Lata 80-te, Prof. M. A. Herman, „home made”, II-VI
+ IV-VI, unowocześniona przez grupę
Prof. T. Storego i cały czas produkująca dobrej
jakości struktury

ON1



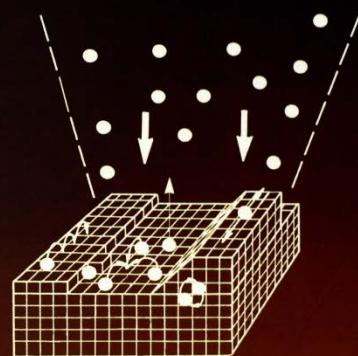
Aparatura zbudowana we współpracy z
Instytutem Techniki Próżniowej
ul. Długa 44/50
00-241 Warszawa

Springer Series in Materials Science 7

M. A. Herman H. Sitter

Molecular Beam Epitaxy

Fundamentals and Current Status



Second Edition



Springer

1988 - 1st edition

1996 - 2nd edition

Springer Series in Materials Science

7

Edited by Morton B. Panish

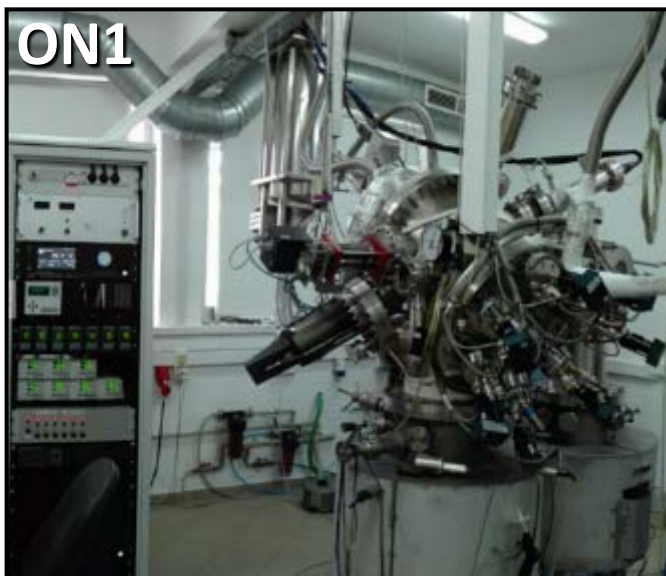
*Stawomienemu Kolecie
do kab Tomkowi Wojtkowiowi
z wyrazami poważenia i
wymagalni delnych enderós
dredniac MBE
12.05.2012*

Springer

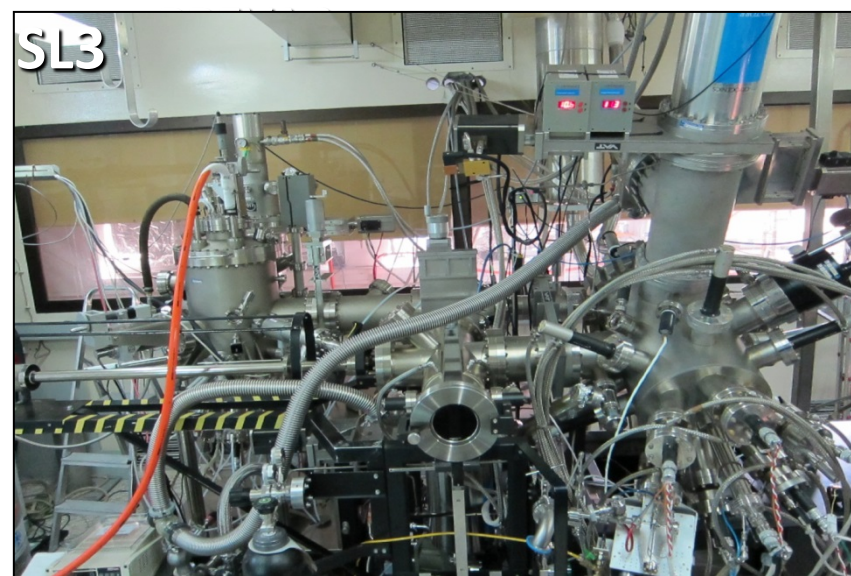
Berlin
Heidelberg
New York
Barcelona
Budapest
Hong Kong
London
Milan
Paris
Santa Clara
Singapore
Tokyo

Historia epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) nanostruktur półprzewodnikowych w IFPAN

Lata 80-te, Prof. M. A. Herman, „home made”, II-VI + IV-VI, unowocześniona przez grupę Prof. T. Storego



1993, Prof. J. Kossut, T. Wojtowicz, G. Karczewski
Pierwsza komercyjna aparatura II-VI (EPI-620);
2011 NLTK druga komora II-VI + IV-VI (PREVAC)



2007/2008, Prof. Z. Żytkiewicz, A. Kozanecki
Azotki (GaN) oraz Tlenki (ZnO) (RIBER)

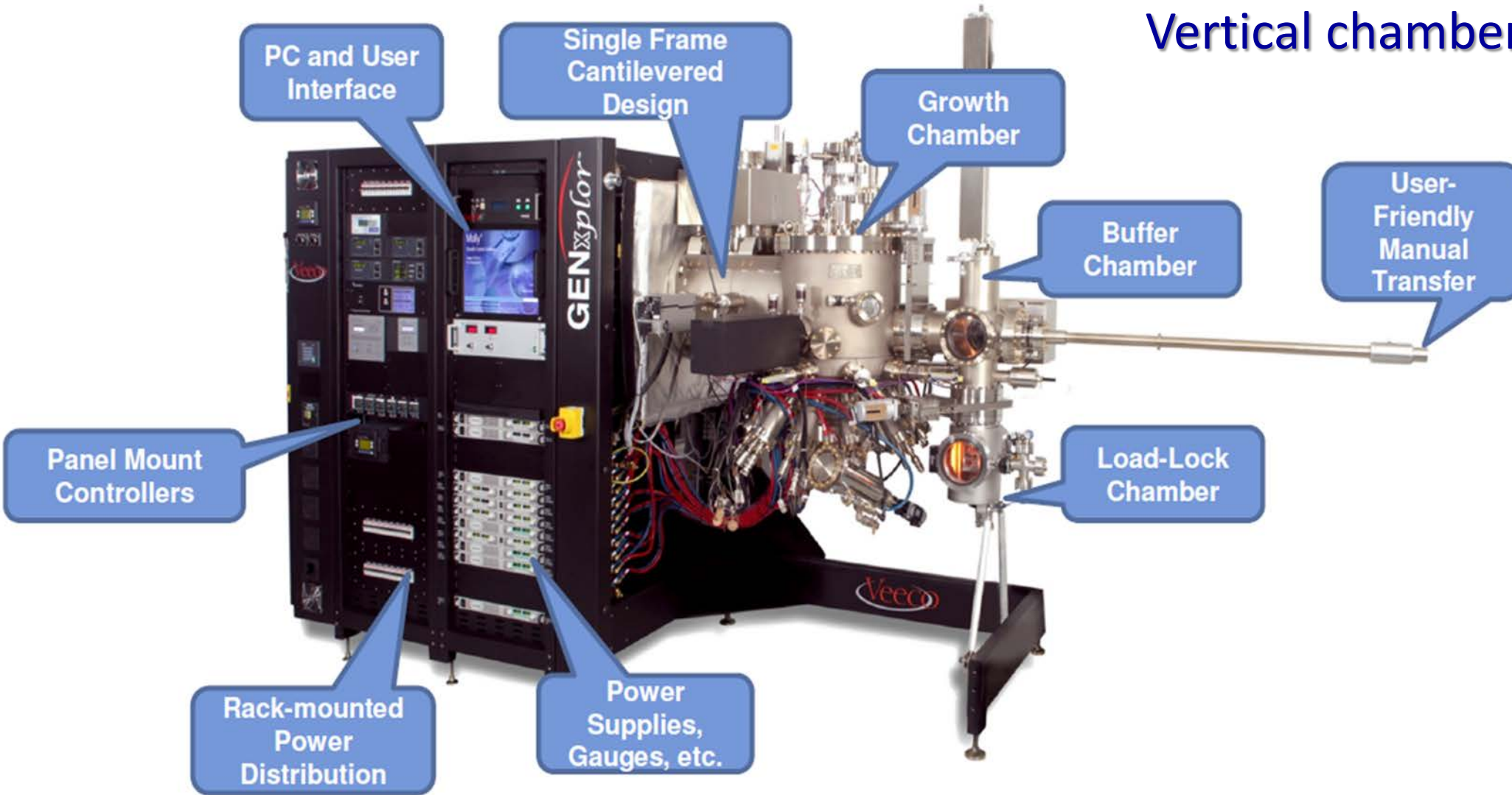


- każda z komór tylko 6 portów na komórki efuzyjne
- komora EPI-620 bardzo intensywnie eksploatowana przez 24 lata: ok. 6500 struktur (ok. 4 μm) i zanieczyszczona (kriopanel pokryty grubą warstwą materiałów – zła próżnia): **ograniczenie ruchliwości, niebezpieczeństwo poważnej awarii**

Konieczność odbudowy parku maszynowego i unowocześnienia aparatury (rozwiązania sprzed ćwierć wieku)

Uniwersalny system MBE - firma Veeco – oparty na GENxplor

Vertical chamber, 10 cell ports



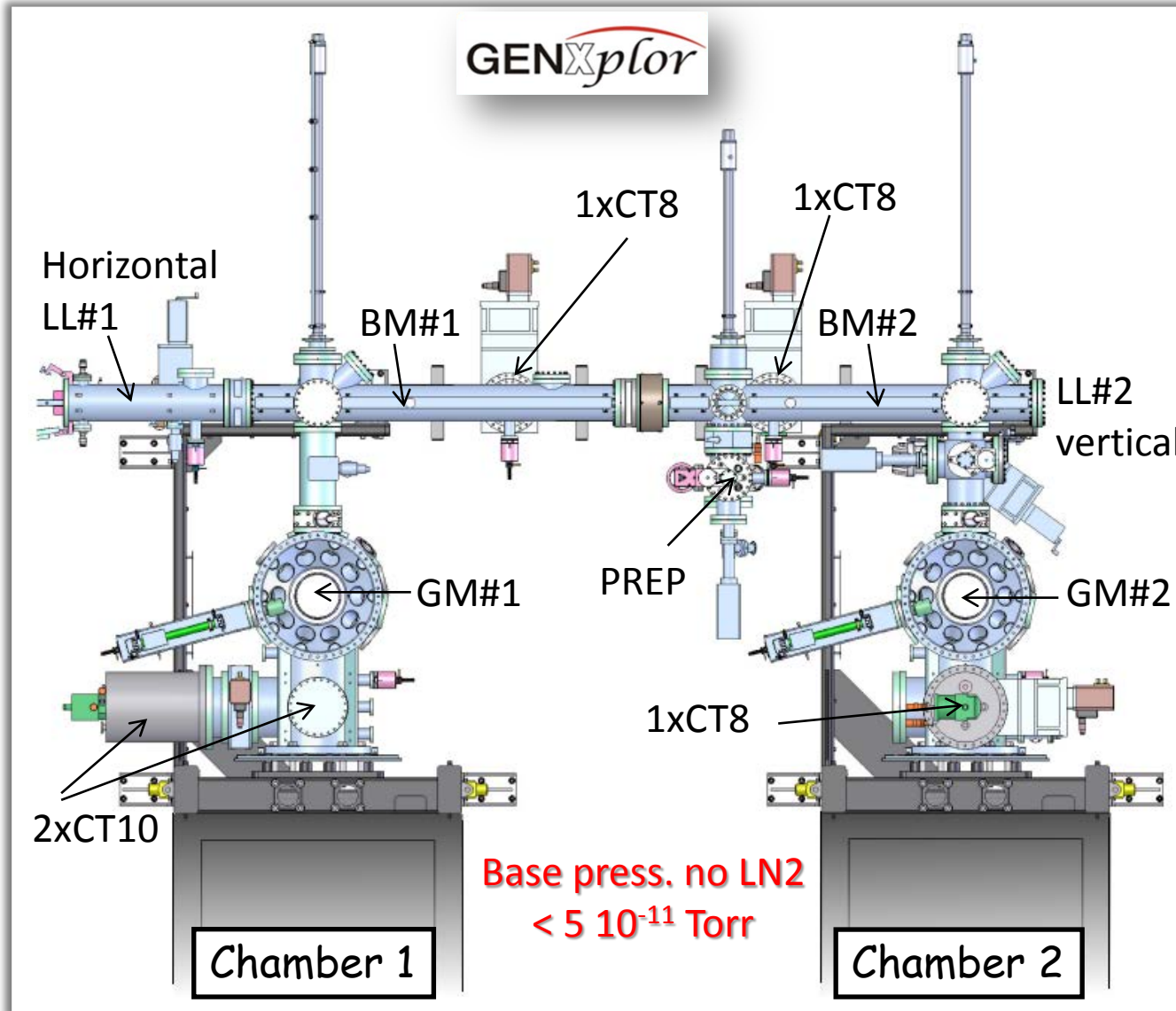
LABSOFT[®]

nanotechnology experts

Krzysztof **Herman**

Marta Izydorzak-
Woźniak

Universal MBE system (custom design) - Veeco, GENxplor-based



7 UHV separated, interconnected chambers incl.

2 vert. growth chambers
(10 equivalent ports for cells)

On request 12" port for CT10
and 10" port for CT8

1 prep chamber (H plasma)

1 horizontal LL (for laminar flow box)

1 vertical LL

2 buffer chambers

3 turbo pumps (all magnetic bearings)

5 cryo-pumps (2 CT10, 3 CT8, max 7)

3 RGA

2 RHEED (STAIB)

1 kSA 400 (STAIB) package

Universal MBE system (custom design) - Veeco, GENxplor-based

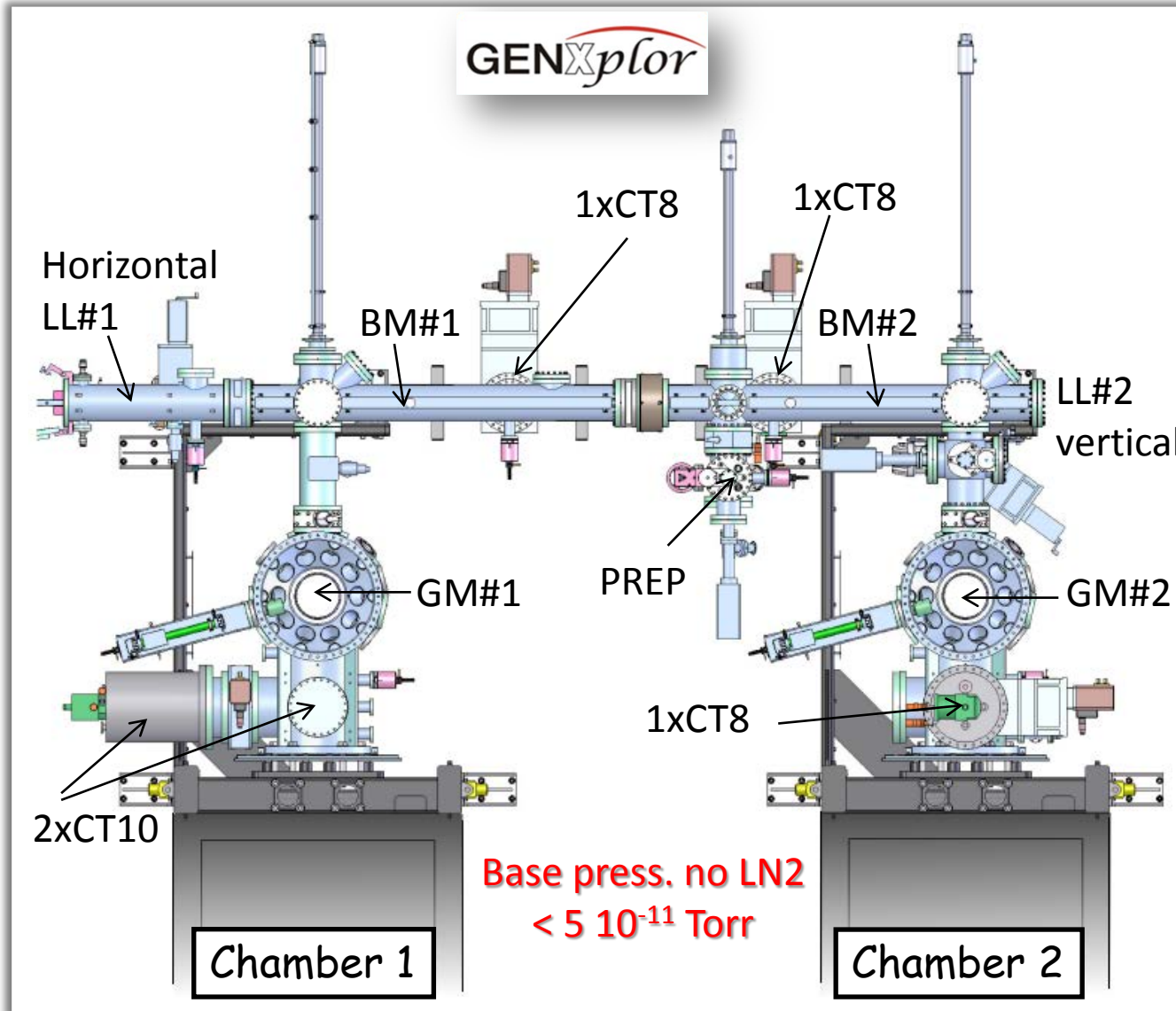
GM#1
 Growth of tellurides
 CdTe, CdMgTe, CdMnTe,
 ZnTe, ZnMgTe, ZnMnTe,
 based :
 NWs, QWs, QDs, 2DEG,
 system supporting
 Majorana excitations -
 for topologically
 protected quantum
 computation

SUMO d. zone: Cd#1
 Zn
 Te#1
 Mg#1
 Mg#2

Double zone: Cd#2
 Te#2

Valved: ZnI2

Single zone: Mn
 In



For now GM#2 – no cells, removal of
 oxide from GaAs.

Can be used for new types of topological
 materials – to be decided later

Uniwersalny system MBE w Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych w IFPAN **w realu**

Wirtualny spacer po Laboratorium MBE

<http://info.ifpan.edu.pl/vt/>

Zakładka z lewej strony:

Wirtualny Spacer

Laboratoria

Nanotechnologia

MBE: II-VI

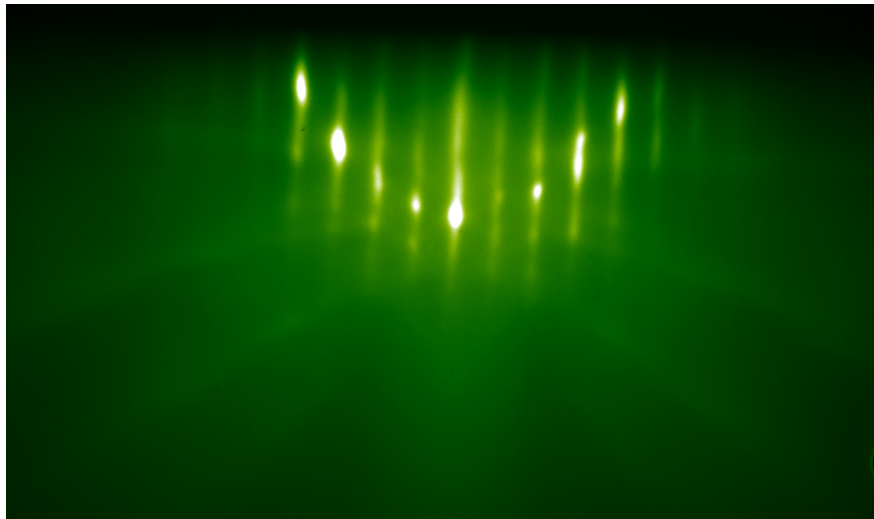
Obecny stan uniwersalnego systemu MBE w Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych w IFPAN

- Grudzień 2016 – instalacja
- 15 marzec 2017 – podpisanie protokołu odbioru pusterkowego
- Kwiecień/maj 2017 – załadunek ultra czystych pierwiastków (Cd, Te, Zn -7N; In - 9N; Mn, Mg - 5N8 Puremat, Prof. Mycielskiego) oraz wygrzewanie całego systemu i komórek
- 17 maj 2017 – pierwszy wzrost w nowej komorze tellurkowej –
po blisko 24 latach używania pierwszego systemu EPI-620 (obecnie Veeco)

Pierwszy wzrost w komorze tellurkowej GM#1 - 17.05.2017

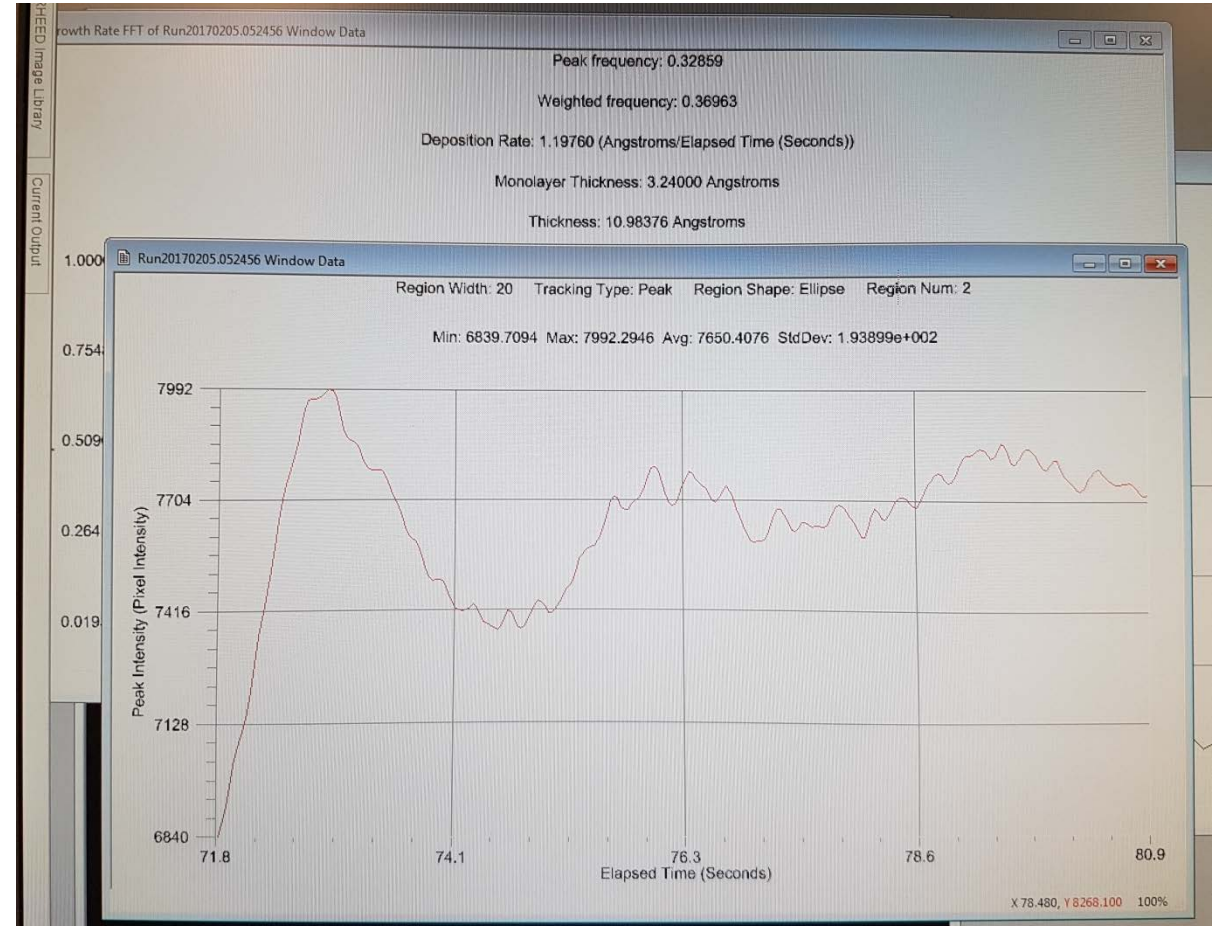
CdTe na podłożu hybrydowym CdTe/GaAs zabezpieczonym Te

Obraz RHEED w czasie wzrostu



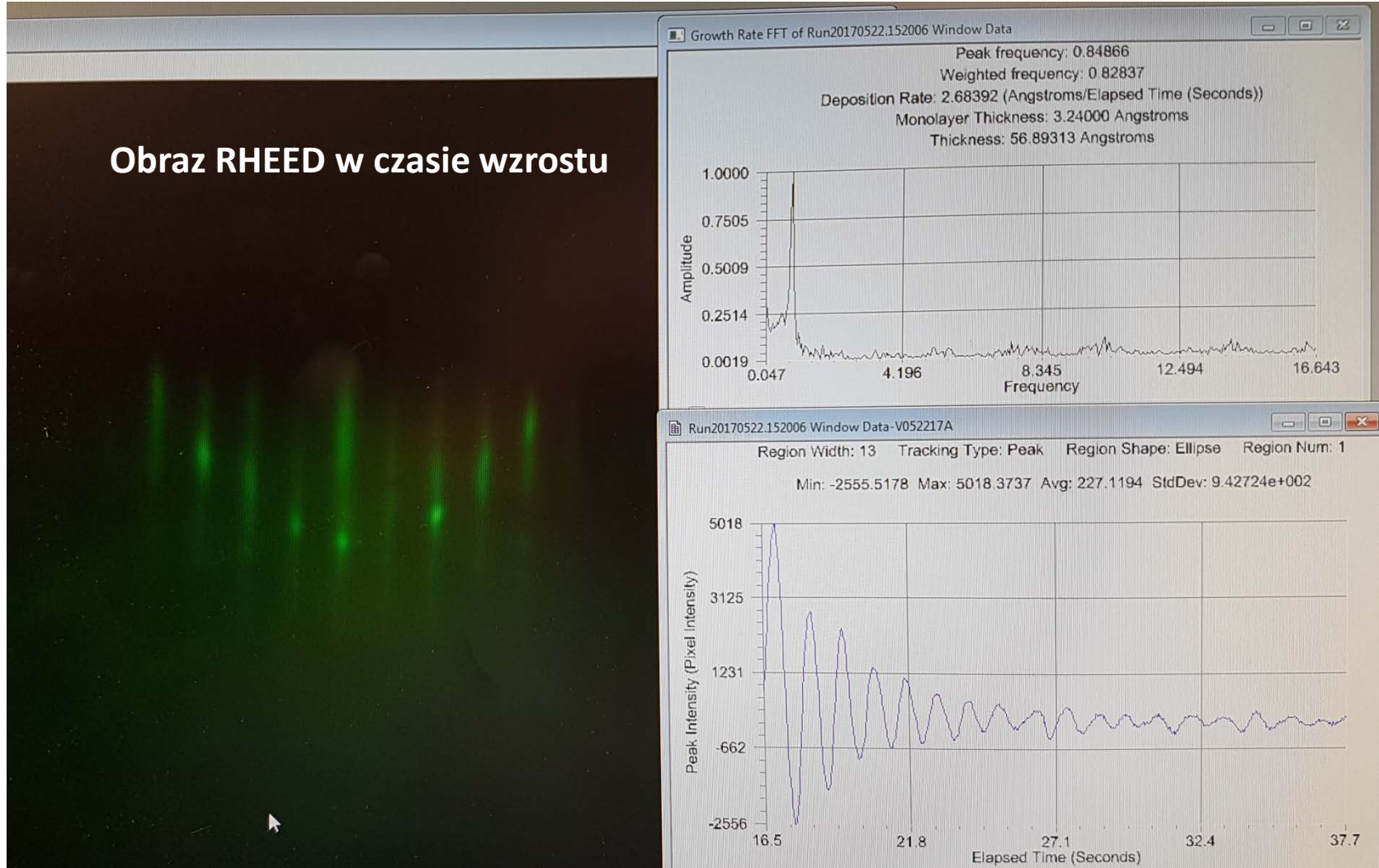
Oscylacje RHEED

Szybkość wzrostu - 1.2 \AA/s (0.36 \mu m/h)



Kolejny wzrost w komorze GM#1 - 22.05.2017 na podłożu z 17.05.2017 po poprawieniu strumieni

Obraz RHEED w czasie wzrostu



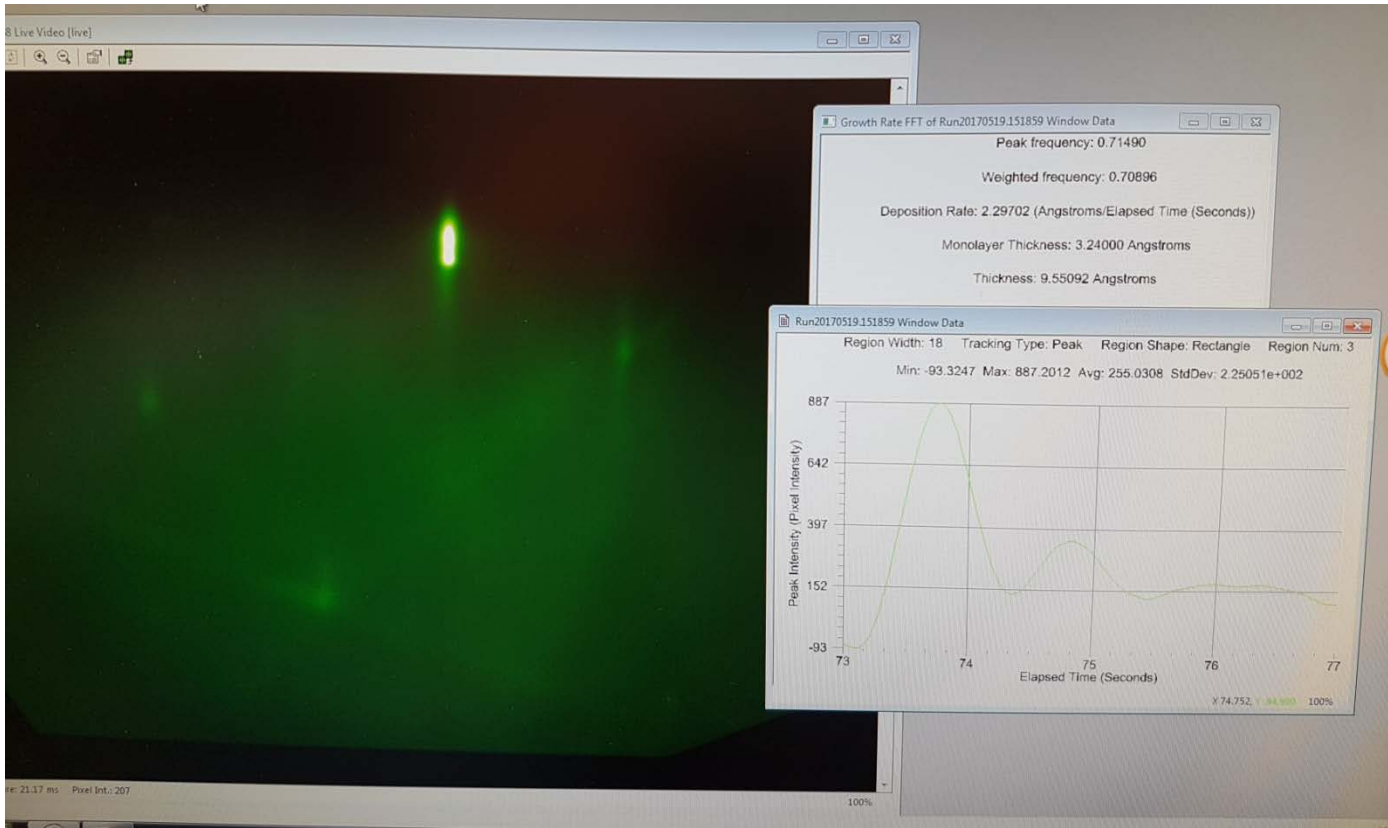
Oscylacje RHEED
Szybkość wzrostu -
2.68 Å/s (0.83 µm/h)

Drugi wzrost w komorze GM#1 – 19.07.2017

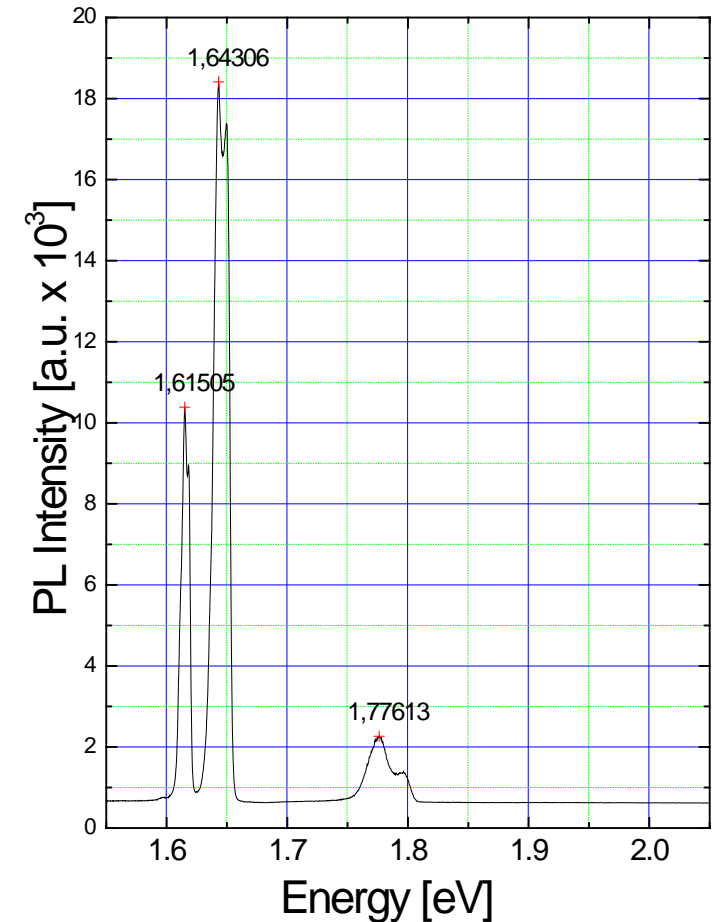
Wielostudnia CdTe/CdMgTe na podłożu hybrydowym

Oscylacje RHEED

Szybkość wzrostu - 2.23 Å/s (0.71 μm/h)



Fotoluminescencja
niskotemperaturowa



Podsumowanie

W wyniku zrealizowania tych dwóch inwestycji (INW-47 i INW-48) stworzono w IFPAN nowe **Międzyoddziałowe Laboratorium Procesów Technologii Nanostruktur i Przyrządów Półprzewodnikowych** obejmujące nowoczesny kompleks czystych laboratoriów (w Hali A oraz bl. III), które wyposażone zostały w wysokiej klasy aparaturę stanowiącą linię technologiczną (ALD, ICP-RIE, ICP-PECVD, litografia optyczna, napyłarka UHV, uniwersalny wielokomorowy system MBE,) .

Powstanie Laboratorium, z którego będą mogły korzystać pracownicy IFPAN oraz jednostek z nim współpracujących, stanowi istotny krok w rozwoju potencjału badawczego Instytutu.

Zachęcamy wszystkich do korzystania i współpracy!

Oficjalne otwarcie Laboratorium przez Dyrektora IFPAN, Prof. dra hab. R. Puźniaka zaraz potem Dyrektor zaprasza na kawę i ciastka