



MIKRO- I NANO-SYSTEMY W CHEMII I DIAGNOSTYCE BIOMEDYCZNEJ MNS-DIAG



PROJEKT KLUCZOWY WSPÓLFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ Z EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO; UMOWA Nr. POIG.01.03.01-00-014/08-00

RAPORT CZĄSTKOWY PROJEKTU MNS DIAG 6 MNT-REAL: Opracowanie i realizacja symulacji, projektowania i procesów technologicznych dla potrzeb mikro- i nano-systemów w chemii i diagnostyce biomedycznej

Raport 6 - 1. Cele projektu i jego realizacja

K. Domański

Zatwierdził:

Dr inż. Piotr Grabiec, prof. ITE
Koordynator Projektu MNS DIAG

Data: ...31.01.2014....

1. Cele naukowe projektu

Celem naukowym projektu było opracowanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych i metod wytwarzania mikro- i nano- systemów przeznaczonych do zastosowań w chemii i diagnostyce biomedycznej. Na etapie planowania prac podjęto się opracowania nowych, niedostępnych do tej pory w kraju, procesów technologicznych, takich jak operacje trawienia warstw polimerowych, dielektrycznych czy metalicznych oraz technologia łączenia płytek podłożowych metodą metodami bondingu anodowego, eutektycznego i bondingu wykorzystującego warstwy klejące. Opanowanie tych procesów było istotne ze względu na możliwość integracji poszczególnych elementów mikrosystemu na podłożach wybranego typu i przez to realizację celów naukowych i technicznych projektu. Celem nadrzędnym tych działań było udostępnienia grupom akademickim i zespołom badawczym technologii mikrosystemów realizowanej w laboratorium ITE. Należy podkreślić, że w proces projektowania i wytwarzania przyrządów ramach projektu MNS DIAG zaangażowanych było wielu, współpracujących ze sobą specjalistów z różnych dziedzin nauki, często z kilku różnych laboratoriów badawczych. Ścisła współpraca oraz wymiana informacji i uzyskiwanych wyników pomiędzy różnymi zespołami podejmującymi się wspólnego opracowania poszczególnych demonstratorów umożliwiała opracowanie technologii i wykonanie struktur zaprojektowanych w poszczególnych podprojektach. Dlatego też kolejnym celem naukowym podprojektu była realizacja prac badawczych w kierunkach uzgodnionych z zespołami opracowującymi i projektującymi poszczególne mikrosystemy. Wytwarzanie złożonych, zintegrowanych struktur MEMS to proces wieloetapowy, obejmujący co najmniej kilkadziesiąt, często niestandardowych i kosztownych operacji technologicznych. Dlatego też szczególnego znaczenia nabiera konieczność dokładnej, międzyprocesowej analizy wykonanych operacji. Analiza taka pozwala na wczesne zdiagnozowanie błędów technologicznych i podjęcie działań zaradczych minimalizujących ryzyko wadliwego wykonania partii technologicznej. W ramach projektu zaplanowano zastosowanie metod wielodomenowej symulacji zjawisk fizycznych oraz zintegrowanego modelowania mikrosystemów, które ułatwiło proces projektowania produktów i umożliwiało wstępną weryfikację projektów złożonych mikrosystemów. Instytut Technologii Elektronowej dysponuje nowoczesnym środowiskiem CoventorWare do projektowania, modelowania i symulacji struktur MEMS i mikroelektronicznych. Oprogramowanie to składa się z wielu modułów stosowanych na poszczególnych etapach konstruowania i wytwarzania przyrządów MEMS. Tak więc zaletą tego środowiska jest jego integralność z procesem opracowywania technologii i projektowania masek fotolitograficznych. Baza komponentów stosowanych do konstruowania modeli przyrządów MEMS jest szeroka i zawiera elementy mechaniczne, elektryczne, optyczne oraz mikrofluidyczne. Zastosowanie takich modeli pozwala na wielodomenowe, złożone modelowanie współczesnych zintegrowanych struktur typu MEMS. Umożliwia to integrację procesów modelowania i symulacji z etapami opracowywania technologii (layout, cykl technologiczny). Znacząco obniża to czas trwania cyklu - od projektu do gotowego przyrządu, umożliwia wyeliminowanie błędów konstrukcyjnych w początkowej fazie projektowania i obniża koszty opracowywania nowych konstrukcji. Dodatkowym celem badawczym było więc zastosowanie procesów modelowania i symulacji przyrządów testowych oraz weryfikacja konstrukcji i technologii wybranych przyrządów na wczesnym etapie projektu.

2 Cele techniczne i gospodarcze projektu

Podstawowym celem technologicznym podprojektu 6 było opracowanie procesów cząstkowych i sekwencji technologicznych umożliwiających wytworzenie we współpracy z partnerami demonstratorów mikrosystemów przeznaczonych do zastosowania w chemii i diagnostyce biomedycznej. W szczególności celem technologicznym było zapewnienie

wszystkim partnerom dostępu do linii technologicznej o wysokim poziomie technicznym gwarantującym stabilność i niezawodność technologii oraz terminową realizację opracowań, ich wysoką jakość a także stwarzającym perspektywy wdrożenia. Strategicznym celem technologicznym było wytworzenie mechanizmów ułatwiających opracowywanie innowacyjnych konstrukcji i technologii mikro- nano- systemów ukierunkowanych na istotne dla rozwoju gospodarczego wdrożenia przemysłowe. Osiągnięcie tego celu zaplanowano poprzez stworzenie w Zakładzie Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych ITE warunków dla realizacji pełnego cyklu opracowania od etapu projektu, poprzez opracowanie technologii i wytworzenie prototypów, do pilotażowej produkcji małoseryjnej. Celem technologicznym podprojektu 6 było też wykonanie struktur testowych oraz elementów mikrosystemów i demonstratorów zaprojektowanych przez poszczególne zespoły badawcze. Aby osiągnąć ten cel w ramach podprojektu 6 podjęto się opracowania nowych, niedostępnych w kraju procesów technologicznych oraz udoskonalenia wybranych procesów dostępnych wcześniej w ITE w stopniu, lub jakości niespełniającej wymagań mikrosystemów projektowanych przez partnerów projektu MNS-DIAG. Wśród istotnych procesów technologicznych wymagających opracowania należy wymienić: łączenie czterocalowych płytek podłożowych (krzemowych i szklanych) metodami bondingu anodowego, bondingu eutektycznego oraz bondingu wykorzystującego warstwę klejącą (ang. adhesive bonding), plazmowe trawienie warstw platyny, elektrochemiczne wytwarzanie warstw Ag i AgCl oraz wykonywanie otworów w podłożach szklanych metodą ablacji laserowej. Wśród procesów technologicznych, wymagających doskonalenia można wymienić plazmowe osadzanie warstw azotku krzemu, z szczególnym uwzględnieniem problemu minimalizacji naprężeń mechanicznych w tych warstwach. Innym istotnym zagadnieniem było opracowanie w ITE procesów wytwarzania wielopoziomowych warstw Pt i Au ze szczególnym uwzględnieniem planarności powierzchni wytwarzanej struktury. Warto podkreślić, że opracowane i doskonalone w ramach projektu MNS-DIAG procesy poszerzą ofertę usług technologicznych ITE obejmującą opracowanie i wytwarzanie prototypów oraz produkcję pilotażową. Istotnym znaczeniem dla gospodarki jest możliwość dostępu krajowego środowiska badawczego do zaawansowanego potencjału technologii mikro/nano-systemów, co ułatwi opracowanie innowacyjnych produktów, których stopień zaawansowania będzie mógł sprostać wymaganiom przemysłu.

3. Realizacja projektu.

3.1 Potencjał organizacyjny

Instytut Technologii Elektroonowej, Oddział Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych - Grupa badawcza odpowiedzialna za opracowanie metod wytwarzania części projektowanych w ramach MNS-DIAG mikrosystemów. Instytut posiada odpowiednio wyposażone laboratorium, które cechuje się zbliżoną do przemysłowej organizacją pracy doświadczalnej linii technologicznej. Linia ta pozwala na realizację pełnego cyklu opracowania, począwszy od etapu projektowania konstrukcji i technologii przyrządu a kończąc na fazie modelu i prototypu a nawet na podjęcia produkcji doświadczalnej.

Zakład Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych wyposażony jest w linię technologiczną CMOS, umożliwiającą prowadzenie prac Badawczo-Rozwojowych w obszarze mikroelektroniki i mikro-inżynierii krzemowej aż do etapu prototypu i produkcji pilotowej. Urządzenia zainstalowane w pomieszczeniu czystym o powierzchni 1200m² (Clean Room o klasie czystości od 10 do 1000) umożliwiają prowadzenie prac technologicznych w zakresie technologii do 3 mikrometrów na płytkach o średnicy 76 milimetrów i do 0,9 mikrometrów na płytkach o średnicy 100. Silną stroną Zakładu jest doświadczenie w szerokim zakresie technologii krzemowej połączone z możliwością realizacji produkcji pilotowej.

Zasoby Ludzkie

W Instytucie Technologii Elektronowej zatrudnionych jest 319 pracowników w tym 5 profesorów, 12 doktorów habilitowanych, 51 doktorów specjalizujących się w elektronice, fizyce, chemii oraz inżynierii materiałowej. Obecnie Zakład Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych zatrudnia 62 pracowników, w tym 10 technologów nadzorujących realizację partii technologicznych, 10 technologów gniazdowych i inżynierów odpowiedzialnych za pracę urządzeń, 15 techników oraz 7 pracowników serwisujących urządzenia technologiczne. W 2012 roku wśród pracowników zakładu było 3 doktorantów.

Główni badacze zaangażowani w realizację podprojektu MNT REAL:

Krzysztof Domański ukończył studia na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej w 1996 roku. Na tym samym wydziale w 2003 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych ze specjalności elektronika. Od 1999 roku jest pracownikiem Instytutu Technologii Elektronowej. Jego zainteresowania naukowe obejmują technologie wytwarzania mikrosystemów MEMS ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań biomedycznych mikrosystemów oraz układy odzyskiwania energii. Jest on współautorem ponad 50 wystąpień konferencyjnych oraz 44 publikacji, które cytowano 218 razy, indeks Hirscha (HI) jego publikacji wynosi 10. Jest też współautorem 6 patentów i zgłoszeń patentowych.

Paweł Janus ukończył studia w Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Elektroniki w 1998 roku. Od 1998 roku był słuchaczem studiów doktoranckich w Politechnice Wrocławskiej i w roku 2003 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Tematyka prac prowadzonych w ramach studiów doktoranckich obejmowała diagnostykę termiczną w strukturach MEMS za pomocą mikroskopii termicznej bliskiego pola. Od 2003 jest pracownikiem Instytutu Technologii Elektronowej w Zakładzie Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych a obszar jego zainteresowań zawodowych obejmuje opracowanie i stosowanie układów mikro- i nanosystemowych (MEMS i NEMS) w nowoczesnej technice pomiarowej. Dr Paweł Janus uczestniczył w licznych projektach realizowanych ze środków: Komitetu Badań Naukowych (KBN), Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSzW), 5, 6 i 7 Programu Ramowego Badań i Rozwoju Unii Europejskiej oraz Programu Operacyjnego Innowacyjnej Gospodarki (POIG). Od 2012 roku koordynuje prace konsorcjum projektu NANOHEAT (STREP) w ramach 7 Programu Ramowego Badań i Rozwoju Unii Europejskiej. Dr Janus jest autorem bądź współautorem ponad 60 publikacji i wystąpień konferencyjnych.

Jan M. Łysko wykształcenie : mgr inż. (1979 r.) w dziedzinie inżynierii materiałowej dyplom Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, doktorat (1990 r.) w dziedzinie technologii elektronowej i habilitacja ((2005 r.) w Instytucie Technologii Elektronowej. Praca zawodowa od 1979 roku w Instytucie Technologii Elektronowej, obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Zainteresowania badawcze skupione na inżynierii materiałowej, mikrotechnologii, przyrządach czujnikowych mikrofluidycznych, mechanicznych, chemicznych, biochemicznych. Członkostwo w: IEEE od 1986 roku Member, a od 2000 roku Senior Member, Electron Devices Society, Polskim Towarzystwie Techniki Sensorowej (PTTS) od 1995 roku. Ponad 100 publikacji naukowych w krajowych i międzynarodowych czasopismach i materiałach konferencyjnych, jedna monografia, 15 polskich patentów i zgłoszeń patentowych.

Piotr Prokaryn ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej na kierunku Technologia Chemiczna. W trakcie studiów oraz przez półroczny okres po obronie

pracy dyplomowej był członkiem CSRG (Chemical Sensors Research Group) działającej w ramach Katedry Chemii Analitycznej PW, gdzie zajmował się konstrukcjami polimerowych układów μ TAS. Bezpośrednio po ukończeniu studiów podjął pracę w Instytucie Technologii Elektronowej, gdzie pracuje do dnia obecnego. Zajmuje się opracowywaniem i przeprowadzaniem procesów elektrochemicznego osadzania warstw metalicznych, obróbki polimerów nieświatłoczułych i bondingu płytek krzemowych. Od 2009 roku zajmuje się również syntezą polimerów przewodzących i ich zastosowaniem w układach analitycznych, a prace z tej dziedziny są podstawą jego pracy doktorskiej. Jest on współautorem kilkudziesięciu prac, w tym artykułów, plakatów i komunikatów konferencyjnych, a jego indeks Hirscha (HI) wynosi 4.

Podział zadań w projekcie.

Rezultaty podprojektu MNT-REAL stanowiły podstawę dla wykonania elementów demonstratorów opracowywanych przez pozostałych partnerów. Systematyczna wymiana informacji z zespołami opracowującymi poszczególne przyrządy stanowiła istotny czynnik dla terminowej realizacji poszczególnych etapów całego projektu oraz dla końcowego rezultatu. W ramach zespołu realizującego ten podprojekt wskazano osoby wspierające partnerów w poszczególnych obszarach prac:

Krzysztof Domański	- kierowanie podprojektem 6
Magdalena Ekwińska	- modelowanie
Helena Kłos	- strona internetowa, mikromontaż
Andrzej Sierakowski	- maski fotolitograficzne, fotolitografia
Piotr Prokaryn	- bonding, procesy elektrochemiczne
Karina Skwara	- trawienie mokre
Dariusz Szmigiel	- procesy plazmowe
Michał Zaborowski	- metalizacja

Wskazane zostały również następujące zespoły współpracujące z poszczególnymi podprojektami:

Podprojekt 1A:	Jan Łysko, Anna Baraniecka,
Podprojekt 1B:	Michał Zaborowski, Piotr Prokaryn
Podprojekt 2A:	Dariusz Szmigiel Andrzej Panas
Podprojekt 2B:	Dariusz Szmigiel, Bogdan Latecki, Paweł Kowalski
Podprojekt 3:	Anna Baraniecka, Piotr Prokaryn
Podprojekt 4A:	Krzysztof Domański, Andrzej Sierakowski
Podprojekt 4C:	Krzysztof Domański, Dariusz Szmigiel, Magdalena Ekwińska
Podprojekt 4D:	Magdalena Ekwińska, Bohdan Jaroszewicz
Podprojekt 5:	Paweł Janus, Rafał Dobrowolski, Krzysztof Domański

3.2. Prace realizowane w ramach projektu.

Projekt zakładał opracowanie i doskonalenie przez ITE procesów technologicznych oraz wykonanie w ramach podprojektu 6 MNT-REAL struktur testowych i elementów demonstratorów projektowanych przez poszczególne zespoły badawcze w ramach podprojektów 1-5. Dodatkowo zadania podejmowane w podprojekcie 6 miały obejmować koordynację działań konsorcjum partnerów MNS-DIAG, w szczególności przygotowanie monitorowanie postępu prac badawczych w projekcie, organizację spotkań roboczych i przygotowywanie wspólnych sprawozdań z postępu prac w projekcie.

Prace badawcze zrealizowano zgodnie z harmonogramem i założeniami projektu MNS-DIAG. Prace prowadzone w podprojekcie 6 skupiły się następujących zagadnieniach badawczych:

- modelowanie i symulacje komputerowe mikrosystemów wspierające prace projektowe nad konstrukcjami mikrosystemów opracowywanych w podprojektach 1-5,
- opracowanie i doskonalenie cząstkowych procesów technologicznych, w szczególności opracowanie procesów dla urządzeń technologicznych zakupionych w ITE w ramach projektu MNS-DIAG,
- projektowanie przy ścisłej współpracy z zespołami opracowującymi poszczególne mikrosystemy i wykonane kompletów masek fotolitograficznych u umożliwiających wykonanie w ITE struktur próbnych i elementów demonstratorów opracowywanych przez pozostałych partnerów
- przeprowadzanie prób technologicznych i opracowywanie sekwencji technologicznych wytwarzania mikrosystemów opracowywanych przez zespoły realizujące zadania w podprojektach 1-5
- wytwarzanie struktur testowych i elementów demonstratorów i dostarczanie ich partnerom konsorcjum

3.3 Główne zakupy urządzeń, wyposażenia i materiałów.

Najważniejszymi elementami aparatury badawczej w zakupionej ramach podprojektu 6 były urządzenie do łączenia płytek podłożowych oraz skaningowy mikroskop elektronowego (SEM). Waybrane parametry tych urządzeń przedstawiono w tabelach poniżej. Oba urządzenia zostały zainstalowane w laboratorium technologicznym ITE (cleanroom) w Piasecznie i uruchomione w pierwszym roku realizacji projektu. W ramach pozostałych środków na zakup wyposażenia laboratoryjnego zakupiono komputer przenośny, który stanowił element systemu do oceny jakości zarodków oraz laserowe urządzenie tnąco-grawerujące, które umożliwia wykonanie otworów w płytkach szklanych metodą ablacji laserowej. Ponadto przeprowadzono zakupy materiałów, spośród których najkosztowniejszymi zakupami były zakupy krzemoowych i szklanych płytek podłożowych, fotorezystów, gazów technologicznych, odczynników chemicznych, targetów metali do sputeringu, materiałów instalacyjnych oraz części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych do urządzeń technologicznych. Zakupy przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi w ITE wewnętrznymi zarządzeniami przestrzegając procedur zamówień publicznych uwzględniających aktualne przepisy ustawy Prawo Zamówień Publicznych.

RAPORT MNS-DIAG

Tabela 9.4.3.1 Podstawowe parametry techniczne urządzenia do centrowania i łączenia płytek podłożowych.



Producent urządzenia	Applied Microengineering Ltd (AML)
Model	AWB-04 
Cechy urządzenia	urządzenie umożliwiające centrowanie i łączenie płytek podłożowych (aligner + bonder)
Dostępne tryby łączenia płytek	a) anodowy, b) eutektyczny, c) przy użyciu kleju (adhesive), d) przy użyciu rozpylonego szkła (glass frit), e) bezpośredni (direct fusion bonding)
Centrowanie płytek	- możliwość centrowania w świetle widzialnym (płytki przezroczyste) i w podczerwieni - precyzja centrowania: 1µm w świetle widzialnym oraz 2µm w podczerwieni (dla płytek DSP Si)
Wielkość płytek	możliwość centrowania i łączenia płytek o średnicy 50, 75 i 100 mm (możliwa jest rozbudowa systemu o centrowanie i łączenie płytek o średnicy 150 mm)
Grubość łączonych płytek	- minimalna grubość płytki 0,2mm (0,3 mm w przypadku bondingu anodowego) - maksymalna łączna grubość łączonych płytek: 6mm - możliwość łączenia zestawów trzech płytek (bonding anodowy)
Stolik grzany, temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • maksymalna temp. w trybie próżni 560°C (450°C dla stolików grafitowych) programowana z krokiem 1°C • w temperaturze powyżej 500°C procesy krótsze od 1h • maksymalna temp. w trybie nadciśnienia 380°C • jednorodność temperatury: +/- 2°C w temp 400°C dla płytek o średnicy 100 mm i +/- 3.5°C dla płytek o średnicy 150 mm
Maksymalna siła docisku	- 15000N , - powtarzalność <1% - niejednorodność docisku stolika: +/- 2%
Parametry bondingu anodowego	- maksymalne napięcie 2500V - maksymalny prąd 40mA - w zakresie 300V-2.5kV DC dokładność nastawu <+/- 4% - możliwość pracy w trybie stałoprądowym lub stałonapięciowym.
Praca przy podwyższonym ciśnieniu	- Maksymalne ciśnienie 2 bar - Tmax = 380°C, & Vmax = 1400V

Tabela 9.4.3.2 Podstawowe parametry techniczne skaningowego mikroskopu elektronowego.

RAPORT MNS-DIAG

Producent urządzenia	FEI
Model	Nova NanoSEM 630 
Cechy urządzenia	Skaningowy mikroskop elektronowy z termiczną emisją polową (źródło elektronów - emiter Schottky'ego)
Tryby pracy	- wysokopróżniowy (HV) - niskiej próżni (LV) pozwalający na obserwację próbek dielektrycznych (np. szkło, guma) bez napyłonej warstwy przewodzącej
Zdolność rozdzielcza mikroskopu w trybie SE (elektronów wtórnych) dla próbki testowej złoto/grafit w odległości roboczej nie mniejszej niż 1mm	tryb pracy HV - dla napięcia 30kV: 0,8 nm (STEM) - dla napięcia 15kV: 1,0 nm (TLD-SE) - dla napięcia 1kV: 1,6nm (TLD-SE) tryb pracy LV - dla napięcia 10kV: 1,5 nm (Helix detektor) - dla napięcia 3kV: 1,8 nm (Helix detektor)
Powiększenie mikroskopowe	- minimalne powiększenie $\leq 80 \times$, - maksymalne powiększenie $\geq 600\,000 \times$.
Napięcie przyspieszające	Regulowane w zakresie od 200 V do 30 kV
Regulacja parametrów wiązki	- system spowalniania elektronów padających na powierzchnię próbki do energii 50 eV - płynna regulacja energii elektronów - niezależna regulacja wartości napięcia przyspieszającego i prądu wiązki elektronowej - możliwość zainstalowania układu wygaszania wiązki sterowanego elektrostatycznie (<i>electrostatic blanking plate</i>) w miejscu instalacji.
Maksymalny gwarantowany prąd wiązki elektronowej dla napięcia 30kV	100 nA
Stabilność prądu wiązki na 10h	< 0.5 %
Szybkość skanowania	a) Minimalna szybkość skanowania < 100 milisek/klatkę b) Maksymalna szybkość skanowania > 40 min/klatkę.
Detektory elektronów wtórnych i odbitych	- Everhardt-Thornley SED -detektor elektronów wtórnych do pracy w trybie wysokiej próżni - LVD (Low vacuum SED) - detektor elektronów wtórnych do pracy w trybie niskiej próżni pozwalający na obserwację próbek dielektrycznych - TLD-SE (In-lens SE detector) wewnątrzsoczewkowy detektor elektronów wtórnych SE do pracy w trybie wysokiej próżni, - TLD-BSE (In-lens BSE detector) wewnątrzsoczewkowy detektor elektronów wstecznie rozproszonych BSE do pracy w trybie wysokiej próżni - UHR low vacuum SED (Helix detector)- detektor elektronów wtórnych do pracy w trybie niskiej próżni pozwalający na obserwację próbek dielektrycznych
Systemy próżniowe	- ciśnienie w komorze w trybie HV < 0,0001 mBar• - ciśnienie w komorze w trybie LV < 2 mBar• - bezolejowy układ próżniowy,

RAPORT MNS-DIAG

	<ul style="list-style-type: none">- rozdzielne systemy pomp jonowych do utrzymania próżni w obszarze katody i w kolumnie mikroskopu.- automatyczny układ pompowania mikroskopu z miernikiem próżni (sonda Penninga), komora próbki odpompowywana pompą turbomolekularną.- czas pompowania komory – nie gorszy niż 3 minuty (pompowanie pustej do osiągnięcia ciśnienia umożliwiającego obrazowanie)- układ antykontaminacyjny chłodzony ciekłym azotem
Stolik	<ul style="list-style-type: none">- stolik próbki o zmotoryzowanych przesuwach w osiach X, Y i Z z przesuwem $x=150\text{mm}$, $y=150\text{mm}$, $z=10\text{mm}$- eucentryczny obrót wokół osi w zakresie 360° dla wszystkich położenia X, Y; pochył: minimalny zakres od -10 do 60°- przesuw w osiach X, Y z minimalnym krokiem 100nm, z możliwością zapamiętania położenia próbki i powrotu do zapamiętanych położenia.- powtarzalność przesuwu (przy pochylenie stolika 0°): $1\ \mu\text{m}$
Komora mikroskopu	<ul style="list-style-type: none">- rozmiar komory pozwalający na obserwację 100% powierzchni płytki 6-calowej,- szerokość komory: 379mm- 21 portów