



OPIS PRZEDMIOTU ZAMÓWIENIA

Dostawa systemu do pomiarów właściwości wytrzymałościowych w skali nano i mikro z analizą struktury ziaren

I. Wymagania ogólne

1. Procedura dotyczy dostawy zestawu kompletnego ze wszystkimi modułami wymienionymi poniżej.
2. Gwarancja minimum 12 miesięcy od daty podpisania protokołu zdawczo - odbiorczego.
3. Czas kontaktu (e-mail) serwisu w odpowiedzi na zgłoszenie serwisowe do dwóch dni roboczych.
4. Okres gwarancji wydłużany o czas przestoju do naprawy w przypadku awarii w okresie gwarancji.
5. Każdy z modułów systemu musi być wyposażony w niezbędne do prowadzenia prac zgodnych z instrukcją obsługi narzędzia i oprzyrządowanie.
6. Przeprowadzenie szkolenia z obsługi systemu. Wymiar czasowy szkolenia - minimum 5 dni, średnio jednego dnia 8 godzin dydaktycznych (łącznie nie mniej niż 40 godzin dydaktycznych), dla maksymalnie 5 osób.
7. Przez miesiąc od dnia podpisania protokołu zdawczo-odbiorczego, Wykonawca zapewni Zamawiającemu konsultacje mailowe oraz telefoniczne w zakresie użytkowania zakupionego systemu.
8. Czas dostawy:
dostawa i instalacja, uruchomienie do 135 dni od dnia zawarcia umowy, maksymalnie do 29 grudnia 2023 r.
9. Instrukcje w języku polskim lub angielskim w wersji wydrukowanej w jednym segregatorze oraz w wersji elektronicznej.
10. Koszty przyjazdu serwisu w okresie trwania gwarancji pokrywa Wykonawca.
11. W skład materiałów eksploatacyjnych wchodzi:
 - ✓ targety Au,
 - ✓ gazy techniczne jeśli wymaga ich oferowany mikroskop,
 - ✓ filtry do pompy,
 - ✓ olej do pompy.

II. Moduł I: Mikroskop elektronowy z analizatorem widma rentgenowskiego z napyłarką

Parametry minimalne urządzenia:

1. Źródło elektronów: katoda LaB₆;

2. Optyka elektronowa:

- ✓ Napięcia przyspieszające w zakresie nie mniejszym niż od 0,2kV do 30kV regulowane w krokach nie większych niż 10V,
- ✓ Prąd wiązki przynajmniej od 0,5pA do 5μA,
- ✓ Rozdzielczość w trybie wysokiej próżni (HV) powinna nie być gorsza niż:
 - 2nm przy 30kV,
 - 6nm przy 3kV,



- 9nm przy 1kV.
 - ✓ Rozdzielczość w trybie zmiennej próżni (VP) powinna nie być gorsza niż:
 - 3,4nm przy 30kV,
 - ✓ Powiększenie w zakresie nie mniejszym niż od 5x do 1000000x dla obrazu o wymiarze nie większym niż 128mm x 96mm, regulowane w trybie ciągłym,
 - ✓ Analityczna odległość pracy (AWD) nie większa niż 8,5 mm
- 3. Detekcja:**
- ✓ Detektor elektronów wtórnych z potencjałem kolektora zmiennym w sposób ciągły w zakresie od -250 V do +400V,
 - ✓ Diodowy, minimum pięciopolowy detektor elektronów wstecznie rozproszonych,
 - ✓ Detektor elektronów wtórnych do pracy w warunkach zmiennej próżni (VP)
 - ✓ Kolorowa kamera CCD wewnątrz komorowa,
 - ✓ Analizator widma rentgenowskiego (EDS):
 - wielkość SDD przynajmniej 30mm²,
 - rozdzielczość spektralna przynajmniej 129eV,
 - okno wejściowe wykonane z azotku krzemu.
- 4. Komora:**
- ✓ Średnica wewnętrzna min. 365mm,
 - ✓ Wysokość wewnętrzna min. 275mm,
 - ✓ Możliwość badania próbek o wymiarach: przynajmniej 100 mm wysokości, przynajmniej 230 mm średnicy,
 - ✓ Minimalna ilość portów sprzętowych: 10,
 - ✓ Kąt podejścia analizatora EDS nie większy niż 35°,
 - ✓ Komora musi pozwalać na integrację z innymi urządzeniami, w tym z: SEM Indenterem do badań właściwości mechanicznych i mikro maszyną do badań materiałowych
- 5. Stolik:**
- ✓ Zmotoryzowany, kartezyjański, przynajmniej 5-cio osiowy, sterowany za pomocą podwójnego joysticka lub oprogramowania mikroskopu
 - ✓ Zakres ruchów powinien wynosić przynajmniej:
 - oś X 125mm,
 - oś Y 125mm,
 - oś Z 50mm,
 - pochył w zakresie przynajmniej od -10° do 90°,
 - obrót 360°,
 - minimalny krok nie większy niż 90nm,
 - dryft stolika nie większy niż 40nm w przeciągu 6min,
 - nośność przynajmniej 0,5kg z zachowaniem wszystkich stopni swobody
 - korekta dryftu stolika
- 6. Układ próżniowy:**
- ✓ Bezolejowa pompa wstępna,
 - ✓ Pompa turbomolekularna,
 - ✓ Ciśnienie w trybie wysokiej próżni nie wyższe niż 1x10⁻⁴ Pa,
 - ✓ Ciśnienie w trybie zmiennej próżni (VP) w zakresie przynajmniej od 10Pa do 250Pa.
- 7. Komputer:**
- ✓ Przynajmniej dwa kolorowe monitory LCD o przekątnej obrazu min 24",
 - ✓ Procesor minimum sześciordzeniowy,



- ✓ Pamięć RAM: min. 32GB,
- ✓ Dysk SSD M2 minimum 1TB
- ✓ Dysk HDD minimum 10TB
- ✓ Karta grafiki niewbudowana w procesor CPU zalecana i przetestowana przez producenta modułu
- ✓ System operacyjny zalecany przez producenta

8. Oprogramowanie:

- ✓ Możliwość mieszania dwóch sygnałów i wyświetlania jako jeden obraz złożony,
- ✓ Prędkości skanowania w zakresie od 10 ramek/sekundę do min. 20 minut/ramkę,
- ✓ Korekcja pochylenia próbki,
- ✓ Możliwość uzyskiwani obrazów o rozdzielczości przynajmniej 32000x24000 pikseli,
- ✓ Tryby skanowania:
 - z małym rastrem,
 - liniowy,
 - punktowy,
 - obrót skanu.
- ✓ Możliwość wykonania skanowania w trybie macierzy (podział większej strefy na mniejsze w celu wykonania automatyczne skanu przez dłuższy okres czasu)
- ✓ Możliwość połączenia i zszywania skanów z poszczególnych komórek macierzy w jedną mapę z możliwością powiększania.
- ✓ Analiza EDS w trybie na żywo (wstępny wynik już po kilku sekundach – max 10 sekund)
- ✓ Korelacja analiz EDS z miejscem wykonaniu skanu EDS – zdjęciem
- ✓ Możliwość kolorowania struktury zależnie od składu (np. pierwiastek lub związek = kolor czerwony itd.)
- ✓ Oprogramowanie do analizy i klasyfikacji cząstek z badania SEM.
- ✓ Możliwość łatwego doposażenia w przyszłości o moduł EBSD.

9. Wyposażenie - Napylarka jonowa:

- ✓ Musi zawierać targety: Au,
- ✓ Musi umożliwiać napylenie z targetów przynajmniej: Au, Pt, Pd
- ✓ Pobór mocy nie więcej niż 300W
- ✓ Próżnia robocza 0,1Torr
- ✓ Maksymalne napięcie jonowe nie mniej niż 3kV
- ✓ Prąd jonowy w zakresie przynajmniej 1-9mA
- ✓ Maksymalny czas powlekania nie mniej niż 700s
- ✓ Musi zawierać pompę rotacyjną przynajmniej 50l.
- ✓ Wymiar komory – średnica minimum 50 mm, wysokość minimum 50 mm

10. Miejsce posadowienia/instalacji

- ✓ Zamawiający zapewnia pomieszczenie z klimatyzacją i dostępem do elektryczności
- ✓ Wykonawca uwzględni dostosowanie pomieszczenia na potrzeby ergonomicznej pracy pomieszczenia przez wykonanie systemu drzwi przesuwnych lub innego (np. wykonane z profili aluminiowych – lub dowolna inna metoda która pozwoli na wydzielenie miejsca z istniejącego pomieszczenia) wielkość ścianki to ok 3x 2.5 m.
- ✓ Wydzielone pomieszczenie musi być wyposażone w zalecany przez producenta system specjalnych stołów i szaf, siedzisk odpowiednich do przechowywania elementów



mikroskopu jak i pozostałych elementów (SEM Indenter i maszyna do mikro- rozciągania, wibroplerki i napyłarki jonowej)

- ✓ Kompletna dostawa i montaż musi być wykonana zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP.

11. Przegląd urządzenia na koniec okresu gwarancji.

- ✓ Oferent zapewni ilość materiałów eksploatacyjnych (targety Au, gazy techniczne jeśli wymaga ich mikroskop, filtry do pompy, olej do pompy) wystarczający na rok standardowej pracy (ok 3hx 250 dni roboczych w roku).
- ✓ Oferent zapewni przegląd i wymianę zużywalnych elementów urządzeń (w tym katody) w ostatnim miesiącu gwarancji podstawowej, tak by zapewnić bezawaryjną pracę na kolejny rok na własny koszt.

III. Moduł II. SEM Indenter - głowica do badań właściwości mechanicznych

1. Podstawowe funkcje urządzenia

Urządzenie ma służyć do wykonywania badań mechanicznych w skali nano i mikro i ma być kompatybilne z warunkami próżni panującymi w oferowanym mikroskopie SEM.

Głowica musi umożliwiać montaż i swobodną pracę w mikroskopie SEM opisanym w pkt. I:

Urządzenie ma mieć możliwość pracy w technikach łączonych i integracji przynajmniej w:

- ✓ mikroskopie SEM. W tym także z EBSD
- ✓ warunkach standardowej pracy laboratoryjnej po umieszczeniu na stabilnym stole,
- ✓ synchrotronie,
- ✓ mikroskopie optycznym,
- ✓ spektrometrze ramanowskim,
- ✓ rentgenowskim dyfraktometrze proszkowym XRD
- ✓ mikrotomografii komputerowej

2. Głowica musi zapewniać pracę w trybach przynajmniej:

- ✓ indentacji (twardościomierza),
- ✓ testera zarysowań,
- ✓ tribologicznym w ruchu posuwisto-zwrotnym (badania procesu zużycia),
- ✓ wytrzymałościowym: mikro-rozciągania (ruch głowicy w osi z musi pozwalać na rozciąganie próbki) i ściskania,
- ✓ oscylacyjnym ze zmienną częstotliwością przykładanego obciążenia,
- ✓ badań zmęczeniowych do min 200Hz.
- ✓ badań uderzeniowych (tzw. *Impact tests*),
- ✓ szybkiego mappingu,
- ✓ testy skoku prędkości odkształcenia,
- ✓ Testy w trybie mapy indentacji lub mapy zarysowań
- ✓ testy ze zmienną częstotliwością przy stałej amplitudzie (tzw. *Frequency sweep*),
- ✓ testy ze zmienną amplitudą przy stałej częstotliwości (tzw. *Amplitude sweep*).

Wszystkie powyższe tryby muszą być dostępne używając moduł do 800°C i moduł do -150°C.



3. Minimalne, ogólne parametry głowicy

- ✓ Maksymalna częstotliwość zbierania danych nie mniej niż 50kHz
- ✓ Maksymalna prędkość przemieszczenia nie mniej niż 100 $\mu\text{m/s}$
- ✓ Maksymalna częstotliwość w trybie oscylacyjnym przynajmniej 300 Hz
- ✓ Maksymalna częstotliwość pętli sterowania nie mniej niż 5 kHz
- ✓ Maksymalna amplituda siły nie mniej niż 200 mN
- ✓ Maksymalna amplituda przemieszczenia nie mniej niż 5 μm
- ✓ Sztywność powyżej $1,2 \cdot 10^6 \text{ N/m}$

4. Minimalne wyposażenie urządzenia:

System musi składać się przynajmniej z:

- ✓ podstawowej głowicy badawczej z cełą obciążeniową do 1,5N
- ✓ dodatkowej celi obciążeniowej do 2,5N do badań wysokodynamicznych
- ✓ próbek kalibracyjnych do modułów temperaturowych
- ✓ modułu do badań wysokotemperaturowych do uzyskania temperatury próbki minimum 800°C z osobnym układem grzewczym wgłębnika i próbki oraz układem chłodzenia z płaszczem wodnym;
- ✓ modułu do badań niskotemperaturowych do uzyskania minimalnej temperatury próbki przynajmniej -150°C ;
 - chłodziwo wymagane/ zalecane przez producenta wraz z wymaganymi zbiornikami.
- ✓ modułu testów scratch z czujnikiem siły stycznej
- ✓ Kontroler z przyciskami lub joystickiem do operowania próbką w osiach XY oraz wgłębnikiem w osi Z
- ✓ Uchwytów wraz z okablowaniem do cienkich próbek i włókien
- ✓ Zestawu wgłębników przynajmniej: Berkovich do temp. pokojowej, Rockwell, Flat punch, Berkovich do wysokich temperatur.
- ✓ Jednostki kontrolnej przetestowanej i zalecanej przez producenta do obsługi urządzenia wraz z zainstalowanym oprogramowaniem do kontroli systemu i zbierania danych pomiarowych
- ✓ Wgłębników minimum:
 - Wgłębnik sferyczny do temperatury pokojowej x1
 - Wgłębnik flat punch do 1000 stopni w próżni i 200 w atmosferze x 2
 - Wgłębnik do prób cięcia FIBem x3
 - Zacisk do badań niskotemperaturowych
 - Zacisk do badań wysokotemperaturowych

5. Minimalne wymagania urządzenia:

5.1 Siła obciążająca:

- ✓ Musi zawierać cełą obciążeniową - czujnik tensometryczny_w zakresie nie mniejszym niż 0,8 μN - 1,5 N a poziom szumów nie więcej niż 8 μN przy akwizycji danych 200 Hz. Cela musi być montowana od strony próbki w osi działania siły.



Musi zawierać dodatkową celę obciążeniową – czujnik tensometryczny do badań wysokodynamicznych

o zakresie nie mniejszym niż 8 μN - 2,5 N z rozdzielczością nie gorszą niż 15 μN a poziom szumów nie więcej niż 8 μN przy akwizycji danych 200 Hz. Cela musi być montowana od strony wgłębnika, w osi działania siły. W modzie badań dynamicznych maksymalna częstotliwość odkształcania materiału nie mniejsza niż do 1kHz;

- ✓ Obie cele obciążeniowe muszą mieć możliwość montażu i stosowania jednocześnie podczas wykonywania testu.
- ✓ Możliwość doposażenia w przyszłości w dodatkową celę obciążeniową do nie mniej niż 4N;
- ✓ Musi zawierać dodatkowy czujnik siły lateralnej (do trybów scratch i tribologicznych) wraz z wymaganymi modułami

5.2 Przemieszczenie

- ✓ System musi pracować w oparciu o prawdziwą regulację głębokości z pętlą sprzężenia zwrotnego,
- ✓ Maksymalna głębokość zagłębienia w próbkę uruchamiana piezoelektrycznie do nie mniej niż 40 μm z rozdzielczością nie gorszą niż 1nm (szerszy zakres) oraz do nie mniej niż 2,7 μm z rozdzielczością nie gorszą niż 0,15nm (węższy zakres). Czujnik pozycji zintegrowany dla operacji zapętlnych;
- ✓ Maksymalna prędkość przemieszczenia nie mniej niż 100 $\mu\text{m/s}$
- ✓ Zakres pozycjonowania próbki w osiach XY przynajmniej 25 x 25 mm z rozdzielczością nie gorszą niż 2nm;
- ✓ Zakres pozycjonowania w osi Z przynajmniej 25 mm z rozdzielczością nie gorszą niż 2nm. Czujnik pozycji zintegrowany dla operacji zapętlnych;
- ✓ Prędkość przemieszczenia w osiach X lub Y do nie mniej niż 1mm/s
- ✓ Zakres przesuwu w osiach X lub Y do nie mniej niż 10mm.
- ✓ Kontrola przemieszczenia, siły lub mod mieszany

6. Minimalne wymagania dotyczące oprogramowania urządzenia

Oprogramowanie musi umożliwiać:

- ✓ wyświetlanie danych w sposób ciągły do monitorowania sygnałów siły i przemieszczenia w czasie, także w momencie gdy nie jest prowadzony test.
- ✓ kontrola za pomocą przynajmniej: przemieszczenia, obciążenia, mod mieszany kontroli obciążenia i przemieszczenia, otwarta pętla, mapowanie, oś translacji XYZ,
- ✓ kontrola za pomocą modu blokowego przynajmniej: liniowy, pauza, stała szybkość odkształcania podczas indentacji wgłębnikiem Berkovicha, oscylacyjny
- ✓ oprogramowanie musi wyświetlać wykresy przynajmniej: krzywa obciążenie-przemieszczenie, siła-czas, przemieszczenie-czas, ciągły pomiar sztywności w celu wykreślenia profili głębokości modułu sprężystości i twardości,
- ✓ korekcje przynajmniej: odkształcalności, dryftu termicznego, siły, detekcja pozycji zerowej,
- ✓ automatyczne wyznaczenie twardości i modułu sprężystości z krzywych obciążenie-przemieszczenie wg. ISO 14577



- ✓ konwersja krzywych obciążenia i przemieszczenia w inżynierskie lub rzeczywiste krzywe naprężenie-odkształcenie. Do stosowania do kompresji mikropilar lub mikro-próbek w kształcie psiej kości. Musi obejmować ekstrakcję granicy plastyczności i modułu sprężystości.
- ✓ możliwość eksportu danych w co najmniej 2 rozszerzeniach, w tym przynajmniej do .txt.
- ✓ możliwość zainstalowania oprogramowania do analizy danych na przynajmniej 5 innych stanowiskach komputerowych.
- ✓ oprogramowanie do synchronizacji filmów z danymi mechanicznymi (np. siła, przemieszczenie), eksportu i przechwytywania wejść wideo w tym z SEM.
- ✓ eksport zdjęć nieskompresowanych na potrzeby DIC (Zamawiający posiada oprogramowanie do analiz DIC). Zdjęcia (formaty min. Tiff nieskompresowany) muszą być eksportowane w stałym ustawialnym kroku czasowym wraz z sygnałami np. siły w tym samym kroku w oddzielnym pliku tekstowym.
- ✓ zapis sygnałów do plików txt lub podobnych formatów z częstotliwością nie mniejszą niż 1MS/s

IV. Moduł III. Mikro-maszyna do badań właściwości mechanicznych do instalacji w mikroskopie SEM

1. Podstawowe funkcje urządzenia

Urządzenie ma służyć do wykonywania badań mikro-mechanicznych w mikroskopie SEM ma być kompatybilne z warunkami próżni panującymi w oferowanym mikroskopie SEM.

Urządzenie musi umożliwiać przeprowadzanie testów przynajmniej:

- ✓ rozciągania,
- ✓ ściskania,
- ✓ 3 i 4 punktowego zginania,
- ✓ ścinania
- ✓ oraz testy cykliczne w wybranej temperaturze maksymalnej nie mniej niż 1000°C.

2. Minimalne wyposażenie urządzenia

- ✓ Baza urządzenia na ramie z możliwością zadania obciążenia maksymalnego nie mniej niż 450N.
- ✓ Adapter bazy do stolika SEM
- ✓ czujnik siły do nie mniej niż 450N
- ✓ kontroler wraz z okablowaniem do zbierania danych z urządzenia. Kontroler musi być kompatybilny z powszechnie używanymi systemami operacyjnymi
- ✓ flansa do mikroskopu SEM wraz z przepustami do grzałek, kontrolerów i układu chłodzenia
- ✓ uchwyt do 4-punktowego zginania
- ✓ uchwyt do 3-punktowego zginania
- ✓ układ grzewczy z dwiema termoparami kompatybilny z bazą urządzenia. Prędkość grzania ma być w zakresie: 50°C/min – grzanie i 50°C/min – chłodzenie dla utrzymania stabilnych parametrów próbki.
- ✓ układ chłodzenia systemu grzewczego z płaszczem wodnym, przewodami, rozgałęziaczem i podłączeniami,
- ✓ programowalny kontroler grzania z zasilaczem.

V. Moduł IV. Wibropolerka



1. Podstawowe funkcje urządzenia

Wibropolerka ma generować drgania przenoszące energię na próbkę. Usuwanie materiału ma odbywać się poprzez polerowanie z wykorzystaniem drobnoziarnistej zawiesiny polerskiej i płótna polerskiego w misce wibracyjnej.

2. Minimalne wymagania dotyczące budowy i wyposażenia wibropolerki

- ✓ konstrukcja nabiurkowa musi pochłaniać wibracje
- ✓ miska wibracyjna o średnicy nie mniejszej niż $\varnothing=308\text{mm}$
- ✓ możliwość polerowania do przynajmniej 10 preparatów o średnicy przynajmniej 30mm jednocześnie
- ✓ montaż miski za pomocą magnetycznych uchwytów
- ✓ automatyczna regulacja częstotliwości w zakresie przynajmniej 60-120Hz, np. przez wahania masy
- ✓ silnik wibracyjny z kompensacją oscylacji
- ✓ panel dotykowy
- ✓ zainstalowane metody preparacyjne dla różnych materiałów
- ✓ ręczny i automatyczny tryb pracy
- ✓ funkcja alarmu po zakończonym programie
- ✓ funkcje zapisu wybranego programu preparacyjnego zarówno na urządzeniu, jak i na USB
- ✓ przezroczysta, zamykana osłona z funkcją cichego domytku ma chronić płótno polerskie i preparaty przed zanieczyszczeniem
- ✓ waga nie więcej niż 45 kg.
- ✓ wymagany jest zestaw minimum 3 tarcz polerskich i zestawu minimum 3 zawiesin o minimalnych gradacjach 0.5 do 5 micrometrów.
- ✓ dysk z folii magnetycznej o średnicy 250 mm o średniej mocy kleju dla metalowych dysków ściernych
- ✓ podkładka do mocowania papierów ściernych
- ✓ wymienny talerz do polerki średnicy 250 mm

VI. Szkolenie i konsultacje.

1. Szkolenie z zakresu obsługi urządzenia.

- ✓ Wykonawca przeprowadzi szkolenie z zakresu obsługi systemu.
- ✓ Wymiar czasowy szkolenia - minimum 5 dni, średnio jednego dnia 8 godzin dydaktycznych (łącznie nie mniej niż 40 godzin dydaktycznych), dla maksymalnie 5 osób.
- ✓ Szkolenie zostanie zrealizowane po dostarczeniu i zamontowaniu systemu.
- ✓ Zamawiający wykorzysta pulę 5 dni szkoleniowych, w minimum dwóch turach.
I tura – dotyczyć będzie podstaw obsługi systemu
II tura – zostanie zrealizowana po 3 do 6 tygodniach użytkowania systemu, dotyczyć będzie aspektów praktycznych.
- ✓ Szkolenia zostaną zrealizowane maksymalnie do 2 miesięcy od dnia podpisania protokołu zdawczo-odbiorczego.
- ✓ Zamawiający poinformuje o chęci przeprowadzenia kolejnej/kolejnych tur szkolenia z wyprzedzeniem 3 dni roboczych.
- ✓ Szkolenia mogą być zrealizowane tylko w formie stacjonarnej.



2. Konsultacje z zakresu obsługi urządzenia.

- ✓ Wykonawca zapewni konsultacje telefoniczne i mailowe z zakresu obsługi systemu przez okres 30 dni od dnia podpisania protokołu zdawczo-odbiorczego.
- ✓ Wykonawca wyznaczy osobę odpowiedzialną za kontakty z zamawiającym w powyższym zakresie. Wykonawca przekaże zamawiającemu dane kontaktowe wskazanej osoby- email, numer telefonu.
- ✓ Konsultacje telefoniczne będą realizowane na bieżąco. W przypadku pytań zadanych drogą mailową wykonawca ma dwa dni robocze od otrzymania zapytania, na udzielenie odpowiedzi.