



Znak postępowania: CEZAMAT/ZP15/2023

### Opis Przedmiotu Zamówienia

Przedmiotem zamówienia jest dostawa niżej opisanych urządzeń o parametrach technicznych i funkcjonalnych nie gorszych niż wyspecyfikowane.

Przedmiot zamówienia musi pochodzić z legalnego źródła i być przeznaczony do użytkowania w Polsce.

#### Wymagania Ogólne:

Lp.	Wymagania ogólne:
1.	Urządzenia muszą być fabrycznie nowe i nieużywane.
2.	W momencie oferowania wszystkie elementy i podzespoły, części zużywające się, itp. oferowanych urządzeń muszą być zapewnione przez producenta.
3.	Urządzenia i ich komponenty muszą być oznakowane przez producentów w taki sposób, aby możliwa była identyfikacja zarówno produktu, jak i producenta (dotyczy również komponentów urządzenia).
4.	Urządzenia muszą być dostarczone Zamawiającemu w oryginalnych opakowaniach fabrycznych producenta.
5.	Do każdego urządzenia musi być dostarczony komplet standardowej dokumentacji technicznej dla użytkownika w formie papierowej lub elektronicznej.
6.	Urządzenia muszą być zgodne z europejskimi normami dotyczącymi oznakowania CE.
7.	Wszystkie urządzenia muszą współpracować z europejską siecią energetyczną.
8.	Firma montująca i serwisująca urządzenia posiada wdrożony system jakości ISO 9001 lub normę równoważną na świadczenie usług serwisowych.

#### Wymagania określające parametry poszczególnych części postępowania

##### Platforma do syntezy materiałów 2D i ich heterostruktur

Przedmiotem zamówienia jest platforma do produkcji materiałów o strukturze dwuwymiarowej (2D) oraz bazujących na nich heterostruktur van der Waalsa przy użyciu chemicznego osadzania z fazy gazowej z wykorzystaniem związków metaloorganicznych (MOCVD, z ang. *metal-organic chemical vapour*

deposition). Platforma ta ma być urządzeniem do wzrostu różnorodnych wysokiej jakości materiałów 2D, m.in. grafenu, hBN, MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, MoSe<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub>, MoTe<sub>2</sub>, WTe<sub>2</sub> oraz struktur złożonych wertykalnie z tych materiałów, czyli heterostruktur van der Waalsa. Platforma powinna być wyposażona w system ograniczający reakcje przedprocesowe, zaawansowany system monitorowania *in-situ* hodowanych warstw oraz systemem rozprowadzania gazów, który umożliwi uzyskiwanie bardzo jednorodnych warstw o charakterze dwuwymiarowym, na podłożach o średnicy do 4 cali. Platforma ta powinna być uniwersalna oraz adaptacyjna, umożliwiając zmiany gazów nośnych, gazów reakcyjnych oraz źródeł metaloorganicznych używanych w procesie syntezy. Ponadto, budowa komory reakcyjnej powinna niwelować problem osadzania się syntezowanych materiałów na ściankach reaktora.

Przedmiotem zamówienia jest układ do nanoszenia warstw materiałów 2D wraz z wyposażeniem, w skład którego wchodzi: reaktor; komora rękawicowa; system doprowadzania gazów procesowych; system pozwalający na charakteryzację podłoży w czasie rzeczywistym; układ próżniowy; system chłodzenia; system sterowania komputerowego wraz z komputerem i oprogramowaniem sterującym, system grzania reaktora, układ odprowadzania gazów poreakcyjnych, system zabezpieczeń w razie awarii urządzenia lub infrastruktury zewnętrznej.

Cały układ musi mieścić się w obszarze 5,5×3,5 m<sup>2</sup> i nie przekraczać wysokości 2,5 m, licząc od podłoża do najwyższego punktu zestawu. Zestaw musi być skonstruowany w taki sposób, aby największy jego element składowy mógł być wprowadzony do laboratorium przez drzwi o wysokości 2,05 m bez ingerencji w konstrukcję budynku. Zamawiający dopuszcza możliwość przeprowadzenia wizji lokalnej w miejscu instalacji układu.

Elementy składowe platformy muszą spełniać minimalne wymagania zgodnie z poniższą specyfikacją poszczególnych elementów układu, wymagań bezpieczeństwa oraz możliwości rozbudowy:

#### 1. Reaktor:

- 1.1. Komora reakcyjna chłodzona wodą wykonana ze stali nierdzewnej 316L lub odpowiednika pozwalająca na wzrost materiałów

dwumiarowych, takich jak grafen, heksagonalny azotek boru, siarczki molibdenu, siarczki wolframu, na podłożach (wymienne): 4 cale (100 mm), 3 cale (75 mm) oraz 2 cale (50 mm).

- 1.2. System grzejny, pozwalający na osiągnięcie temperatury podłoża co najmniej 1400 °C z niezależnymi strefami grzania zapewniającymi wysoką jednorodność (rozrzut temperatury obszarze płytki o średnicy 2 cali nie wyższy niż 2 °C w typowych warunkach procesu) termiczną nagrzewnika grafitowego.
- 1.3. Nagrzewnik grafitowy z pokryciem z węgla krzemu (SiC) dostosowany do wymienionych podłoży o średnicach 2, 3 oraz 4 cale.
- 1.4. Nagrzewnik grafitowy niepokryty SiC dostosowany do wymienionych podłoży o średnicach 2, 3 oraz 4 cale.
- 1.5. Dwa niezależne systemy doprowadzania gazów procesowych do komory reakcyjnej, pozwalające na ograniczenie pasożytniczych reakcji przedprocesowych.
- 1.6. Niewielki dystans między podłożem a miejscem wstrzykiwania gazów procesowych (maks. 20 mm) dla wysokiej efektywności procesu wzrostu.
- 1.7. Możliwość zainstalowania systemu pozwalającego na zmianę odległości między podłożem a miejscem wstrzykiwania gazów procesowych (opcja punktowana dodatkowo w przetargu).
- 1.8. Konstrukcja komory reakcyjnej i system wstrzykiwania gazów zapewniający przepływ laminarny nad podłożem.
- 1.9. System rozptyłu gazów zapewniający równomierne doprowadzanie gazów procesów do całej powierzchni podłoża 4 cale dla zachowania jednorodności wzrostu warstw w postaci gwarantowanej możliwości wzrostu struktury dwuwymiarowej na całym podłożu.
- 1.10. Minimum 5 portów optycznych pozwalających na monitorowanie rzeczywistej temperatury powierzchni podłoża i innych parametrów.
- 1.11. System rotacji podłoża o regulowanej szybkości co najmniej 100 obr./min.

- 1.12. Konstrukcja reaktora zapobiegająca osadzaniu się materiałów na ścianach komory reakcyjnej, z możliwością łatwego demontażu w celu czyszczenia.

## 2. Komora rękawicowa:

- 2.1. Z bezpośrednim dostępem do komory reakcyjnej.
- 2.2. Pozwalająca na pracę w atmosferze argonu.
- 2.3. Z regenerowalną kolumną odtleniającą i osuszającą gaz w komorze wraz ze zintegrowanym detektorem wycieków wodoru.
- 2.4. Śluza wyposażona w system odpompowania próżniowego pozwalająca na transport podłoży i części reaktora z otoczenia do komory rękawicowej w warunkach wysokiej czystości.
- 2.5. Czujniki tlenu oraz wilgotności.
- 2.6. Pęseta próżniowa oraz odkurzacz do odpylania nagrzewników grafitowych oraz komory rękawicowej.

## 3. System doprowadzania gazów procesowych:

- 3.1. Rury gazowe wykonane z elektropolerowanej stali nierdzewnej 316L, spawane orbitalnie z wykorzystaniem połączeń VCR/Swagelok, o czystości wymaganej dla gazów o ultra wysokiej czystości (UHP).
- 3.2. Zintegrowany układ gazowy pozwalający na zastosowanie co najmniej 10 źródeł metaloorganicznych oraz co najmniej 10 różnych gazów (opcja punktowana dodatkowo w przetargu).
- 3.3. Termostaty chłodząco-grzejne dla źródeł metaloorganicznych.
- 3.4. Układ gazowy umożliwiający przyłączenie oczyszczalników wodoru, azotu wewnątrz urządzenia.
- 3.5. Cyfrowe masowe regulatory przepływu i ciśnienia z uszczelkami metalowymi.
- 3.6. Możliwość utrzymywania stałego przepływu całkowitego przez reaktor pomimo zmian przepływów reagentów gazowych.
- 3.7. Układ gazowy umożliwiający bezpieczną wymianę zbiorników metaloorganicznych i sprawdzanie szczelności połączeń.
- 3.8. Możliwość pomiaru stężenia zawartości gazów metaloorganicznych w gazie nośnym wraz z automatyczną pętlą sprzężenia zwrotnego podłączoną do systemu sterowania przepływu gazów.

- 3.9. Możliwość instalacji grzałek na wszystkich liniach metaloorganicznych o maksymalnej temperaturze 60-80 °C lub wyższej w celu ograniczenia reakcji przedprocesowych.
- 3.10. Możliwość instalacji dodatkowej grzałki do 120 °C na wybranej linii metaloorganicznej.
- 3.11. Linie gazowe umożliwiające rozcieńczanie zawartości gazu w strumieniu nośnym in-situ dla gazów i źródeł metaloorganicznych.
- 3.12. System gwarantujący stabilność przepływu gazów w reaktorze i zabezpieczający przed niekorzystnymi zmianami ciśnienia przy włączaniu i wyłączaniu poszczególnych reagentów. System gazowy gwarantujący minimalną bezwładność gazową reaktora rozumianą jako opóźnienie w stosunku do momentu otwarcia zaworu przepływu gazu do komory reakcyjnej.
- 3.13. Wymagane aktywne linie metaloorganiczne w trakcie rozruchu urządzenia:
  - 3.13.1.  $W(CO)_6$
  - 3.13.2.  $Mo(CO)_6$
  - 3.13.3.  $C_8H_{18}S$  (DTBS)
  - 3.13.4.  $C_6H_{14}Se$  (DIPSe)
  - 3.13.5.  $C_6H_{14}Te$  (DIPTe)
- 3.14. Wymagana linia rozcieńczania in-situ stężenia gazu w trakcie rozruchu urządzenia:
  - 3.14.1.  $B_3N_3H_6$
- 3.15. Wymagana linia gazu reakcyjnego w trakcie rozruchu urządzenia:
  - 3.15.1.  $CH_4$
- 3.16. Wymagane linie gazów nośnych w trakcie rozruchu urządzenia:
  - 3.16.1. Ar
  - 3.16.2.  $H_2$
  - 3.16.3.  $N_2$
4. System pozwalający na charakteryzację podłoży w czasie rzeczywistym:
  - 4.1. System mapowania temperatury podłoży w czasie rzeczywistym wraz z automatyczną pętlą sprzężenia zwrotnego podłączoną do systemu kontroli temperatury.

- 4.2. Możliwość wyposażenia w system monitorowania wygięcia podłoża w czasie rzeczywistym.
- 4.3. System pomiaru refleksyjności in-situ.
5. System próżniowy:
  - 5.1. Sucha pompa próżniowa z zaworem motylkowym oraz regulatorem ciśnienia pozwalającym na sterowanie ciśnieniem w reaktorze w zakresie nie mniejszym niż 50-900 mbar w warunkach typowego przepływu gazów procesowych w procesie wzrostu.
  - 5.2. Możliwość kontroli szczelności układu gazowego oraz komory reakcyjnej.
6. System odprowadzania gazów poreakcyjnych wyposażony w:
  - 6.1. Filtr cząstek stałych o oczkach nie większych niż 6  $\mu\text{m}$ .
  - 6.2. Różnicowe czujniki ciśnienia informujące o stopniu zużycia filtra.
  - 6.3. Zawory przeciwwzrotne i upustowe zabezpieczające przed nadmiernym wzrostem ciśnienia w reaktorze.
7. System sterowania komputerowego wraz z komputerem i oprogramowaniem sterującym:
  - 7.1. Sterowanie za pomocą dostarczonego komputera klasy PC z zainstalowanym systemem operacyjnym Windows 7, 10 lub 11 i skonfigurowanym oprogramowaniem sterującym, zintegrowanego jako część układu, umożliwiające co najmniej:
    - 7.1.1. Monitorowanie i kontrolę układu próżniowego i ciśnienia w komorze procesowej.
    - 7.1.2. Kontrolę przepływu gazów procesowych, ciśnienia w zbiornikach z metaloorganiką, temperatury oraz rotacji nagrzewnika grafitowego.
    - 7.1.3. Rejestrację danych oraz ich zapis.
    - 7.1.4. Możliwość analizy zarejestrowanych danych w oprogramowaniu sterującym.
    - 7.1.5. Zachowywanie dzienników systemowych, w tym danych wprowadzonych przez użytkownika.
    - 7.1.6. Wyświetlanie statusu i diagnostykę blokad systemowych.

- 7.1.7. Co najmniej trzy poziomy dostęp użytkownika (chronione hasłem).
- 7.2. Sterowanie zarówno w trybie manualnym, jak i automatycznym umożliwiające co najmniej:
  - 7.2.1. Definiowanie receptur, w tym receptur wieloetapowych.
  - 7.2.2. Możliwość zachowania do min. 10 000 receptur wieloetapowych.
  - 7.2.3. Opcjonalną możliwość wyznaczania szybkości osadzania, grubości warstw oraz rzeczywistej temperatury powierzchni podłoża.

## 8. Wymagania dodatkowe:

- 8.1. System dostarczany z podstawowym zestawem materiałów eksploatacyjnych, który zawiera co najmniej: parę rękawic do komory rękawicowej, dodatkowy nagrzewnik grafitowy, zestaw elementów filtra do bieżącego utrzymania oraz zestaw narzędzi wymaganych do rozruchu reaktora.
- 8.2. Instrukcja obsługi w języku angielskim w wersji elektronicznej.

## 9. Bezpieczeństwo i certyfikaty:

- 9.1. System musi być certyfikowany CE.
- 9.2. System musi posiadać przycisk awaryjnego wyłączania (EMO).
- 9.3. System musi być wyposażony w szczegółowy system bezpieczeństwa, alarmów dźwiękowych oraz świetlnych i blokad do ochrony użytkowników i sprzętu; system blokad dla wody chłodzącej (czujniki przepływu), komory i podciśnienia w celu ochrony użytkowników i systemu.
- 9.4. System musi posiadać tryb bezpieczny i przechodzić w niego w przypadku przerwy w zasilaniu lub w przypadku braku pozostałych mediów niezbędnych do pracy układu oraz w przypadku każdego zagrożenia wykrytego przez oprogramowanie sterujące. System musi być zaprojektowany tak, aby można było go szybko przywrócić do pracy po ustaniu awarii. Przejście w tryb bezpieczny następuje w przypadku przekroczenia progów alarmowych oraz otrzymania

sygnału z systemu detekcji gazów, sygnału z Systemu Sygnalizacji Pożaru, i sygnału awarii wentylatora wywiewnego.

#### 10. Gwarancja i pozostałe wymagania

- 10.1. Zamawiający wymaga dowodu na pełną funkcjonalność systemu w postaci dostarczenia 2-calowych podłoży szafirowych pokrytych w co najmniej 95% cienką warstwą ( $<10$  nm): grafenu, heksagonalnego azotku boru, siarczku wolframu albo molibdenu lub też wertykalnych heterostruktur tych materiałów. Zamawiający scharakteryzuje podłoża za pomocą spektroskopii Ramana w celu potwierdzenia obecności charakterystycznych pików Ramana wzrastanych materiałów (grafen:  $\sim 1580$  and  $\sim 2700$   $\text{cm}^{-1}$ , hBN:  $\sim 1370$   $\text{cm}^{-1}$ ,  $\text{MoS}_2$ :  $\sim 385$  and  $405$   $\text{cm}^{-1}$ ,  $\text{WS}_2$ :  $\sim 355$   $\text{cm}^{-1}$ ).
- 10.2. Wykonawca wykona montaż przedmiotu zamówienia, obejmujący wypoziomowanie oraz połączenie głównych elementów systemu, uruchomienie przedmiotu zamówienia, przeprowadzenie kalibracji, instalację właściwego oprogramowania oraz przeprowadzenie testowych procesów wzrostu, demonstrującego pełną funkcjonalność dostarczonego przedmiotu zamówienia. Testowe procesy wzrostu mają zapewnić wstępne warunki wzrostu dla: grafenu, heksagonalnego azotku boru, siarczku molibdenu oraz siarczku wolframu.
- 10.3. Po przeprowadzeniu montażu opisanego w pkt. 10.2, Wykonawca przeprowadzi szkolenie z obsługi i czynności serwisowych przedmiotu zamówienia dla min. 4 osób wskazanych przez Zamawiającego oraz zapewni materiały szkoleniowe w postaci drukowanej lub elektronicznej.
- 10.4. Zamawiający wymaga również, aby Wykonawca świadczył wsparcie poszkoleniowe z zakresu obsługi, użytkowania i serwisowania sprzętu świadczone drogą mailową lub telefoniczną przez okres minimum 3 lat od daty zakończenia szkolenia.
- 10.5. Wykonawca zobowiązuje się do udzielenia minimum 12-miesięcznej gwarancji na dostarczony przedmiot postępowania. W ramach gwarancji Wykonawca zobowiązuje się:



- 10.5.1. Zapewnić serwis w języku angielskim.
- 10.5.2. Czas reakcji serwisu: maks. 24 h od momentu zgłoszenia potrzeby serwisowej do podjęcia działania przez serwis.
- 10.5.3. Dostarczenia wraz z przedmiotem zamówienia zestawu podstawowych elementów i narzędzi serwisowych.
- 10.6. Zakres przedmiotu zamówienia obejmuje dostawę towarów:
  - 10.6.1. Fabrycznie nowych.
  - 10.6.2. Zmontowanych z fabrycznie nowych części i nieużywanych.
  - 10.6.3. W opakowaniach producenta.
  - 10.6.4. Wolnych od wad materiałowych i prawnych.
  - 10.6.5. Posiadających wymagane dopuszczenia do stosowania.
  - 10.6.6. Nieużywanych.
  - 10.6.7. Spełniających wymagania wynikające z przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
  - 10.6.8. Kompletnych, to znaczy powinny być dostarczone wraz ze wszystkimi materiałami i akcesoriami niezbędnymi do jego uruchomienia i pracy zgodnie z przeznaczeniem.
  - 10.6.9. Pochodzących z oficjalnego kanału dystrybucji zgodnie z wymaganiami ich odpowiednich producentów.