



Zał. nr 2 Szczegółowy Opis Przedmiotu Zamówienia

I. Przedmiot zamówienia:

Zakup aparatury naukowo-badawczej:

***„Stanowisko laboratoryjne do badania właściwości ferroelektrycznych
i magnetoelektrycznych materiałów multiferroicznych”***

II. Opis przedmiotu zamówienia – wymagania minimalne:

Nazwa: Stanowisko do pomiarów właściwości ferroelektrycznych i magnetoelektrycznych materiałów multiferroicznych.

W skład stanowiska wchodzi:

1) Jednostka główna-analizator umożliwiająca pomiar ładunku elektrycznego i realizująca następujące zadania:

- zakres pomiaru dla ładunku: 1 fC – 50 mC z rozdzielczością minimalną 0.8 fC,
- tryb pomiaru pętli histerezy ferroelektrycznej w paśmie 0.1 Hz – 100 kHz lub szerszym, z dokładnością nie gorszą niż 0.5%, wyniki pomiaru wyświetlane w $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
- wbudowane źródło napięcia stałego min. 200V, z możliwością rozszerzenia zakresu do min. 10kV przy podłączeniu zewnętrznego interfejsu i wzmacniacza wysokiego napięcia (HV)
- możliwość przykładania stałego napięcia elektrycznego do próbki tzw. DC bias w zakresie 0 – 200 V lub przy rozszerzeniu o interfejs i wzmacniacz HV 0 – 10 kV,
- możliwość pomiaru pojemności próbki w funkcji napięcia, tzw. small signal capacitance
- pomiar pętli histerezy ferroelektrycznej w trybie PUND 5-impulsowym (positive up, negative down) w celu rozdzielenia polaryzacji remanencyjnej od nieremanencyjnej
- minimalna szerokość impulsu nie większa niż 0.5 us
- maksymalna szerokość impulsu co najmniej 0.1 s
- minimalny czas narastania impulsu 400 ns (przy napięciu 5V)
- możliwość pomiaru prądu upływu przy przyłożonym na próbkę napięciu stałym
- możliwość pomiaru krzywej energetycznej elementu pojemnościowego, która charakteryzuje straty energetyczne elementu podczas zmiany stanu polaryzacji elektrycznej
- możliwość realizacji pomiarów piezoelektrycznych (przy zastosowaniu odpowiedniego uchwytu próbki i czujnika odkształcenia)
- możliwość realizacji pomiarów piroelektrycznych przy zastosowaniu specjalnego uchwytu na próbkę i kontrolera temperatury
- minimum dwa wejścia zewnętrznych sygnałów napięciowych +/- 10V o rozdzielczości minimum 18 bitowej
- możliwość pomiarów zmęczeniowych (ang. fatigue) z częstotliwością maksymalną nie mniejszą niż 100 kHz



- wbudowany arbitralny generator funkcyjny (sinusoida, prostokąt, trójkąt, przebieg zdefiniowany przez użytkownika) o częstotliwości maksymalnej nie mniejszej niż 1 MHz (dla sinusoidy) i rozdzielczości ADC min. 16bit
- dedykowane oprogramowanie na komputer typu PC umożliwiające sterowanie analizatorem i urządzeniami współpracującymi oraz akwizycję i prezentację danych pomiarowych. Możliwość programowania wieloetapowych zadań pomiarowych. Komunikacja pomiędzy komputerem i jednostką główną przez złącze USB.
- obudowa przystosowana do montażu w szafie ze standardem Rack
- Urządzenie powinno posiadać gniazdo uziemienia ochronnego.

2) **Interfejs wysokiego napięcia (ang. HV interface) – jednostka pośrednicząca w komunikacji pomiędzy analizatorem (jednostką główną poz.1) a zasilaczem wysokiego napięcia (poz.3) i zapewniająca ochronę użytkownika przed wysokim napięciem**

- sterowanie z poziomu oprogramowania jednostki głównej
- maksymalna wartość wysokiego napięcia AC obsługiwanego i zadawanego na próbkę 10kV lub więcej
- zabezpieczenie przeciwzwarciowe, przeciwporażeniowe operatora, zabezpieczenie przed przepływem prądu wstecznego z próbki do jednostki głównej,
- obudowa przystosowana do montażu w szafie typu Rack
- możliwość podłączenia wyłącznika bezpieczeństwa np. do drzwi szafy Rack
- Urządzenie powinno posiadać gniazdo uziemienia ochronnego.

3) **Wzmacniacz wysokonapięciowy – urządzenie sterowane napięciem w zakresie 0 – 10V i wzmacniające je do poziomu 0 – 10kV:**

- Sterowanie z poziomu oprogramowania jednostki głównej (poz.1) za pośrednictwem interfejsu HV (poz.2)
- Maksymalna wartość napięcia stałego DC +/- 10kV
- Maksymalna amplituda napięcia przemiennego AC +/- 10kV
- Wydajność prądowa DC minimum +/- 5 mA
- Wydajność prądowa AC minimum +/- 5 mA amplitudy prądu
- Moc maksymalna nie mniejsza niż 50 W
- Współczynnik wzmocnienia nie mniejszy niż 1000x (1 V -> 1000V)
- Podstawowa dokładność nie gorsza niż 0.5%
- Wyjście wysokiego napięcia - złącze z izolacją min 15 kV DC
- Możliwość sterowania przez złącze USB lub I²C
- Wyłącznik bezpieczeństwa typu „push button”
- Wyjście monitora wartości wysokiego napięcia BNC, z dokładnością nie gorszą niż 0.2% zakresu
- Wyjście monitora wartości natężenia prądu BNC, z dokładnością nie gorszą niż 1% zakresu
- Wyświetlacz LCD
- Sygnalizacja włączonego napięcia HV na panelu frontowym
- Sygnalizacja osiągnięcia limitu natężenia prądu na panelu frontowym
- Sygnalizacja zbyt wysokiej temperatury urządzenia na panelu frontowym
- Obudowa przystosowana do montażu w szafie typu Rack



- Wzmacniacz powinien posiadać gniazdo uziemienia ochronnego.

4) **Wysokonapięciowa cela pomiarowa dla próbek ferroelektrycznych typu „bulk” o przybliżonym kształcie walca:**

- Budowa – komora zewnętrzna, szczelnie zamykana wykonana z dobrego izolatora elektrycznego (rezystywność $\rho > 10^{12} \Omega\text{m}$) o niskiej względnej przenikalności dielektrycznej ($\epsilon < 10$).
- Uchwyt próbki wewnątrz komory – pionowa geometria pola elektrycznego, geometria kondensatora płaskiego.
- Dolna elektroda nieruchoma, górna elektroda z regulowanym położeniem - możliwość założenia próbek o różnych grubościach.
- Możliwość instalacji próbki o średnicy od 5 do min. 20 mm
- Możliwość instalacji próbki o grubości od 0.3 – 5 mm
- Dwa wyprowadzenia wysokonapięciowe mające kontakt z elektrodami, możliwość aplikowania napięć do 10kV lub więcej.
- Możliwość wypełnienia wnętrza komory (otoczenia próbki) cieczą zapobiegającą przebiciu przez powietrze np. olejem
- Komora przystosowana do temperatur w zakresie 20°C - 200°C
- Możliwość podłączenia wyprowadzeń do interfejsu wysokiego napięcia opisanego w punkcie 2.
- Cela pomiarowa powinna mieć przybliżony kształt walca o średnicy zewnętrznej nie większej niż 150mm i wysokości nie większej niż 200 mm.
- Mechanizm zakładania próbki do celi pomiarowej: cela powinna składać się z dwóch części – górnej i dolnej. Powinien istnieć mechanizm otwierania komory, odłączenia części górnej od dolnej (poprzez odkręcenie lub wyjęcie).

5) **Moduł do pomiarów piezoelektrycznych/piroelektrycznych z kontrolą temperatury próbki:**

- Sterowanie pracą i akwizycja danych z poziomu oprogramowania jednostki głównej (poz.1)
- Zakres regulacji temperatury min 20° – 200° C, dołączony kontroler temperatury próbki. Dokładność regulacji temperatury min. 0.5°C lub lepsza.
- Dołączona komora pomiarowa umożliwiająca wykonywanie pomiarów ładunku elektrycznego i pętli histerezy ferroelektrycznej próbek objętościowych typu „bulk”
- Komora powinna posiadać mocowanie czujnika odkształcenia
- Dołączony optoelektryczny czujnik odkształcenia próbki. Ramię czujnika powinno być zamocowane w obudowie komory pomiarowej – akwizycja i analiza sygnału z czujnika z poziomu oprogramowania jednostki głównej (pkt.1). Na ramieniu powinien być zamocowany mechanizm umożliwiający kalibrację położenia czujnika wewnątrz komory.
- Komora pomiarowa przystosowana do aplikowania wysokich napięć do (10 kV) pomiędzy elektrody próbki
- Komora pomiarowa przystosowana do pracy w zakresie temperatur 20° – 200° C lub szerszym.
- Możliwość wypełnienia wnętrza komory cieczą dielektryczną zapobiegającą przebiciu przez powietrze (np. kąpiel olejowa) i możliwość pracy w zakresie



temperatur 20° – 200° C lub szerszym, w obecności kąpeli

- Możliwość instalacji próbki o średnicy od 5 do min. 20 mm
- Możliwość instalacji próbki o grubościach w zakresie 0.3 – 5 mm lub szerszym.
- Możliwość realizacji pomiarów piezoelektrycznych (odwrotność współczynnika d_{33}) – pomiar odkształcenia z rozdzielczością 0.1 μm lub lepszą próbki pobudzonej napięciem elektrycznym. Możliwość pomiaru odkształcenia próbki w zakresie 0.1 μm – 1 mm lub szerszym. Możliwość realizacji pomiarów piezoelektrycznych w funkcji temperatury, w zakresie temperatur 20° – 200° C lub szerszym.
- Możliwość realizacji pomiarów piroelektrycznych – pomiar ładunku/polaryzacji elektrycznej/napięcia na próbce poddawanej stopniowemu nagrzewaniu/chłodzeniu w zakresie temperatur 20° – 200° C lub szerszym.
- Możliwość rejestracji pętli histerezy ferroelektrycznej w zależności od zmieniającej się temperatury w zakresie min. 20° – 200° C.

6) **Moduł do pomiarów magnetoelektrycznych próbek typu „bulk” powinien posiadać następujące elementy i funkcjonalności:**

- Podstawowy tryb pracy - realizowany przez jednostkę główną (poz. 1) pomiar ładunku elektrycznego generowanego w odpowiedzi na pobudzenie stałym lub wolnozmiennym (min. do 2 Hz) polem magnetycznym.
- Możliwość pomiaru pętli histerezy ferroelektrycznej w obecności stałego pola magnetycznego o natężeniu w zakresie 0 – 50 Oe lub szerszym
- Możliwość przeprowadzania pomiarów PUND w obecności stałego pola magnetycznego w zakresie natężeń 0 – 50 Oe lub szerszym
- Możliwość pomiarów przewodności próbki jako funkcji natężenia pola magnetycznego w zakresie natężeń 0 – 50 Oe lub szerszym
- Pole magnetyczne o natężeniu w zakresie 0 – 50 Oe lub szerszym wytwarzane przez parę cewek Helmholtza o parametrach:
 - średnica wewnętrzna karkasu - nie mniejsza jak 120 mm i nie większa jak 200 mm
 - średnica zewnętrzna cewek – nie mniejsza jak 150 mm, nie większa jak 250 mm
 - szerokość pojedynczej cewki – nie większa niż 30 mm
 - grubość nawoju razem z karkasem – nie większa niż 50 mm
 - rezystancja cewek nie większa niż 12 Ω i nie mniejsza niż 6 Ω ,
 - indukcyjność cewek nie większa niż 50 mH,
 - cewki zamocowane i unieruchomione na trwałej podstawie w odległości Helmholtza (około 50-60 mm) z dokładnością +/- 1 % lub lepszą.
 - cylindryczny obszar pola jednorodnego w centrum układu cewek (+/- 0.5%) o rozmiarach co najmniej 40 mm (szerokość), 40 mm średnica.
 - połączenie cewek szeregowe
 - kontakty elektryczne – np. gniazdo laboratoryjne banan 4 mm
- Źródło prądu stałego do zasilania cewek Helmholtza. Max. wydajność prądowa nie mniejsza niż 2 A. Tryb stabilizacji natężenia prądu. Zasilacz prądowy powinien być sterowany napięciem z jednostki centralnej (poz.1). Zasilacz powinien być wyposażony w dwa wyjścia BNC typu „Current Monitor” i Voltage Monitor. Źródło powinno posiadać zabezpieczenie przeciwzwarciowe, sygnalizację przekroczenia maksymalnej wartości natężenia prądu i napięcia oraz gniazdo/wyprowadzenie uziemienia ochronnego. Obudowa umożliwiająca montaż w szafie Rack



- Ekranowana celka pomiarowa mocowana w szczelinie pomiędzy cewkami Helmholtza. Szerokość celki powinna być ściśle dopasowana do odległości między cewkami. Ekran (puszka Faraday'a) powinna być wykonana z metalu paramagnetycznego w temp. pokojowej np. Al, Cu. W środku puszki na izolowanej podstawie powinien znajdować się uchwyt na próbkę składający się z dwóch elektrod: dolnej – nieruchomej i górnej mocowanej na sprężenie tak aby możliwe było zakładanie próbek o różnych grubościach (w zakresie grubości od 1 do 5mm lub szerszym). Uchwyt powinien umożliwiać przeprowadzanie pomiarów próbek w geometrii kondensatora płaskiego. Uchwyt próbki wewnątrz ekranowanej obudowy powinien mieć regulację kąta obrotu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny cewek tak aby możliwa była równoległa i prostopadła orientacja płaszczyzny próbki względem linii pola magnetycznego wytworzonego przez cewki Helmholtza. Kontakty próbki (górny i dolny) powinny być połączone z gniazdami BNC lub SMA (jedno gniazdo dla jednego kontaktu).
- Mała ekranowana celka pomiarowa dostosowana do cewek Helmholtza o szczelinie 28 mm:
 - szerokość celki minimum 20, maksimum 28 mm
 - materiał ekranu celki (puszki Faraday'a) – metal paramagnetyczny w temp. pokojowej np. Al. lub Cu
 - wewnątrz celki, na izolowanym podłożu powinien być umieszczony uchwyt próbki typu „bulk”. Dolna elektroda uchwyty nieruchoma, górna ruchoma ze sprężyną umożliwiającą zakładanie i unieruchamianie próbek o grubościach w zakresie 0.5 – 4 mm lub szerszym.
 - uchwyt próbki powinien umożliwiać przeprowadzanie pomiarów ładunku zgromadzonego na powierzchniach próbki w geometrii kondensatora płaskiego. Średnica próbki w zakresie 5 – 15 mm lub szerszym.
 - elektrody próbki powinny być podłączone do gniazd typu SMA lub BNC zamocowanych na stałe w obudowie celki.
 - wszystkie elementy celki powinny być wykonane z materiałów niemagnetycznych w temperaturze pokojowej.

7) **Wraz z zestawem opisanym w punktach 1-6 powinny być dostarczone przewody zasilające poszczególne urządzenia oraz kompletne okablowanie umożliwiające połączenie:**

- Toru wysokonapięciowego – dowolny standard o napięciu granicznym izolacji min. 15 kV,
- Toru sygnałowego – standard BNC,
- Toru prądowego – dowolny standard np. banan 4mm lub inny umożliwiający przewodzenie prądu o natężeniu do 10A lub więcej.

III. Wraz z aparaturą opisaną w pkt. 1-7 powinny być dostarczone próbki kalibracyjne do pomiarów ferroelektrycznych, piezoelektrycznych i magnetoelektrycznych.

IV. Oprogramowanie sterujące pracą Aparatury wraz z przeniesieniem licencji.

V. Gwarancja na całe stanowisko i poszczególne podzespoły: **minimum 12 miesięcy od**



dnia podpisania protokołu zdawczo - odbiorczego.

VI. Autoryzowany serwis urządzeń na terenie Unii Europejskiej.

VII. Stanowisko do pomiarów właściwości ferroelektrycznych i magnetoelektrycznych materiałów multiferroicznych musi spełniać wymogi CE, potwierdzone dołączonym certyfikatem CE.

VIII. Stanowisko ze wszystkimi elementami składowymi dostarczone będzie przez dostawcę na adres: **ClizT Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 36c 20-618 Lublin pok. C517.**

IX. Termin realizacji przedmiotu zamówienia: do dnia 30.11.2024r.

X. Wykonawca zobowiązany jest wraz z dostawą Urządzenia dostarczyć i wydać Zamawiającemu instrukcję obsługi i konserwacji dla użytkownika zawierającą szczegółowy opis, sposób użytkowania oraz zasady bezpieczeństwa, certyfikat CE oraz wszelkie inne dokumenty pozwalające Zamawiającemu na korzystanie z urządzenia zgodnie z prawem oraz zgodnie z ich technicznym i gospodarczym przeznaczeniem, w tym karty gwarancyjne wydane przez producenta.