

 <b>Délégation Alpes</b>	<b>Marché public de fournitures</b>
--	---

<b>CCTP</b> <b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES</b>
---

## **Acquisition d'un équipement de gravure réactive par plasma (à couplage inductif ICP-RIE)**

**Projet lié : CPER Quantum Mapping – Région Auvergne Rhône-Alpes – CNRS**

**BENEFICIAIRE** : Institut NEEL – Pôle NanoFab

Référence de la consultation : AOO.13 -2025

<b>TABLE DES MATIERES</b>
---------------------------

1	OBJET DU MARCHÉ ET CADRE SCIENTIFIQUE.....	3
2	ENVIRONNEMENT D’ACCUEIL DE L’ÉQUIPEMENT .....	3
2.1	Localisation et contraintes salle blanche .....	3
2.2	Réseaux techniques disponibles.....	4
2.3	Contraintes mécaniques et logistiques .....	4
3	FONCTIONNALITES GENERALES DE L’EQUIPEMENT.....	5
3.1	Objectifs d’usage et domaine d’application.....	5
3.2	Plage et formats de substrats supportés.....	5
3.3	Interface opérateur IHM, niveaux de contrôle et automatisation.....	6
3.4	Systèmes de sécurité intégrés et gestion des interlocks.....	8
4	SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DÉTAILLÉES DE LA RIE .....	10
4.1	Chambre de gravure .....	10
4.2	Gravure par famille de matériaux .....	11
4.3	Système de pompage .....	11
4.4	Distribution et gestion des gaz .....	12
4.5	Sources plasma (ICP et polarisation RF) .....	13
4.6	Dispositif de maintien et de chargement des substrats.....	14
4.7	Nettoyage, entretien et cycle opérateur.....	14
5	PROCEDURE DE TESTS ET VALIDATION .....	15
5.1	Tests techniques post-installation.....	15
5.2	Validation des procédés de gravure.....	15
6	PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES (pse) Obligatoires.....	16
	PSE 1 : Système de diagnostic optique et suivi de gravure .....	16
	PSE 2 : Extensions gaz.....	16

## 1 OBJET DU MARCHÉ ET CADRE SCIENTIFIQUE

---

L’Institut Néel (CNRS, Grenoble), dans le cadre du programme CPER « Quantum Mapping » cofinancé par la Région Auvergne–Rhône-Alpes, souhaite acquérir un système de gravure plasma à couplage inductif (ICP-RIE), destiné à la plateforme technologique NanoFab qui appartient au réseau RENATECH+. Le système de gravure sera installé dans une salle blanche ISO 7 et mutualisé entre plusieurs projets de recherche en physique fondamentale et appliquée.

Le système viendra remplacer un équipement de gravure CCP-RIE (de 1994, mise à niveau en 2016), aujourd’hui inadaptée aux exigences actuelles : dérive plasma, puissance faible et risques de pannes critiques élevées.

Le présent cahier des clauses techniques particulières (CCTP) fixe l’ensemble des spécifications fonctionnelles, matérielles, logicielles, sécuritaires et procédurales nécessaires à la fourniture, à l’installation, à la mise en service, à la formation et à la validation d’un système ICP-RIE sur la plateforme NanoFab.

## 2 ENVIRONNEMENT D’ACCUEIL DE L’ÉQUIPEMENT

---

### 2.1 LOCALISATION ET CONTRAINTES SALLE BLANCHE

L’équipement est implanté dans la salle blanche ISO 7 de la plateforme NanoFab de l’Institut Néel (CNRS, Grenoble).

Cette zone impose des contraintes strictes en matière de propreté particulière, de compatibilité chimique et de stabilité électromagnétique.

L’équipement doit être conforme aux réglementations et normes CE.

Les matériaux constitutifs des sous-ensembles exposés à l’environnement salle blanche sont compatibles avec les exigences de propreté :

- Absence d’émission de composés organiques volatils (COV),
- Résistance aux solvants de nettoyage usuels (isopropanol),
- Absence de composants métalliques non protégés susceptibles de corrosion,
- Finition lisse des surfaces métalliques exposées aux flux d’air (rugosité  $\leq 0,8 \mu\text{m}$ ).

L’ensemble est facilement nettoyable sans nécessiter de démontage lourd.

La zone réservée à l’équipement est située directement dans la salle blanche, à proximité immédiate des réseaux fluides et électriques.

Les circulations d’air propres, les dégagements de sécurité et les accès aux équipements voisins sont strictement préservés.

## 2.2 RESEAUX TECHNIQUES DISPONIBLES

L'équipement est installé dans la première partie de la salle blanche du bâtiment Z disposant de réseaux, ainsi que dans la partie en sous-sol de cette dernière.

Le raccordement s'effectue sans modification structurelle ni extension extérieure aux installations existantes.

- Alimentation électrique : tension triphasée 400 V + neutre, 50 Hz (réseau 3P+N+T, norme française).
- Air comprimé : air sec, filtré à 0,01  $\mu\text{m}$ , pression régulée à 6 bars.
- Azote sec : 3 bar disponible via réseau centralisé, avec prise murale. Utilisation pour les opérations de purge, inertage et séchage chambre.
- Extraction armoire de gaz : ligne PEHD dédiée, raccordée au réseau d'extraction ventilation salle blanche. Débit d'extraction  $\geq 150 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## 2.3 CONTRAINTES MECANQUES ET LOGISTIQUES

Le soumissionnaire respecte les contraintes mécaniques et logistiques suivantes :

- Equipement au RDC du bâtiment Z à l'intérieur de la salle blanche
- Entrée en salle blanche : passage par le sas d'entrée de la salle blanche (H = 2 100 mm, L = 1 300 mm) ;
- Implantation pompe primaire au sous-sol (R-1) à une distance comprise entre 6m et 10m de l'équipement en salle blanche. Attention hauteur de passage pour passer la pompe primaire dans la zone prévue au sous-sol, cf document en annexe du présent document PLAN SB NANOFAB

L'équipement satisfait aux critères mécaniques et environnementaux suivants :

- Charge admissible au sol :  $\leq 500 \text{ kg/m}^2$  ;
- Niveau sonore en fonctionnement :  $\leq 65 \text{ dB}$  à 1 m dans la salle blanche ;
- Aucune fixation invasive au sol ou aux parois n'est acceptée. L'ensemble du système repose sur des éléments stabilisés, réglables en hauteur.

**Le soumissionnaire doit fournir des plans pour validation.**

**Un plan d'implantation de l'équipement dans la salle blanche en fonction de l'emplacement prévu sur le plan en annexe précédemment mentionné.**

- Les dimensions exactes de tous les modules,
- Les zones de circulations, espace de maintenance sur les faces arrière et latérales.
- Un plan de la position des attentes des arrivées de gaz process (choisir position 1 ou 2 cf PLAN SB NANOFAB en annexe)
- Des passages de pompes-commande et refoulement de la pompe primaire entre l'équipement et la pompe primaire sont nécessaires. (Choisir position 3 ou 4 cf PLAN SB NANOFAB en annexe, le nombre de passages et diamètres minimum)
- Implantation pompe primaire au sous-sol (R-1) : Précisez si le refoulement à pression atmosphérique de la pompe primaire doit être raccordé à un système d'extraction forcée (mécanique) ou non.

### 3 FONCTIONNALITES GENERALES DE L'EQUIPEMENT

---

#### 3.1 OBJECTIFS D'USAGE ET DOMAINE D'APPLICATION

L'équipement est destiné à la mise en œuvre de procédés de gravure sèche sur substrats hétérogènes.

Les applications visées incluent :

- La réalisation de profils gravés maîtrisés, avec un bon contrôle de l'anisotropie et de la sélectivité inter-matériaux ;
- Il permet l'élaboration de motifs fonctionnels à l'échelle micrométrique ou submicronique, sur divers matériaux ;
- Le traitement de couches minces ou épaisses, y compris polymères, oxydes, nitrures, films métalliques, carbures, matériaux bidimensionnels et substrats durs (SiC, diamant) ;
- La fabrication de géométries complexes : tranchées profondes, cavités optiques, réseaux périodiques, membranes suspendues ou structures autoportées.

L'équipement assure une gravure anisotrope contrôlée et une stabilité plasma à basse pression, garantissant une gravure maîtrisée, reproductible et précise sur l'ensemble des matériaux exploités dans les projets en cours, notamment :

- Semi-conducteurs et diélectriques : Si, SiC, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, GaN, BN, diamant ;
- Polymères structurables : parylène, SU-8, PMMA ;
- Métaux spécifiques : Ta, Al, Ti, Nb, TiN ;
- Matériaux bidimensionnels : graphène, h-BN.

#### 3.2 PLAGE ET FORMATS DE SUBSTRATS SUPPORTES

Le système accepte une large variété de substrats :

Le système permet le traitement d'échantillons de dimensions de petite taille : de 3 × 3 mm<sup>2</sup> jusqu'à 100mm de diamètre, formes et natures variées, sans recours à un outillage spécifique par exemple de quelques millimètres de côté, substrats fins ou fragiles, wafers partiels.

Les formats supportés en standard sont les suivants :

- au minimum 1 navette : pour 1 échantillon 4 pouces ou 100mm
- au minimum 1 navette : pour 1 échantillon 3 pouces
- au minimum 1 navette : pour 1 échantillon 2 pouces
- au minimum 1 navette : pour plusieurs échantillons 2 pouces
- au minimum 1 navette : pour multi-échantillons inférieurs à 2 pouces.

### 3.3 INTERFACE OPERATEUR IHM, NIVEAUX DE CONTROLE ET AUTOMATISATION

#### a Architecture générale de commande

Le pilotage de l'équipement est appuyé sur un système de supervision centralisé, capable de contrôler en temps réel l'ensemble des sous-ensembles : vide, plasma, distribution gaz, refroidissement, température, maintien substrat, séquençages procédés.

La logique de commande est entièrement intégrée, avec retour d'état immédiat sur tous les paramètres critiques et journalisation systématique des actions opérateur.

Le système est conçu pour un fonctionnement en environnement salle blanche, avec interface robuste, L'IHM n'est pas dépendante d'un poste externe ni du réseau informatique.

#### b Interface homme-machine (IHM)

L'IHM est intégrée à une borne opérateur, accessible depuis la face avant de l'équipement.

Elle assure les fonctions suivantes :

- Interface graphique claire, en français et en anglais, structurée en modules fonctionnels : vide, plasma, gaz, température, maintenance ;
- Navigation fluide via commandes tactiles et menus hiérarchiques, avec accès direct aux variables critiques ;
- Gestion différenciée des utilisateurs, avec au minimum :
  - Niveau opérateur : exécution des recettes, visualisation des paramètres ;
  - Niveau expert : modification des recettes et opérations de calibration ;
  - Niveau administrateur : maintenance, sécurité, consultation des journaux et mises à jour système ;
- Visualisation en temps réel des paramètres principaux :
  - Puissances ICP, CCP (consigne et puissance mesurée) ;
  - Pressions vide, gaz et face arrière ;
  - Températures du porte échantillon ou navette
  - Débits de gaz, état du matching RF, pression He, et tout autre paramètre critique du procédé.

#### c Recettes procédées et traçabilité

Le système permet la création, l'édition, la sauvegarde et la réutilisation de recettes procédé, selon les fonctionnalités suivantes :

- Éditeur de recettes intégré, sans recours à un logiciel externe ni étape de compilation ;
- Gestion des versions avec historique des modifications
- Paramètres configurables : gaz (type, débit, séquence), puissances ICP/CCP, pression chambre, température du chuck, durées, pauses, test de fuite He, etc. ;
- Contrôle de cohérence automatique avant exécution (vérification du matching RF, du refroidissement actif, du niveau de vide atteint).

Toutes les modifications, exécutions et alarmes associées aux recettes sont horodatées et archivées dans un journal interne, consultable depuis l'IHM.

## **d** Journalisation et export des données

Un système de traçabilité natif est intégré au logiciel de pilotage.

Il maintient un journal horodaté des éléments suivants :

- Événements système : mise sous tension, ouverture capot, activation plasma, arrêt d'urgence ;
- Anomalies et alarmes : défaut vide, perte de refroidissement, instabilité plasma, détection de fuite ;
- Paramètres critiques : températures, puissances, pressions, flux de gaz, états de vannes ;
- Recettes exécutées : nom de l'utilisateur, durée réelle, variations de paramètres en cours de cycle.

Tous les paramètres thermiques critiques sont accessibles via l'IHM, avec journalisation automatique et export des données. Les exigences minimales sont les suivantes :

- Variables affichées en temps réel :
  - Température de consigne et température réelle du chuck ;
- Alarmes actives :
  - Seuils configurables et ajustables par l'administrateur ;
  - Visualisation locale sur l'IHM et export horodaté ;
- Interlocks intégrés :
  - Blocage plasma si refroidissement inactif, débit He insuffisant ou température hors tolérance ;
  - Protection croisée entre perte thermique et décharge RF active.

## **e** Automatisation, sécurité logicielle et maintenance

Le système intègre une logique d'automatisation fiable, garantissant la continuité des séquences sans blocage intempestif ni incohérence, y compris lors d'un arrêt de cycle ou d'un redémarrage après anomalie.

Les fonctionnalités minimales sont les suivantes :

- Vérification automatique des conditions d'exécution : test de fuite, niveau de vide minimal, refroidissement actif ;
- Mises à jour logicielles réalisables localement, via un port dédié, sans connexion réseau externe, garantissant l'intégrité du système et la sécurité logicielle de l'équipement.

Un mode diagnostic intégré est accessible depuis l'IHM (niveaux expert ou administrateur).

Il permet le contrôle manuel des sous-systèmes (pompes, gaz, refroidissement, *matching*, températures, interlocks) dans le cadre des opérations de maintenance.

### 3.4 SYSTEMES DE SECURITE INTEGRES ET GESTION DES INTERLOCKS

L'équipement intègre un système de sécurisation active couvrant les risques liés aux hautes tensions, au plasma, aux gaz procédés, au vide, à la température et à l'accès opérateur.

La logique de sécurité est redondante, priorisée, non contournable accidentellement ou intentionnellement.

Toute alarme critique entraîne la mise en sécurité immédiate de l'équipement.

Les interlocks système assurent le contrôle préalable des conditions d'exécution, garantissant que les séquences ne peuvent démarrer qu'en situation sûre.

L'équipement intègre en standard un ensemble complet de dispositifs de sécurité, couvrant les domaines suivants :

- Arrêts d'urgence et verrouillages opérateur (cf. § a) ;
- Détection et surveillance des gaz et fluides (cf. § b) ;
- Sécurités électriques, RF et plasma (cf. § c) ;
- Sécurités associées au vide et au pompage (cf. § d) ;
- Protections logicielles et gestion des interlocks (cf. § e).

Ces dispositifs garantissent la stabilité du procédé, la sécurité de fonctionnement et la protection de l'opérateur.

#### **a**     Sécurités physiques opérateur

- Arrêts d'urgence accessibles depuis la face opérateur,
- L'activation d'un arrêt d'urgence provoque la coupure immédiate des alimentations RF, des gaz procédés et des pompes, avec enregistrement automatique de l'événement ;

#### **b**     Surveillance gaz et fluides

- Surveillance du refroidissement : température, débit et pression monitorés en continu, toute anomalie entraînant un arrêt sécurisé du plasma.

#### **c**     Sécurités électriques, RF et plasma

- Détection automatique des défauts générateurs : surintensité, perte d'adaptation d'impédance (VSWR), rupture plasma ;
- Ces défauts entraînent une extinction immédiate de la décharge et un enregistrement complet (nature du défaut, horodatage, condition détectée, paramètre affecté), consultable sur l'IHM et exportable ;

#### **d**     Sécurité vide et pompage

- Interdiction de démarrage plasma si la pression dépasse le seuil autorisé,
- Blocage de l'amorçage de la pompe primaire si le vide est fermé ou la ligne saturée.



**e**      Sécurité logicielle et interlocks systèmes

- Hiérarchisation des alertes : information, anomalie, défaut critique, clairement identifiées sur l'IHM ;
- Journalisation automatique de toutes les alarmes de sécurité (distincte du procédé décrit au § 3.3d), avec horodatage et protection contre la suppression ;
- Modification des seuils critiques, temporisations ou paramètres de sécurité réservée aux administrateurs, avec traçabilité complète des changements ;

**f**      Connexion informatique à distance

- Contrôle informatique à distance (hors de la salle blanche) de l'équipement via le réseau internet avec VNC Viewer par exemple ou autres logiciels équivalents qui devra être validé par notre service informatique
- Lancer des diagnostics de l'équipement à distance par internet par le SAV du soumissionnaire

## 4 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DÉTAILLÉES DE LA RIE

---

L'équipement ICP-RIE est composé de différents modules décrits dans les sous-parties suivantes :

### 4.1 CHAMBRE DE GRAVURE

#### a Fonction et exigences générales

La conception de la chambre garantit :

- Une homogénéité de gravure sur Si d'un wafer de diamètre de 100 mm avec une déviation inférieure à  $\pm 5$  % ;
- Une géométrie interne optimisée limitant les zones mortes, les redépôts et les instabilités de plasma ;
- Une compatibilité avec les matériaux de gravure complexes, notamment les substrats durs (SiC, diamant) et les polymères sensibles ;
- • une reproductibilité inter-échantillons, sans recalibrage, lorsque les conditions opératoires restent identiques, avec une variation inférieure à  $\pm 5$  % du taux de gravure ;
- Des surfaces internes permettant un nettoyage régulier sans démontage lourd ;
- Une ergonomie assurant un accès frontal dégagé, une ouverture sans levage et sans collision mécanique avec les modules adjacents ;
- Des matériaux et revêtements de paroi limitant l'effet mémoire vis-à-vis des gaz fluorés ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ) et résistants à la corrosion ou à l'érosion prématurée.

#### b Construction et architecture

L'accès opérateur s'effectue par une porte frontale ou latérale verrouillée par interlock logiciel, empêchant toute ouverture lorsque le plasma est actif, que la chambre est sous vide ou que des gaz de procédé sont injectés.

La chambre comporte un hublot optique d'observation, positionné de manière à ne pas perturber la géométrie de la décharge.

#### c Conditions de fonctionnement attendues

L'équipement garantit une qualité de plasma stable et reproductible dans les plages de fonctionnement suivantes, sans dérive au cours de cycles longs (jusqu'à 1 heure) ou de séries courtes (quelques dizaines de secondes à quelques minutes) enchaînées :

- Pression opérationnelle : de 1 à 100 mTorr, contrôlée par vanne asservie ;
- Mode ICP ou CCP selon les matériaux, avec compatibilité substrats sensibles : possibilité d'opérer à puissance RF réduite ( $\leq 10$  W substrat) tout en maintenant la régulation thermique ;

Les performances annoncées sont démontrées lors de la réception technique, sur la base de motifs fournis par la plateforme et représentatifs des cas d'usage réels.

## 4.2 GRAVURE PAR FAMILLE DE MATERIAUX

Le soumissionnaire devra fournir un tableau dans le CRT des vitesses de gravure et des conditions utilisées pour graver les matériaux cités ci-dessous.

### a Silicium, oxydes et nitrures (Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

L'équipement assure la gravure contrôlée de couches minces ou épaisses de dioxyde (SiO<sub>2</sub>) ou nitrure de silicium (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) :

- Plage minimale des vitesses de gravure :
  - Entre 10nm et 500nm/min sur Si ;
  - Entre 10nm et 100nm/min sur SiO<sub>2</sub> ou Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>;
- Profondeur minimale démontrable : 300 nm.

### b Polymères techniques

L'équipement permet la gravure anisotrope de polymères à forte épaisseur (Parylène C, SU-8, PMMA) :

- Epaisseur gravable :  $\geq 2 \mu\text{m}$  ;
- Plage minimale des vitesses de gravure : entre 10nm et 500nm/min

### c Diamant

Le diamant est gravé à une vitesse lente de 10nm/min et une vitesse rapide comprise entre 100nm/min à 500 nm/min. Les procédés associés préservent la morphologie et la propreté de surface sans résidu détectable.

### d Métaux et matériaux complexes

L'équipement permet la gravure contrôlée des matériaux suivants :

- Tantale (Ta), niobium (Nb) ;
- Nitrure d'aluminium (AlN), titane (Ti), nitrure de titane (TiN), couches piézoélectriques ou électrodes ;
- Plage minimale des vitesses de gravure : entre 10nm et 200nm/min

## 4.3 SYSTEME DE POMPAGE

Le système de pompage permet d'atteindre les niveaux de vide requis pour l'amorçage, la stabilité et le maintien des procédés plasma, dans une gamme de pression adaptée aux gravures anisotropes à basse pression. Il garantit un fonctionnement fiable sur des cycles longs, répétés, et assure une descente rapide en pression après chargement d'une navette.

Le dispositif est conçu pour limiter toute instabilité liée aux fluctuations de vide, toute remontée de gaz ou de sous-produits de gravure, et toute contamination croisée entre échantillons.

### a Pompe primaire sèche (déportée)

La pompe est installée en local technique au R-1, à une distance comprise entre 6 et 10 mètres linéaires de l'équipement. Le soumissionnaire assure la fourniture, le montage et le raccordement complet de l'ensemble des conduites entre la pompe et la chambre : flexibles, colliers, vannes, clapets anti-retours, supports.

**b** Pompe secondaire (turbo moléculaire)

Une pompe turbo moléculaire est intégrée au plus près de la chambre de gravure, avec une ligne directe ou courte intégrant une vanne d'isolement et refroidit par air.

Le soumissionnaire indique dans le CRT :

- Le temps du pompage du système qui permet d'atteindre un vide de base inférieur à  $5 \times 10^{-6}$  mbar après chargement d'une navette.
- Le temps du pompage du système qui permet de démarrer une gravure après chargement d'une navette

Le pilotage intègre la gestion de la vitesse, l'arrêt progressif, la détection de surchauffe, et la transmission d'alarmes horodatées à l'IHM principale.

**c** Instrumentation de vide

L'équipement intègre les jauges nécessaires à la mesure de la pression sur toute la plage de fonctionnement :

- Une jauge pour assurer le suivi de la phase de descente primaire ( $> 10^{-3}$  mbar)
- Une jauge pour le contrôle du vide secondaire
- Une jauge pour le pilotage en mode procédé,

Toutes les jauges sont intégrées à l'IHM, avec lecture en temps réel, enregistrement continu des valeurs, gestion des seuils d'alerte, et procédures de recalibrage définies.

**4.4** DISTRIBUTION ET GESTION DES GAZ**a** Objectif et exigences générales

Le système de distribution des gaz procédé assure une alimentation fiable, précise et sécurisée des gaz nécessaires aux séquences plasma, avec une régulation stable et reproductible.

**b** Lignes de gaz livrées installées à la livraison

Le système est livré avec 6 lignes de gaz au minimum entièrement opérationnelles :

- Une armoire existante ( $O_2$ ,  $SF_6$ ,  $CHF_3$ , Ar,  $CF_4$ ) et  $N_2$  sur bouteille et 1 lignes d'azote sec pour la remise à pression atmosphère de la chambre de gravure du réacteur.
- Chaque ligne dispose de son propre circuit indépendant, comprenant :  
Vanne d'admission pilotée
- Débitmètre massique (Mass Flow Controller MFC) calibré
- Purge automatisée (Ar ou  $N_2$ )

**c** Matériaux et raccordement

- Tubulures en acier inox 316L,
- Raccords de type VCR double joint ou équivalent

#### 4.5 SOURCES PLASMA (ICP ET POLARISATION RF)

Le pilotage des deux générateurs est entièrement intégré à l'interface opérateur, avec possibilité de programmation séquentielle et supervision temps réel.

##### a Source plasma inductive (générateur ICP)

- Un générateur inductif est dédié à l'amorçage et au maintien du plasma principal. Les caractéristiques minimales attendues sont les suivantes :  
Puissance de sortie :  $\geq 1000$  W ;
- Régulation : boucle fermée, avec consigne numérique et lecture directe sur l'IHM de la puissance délivrée ;
- Refroidissement : par Chiller, avec contrôle de température intégré, garantissant la stabilité thermique de la bobine ;
- Fonctionnalités logicielles :
  - Fonctionnement en mode continu, et pulsé si disponible ;
  - Insertion de rampes ou paliers de puissance dans les séquences procédées ;
  - Archivage automatique des puissances délivrées, lisible depuis l'IHM.
- Le système assure une tenue de plasma fiable, y compris en régime basse pression ( $< 10$  mTorr) ou avec des gaz peu ionisables ( $O_2$ , Ar).

##### b Polarisation substrat (générateur RF bias)

Un second générateur indépendant assure la polarisation RF de l'électrode porte-substrat. Les spécifications minimales sont :

- Puissance de sortie : 500W ;
- Couplage : capacitif avec adaptation d'impédance automatique (matching intégré), réponse dynamique  $< 1$  s ;
- Stabilité : fonctionnement garanti sur toute la gamme de substrats (conducteurs, isolants) et de gaz utilisés, avec une puissance minimale de 10W ;
- Mesures disponibles à l'IHM :
  - Puissance consigne et réelle,
  - Tension de polarisation (bias),
  - Taux de réflexion (Voltage Standing Wave Ratio VSWR) ou puissance réfléchie.

Le pilotage du RF bias devra être totalement indépendant de la source ICP, afin d'ajuster l'énergie ionique sans affecter la densité plasma, condition indispensable pour la gravure de matériaux sensibles à la charge (SiC, polymères, films minces).

#### 4.6 DISPOSITIF DE MAINTIEN ET DE CHARGEMENT DES SUBSTRATS

##### a Navette porte échantillon (chuck)

Pour les échantillons de petite taille ne pouvant être placés directement sur les porte-substrats standards, le titulaire décrit (cf CRT) la solution de maintien retenue (échantillon posé simplement, collé, scotché, etc...), garantissant une bonne stabilité mécanique, un contact thermique correct et une compatibilité avec l'environnement plasma.

##### b Régulation thermique active

Le contrôle thermique du substrat constitue un paramètre critique pour la reproductibilité des procédés plasma, en particulier dans les contextes suivants : gravure sur polymères sensibles à la charge thermique, structuration de couches minces suspendues, substrats à forte conductivité thermique (diamant, SiC), ou encore procédés de longue durée.

- Le système garantit une stabilité thermique des sources inférieure à  $\pm 2$  °C de sa température de fonctionnement durant sur le cycle complet, indépendamment de la puissance plasma engagée, avec une régulation active et un refroidissement efficace de l'électrode substrat.

La navette sera refroidie par un groupe froid local, avec les caractéristiques suivantes :

- Température de la navette (échantillon) régulée : plage de consigne minimale de +5°C à 50 °C

##### c Refroidissement face arrière de la navette avec un gaz d'échange (He)

Sécurité et test d'étanchéité :

- Détection de décollement de la navette ou de mauvais contact ;
- Coupure plasma en cas de fuite significative ou perte de pression He.

#### 4.7 NETTOYAGE, ENTRETIEN ET CYCLE OPERATEUR

L'équipement permet une maintenance régulière et un nettoyage efficace, sans opérations lourdes ni démontage complexe, en conformité avec les exigences d'un environnement salle blanche ISO 7.

Les parties internes exposées (chambre, électrodes, porte-substrat, surfaces de confinement) sont facilement accessibles sans outil spécifique.

Le candidat décrit les séquences de nettoyage automatisées de la chambre de gravure du réacteur, configurables via l'interface opérateur, les gaz utilisés et pour quel type de nettoyages

Le nettoyage périodique des composants internes est réalisable par un opérateur formé, sans levage ni recalibrage d'éléments critiques.

Les pièces amovibles sont repérables, démontables sans outil complexe et remontables sans risque d'erreur d'alignement.

## 5 PROCEDURE DE TESTS ET VALIDATION

L'admission de l'équipement est conditionnée à une série de tests d'acceptance procédés conduits par le soumissionnaire dans les locaux du laboratoire, en présence des référents techniques. Les essais sont réalisés en conditions réelles, avec fiches de test signées.

### 5.1 TESTS TECHNIQUES POST-INSTALLATION

Les essais techniques suivants sont effectués après l'installation et le calibrage initial du système :

Élément testé	Condition / Critère attendu
Vide ultime (chambre propre, sans substrat)	Temps de pompage annoncé par le soumissionnaire pour atteindre la pression inférieure $\leq 5 \times 10^{-7}$ mbar
Vide après chargement d'une navette avec substrat standard	Temps de pompage annoncé par le soumissionnaire pour atteindre la pression inférieure $\leq 1 \times 10^{-5}$ mbar
Refroidissement de la navette	Tenue de consigne $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$
Fonctionnement des lignes gaz	Activation MFC, purge, détection de fuite, interlocks logiques
Plasma statique	Décharge stable ( $\text{O}_2$ , $\text{SF}_6$ , $\text{CF}_4$ , $\text{CHF}_3$ ), matching RF correct, pas d'instabilité visible
Sécurités intégrées	Arrêt d'urgence, défaut vide, fuite, verrouillages testés et validés

### 5.2 VALIDATION DES PROCÉDES DE GRAVURE

Les performances procédées sont vérifiées à partir d'échantillons et de motifs fournis par la plateforme NanoFab.

Les tests portent sur les procédés de gravure des matériaux décrits dans le chapitre 4.2 du présent document.

## 6 PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES (PSE) OBLIGATOIRES

---

### PSE 1 : SYSTEME DE DIAGNOSTIC OPTIQUE ET SUIVI DE GRAVURE

#### *Finalité*

Le système devra permettre le suivi optique en temps réel de la gravure, via un dispositif interférométrique (type laser réfléchi ou équivalent), assurant la détection d'interfaces et la surveillance des vitesses de gravure.

Ce module devra être entièrement intégré à la commande centrale de l'équipement et pilotable depuis l'IHM principale.

#### *Intégration mécanique et logicielle*

Le module devra être montable sans modification structurelle de la chambre, avec raccordement mécanique et électrique direct aux interfaces prévues d'origine.

Les signaux du diagnostic devront être reconnus par le logiciel de pilotage, permettant :

- la visualisation en temps réel du signal optique ;
- l'enregistrement des données brutes et des événements détectés ;

### PSE 2 : EXTENSIONS GAZ

Le candidat chiffre la possibilité d'installer 2 lignes de gaz supplémentaires.

Exemple de gaz prévu :  $C_4F_8$  (passivation dans les procédés DRIE).