



Acheteur public : CNRS Délégation Régionale Hauts-de-France

Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

Numéro de la consultation :

Objet de la consultation : Acquisition, livraison, installation et mise en service d'un four de recuit thermique rapide (sigle RTA en anglais) pour le laboratoire IEMN.

Procédure de passation : Appel d'offres ouvert (AOO)



Table des matières

1.	Contexte et objet de l'achat	3
2.	Livraison	4
3.	Sécurité d'utilisation de l'équipement	5
4.	Configuration et performance de la machine	5
4.1.	Configuration.....	5
4.2.	Performance.....	6
5.	Chambre de recuit	6
5.1.	Système de pompage.....	6
5.2.	La chambre de procédé.....	6
5.3.	Régulation de température	7
5.4.	Lignes de gaz.....	7
6.	Logiciel du four RTA	7
7.	Système d'exploitation, Pilotage du PC et Sauvegarde	8
8.	Pièces détachées et consommables	8
9.	Réception.....	8
10.	Formation.....	9
11.	Garanties & SAV	9
12.	Aspect Environnemental	10
13.	Rappel des prestations supplémentaires éventuelles.....	10
	ANNEXE. Sécurité Informatique du système d'exploitation	10



1. Contexte et objet de l'achat

L'Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN) est une unité mixte de recherche - UMR8520 - entre le CNRS et les établissements d'enseignement supérieur : l'Université de Lille (ULille), l'Université Polytechnique Hauts-de-France (UPHF), l'Ecole d'Ingénieurs JUNIA-ISEN et l'Ecole Centrale de Lille (ECL). Le laboratoire compte environ 450 personnes. Les équipements technologiques du laboratoire sont regroupés dans la Centrale de Micro-NanoFabrication (CMNF) disposant d'une salle blanche de 1600 m² (ISO6). Ils permettent de mettre en œuvre les procédés de fabrication complets des systèmes micro/nanoélectroniques. La centrale fait partie du réseau national RENATECH qui regroupe cinq plateformes technologiques académiques françaises.

Dans le cadre de ses nombreux projets de recherche, l'IEMN travaille depuis 30 ans sur l'élaboration des composants micro/nano-électroniques à base de matériaux III-V et de Silicium : HBT, FET, MEMS, etc. Cette activité est en croissance constante. La fabrication de ce type de composants implique l'utilisation de fours à recuit thermique rapide pour la post implantations ioniques. Ces procédés sont utilisés dans une large variété d'applications dans la fabrication de semi-conducteurs incluant l'activation des dopants, l'oxydation thermique, la mise en forme de métaux et le dépôt par voie chimique.

Actuellement, l'IEMN possède deux fours RTA post implantation, un de chez ANNEALSYS installé à l'IEMN depuis 2005 ainsi qu'un supplémentaire de la société JIPELEC depuis 1994. Ce dernier équipement a démontré d'excellents résultats. Mais à ce jour le four RTA JIPELEC est devenu obsolète : il est difficilement réparable et ne dispose pas de la possibilité de rajouter les options indispensables pour contrôler et améliorer les procédés.

Par conséquent, l'IEMN souhaite acquérir un nouveau four RTA qui proposera *au moins* les mêmes caractéristiques que l'ancienne machine. Il présentera de surcroît des performances améliorées en termes de vitesse de montée et de descente pour des hautes températures et en termes de régulation.



2. Livraison

L'équipement est à livrer à l'adresse suivante :

IEMN
Cité Scientifique
Avenue Poincaré
CS 60069
59652 Villeneuve d'Ascq Cedex
France

Les livraisons s'effectuent au rez-de-chaussée. Le déchargement des camions est à la charge du candidat.

L'IEMN possède un quai de déchargement avec un seuil de 10 cm de hauteur environ par rapport au niveau de sol. Le titulaire doit prévoir les moyens adaptés : camion équipé d'un hayon, transpalettes ou chariot élévateur du type « Fenwick ».

Avant la livraison, le candidat pourra effectuer les visites de pré-installation, dont les dates et fréquences seront définies en accord avec l'IEMN. Il déterminera les moyens à mettre en œuvre pour le déchargement de l'équipement et de ses accessoires et du transfert vers les locaux prévus pour accueillir l'équipement.

L'équipement est à installer dans la salle blanche située au rez-de-chaussée de l'IEMN.

La salle blanche est de qualité ISO6.

Le four RTA sera installé entièrement en salle blanche.

Un document d'installation provisoire sera remis avec l'offre détaillant les éléments suivants (liste non exhaustive) :

- Encombrement de l'équipement : dimensions en mm, plan coté ;
- Environnement requis : empoissièrement, hygrométrie, vibrations, extractions à prévoir etc. ;
- Nature du sol : résistance requise par rapport à la masse de la machine, planéité ;
- Electricité : Tension, Puissance. Si l'équipement n'est pas compatible avec le réseau français, le Titulaire fournira un transformateur d'adaptation, dont il fournira les caractéristiques.
- Pneumatique (air comprimé : pression (7 bars maximum disponibles dans les locaux), qualité) ;
- Fluides : Type, pression, débit, température, besoins en eau de refroidissement ;
- Gaz : Type, pression, qualité ;



- Contre-indications d'installation, nuisances apportées par l'équipement.

Le titulaire doit remettre à l'IEMN le document d'installation définitif au plus tard deux (2) mois à compter de la notification du marché. En effet, avant la livraison de l'équipement sur site par le titulaire, l'IEMN réalisera les travaux nécessaires de pré-raccordement de l'équipement sur la base du document d'installation définitif remis. A l'issue de l'installation de l'équipement par le titulaire dans le local dédié, l'IEMN effectuera le raccordement final des servitudes (gaz, eau et alimentation électrique générale).

En cas d'omissions ou d'erreurs de la part du titulaire du marché, les travaux d'adaptation seront à sa charge.

3. Sécurité d'utilisation de l'équipement

Le four RTA doit être sécurisé afin d'éviter tout incident ou accident lié à :

- L'utilisation de gaz présentant un quelconque danger ;
- L'utilisation du vide ;
- Ouverture manuelle de la chambre avec système de blocage.

Les éléments de sécurité (les interlocks ou d'autres éléments) doivent être décrits en détail dans l'offre technique.

L'équipement doit avoir une certification CE, être conforme aux normes électriques CEE et CEM et être aux normes françaises. L'appareil doit pouvoir être connecté au réseau électrique monophasé (230 V 50 Hz) ou triphasé (400V 50 Hz) ; si l'équipement n'est pas équipé pour ces tensions, le transformateur adapté devra être fourni. Le régime de neutre est neutre à la terre (TT).

4. Configuration et performance de la machine

4.1. Configuration

L'équipement doit être équipé :

- D'une chambre de recuit pouvant accepter des substrats de 150 mm de diamètre ;
- D'un pyromètre de régulation haute température (jusqu'à 1300°C) ;
- De deux thermocouples, de calibration et de contrôle ;
- D'un régulateur de température PID numérique ;
- D'un contrôle de vitesse de refroidissement ;
- D'un mode de recuit pulsé, permettant de recuire des substrats thermiquement sensibles ;
- D'un kit de vannes compatible avec le vide secondaire ;
- De deux lignes de gaz de procédé avec contrôleur de débit massique ;
- Une ligne de gaz purge ;
- D'une régulation de pression avec vanne papillon ;
- D'une pompe primaire sèche ;
- D'une pompe turbomoléculaire.



4.2. Performance

L'équipement doit répondre aux performances suivantes :

- Gamme de température : ambiante à 1300°C ;
- Contrôle de température par les thermocouples adaptés à la plage demandée ;
- Vitesse de chauffe (pente montée en température) qui peut atteindre 150°C/s (avec le support en Silicium) ;
- D'une stabilité de la température d'environ $\pm 1^\circ\text{C}$;
- Durée de chauffe possible de 5 min à 1300°C et de 120 min pour $T < 900^\circ\text{C}$;
- Vitesses de refroidissement (pente de descente en température) qui peuvent atteindre 100°C/s.

5. Chambre de recuit

5.1. Système de pompage.

Le candidat doit décrire de façon détaillée le système de pompage : le type du vide (secondaire, primaire), type et marque de pompe ainsi que ses caractéristiques (vitesse de pompage, vide limite, corrosive ou non, avec le chauffage ou sans chauffage) ainsi que les fluides nécessaires pour son bon fonctionnement.

La régulation de pression de procédés doit être faite par une vanne adaptée, par exemple vanne papillon.

La machine doit permettre de réaliser des recuits depuis le vide poussé (par exemple 10⁻⁵ Torr) jusqu'à la pression atmosphérique.

5.2. La chambre de procédé

La chambre doit s'ouvrir manuellement avec un large accès pour le chargement des échantillons et l'installation des thermocouples.

Le four doit être équipé de lampes halogènes installées au-dessus de la chambre permettant de chauffer les substrats à travers un hublot en quartz.

L'échantillon sera placé directement dans la chambre de procédé sans sas d'introduction.

Le matériau de la chambre doit être compatible avec le vide et les gaz de procédés et permettre le nettoyage facile. Le candidat décrira les recommandations de ce dernier.

L'échantillon dans la chambre de procédé sera placé sur un support en Wafer silicium ou un suscepteur graphite recouvert de SiC adapté aux différentes tailles d'échantillons et amovible afin qu'il puisse être facilement nettoyé. Les supports (wafer Si ou le suscepteur) ou les wafers à recuire de taille de 150 mm seront placés soit sur les picots adaptés rétractables, soit directement sur la sole de la chambre. Le matériau des picots doit être compatible avec toute la



gamme de température de recuit : avoir un faible taux de dégazage, pas de dilatation, tenir les variations fortes lors des montées et des descentes en température.

5.3. Régulation de température

Le four doit être équipé d'un régulateur de température PID numérique.

Le système de régulation doit fonctionner avec le signal du thermocouple ou du pyromètre pour assurer un contrôle précis et reproductible de la température du substrat. Il doit être capable de fonctionner en mode manuel (puissance).

Le pyromètre optique ainsi que le thermocouple doit avoir la possibilité d'être installé au centre de la sole du réacteur ou sur le bord du substrat. Le four doit permettre d'accueillir un deuxième pyromètre, capable de faire des mesures jusqu'à 1300 °C afin d'améliorer l'uniformité des recuits sur les plaques de 150 mm. L'installation de ce deuxième pyromètre doit être compatible avec le logiciel du four dans le cas où celui-ci serait acquis (cf. **PSE n°1**).

5.4. Lignes de gaz

La machine doit recevoir au moins deux lignes de gaz : N₂ et N₂/H₂3% avec la possibilité d'en ajouter d'autres.

Il doit être possible de réaliser des mélanges de gaz à chaque étape du procédé.

Les débits de gaz doivent être contrôlés par un débitmètre massique.

Le four doit être équipé d'un système de purge N₂ pour le remplissage de la chambre de procédé.

6. Logiciel du four RTA

Le logiciel devra :

- Proposer l'Anglais comme langue d'interface ;
- Fournir au minimum trois niveaux d'accès à la machine :
 - Un niveau « utilisateur/opérateur » permettant uniquement d'effectuer des procédés déjà optimisés ;
 - Un niveau « R&D » donnant la possibilité d'optimiser des procédés (de modifier des recettes) ;
 - Un niveau « maintenance/administrateur » donnant tous les droits sur la machine (y compris la gestion des interlocks) ;
- Donner la possibilité de créer un login et mot de passe par utilisateur avec la possibilité de sélectionner les droits d'accès ;
- Piloter et afficher en temps réel toutes les valeurs de consignes et mesurer de façon numérique le débit, la pression, les températures, les temps de recuit, etc. ;
- Donner la possibilité de réaliser des recettes avec des seuils de tolérance sur les consignes des paramètres de recuit ;
- Enregistrer automatiquement tous les paramètres des procédés sur toute la durée du procédé (*log files*). Le logiciel devra permettre la visualisation des paramètres



enregistrés dans le fichier log (données sous forme numérique et graphique) de manière claire et compréhensible pour les utilisateurs de tous niveaux. Les fichiers log devront être facilement exportés en format ASCII et exploitables dans les logiciels du type Excel, Origin etc.

- Accéder à l'historique de passage des plaques avec report *a minima* de la date, heure et défauts signalés sur les paramètres machine surveillés ;
- Être évolutif, c'est-à-dire, compatible avec des évolutions ultérieures.

La mise à jour des logiciels de contrôle et de pilotage se fera à titre gracieux pendant au moins le temps de la garantie (2 ans). La correction des bugs restera à la charge du titulaire du marché sur toute la période de fonctionnement de l'équipement.

7. Système d'exploitation, Pilotage du PC et Sauvegarde

Le système d'exploitation sera *Windows 11*.

L'ensemble de la machine doit être piloté à partir d'un ordinateur, équipé idéalement d'un autre système de sauvegarde.

La machine autorisera l'accès à l'extérieur (réseau interne, Internet, etc.) et le contrôle externe par un logiciel de type Guacamole et TeamViewer. L'ordinateur doit avoir une carte réseau ou un hub disponible pour la télémaintenance.

Tous les disques d'installation (clés USB, carte mémoire) et les licences du système d'exploitation de l'ordinateur ou des logiciels installés nécessaires à l'exploitation de la machine devront être fournis.

Dans la présente consultation, le soumissionnaire répondra au questionnaire concernant la sécurité informatique (cf. annexe du CCTP).

8. Pièces détachées et consommables

Le candidat donnera la liste des pièces consommables avec leurs prix et les fréquences de remplacement. Il nous proposera les pièces détachées nécessaires à acquérir avec l'équipement (par exemple, les lampes, le kit des picots, etc.).

9. Réception

La réception finale de l'équipement aura lieu après la livraison, l'installation et la connexion du four RTA à l'IEMN en présence du représentant du titulaire et le personnel de l'IEMN.

Le contrôle sera effectué suivant différents tests de paramètres du four RTA.

Les paramètres suivants seront contrôlés :

- Arrêt/démarrage du bâti ;
- Temps de pompage jusqu'au vide limite ;



- Taux de fuite ;
- Temps de ventilation de la chambre ;
- Régularisation/stabilisation de température ;
- Régularisation/stabilisation des pressions des gaz process ;
- Régularisation/stabilisation des débits des gaz process ;
- Tests des différents modes de recuit (régulation pyromètre, thermocouple, pulsé, etc.) avec et sans échantillons (fournis par l'IEMN) ;
- Test des rampes de descente et de montée en température ;
- Test température max ;
- Vitesse de chauffe et de refroidissement ;
- Création des recettes ;
- Chargement de recette ;
- Test du logiciel, exploitation des fichiers *log* ;
- Test des boutons d'arrêt d'urgence.

Les spécifications attendues lors des tests et les détails de la procédure des tests sont décrits dans le CRT. Si, lors de la visite de réception, les tests ne sont pas concluants, une deuxième visite sera effectuée dans un délai maximum de quinze (15) de jours après la première visite. En cas de contre visite, les frais de déplacement et de séjours seront pris en charge par le titulaire.

10. Formation

La formation des utilisateurs de l'IEMN aura lieu après la réception définitive, d'une durée minimum d'un jour pour au moins 2 personnes. Elle portera sur l'utilisation de l'équipement, des ajustements et des réglages pourront être réalisés lors de la vérification.

11. Garanties & SAV

La période de garantie débute après la réception finale de l'équipement et la formation du personnel de l'IEMN. La période de garantie devra être d'une durée minimale de deux (2) ans.

Elle comprendra la main d'œuvre, les frais de déplacement et de séjour. La garantie couvrira la totalité de l'équipement et de ses accessoires à compter de la date de la réception finale et la formation. Toutes les pièces défectueuses devront être remplacées à titre gracieux pendant la période de garantie. Pendant la garantie, le temps de réponse du support à distance (téléphone, mail, etc.) devra être inférieur à 48h, le temps d'intervention par télémaintenance (TeamViewer, etc.) s'il a lieu, devra être inférieur à 72h et le temps d'intervention sur site de l'IEMN devra être inférieur à cinq (5) jours ouvrés. Hors garantie, le temps d'intervention sur site devra être de sept (7) jours ouvrés maximum.

Documents à fournir :

Le titulaire fournira au plus tard lors de la livraison de l'équipement les documentations suivantes (en français et/ou en anglais) :



- Documentation technique de l'équipement ;
- Consignes de sécurité ;
- Plans mécaniques ;
- Schémas électriques ;
- Les supports de formation à l'utilisation et à la maintenance.

Le titulaire fournira également, dans un délai de 2 mois maximum suivant la livraison, le plan détaillé des connexions.

12. Aspect Environnemental

Le candidat doit préciser la consommation électrique de l'équipement, indiquer la présence des options de gestion de consommation électrique. Le candidat précisera également la consommation d'eau de refroidissement.

À titre d'information, le titulaire indiquera sa capacité de récupération/retraitement des consommables et des anciens équipements.

13. Rappel des prestations supplémentaires éventuelles

Dans le cadre de la présente consultation, les prestations supplémentaires éventuelles suivantes (PSE) sont demandées :

- PSE n°1 (obligatoire) : Deuxième pyromètre haute température (jusqu'à 1300°C)

La réponse à la PSE n°1 est obligatoire ; faute de réponse du soumissionnaire, l'offre sera éliminée.

ANNEXE. Sécurité Informatique du système d'exploitation