



Acquisition, installation et mise en service d'un four de croissance cristalline

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

I. Objet de l'achat

Au sein du CIMAP, l'équipe MIL (Matériaux et Instrumentation Laser) axe une grande partie de ses activités de recherche sur la croissance cristalline des fluorures dopés terres rares. Différentes méthodes de croissance sont utilisées au laboratoire, telles que la technique Bridgman, la technique Czochralski et la LPE (Epitaxie en phase liquide). L'objet du marché est l'acquisition, l'installation et la mise en service d'un four de croissance cristalline de type Czochralski qui va permettre la croissance de cristaux de plus grande taille et renforcer la position du laboratoire au niveau national et international.

II. Description de l'offre de base

a. Technologie

Cette machine permettra de réaliser des cristaux dont les diamètres seront compris entre 10 et 60 mm et la longueur de 10 à 100 mm. Dans ce dispositif de croissance, le bain en fusion se trouve contenu dans un creuset en carbone vitreux (60 à 100mm de diamètre). Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- **Température** maximale d'utilisation : 2000°C
- **Chauffage** : chauffage résistif permettant via un résistor de chauffer un creuset en carbone vitreux à une température d'au moins 1600°C.
- **Translation et rotation** : De préférence sans engrenages ni embrayage, un seul moteur doit servir pour les faibles et grandes vitesses avec une bonne précision (de 0.1 mm par heure à quelques mm par seconde).
Pas de vibrations pendant l'utilisation de la translation et de la rotation.
Rotation : allant de 1 rpm à 100 rpm.
Automatisation complète des opérations de croissance.
- **Étanchéité** : chambre pouvant tenir 1.10^{-6} mbar
Passage étanche de la canne de tirage.
- **Pesée** : balance de haute précision (au moins 0.1g)
De 0 à 1kg.
Les différents éléments de la balance devront résister aux vapeurs fluorées présentes au cours de la croissance
Interfaçage facile
- **Chambre de croissance** : La chambre permettant de réaliser ces cristaux sous atmosphère contrôlée aura des dimensions lui permettant de ne pas dépasser une température extérieure de 40°C lorsque la charge de poudre

sera portée à 1600°C. Elle doit permettre l'élaboration de cristaux de gros diamètre (60mm).

L'utilisation d'un système de refroidissement à eau est donc à envisager et les spécifications du circuit de refroidissement sont les suivantes : débit nominal en continu 10 l/min. avec une pression de 5 bars et une température de 20°C. Les éléments de la chambre de croissance devront résister aux vapeurs fluorées présentes au cours de la croissance.

Les matériaux utilisés doivent résister à la corrosion, avec une longue durée de vie.

- **Logiciel de pilotage**

- Le logiciel de pilotage du four de croissance doit être simple à utiliser et complètement paramétrable pour permettre à l'utilisateur de modifier aisément les paramètres de croissance en fonction du cristal à synthétiser.

- Ce logiciel doit permettre un contrôle automatique de la croissance du début à la fin, avec une grande précision sur le poids et le diamètre des cristaux en cours de croissance.

- Le logiciel doit permettre à tout moment de retrouver les paramètres originels en fonction de la nature du cristal à synthétiser.

- À tout moment, il devra être possible d'arrêter manuellement le processus de croissance ou de prendre la main sur le programme.

- **Caméra**

Une caméra numérique CCD haute résolution doit être montée sur une visée, dirigée vers le bain pour visualiser l'interface solide-liquide et pouvoir suivre toutes les étapes de la croissance.

III. Localisation du dispositif

a. Implantation

L'implantation du four de croissance et de ses composants dans le local prévu à cet effet (Salle FC038 au rez-de-chaussée du bâtiment F). L'adresse exacte de la localisation est la suivante :

Salle FC038
CIMAP (UMR 6252)
ENSICAEN – 6 Bd Maréchal Juin 14050 Caen

Le futur titulaire précisera les distances nécessaires à laisser autour de l'appareil pour en assurer la maintenance.

IV. Normes et sécurité

a. Dispositions générales de sécurité

Le futur titulaire devra fournir :

- la conformité CE de l'appareil
- une attestation avec modèle, n° de série, année de construction, puissance, tension et intensité maximales
- le niveau de bruit acoustique en dB(A) émit par le four et ses composants

L'équipement doit répondre à toutes les normes de sécurité et être en conformité avec les règles d'hygiène et sécurité en vigueur. Dans une utilisation normale de l'équipement, il ne doit pas porter atteinte à l'état de santé de l'utilisateur, ni à l'intégrité du laboratoire comprenant le personnel et les autres équipements, et du bâtiment. Le futur titulaire précisera, dans sa réponse à l'appel d'offre, les normes, la réglementation et l'ensemble des spécifications de sécurité auxquelles répond l'appareil, notamment sur les aspects suivants :

- Sécurité machine et notamment conformité à la directive « machine » 2006/42/CE
- Sécurité électrique
- Compatibilité électromagnétique

D'une manière générale, le futur titulaire précisera dans sa réponse à l'appel d'offre de quelle manière les zones de danger seront rendues inaccessibles aux travailleurs (protections, contacteurs...).

Les matériaux constitutifs du four doivent permettre une isolation suffisante pour limiter tout risque de brûlure au niveau des parois du four.

Le four sera équipé d'un régulateur de sécurité permettant de couper automatiquement les éléments chauffants en cas d'élévation anormale de la température (au-delà de la consigne et au-delà de 2000°C dans tous les cas). De plus une alarme se déclenchera au niveau du pupitre de commande en cas d'élévation de température anormale.

b. Sécurité électrique

L'appareil devra être équipé d'un arrêt d'urgence (ou dispositif de coupure facilement accessible). Ce dispositif de coupure sera disposé sur le pupitre de commande.

Les installations électriques seront conçues selon les normes existantes de protection contre les risques électriques et prévoiront notamment :

- une protection contre les risques de contacts directs avec des pièces nues sous tension ;
- une protection contre les contacts indirects avec des pièces nues mises accidentellement sous tension.

c. Champs électromagnétiques

Le futur titulaire précisera les fréquences des générateurs de champs électromagnétiques. Les pictogrammes réglementaires seront apposés sur les équipements concernés. Si des protections (cage de faraday, guide d'onde...) sont

installées sur l'appareil, celles-ci seront munies d'interlocks de sécurité permettant de couper le générateur lorsque ces dernières ne sont pas correctement installées. Les valeurs de champs électromagnétiques mesurées autour du four et de ses composants (toutes parties accessibles sans démontage de capot) devront respecter les valeurs d'actions définies dans le décret n°2016-1074 du 3 août 2016 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux champs électromagnétiques.

d. Injection de gaz / vapeurs chimiques

L'appareil devra permettre un raccordement pour évacuer l'ensemble des gaz d'extraction ainsi que les vapeurs liées aux produits chimiques utilisés au réseau d'évacuation des gaz de pompes du bâtiment. Dans la mesure du possible la ligne d'alimentation en argon sera réalisée en canalisation rigide depuis le réseau existant dans la salle. En cas d'impossibilité l'alimentation sera réalisée avec des flexibles inox. Un procès-verbal d'étanchéité des lignes de gaz devra être fourni. Si des pompes à huile sont fournies un bac de rétention sera prévu sous chaque pompe.

e. Eau de refroidissement

Un débit d'eau de refroidissement insuffisant devra provoquer automatiquement une mise en sécurité de l'ensemble du dispositif (coupure électrique, arrêt du chauffage...).

V. Formation du personnel utilisateur

- Les opérateurs doivent pouvoir manipuler l'équipement. Ainsi, une formation sur site d'au moins trois jours doit être programmée lors de l'installation de l'équipement pour les personnes en relation directe ou indirecte avec la machine et ses composants (3 personnes minimum).
- Dans cette formation, il sera exigé que les gestes de sécurité (ou éventuellement les l'utilisation des EPI) soient clairement décrits afin d'éviter tout risque d'accident y compris lors des opérations de maintenance et d'entretien du matériel. De plus, cette formation doit permettre au personnel une utilisation rapide, autonome et optimale du four de croissance et de ses composants (ordinateurs, système de pilotage, balance etc...). Ainsi, un programme de formation sera demandé dans le livrable.
- Les frais de déplacement et de séjour du personnel formateur devront être intégrés dans le prix d'achat de l'équipement. En plus des notices explicatives (documentation technique), la mise à disposition gratuite de tutoriels d'utilisation pour les utilisateurs de notre laboratoire sera fortement appréciée.

VI. Délais de livraison, d'installation

- La livraison, l'installation et la formation à l'équipement devront être effectuées dans les délais indiqués lors de la notification du marché (avant mi-juillet 2027).

- Les tests seront effectués au moment de l'installation ou dans la semaine suivante en présence des membres de l'équipe. Le responsable sécurité du laboratoire pourra aussi assister à la formation.

Un plan de prévention sera établi avec le futur titulaire avant le début des interventions. Ce dernier devra prévoir tous les matériels nécessaires à l'installation de l'appareil sur site.

Une procédure de maintenance doit être établie (qui fait quoi et quand)

VII. Garantie (délai d'intervention, durée)

Une garantie minimale de 2 ans pièces et main d'œuvre, déplacement et intervention dans un délai de **2 semaines** maximum est exigée.

Elle doit couvrir l'ensemble des équipements installés par le titulaire. Elle subviendra à toute panne qui n'est pas liée à une erreur de manipulation et interviendra aussi pour corriger d'éventuelles pertes des performances évaluées lors des tests de réception.

VIII. Contact

Pour tous les renseignements, merci de nous contacter par le biais de notre profil d'acheteur sur : www.marches-publics.gouv.fr