Institut FEMTO-ST

15 B avenue des Montboucons
25030 BESANCON

Cahier des Clauses Techniques Particulières
en vue de l'achat d'un équipement de gravure plasma pour matériaux isolants et piézoélectriques

I - Objet de la consultation

Le présent Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) définit les spécifications techniques et les exigences relatives à l'acquisition, l'installation, la mise en service, la formation, la garantie et le support technique d'un équipement de gravure par plasma de type DRIE (Deep Reactive Ion Etching). Cet équipement est destiné à être intégré dans un environnement de microfabrication type salle blanche, il permettra de réaliser des gravures par plasma fluorés sur divers matériaux diélectriques et piézoélectriques comme le quartz, le verre, le niobate de lithium, le tantalate de lithium ainsi que des couches minces métalliques (titane, chrome, cuivre).
Les usinages réalisés devront permettre d'obtenir des facteurs de forme élevés, des profondeurs de gravure importantes, des flancs de gravure peu rugueux, des fonds de motifs peu rugueux, une bonne uniformité de gravure avec une vitesse de gravure importante pour certains matériaux et avec une reproductibilité des résultats.
L'équipement devra être compatible avec le craqueur de gaz déjà présent à la centrale MIMENTO, à savoir, un UPAS Evolution 1 de chez Air Liquide. L'offre devra spécifier si un nouveau craqueur est nécessaire en précisant ses spécifications.
L'équipement devra être compatible avec le système de verrouillage d'utilisation de l'équipement nommé CROSS décrit un peu plus loin dans le document.

L'équipement recherché devra être obligatoirement une machine neuve et capable de traiter des substrats de taille variable : depuis le morceau de quelques dizaines de mm² jusqu'au wafer 4 pouces. L'équipement sera fourni avec tous les kits et accessoires nécessaires à la réalisation de cette condition.

Le marché comprend :

- la livraison de l'équipement complet avec ses accessoires,
- son installation dans les locaux de l'institut FEMTO-ST,
- la mise en service technique et fonctionnelle,
- la formation des ingénieurs en charge de l'équipement,
- la garantie d'un fonctionnement optimal,
- un support technique et un plan de maintenance préventive et curative.

Le fournisseur devra assurer la conformité du système aux normes de sécurité, aux exigences environnementales, et aux contraintes d'intégration en salle blanche.

Une visite de la salle blanche et plus particulièrement de l'endroit où sera placé l'équipement est possible. Il faudra prendre contact avec Samuel Queste (samuel.queste@femto-st.fr) ou Djaffar Belharet (djaffar.belharet@femto-st.fr).

II - Descriptif technique de la demande

Les offres reçues seront analysées et classées selon une **note globale sur 100 points**, établie à partir des critères suivants (les points attribués sont visibles dans le document Cadre de Réponse Technique) :

- 1°) **Prix**, analyse sur la base du prix total hors taxes de l'offre comprenant l'équipement complet, l'installation, la formation, la mise en service, la garantie, les consommables de démarrage,
- 2°) **Performances de l'équipement**, pour une gravure de quartz et de verre de 100µm d'épaisseur avec un masque en Nickel électroformé. Performances de l'équipement, pour une gravure de $LiNbO_3$ de 600nm de profondeur avec un masque de résine UV pour des motifs microniques et submicroniques, (voir critères définis au paragraphe II-1-1),
- 3°) **Qualité technique de l'équipement** (voir critères au paragraphe II-1-3),
- 4°) **Maintenance et support technique** (voir paragraphe II-1-4), les critères sont le délai d'intervention, la clarté du plan de maintenance, la disponibilité des pièces détachées,
- 5°) **Critères environnementaux**, les critères sont l'efficacité énergétique de l'équipement (équipement le moins énergivore possible), la gestion des emballages et du transport, la démarche environnementale de l'entreprise,
- 6°) **Expérience du fabricant** dans la gravure profonde du quartz, du verre, du niobate de lithium, du tantalate de lithium, et accès à la bibliothèque des recettes du fabricant concernant les procédés de gravure, le critère est le support pour les nouveaux procédés de gravure et l'accès à la base de données de l'équipementier,
- 7°) **Qualité du rapport,** Chaque équipementier devra fournir, en plus de son offre financière, un mémoire technique détaillé, un engagement environnemental (fiche ou note explicative), les fiches techniques et performances garanties de l'équipement proposé.

L'offre devra inclure une liste de clients de référence du fournisseur en France ou en Europe (en précisant le nom de l'entreprise, l'année d'achat, le type d'équipement et si possible le nom d'un contact au sein de l'entreprise).

II.1 Cahier des charges techniques

Nous exposons dans les paragraphes suivants les spécificités que nous exigeons pour cet équipement.

II.1.1 Aspects généraux

Cette machine d'usinage par attaque plasma réactive profonde (DRIE) devra être capable de réaliser des gravures de 100nm à 200µm dans différents types de matériaux isolants et piézoélectriques comme le quartz, le verre, la silice, le niobate de lithium et le tantalate de lithium. Elle devra aussi être capable de retirer des couches minces de titane, chrome et cuivre (inférieure à 200nm), ces couches faisant partie du plan métallique pour la croissance du masque dur en nickel.

La machine devra permettre d'obtenir une excellente verticalité des flancs pour l'ensemble des matériaux, avec un minimum de sous gravure, un minimum de rugosité sur les flancs de gravure, un minimum de rugosité en fond de motif (bas de tranchée) et avec la meilleure sélectivité possible avec le masque de gravure (résine et métal), pour l'ensemble des métaux gravés. La taille des motifs à graver ira de la centaine de nm à la centaine de µm, la surface à graver n'excédera pas 25% de la surface totale du wafer.

Le fabricant devra préciser dans l'offre les qualités des gravures réalisées (profondeur, vitesse de gravure, sélectivité par rapport aux masques, profils de gravure, homogénéité, reproductibilité, rugosité (fond de motif et flancs de gravure) …). Ces valeurs devront être accompagnées de photos MEB illustrant les possibilités d'usinage de l'appareil pour chaque matériau cité plus haut. Les performances annoncées devront être reproduites sur des plaquettes test lors de la réception de l'équipement.

L'équipement proposé possèdera une chambre de gravure dédiée à la chimie fluorée. Le chargement des échantillons se fera de manière automatique avec un sas de chargement.

La chambre de gravure pourra être équipée (en option) d'un porte-substrat ajustable en hauteur (distance inter-électrode), en précisant la méthode de réglage, afin de donner plus de possibilités aux chercheurs de la centrale de technologie de tester une variété de procédés.

Cet appareil sera installé dans une salle blanche et devra être compatible avec un environnement de salle blanche de classe ISO 7 et monté en passe-cloison. Les dimensions de la machine seront fournies avec l'offre. L'offre précisera aussi l'emplacement nécessaire pour son installation et les espaces nécessaires à la maintenance, ainsi que tout élément ou accessoire additionnel nécessaire à son fonctionnement.

L'équipement sera interfacé avec une unité de pilotage permettant la gestion des principaux organes en visualisant leur état sur un écran (vannes, porte-substrats, introduction des gaz, générateur, système de suivi de la vitesse de gravure etc…), et la gestion des sécurités. Le logiciel devra être convivial, facile d'utilisation, permettre la sauvegarde des procédés réalisés, compatible avec notre système CROSS (système de badgeage sur l'équipement), être mise à jour gratuitement quand cela est nécessaire et en option facultative, permettre une modification des paramètres en temps réel. Le détail de la partie logiciel est donné dans le paragraphe « interface de pilotage » en page 6.

Afin d'évaluer les propriétés des usinages obtenus (critère n°2), le fabricant devra préciser dans l'offre les propriétés des usinages obtenus sur le quartz, le verre, la silice, le niobate de lithium, le tantalate de lithium et en particulier :

- Les paramètres de mesures post-gravure seront à mettre dans un tableau :
    - La verticalité des flancs de gravure pour chaque type de matériau (proche de 90 °), (5 points),
    - La valeur de la sous gravure (undercut), gravure sous le masque qui devra être la plus faible possible, (5 points),
    - La rugosité du fond des tranchées et des flancs de gravure devra être minimale, (8 points),
    - Les facteurs d'aspect envisageables pour une ouverture de 600nm, une ouverture de 5µm et pour une ouverture de 500µm pour chaque matériau, (3 points),
    - La sélectivité par rapport à un masque de résine et un masque dur en nickel électroformé, (6 points),
    - La vitesse de gravure pour le quartz devra être supérieure à 300nm/min, (4 points),
    - L'uniformité de gravure en profondeur sur un wafer 4 pouces, (4 points).

Ces valeurs devront être justifiées et argumentées à minima au moyen de photos prises au Microscope Electronique à Balayage (MEB) illustrant les possibilités de gravure de l'appareil pour

chaque matériau (avec quelques photos significatives pour les procédés de base demandés précédemment).

Une attention particulière sera portée à la clarté et la précision du rapport.

Les performances annoncées seront contrôlées et devront pouvoir être reproduites sur des plaquettes tests de 4 pouces lors de la réception de l'équipement sur site (voir paragraphe III).

Il sera également demandé une liste de tous les matériaux pouvant être gravés dans l'équipement, avec des images MEB associées.

II.1.2 Performances des procédés attendues

Cet équipement devra permettre de travailler sur des substrats allant de l'échantillon jusqu'au wafer de 100mm de diamètre, d'épaisseur allant de 200µm à 1,5mm. Les chercheurs de la centrale MIMENTO peuvent être amenés à travailler sur des substrats de 3 ou 4 pouces. Il devra être possible de passer facilement d'un type de substrat à l'autre, avec un minimum de manipulations de la machine et sans collage.

L'équipement devra être livré avec des procédés de base permettant d'obtenir les gravures suivantes :

- 1°) Gravure de 100µm de profondeur dans un wafer de quartz ,
- 2°) Gravure de 100µm de profondeur dans un wafer borofloat 33,
- 3°) Gravure d'1µm de profondeur dans un wafer de niobate de lithium (white LN/ LNOI) avec un masque en résine UV,
- 4°) Gravure d'1µm de profondeur dans un wafer de tantalate de lithium avec un masque en résine UV,
- 5°) Gravure d'1µm de profondeur dans un wafer de niobate de lithium et de tantalate de lithium avec un masque en Nickel électroformé,
- 6°) Gravure de couches d'oxyde de silicium et de nitrure de silicium,
- 7°) Gravure des couches d'accroches métalliques (Ti, Cr, Cu).

L'ensemble des procédés de gravure devront permettre d'obtenir la meilleure sélectivité possible vis-à-vis du masque en résine photosensible et du masque en nickel électrolytique pour un taux d'ouverture inférieure à 25%. Le minimum de sous gravure sera exigé. Il faudra fournir les recettes de gravure.

Il faut que l'uniformité d'usinage en profondeur sur un wafer de 100 mm soit inférieure à 5 %.

Il faudra fournir avec l'offre :

- Des rapports détaillés mentionnant les performances garanties pour chaque type de matériau gravé,
- Des rapports présentant les résultats de tests réalisés en usine avant livraison de l'équipement sur des échantillons fournis par le demandeur.

II.1.3 Spécificités exigées de l'appareil

L'équipement de ce marché sera constitué des éléments suivants :

- Enceinte de gravure avec source plasma (l'offre précisera le type de source) et un SAS de chargement,
- Système de pompage de la chambre et du SAS,
- Porte-substrat avec générateurs RF,

- Gaz box avec système d'introduction des gaz,
- Système de mesure d'épaisseur gravée *in-situ* (détection de fin d'attaque en temps réel, OES ou interférométrie laser),
- Interface de pilotage avec ordinateur complet.

La contrainte de flexibilité souhaitée impose de pouvoir facilement configurer la machine pour changer de taille de substrat. En particulier, la machine devra permettre d'usiner les matériaux décrits précédemment dans des conditions optimales sans modifications importantes de l'équipement et sans ouverture de la chambre de gravure. Il faudra détailler la procédure pour le changement de taille de substrat.

Enceinte de gravure

La chambre devra être équipée d'une chemise chauffante ou de tout autre système permettant d'éviter la condensation des polymères sur les parois au cours des procédés de gravure.

L'offre devra préciser le type et la nature de la source employée pour la génération du plasma haute densité pour la chambre de gravure, en précisant les caractéristiques du générateur utilisé, et également les différents matériaux constituants la chambre.

Le transfert entre la chambre de gravure et le SAS devra se faire par un bras de transfert automatique en mono-wafer. Il faudra préciser le temps de transfert depuis la mise en place de l'échantillon dans le SAS jusqu'au début de la gravure.

Système de pompage

La chambre de gravure devra posséder son propre système de pompage, inclus dans l'offre, afin d'obtenir un vide satisfaisant en un temps réduit. Les types de pompe primaire et secondaire devront être clairement précisés dans l'offre. Les pompes retenues devront impérativement être compatibles avec les critères de maintenabilité fixés dans le paragraphe sur la maintenance (pièces détachées facilement disponible et délai de réparation court).

Générateurs RF

L'équipement devra être équipé des générateurs RF pour la création du plasma et la polarisation du porte substrat. L'offre devra spécifier le type du générateur et la gamme de la fréquence d'excitation utilisée. Il sera souhaitable d'indiquer si une seule source RF sera utilisée pour le BIAS ou s'il y a la possibilité de commuter d'un générateur RF à un générateur LF.

Porte-substrat

La tenue des échantillons dans la chambre de gravure se fera sans risque d'endommagement du substrat notamment pour les wafers pyroélectriques pendant la gravure, soit par un clampage électrostatique, soit par un clampage mécanique, soit un mélange des deux et sans utilisation de moyens de collage (pour les wafers 4 pouces). L'offre devra préciser si le système de clampage retenu nécessite ou non une métallisation face arrière du substrat. Le principe de clampage devra être clairement décrit dans l'offre, y compris tous les éventuels éléments annexes au clampage. Il est demandé que le fabricant montre son savoir-faire en la matière.

La régulation de température du porte-substrat devra permettre un fonctionnement à différente plage de température qui pourra varier en fonction du substrat à usiner. Le porte substrat devra

pouvoir être refroidi ou chauffé avec son propre chiller inclus dans l'offre. La gamme de température sera précisée par le fabricant de la machine.

Introduction des gaz

L'équipement devra être équipé de plusieurs lignes de gaz indépendantes avec chacune son propre régulateur de débit massique digital (Mass Flow Controller), il devra être possible de purger chaque ligne de gaz. Il faudra préciser le temps de réponse des débitmètres massiques. Il faudra indiquer le nombre maximum de lignes de gaz possibles et chiffrer le nombre de lignes gaz nécessaire pour les gravures des matériaux souhaités. Il faudra faire une liste des gaz utilisés par l'équipement.

Détection de fin d'attaque

L'équipement devra pouvoir être équipé de systèmes de mesure temps réel et in-situ. Un système de détection de fin d'attaque devra être proposé dans l'offre (OES et/ou interféromètre).

La détection de fin d'attaque devra permettre de donner en temps réel l'état de la propreté de la chambre. L'offre devra décrire de façon précise le type de détection de fin d'attaque qui sera proposée et indiquer le taux d'ouverture minimum permettant d'effectuer une détection.

Interface de pilotage

Une interface utilisateur conviviale et sécurisée devra être fournie avec l'équipement compatible avec le système de verrouillage par badgeage CROSS.
CROSS est un système de badgeage, extérieur à l'équipement, pour donner les droits d'accès aux mode Opérateur et mode Ingénieur des équipements. En mode administrateur, il faut pouvoir s'affranchir de ce système.
Le signal CROSS d'autorisation d'usage de l'équipement est un signal extérieur à l'équipement de l'appel d'offre. Il s'agit d'un signal électrique 0-24VDC avec une tension maximale <26V. La résistance d'entrée de l'interface est de 1200 Ohm ± 200 Ohm. Le raccordement à l'équipement est constitué de connecteurs 2 positions de type CTB932VD/2 ou CTB932HD/2 mâle pour bornier femelle enfichable type CTB922HD/2 au pas de 3.5 mm, section du câble de commande 17 AWG (1 mm^2).
L'usage du signal CROSS doit permettre l'autorisation de démarrer ou non un procédé (chargement/déchargement de substrat compris). La tension minimale de commande pour l'autorisation doit être supérieure à +18VDC, sinon pas de démarrage de procédé. Si un process est en cours, en cas de signal <18VDC, le process doit se terminer correctement, et une information, claire et identifiable, dans le fichier log doit apparaître si ce signal passe sous les 18VDC. L'ouverture du sas de chargement /déchargement de la machine doit se faire avec le signal supérieur à 18VDC pour les modes Opérateur et Ingénieur.
La possibilité de visualiser l'historique de la machine ou de traiter les datas, sans pouvoir démarrer une étape d'un procédé doit pouvoir se faire quand le signal CROSS est à 0VDC.

Pour distinguer les différents Modes, un code d'identification doit être nécessaire.

L'interface devra permettre de lancer des procédés de gravure en automatique, mais également de contrôler pas à pas l'ensemble des opérations. Une sauvegarde de l'ensemble des paramètres et opérations de gravure (pression, type et quantité de gaz, température, puissances, …) devra être prévue. Il doit être possible d'accéder au log complet des recettes exécutées (paramètres, durée, défaut éventuel), d'accéder à l'export des données (au format .xls, .csv ou autre format exploitable), et au monitoring en temps réel des paramètres : pressions, températures, puissances RF, débits gaz, etc.

Un maximum de fonctions de la machine doit pouvoir être contrôlées par ordinateur. Le logiciel devra si possible permettre de faire varier les paramètres de gravure au cours d'un procédé,

l'offre devra préciser la manière dont le logiciel permettra cette évolution des paramètres de gravure (variation par palier, linéaire, autres).

L'offre incluera l'ordinateur (unité centrale et écran) et les logiciels de contrôle et d'édition des procédés. Cette interface devra être compatible avec une éventuelle interconnexion à un logiciel de gestion à distance.

Le logiciel aura au minimum **cinq modes** d'utilisation :

- Mode opérateur : sélection des recettes automatiques, modification du temps de gravure ou de la profondeur souhaitée, exécution des recettes.

- Mode ingénieur : procédé semi-automatique, création et modification de recettes.

- Mode administrateur : pilotage manuel de tous les composants, création de comptes et affectation de droits aux utilisateurs.

- Mode maintenance, accessible sans passer par le système CROSS, permettant de vérifier l'état de la machine.

- Mode récupération de données sans passer par le système CROSS pour visualiser les recettes de gravure et récupérer des logs.

Raccordement aux servitudes et sécurité

La machine devra permettre des connections faciles et normalisées (système métriques et norme CE) aux servitudes standards disponibles dans la salle blanche (air comprimé, azote sec, électricité, gaz procédés, exhaust, …). Une liste détaillée des servitudes requises pour le fonctionnement de l'équipement devra être fournie avec l'offre.

L'équipement devra offrir une sécurité maximale pour les utilisateurs. L'offre devra spécifier les éléments de sécurité inclus dans l'équipement (vanne de sécurité sur les lignes de gaz, possibilité de purge, interlock, exhaust, …). Il faudra aussi spécifier les besoins en craqueurs de gaz et la compatibilité avec notre craqueur UPAS Evolution 1 de chez Air Liquide. La gaz box sera dotée d'une extraction et équipée de détecteurs de gaz. La machine devra être équipée d'un bouton d'arrêt d'urgence. L'équipement devra être compatible avec notre système CROSS de badgeage En incluant un port compatible avec la réception du signal envoyé tel que décrit précédemment (0-24VDC).

Il faudra spécifier si l'équipement possède :

- De capteurs de surveillance de pression et de température avec coupure automatique en cas de dépassement des seuils de sécurité,
- D'une détection de fuite de gaz toxiques (intégrée ou connectable à la centrale de détection de site),
- D'alarmes visuelles et sonores en cas d'anomalie ou de condition de danger,
- Système de protection contre les surtensions électriques et les défauts de terre,
- Système de contrôle des débits de gaz, avec arrêt automatique en cas de coupure, fuite ou surpression,
- Vannes de sécurité automatiques sur chaque ligne de gaz,
- Système de refroidissement monitoré, avec arrêt sécurisé en cas de défaillance du circuit de refroidissement,

Préciser le débit minimal nécessaire et la présence éventuelle d'un détecteur de débit d'extraction en précisant s'il déclenche un défaut bloquant ou informatif.

Toute machine neuve devra répondre aux exigences des articles R4311-1 et 4, et de l'article R4312-1 du code du travail ainsi qu'à la directive européenne 2006/42/CE sur les machines et tous textes modificatifs. Un matériel en provenance hors EEE, qu'il soit neuf ou d'occasion, est considéré comme neuf au sens réglementaire et devra donc répondre à ces exigences.

L'équipementier devra fournir une déclaration de conformité CE et, le cas échéant, les certificats de conformité spécifiques aux sous-systèmes sensibles (pompes à vide, générateurs RF, systèmes de refroidissement, etc.).

L'offre devra également préciser les dimensions et le poids de l'équipement et des ces périphériques.

En résumé, afin de pouvoir évaluer les spécificités techniques de l'équipement (critère n°3), l'offre devra comprendre l'ensemble des spécifications techniques de l'équipement, les coefficients donnés sont donnés dans le CRT :

- Type de matériau constituant la chambre, (informatif),
- La présence de liner
- Le temps pour le changement du liner,
- Vitesse de pompage pour la chambre (chambre de process et sas d'introduction) et temps de transfert, en combien de temps on peut faire un plasma,
- Type de régulation de pression, (informatif),
- Nombre, type et emplacement des jauges à vide sur la machine, (informatif),
- Type de porte substrat, (informatif),
- Mode de clampage, mécanique ou électrostatique, (informatif),
- Descriptif chiffré du Chuck (tension de polarisation si Chuck électrostatique, moyen de clampage si Chuck mécanique),
- Nombre, puissance et fréquence des générateurs, (informatif),
- Facilité de changer de taille de substrat,
- Pas de collage des substrats 4 pouces avec de l'huile ou de la pâte thermique,
- Temps de réponse des débitmètres massiques,
- Dimensions, une machine compacte sera privilégiée.

La marque et le modèle des éléments constituants l'équipement (pompes, jauges à vide, générateurs, débitmètres massiques, …) devront être clairement indiqués dans l'offre.

II.1.4 Maintenance et support technique

L'équipement recherché étant destiné à des applications de recherche en partenariat avec des industriels, une importance particulière sera portée aux conditions de maintenance qui pourront être proposées par l'équipementier. Celui-ci devra démontrer dans l'offre qu'il est capable de garantir une très bonne réactivité en cas de panne.

Un détail des opérations de maintenance annuelle et de leur coût devra être inclus dans l'offre. En particulier l'offre détaillera le nombre de visites de maintenance préventive nécessaire au bon de fonctionnement de l'équipement, y compris pendant la période de garantie. L'offre précisera également la liste des pièces à contrôler ou à remplacer régulièrement, les procédures de nettoyage et de recalibration recommandées et la durée typique de vie des pièces d'usure. Une documentation technique complète relative aux opérations de maintenance et à l'entretien de l'équipement devra être fournie.

L'équipementier s'engage à assurer la disponibilité des pièces détachées pendant une période minimale de 10 ans à compter de la date de livraison de l'équipement.

L'offre précisera également les conditions offertes pour la maintenance corrective (possibilité de prise en main de la machine à distance, hotline technique disponible (téléphone ou e-mail) au minimum du lundi au vendredi de 9h à 17, …) en précisant le coût d'une intervention corrective, hors de la période de garantie, et le délai standard d'intervention. Ce délai devra être inférieur à 96h, l'offre devra préciser le délai minimum d'intervention pouvant être proposé. L'offre devra indiquer la tarification détaillée de la maintenance pour une période de post-garantie (3 ou 5 ans).

Les modalités des contrats de maintenance (préventive et corrective) proposés devront être détaillées, en particulier il devra être précisé si l'ensemble des éléments de l'équipement sont maintenus par le fournisseur ou si certaines parties comme les pompes, les générateurs ou d'autres éléments sont suivis par des intervenants extérieurs.

Option obligatoire 1

*Un **contrat de maintenance** annuel incluant, à l'issue de la période de garantie, les visites de maintenance préventive préconisée (en précisant le nombre de jours) et trois à quatre visites de maintenance corrective/an pour un total de 3 jours de correctif par an, devra être proposé en option obligatoire par l'équipementier. L'offre devra inclure une explication sur les opérations réalisées lors des visites de maintenance préventives.*

Les opérations de maintenance préventives devront être programmées suivant un planning régulier à définir en début d'année en accord avec la centrale de technologie. A l'issue de chaque intervention de maintenance un rapport devra être établi et signé par le responsable local de la maintenance de l'équipement.

L'offre devra aussi préciser la nature du support technique sur le développement de procédés et sur la maintenance qui pourra être fourni à la centrale de technologie MIMENTO (nombre de personnes affectées à la maintenance, au support technique et au SAV, nombre de personnes impliquées dans la Recherche et le développement, localisation, expérience, …).

II.1.5 Critères environnementaux

Dans le cadre de la politique d'achat responsable de l'établissement, l'équipement de gravure par plasma, objet du présent marché devra répondre à un ensemble d'exigences environnementales détaillées ci-dessous. Ces exigences sont **obligatoires** et doivent être justifiées par le titulaire lors de la remise de son offre.

L'équipement devra présenter une consommation électrique optimisée en fonctionnement nominal, il devra disposer d'un mode économie d'énergie automatique ou équivalent. Une fiche de consommation d'énergétique devra être fournie, indiquant :

- La consommation annuelle estimée (en kWh/an),
- La consommation lors d'une gravure,
- La consommation en veille,
- La consommation d'azote et d'air comprimé.

L'équipement devra permettre une optimisation de la consommation de gaz fluorés (SF_6, C_4F_8, etc.) et limiter les émissions de gaz à effet de serre. L'équipementier devra fournir un bilan estimé des émissions de GES par cycle standard en sortie de la machine.

Une attention sera portée sur la réduction du bruit et des nuisances thermiques. Le niveau sonore de l'équipement devra être limité. L'équipement devra être conçu de manière à limiter les émissions de chaleur afin de réduire la charge thermique dans la salle blanche.

L'équipement devra être livré dans des emballages recyclables ou réutilisables (pas de polystyrène ou plastiques non recyclables). L'équipementier devra limiter le nombre de livraisons et favoriser les modes de transport à faible émission.

La qualité environnementale de l'équipement fera l'objet d'une pondération spécifique de 10% dans le cadre du jugement des offres.

L'offre devra décrire la démarche environnementale de l'entreprise.

II.1.6 Formation et documentation

Une documentation précisant l'effet des différents paramètres sur le résultat de la gravure devra être fourni avec l'équipement. L'ensemble des documentations (documentation technique et documentation procédés) devront être fournies en version CD ou sur clé USB et en version papier compatible salle blanche par l'équipementier identifié à l'issue de l'appel d'offre. Un manuel d'entretien complet (version papier ou électronique) devra être fourni, ainsi que les schémas électriques et pneumatiques nécessaires au dépannage de premier niveau et, si applicable, les codes d'erreurs et les procédures associées pour l'autodiagnostic.

L'offre devra inclure une formation complète et adaptée aux ingénieurs de la centrale de technologie sur site (pour 3 personnes). Cette formation se fera à la réception du matériel, et devra permettre aux personnels de comprendre :

- le fonctionnement général de l'équipement,
- de maîtriser les opérations courantes : mise en marche, arrêt, lancement de recettes, chargement des wafers,
- d'exécuter les recettes de gravure,
- de comprendre l'influence des paramètres sur la gravure,
- d'assurer la maintenance de premier niveau (nettoyage, réglages, détection de pannes simples),
- de respecter les consignes de sécurité liées à l'utilisation de gaz, du vide et aux hautes tensions.

A l'issue de la formation, une attestation individuelle de participation et un rapport de fin de formation récapitulant le contenu dispensé et les compétences acquises devra être remis à chaque personne formée.

Une formation complémentaire (optionnelle) pourra être proposer dans l'offre :

- L'approfondissement de l'optimisation des paramètres de gravure,
- Pour la maintenance de niveau 2.

II.1.7 Prestations de services demandées :

La machine devra être neuve.

Impératif de livraison : 10 mois maximum, à partir de la date de l'accusé de réception de commande.

Lieu de livraison : Maison des Microtechniques, 18, rue Alain Savary, 25000 Besançon.

Garantie du matériel commandé : 12 mois minimum, date de livraison, pièces et main d'œuvre. Si cela s'applique à son équipement, l'équipementier s'engage à communiquer au groupe technique de FEMTO-ST les modifications software (upgrade, nouvelle version, corrections, …) et à les installer gratuitement pendant la période de garantie. Après la garantie, les améliorations seront négociées, par contre les corrections de bugs resteront gratuites.

Formation et documentation : Documentation et formation sur le site de livraison incluses. Cette formation devra comprendre une partie sur les procédés d'usinage et une partie sur la maintenance de premier niveau de la machine.

Livraison et Installation : La livraison et l'installation seront comprises dans l'offre. L'installation comprendra :

- Le déchargement de la machine du camion (pas de quai de déchargement disponible), le déballage, le positionnement, l'assemblage des différents modules,
- Branchement aux servitudes disponibles sur site (électricité, gaz, vide, refroidissement, air comprimé, azote, etc.),
- Les réglages initiaux et les calibrations éventuelles,
- La validation des procédés d'usinage sur des échantillons tests.

De manière générale, les équipements et l'ensemble de leurs périphériques devront être livrés propres et conditionnés de manière sérieuse et appropriée à une utilisation en salle blanche. Il faudra prendre en compte les contraintes spécifiques liées à la salle blanche. Il faudra aussi fournir un plan d'implantation détaillé (dimensions, dégagements, évacuation, …) et une fiche des besoins techniques (alimentation électrique, gaz, débit, pression, compatibilité électromagnétique, etc.).

L'ensemble des opérations d'installation sera réalisé par le personnel de l'équipementier, qualifié et habilité.

L'équipementier procédera à la mise en service complète de l'équipement, comprenant :

- Les tests de fonctionnement sur site (mise sous vide, génération plasma, débit gaz, stabilité des paramètres…),
- L'exécution de recettes de gravure de démonstration, validant la performance et la conformité aux spécifications techniques du marché,
- La vérification de la sécurité de l'équipement et de ses systèmes de protection (coupures, alarmes, conformité électrique et fluidique).

Un rapport de mise en service devra être remis à l'acheteur, attestant :

- Des performances obtenues,
- Du bon fonctionnement de tous les sous-systèmes,
- Du respect des normes de sécurité,
- De la conformité de l'installation aux exigences contractuelles.

L'équipementier devra :

- Prévenir au moins 15 jours ouvrés à l'avance de la date de livraison prévue,
- Garantir un emballage sécurisé, adapté au transport et respectueux de l'environnement (cf clause critères environnementaux),
- Fournir les consommables de mise en route de l'équipement,
- Fournir les câbles, adaptateurs, outils ou composants nécessaires à la connexion aux réseaux (alimentation, gaz, vide, etc.).

Les plateaux de transport, palettes et caisses d'emballage devront être adaptés aux poids et volumes des éléments afin d'assurer un transport sécurisé et éviter par la suite tout litige lié à un mauvais conditionnement.

III – Modalités de réception de l'équipement

Les tests décrits ci-dessous conditionnent l'acceptation finale de l'équipement sur le site de FEMTO-ST. Tous les tests doivent être réussis pour que l'acceptation sur site soit validée.

Ensuite, il y aura une période de vérification de l'équipement décrite à l'article 13 du CCAP. A l'issue de cette période, nous procéderons au paiement du solde du prix de la machine et la période de garantie pourra commencer.

Pour la réception de l'équipement, les tests suivants devront être réalisés :

ID	Contrôle de:	Commentaires
T-01	Vérification de la conformité de l'équipement avec les caractéristiques décrites dans le CCTP	
T-02	Vérification des performances de l'équipement	Vitesse de pompage, vide limite de la chambre et du SAS, transfert des wafers, …
T-03	Test arrêt d'urgence et redémarrage	Après arrêt d'urgence, l'équipement doit pouvoir redémarrer sans intervention hardware
T-04	Chargement/déchargement	Chargement/déchargement successif de 5 wafers sans erreur

ID	Contrôle de	Commentaires	Critère d'acceptation
T-05	Gravure d'un wafer de quartz d'une profondeur de 100µm avec des motifs microniques	Sur wafer 4 pouces en quartz coupe AT 36° avec un masque en nickel électrolytique, on devra vérifier l'absence de sous gravure, une verticalité proche de 90°, l'absence de micro-masquage et un fond de motif le moins rugueux possible. Le wafer 4 pouces ne devra pas être cassé, ni collé sur un autre support.	Conforme aux valeurs indiquées dans l'offre
T-06	Gravure d'un wafer de niobate de lithium d'une profondeur de 600nm avec des motifs microniques	Sur wafer 4 pouces en niobate de lithium (Black Niobate Y-128°) avec un masque en résine, on devra vérifier l'absence de sous gravure, que les flancs de gravure et le fond de tranchées soient les moins rugueux possibles (<10nm en Ra). Le wafer 4 pouces ne devra pas être cassé, ni collé sur un autre support.	Conforme aux valeurs indiquées dans l'offre

La réception au laboratoire sera effectuée avec des plaques test fournies par FEMTO-ST.
Les caractérisations post-gravure seront réalisées au laboratoire avec les outils de caractérisation disponibles dans la centrale de technologie (MEB, Profilomètre, …)

IV – Rappel des options obligatoires

L'offre devra inclure les options obligatoires suivantes :

- Le coût d'une extension de garantie d'un an,

- Formation complémentaire sur l'approfondissement de l'optimisation des paramètres de gravure et/ou formation pour la maintenance de niveau 2.

V – Rappel des options facultatives

L'offre pourra inclure les options facultatives suivantes :

- Modification des paramètres du plasma en temps réel,
- Porte-substrat ajustable en hauteur,
- Prix des lignes de gaz additionnelles (avec contrôleurs de débits),
- Prix d'un contrat de maintenance annuelle

A…… Le, ……....

Lu et approuvé
L'entreprise, (cachet et signature)