Acheteur public : CNRS Délégation Régionale Hauts-de-France

Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

Numéro de la consultation : 202621

Objet de la consultation : Acquisition, installation et mise en service d'un ellipsomètre spectroscopique couvrant la gamme spectrale FUV-NIR

Procédure de passation : Appel d'offres ouvert

iemn
Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie

Table des matières

Table des matières 2
1. Objet du marché 4
2. Contexte institutionnel et technologique 4
2.1. Établissement utilisateur 4
2.2. Plateforme CMNF et réseau RENATECH 4
2.3. Justification du besoin 4
3. Besoin fonctionnel 5
3.1. Fonction principale 5
3.2. Grandeurs accessibles et paramètres déterminés 5
3.3. Types d'échantillons et domaines d'application 5
4. Spécifications techniques de l'équipement 5
4.1. Gamme spectrale 5
4.2. Géométrie de mesure 6
4.3. Système optique 6
4.4. Positionnement de l'échantillon 6
4.5. Échantillonnage et automatisation 7
4.6. Logiciel de pilotage et d'analyse 7
4.7. Modularité et évolutivité 7
4.8. Précision et répétabilité 7
4.8.1. Paramètres ellipsométriques 8
4.8.2. Répétabilité des mesures 8
4.8.3. Mesure des couches minces 8
4.8.4. Précision angulaire 8
4.8.5. Stabilité et dérive 8
4.8.6. Validation métrologique 9
5. Sécurité, conformité et documentation 9
5.1. Conformité réglementaire et sécurité 9
5.2. Documentation à fournir 9
6. Livraison et installation : contraintes logistiques et exigences salle blanche 9
6.1. Transport et livraison 9
6.2. Installation 10

6.3. Planning 10
7. Réception et critères associés 10
8. Formation 11
9. Garantie et service après-vente 11
9.1. Garantie 11
9.2. Maintenance hors garantie 11
10. Aspects environnementaux 11

1. Objet du marché

Le présent marché a pour objet la fourniture, l'installation, la mise en service, la formation des utilisateurs, la garantie et le service après-vente d'un ellipsomètre spectroscopique couvrant la gamme spectrale FUV–NIR.
L'équipement est destiné à la caractérisation non destructive de matériaux et de films minces et sera installé au sein de la Centrale de Micro Nano Fabrication (CMNF) de l'Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN), plateforme technologique intégrée au réseau RENATECH.

2. Contexte institutionnel et technologique

2.1. Établissement utilisateur

L'IEMN est une Unité Mixte de Recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), implantée à Villeneuve d'Ascq, dans la région Hauts-de-France. Il est placé sous la tutelle du CNRS, de l'Université de Lille, de l'Université Polytechnique Hauts-de-France, de l'École Centrale de Lille et de Junia.
L'institut mène des activités de recherche et de développement dans les domaines de l'électronique, de la microélectronique et des nanotechnologies et constitue un acteur majeur de l'écosystème scientifique et technologique régional et national.

2.2. Plateforme CMNF et réseau RENATECH

La CMNF est une plateforme mutualisée disposant d'environ 1 600 m² de salles blanches et d'un parc d'équipements de micro- et nano-fabrication accessibles aux utilisateurs académiques et industriels dans le cadre du réseau RENATECH.
L'équipement objet du présent marché devra être compatible avec un usage mutualisé, intensif et multi-utilisateurs, conforme aux exigences d'une plateforme nationale.

2.3. Justification du besoin

Dans le cadre du projet IMITECH du CPER 2021 – 2027 porté par l'IEMN, du projet SPINMAT du PEPR SPIN, notamment financé dans le cadre de l'ANR-22-EXSP-0007, ainsi que des financements du Réseau Technologique de Base (RTB), qui s'inscrivent dans une dynamique de recherche et d'innovation en micro-nanotechnologies, en matériaux intelligents et en technologies avancées de fabrication, l'ellipsométrie constitue un outil de caractérisation indispensable.
De façon générale, l'ellipsométrie permet de mesurer des propriétés telles que l'épaisseur des couches minces, les constantes optiques (n, k), la rugosité de surface et d'interface, le coefficient d'absorption, la bande interdite optique, la composition des alliages, la porosité, la cristallinité, la morphologie, la matrice de Mueller et la dépolarisation.
Ces données sont déterminantes pour le développement et la caractérisation de dispositifs avancés. L'actuel ellipsomètre de l'IEMN, acquis en 2001, ne peut plus bénéficier de la maintenance du constructeur, rendant son remplacement impératif.

3. Besoin fonctionnel

3.1. Fonction principale

Le système devra permettre la caractérisation ellipsométrique spectroscopique non destructive de matériaux et de films minces par la mesure des paramètres ellipsométriques en fonction de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence.

3.2. Grandeurs accessibles et paramètres déterminés

L'équipement devra permettre la détermination, par modélisation :

- des paramètres ellipsométriques spectraux (Ψ, Δ et/ou équivalents) ;
- de l'épaisseur des couches minces, allant de l'ordre de l'angström à plusieurs micromètres ;
- des constantes optiques (n et k) ;
- de la matrice de Mueller ;
- de la rugosité de surface ;
- de la porosité du matériau ;
- des propriétés optiques de structures multicouches ;
- des paramètres liés à l'anisotropie optique et aux propriétés magnéto-optiques des matériaux.

3.3. Types d'échantillons et domaines d'application

Le système devra permettre l'analyse d'échantillons :

- solides, plans ou faiblement courbés ;
- opaques, semi-transparents ou transparents ;
- constitués de matériaux diélectriques, semi-conducteurs, métalliques ou polymères ;
- constitués de matériaux magnéto-optiques ;

Le système devra être adapté aux applications suivantes :

- recherche et développement (R&D) ;
- caractérisation de matériaux pour la microélectronique, l'optique, l'énergie, les revêtements fonctionnels et les matériaux avancés.

4. Spécifications techniques de l'équipement

L'instrument proposé devra être basé sur une acquisition par balayage spectral utilisant un détecteur monocanal. Cette architecture devra permettre de définir librement le pas spectral d'acquisition afin d'optimiser, selon les besoins expérimentaux, le compromis entre la résolution spectrale et la durée des mesures. Cette exigence exclut par conséquent toutes les architectures dans lesquelles le spectre est acquis simultanément dans sa totalité.

4.1. Gamme spectrale

- l'équipement devra couvrir une gamme spectrale continue de l'UV profond (FUV) au proche infrarouge (NIR) ;
- la gamme minimale exigée sera comprise entre 200 nm et 2 100 nm ;

4.2. Géométrie de mesure

- le système devra être un ellipsomètre à angle d'incidence variable ;
- la variation de l'angle devra être motorisée et pilotable par logiciel ;
- la plage angulaire minimale devra permettre des mesures comprises entre 45° et 90° ;
- le candidat indiquera la précision d'angle ;
- le système devra intégrer un accessoire pour la réalisation de mesures en transmission.

4.3. Système optique

Le système optique devra intégrer :

- une source lumineuse polychromatique couvrant la gamme spectrale exigée ;
- la taille minimale du spot d'analyse devra être de moins de 250 µm. Le candidat précisera les tailles de spot disponibles ;
- une caméra permettant la visualisation de l'échantillon ainsi que la localisation précise et la matérialisation du point d'analyse.
- un système de polarisation et d'analyse permettant la mesure spectroscopique des paramètres ellipsométriques ;
- la fréquence de modulation devra être la plus élevée possible afin de réduire les temps d'acquisition tout en garantissant un rapport signal sur bruit élevé ;
- une chaîne de détection spectrale assurant une résolution adaptée à la modélisation fine des matériaux. Le rapport signal/bruit devra être compatible avec la mesure fiable de films ultraminces (< 1 nm).

4.4. Positionnement de l'échantillon

Le système devra être équipé de platines de positionnement (translation et rotation) adaptées aux différents types d'échantillons et aux différentes configurations de mesure.
Le système devra comporter une platine de translation motorisée à deux axes, destinée à la réalisation de cartographies des propriétés optiques, offrant une course utile minimale de 50 mm × 50 mm.
En complément, le système devra intégrer, éventuellement sous la forme d'une platine interchangeable, une platine de rotation motorisée permettant l'orientation angulaire de l'échantillon autour d'un axe situé dans le plan d'incidence. Cette platine devra autoriser une rotation continue sur 360° et être associée à deux platines de translation manuelles assurant un positionnement précis suivant deux directions orthogonales.
Le candidat indiquera les courses utiles maximales des déplacements pour chacune des platines proposées.
Le candidat pourra également proposer une solution intégrée combinant, sur une même platine, les fonctions de translation motorisée et de rotation motorisée.

Le système devra être compatible avec la réalisation de mesures sur des échantillons placés sous champ magnétique. A ce titre, les éléments du support d'échantillon et, plus généralement, les composants situés à proximité immédiate de l'échantillon susceptibles d'interagir avec le champ magnétique devront être réalisés en matériaux non magnétiques (aluminium, laiton, etc.) ou présenter des caractéristiques compatibles avec l'application du champ magnétique.

Les éléments de la platine de positionnement situés à proximité de l'échantillon devront être conçus et disposés de manière à limiter autant que possible toute perturbation du champ magnétique appliqué. La présence de petites pièces ou composants métalliques susceptibles d'être légèrement magnétiques ou

ferromagnétiques, tels que des vis, fixations ou éléments mécaniques internes, ne constituera pas en elle-même une non-conformité, dès lors que leur présence et leur positionnement n'entraînent pas de perturbation significative du champ magnétique au niveau de l'échantillon.

Le candidat précisera, dans son offre, les matériaux constitutifs des éléments du support d'échantillon et des composants situés à proximité immédiate de celui-ci, ainsi que, le cas échéant, les précautions prises pour limiter les perturbations du champ magnétique.

Le candidat pourra proposer la fourniture de porte-substrats adaptés à des mesures sous champ magnétique, permettant l'application d'un champ magnétique selon une orientation planaire et/ou perpendiculaire à la surface de l'échantillon. Le candidat précisera les caractéristiques de ces porte-substrats ainsi que les conditions et limites d'utilisation associées.

4.5. Échantillonnage et automatisation

Le système devra permettre :

- l'acquisition multi-angles automatique ;
- la répétabilité du positionnement des échantillons ;
- la mise en œuvre d'options de cartographie spatiale (mapping).

4.6. Logiciel de pilotage et d'analyse

L'instrument devra être fourni avec son PC sous Windows 11 (ou version ultérieure), ou équivalent et un logiciel de pilotage permettant :

- le pilotage complet de l'instrument ;
- l'acquisition automatisée des données ;
- l'acquisition, le traitement et la visualisation des données en temps réel.
- la détermination des coefficients de la matrice de Mueller. Le candidat précisera le nombre de coefficients pouvant être déterminés par l'instrument.
- la modélisation optique avancée des structures analysées ;
- l'ajustement numérique des données expérimentales ;
- l'exportation des données et résultats dans des formats standards.

Le logiciel devra également intégrer une bibliothèque de matériaux ainsi que des modèles de dispersion.

4.7. Modularité et évolutivité

L'équipement devra permettre :

- l'ajout ultérieur d'extensions spectrales. Le candidat précisera les extensions disponibles.

Le candidat fournira une liste exhaustive des cellules environnementales disponibles et compatibles avec le système, en précisant notamment les solutions permettant des mesures sous température contrôlée, atmosphère contrôlée, champ électrique, champ magnétique et en milieu liquide.

4.8. Précision et répétabilité

Le système devra garantir des performances métrologiques adaptées à la caractérisation de couches minces, de matériaux avancés et de structures multicouches dans un environnement de recherche et de développement.

4.8.1. Paramètres ellipsométriques

Le candidat devra préciser les performances garanties du système concernant :
- la résolution sur les paramètres ellipsométriques Ψ et Δ ;
- l'exactitude des mesures de Ψ et Δ ;
- la stabilité des mesures dans le temps ;
- les méthodes utilisées pour caractériser ces performances.

4.8.2. Répétabilité des mesures

Le système devra assurer une excellente répétabilité des mesures réalisées sur un même échantillon dans des conditions identiques.

Le candidat devra préciser :
- la répétabilité sur les paramètres Ψ et Δ ;
- la répétabilité sur les épaisseurs déterminées par modélisation ;
- les conditions expérimentales utilisées pour établir ces performances.

Ces performances pourront être vérifiées lors de la réception de l'équipement.

4.8.3. Mesure des couches minces

Le système devra permettre la caractérisation de couches ultraminces dont l'épaisseur est inférieure au nanomètre ainsi que de couches de plusieurs micromètres d'épaisseur.
Le candidat précisera :
- les limites de détection atteignables ;
- les performances de mesure sur des couches ultraminces ;
- les incertitudes associées aux mesures d'épaisseur.

4.8.4. Précision angulaire

Le système devra disposer d'un dispositif de positionnement angulaire motorisé assurant une excellente reproductibilité des mesures.
Le candidat devra préciser :
- la résolution angulaire ;
- la précision absolue du positionnement ;
- la répétabilité du positionnement angulaire.

4.8.5. Stabilité et dérive

Le système devra présenter un niveau de stabilité compatible avec des acquisitions prolongées et des campagnes de mesures répétées. Il devra être conçu pour un usage intensif, avec une attention particulière portée à la robustesse, la durabilité et la fiabilité des composants optiques rotatifs.

Le candidat devra préciser :

- la dérive maximale des paramètres ellipsométriques ;
- les conditions environnementales associées à ces performances ;
- les procédures de vérification et de recalibration recommandées.

4.8.6. Validation métrologique

Le titulaire devra fournir lors de la livraison :

- les certificats d'étalonnage et de vérification disponibles ;
- la description des procédures d'étalonnage du système ;
- les performances métrologiques garanties par le constructeur ;
- les matériaux ou échantillons de référence utilisés pour la qualification de l'équipement.

5. Sécurité, conformité et documentation

5.1. Conformité réglementaire et sécurité

L'équipements fourni devra être conforme à la réglementation française et européenne en vigueur et porter le marquage CE.
Ils devront satisfaire aux exigences applicables en matière de sécurité des équipements, de sécurité électrique et de compatibilité électromagnétique (CEM).
L'équipement devra être compatible avec une alimentation électrique 230 V monophasée – 50 Hz, sauf spécification contraire.
Le fournisseur devra fournir la déclaration UE de conformité ainsi que l'ensemble des documents attestant du respect des normes et directives applicables.
L'équipement devra être compatible avec une utilisation en salle blanche.

5.2. Documentation à fournir

Le titulaire fournira au plus tard lors de la livraison :

- la documentation technique complète ;
- les consignes de sécurité ;
- les supports de formation à l'utilisation et à la maintenance.

Une version numérique de l'ensemble des documents est exigée.

6. Livraison et installation : contraintes logistiques et exigences salle blanche

6.1. Transport et livraison

Le délai de livraison ne devra pas excéder 6 mois à compter de la notification du marché.
Le titulaire prendra en charge le transport et la livraison jusqu'à la salle blanche de l'IEMN.

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

CNRS - IEMN - UMR8520

Cité Scientifique

Avenue Poincaré

CS 60069

59652 Villeneuve d'Ascq Cedex

France

La livraison s'effectue au rez-de-chaussée. Le déchargement du camion est à la charge du candidat.

L'IEMN possède un quai de déchargement avec un seuil de 60 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 » si besoin (l'IEMN ne disposant pas de chariot élévateur).

La fourniture de l'outillage nécessaire au transport et à la manipulation est à la charge du titulaire. 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.

Les équipements destinés à être installés en salle blanche devront faire l'objet d'un nettoyage approfondi avant expédition afin d'éliminer toute source de contamination particulaire ou chimique. Les éléments entrant en salle blanche devront être conditionnés sous double emballage compatible salle blanche, permettant un déballage progressif maîtrisé. L'utilisation de matériaux de type bois, carton ou papier non compatibles salle blanche est proscrite.

6.2. Installation

Les équipements devront être compatibles avec une installation en salle blanche.
Le fournisseur devra communiquer :

- les dimensions exactes ;
- les masses ;
- les contraintes d'implantation.

Cette liste devra être transmise au plus tard un mois après notification du marché.

6.3. Planning

Le fournisseur indiquera au plus tard un mois après notification du marché, :

- la date prévisionnelle de livraison ;
- le planning d'installation ;
- les dates prévisionnelles des essais de réception ;
- la date prévisionnelle de formation.

7. Réception et critères associés

La réception définitive sera prononcée après :

- l'installation complète de l'équipement ;
- la réalisation des essais prévus par le fournisseur ;
- la vérification de conformité aux exigences du présent CCTP.

Aucune pré-réception en usine n'est prévue.

8. Formation

A l'issue des essais de réception, le titulaire assurera une formation initiale d'une durée minimale d'une journée pour trois personnes.
Cette formation couvrira :

- la prise en main de l'équipement ;
- son utilisation en conditions normales ;
- les opérations de maintenance de premier niveau ;
- les règles de sécurité associées.

9. Garantie et service après-vente

9.1. Garantie

La durée minimale de garantie exigée sera de 12 mois à compter de l'admission définitive de l'équipement.
La garantie couvrira :

- les pièces détachées ;
- la main-d'œuvre ;
- les frais de déplacement ;
- les mises à jour logicielles.

9.2. Maintenance hors garantie

Le candidat devra préciser les modalités de maintenance préventive et corrective proposées hors période de garantie, les délais d'intervention associés, ainsi que les conditions de disponibilité et d'approvisionnement des pièces détachées, notamment en cas d'intervention urgente.

10. Aspects environnementaux

Le candidat devra préciser :

- la consommation électrique de l'équipement ;
- les éventuelles fonctionnalités d'économie d'énergie ;
- l'empreinte carbone associée à la fabrication et à la livraison ;
- les possibilités de reprise ou de recyclage des consommables et équipements en fin de vie.