



université PARIS-SACLAY

'DÉVELOPPEMENT D'UN MICROSCOPE À FORCE ATOMIQUE MÉTROLOGIQUE' PAR BENOÎT POYET

Présentée par : Monsieur Benoît POYET Discipline : Optoélectronique Laboratoire : LISV

Les microscopes en champ proche sont très largement utilisés pour caractériser des propriétés physiques à l'échelle du nanomètre. Afin d'assurer la cohérence des mesures et l'exactitude des résultats mesurés, ces microscopes ont besoin d'être étalonnés périodiquement. Ce raccordement à la définition de l'unité de longueur est assuré par le biais d'étalons de transfert dont les caractéristiques dimensionnelles peuvent être mesurées à l'aide d'un microscope à force atomique métrologique.

Les travaux réalisés au cours de cette thèse ont pour but de développer en France le premier microscope à force atomique métrologique (mAFM) capable d'étalonner ces échantillons de référence. Il s'agit d'un AFM dont les courses disponibles sont de 60 μm dans le plan horizontal et 15 μm suivant l'axe vertical. Les mesures de la position relative de la pointe AFM par rapport à l'échantillon sont réalisées à l'aide d'interféromètres différentiels dont la longueur d'onde est étalonnée afin d'assurer un raccordement direct à la définition du mètre étalon. Les incertitudes de mesure de la position de la pointe par rapport à l'échantillon sont de l'ordre du nanomètre.

Quatre axes de développement concourent à cet objectif : (i) la minimisation des erreurs d'Abbe, (ii) l'optimisation de la chaîne métrologique, (iii) la réduction des effets thermiques sur le processus de mesure et (iv) l'optimisation des mesures interférométriques dans l'air ambiant.

Abstract :

Scanning probe microscopes are very well used for characterization at the nanometer scale. To ensure the measurement coherency and the accuracy of the results, those microscopes need to be periodically calibrated. It's done thanks to reference standards whose dimensional characteristics are measured by a metrological atomic force microscope (mAFM) for example.

The aim of this thesis work is to develop in France the first metrological atomic force microscope in order to calibrate the reference standards that are used in scanning probe microscopy. Displacement range is about 60 μm in the horizontal plane and 15 μm along the vertical axis. Dimensional measurements of the tip-sample relative position are achieved with four differential interferometers whose laser wavelengths are calibrated in order to perform direct traceability to the length standard. The tip sample relative position uncertainty is about one nanometer for the whole range.

The conception of this metrological AFM is lead through four main design rules: (i) the minimization of Abbe errors, (ii) the optimization of the metrological loop, (iii) the reduction of thermal effects during the measurement process and (iv) the optimization of ambient interferometrical measurement.

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Frédérique DE FORNEL, *Directrice de Recherche*, à l'Université de Bourgogne/Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne - UMR CNRS 2509 - Dijon - Rapporteur

Yannick DE WILDE, *Chargé de Recherche*, Habilité à Diriger des Recherches, à l'École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris/Laboratoire d'Optique Physique - Paris - Rapporteur

Yasser ALAYLI, *Professeur des Universités*, à l'Université de Versailles

Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Ingénierie et Systèmes de Versailles (LISV) -
Velizy - Directeur de Thèse

Luc CHASSAGNE, *Professeur des Universités*, à l'Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines/Laboratoire d'Ingénierie et Systèmes de Versailles (LISV) -
Versailles - Examineur

Jennifer DECKER, *Docteur, Habilitée à Diriger des Recherches*, au Conseil National
de Recherches Canada/NRC Institute for National Measurement Standards - Ottawa
(Canada)- Examineur

Sébastien DUCOURTIEUX, *Ingénieur de Recherche*, au Laboratoire National de
Métrologie et d'Essais - Trappes - Examineur

Contact : dredval service FED : theses@uvsq.fr