

Micro- et nano-optique

1 Introduction

Ce chapitre a pour but de fournir quelques notions très élémentaires sur les méthodes optiques concernant des micro- ou nano-objets. On peut soit chercher à observer des objets de dimensions comparables ou inférieures à la longueur d'onde de la lumière visible, soit utiliser de tels objets pour réaliser une fonction optique.

2 Travail en salle blanche

La fabrication ou la manipulation d'objets nano-structurés nécessite des conditions particulières : en effet, l'échantillon considéré ne doit pas être pollué par des particules de poussière de taille comparable. Par conséquent, on doit travailler dans une salle propre souvent appelée salle blanche. Il existe différents degrés de propreté pour une salle blanche, fixés par une norme internationale, qui représentent un certain nombre maximal de particules d'une certaine taille autorisé par m^3 . Les salles ISO 1 sont les plus strictes, et les ISO 9 les moins strictes. Une salle ISO N admet $10^N \cdot (10^{-7}/D)^{2,08}$ particules de taille D par m^3 .

Pour éviter que des particules n'entrent dans la salle blanche, celle-ci est généralement en surpression par rapport à l'extérieur, et des flux d'air dits laminaires plaquent les poussières au sol.

Il est à noter cependant que certaines salles blanches de biologie sont en sous-pression pour éviter qu'un microbe puisse en sortir.

3 Micro-optique

Il existe des composants connus sous les acronymes MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) ou MOEMS (Micro Opto-Electro-Mechanical Systems) qui sont structurés à l'échelle de la longueur d'onde et permettent la manipulation de la lumière.

Un exemple est la réalisation de matrices de micro-miroirs qui peuvent s'incliner dans différentes directions, et ainsi renvoyer ou non la lumière dans une direction donnée. Cela permet de réaliser des images de très bonne qualité lorsqu'un tel système est implanté dans un vidéo-projecteur.

4 Nano-matériaux

4.1 Conditions de fabrication et de sécurité

Comme on l'a déjà mentionné, les nano-matériaux ne doivent pas être contaminés par de petites particules : cela nécessite de travailler en salle blanche, avec une blouse, des gants et un masque.

Comme les nano-matériaux sont si petits qu'ils sont susceptibles de pénétrer dans le corps humain avec des risques de toxicité, cet équipement protège également le manipulateur.

4.2 Microscope à force atomique

Le microscope à force atomique (AFM pour Atomic Force Microscope) est un dispositif permettant d'étudier / observer des nano-objets. Il consiste en une pointe très fine que l'on déplace juste au-dessus de l'objet à étudier. Les atomes constituant l'objet exercent une force (attractive ou répulsive) sur la pointe. Si on parvient à mesurer la force exercée sur la pointe, on obtient une détermination de l'état de surface de l'objet à l'échelle nanométrique.

Pour mesurer la force, de l'ordre du nN, on relie la pointe à une tige souple qui lui est perpendiculaire et qui se déforme lorsque la pointe est attirée ou repoussée par l'échantillon. On pose un miroir sur cette tige, qui est éclairé par un laser. Lorsque l'attraction ou la répulsion de la pointe change, la direction du faisceau laser change.

Pour mesurer des changements de direction si petits, on utilise quatre photodiodes formant un carré. En l'absence d'objet, le faisceau laser éclaire le centre du carré, et donc les quatre photodiodes à parts égales. En présence d'objet, le faisceau est par exemple dévié vers le haut, et les deux photodiodes du bas ne sont plus autant éclairées que celles du haut. Cette légère différence de luminosité est mesurable et permet de déterminer la déviation de la pointe et donc le profil de l'objet.

4.3 Microscope confocal

Un microscope confocal est un microscope optique qui permet le plus souvent d'observer un objet fluorescent éclairé par laser. La difficulté d'observation de certains objets vient de la faible profondeur de champ à fort grossissement : seule une partie de l'objet est nette, et la lumière qui nous en parvient est polluée par celle qui vient des parties floues. L'idée essentielle du microscope confocal est d'ajouter un sténopé (pinhole) pour filtrer la lumière de fluorescence de l'objet et ne laisser passer que celle provenant d'une région de fine épaisseur (typiquement 500 nm) de l'objet. En déplaçant l'objet finement à l'aide de cales piézo-électriques, on peut réaliser des images de différentes couches de l'objet, et le reconstituer ensuite en 3D.

La figure 1 illustre le schéma de principe d'un microscope confocal.

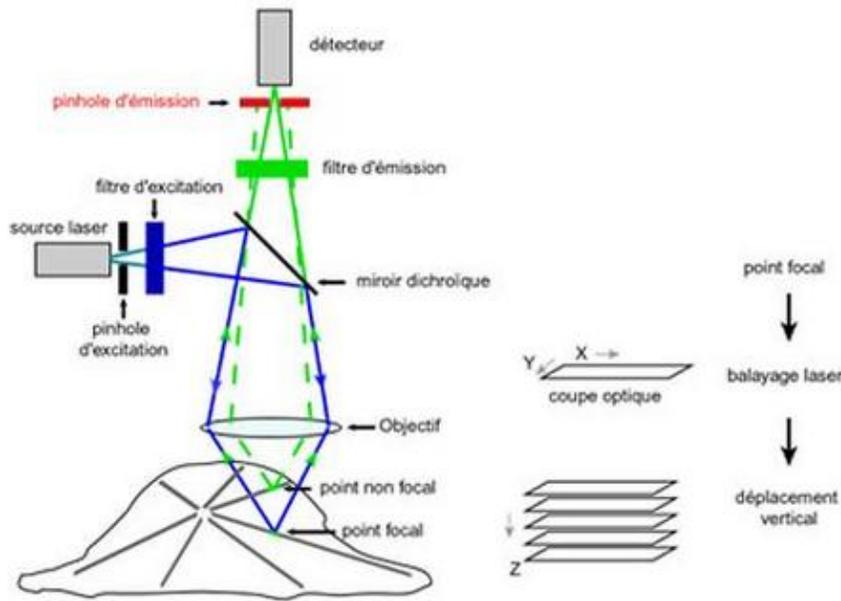


Figure 1: Schéma de principe d'un microscope confocal.

5 Résonance des plasmons de surface

Les plasmons de surface sont une oscillation collective des électrons libres à la surface d'un métal due à un couplage avec des photons incidents. Certaines conditions, que nous ne précisons pas ici, doivent être satisfaites pour que ce couplage soit possible. En particulier, il faut un milieu d'incidence (par exemple un support en

verre), une couche métallique déposée sur ce support (par exemple de l'or avec une épaisseur typique de 50 nm) et un matériau d'épaisseur quelques centaines de nm déposé sur cette couche métallique.

On éclaire la couche métallique du côté du support avec un laser, en réflexion totale, et on mesure l'intensité réfléchie en fonction de l'angle d'incidence.

La résonance des plasmons de surface se manifeste par une chute brutale de l'intensité réfléchie à un angle d'incidence précis, qui dépend de la longueur d'onde et du matériau déposé sur le métal.

A la résonance, le plasmon de surface ainsi créé est une exaltation localisée du champ électrique : l'énergie du laser incident est utilisée pour faire osciller les électrons du métal, et n'est donc pas réfléchie. L'oscillation des électrons crée une onde lumineuse évanescente de part et d'autre de l'interface métal / matériau déposé avec une profondeur de pénétration typique de l'ordre de la longueur d'onde et une longueur de propagation de long de l'interface de l'ordre du micron.

Un tel système peut servir de capteur pour le matériau déposé.