

Voir plus petit

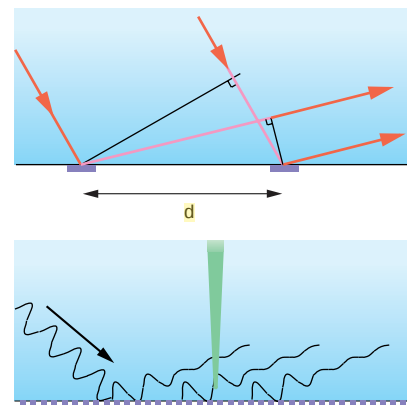
La résolution du microscope optique est améliorée.

La longueur d'onde de la lumière avec laquelle on éclaire un objet limite la finesse des détails que l'on observe. En lumière visible, la résolution d'un très bon microscope, pour un objet en contact avec l'air, ne dépasse pas 0,30 micromètre (ou milliardième de mètre). Depuis une dizaine d'années, des opticiens ont franchi cette limite grâce à la «microscopie en champ proche» : ils sondent le champ électromagnétique au voisinage des surfaces à l'aide, par exemple, d'une petite ouverture à l'extrémité d'une fibre optique taillée en pointe et métallisée. La variante technique que nous avons mise au point avec Renaud Bachelot, Ahmed Larech et Philippe Gleyzes, permet d'observer des détails de 0,015 micromètre, indépendamment de la longueur d'onde lumineuse.

Lorsque l'on examine un objet à structure périodique (rideau, surface d'un disque compact, réseau), on observe des rayons lumineux diffractés dans d'autres directions que celle de la lumière transmise ou réfléchi. Plus la période de la structure est petite et plus l'angle entre la direction d'éclairement et la direction des images diffractées est grand. Pour des périodes un peu supérieures à la demi-longueur

d'onde de la lumière rasante utilisée pour éclairer l'objet, les rayons diffractés rasent la surface observée. Pour des périodes inférieures, ils disparaissent. Le rayonnement électromagnétique correspondant subsiste toutefois au voisinage de la surface, sous forme d'ondes évanescentes (elles ne se propagent pas). Si l'on veut des informations sur des détails plus petits que la demi-longueur d'onde, il faut donc sonder le champ électromagnétique tout près de la surface de l'échantillon (d'où le nom de «microscopie en champ proche» pour cette technique).

C'est ce que nous faisons avec une pointe métallique très fine qui oscille près de la surface, avec une amplitude de quelques centièmes de micromètre. L'extrémité de cette pointe, dont le rayon de courbure est de 0,015 micromètre, se comporte comme une particule conductrice plongée dans un champ électromagnétique : elle émet un rayonnement dont les variations spatiales dépendent de la structure du champ lui-même. Ces ondes électromagnétiques engendrées par l'oscillation de la pointe constituent le signal qui est collecté par un objectif de microscope et envoyé sur un détecteur. Il est ensuite traité, afin de quantifier les



Une image de diffraction d'une structure de période d se forme dans les directions pour lesquelles la différence de marche (différence des distances en rose) entre deux réflexions voisines est un multiple de la longueur d'onde λ (en haut). Si d est inférieure à la moitié de λ , il n'y a plus d'interférences. Le rayonnement n'est pas réfléchi, mais crée, près de la surface, des ondes évanescentes (en bas). Une fine pointe vibrante (en vert) détecte les variations spatiales de ce champ électromagnétique «proche».

images et de mettre en évidence les coefficients de réflexion locaux.

En opérant par réflexion, nous avons fait l'image d'un grand nombre de structures de la taille d'un centième de micromètre environ, qui présentent des contrastes optiques (des zones adjacentes ont des coefficients de réflexion différents) et des contrastes topographiques variés (structures en creux ou en bosse, structures en marches d'escalier sur des surfaces de monocristaux). La résolution de ce microscope ne dépend que de la taille de la pointe.

À la longueur d'onde rouge de 0,67 micromètre nous avons atteint une résolution de 0,015 micromètre, voisine du rayon de courbure de nos pointes et bien inférieure à la limite de la demi-longueur d'onde. Nous avons ensuite observé des films d'or avec la lumière rasante d'un laser à gaz carbonique, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les plus petits détails sont toujours du même ordre de grandeur (0,015 micromètres) que la longueur d'onde.

Cette résolution étend le champ d'application de la microscopie optique : vérification des composants micro- et opto-électroniques, observation des propriétés locales d'édifices moléculaires ou d'agrégats. Le rayonnement infrarouge, qui interagit avec les charges électriques de surface, permettra de contrôler les implantations ioniques et les modifications locales dans les composants semi-conducteurs et supraconducteurs, dont les tailles ne cessent de se réduire.

Claude-Albert BOCCARA, ESPCI, CNRS

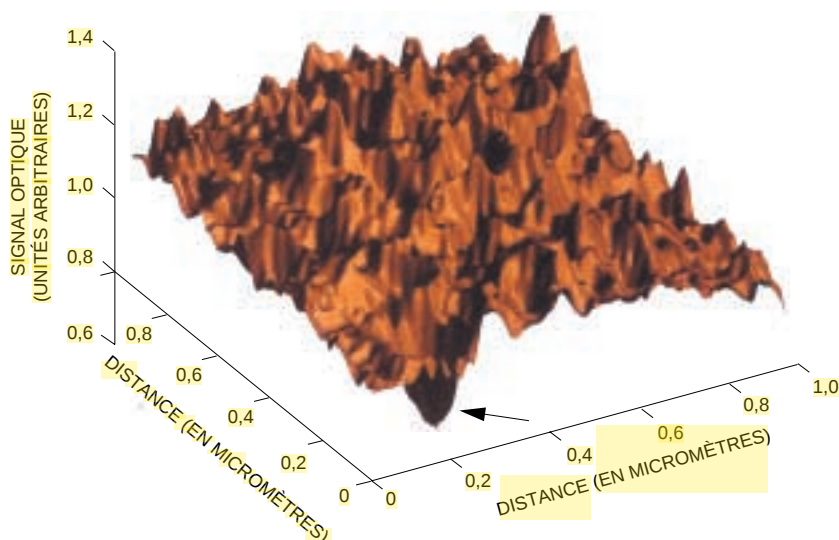


Image en champ proche d'un film mince d'or, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les détails (fluctuations de la réflectivité dues à des variations locales des propriétés électroniques) sont 600 fois plus petits que la longueur d'onde utilisée. La chute importante du signal (flèche) est due à la présence d'une particule organique, très absorbante dans l'infrarouge.