

✓ BIBLIOGRAPHIE

A. Babuty *et al.*, **Semiconductor surface plasmon sources**, *Physical Review Letters*, vol. 104, article 226806, 2010.

R. Heintzmann et M. G. Gustafsson, **Subdiffraction resolution in continuous samples**, *Nature Photonics*, vol. 3, p. 362, 2009.

E. Betzig *et al.*, **Imaging intracellular fluorescent proteins at nanometer resolution**, *Science*, vol. 313, p. 1642, 2006.

L. Aigouy, Y. De Wilde et C. Fréty, **Les nouvelles microscopies : à la découverte du nanomonde**, Belin, 2006.

C. Boccara et R. Carminati, **Champ proche optique : de l'expérience à la théorie**, *Les nanosciences : nanotechnologies et nanophysique*, Belin, 2004.

J. J. Greffet et R. Carminati, **Image formation in near-field optics**, *Progress in Surface Science*, vol. 56, p. 133, 1997.

Un autre domaine d'application de la microscopie en champ proche est la réalisation d'images d'ondes évanescentes à la surface de guides d'ondes. Quand des ondes se propagent dans un prisme transparent (dont l'indice optique est supérieur à un) et subissent une réflexion totale à la surface interne de ce prisme, elles produisent des ondes réfléchies propagatives qui poursuivent leur route dans le prisme. La réflexion engendre aussi des ondes dans l'air sur la surface externe du prisme, mais ces ondes ne se voient pas : elles sont évanescentes, c'est-à-dire qu'elles déclinent rapidement à la surface du prisme sans qu'aucune composante propagative qui permettrait de les observer en se plaçant loin de la surface du prisme n'y soit associée.

Un phénomène analogue a lieu quand des ondes se propagent dans un guide d'onde diélectrique (d'indice optique supérieur à un). Les ondes propagatives confinées dans le guide se prolongent dans l'air à la surface du guide sur une distance de l'ordre d'une fraction de la longueur d'onde, sous la forme d'ondes évanescentes. Des ondes peuvent également se propager sur des surfaces métalliques et présentent dans ce cas un caractère éva-

nescent à la fois dans l'air et dans le métal. On les nomme des plasmons (polaritons) de surface. Ces ondes qui restent naturellement confinées à la surface lorsqu'elles se propagent sur une piste métallique suscitent aujourd'hui beaucoup d'intérêt, car elles devraient permettre la réalisation de nouveaux types de dispositifs d'optique intégrée. Le microscope optique en champ proche est capable de caractériser la propagation des ondes évanescentes à la surface de ces structures guidantes.

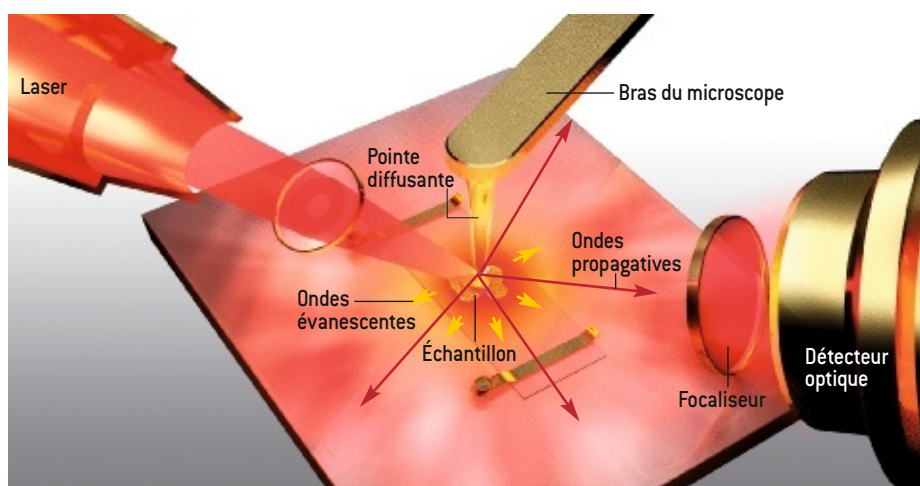
Qui plus est, le microscope optique en champ proche présente un intérêt dans des domaines situés à l'interface de la recherche fondamentale et appliquée. En 2010, nous avons observé des dispositifs laser semi-conducteurs (conçus par l'équipe de Raffaele Colombelli à l'Institut d'électronique fondamentale du CNRS et de l'Université Paris Sud), avec un microscope en champ proche fonctionnant dans l'infrarouge. Ces dispositifs produisent des plasmons à la surface du réseau métallique situé sur la cavité du laser, l'émission du laser vers l'extérieur se faisant par les deux extrémités de la cavité.

Le microscope en champ proche donne une image super-résolue des plasmons de

LE MICROSCOPE OPTIQUE EN CHAMP PROCHE

Ce microscope détecte des ondes dites évanescentes, uniquement présentes à des distances de l'échantillon très inférieures à la longueur d'onde d'observation. La sonde utilisée se termine par une pointe de taille nanométrique qui réalise une cartographie du champ proche. Des translations piézo-électriques contrôlées par ordinateur déplacent la pointe avec précision. Un faisceau laser de longueur d'onde λ est focalisé sur la zone de l'échantillon où se trouve l'extrémité de la pointe, ce qui produit des ondes évanescentes près de tout objet de taille inférieure à λ se trouvant dans la zone éclairée. On balaye l'échantillon latéralement sous la pointe maintenue à une distance nanométrique de la surface grâce au dispositif d'asservissement qui agit sur sa position verticale.

L'enregistrement de la position verticale de la pointe en chaque point de la zone balayée donne une image topographique, qui rensei-



gne sur le relief de l'échantillon. Par ailleurs, les ondes évanescentes présentes à la surface de l'échantillon sont diffusées à l'extrémité de la pointe pendant le balayage. Comme elles subissent des diffusions, elles deviennent des ondes propagatives classiques, lesquelles sont collectées et focalisées sur un détecteur optique. L'enregistrement de l'inten-

sité du signal selon la position de la pointe à la surface de l'échantillon pendant le balayage fournit une image optique de l'échantillon. La résolution spatiale dépend uniquement de la taille de l'extrémité diffusante de la sonde, soit quelques nanomètres.

Différentes sondes en forme de pointe sont utilisées pour diffuser

les ondes évanescentes dans la zone de champ proche. Le choix de la sonde dépend des conditions expérimentales, telles que la longueur d'onde d'éclairage, la façon dont la lumière est collectée, etc.

Ainsi, ce microscope fournit une image topographique et une image optique de l'échantillon avec une résolution de quelques nanomètres.

Didier Florentz