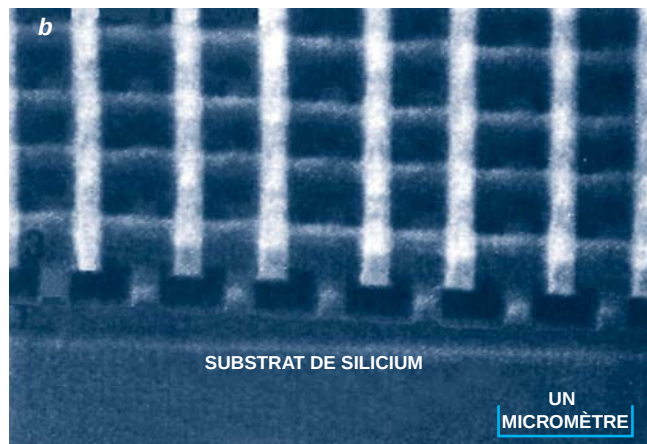
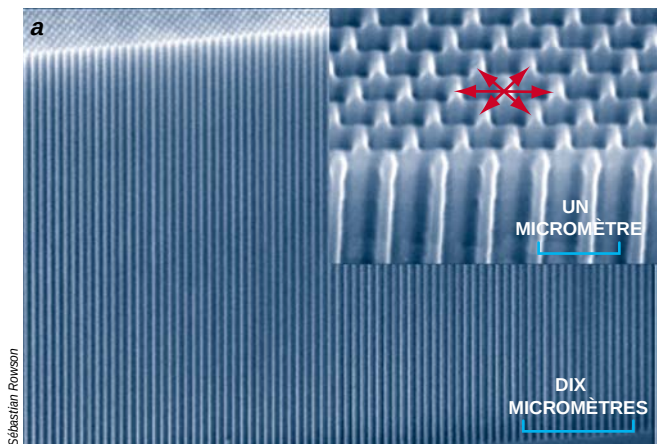




7. DEUX CRISTAUX PHOTONIQUES fabriqués en 1999. Un cristal bidimensionnel (a) est façonné selon une symétrie hexagonale (flèches rouges). Une autre structure, tridimensionnelle, est un

empilement de tiges horizontales de section carrées, placées sur un substrat de silicium (b). En raison de leurs symétries, ces cristaux réfléchissent parfaitement la lumière.

attaque chimique, ce qui crée une ébauche du motif cristallin.

Ensuite, le substrat est utilisé comme anode dans un bain électrochimique : les trous amorcés se creusent selon une direction privilégiée du cristal de silicium. En moins de deux heures de ce régime, on obtient des trous de 100 micromètres de profondeur. La structure obtenue ressemble à celle d'une brique poreuse, les trous verticaux jouant le rôle des tiges cylindriques du cristal bidimensionnel décrit précédemment. En réduisant la distance entre les trous (la période du cristal) à 0,680 micromètre, la propagation était interdite à la longueur d'onde des télécommunications optiques (1,5 micromètre), quelles que soient la direction (indiquée par les flèches, sur la figure 7a) et la polarisation.

La même année, une autre structure a été fabriquée aux Laboratoires Sandia, à Albuquerque, par Shawn-Yu Lin et ses collègues. C'est un cristal tridimensionnel fabriqué couche par couche, par combinaison des techniques de dépôt sur silicium et des techniques de gravure. Chaque couche gravée est un réseau de tiges horizontales de section carrée (voir la figure 7b). Les tiges des couches adjacentes sont perpendiculaires et les tiges à une couche d'intervalle sont parallèles entre elles, mais décalées latéralement, de sorte que le motif se répète à l'identique toutes les quatre couches. L'empilement obtenu reproduit la structure d'un cristal atomique : les intersections des

tiges de l'empilement sont disposées selon deux réseaux cubiques à faces centrées, comme le sont les atomes d'un cristal de silicium. Une bande interdite a été obtenue pour une longueur d'onde voisine de dix micromètres, puis, après une diminution de la période du cristal, pour une longueur d'onde de 1,5 micromètre.

Ces exemples ne doivent pas nous laisser croire que les problèmes de fabrication de tels cristaux sont résolus. L'obtention d'un cristal tridimensionnel requiert un nombre considérable d'étapes, et la superposition ne serait-ce que d'une période (quatre couches) relève encore de l'exploit technique. L'observation de la nature nous invite à un peu de modestie, car l'homme ne fait que réinventer ce qui existe déjà : la similitude entre du silicium poreux et une aile d'oiseau est à ce titre frappante (voir la figure 8). Les ailes de certains papillons ou les opales sont également des cristaux photoniques naturels.



8. L'OBSERVATION MICROSCOPIQUE d'une aile d'oiseau (un ministre mâle) révèle des microstructures qui se comportent comme un cristal photonique dont la bande interdite est située dans le bleu : la lumière bleue est totalement réfléchie, de sorte que l'aile apparaît bleue, bien qu'elle soit totalement dépourvue de pigments colorés.

La cage aux photons

Le contrôle de l'émission spontanée de lumière par les atomes du milieu solide est l'une des principales motivations des travaux sur les cristaux photoniques. Or, jusqu'ici, nous avons uniquement décrit les cristaux photoniques comme des réflecteurs omnidirectionnels. Autrement dit, nous avons décrit les barreaux de la cage de lumière. Si l'on désire placer un émetteur dans le cristal et piéger des photons, il faudra creuser une microcavité au sein du cristal photonique. Cette cavité s'obtient simplement en rompant la périodicité du cristal, en y créant un défaut, pour reprendre la terminologie de la physique du solide. La lumière qui se trouverait dans ce défaut ne pourrait donc pas en sortir, entourée de toutes parts de parois parfaitement réfléchissantes. Toute émission de lumière serait inhibée.

Toute? En réalité, et fort heureusement, le piège ne sera pas total, car il permettra d'extraire de la lumière dont la longueur d'onde correspond à la taille de la cavité. Même avec une paroi très réfléchissante (99,9999 pour cent de réflexion, par exemple), la transmission résiduelle suffira à extraire tous les photons qui ont la longueur d'onde adéquate, à condition que les pertes d'absorption des matériaux soient réellement négligeables : le moindre photon ne pouvant être absorbé finira par sortir.

Grâce à la faible taille de la cavité et à la forte