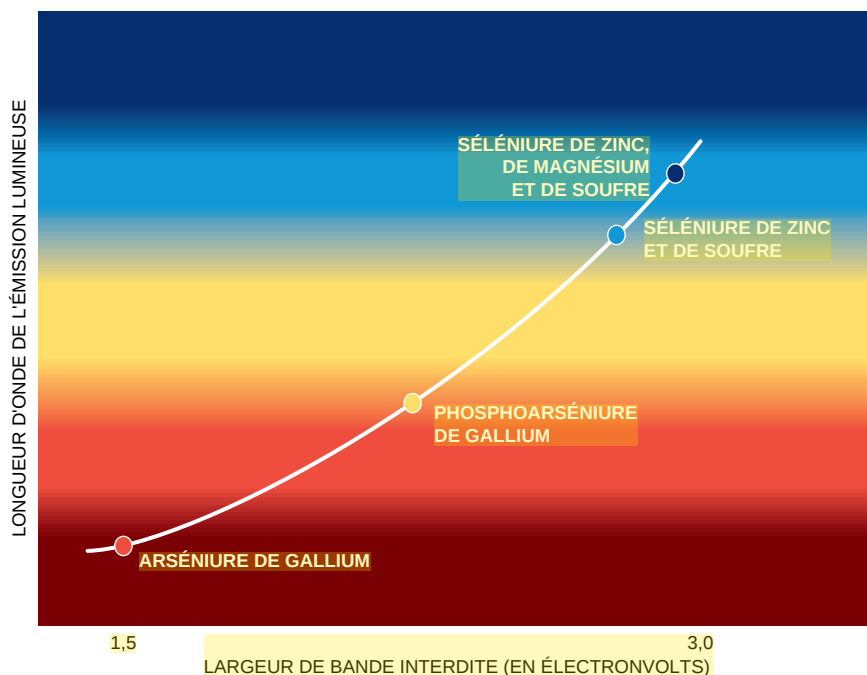




3. LA LARGEUR DE LA BANDE INTERDITE d'un cristal semi-conducteur détermine l'énergie des photons qu'il émet, inversement proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière. Un matériau ayant une large bande interdite, tel le sélénium de zinc et de soufre, produit une lumière de courte longueur d'onde située dans la partie bleu-vert du spectre.

excitons sont si comprimés qu'ils subsistent malgré l'énergie thermique et la surpopulation. La probabilité qu'une paire électron-trou se recombine en émettant un photon est d'autant plus grande que sa durée de vie est longue : le puits quantique en sélénium de zinc et de cadmium favorise donc la recombinaison avec émission de photons, au détriment de la recombinaison par transfert d'énergie au réseau cristallin. Le rendement énergétique du laser est ainsi amélioré.

Un guide bleu

Dans un tel laser, la longueur d'onde de la lumière (bleue ou verte) est 50 à 100 fois supérieure à l'épaisseur du puits quantique : la lumière n'y est donc pas confinée. On la piège alors dans la direction verticale avec deux couches d'un autre matériau, le sélénium de zinc, de soufre et de magnésium. En 1993, des physiciens de la Société *Philips* ont montré que ce guidage de la lumière améliore les performances du laser : par les méthodes de la micro-électronique, ils ont retiré de la matière dans la direction latérale, afin de créer un guide d'onde optique surélevé. L'indice de réfraction de l'air est beaucoup plus petit que celui du semi-conducteur : les photons restent donc confinés dans le matériau. De la sorte, la structure entière

canalise la lumière bleue ou verte, et le rayonnement est réfléchi à chaque extrémité, sur des faces clivées, qui forment des miroirs presque parfaits ; il sort finalement par l'une de ces faces.

Les premières diodes laser bleues et vertes ne pouvaient pas fonctionner en continu sans être refroidies : elles surchauffaient rapidement lorsqu'on leur appliquait une tension électrique. L'échauffement se produisait dans le contact électrique entre l'électrode métallique et le sélénium de zinc et de soufre de type *p* : une barrière électronique, dite de Schottky, empêchait le courant électrique de passer. Nous avons résolu ce problème en intercalant un empilement de couches de sélénium de zinc et de tellure de zinc alternées et d'épaisseur variable : la barrière électronique entre le métal et le sélénium de zinc et de soufre est remplacée par un « pan incliné », que les électrons franchissent plus facilement.

Les surchauffes étant évitées, la durée de vie des diodes laser en sélénium de zinc reste limitée par les défauts cristallins qui se forment lors du dépôt des premières couches semi-conductrices sur un substrat d'arséniure de gallium (les réseaux cristallins de l'arséniure de gallium et du sélénium de zinc ont à peu près les mêmes dimensions) : quelques atomes, un sur un million environ, s'alignent mal et provoquent l'éta-

blissement d'un plan atomique supplémentaire dans le cristal. Lorsque le cristal croît et que l'on dépose les autres couches semi-conductrices, ce défaut d'empilement se propage. S'il atteint un puits quantique, il crée des sites où les électrons et les trous peuvent se recombinaison sans émission de photon. En outre, chacune de ces recombinaisons non radiatives libère, sous forme de chaleur, une énergie d'environ 2,5 électronvolts dans le réseau cristallin environnant. Cette énergie est proche de celle qui maintient la cohérence du cristal : de nouveaux défauts sont créés, qui libèrent encore plus de chaleur, conduisant finalement à la détérioration du cristal. Les physiciens du solide utilisent des techniques telles que la microscopie optique à haute résolution et la microscopie électronique à transmission pour comprendre la formation de ces défauts dans les cristaux et tenter d'y remédier.

Les lasers qui équiperont demain les lecteurs de disques compacts seront-ils en sélénium de zinc ? C'est probable. D'autres matériaux restent toutefois en lice, tels les semi-conducteurs à large bande interdite de la famille du nitrure de gallium. Leurs liaisons chimiques sont plus solides : ils sont moins détériorés par les forts courants électriques. Toutefois, dans les nitrures que nous savons fabriquer aujourd'hui, les défauts cristallins sont si nombreux qu'ils entravent l'obtention de l'effet laser.

La Société *Nichia* a malgré tout obtenu, à température ambiante, une émission laser bleue, sous haute tension (30 volts) et en mode pulsé, avec des diodes en nitrure de gallium ; le puits quantique était en nitrure d'indium et de gallium, tandis que les couches de confinement électronique et optique étaient respectivement formées de nitrure de gallium et de nitrure d'aluminium et de gallium. Quel que soit le semi-conducteur utilisé dans le futur, l'avenir des lasers bleus est assuré.

Robert GUNSHOR est professeur de micro-électronique à l'Université Purdue. Arto NURMIKKO est professeur de physique à l'Université Brown.

A.V. NURMIKKO et R.L. GUNSHOR, *Physics and Device Science in II-VI Semiconductor Visible Light Emitters*, in *Solid State Physics* (Academic Press), vol. 49, pp. 205-282, 1995.

Govind AGRAWAL, *Semiconductor Lasers : Past, Present and Future*, American Institute of Physics Press, 1995.