

Les lasers bleus

ROBERT GUNSHOR • ARTO NURMIKKO

De nouveaux semi-conducteurs permettent de fabriquer des lasers miniatures qui émettent de la lumière bleue. Ces laser bleus liront des disques compacts contenant bien plus d'informations qu'aujourd'hui.

L'élément essentiel des lecteurs de disques compacts est un laser minuscule, mais puissant, qui émet un faisceau lumineux très fin. Celui-ci, tel le diamant de nos vieux tourne-disques, parcourt la surface du disque et lit des informations gravées sous la forme de minuscules cavités, dont la taille minimale est de l'ordre de la longueur d'onde de la lumière émise par le laser ; plus la longueur d'onde est courte, plus les cavités peuvent être petites et plus la quantité d'informations enregistrables sur un seul disque est importante.

Aujourd'hui, les lasers des lecteurs de disques compacts sont fabriqués à partir d'arséniure de gallium et d'autres semi-conducteurs qui, lorsqu'ils sont excités, émettent un rayonnement infrarouge d'environ 0,82 micromètre de longueur d'onde. Ce rayonnement permet de détecter des cavités dont la taille est d'environ un micromètre (un cinquième de l'épaisseur d'un cheveu). Comme le décrit l'article précédent (voir *La prochaine génération de disques compacts*, par Alan Bell, page 54), des améliorations des lasers semi-conducteurs rouges augmentent déjà cette densité d'informations, mais des diodes laser qui émettraient une lumière bleue de 0,46 micromètre de longueur d'onde détecteraient des cavités bien plus petites que les meilleurs lasers rouges. Gravé avec ces cavités plus petites, un disque compact contiendrait les neuf symphonies de Beethoven, au lieu d'une seule aujourd'hui. Les applications multimédias, qui nécessitent la numérisation de grandes quantités de données audiovisuelles, se développeraient plus facilement.

Pourquoi l'industrie ne dispose-t-elle pas encore de lecteurs de disques compacts à laser bleu ? L'examen du fonctionnement des lasers à semi-

conducteurs le révèle. Ces systèmes sont de petits cristaux de grande pureté et de grande perfection cristalline, séparés en deux régions principales dont les caractéristiques électriques sont différentes. Dans la zone de type *n*, le courant électrique est transporté par des électrons surnuméraires. Dans la zone de type *p*, ce sont des trous, des défauts électroniques analogues à des particules chargées positivement, qui assurent la conduction. Lorsqu'une tension électrique positive est imposée entre la zone de type *p* et la zone de type *n*, les électrons et les trous circulent en sens inverse, en direction de l'interface des deux zones.

Cette interface est une couche très mince nommée « puits quantique » : les électrons et les trous qui y entrent y restent piégés, se combinent deux à deux et disparaissent. Dans certaines conditions favorables, leur combinaison s'accompagne de l'émission d'un photon, ou particule de lumière. Quand l'émission de photons est couplée à un mécanisme de réinjection, assuré par une paire de miroirs très réfléchissants placés de chaque côté du dispositif, une émission laser se produit : tous les photons sont émis à la même longueur d'onde et avec la même phase, selon la même direction.

L'énergie des photons produits, inversement proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière, dépend d'une grandeur électronique intrinsèque au semi-conducteur : sa largeur de bande interdite, c'est-à-dire l'énergie minimale qu'il faut fournir au matériau pour créer simultanément un électron et un trou. La largeur de la bande interdite de l'arséniure de gallium est de 1,45 électron-volt. Pour obtenir une lumière bleue, la bande interdite doit être presque deux fois plus large : on doit utiliser d'autres semi-conducteurs, des matériaux à large

bande interdite, tels le sélénium de zinc et le nitrure de gallium. Ces matériaux de types respectifs II-VI et III-V (les éléments qui les constituent sont repérés d'après leur position dans le Tableau périodique de Mendeleiev) devraient être nommés « semi-isolants » plutôt que semi-conducteurs : leur résis-

1. LES LASERS BLEUS permettront d'enregistrer et de lire beaucoup plus d'informations qu'aujourd'hui sur les disques compacts. Pour évaluer leur potentiel, on utilise des cristaux qui transforment le rayonnement d'un laser infrarouge en lumière bleue. À l'avenir, de minuscules cristaux de semi-conducteur produiront directement un faisceau laser bleu.

tivité électrique est l'un des principaux obstacles à leur utilisation.

Les débuts des bleus

Au début des années 1980, des physiciens et des chimistes ont commencé à fabriquer des cristaux semi-conducteurs II-VI en utilisant la technique d'épitaxie par jet moléculaire : des jets des atomes à réunir sont envoyés dans une enceinte à ultravide, vers un substrat. Là, le cristal souhaité se forme par empilement des atomes, exactement comme on construit une maison, rangée de briques après rangée de briques. On a ainsi fabriqué des matériaux de formule chimique précise, avec une grande qualité cristalline. La mise en œuvre de la technique a amélioré la compréhension du comportement des couches qui servent de puits quantique, et l'on a obtenu des matériaux qui émettaient des photons bleus et verts (la lon-

gueur d'onde du vert est un peu supérieure à celle du bleu). Toutefois, la mise au point de diodes laser bleues et vertes n'était pas achevée, car ces premiers dispositifs n'émettaient de la lumière que lorsqu'ils étaient excités par un autre laser, beaucoup plus gros.

L'étape suivante, c'est-à-dire la réalisation de diodes laser bleues et vertes activées par une tension électrique, a pris dix ans. Les physiciens savaient fabriquer des cristaux de sélénium de zinc qui contenaient un excès d'électrons, mais pas de cristaux de ce matériau qui contenaient un excès de trous ; autrement dit, on ne savait pas fabriquer de véritable diode. En 1990, une équipe a perfectionné l'incorporation d'atomes d'azote, lors de l'épitaxie, fabriquant du sélénium de zinc qui contenait un excès de trous. L'année suivante, des ingénieurs de la Société 3M et nos équipes, aux Universités Purdue et Brown, ont obtenu les premières diodes laser bleues

et vertes. Ces lasers ne fonctionnaient pas en continu, et nous devions les refroidir par de l'azote liquide, à une température de 77 kelvins (-196°C). Ces dispositifs ont toutefois été améliorés rapidement, afin qu'ils fonctionnent en continu à 77 kelvins et par impulsions à la température ambiante.

À l'automne 1993, des physiciens de la Société Sony et de notre équipe ont fait fonctionner en continu, pendant plusieurs dizaines de secondes et à température ambiante, une diode laser excitée par une tension de seulement cinq volts. Cette amélioration notable (les premières diodes laser bleues et vertes nécessitaient une tension de 30 volts) résultait de nouvelles et astucieuses techniques de fabrication des matériaux. Plus récemment, la Société Sony a fabriqué une diode laser qui émet une lumière verte de longueur d'onde égale à 0,52 micromètre, en continu pendant environ 100 heures à température ambiante. Nous avons

