

Au cœur d'une diode

Pour observer en détail les diodes électroluminescentes, prenons par exemple un feu rouge de bicyclette. À l'intérieur se trouvent deux piles reliées à un circuit contenant une série de cylindres transparents et incolores, de quelque huit millimètres de hauteur et cinq millimètres de diamètre : ce sont les diodes électroluminescentes. Appuyez sur le bouton «marche» et elles deviennent rouges, avec une intensité si forte qu'on a du mal à les fixer. Si vous les arrêtez, puis que vous les examinez de près, vous verrez un fil se faufilant à travers le dispositif et une sorte de coupelle miniature à mi-hauteur. Cette coupelle est un réflecteur, où se trouve une puce de la taille d'un grain de sable, le «cœur» de la diode électroluminescente. Cette puce est constituée d'un empilement de couches : la première, déposée sur un support, présente un excès d'électrons ; elle est dite de type *n* (pour «négatif»). Une autre, située au-dessus de la puce, présente au contraire un déficit d'électrons, ou encore un excès de particules chargées positivement, nommées «trous». Ce matériau est de type *p* (pour «positif»). À la jonction de ces deux couches *n* et *p* se trouve la couche dite active, d'où la lumière est émise. Lorsqu'une tension est appliquée, les électrons et les trous se dirigent vers la couche active, où ils se rencontrent, se «recombinaient» et émettent des photons. Schématiquement, les électrons présents dans la couche active se désolent en «tombant» dans un trou et émettent un photon. La nature et la struc-



4. LES DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES BLANCHES existent, mais il faudra attendre une dizaine d'années avant qu'elles ne deviennent assez puissantes pour éclairer une pièce et assez bon marché pour qu'elles soient compétitives avec les ampoules classiques.

ture atomique des différentes couches déterminent le nombre de photons émis (soit le rendement de la diode électroluminescente), ainsi que leurs longueurs d'onde.

Dans les premières diodes électroluminescentes rouges, fabriquées dans les années 1960 à partir de gallium, d'arsenic et de phosphore, les électrons rencontraient rarement les trous : un seul photon rouge était émis pour 1 000 électrons qui migraient dans la couche active. Une telle diode produisait moins d'un dixième de la lumière produite par une ampoule à incandescence de puissance comparable et pourvue d'un filtre rouge. Peu à peu, le rendement des diodes électroluminescentes augmenta, surtout vers les longueurs d'onde situées dans la zone rouge du spectre visible. Aujourd'hui, le rendement interne des diodes rouges atteint 100 pour cent, c'est-à-dire que chaque électron produit un photon. Cependant, ces photons restent piégés dans la puce, et

l'on doit «extraire» cette lumière. Ainsi, le rendement réel (ou externe) des diodes électroluminescentes rouges est d'environ 25 pour cent.

Les chercheurs ont augmenté le rendement en modifiant la composition des couches. Ils les «dopent» avec des atomes différents, nommés des «impuretés». Ce dopage modifie les caractéristiques des couches. Examinons l'exemple le plus simple, le silicium. Il appartient au groupe IV de la classification périodique des éléments, c'est-à-dire qu'il possède quatre électrons disponibles pour des liaisons avec quatre autres atomes. Dans la forme cristalline du silicium, chaque atome partage ses électrons avec les atomes adjacents. Les électrons sont engagés dans ces liaisons et ne sont pas libres de se déplacer. Lorsqu'un petit nombre d'atomes du groupe III de la classification périodique, ayant trois électrons sur leur niveau d'énergie le plus élevé, par exemple le bore, sont incorporés dans un cristal de silicium, le nombre d'électrons participant aux liaisons entre les atomes est insuffisant, et des déficits d'électrons apparaissent localement, ce qui crée des trous et rend donc ce matériau – du silicium dopé au bore – de type *p*. Inversement, lorsque le silicium est dopé avec du phosphore (du groupe V du tableau périodique), qui a cinq électrons disponibles, le cristal a un excès d'électrons, ce qui rend le matériau de type *n*. Les électrons en sur-nombre sont libres de se déplacer. Dans les diodes électroluminescentes, le cristal n'est pas du silicium pur, mais un mélange d'éléments des groupes III et V, tels l'aluminium, le gallium, et

Diodes électroluminescentes et lasers

Quelle est la différence entre les diodes électroluminescentes et les diodes lasers ? Les deux types sont constitués de matériaux semi-conducteurs, mais ce sont des dispositifs très différents.

Les diodes lasers sont composées d'un matériau semi-conducteur placé entre deux miroirs séparés par ce que l'on nomme une «cavité de résonance». Lorsque de l'électricité traverse le semi-conducteur, il y a émission de photons, qui sont réfléchis sur les parois de la cavité dans un sens, puis dans l'autre. Ce faisant, ils excitent des électrons qui émettent, à leur tour, des photons de la même longueur d'onde. L'intensité lumineuse augmente et, parce qu'ils se réfléchissent de conserve sur les miroirs, tous les photons «marchent au pas» : ils sont en phase (on dit aussi qu'ils sont cohérents). L'un des miroirs est



LES LECTEURS DES CODES-BARRES contiennent des lasers à semi-conducteurs.

semi-réfléchissant et permet à quelques photons de s'échapper, tous de même longueur d'onde et de même phase. Ils produisent un faisceau de lumière étroit, monochromatique et intense. Ce faisceau est l'une des principales caractéristiques d'un laser. Acéré comme un scalpel, il est utilisé pour balayer et lire les sillons des disques compacts ou les codes-barres.

Au contraire, dans les diodes électroluminescentes, les photons ne sont pas confinés dans une cavité, entre deux miroirs : ils sont «incohérents». La lumière, sous forme d'un faisceau large et diffus, est composée de plusieurs longueurs d'onde, qui sont pourtant assez proches pour que l'œil les perçoive comme étant de la même couleur.