

LES

LASERS

L'ÈRE DES SEMI-CONDUCTEURS

LA recherche de nouvelles possibilités dans le domaine des télécommunications a conduit les chercheurs à concentrer leurs efforts sur l'utilisation des ondes lumineuses. Au laboratoire de recherches de la firme allemande Siemens, on vient d'étudier la transmission optique d'images télévisées sur des voies en fibre de verre. La source de la lumière porteuse est une diode à laser qui, à l'instar d'un émetteur hertzien, injecte des ondes modulées dans des fibres optiques. Après avoir parcouru les fibres, les signaux lumineux sont reconvertis en signaux électriques grâce à une matrice de photodiodes.

Si la fibre de verre offre la sécurité de transmission requise par les systèmes de transmission, l'absorption élevée des rayons lumineux dans le verre entraîne de nombreuses difficultés. Même les meilleures fibres disponibles actuellement présentent des pertes telles qu'au bout de 1 km de ligne, l'énergie de rayonnement est réduite à 1 % de sa puissance primitive. Il faut donc amplifier cette énergie régulièrement, ce qui est parfaitement réalisable à l'aide de minuscules photodiodes ou diodes lasers.

Page 150 - N° 1379

La fibre de verre que Siemens utilise dans son équipement expérimental, à un diamètre de 100 μm . Le noyau conducteur de lumière de la fibre présente un indice de réfraction légèrement supérieur à celui du revêtement. A la surface limite entre le noyau et le revêtement se produit une réflexion totale le long de la fibre : le rayon lumineux est invariablement rejeté dans le noyau, même dans les parties courbes de la fibre. La fibre de verre que l'on utilise permet, en principe de transmettre des informations digitales en provenance d'ordinateurs, à la cadence de 50 mégabits par seconde.

Les signaux vidéo et son à transmettre sont convertis en impulsions modulées en amplitude avec une fréquence horloge de 2 MHz. Un laser à semi-conducteurs (arséniure de gallium), produit des impulsions qui pénètrent dans la fibre de verre. A la fin du parcours, une photodiode reconvertit les impulsions lumineuses en impulsions électriques.

INVENTE EN 1962

Peu de temps après l'invention du laser, voici 14 ans, on entrevoit déjà l'une de ses plus

importantes utilisations : la génération d'ondes porteuses pour les télécommunications à longue distance. En principe, un faisceau laser peut transporter mille fois plus de signaux que n'importe quel autre milieu de transmission des informations ; cependant, l'ère des communications par laser n'a pas encore commencé et l'on assiste, avec les travaux de Siemens et d'autres laboratoires de recherches, tant en France qu'outre Atlantique, à des balbutiements de la préhistoire de la « laserovision ». Il existe, en effet, beaucoup d'obstacles à surmonter : les difficultés de détecter et même de moduler les signaux optiques constituent l'un de ces obstacles ; il y a également l'absence de lasers petits, robustes, simples et suffisamment bon marché pour être intégrés dans les techniques actuelles de communications de masse. Seuls les lasers à semi-conducteurs offrent des caractéristiques généralement assez favorables. Peu encombrants, ils s'apparentent aux transistors de puissance ou aux sources solides pour hyperfréquences (diode de Gunn, ou à avalanche) par leur technologie, leurs prix et leurs conditions de mise en œuvre. Sous leur forme actuelle, ils ne comportent aucune

pièce mécanique (telle que des miroirs réglables) qui pourrait augmenter leur volume ou leur prix.

L'effet laser, dans des diodes semi-conductrices, fut obtenu pour la première fois en 1962, quasiment simultanément par plusieurs groupes de chercheurs de General Electric Co., d'I.B.M. et du laboratoire Lincoln, au Massachusetts Institute of Technology. Leurs diodes à effet laser étaient constituées d'un composé semi-conducteur : l'arséniure de gallium.

L'enthousiasme des spécialistes était alors à son comble : ces lasers à semi-conducteurs se caractérisent par leur très faible encombrement (de l'ordre d'une fraction de millimètre-cube) ; le rendement peut, en théorie, atteindre 60 % ; de plus ils nécessitent des tensions d'alimentation de l'ordre de 1,5 à 2 V. La comparaison des lasers conventionnels et des diodes lasers respectivement aux tubes électroniques et aux transistors pouvait sembler évidente : Verrait-on les diodes lasers supplanter les tubes lasers ?

En fait, le laser solide a suscité peu d'intérêt pendant toute une période qui suivit son invention,

en raison de la quasi-impossibilité apparente de le faire fonctionner en continu, tout au moins aux températures usuelles. On parlait de rendements théoriques élevés : mais les rendements pratiques étaient inférieurs à 10 %. Jusqu'en 1968 environ, les dispositifs réalisés ne fonctionnaient qu'en régime impulsionnel : encore fallait-il avoir recours à un refroidissement énergétique, à l'azote liquide, si l'on voulait porter les puissances crêtes du laser aux environs du kilowatt.

En 1969, recourant à des structures de jonctions plus complexes, utilisant le composé ternaire Gallium-Aluminium-Arsenic, deux équipes de chercheurs : H. Kressel et H. Nelson, chez R.C.A., et M. B. Panish, I. Hayashi et S. Sumski, aux Bell Telephone Laboratories accomplirent un progrès déterminant en inventant une nouvelle classe de lasers : la jonction réalisée permet d'y confiner des

électrons injectés, de telle sorte que le rendement de pompage augmente considérablement.

Les puissances de ces lasers, en régime continu permettent d'envisager des applications pratiques, en particulier dans le domaine des télécommunications.

Les idées qui ont été mises en application dans ces nouveaux lasers, dits à hétérojonction simple, ont été énoncées dès 1963 par Herbert Kroemer.

Parallèlement aux équipes américaines, une équipe russe, dirigée par Zh. I. Alferov, à l'institut Ioffe de Leningrad réalisait, en 1969, un laser à double hétérojonction, dans lequel étaient injectés des électrons et des trous positifs.

LES LASERS SEMI-CONDUCTEURS

La diode laser est un raffinement de la diode électroluminescente. Les diodes lumineuses

produisant un rayonnement de bande de fréquence étroite. Le rendement de ces diodes augmente lorsque leur température décroît.

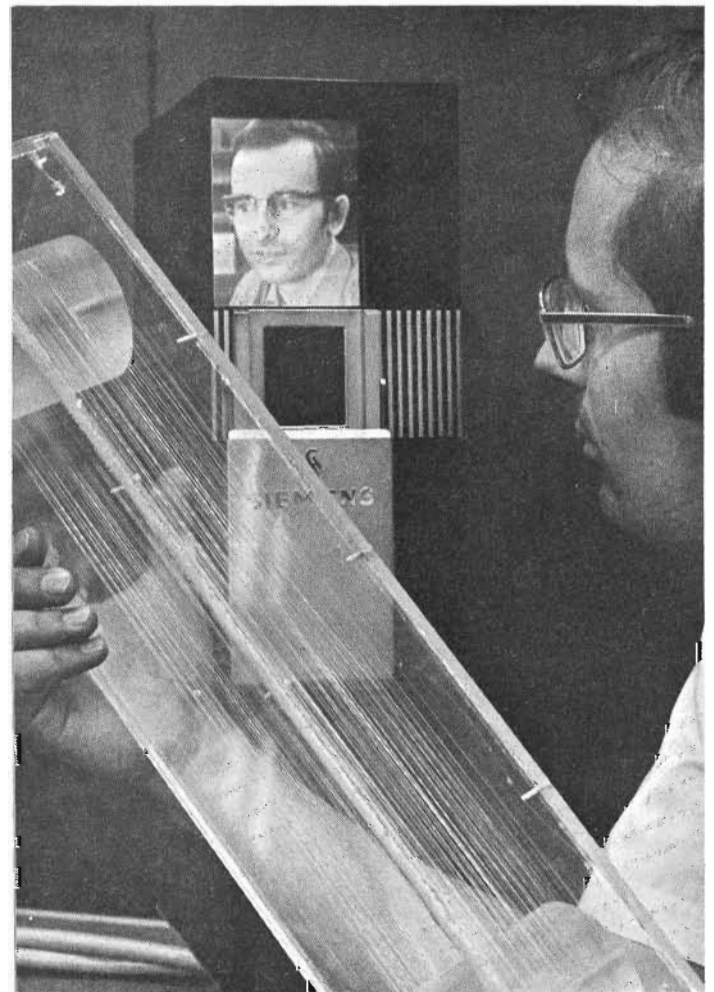
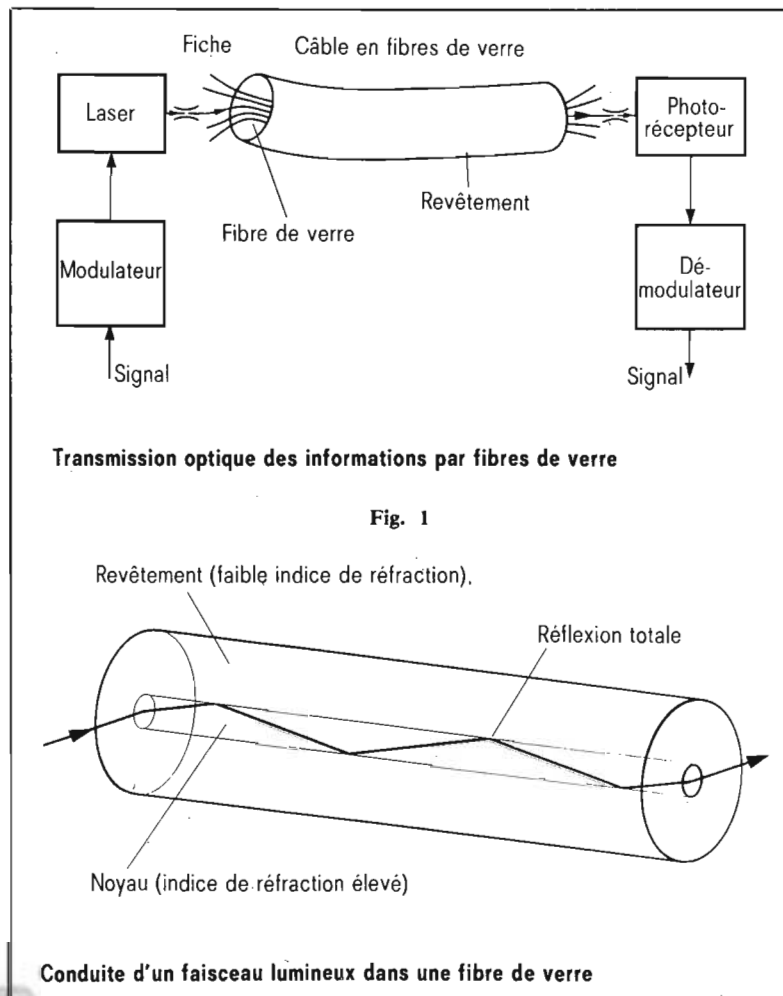
Les cristaux semi-conducteurs, tout comme les autres cristaux, sont constitués d'atomes liés dans une matrice tri-dimensionnelle périodique : c'est le réseau cristallin. Chaque atome est constitué d'électrons ; ceux-ci donnent au matériau ses propriétés optiques.

Lorsqu'un atome est isolé (par exemple dans un gaz), chaque électron peut prendre un certain nombre de valeurs distinctes d'énergie. Ces valeurs sont appelées des niveaux d'énergie et un électron caractérisé par une valeur particulière d'énergie est décrit comme occupant le niveau d'énergie correspondant. Le niveau occupé par chaque électron dépend de sa propre situation dans l'atome et de facteurs extérieurs (température, etc.).

La structure électrique d'un atome peut donc être représentée par une sorte d'échelle, où chaque barre représente un niveau d'énergie et l'espace entre les barreaux proportionnel à la distance (comptée en électron-volt, ou eV) entre les niveaux correspondants. L'état fondamental se situe à la base de l'échelle : si l'atome n'est pas excité, les niveaux supérieurs d'énergie sont vides. L'addition d'énergie par valeurs discrètes (quanta d'énergie) peut amener un électron à « entreprendre l'ascension de l'échelle » et sauter du niveau fondamental à un niveau supérieur. Lorsqu'un électron passe d'un niveau supérieur, à un niveau d'énergie inférieur, il rétrocede un quantum d'énergie sous forme de photons (voir le Haut-Parleur n° 1366 du 17 août 1972, p. 43). Un photon est à la fois une onde et une particule.

Dans un cristal, les atomes

Photo 1 : Une émission de télévision est transmise par des ondes lumineuses, à travers des fibres optiques. Les ondes lumineuses sont produites par une diode laser. (Cliché Siemens.)



sont emprisonnés dans une structure rigide, et les niveaux d'énergie supérieurs se trouvent alors confondus : c'est la théorie des bandes de la physique des solides. Dans chaque bande, les électrons peuvent occuper chacun un état électronique ; le nombre d'états disponibles dans une bande est égal au nombre d'atomes, multiplié par un petit nombre entier (inférieur à 10). On dit qu'une bande est vide, remplie ou partiellement remplie selon le nombre de ses états occupés par un atome : si aucun atome ne possède une valeur d'énergie se situant dans la bande considérée, la bande est vide ; la bande est remplie lorsque toutes les énergies des électrons se trouvent à des niveaux situés dans la bande considérée.

Une bande interdite sépare deux bandes d'énergie : dans la plupart des cas, l'énergie des électrons ne peut se situer dans cette bande interdite.

Un semi-conducteur possède deux bandes d'énergie : la bande supérieure est dite bande de conduction ; la bande de conduction est séparée de la bande d'énergies inférieures (ou bande de valence) par la bande interdite, dont la largeur sera dénommée E_g (mesurée en électron-volt).

La largeur E_g de la bande interdite est déterminante pour les propriétés optiques du semi-conducteur. En général, un semi-conducteur est « transparent » à la lumière dans laquelle l'énergie des photons est inférieure à E_g ; le semi-conducteur absorbera au contraire tout rayonnement lumineux dont les photons ont une énergie supérieure à E_g . La quantité de lumière qui sera absorbée dans ce dernier cas, dépend de nombreux facteurs, et en particulier de la quantité d'atomes étrangers (impuretés) présents dans le cristal sous forme de dopants.

LES BANDES DE CONDUCTION ET DE VALENCE

La bande de conduction ne contient pratiquement pas d'électrons, à moins que le cristal ne contienne des impuretés « donneurs » qui participeront au peuplement de cette bande.

La bande de valence est presque complètement remplie d'électrons : elle possède cependant quelques états vides, que l'on appelle des trous. Comme ces états ne contiennent pas d'électrons négatifs, ils sont, relativement, positifs : on dit que les trous sont positifs, car ils se comportent effectivement comme des particules positives. Ces particules positives imaginaires existent grâce à la présence d'atomes « accepteurs » à proximité de la bande de valence : les

électrons piégés par ces « accepteurs », laissent des trous positifs derrière eux.

Les électrons et trous positifs sont les seuls « porteurs de charges » présents dans le semi-conducteur. S'il y a plus de donneurs que d'accepteurs, le courant, dans le matériau, est véhiculé par des électrons de la bande de conduction. Le semi-conducteur est dit de type *n* (pour négatif).

Si, au contraire, le nombre d'accepteurs est supérieur à celui des donneurs, le matériau est dit de type *p* : le courant est transporté par les trous positifs.

Il est possible de créer en les injectant de l'extérieur des paires électrons-trous dans des matériaux de type *p* (ou de type *n*) : ces charges supplémentaires se trouvent dans une situation « hors d'équilibre » et le cristal tend, normalement à les éliminer et à revenir à un équilibre interne. L'élimination des porteurs qui ont été injectés dans le cristal devenu « hors d'équilibre » s'accompagne de la perte de l'énergie d'excitation par les électrons excités : or un électron qui a été excité pour passer de la bande de valence à la bande de conduction a reçu une quantité d'énergie égale à E_g ; donc, un électron qui perd son énergie d'excitation, rétrocedera une quantité d'énergie égale à E_g . Cet électron qui tombe dans la bande de valence va occuper un trou positif injecté de l'extérieur : c'est le phénomène de recombinaison trou-électron. L'énergie de l'électron va être rétrocedée sous la forme d'un photon.

Le processus est particulièrement efficace dans les semi-conducteurs tels que l'arséniure de gallium.

LA JONCTION P-N

La frontière d'un cristal formé par la juxtaposition d'un semi-conducteur de type *p* et d'un semi-conducteur de type *n* est appelée : « jonction *p-n* ». De telles jonctions sont à la base des diodes, transistors classiques, et également des diodes lumineuses.

Une jonction *p-n* est une frontière entre deux régions, la première contenant des charges négatives (électrons), l'autre des charges positives (trous). Par agitation thermique classique, ces charges vont vers la jonction où elles se recombinent. Cependant, le phénomène s'arrête rapidement : les charges qui se sont déplacées ont laissé derrière elles des centres d'impuretés positifs et négatifs, quant à eux immobiles ; le champ électrostatique créé par ces charges immobiles s'oppose au mouvement de charges, et le courant s'arrête.

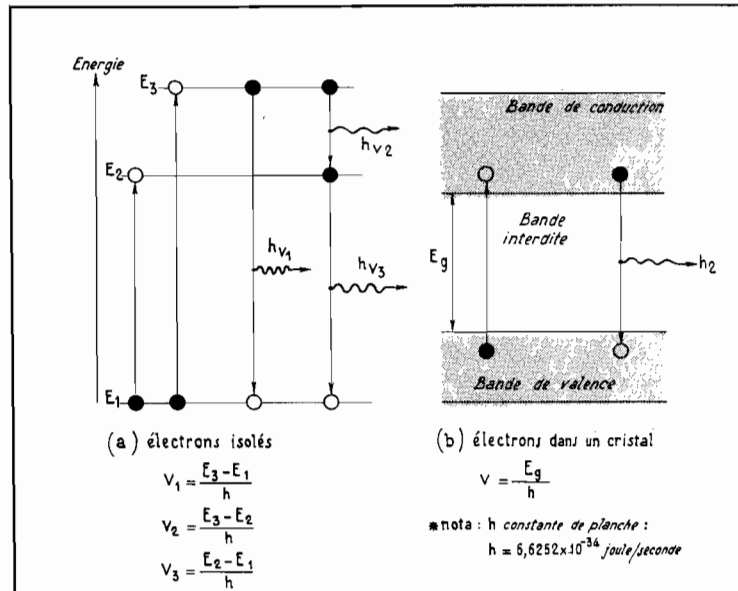


Fig. 2. — Etats d'énergie d'électrons dans un gaz et dans un cristal.

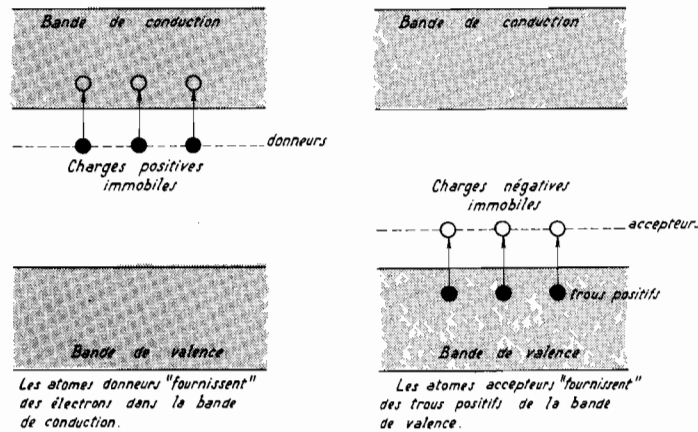


Fig. 3. — Donneurs et accepteurs.

Fig. 4. — Dans une jonction p-n, les champs électrostatiques induits incurvent les bords des bandes de valence et de conduction, produisant une barrière de potentiel.

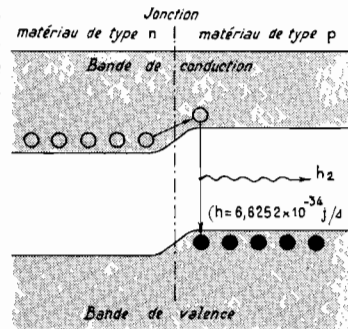
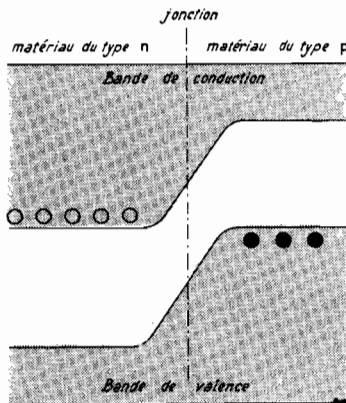


Fig. 5. — En appliquant une tension adéquate sur la jonction (on la polarise en direct), on réduit la barrière de potentiel et le courant traverse la jonction. Dans l'arséniure de gallium, ce courant est le fait d'électrons injectés dans la bande de conduction du matériau de type *p*, et qui se trouvent hors d'équilibre : l'équilibre revient par émission d'un photon.

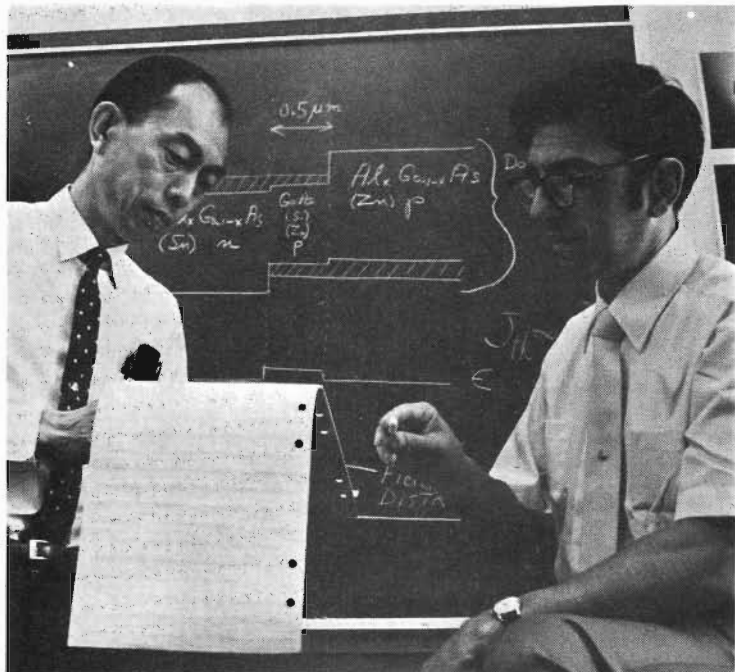
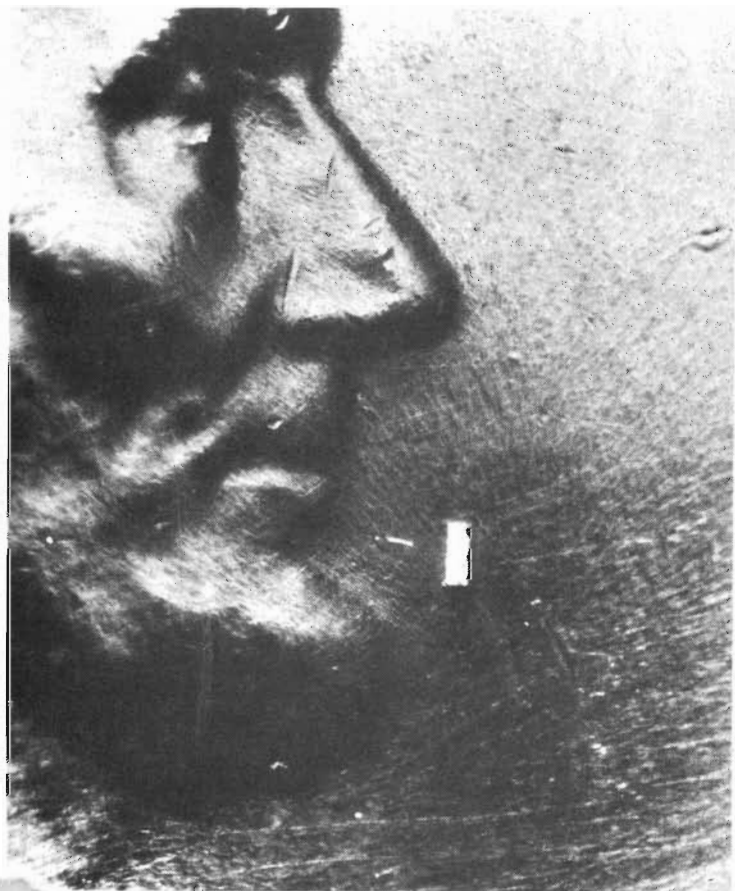


Photo 2 : Izuo Hayashi (à gauche) et Morton Panish, deux des inventeurs du laser semi-conducteur à hétérojonction. (Cliché Bell Telephone Laboratories.)

Photo 3 : Voici un laser semi-conducteur. Il est long de $375 \mu\text{m}$ et large de $75 \mu\text{m}$. Il fonctionne en continu à la température ambiante. (Cliché Bell Telephone Laboratories.)



Pratiquement, ces phénomènes se traduisent par une discontinuité des bandes de valence et de conduction, à la jonction $p-n$ (Fig. 4).

La discontinuité peut être aplanie (on fait disparaître la « barrière de potentiel ») en appliquant une tension électrique sur le cristal : cette tension s'oppose aux champs électrostatiques induits et permet au courant électrique de s'écouler à travers la jonction (Fig. 5) : des électrons sont injectés par le circuit extérieur, dans la région de type n ; la région de type p éjecte, dans le circuit externe, des électrons (ou encore : le circuit externe injecte dans la région de type p , des trous positifs). De plus, des électrons traversent la jonction $p-n$ et se retrouvent en région de type p : ce phénomène est dénommé l'injection d'électrons.

Dans de nombreux semi-conducteurs, il y a également une injection de trous positifs dans la région n .

Généralement, l'un de ces processus est prédominant. Dans l'arséniure de gallium, le processus prédominant est l'injection d'électrons.

Lorsque les électrons ont été injectés dans la bande de conduction de la région p , leur énergie est supérieure à la valeur normale de l'énergie des électrons : l'écart est E_g , largeur de la bande interdite. Ces électrons restent un certain temps dans la bande de conduction (c'est la « durée de vie »), puis se recombinent aux trous présents dans la région p . Dans l'arséniure de gallium, cette recombinaison donne lieu à l'émission d'un photon de longueur d'onde déterminée approximativement par la largeur de la bande interdite de l'arséniure de gallium. Ce processus est l'électroluminescence ; le dispositif qui le provoque, est appelé une diode électroluminescente.

La largeur de la bande interdite de l'arséniure de gallium est égale à 1,4 électron-volt approximativement. La longueur d'onde du rayonnement émis lors de la recombinaison d'une paire électron-trou est environ $0,9 \mu\text{m}$: il s'agit d'un rayonnement situé dans le proche infrarouge.

La lumière ainsi produite est le fait d'une émission spontanée : les recombinaisons trous-électrons s'opèrent en effet spontanément, sans être ralenties ou accélérées par les photons, issus d'autres recombinaisons.

Lorsque l'on augmente le courant d'injection, un processus d'émission stimulée apparaît : quand un électron à l'état excité est frappé par un photon dont l'énergie est celle de la bande interdite, l'électron sera « stimulé » à émettre un photon et à redescendre à un niveau d'énergie

plus faible. Le photon produit par stimulation aura la même phase, la même longueur d'onde et la même direction de propagation que le photon ayant servi à la stimulation de l'électron.

Les électrons injectés dans la région p sont des électrons excités : lorsqu'un tel électron ne s'est pas recombiné spontanément, il peut être frappé par un photon d'une autre recombinaison et stimulé à émettre, lui aussi, un photon. Le photon de stimulation et le photon stimulé ont les mêmes phase, longueur d'onde et direction.

Lorsque le courant d'injection croît, la part due à la stimulation dans la lumière émise augmente, car le nombre de paires électrons-trous au voisinage de la jonction augmente : il en résulte une amplification du nombre de photons émis.

LES MIROIRS RENVIOIENT LES PHOTONS

Si la diode est fabriquée avec une jonction $p-n$ plane, on peut faire en sorte que deux surfaces externes de la diode soient perpendiculaires au plan de la jonction. Ces extrémités planes joueront le rôle de miroirs semi-réfléchissants ; ils réfléchiront partiellement la lumière stimulée dans la direction parallèle au plan de la jonction.

L'énergie lumineuse est ainsi partiellement renvoyée vers le plan de la jonction : elle peut de nouveau être amplifiée en stimulant d'autres électrons excités.

On vient de réaliser une diode laser à « homostructure », car elle est réalisée en un seul matériau semi-conducteur.

Une diode laser à homostructure requiert des densités de courant très élevées : 2 500 à 100 000 A par centimètre-carré ; dans le meilleur des cas, avec une jonction de $0,05 \text{ mm}^2$, cela correspond à une intensité de 12,5 A au moins.

En raison des très forts courants nécessaires, un tel laser fonctionne seulement par impulsion à la température ambiante : les impulsions durent une microseconde, et leur fréquence est égale à 1 000 Hz. On obtient un fonctionnement continu à très basse température (-196°C), où le seuil de courant donnant l'effet laser est plus faible qu'à la température ambiante.

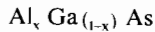
En 1967, J.-C. Dymont et L.-A. d'Asaro, des Bell Telephone Laboratories, parvinrent à faire fonctionner en continu un laser à homostructure à la température relativement élevée de -68°C . C'est la température maximale de fonctionnement d'un tel laser ; encore faut-il prendre des précautions pour évacuer la chaleur dissipée. On se rendit

bien compte dès lors que, pour construire un laser semi-conducteur fonctionnant en continu à température ambiante, il était nécessaire de trouver un moyen pour diminuer considérablement le seuil de courant donnant l'effet laser.

LA SOLUTION : LA DIODE A HETEROJONCTION

On est parvenu à abaisser le seuil de déclenchement de l'effet laser, à température ambiante, en modifiant la structure du laser, de telle sorte que la région active soit ramenée à des dimensions très faibles. Pour cela, on emploie des diodes contenant d'une part une région en arséniure de gallium, d'autre part une région où certains atomes de gallium du cristal d'arséniure de gallium sont remplacés par des atomes d'aluminium : cette région est alors réalisée en un matériau appelé : arséniure de gallium-aluminium. La jonction entre ces deux régions est dite une « hétérojonction ».

La formule chimique de l'arséniure de gallium est : $GaAs$; celle de l'arséniure de gallium-aluminium est :



où x est le pourcentage d'atomes de gallium remplacés par des atomes d'aluminium. Bien entendu, ce nombre relatif est compris entre 0 et 1. Si $x = 0$, on a de l'arséniure de gallium pur. Si la moitié des atomes de gallium est remplacée par des atomes d'aluminium, on aura : $Al_{0,5} Ga_{0,5} As$.

La bande interdite de l'arséniure de gallium-aluminium est plus large que celle de l'arséniure de gallium pur, l'écart étant d'autant plus grand que la teneur en aluminium est elle-même importante. Il en résulte une brusque variation de la bande interdite au passage d'une hétérojonction (Fig. 6).

L'arséniure de gallium-aluminium est transparent à la lumière dont l'énergie correspond à la largeur de la bande interdite de l'arséniure de gallium. C'est là la conséquence de la variation de la largeur de la bande interdite au passage de l'hétérojonction.

L'HETEROJONCTION SIMPLE

Le laser à hétérojonction simple présente un seuil de déclenchement de l'effet laser nettement réduit : $8\ 000\ A/cm^2$, soit 3 à 12 fois moins que les lasers à homostructure. La structure interne du laser à hétéro-

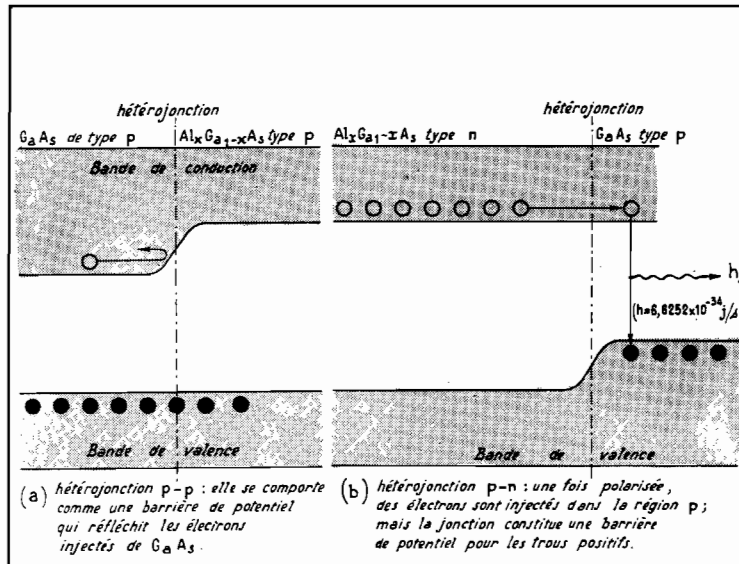


Fig. 6. — Hétérojonctions.

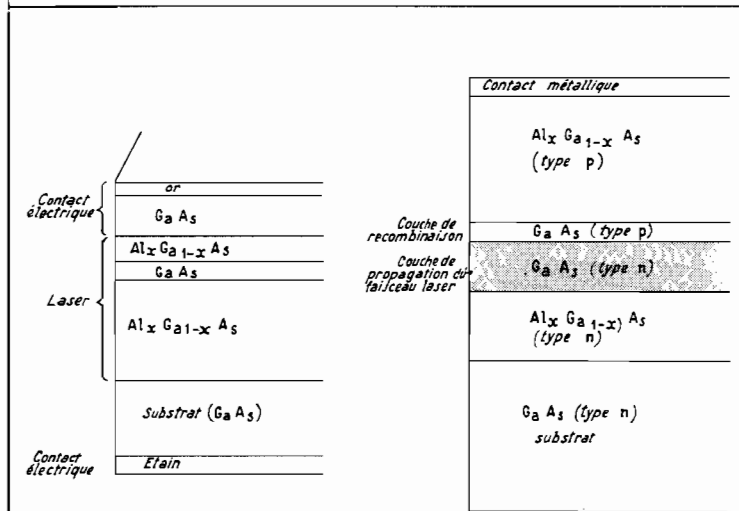


Fig. 7. — Hétérojonction double.

jonction simple s'obtient en déposant une couche d'arséniure de gallium-aluminium sur un substrat en arséniure de gallium de type n , et en diffusant simultanément du zinc. Le zinc est un accepteur dans l'arséniure de gallium : l'introduction en suffisamment grande quantité de zinc peut transformer un matériau de type n en un matériau de type p .

On obtient ainsi, grâce à cette diffusion, un substrat essentiellement de type n , avec une couche mince diffusée de type p . Au contact de cette région de type p que l'on pourrait dénommer « dopée au zinc », se trouve une couche d'arséniure de gallium-aluminium de type p . On a donc, successivement, une

homojonction $p-n$ dans l'arséniure de gallium, très proche d'une couche d'arséniure de gallium-aluminium de type p (hétérojonction de type $p-p$). Les plans d'homojonction $p-n$ et de l'hétérojonction $p-p$ sont parallèles. Ce laser est dit à simple hétérostructure.

Quand un tel laser est suffisamment polarisé, des électrons sont injectés dans l'arséniure de gallium dopé au zinc mais sont arrêtés par la barrière de potentiel constituée par l'hétérojonction $p-p$. Les électrons ne peuvent pas, en conséquence, diffuser dans un grand volume, comme cela se passait dans une homojonction classique : les électrons sont confinés dans un très petit volume, ce qui est favorable à

l'abaissement net du seuil de densité de courant donnant l'effet laser.

LE LASER A DOUBLE HETEROJONCTION

On peut réduire encore considérablement ce seuil à l'aide d'une hétérojonction supplémentaire à la jonction $p-n$ (Fig. 7). Il s'agit d'un « sandwich » constitué d'arséniure de gallium-aluminium de type n , d'arséniure de gallium de type p et d'arséniure de gallium-aluminium de type p . On a ainsi successivement une hétérojonction $n-p$ suivie d'une hétérojonction $p-p$. La région en arséniure de gallium de type p , prise en sandwich entre l'arséniure de gallium-aluminium, joue le rôle de milieu actif.

Comme précédemment, une polarisation correcte permet d'injecter des électrons au travers de l'hétérojonction $p-n$, dans l'arséniure de gallium ; ces électrons sont arrêtés par l'hétérojonction $p-p$. De plus, les trous sont réfléchis par l'hétérojonction $p-n$ (ce qui n'est pas le cas dans l'hétérojonction simple, à l'homojonction $p-n$) et l'absence de ce courant qui ne participe pas au déclenchement de l'effet laser, ne peut qu'être favorable. En particulier l'absence de courant de trous autorise de fabriquer des régions actives beaucoup plus fines que dans une hétérojonction simple ; dans ce dernier cas, en effet, l'effet du courant de trous est d'autant plus néfaste que la largeur de la région active est petite.

On peut donc, avec l'hétérojonction double, confiner l'effet laser dans une région active de $0,5\ \mu m$ d'épaisseur. Le seuil de densité de courant donnant l'effet laser est alors ramené à $1\ 000\ A/cm^2$, et l'on espère encore pouvoir abaisser ce niveau.

Toujours est-il que même à $1\ 000\ A/cm^2$, la chaleur à évacuer reste importante, en fonctionnement continu, à température ambiante, du laser à double hétérojonction. Or, cette chaleur est générée dans la région active du laser et doit traverser au moins une couche d'arséniure de gallium-aluminium avant d'être évacuée : or ce composé ternaire est mauvais conducteur de la chaleur. On est amené à fabriquer, au moins pour l'une des deux couches d'arséniure de gallium-aluminium, une région de faible épaisseur (un micromètre) ; il faut aussi prévoir un radiateur efficace : aux Bell Telephone Laboratories, on est même parvenu, avec un montage spécial ; à faire fonctionner en continu un laser à hétérojonction double, à la température de... $100\ ^\circ C$!

Une innovation récente permettrait peut être de diminuer fortement le problème thermique : il s'agit du laser LOC (Fig. 8) ou laser à grande cavité optique (« large optical cavity »). Le laser LOC emploie :

- Une couche mince de type *p*, dans laquelle s'effectue la recombinaison des porteurs de charge :

- Une couche plus épaisse de type *n* servant à la propagation de la lumière.

Comme ce matériau, passif, de type *n*, n'absorbe que très peu l'énergie lumineuse, le rayonnement n'échauffe pas autant la région active... en tout état de cause c'est un développement à suivre.

(A suivre.)

Marc Ferretti.

TABEAU I
MATERIAUX POUR LASERS
EN SEMI-CONDUCTEURS

Composé	Longueur d'onde (μm)
(AlGa)As	0,628 à 0,90 μm
(GaAs)P	0,64 à 0,90 μm
GaAs	0,85 à 0,90 μm
InP	0,90 μm
Ga(AsSb)	0,90 à 1,5 μm
GaSb	1,5 μm
(InGa)As	0,90 à 3,1 μm
InAs	3,1 μm
In(AsSb)	3,1 à 5,4 μm
PbS	4,3 μm
InSb	5,4 μm
PbTe	6,5 μm
PbSe	8,5 μm
Pb(SnTe)	6,5 à 28 μm
Pb(S Se)	4,3 à 8,5 μm
Pb(SnSe)	8,5 μm au moins

NICE - COTE D'AZUR RADIO-PRIX

30, rue Alberti, 06 NICE

LE MEILLEUR MARCHÉ DE TOUTE LA COTE D'AZUR
DISTRIBUE :

TOUT LE MATERIEL B.S.T. Casques - Micros - Préamplis - Boîtes de mixage - Réverbération - Interphones, etc.

TOUT POUR 27 MHz et 144 MHz. Radio-téléphones toutes marques - Antennes pour fixes et mobiles - Appareils de mesures - Connecteurs, Câbles - Quartz, etc.

TOUT LE MATERIEL GARRARD. Platines - Socles - Capots - Amplis - Tuners - Casques - Cellules Excel Sound, etc.

TOUT LE MATERIEL ROSELSON. Haut-parleurs - Enceintes en kit - Electrophones - Boîtiers métal, etc.

TOUT LE MATERIEL COGKIT. Amplis - Tuners - Modules - Chaînes stéréo - Alimentations - Enceintes, etc.

TOUT LE MATERIEL SABA. Amplis - Tuners - Magnétophones - Chaînes stéréo, etc.

Pièces détachées - Composants - Circuits intégrés - Modules divers - Contrôleurs - Oscillos - Transistors - Tubes, etc.

PRIX SPECIAUX POUR REVENDEURS ET PROFESSIONNELS

HP 1379 p 155

ROSELSON

Haut-parleurs Kits pour Enceintes
Tuners UHF



1) AF 12NG
suspension souple
45 W 35 à 1500 Hz
Ø 30 cm

2) AF 10DFC
double cône 10 W
55 à 15000 Hz
Ø 25 cm

3) AF 8GM
suspension souple
10 W 60 à 10000 Hz - Ø 20 cm

4) R 1T
Tweeter avec pavillon
20 W
1500 à 18000 Hz

5) AF2,5x5TWT
18 W 2000 à 18000 Hz
13 x 6,9 cm

6) R 3T
à dôme hémisphérique
20 W
2500 à 22000 Hz
Ø 10 cm

7) RU 49T
TUNER UHF
normes standard
demultiplication
incorporée



8) Ensemble de haut-parleurs et de filtres avec fils de liaisons repérés, à monter sur l'enceinte de votre choix de 15 à 60 W Serie SK BNG.

MEILLEUR RAPPORT QUALITE/PRIX
sur le marché Européen

En vente chez votre revendeur habituel
Catalogue sur demande

TERA-LEC

51, rue de Gergovie - 75014 PARIS
Tél : 734 . 09 . 00