

Les lasers à semiconducteur dans les systèmes à disques optiques

par T. SENS (*)

Les techniques de numérisation de l'information alliées aux techniques de stockage et de restitution de celle-ci, par faisceau optique constituent très certainement une révolution technologique qui marque cette décennie.

Cet article décrit les technologies des composants lasers utilisés pour la lecture et l'écriture sur les disques optiques.

L'utilisation d'un faisceau lumineux pour le stockage ou la restitution de l'information sur le disque présente de nombreux avantages, principalement:

- la possibilité de s'affranchir de tout contact mécanique entre le support de l'information et la tête d'accès à celle-ci,

- la protection de cette information à l'aide d'un film transparent à la radiation émise,

- et l'obtention d'une densité d'information par unité de surface de disque importante.

Les trois applications distinctes utilisant ce principe sont aujourd'hui:

- le « Compact-Disc » (C.D.);

- les mémoires de masse et les systèmes d'archivage pour ordinateur (D.O.R. Digital Optical Recording).

- le Vidéodisque (V.L.P. Vidéo Long Player).

Alors que pour les deux premières applications, l'information est stockée sous forme numérique, elle l'est sous forme « pseudo analogique » pour la troisième à l'aide d'une modulation en durée des impulsions (P.D.M.).

Mais, quel que soit le codage, l'information est transcrite dans un sillon spirale de plusieurs dizaines de kilomètres, au sein duquel figurent des « trous ». L'information est restituée par un balayage optique de ce sillon: une photodiode convertit sous forme électrique les variations d'intensité lumineuse réfléchie en surface du disque (fig. 1).

La contrainte en terme de signal réfléchi sur le disque, et donc de rapport signal sur bruit, impose l'utilisation de sources émettrices capables de fournir

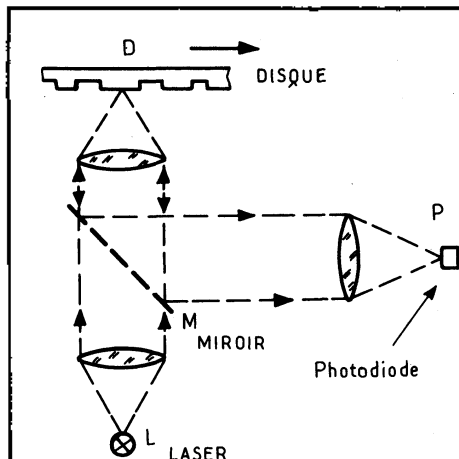


Fig. 1 : Principe de la lecture optique.

une puissance optique de plusieurs milliers de watts/centimètres² par steradian. Le choix se porte tout naturellement vers l'utilisation d'un laser, la longueur d'onde d'émission résultant de la densité d'information sur le disque.

Les lasers à semiconducteur

Les lasers de type hélium-neon présentent les inconvénients majeurs d'une dimension physique de l'ordre d'une vingtaine de centimètres, et, de nécessiter une tension d'alimentation de l'ordre de 1 500 V. Contrairement à ces derniers, les lasers solides ont un faisceau divergent et généralement non symétrique, imposant l'emploi d'optiques pour permettre une exploitation correcte de celui-ci. Mais ce sont des composants très compacts (une dizaine de millimètres pour le composant fini) qui se polarisent sous une tension de 2 à 3 V, avec un courant inférieur à 200 mA.

De plus, produits en grande quantité, leur prix de revient est inférieur à celui des lasers hélium-neon.

L'emploi d'un laser à semiconducteur se justifie donc amplement.

Les lasers au GaAlAs à double hétérojonction

Le GaAlAs est un composé ternaire intrinsèquement stable et possédant de hauts rendements quantiques.

Il offre le choix d'une longueur d'onde s'échelonnant entre 780 et 880 nm (dans le cas d'une structure laser) et la possibilité de réaliser des hétérojonctions de par une compatibilité des mailles cristallines pour différents te-neurs en aluminium.

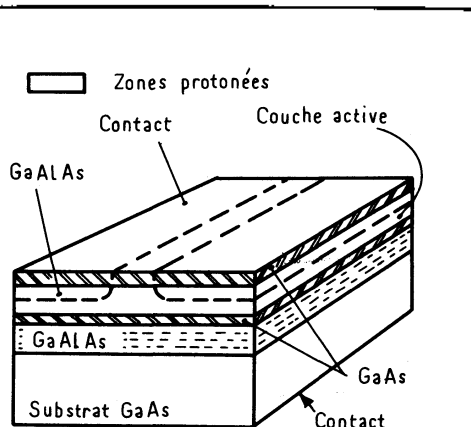


Fig. 2 : Vue en perspective du cristal laser.

(*) La Radiotechnique Compelec.

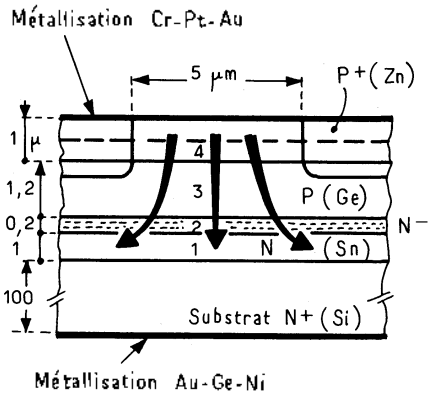


Fig. 3 : Coupe du cristal laser. Structure à guidage par le gain.

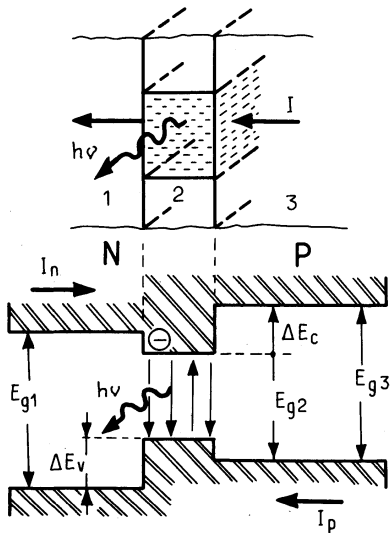


Fig. 4 : Diagramme d'énergie.

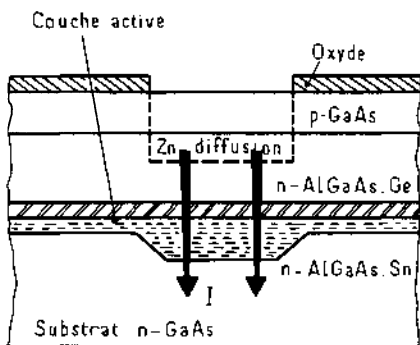


Fig. 5 : Coupe du cristal laser. Structure à guidage par l'indice.

TABLEAU I

Lecteur	
- axe optique par rapport à la verticale	$\pm 0,2^\circ$
- suivi de piste	$\pm 0,1 \mu\text{m}$
- focalisation	$\pm 0,5 \mu\text{m}$
Disque	
- épaisseur	$1,2 \pm 0,1 \text{ mm}$
- plan du disque par rapport à l'horizontale	$\pm 0,6^\circ$
- flancs des trous	$\pm 50 \text{ nm}$
- profondeur des trous	$0,12 \pm 0,01 \mu\text{m}$

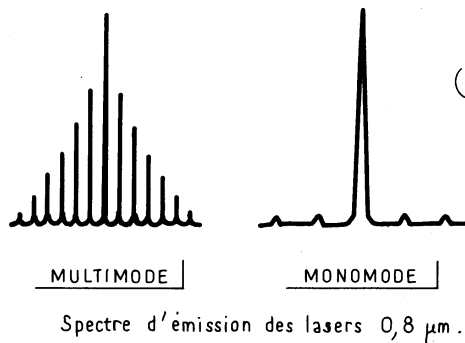


Fig. 6 : Caractéristique puissance lumineuse en fonction du courant à 60°C.

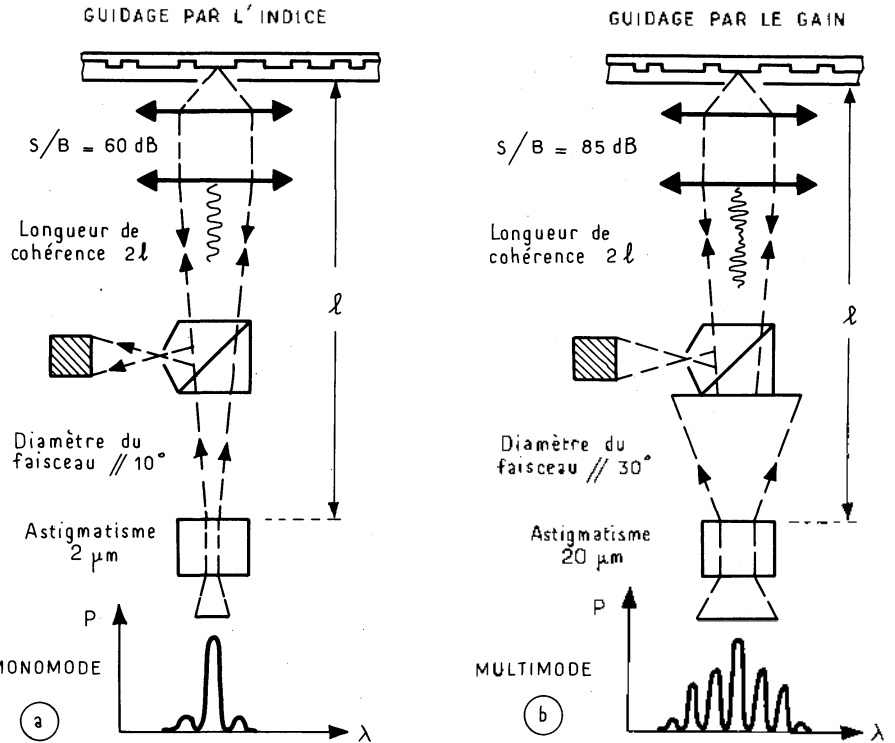
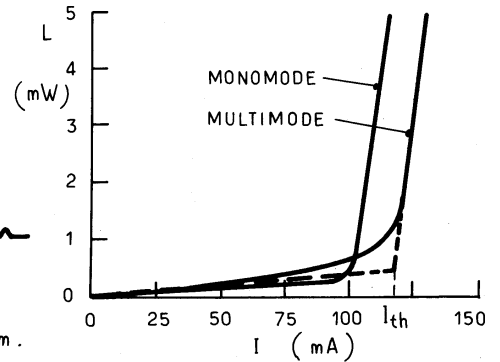


Fig. 7.

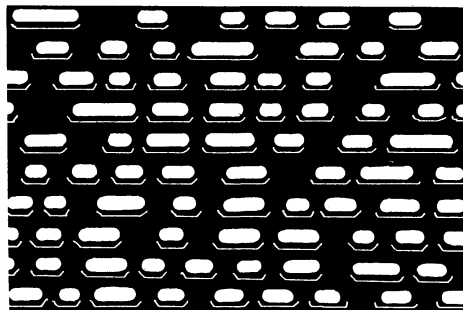


Fig. 8 : L'information sur le « Compact-Disc » est stockée sous forme numérique au sein d'un sillon spiralé dans lequel figurent des trous. La distance entre deux sillons est de 1,6 μm. La largeur du trou est de 0,6 μm et sa profondeur de 0,12 μm. La longueur d'un trou et d'un intervalle entre deux trous est au minimum du 0,9 μm et au maximum de 3,3 μm.

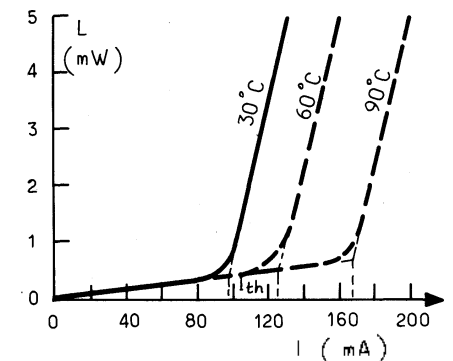


Fig. 9 : Dépendance en température de la caractéristique puissance lumineuse en fonction du courant laser.

Plusieurs structures de cristal sont possibles, et on distingue deux types de laser : *multimode* et *monomode*.

Les lasers multimodes

Sur un substrat GaAs à très faible taux de dislocation ($< 10^2$ par cm^2) on fait croître par épitaxie liquide des couches successives de GaAlAs dont la concentration en aluminium détermine les bandes d'énergie et les indices de réfraction.

La figure 2 représente schématiquement le cristal et la figure 3 indique la nature des dopants de chaque couche et leur épaisseur pour cette structure dite à « guidage par le gain ».

La localisation des lignes de courant permettant de délimiter la cavité laser, et, d'obtenir une densité de courant importante, se fait par bombardement de protons des couches supérieures et jusqu'à proximité de la couche active. Les zones ainsi traitées deviennent semi-isolantes et il ne reste qu'un ruban de $5 \mu\text{m}$ de marge sur toute la longueur du cristal.

La figure 4 représentant le diagramme d'énergie des couches 1, 2 et 3 permet d'expliquer le fonctionnement de l'ensemble. Les couches 1 et 3 servent à piéger dans la couche 2 les électrons et les trous. Le clivage des faces du cristal permet la réflexion de photons au sein de la couche active. Ce taux de réflexion d'une valeur approximative de 30% sert à stimuler les porteurs et ainsi à générer des recombinaisons radiatives cohérentes. Toutefois, cette amplification de lumière par émission stimulée n'intervient qu'au dessus d'une certaine densité de courant correspondant au courant de seuil; en dessous de ce niveau, le cristal se comporte comme un simple diode électroluminescente.

Les indices de réfraction des couches 1 et 3 étant plus faibles que celui de la couche 2, la lumière est confinée transversalement dans la couche active. On obtient ainsi un laser multimode longitudinal et monomode transverse.

Les lasers monomode

Afin d'augmenter la densité de courant au sein du cristal et donc de diminuer le courant de seuil ainsi que la dissipation du cristal, ont été développées des structures introduisant un confinement latéral plus important.

Ces structures dites à « guidage par l'indice » permettent en effet un confinement de la lumière à la fois longitudinal et transverse. La figure 5 représente schématiquement une telle structure (structure C.S.P. Channel Substrat Planar). On obtient ainsi un laser monomode longitudinal et transverse.

Les performances des composants la-

sers réalisés dans ces deux structures sont sensiblement différentes.

Le courant de seuil est plus faible et plus marqué dans le cas d'un laser monomode; son spectre d'émission est plus étroit, sa longueur de cohérence plus grande et son astigmatisme plus petit (fig. 6).

Dans les disques optiques, il est possible d'utiliser un laser multimode ou monomode; ceci se concrétise par des performances différentes mais qui restent compatibles avec l'application visée.

La figure 7 met en évidence ces différences. Un spectre étroit donne à la source émettrice, une longueur de cohérence élevée la rendant sensible aux réflexions optiques responsables d'interférences indésirables. Cela se traduit par un rapport signal sur bruit du laser plus faible que dans le cas d'un laser multimode. Par contre, de par son astigmatisme plus faible, le monomode présente un faisceau moins divergent, ce qui laisse la possibilité de le faire fonctionner à une puissance optique plus faible, paramètre influant sur la fiabilité du système optique complet. En effet, pour obtenir 0,5 mW en surface du disque (norme retenue pour le « Compact-Disc »), il convient de faire fonctionner le multimode et le monomode respectivement à 4 mW et 1,5 mW.

Choix de la longueur d'onde

Du choix de la longueur d'onde dépend le pouvoir de discrimination de l'information et donc la densité de celle-ci sur le disque.

Le diamètre du spot de la source émettrice qu'il est possible d'obtenir en surface du disque, est proportionnel à la longueur d'onde (λ) et inversement proportionnel à l'ouverture numérique (O.N.) de l'optique réalisant la focalisation $d = 0,6 \lambda / \text{O.N.}$

Afin de disposer d'un diamètre de spot le plus faible possible, il convient donc d'obtenir une longueur d'onde la plus faible et une ouverture numérique la plus grande possible. Si la borne inférieure de la longueur d'onde est fixée par les possibilités technologiques de

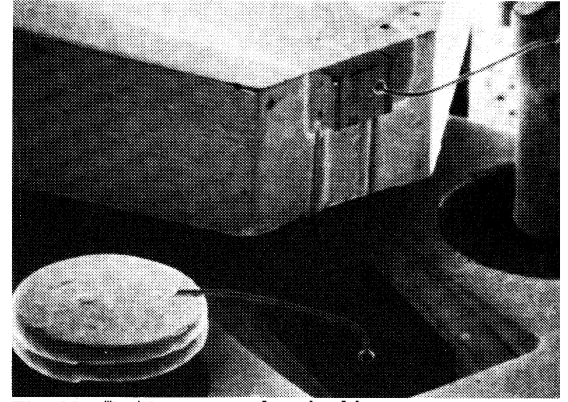


Fig. 11 : Positionnement du cristal laser sur le radiateur et de la photodiode de contrôle sur l'embase.

la partie physique d'élaboration du cristal laser, la borne supérieure de l'ouverture numérique est donnée par les tolérances de fabrication des disques et des systèmes optiques de lecture-écriture.

Pour le « Compact-Disc », la tolérance entre l'axe optique et la surface du disque est proportionnelle à ON^{-2} . La tolérance sur l'épaisseur du disque est proportionnelle à ON^{-4} et la profondeur de focalisation déterminant la tolérance de focalisation est proportionnelle à ON^2 .

Les tolérances de fabrication, résumées dans le tableau 1, ont imposé une valeur maximale pour l'ouverture numérique de 0,45.

Un calcul simplifié montre donc qu'un maximum de 80 nm pour la longueur d'onde est autorisé afin d'obtenir un diamètre de spot de $1 \mu\text{m}$. Cette longueur d'onde peut être portée jusqu'à 820 nm pour le « Compact-Disc ».

Technologies de montage des lasers

La caractéristique puissance lumineuse en fonction du courant laser variant de l'ordre de $1\%/^{\circ}\text{C}$ et de quelques $\%/1000 \text{ h}$, il est impératif de disposer au sein du montage d'un élément photosensible capable de transcrire à tout moment l'évolution de cette caractéristique de façon à maintenir constante la puissance optique émise

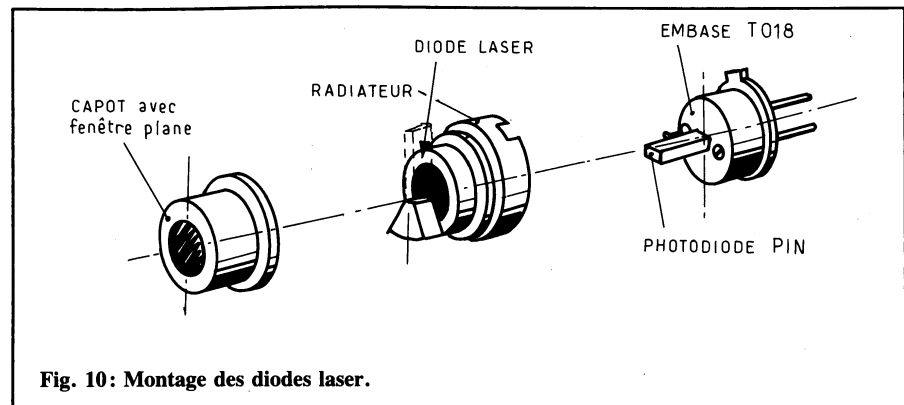


Fig. 10 : Montage des diodes laser.

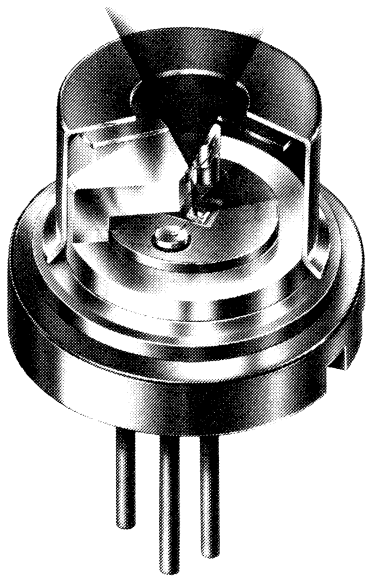


Fig. 12 : Laser à fenêtre plane monté dans le « Compact-Disc ».

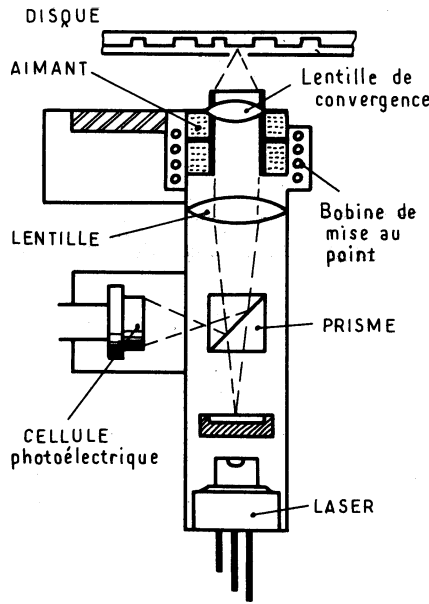


Fig. 13 : Tête optique du « Compact-Disc ».

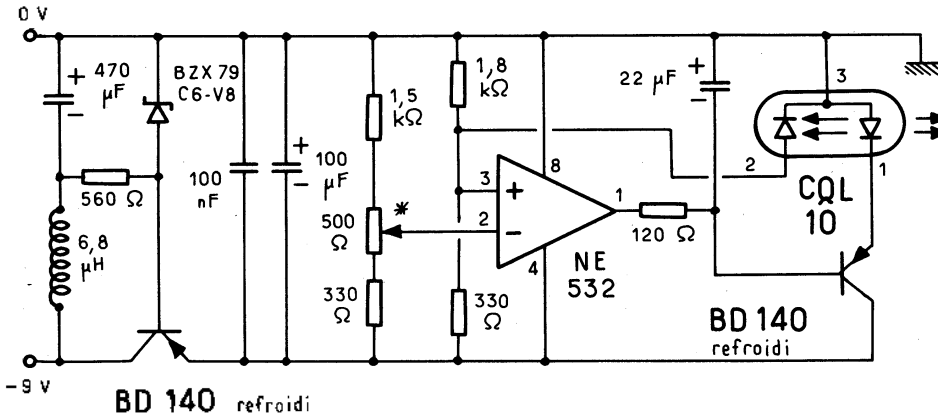


Fig. 14 : Circuit d'asservissement de la puissance optique émise par le laser.

TABLEAU II

LASER RTC	Multimode CQL 10	Monomode 498 CQL
structure	guidage par le gain	guidage par l'indice
longueur d'onde	780 à 810 nm	780 à 810 nm
largeur spectrale	4 nm	0,5 nm
puissance lumineuse	10 mW	10 mW
courant de seuil	90 mA	50 mA
caractéristique du faisceau par rapport au cristal laser	$\pm 17^\circ$	$\pm 7^\circ$
astigmatisme	$\pm 30^\circ$	$\pm 17^\circ$
temps de réponse	20 μm	2 μm
sensibilité de la photodiode	1 ns	1 ns
	0,5 A/W	0,5 A/W

TABLEAU III

LASER COLLIMATE RTC	CQL 13 C	CQL 14 A
longueur d'onde	870 nm	820 nm
largeur spectrale	4 nm	4 nm
caractéristique du faisceau	$\varnothing 5,4 \text{ nm}$	$\varnothing 5,4 \text{ nm}$
diverg.	0,3 mrd	0,3 mrd
courant de seuil	90 mA	90 mA
puissance	2 mW	20 mW en impulsion

par le laser (figure 9). Pour ce faire, on monte une photodiode PIN de contrôle. Puisque le cristal laser émet par les 2 faces de la cavité optique, et qu'il y a proportionnalité des puissances lumineuses entre ces 2 miroirs, il est donc possible de contrôler et de moyenner le flux lumineux. On monte ainsi sur embase de type TO 18 une photodiode de contrôle.

On rapporte ensuite un élément dissipant sur lequel figure le cristal laser, et, en dernier lieu, un capot à fenêtre plane de façon à rendre hermétique le composant ainsi réalisé (figure 10).

Le positionnement du cristal laser sur le radiateur nécessite une précision de l'ordre de quelques μm afin d'assurer une bonne conduction thermique et d'éviter les réflexions optiques sur le radiateur. De plus, la photodiode de contrôle est légèrement inclinée sur l'embase de façon à minimiser les réflexions optiques (figure 11 et 12). C'est un composant de ce type qui est utilisé dans le « Compact-Disc » (figure 13).

La figure 14 donne un exemple de circuit de stabilisation de la puissance optique.

Le tableau II résume les performances des lasers multimodes et monomodes. Pour des applications plus professionnelles (D.O.R. par exemple), il convenait d'utiliser plusieurs sources émettrices et donc de réaliser un système optique de focalisation commun à ces différentes sources. Il fallait donc corriger l'astigmatisme et la divergence du composant à fenêtre plane pour obtenir un faisceau homogène, symétrique et parallèle.

C'est l'association dans une tuyère en aluminium d'un laser à fenêtre plane et d'optiques adéquates qui a permis la réalisation de lasers collimatés dont la divergence n'est plus que de 0,3 milliradian et l'astigmatisme presque entièrement résorbé (figure 15).

Dans le D.O.R., 2 lasers collimatés de ce type sont montés, l'un pour la lecture émettant 2 mW à 870 nm, l'autre pour l'écriture des informations émettant 20 mW en impulsion à 820 nm. Le tableau ci-après résume les caractéristiques des lasers collimatés employés dans le D.O.R.: tableau III

Restitution de l'information

La restitution de l'information s'effectue à l'aide de photodiodes convertissant sous forme électrique l'intensité lumineuse réfléchie sur le disque. Mais un asservissement est nécessaire pour optimiser le suivi de piste (tracking) et la focalisation au sein du disque (focusing). C'est pourquoi on utilise un réseau de photodiodes plus ou moins complexe, permettant à tout moment

d'asservir l'inclinaison et la position de la tête optique de lecture-écriture par rapport au disque.

La figure 16 présente le système optique complet du « Compact-Disc » au sein duquel figure un réseau de 4 photodiodes. Lorsque le spot illumine un intervalle entre deux trous, la lumière est réfléchie et éclaire l'ensemble des photodiodes D1 - D4 au travers d'un miroir semi transparent. Quand le spot irradie un trou, la profondeur de celui-ci étant nettement inférieure à la longueur d'onde de la source laser, la lumière est diffractée et n'éclaire que faiblement le réseau. On détecte ainsi une absence de signal. En fait, le procédé est plus complexe, et, seules les transitions plat-trou contribuent à la restitution de cette information (figure 17).

L'utilisation du réseau de photodiodes ne se justifie que pour minimiser les erreurs de « tracking » et de « focusing ». Si le spot s'écarte de la piste la diffraction de la lumière n'est pas homogène. Le prime solidaire du miroir contribue à dissymétriser l'éclairage des photodiodes et donc le photocourant. En minimisant le terme $(D1 + D2) - (D3 + D4)$, on minimise l'erreur de « tracking ».

Si la tache du spot est optimale (la plus petite possible), les deux images générées par la lumière diffractée à l'aide du prisme sont parfaitement localisées entre les photodiodes 1 - 2 et 3 - 4. Par contre, si la tache n'est pas optimale, les deux images se localisent sur les photodiodes 2 - 3 ou 1 - 4. Le terme $(D1 + D4) - (D2 + D3)$ permet donc d'optimiser la focalisation de la lumière sur le disque en asservissant la position de la dernière lentille du système optique.

La figure 18 représente les photoré-

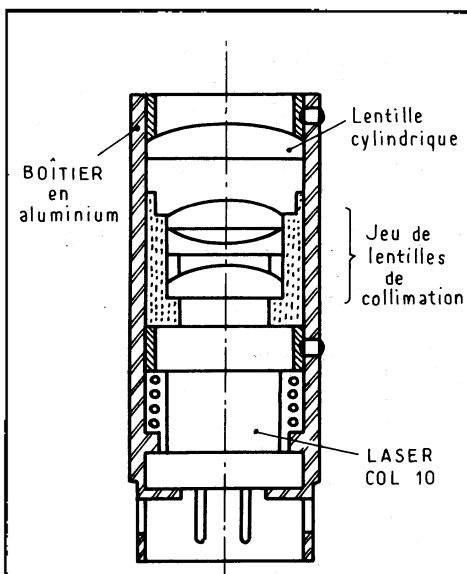


Fig. 15 : Laser collimaté.

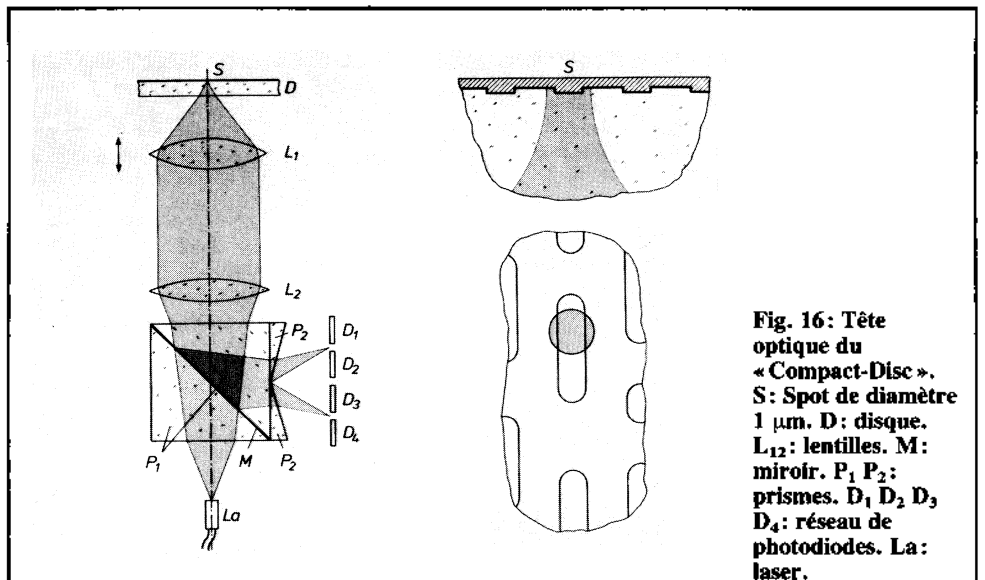


Fig. 16 : Tête optique du « Compact-Disc ». S : Spot de diamètre 1 μm . D : disque. L_{1,2} : lentilles. M : miroir. P₁ P₂ : prismes. D₁ D₂ D₃ D₄ : réseau de photodiodes. La : laser.

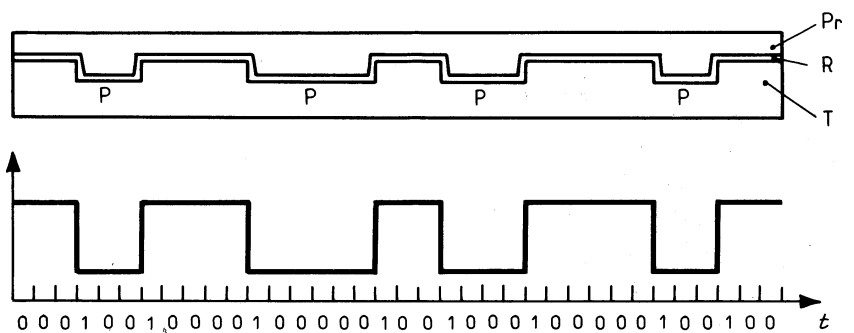


Fig. 17 : Restitution du train binaire après lecture du sillon.

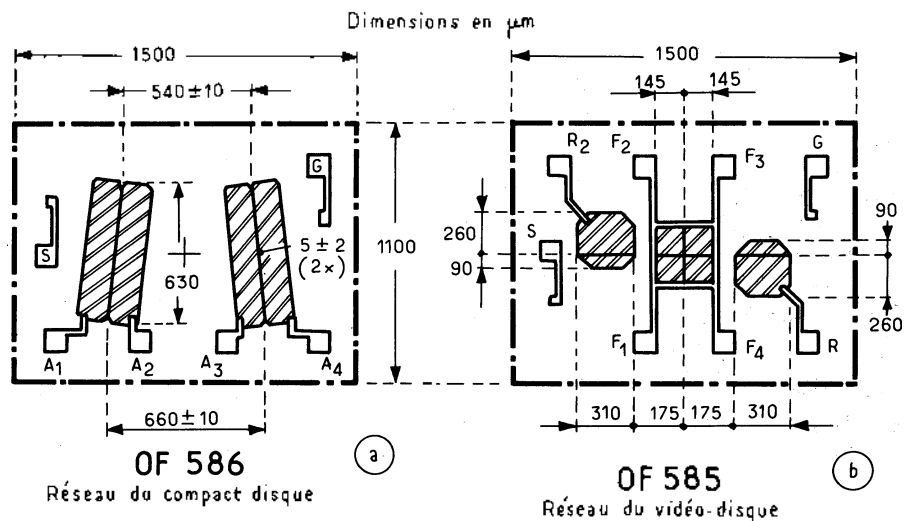


Fig. 18 : réseau de photodiodes RTC.

cepteurs utilisés dans le « Compact-Disc » et le vidéo disque.

Conclusions

Les techniques de lecture et d'écriture sur disques optiques sont l'aboutissement de dizaines d'années de recherches et continuent de mobiliser un potentiel de recherche important dans bon nombre de Sociétés. Les pôles de recherche concernent principalement :

— l'amélioration des performances des lasers, des photodiodes et des optiques.

— les disques effaçables optiquement, — la minimisation des temps d'accès à l'information,

— l'intégration et l'amélioration des techniques de codage et de traitement, — et la minimisation des coûts de fabrication.

Les disques optiques sont donc voués à un bel avenir et leur utilisation se banalisera d'ici quelques années.