

Les diodes laser

Face à la nécessité d'intégration qui existe aujourd'hui, les lasers n'ont pas échappé à la règle. Grâce aux travaux menés sur les structures cristallines d'arséniures de gallium GaAs (composant de base des LEDs), il a été possible de recréer l'effet Laser.

D'abord développé dans le domaine de l'infra-rouge (principal domaine d'utilisation), il existe maintenant des diodes laser évoluant dans le domaine du visible (Rouge à 670 nm). Ces diodes sont appelées à remplacer très rapidement tous leurs homologues à hélium néon en raison des avantages qu'elles présentent (volume réduite, alimentation simple, refroidissement limité, etc.).

Rappels techniques

Principe des lasers à semi-conducteurs

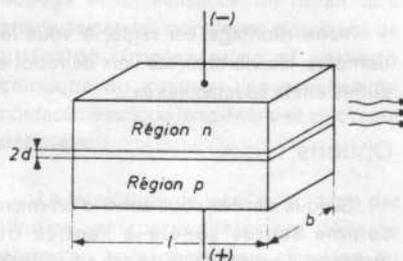
Les lasers de type hélium-néon présentent les inconvénients majeurs d'une dimension physique de l'ordre d'une vingtaine de centimètres et de nécessiter une tension d'alimentation de l'ordre de 1500V. Appartenant à la famille des tubes à gaz, ils sont également d'une extrême fragilité. Ils présentent, par contre, l'avantage de générer un faisceau optique homogène.

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-néon.

L'emploi d'un laser à semi-conducteur se justifie amplement.

Les lasers à semi-conducteurs réalisent à l'état solide, dans un très petit volume, les fonctions d'amplification et de résonance.

Une diode laser à jonction PN est constituée par une diode dont la région active forme une cavité électromagnétique résonnante. En particulier, elle est limitée latéralement, dans le cas d'une géométrie PERROT-FABRY, par deux faces réfléchissantes parallèles.



La plus grande partie de l'énergie est concentrée dans cette cavité et la lumière est émise parallèlement à la jonction. En dessous d'un certain seuil, appelé seuil d'émission induite, la diode laser fonctionne en régime d'émission spontanée et la répartition spectrale est analogue à celle d'une diode électroluminescente. Dès qu'on atteint le seuil d'émission induite, apparaît le mode d'émission principal, avec une intensité relative très élevée, accompagné d'autres modes d'émission d'intensité relative également très élevée et de longueur d'onde très voisine, si bien que l'émission peut être considérée comme monochromatique.

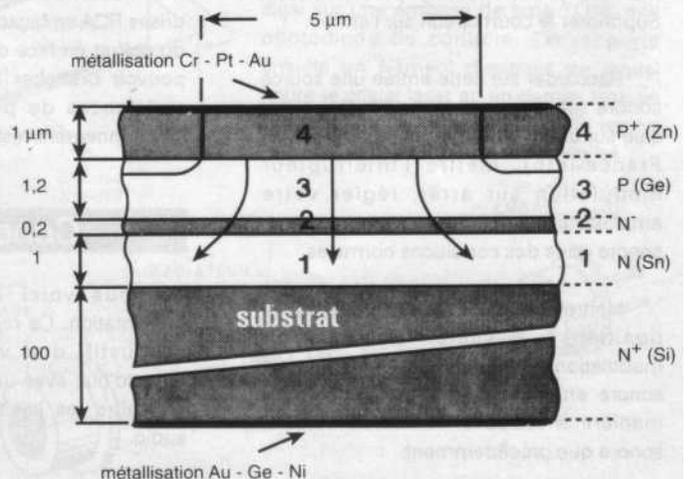
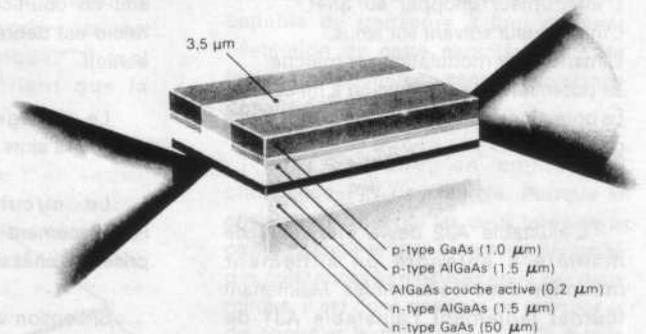
L'émission stimulée a lieu lorsque la densité des porteurs injectés (normalement minoritaires) est assez forte pour provoquer l'inversion de population. La densité de courant J doit dépasser une valeur de seuil J_s très

élevée, car il faut en outre compenser les pertes dans la cavité.

La cavité résonnante (à l'état solide) est constituée d'une couche active qui se comporte en guide diélectrique plan.

Les lasers au GaAlAs à double hétérojonction

Le GaAlAs (Arséniure de Gallium aluminé) 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 de mailles cristallines pour différentes teneurs en aluminium.

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 GaAlAs dont la concentration en aluminium détermine les bandes d'énergie et les indices de réfraction.

La structure d'un laser multimode est également appelée structure à guidage par le gain.

Les deux figures précédentes donnent la répartition, la nature des dopants de chaque couche du cristal et leur épaisseur pour ce type de structure.

La localisation des lignes de courant, permettant de délimiter la cavité laser et d'obtenir une densité de courant importante, se fait par bombardements 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 $5\mu m$ de large sur toute la longueur du cristal.

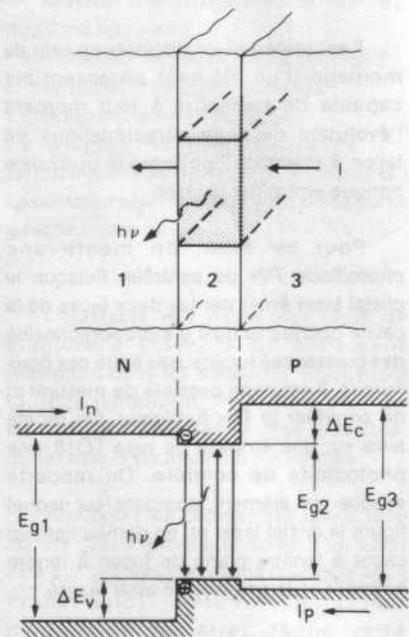
couche active. Ce taux de réflexion d'une valeur approximative de 30% sert à stimuler les porteurs et ainsi générer des recombinaisons radiatives cohérentes. Toutefois, cette amplification de lumière par émission stimulée n'intervient qu'au dessus d'une certaine densité de courant correspondant au courant de seuil; en dessous de ce niveau, le cristal se comporte comme une simple diode électroluminescente.

Les indices de réfraction des couches 1 et 3 étant plus faible 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 monomodes

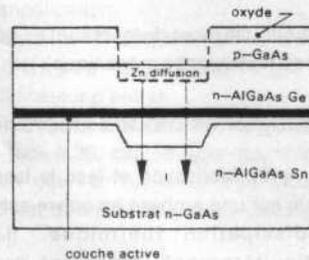
Afin d'augmenter la densité de courant au sein du cristal et donc de diminuer le courant de seuil ainsi que la dissipation du cristal, des structures introduisant un confinement latéral plus important ont été développées.

Ces structures dites à "guidage par l'indice" permettent en effet un confinement de la lumière à la fois longitudinal et transverse.



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 des photons au sein de la



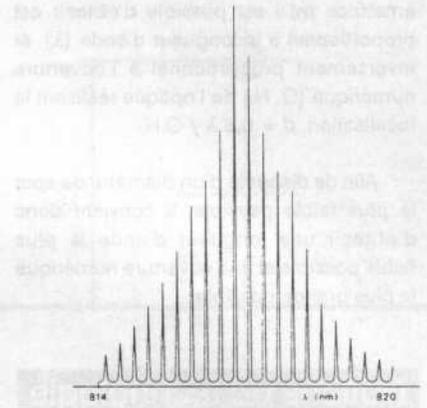
La zone active est un véritable guide intégré de quelques microns de largeur, limité latéralement par deux zones d'indice plus faible. On doit obtenir un "ruban enterré". Le confinement électrique latéral est effectué par les barrières de potentiel plus élevées des hétérojonctions latérales.

Caractéristiques comparatives des lasers multimodes et monomodes

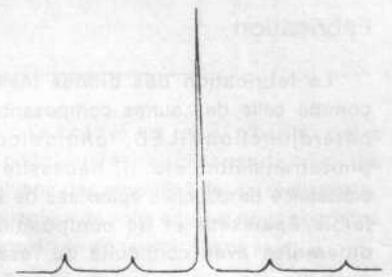
Les performances des composants lasers réalisés dans ces deux structures sont sensiblement différentes.

Le courant de seuil est plus faible et le coude 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 faible.

Un spectre étroit donne à la source émettrice une longueur de cohérence élevée, la rendant sensible aux réflexions

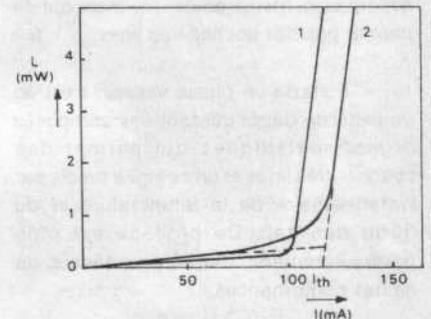


(a)



(b)

Spectre d'émission des lasers $0,8 \mu m$
(a) multimode (b) monomode



Caractéristique de la puissance lumineuse en fonction du courant à $60 \text{ }^\circ\text{C}$

- 1 - monomode
- 2 - multimode

optiques responsables d'interférences indésirables. Cela se traduit par un rapport signal/bruit du laser plus faible. 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. En effet, dans le cas d'un lecteur de "Compact Disque", pour obtenir $0,5 \text{ mW}$ en surface du disque (norme retenue), il convient de faire fonctionner le multimode et le monomode respectivement à 4 mW et $1,5 \text{ mW}$.

Choix de la longueur d'onde

Du choix de la longueur d'onde dépend le pouvoir de discrimination de l'information et donc de sa densité.

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

Afin de disposer d'un diamètre de spot le plus faible possible, il convient donc d'obtenir une longueur d'onde la plus faible possible et une ouverture numérique la plus grande possible.

Notions de technologie

Fabrication

La fabrication des diodes lasers, comme celle des autres composants à hétérojonction (LED, photodiode, phototransistor, etc...), nécessite la croissance de couches épitaxiées de très faible épaisseur et de compositions différentes avec continuité du réseau cristallin (accord de maille et même orientation). Deux techniques sont utilisées:

- Epitaxie en phase liquide: la plus simple et la moins couteuse, mais qui ne permet pas de couches très fines.

- Epitaxie en phase vapeur: c'est un procédé de dépôt utilisant des composés organo-métalliques qui permet des couches très fines et un contrôle précis par l'intermédiaire de la température et du débit des gaz. Ce procédé est plus particulièrement adapté aux lasers de hautes performances.

Les deux procédés sont utilisés par PHILIPS COMPOSANTS.

Le procédé MOVPE (Metallo-Organic Vapour Phase Epitaxy) pour les composés ternaires (GaAlAs) et quaternaires (InGaAsP/InP) permet la réalisation des structures laser suivantes, à partir de substrat de type N:

- * PB (Proton Bombarded):
 - guidage par le gain, structure multilongitudinale,
 - très faible sensibilité à la réflexion optique,
 - choix des longueurs d'ondes (820, 850, 870 nm).

- * DCPBH (Double Channel Planar Buried Hetero):
 - haute fiabilité, longue espérance de vie,
 - stabilité sur une large plage de

température,

- faible sensibilité à la réflexion optique,
- adapté pour les fenêtres de communication à 1,3 et 1,55 μm .

Le procédé LPE (Liquid Phase Epitaxy), indiqué pour de grands volumes, des coûts peu élevés et une haute fiabilité, permet à partir de substrat de type P, la réalisation de la structure laser:

- * BTRS (Buried Turn-Ride Substrate):
 - guidage par l'indice,
 - conçu pour une production de masse à bas prix,
 - espérance de vie supérieure à 100000 heures.

Une fois les différentes couches déposées sur un substrat de GaAs, le dopage et la réalisation du ruban sont effectués par des techniques classiques de diffusion, implantation et usinage chimique ou ionique. Les couches de contact métallique (en général or-zinc) sont déposées.

La fabrication de laser à "guidage par l'indice" est particulièrement délicate puisqu'après le découpage chimique du ruban, on fait une "reprise d'épitaxie", c'est à dire la croissance de nouvelles couches de part et d'autre.

Enfin, les faces du laser sont en général clivées (découpage mécanique).

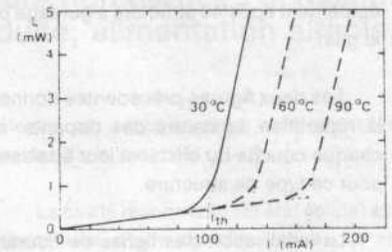
Montage des diodes lasers

Après fabrication et test, le laser est monté sur une embase en cuivre assurant la dissipation thermique. Il est particulièrement important que la

résistance thermique entre la jonction et l'embase soit faible (on descend difficilement en dessous de 20°C/W). Pour cela, le laser est en général monté à l'envers (substrat au dessus).

La jonction est alors à quelques microns de l'embase. Un fil d'or connecté au substrat métallisé amène le courant. La polarité du laser est donc déterminée par celle du substrat.

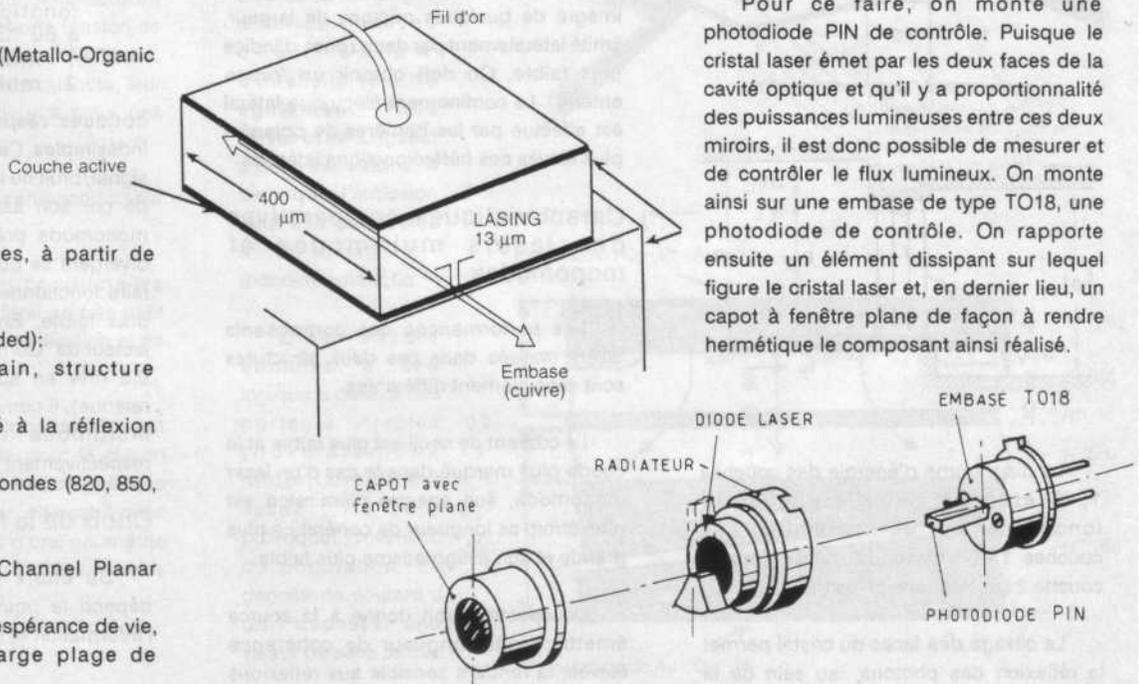
Il faut que l'alignement soit parfait (précision de quelques microns) afin d'éviter des réflexions parasites et assurer une bonne conduction thermique.



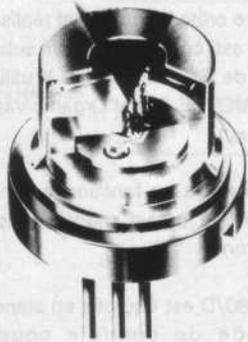
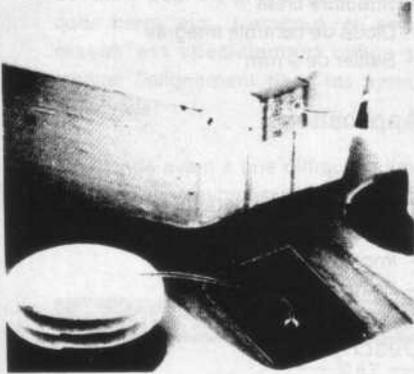
En regardant de plus près les courbes du courant de seuil, on peut constater que ce courant varie de manière non négligeable avec la température (de l'ordre de 1%/°C). Cette variation influe directement sur la puissance lumineuse émise. De plus, la caractéristique lumineuse en fonction du courant laser varie de quelque % par 1000 heures.

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 par le laser.

Pour ce faire, on monte une photodiode PIN de contrôle. Puisque le cristal laser émet par les deux faces de la cavité optique et qu'il y a proportionnalité des puissances lumineuses entre ces deux miroirs, il est donc possible de mesurer et de contrôler le flux lumineux. On monte ainsi sur une embase de type TO18, 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.

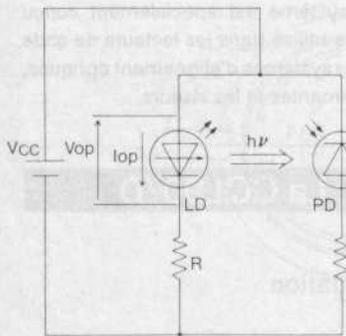


La photodiode de contrôle est légèrement inclinée sur l'embase de façon à minimiser les réflexions optiques. La mise en boîtier finale du composant est fonction de l'application.



Caractéristiques électriques

Le montage d'une diode laser peut être schématisé de la manière suivante:



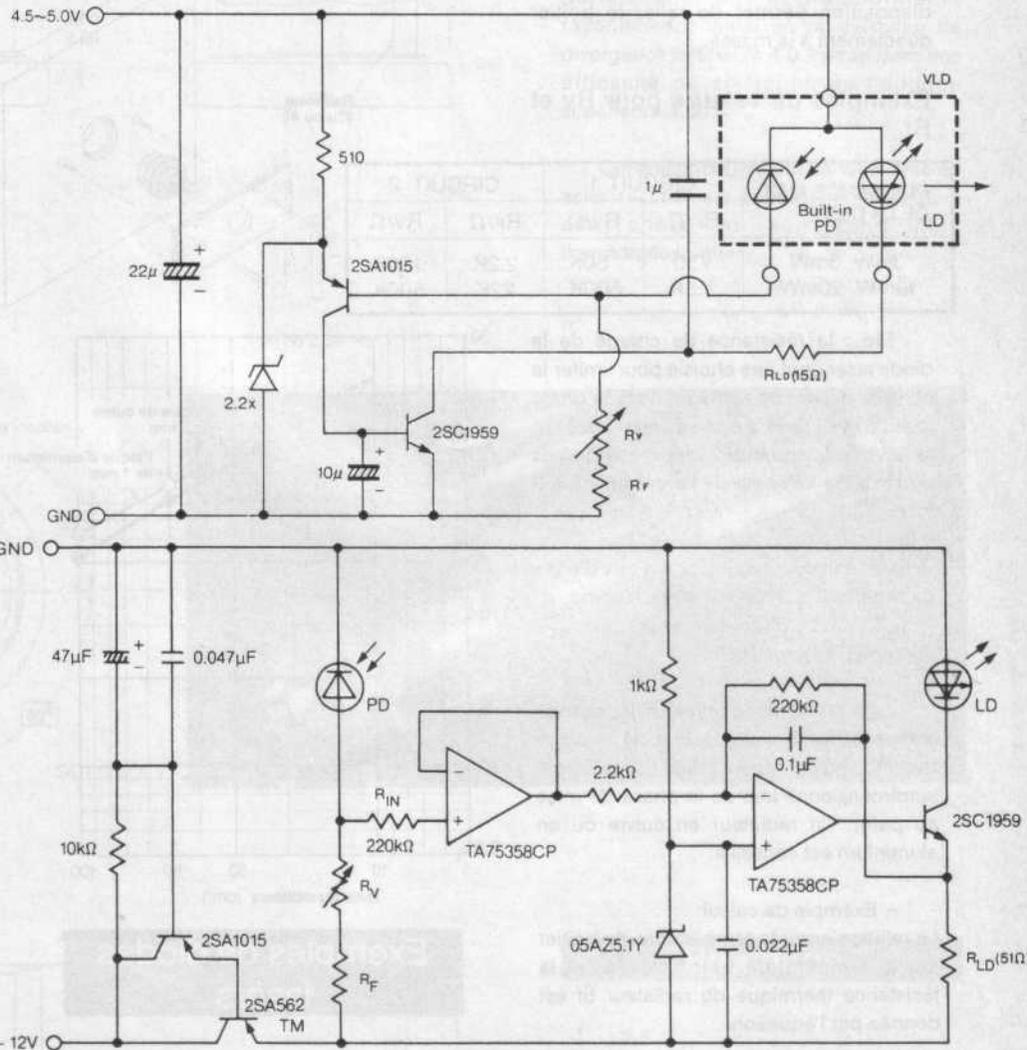
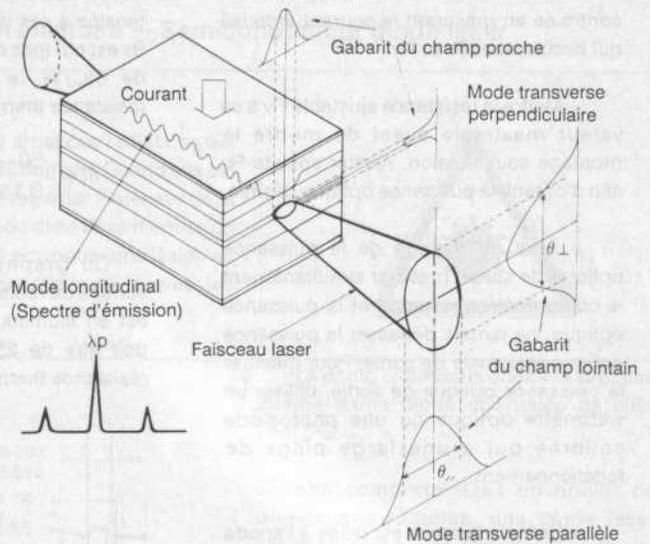
Afin d'avoir une puissance optique constante, il convient, dans le cas de ce schéma, de faire varier Iop (donc Vcc) afin d'avoir un courant Im constant. Cette opération nécessite obligatoirement l'adjonction d'un circuit d'asservissement qui assurera ce résultat.

Caractéristiques optiques

La directivité des rayonnements émis par une diode laser à jonction, suivant deux directions opposées, parallèles au plan de la jonction, est déterminée par les dimensions de la région émissive et est limitée par le phénomène de diffraction à l'interface air-cristal. Pour un laser dont la cavité est de type PERROT-FABRY,

l'ouverture q des faisceaux, à mi-intensité, est donnée par l'angle de diffraction:

$\theta = \lambda / L$, L étant la dimension de la surface émissive dans le plan de laquelle on mesure l'angle θ . Par exemple, pour une diode GaAs dont l'épaisseur de la jonction est de $1,5 \mu\text{m}$, l'angle à mi-intensité θ_{\perp} , mesuré dans le plan perpendiculaire à la jonction est de l'ordre de 30° . Dans le plan de la jonction, l'angle $\theta_{//}$ est plus faible. Cette divergence impose d'utiliser une optique de correction (collimateur).



Exemples de circuits de commande

Notes: Pour des courants de contrôle Im min ou max sur différents échantillons, une vérification plus approfondie peut être réalisée en changeant la valeur des résistances suivantes. Des valeurs plus appropriées pour Rv et Rf peuvent être

calculées en se basant sur le fait que la chute de tension aux bornes de Rv + Rf sera de l'ordre de 1,5V dans le cas du premier montage et de 5,1V dans le second et en prenant également en considération les caractéristiques Puissance/Im des échantillons.

La CQL80/D

Présentation

- Structure crête
- Diode de contrôle intégrée
- Boîtier de 9 mm

Applications

- Systèmes d'alignement
- Lecteurs de code-barre
- Imprimante laser
- Pointeur de cibles

Description

La diode laser CQL80/D est basée sur une structure crête. Le laser est réalisé en InGaAlP et est construit sur un substrat d'arséniure de Gallium de type N utilisant le procédé MOVPE (Metal Organic Vapour Phase Epitaxy).

Le dispositif a un fonctionnement de type multimode et est monté dans un boîtier de 9mm.

La CQL80/D est équipée en standard d'une diode de contrôle couplée optiquement sur la face arrière d'émission du laser. La diode de contrôle peut être utilisée comme capteur pour mesurer la puissance de sortie.

Le système est spécialement conçu pour être utilisé dans les lecteurs de code barre, les systèmes d'alignement optiques, les imprimantes et les viseurs.

La CQL90/D

Présentation

- Faible consommation
- Faisceau collimaté mince
- Excellente stabilité en température
- Excellente résistance aux chocs et aux vibrations
- Onde avant : diffraction limitée.

Applications

- Systèmes d'alignement
- Lecteurs de code-barre

Description

La CQL90/D est un crayon collimateur de faible puissance contenant un laser GaAlInP de type MOVPE et une lentille de collimation. Ce crayon collimateur a une

- La puissance de sortie optique est contrôlée en mesurant le courant autorisé qui circule dans Rf et Rv.

- Mettre la résistance ajustable Rv à sa valeur maximale avant de mettre le montage sous tension. Ajuster ensuite Rv afin d'obtenir la puissance optique désirée.

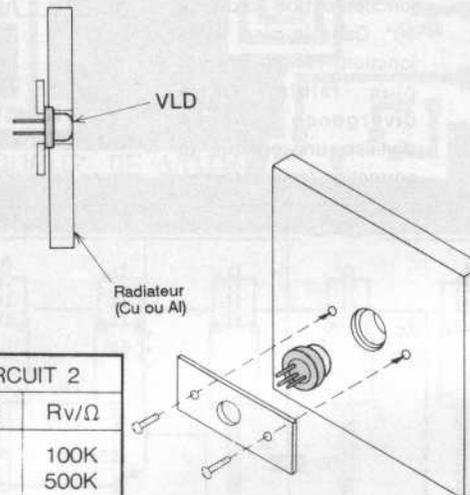
- Lors du réglage de la puissance optique de sortie, mesurer simultanément le courant de commande et la puissance optique, ne jamais dépasser la puissance optique maximale de sortie. Pour mesurer la puissance optique de sortie, utiliser un wattmètre optique ou une photodiode calibrée qui a une large plage de fonctionnement.

- Comme le corps est relié à l'anode de la diode laser, il est préférable d'utiliser une alimentation négative. Cette disposition permet de relier le boîtier directement à la masse.

courant dans la diode lop est de 100 mA, la tension à ses bornes Vop est de 2,5 volts, θ_s est nul (pas de mica de montage) et θ_c est de 8°C/W, le radiateur doit avoir une résistance thermique maximum de :

$$\theta_f \cong \frac{50 - 45}{0.1 \times 2.5} - 8 = 12^\circ\text{C/W}$$

Du graphe donné ci-dessous, la surface du radiateur (dans l'hypothèse qu'il est en aluminium de 2 mm d'épaisseur) doit être de 25 cm² afin d'obtenir cette résistance thermique de 12°C/W.



Exemples de valeurs pour Rv et Rf

PUISSANCE MAX. DE LA DIODE	CIRCUIT 1		CIRCUIT 2	
	Rf/Ω	Rv/Ω	Rf/Ω	Rv/Ω
3mW, 5mW	750	50K	2.2K	100K
10mW, 20mW	7.5K	500K	22K	500K

Rld : la résistance de charge de la diode laser peut être choisie pour limiter le courant maximum circulant dans la diode laser. Sa valeur sera calculée en tablant sur le fait que la chute de tension aux bornes de la diode laser est de l'ordre de 2,2 à 3 volts.

Ces valeurs correspondent aux diodes de la série TOLD9200 de chez Toshiba.

Refroidissement

- Un radiateur doit toujours être utilisé afin de laisser la diode laser dans sa plage thermique d'utilisation. Utiliser un radiateur surdimensionné lors de la phase de mise au point. Un radiateur en cuivre ou en aluminium est conseillé.

- Exemple de calcul:

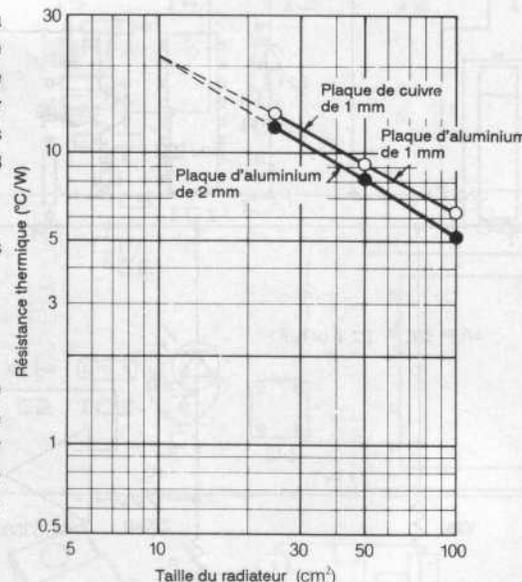
La relation entre la température du boîtier Tc, la température ambiante Ta, et la résistance thermique du radiateur θ_f est donnée par l'équation:

$$\theta_f \cong \frac{T_c - T_a}{I_{OP} \times V_{OP}} - (\theta_s + \theta_c)$$

θ_s résistance thermique d'isolation,

θ_c résistance thermique de contact.

Par exemple, si la température du boîtier à ne pas dépasser Tc est de 50°C, la température ambiante Ta est de 45°C, le



Exemples de diodes lasers

Les données techniques des pages suivantes sont relatives à

- La CQL80/D : une diode laser visible de chez PHILIPS,

- La CQL90/D : une diode LASER collimatée en lumière visible de chez PHILIPS.

puissance de sortie de 1 mW et émet une lumière visible dont la longueur d'onde est de 675 nm.

Le faisceau du laser collimaté est utilisable pour l'alignement, la lecture de code barre, etc... L'embout en acier du crayon est spécialement conçu pour faciliter l'alignement dans les systèmes industriels.

L'onde avant a une diffraction limitée. Le corps du crayon est cylindrique et son diamètre est de 11 mm.

Utilisation aléatoire – Semiconducteur diode laser

Cette diode laser émet des radiations qui sont visibles pour l'oeil humain. Quand elle est en service, ne jamais regarder l'intérieur de la diode. Une observation dans l'axe d'émission de la diode laser peut provoquer une lésion au niveau de l'oeil, essentiellement avec les lentilles collimatées.

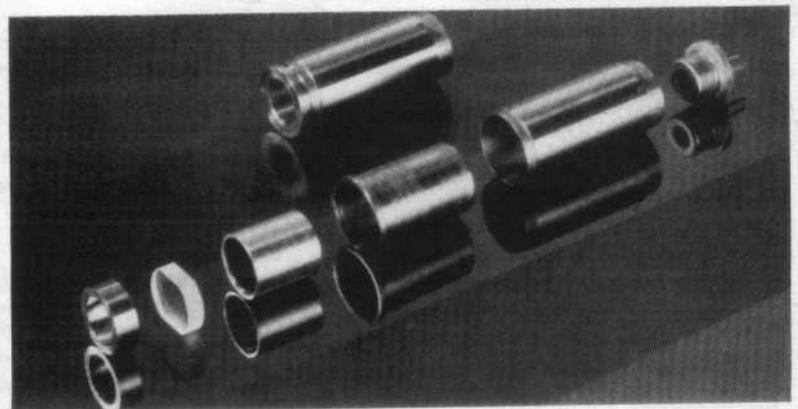
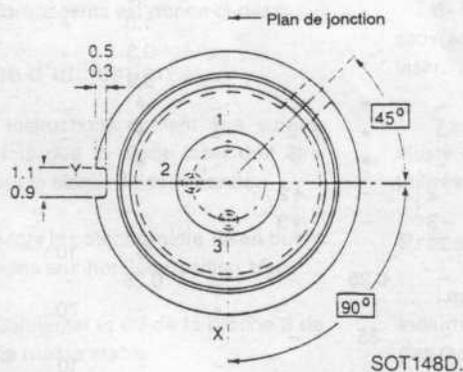
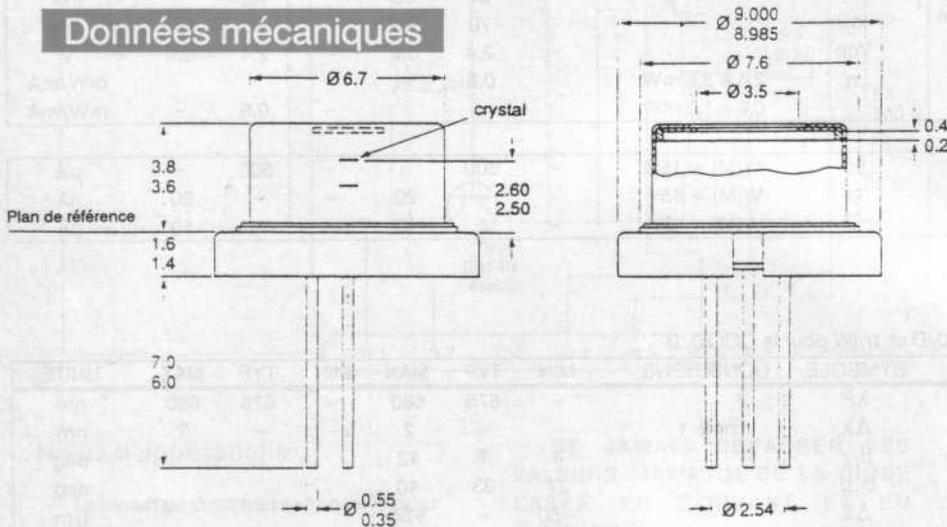


La photo ci-dessous donne la structure interne d'une diode collimatée de chez PHILIPS.

Elle comporte dans un boîtier de dimensions réduites, une diode laser associée à un triplet de collimation et une lentille cylindrique. Ils sont ajustés individuellement et transforme le rayonnement initial en un faisceau de divergence inférieure à 0,3 mrad avec une efficacité de collection de l'optique supérieure à 50%.

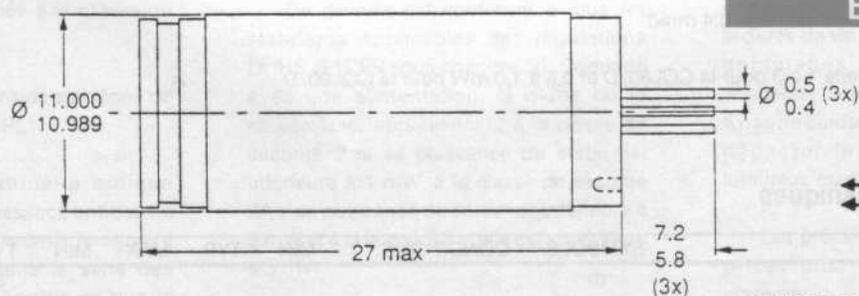
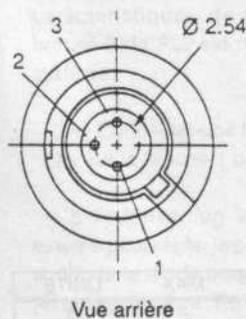
Cet ensemble, monté dans un tube en acier rectifié, est extrêmement résistant aux chocs et aux contraintes thermomécaniques.

Données mécaniques

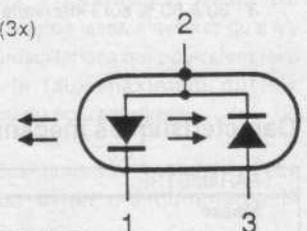


- Les dimensions sont en mm

CQL80/D



Brochage



- 1 : Cathode laser
- 2 : Broche commune
- 3 : Anode diode de contrôle

CQL90/D

Valeurs limites

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	CQL80/D			CQL90/D			UNITE
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Puissance optique de sortie	Po		-	-	5	-	-	1,2	mW
Tension inverse diode laser	Vr(L)		-	-	1	-	-	1	V
Tension inverse diode de contrôle	Vr(M)		-	-	30	-	-	30	V
Courant direct diode de contrôle	If(M)		-	-	10	-	-	10	mA
Plage de température d'utilisation (boitier)	Top		-10	-	+50	-10	-	+50	°C
Plage de température de stockage (ambient)	Tstg		-40	-	+50	-40	-	+85	°C

Caractéristiques électriques

Tboitier = 25°C; Po = 3mW pour la CQL80/D et 1mW pour la CQL90/D

DIODE LASER

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITE
Courant d'amorçage	Ith		-	65	85	-	65	-	mA
Courant de fonctionnement	Iop		-	70	90	-	70	-	mA
Tension de fonctionnement	Vop		-	2,4	3,0	-	2,4	3,0	V
Rendement différentiel	η	2,4 à 3,6 mW 0,8 à 1,2 mW	-	0,8	-	-	0,6	-	mW/mA mW/mA

DIODE DE CONTROLE

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITE
Courant diode de contrôle	Im	Vr(M) = 15V	-	500	-	-	500	-	μ A
Courant de repos	Id	Vr(M) = 15V	-	-	20	-	-	20	nA
Capacité	C	Vr(M) = 15V	-	5	10	-	5	10	pF

Caractéristiques optiques

Tboitier = 25°C; Po = 3mW pour la CQL80/D et 1mW pour la CQL90/D

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITE
Longueur d'onde	λ P		-	675	680	-	675	680	nm
Largeur spectrale	$\Delta\lambda$	note 1	-	-	2	-	-	2	nm
Angle lointain parallèle	$\theta//$		4	7	12				deg
Angle lointain perpendiculaire	$\theta\perp$		27	33	40				deg
Précision du point d'émission	ΔZ		-50	-	+50				μ m
Précision du point d'émission	ΔR		-50	-	+50				μ m
Diamètre du faisceau vertical	d \perp	note 2				-	4,5	-	mm
Diamètre du faisceau parallèle	d//	note 2				-	1,0	-	mm
Collimation verticale	COL \perp	note 2				-	0,3	-	mrad
Collimation parallèle	COL //	note 2				-	0,9	-	mrad
Temps de montée	Tr	note 3	-	*	-	-	*	-	ns
Temps de descente	Tf	note 3	-	*	-	-	*	-	ns
Rapport de polarisation	PoI		-	*	-	-	*	-	
Angle entre l'axe optique et mécanique	$\Delta\Phi//$		-2	-	+2				deg
Angle entre l'axe optique et mécanique	$\Delta\Phi\perp$		-3	-	+3				deg
Déviation de l'axe mécanique/optique	α_{om}					-	5	10	mrad
Coef. de température de la longueur d'onde	d λ p/dT		-	0,25	-	-	0,25	-	nm/°K
Aberration	W(rms)					-	-	70	m λ
Distance astigmatique	AD		-	35	-	-	-	10	μ m
Distance astigmatique non compensée	ΔAD					-	-	10	μ m

* Valeur à établir

Notes:

1 : mesuré sur le profil d'intensité angulaire du rayon laser sur la largeur des deux demi points maximum (FWHM)

2 : y compris la divergence naturelle 0,4 mrad

3 : 20 à 80 % sur l'intervalle 1 à 3 pour la CQL80/D et 0,5 à 1,0 mW pour la CQL90/D

Caractéristiques mécaniques

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITE
Masse	m					-	13	-	g
Longueur du crayon (Sans les connexions)	l					-	-	27	mm
Diamètre du crayon	D					-	-	11	mm

la durée où ils travaillent sur les diodes laser.

- Tous les équipements, y compris les alimentations, les fers à souder, etc. doivent être reliés à la terre.

- Les tensions d'alimentations doivent parfaitement être régulées et libres de toute surtension.

- Les circuits de pilotage doivent comporter un dispositif de "démarrage et d'arrêt lent" pour supprimer les phénomènes de commutation.

- Des composants de grande qualité et de grande fiabilité doivent être utilisés dans l'ensemble du circuit de commande.

- les connexions avec le circuit de commande peuvent être réalisées par soudure ou par des connecteurs de grande qualité. L'utilisation de pinces comme les pinces crocodiles n'est pas conseillée.

- Il est conseillé que ces dispositifs soient pilotés par un circuit de contrôle automatique de puissance (APC), utilisant la photodiode de contrôle interne dans la boucle de réaction pour maintenir une puissance optique de sortie constante sur l'ensemble de la plage de température de fonctionnement et pendant toute la durée de vie de la diode.

- Toujours conserver les diodes laser dans un boîtier anti-statique ou utiliser le connecteur de court-circuit.

- Ne jamais connecter ou déconnecter de composants, ou d'appareils extérieurs comme des voltmètres, sur le montage quand il est sous tension.

- Ne jamais toucher la fenêtre de la diode. Si nécessaire, la nettoyer doucement avec un tampon de coton imbibé d'alcool.

Ne jamais sous-estimer la sensibilité de destruction de ces composants face aux décharges électrostatiques et aux surcharges brèves en courant.

ATTENTION

La diode laser est très sensible aux décharges électrostatiques. L'anode et la cathode seront par conséquent toujours court circuitées quand la diode laser est déconnectée.

Généralisation

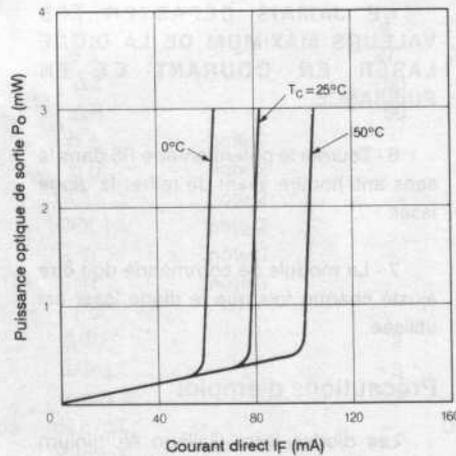
Les règles de sécurité données par PHILIPS sur le transport et l'utilisation des diodes laser sont applicables pour toutes les diodes lasers même de marque différentes. Les constructeurs de ce type de composant consacrent tous trois à quatre pages pour ces mises en garde dans leurs DATA BOOKS.

La TOLD9200 et 9211 de chez TOSHIBA

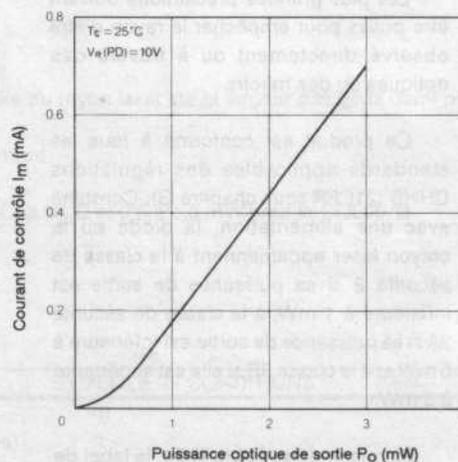
Pour finir ce tour d'horizon sur les diodes laser, voici les caractéristiques de deux autres diodes d'origine japonaise. Les caractéristiques électriques sont regroupées dans le tableau page suivante.

La TOLD9200

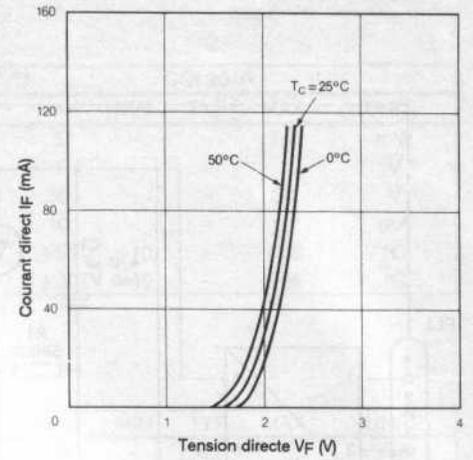
La TOLD9200 est une diode multimode non collimatée de 3mW émettant un rayon laser visible.



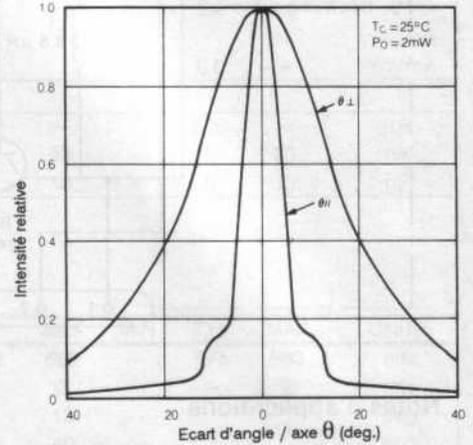
Puissance de sortie / courant direct



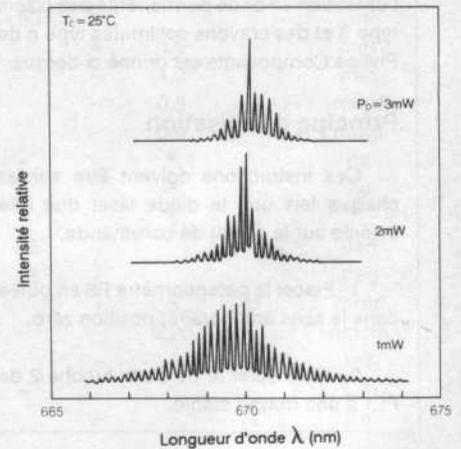
Courant de contrôle / puissance de sortie



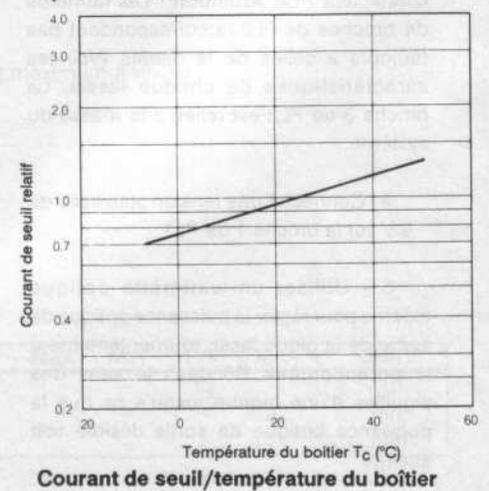
Courant direct / tension directe



Répartition du champ lumineux



Spectre lumineux



Courant de seuil/température du boîtier

Valeurs limites

PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	TOLD9200			TOLD9211			UNITE
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Puissance optique de sortie	Po		-	-	3	-	-	5	mW
Tension inverse diode laser	Vr(L)		-	-	2	-	-	2	V
Tension inverse diode de contrôle	Vr(M)		-	-	30	-	-	30	V
Plage de température d'utilisation (boîtier)	Top		-10	-	+50	-10	-	+50	°C
Plage de température de stockage (ambiant)	Tstg		-40	-	+50	-40	-	+85	°C

Caractéristiques électriques et optiques

Tboîtier = 25°C; Po = 2mW pour la TOLD9200 et 4mW pour la TOLD9211

DIODE LASER

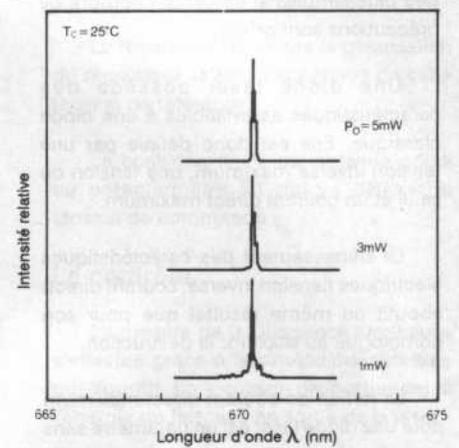
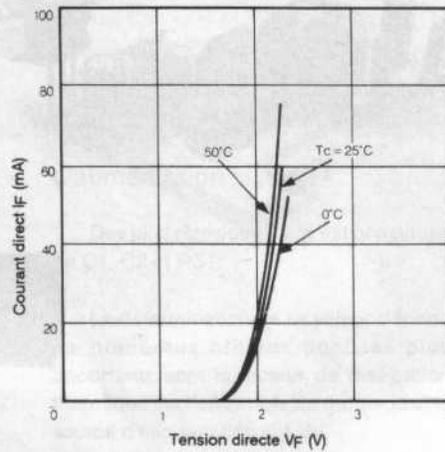
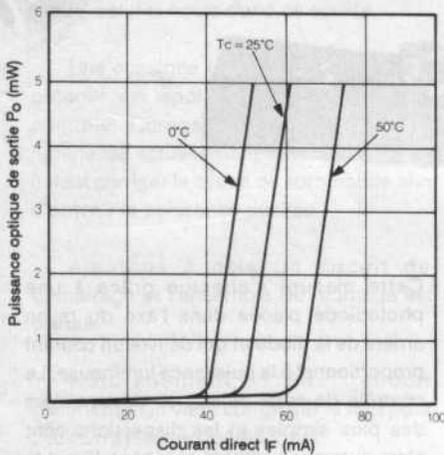
PARAMETRE	SYMBOLE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	UNITE
Courant d'amorçage	Ith		-	70	90	-	40	60	mA
Courant de fonctionnement	Iop		-	75	100	-	50	70	mA
Tension de fonctionnement	Vop		-	2,3	3,0	-	2,3	3,0	V
Longueur d'onde	λ_P		660	670	680	660	670	680	nm
Divergence parallèle	$\theta_{//}$		4	7	12	5	8	11	deg
Divergence perpendiculaire	θ_{\perp}		27	34	40	25	31	40	deg

DIODE DE CONTROLE

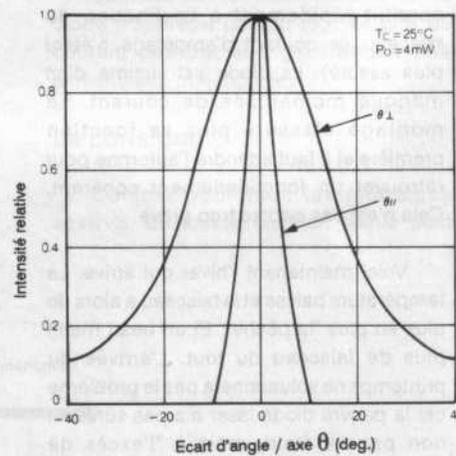
Courant diode de contrôle	I _m	Vr(M) = 5V	150	450	700	300	1000	1700	µA
Courant de repos	I _d	Vr(M) = 5V	-	-	100	-	-	100	nA
Capacité	C	Vr(M) = 5V f = 1MHz	-	-	20	-	-	20	pF

La TOLD9211

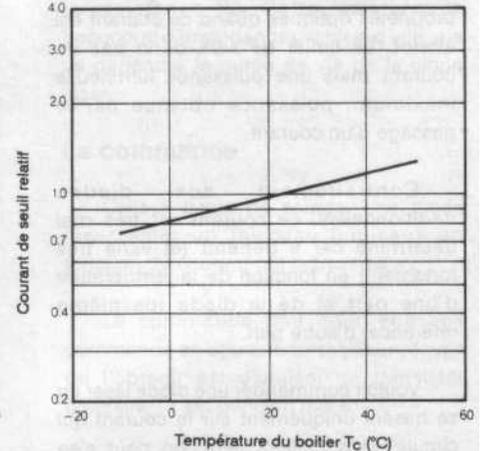
La TOLD9211 est une diode monomode non collimatée de 5mW émettant un rayon laser visible.



Courant direct / tension directe

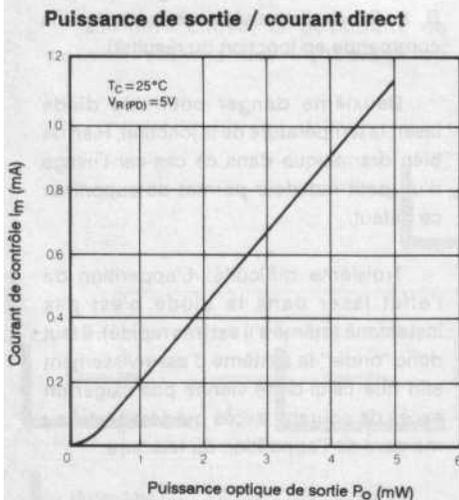


Spectre lumineux



Répartition du champ lumineux

Courant de seuil/température du boîtier



Courant de contrôle / puissance de sortie

Conclusions

Il existe, bien naturellement des diodes laser visible de puissance lumineuse beaucoup plus importante (10, 20 mW). Le prix de ces composants est également en proportion. Le principe de fonctionnement reste identique. Il existe également des diodes travaillant dans l'infra-rouge. Elles sont plus spécialement utilisées pour la transmission de l'information (870 nm dans les lecteurs de compact-discs, 1330 nm dans la transmission par fibre optique). Ce type de composant a donc un bel avenir devant lui.

Un circuit de commande de diode laser

Il y a encore de cela quelques années, disposer d'un faisceau laser tenait un peu du calvaire. Les tubes à gaz étaient encombrants, nécessitaient des tensions d'alimentation élevées et réclamaient, parfois, des dispositifs de refroidissement pas toujours pratiques.

Avec les progrès de la technique, la génération d'un faisceau laser peut être obtenue à partir d'un composant pas plus gros qu'un transistor, alimenté simplement par une pile et refroidi par un simple radiateur. Ce composant miracle est couramment appelé diode laser.

Présentation

Piloter une diode laser est une chose des plus simples si un certain nombre de précautions sont prises.

Une diode laser possède des caractéristiques assimilables à une diode classique. Elle est donc définie par une tension inverse maximum, une tension de seuil et un courant direct maximum.

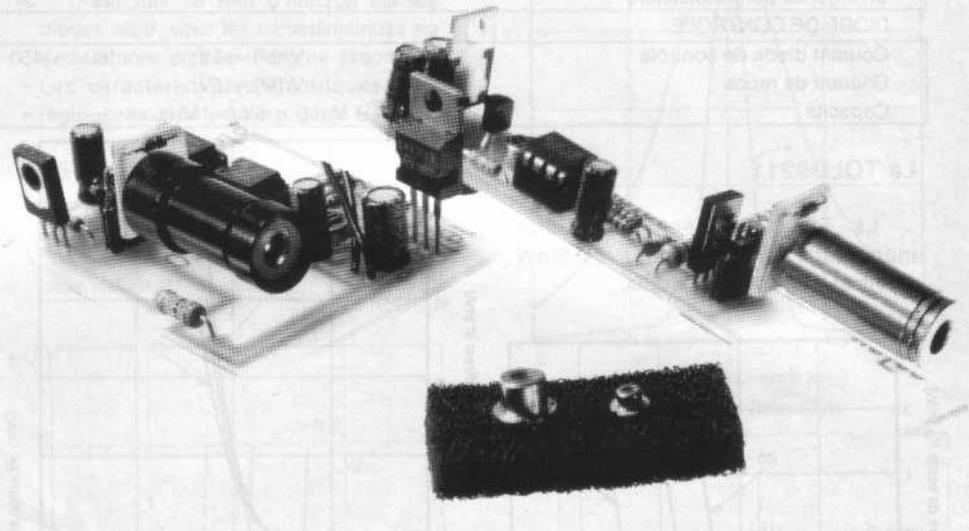
Le dépassement des caractéristiques électriques (tension inverse, courant direct) aboutit au même résultat que pour son homologue au silicium: la destruction.

La notion de courant direct maximum pour une diode laser est un paramètre sans grande valeur utile. En effet il y a belle lurette que ce composant a perdu ses propriétés optiques quand ce courant est atteint. La limite ne sera donc pas un courant mais une puissance lumineuse maximum, puissance obtenue par le passage d'un courant.

Contrairement aux diodes traditionnelles, ce courant est très mal déterminé car il dépend (et varie très fortement) en fonction de la température d'une part et de la diode (de même référence) d'autre part.

Vouloir commander une diode laser en se basant uniquement sur le courant qui circule dans celle-ci tient, on peut s'en douter, de l'ineptie la plus grossière. En effet, le but est d'avoir en permanence en sortie une puissance lumineuse constante.

Imaginons ce montage placé comme élément de surveillance dans un bâtiment non chauffé (alarme par rupture de faisceau par exemple).



En été, la température montante conduit rapidement à l'extinction du faisceau (le courant d'amorçage n'étant plus assuré). La diode est victime d'un manque momentané de courant. Le montage n'assure plus sa fonction première et il faut attendre l'automne pour retrouver un fonctionnement cohérent. Cela n'est pas encore trop grave.

Voici maintenant l'hiver qui arrive. La température baisse et le faisceau a alors de plus en plus "la pêche". Et un beau matin plus de faisceau du tout. L'arrivée du printemps ne solutionnera pas le problème car la pauvre diode laser n'a pas survécu, non pas au froid, mais à "l'excès de courant" qu'elle a du supporter.

Heureusement, les constructeurs de diodes laser sont parfaitement conscients des disparités qui peuvent exister entre chaque composant et des variations de caractéristiques en fonction de la température.

Pour toutes ces raisons, ils ont décidé d'effectuer une mesure permanente de la puissance optique disponible en sortie.

Cette mesure s'effectue grâce à une photodiode placée dans l'axe du rayon arrière de la diode et qui délivre un courant proportionnel à la puissance lumineuse. Le contrôle de cette puissance devient alors des plus simples et les dispersions sont alors automatiquement corrigées (C'est le B. A. BA de l'asservissement: corriger la commande en fonction du résultat).

Deuxième danger pour une diode laser: la température de la jonction. Rien de bien dramatique dans ce cas car l'usage d'un petit radiateur permet de supprimer ce défaut.

Troisième difficulté: L'apparition de l'effet laser dans la diode n'est pas instantané (même s'il est très rapide). Il faut donc "brider" le système d'asservissement afin que celui-ci ne vienne pas exiger un excès de courant, excès qui serait fatal au moment de l'apparition du faisceau.

La bête noire: c'est certainement là le point le plus critique - l'électricité statique. Combien de pavés sont déjà morts à cause d'elle? Il est donc fortement déconseillé de frotter ses pieds sur de la moquette avec

une diode laser dans les mains. Si pour vous, se prendre une "châtaigne" n'est pas agréable quand vous touchez une partie métallique, imaginez ce que ressent la diode dans les mêmes conditions! Elle est du style à déclarer forfait.

Dernier point à ne surtout pas négliger! Cette diode émet (comme on peut s'en douter) un faisceau laser. Ce faisceau est par conséquent très concentré (encore plus avec un équipage de collimation). S'il n'est pas capable de découper les murs en rondelles, il a quand même suffisamment d'énergie pour pouvoir provoquer des lésions graves au niveau de l'oeil! Par conséquent, **NE JAMAIS REGARDER DIRECTEMENT LE RAYON** et à plus forte raison, **NE JAMAIS ESSAYER D'ALLER VOIR "COMMENT C'EST FAIT DEDANS" AU TRAVERS DE LA FENETRE!**

Les dangers étant maintenant connus, le reste devient donc un jeu d'enfant.

Synoptique

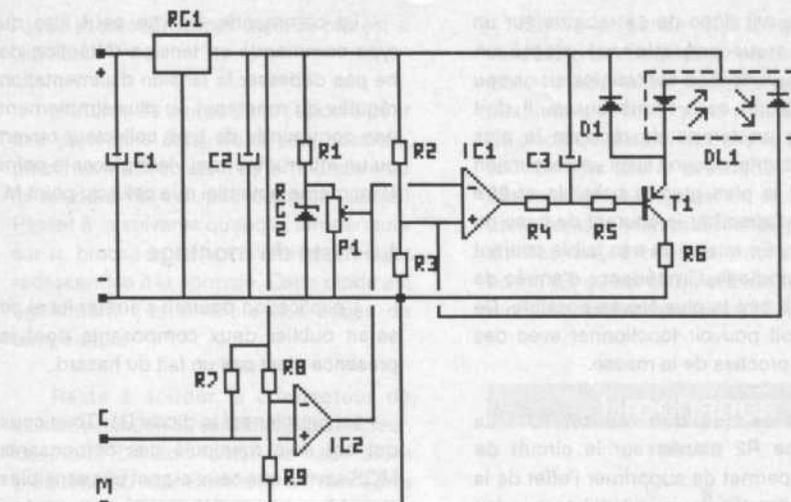
Vu le principe de fonctionnement de la diode, celui-ci coule donc de source.

Une consigne (puissance lumineuse à obtenir) est appliquée sur le circuit de contrôle. Comparée avec la puissance lumineuse actuellement issue de la diode, il vient corriger le circuit de commande afin d'obtenir la puissance désirée.

Ajoutons à cela un circuit de démarrage et l'ensemble du montage est dressé.

Naturellement, un circuit d'alimentation vient compléter le tout pour avoir un système opérationnel.

Dernière chose, la possibilité de pouvoir commander l'allumage ou



l'extinction du faisceau depuis un environnement extérieur.

Le schéma de détail

Si le synoptique est simple, le schéma l'est tout autant. Le nombre de composants est réduit mais chacun d'eux a un rôle vital.

L'alimentation

Des plus classiques, elle est constituée de C1, C2 et RG1.

La détermination de sa valeur dépend de nombreux critères dont les plus importants sont le facteur de dissipation thermique sur l'ensemble du montage et la source d'alimentation initiale.

Sa présence est indispensable car la diode n'apprécie pas du tout les pics de courant pouvant être générés par une alimentation mal régulée.

La consigne

Comme pour tous les montages asservis, un fonctionnement stable peut

être espéré si l'asservissement comporte sa propre référence.

C'est ce que réalise le régulateur RG2. Son rôle est de délivrer une tension de référence connue.

La résistance R1 assure la polarisation du régulateur et ainsi l'apparition de cette tension de référence.

La consigne finale est obtenue grâce au potentiomètre P1 qui va délivrer la tension de commande.

Le contrôle

La mesure de la puissance lumineuse s'effectue grâce à la photodiode intégrée qui fournit un courant proportionnel à l'énergie du faisceau en sortie de la laser.

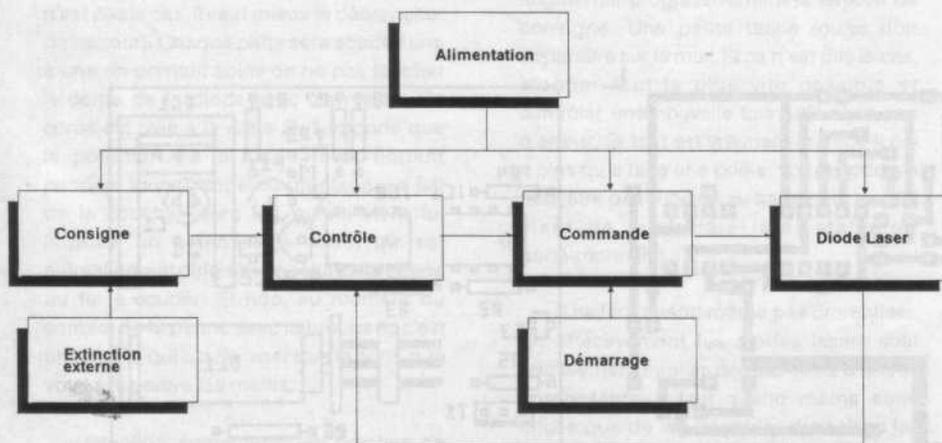
Ce courant est converti en tension par la résistance R3. Cette résistance a beaucoup d'importance car c'est d'elle que va dépendre la durée de vie de la diode laser.

La commande

Celle-ci coule de source. Une diode laser émet un faisceau lumineux en fonction du courant qui la traverse.

La commande doit donc être une commande en courant. Le meilleur moyen de l'obtenir est d'utiliser un transistor bipolaire T1 est donc en place.

La sortie étant définie, voyons maintenant l'entrée. Nous avons deux tensions qui sont la consigne et la puissance lumineuse générée. Le but est donc de les comparer et d'effectuer la correction qui s'impose. L'idée qui vient donc en premier à l'esprit est d'utiliser un comparateur. Malheureusement, la structure de sortie de ces composants les rendent difficilement utilisables pour pouvoir faire une gestion linéaire de la sortie.



Force est donc de se rabattre sur un amplificateur opérationnel monté en boucle ouverte. Les contraintes au niveau de ce circuit sont nombreuses. Il doit posséder un temps de réponse le plus faible possible, pouvoir avoir une excursion en sortie la plus grande possible et être capable d'absorber le courant de base du transistor. En raison du très faible courant de la photodiode, l'impédance d'entrée de l'AOP doit être la plus élevée possible. De plus il doit pouvoir fonctionner avec des tensions proches de la masse.

C'est ce que doit réaliser IC1. La résistance R2 placée sur le circuit de contrôle permet de supprimer l'effet de la tension de décalage qui existe sur les entrées de l'AOP quand une consigne nulle (extinction complète) est demandée.

Le démarrage

Ce circuit doit s'insérer dans la boucle de commande. Il est constitué par un filtre en T. A la mise sous tension le condensateur C3 et la résistance R4 vont constituer un circuit de retard qui va faire apparaître un courant progressif dans la diode laser. L'effet laser a ainsi le temps de se mettre en place et l'asservissement peut alors tranquillement s'aligner sur sa plage de réponse.

La résistance R5 va, elle, limiter le courant extrait du transistor (et par conséquent le courant dans la diode) dans le cas de la disparition de l'effet d'asservissement (mise hors tension par exemple).

L'extinction externe

Cette partie, indépendante du circuit laser par lui-même, permet de venir éteindre la génération du faisceau laser depuis un montage extérieur.

Cette commande est réalisée par IC2 qui vient placer la tension de consigne à la masse. Il s'agit d'un simple comparateur dont sa sortie de type collecteur ouvert convient parfaitement pour ce type d'application.

Le point de basculement de ce comparateur est donné par les résistances R8 et R9. La résistance R7 permet d'inhiber ce dispositif quand aucune commande n'est appliquée.

La commande externe peut être du type commande en tension (Attention de ne pas dépasser la tension d'alimentation régulée du montage) ou plus simplement une commande de type collecteur ouvert ou un interrupteur qui vient placer le point C au même potentiel que celui du point M.

Le reste du montage

L'explication pourrait s'arrêter ici et ce serait oublier deux composants dont la présence n'est pas un fait du hasard.

Le premier est la diode D1. Tous ceux qui ont déjà manipulé des composants MOS savent que ceux-ci sont très sensibles aux phénomènes d'électricité statique. Les constructeurs ont réussi à les protéger en insérant des diodes de protections entre l'entrée de la porte et les pattes d'alimentation du circuit.

La même idée a été reprise ici afin de limiter la tension inverse qui peut être appliquée sur la diode laser (point très critique sur ce type de diode).

Le second composant ignoré jusqu'à maintenant est la résistance R6. Son rôle est de limiter la puissance dissipée par le transistor T1 et par là, éviter l'emploi d'un radiateur qui est toujours encombrant. Elle doit également limiter le courant maximum dans la diode en cas de dérive trop importante.

Liste des composants

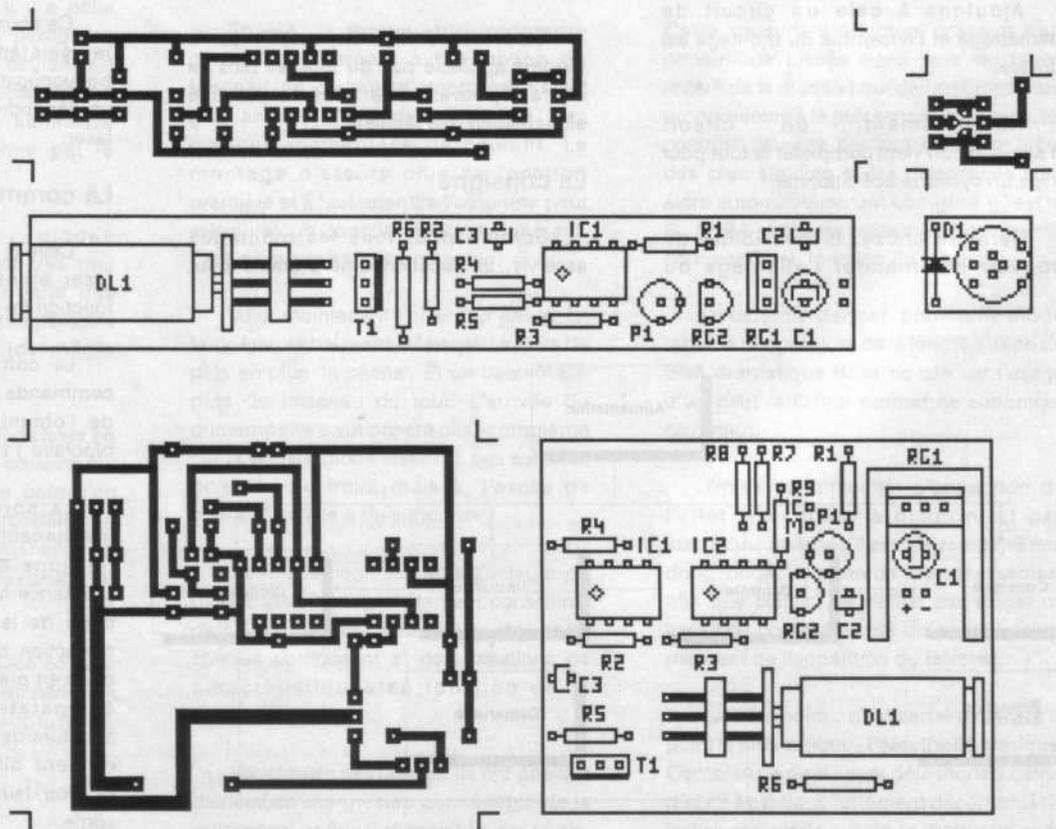
Toutes les résistances sont des 1/4 de Watt 5% (sauf indication contraire).

R1	100 k Ω	
R2	2,2 M Ω	
R3	2,7 k Ω	*
R4-R5	120 Ω	
R6	33 Ω 1/2W	*
R7 à R9	10 k Ω	
P1	100k Ω 82PR	
C1	100 μ F 25V chimique	
C2	1 μ F 25V chimique	
C3	22 μ F 25V chimique	
D1	1N4148	
T1	BD140	
RG1	7806	*
RG2	LM385 - 1,2	
IC1	CA3160	
IC2	LM393	
DL1	CQL90D	*

* Voir explications sur les variantes du montage pour déterminer la valeur de ces composants.

Réalisation

Pour ce montage deux types de circuits imprimés sont proposés. Un premier modèle (qui ne comporte pas de circuit d'extinction IC2, R7 à R9) permet de réaliser très simplement un système de visée. Le circuit est tout en longueur.



Le second, plus orienté vers l'étude des dispositifs laser, est disposé sur un circuit rectangulaire. C'est la copie intégrale du schéma proposé. La taille du circuit a été prévue pour pouvoir le monter dans un coffret P962 de chez Diptal.

Le montage de ces deux platines ne présente aucune difficulté notable si les règles classiques sont respectées (ordre de montage des composants par taille, respect du sens des condensateurs et des circuits intégrés, etc.).

Attention au sens de T1, la face de refroidissement est repérée en gras sur la sérigraphie.

La diode laser se présente sous la forme d'un transistor en boîtier TO5 ou d'un tube dans le cas d'une diode collimatée. Dans tous les cas, la sortie du faisceau lumineux s'effectue sur la face opposée à celle des broches. Cette caractéristique ne va pas sans poser de problèmes dans le choix du coffret. En effet, dans la majorité des cas, c'est d'un faisceau horizontal dont on a besoin. Si la diode est soudée directement sur le circuit principal, le boîtier se voit allouer une taille disproportionnée pour recevoir le montage.

Pour résoudre ce problème, il a été décidé de coucher la diode sur le montage. C'est la rôle de la petite plaquette additive qui se trouve avec les deux autres montages. La liaison avec le circuit principal s'effectuera grâce à un connecteur coudé.

Voilà le point le plus critique de la réalisation: le câblage de la diode. La diode peut être livrée avec un bouchon qui court-circuite ses trois pattes entre elles. Il la protège contre les risques de destruction par l'électricité statique.

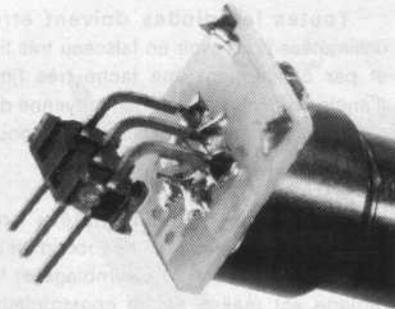
Sur la petite plaquette de renvoi, commencer par souder la diode D1. Mettre en place la diode laser et la souder, le fer étant naturellement relié à la terre (si ce n'est pas le cas, il vaut mieux le débrancher du secteur). Chaque patte sera soudée une à une en prenant soins de ne pas toucher le corps de la diode avec les mains (Ce corps est relié à la patte 2). Il importe que le potentiel de la diode reste flottant pendant toute l'étape du montage. Le fait de la toucher avec les mains vient lui imposer un potentiel (le votre) qui est naturellement différent de celui de la panne du fer à souder. Et hop, au moment du contact de la panne avec la broche 1, c'est une diode, qui n'a de laser que le nom, que vous avez entre les mains.

Attention également, les broches de cette diode sont très proches l'une de

l'autre et un court circuit dans ce cas est si vite fait!

La durée du temps de la soudure pour une patte sera écourtée le plus possible. (maximum 5 secondes. La température de la soudure ne doit pas dépasser 260°C) Passer à la suivante quand la température sur la broche qui vient d'être soudée est redescendue à la normale. Cette diode est également très sensible aux excès de température.

Reste à souder le connecteur de liaison. Attention au sens de ce connecteur. La diode D1 doit rester en haut de la plaquette au moment de l'insertion sur le circuit principal. Naturellement, les mêmes précautions doivent être prises que celles expliquées précédemment. Il ne reste plus qu'à monter le tout sur le circuit principal et le tour est joué.



Cette opération tient un peu de la haute voltige, mais à aucun moment il n'a été demandé de vous attacher pour réaliser le montage (contrairement à ce qui est préconisé par les constructeurs: voir la Hobbythèque correspondante). Si par contre vous préférez les chaînes

Un dernier contrôle afin de s'assurer que n'y a pas de court-circuit ou de soudure oubliée et le montage pourra être essayé.

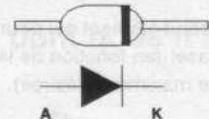
Commencer par placer le potentiomètre de consigne au minimum. Appliquer la tension d'alimentation (celle-ci sera de 9 volts, mais une valeur supérieure n'est pas interdite. Attention cependant à la dissipation du régulateur RG1) et augmenter progressivement la tension de consigne. Une petite tache rouge doit apparaître sur le mur. Si ce n'est pas le cas, stopper tout le plus vite possible et contrôler une nouvelle fois qu'il n'y a pas d'erreur. Si tout est vraiment correct, il n'y a plus qu'à faire une prière, votre diode n'a peut être pas survécu au traitement qu'elle vient de subir (aie! aie! aie! mon porte-monnaie).

Il ne faut quand même pas dramatiser. Si, effectivement les diodes lasers sont relativement fragiles comparées à d'autres composants, il faut quand même autre chose que de les "regarder droit dans les yeux" pour les détruire.

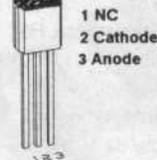
Si les précautions précédentes ont bien été prises, il ne doit rien se passer de fâcheux pour elles. A titre d'exemple, la plaquette de renvoi a été refaite trois fois. La diode qui a servi aux essais a donc été soudée trois fois et dessoudée deux fois. Elle fonctionne toujours. De plus, la pièce dans laquelle sont réalisés les prototypes qui illustrent ce mensuel, a de la moquette au sol (Et qu'est ce qu'elle est statique), la diode a parfaitement passé l'épreuve!

Brochages

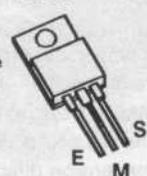
1N4148



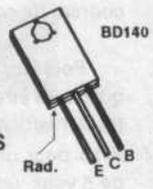
LM385-1.2



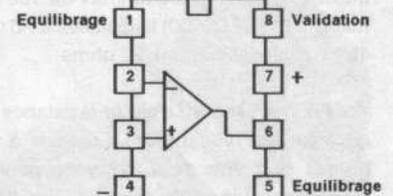
7806



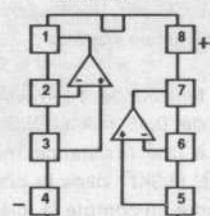
BD140



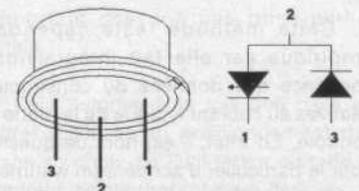
CA3160



LM393



Diode laser



Variantes

Le montage donné précédemment peut subir des modifications en fonction du type d'utilisation.

Le premier élément qui peut varier: c'est l'alimentation.

Les essais qui ont été effectués portaient d'une tension d'alimentation de 9

volts. Dans le cas d'une alimentation plus élevée, le régulateur d'entrée est amené à devoir dissiper beaucoup plus de puissance. Il est donc prudent dans ce cas d'adjoindre un radiateur de type ML26 sur celui-ci.

Il est également possible d'alimenter le montage par une pile de 9 volts. Il est conseillé dans ce cas de remplacer le régulateur RG1 par un 7805, mieux encore par un L4805 ou équivalent qui permet d'avoir une durée d'utilisation beaucoup plus importante avec la même pile (Le 4805 est caractérisé par un écart entre tension d'entrée et tension de sortie très faible).

Le second élément qui peut varier c'est la diode laser (en fonction de la puissance lumineuse maximum désirée).

C'est le courant de la diode laser et le courant de contrôle qui vont changer.

Pour le premier c'est la résistance R6 qui devra être recalculée.

$$R6 = (Val - Vdl - Vce) / Imax$$

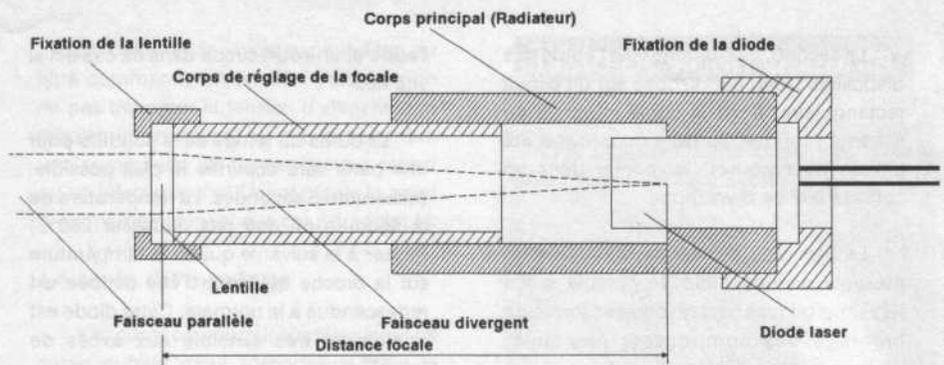
Ainsi pour une tension d'alimentation Val de 5 volts, une tension directe de la diode Vdl de 2,5 volts, une tension de saturation du transistor Vce de 0,3 volt et d'un courant maximum dans la diode Imax de 100 mA (cas d'une TOLD9200) la résistance R6 doit être remplacée par une 22 ohms.

Pour le second, c'est la résistance R3 qui doit être réadaptée. La tension à ses bornes doit être de 1,247 volts pour le courant maximum de contrôle. Les 1,247 volts correspondent à la tension maximum que peut délivrer le régulateur RG2, sa tension nominale étant de 1,235 volts.

Une tension de 1,247 volts pour un courant de 0,45 mA (TOLD9200) nous conduit à une résistance minimum de 2,771 kΩ. (3,3KΩ dans la pratique car il faut prendre en compte la tolérance de la résistance).

Cette méthode reste cependant empirique car elle fait intégralement confiance aux données du constructeur relatives au courant typique de la diode de contrôle. En effet, il est hors de question pour le particulier d'acquérir un wattmètre optique afin d'étalonner son montage. Il est donc conseillé de prévoir une petite marge de sécurité.

Si les essais effectués sur la CQL90D reflétaient assez bien le contenu de la documentation, ceux réalisés sur la TOLD9200 ont montré une dispersion beaucoup plus importante de caractéristiques (disparité entre le courant dans la diode laser et le courant de contrôle). Cette différence nous a obligé de modifier la valeur de R3. Cette constatation



montre qu'il est impératif d'effectuer quelques contrôles lors de la première mise sous tension et qu'il ne faut pas demander la puissance maximale d'entrée de jeu.

Collimatée ou pas

Toutes les diodes doivent être collimatées pour avoir un faisceau très fin et par conséquent une tache très fine (l'angle de divergence est en moyenne de 10° pour le faisceau parallèle et de 30° pour le faisceau perpendiculaire)

Les diodes déjà collimatées ont l'inconvénient de coûter beaucoup plus cher (normal puisque l'assemblage et le réglage est réalisé par le constructeur. L'optique est également de très haute qualité).

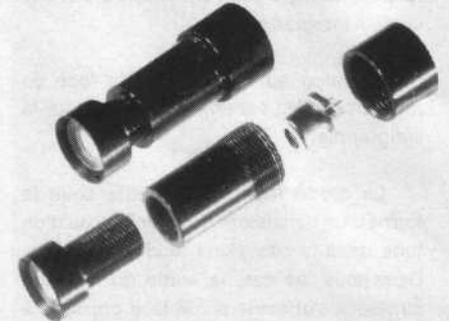
Les autres doivent impérativement recevoir un équipement de collimatage afin de concentrer le faisceau. Il faut dans ce cas réaliser soit même le réglage de la distance focale en fonction du type d'optique utilisé.

Afin d'optimiser la réalisation, ce collimateur doit en plus réaliser la fonction de radiateur. Le schéma en haut de page donne la structure d'un collimateur. On y retrouve le corps principal qui sert de radiateur pour la diode laser ainsi qu'un système de fixation de cette diode.

Un corps mobile doit, lui, supporter la lentille. Le réglage de la distance focale s'effectue soit en glissant, soit en vissant ce corps mobile dans le corps principal.

Quand le réglage adéquat a été obtenu, le tout doit être bloqué ensemble au moyen d'un contre-écrou ou plus simplement au moyen d'un point de colle. Sur les dispositifs industriels, une fixation par soudure électrique n'est pas rare.

L'utilisation de lentilles pour corriger le faisceau apporte invariablement une perte d'intensité lumineuse. Un rendement de 80% par lentille est somme toute honnête. Le rendement du collimateur doit être pris



en considération lors d'un réglage par un wattmètre optique. Pour une diode de 3 mw, ne pas essayer de lui demander (en sortie d'un collimateur mono-lentille) plus que 2,4 mW. (Dans le cas de la CQL90/D, la puissance réelle de la diode laser est de 2 mW)

Conclusions

A ce stade du montage, vous avez entre les mains un excellent système de visée laser. Ce genre d'appareil est couramment utilisé par des architectes afin de pointer le plus simplement du monde un détail dans une pièce en cours d'élaboration.

Pour aller plus loin, il faut retrousser ses manches et se lancer dans la mécanique. En effet, il existe très peu de moyens simples pour dévier un faisceau lumineux. Le plus facile à mettre en oeuvre reste encore le miroir.

Avec un miroir à 45°, tournant dans l'axe du faisceau, il y a moyen de se faire un niveau d'envergure. Tracer un trait sur les quatre murs d'une pièce est alors très facile. Et plus besoin de gomme pour l'effacer!

Il y a toujours le jeu de lumière qui vient tracer des figures de Lissajoux en fonction de la vitesse de rotation relative entre deux miroirs, ce montage remplaçant avantageusement le tube à gaz et son alimentation haute tension.

Pour terminer, nous tenons à remercier tout particulièrement la société COIL pour sa participation au niveau du collimateur.