

Les lasers à semi-conducteur

» Vincent AUBERTIN,
Fabien DELAGE
Opton Laser International SA
vincent.aubertin@optonlaser.com
fabien.delage@optonlaser.com

Des diodes laser...

Les diodes laser sont les lasers les plus connus, elles sont intégrées dans de nombreux produits commerciaux tels que les pointeurs laser, les lecteurs de code-barres et les lecteurs CD/DVD. La puce semi-conductrice qu'elles contiennent forme, à elle seule, une cavité laser, elle sert de milieu amplificateur et ses faces clivées font office de miroirs. Le profil spectral des diodes laser est déterminé par la courbe de gain, la longueur de la puce et la réflectivité des facettes. Il comporte généralement plusieurs modes de fréquences différentes de quelques dizaines de GHz de large oscillant

simultanément. À cause des aléas de fabrication, il y a une incertitude de typiquement +/-10 nm sur la longueur d'onde effective par rapport à la longueur d'onde cible.

... aux « Diodes Laser en Cavité Étendue » (DLCE).

Pour refroidir et piéger des atomes, nous avons besoin d'un laser accordable, monomode, fin spectralement et avec une bonne qualité de faisceau. Pour obtenir ce résultat à partir d'une diode classique on fait ce que l'on appelle de l'auto-injection : le faisceau émis par la diode est collimaté puis filtré par le réseau, une partie de la puissance est réinjectée dans la diode, l'autre est couplée vers l'extérieur. La face arrière de la diode et le réseau forment une nouvelle cavité laser, dite cavité étendue ; on parle donc de « Diode Laser en Cavité Étendue » ou DLCE. On note également que la face avant

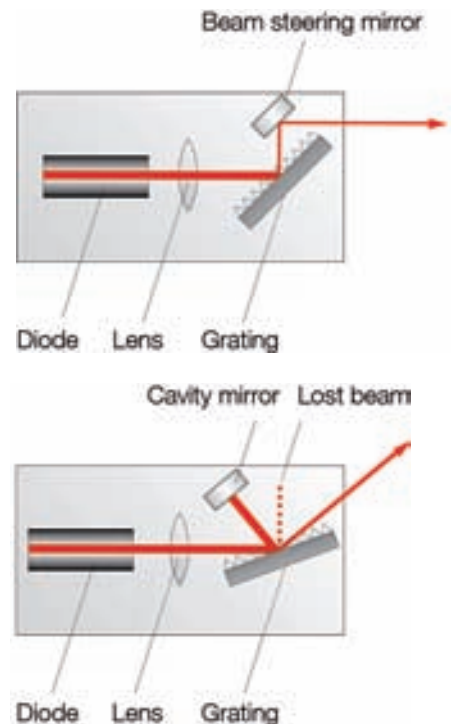


Figure 1. Deux configurations possibles pour les DLCE, Littrow en haut, Littman-Metcalf en bas.

Les atomes froids

Doublement couronné par le prix Nobel en 1997 et en 2001, le domaine des atomes froids est né il y a une trentaine d'années et connaît aujourd'hui un fantastique développement où la physique du solide rejoint la physique atomique.

Les atomes froids sont l'objet d'études très fondamentales pour la mécanique quantique et pour l'information quantique. Leurs applications commencent à intervenir dans notre quotidien, par exemple via les horloges à fontaines d'atomes froids utilisées pour le GPS, et dont l'exactitude est meilleure qu'une seconde sur 300 millions d'années.

Cet ouvrage expose en termes simples comment l'interaction de faisceaux lasers avec un gaz permet de refroidir ce gaz jusqu'à des températures descendant à quelques millièmes de degrés au-dessus du zéro absolu



et de piéger un petit nuage de quelques milliards d'atomes lévitant dans le vide. Il retrace aussi la découverte de la condensation de Bose-Einstein, ce nouvel état de la matière dans lequel tous les atomes se comportent comme s'ils étaient un seul et dont on peut extraire des « lasers à atomes ».

L'ouvrage est illustré de nombreux schémas et présente d'une façon didactique l'essentiel des méthodes utilisées pour produire et utiliser les atomes froids.

Édité par EDP Sciences
Auteur : Erwan Jahier
Collection : Une Introduction à...
ISBN : 978-2-7598-0440-5
158 pages - Prix : 19 € TTC

Retrouvez tous nos ouvrages sur www.edition-sciences.com

de la diode ne joue plus de rôle – elle peut même être nuisible au bon fonctionnement de la DLCE. Quand cela est possible, on cherche à limiter son influence au moyen d'un traitement anti-reflet.

Les deux configurations les plus courantes de DLCE sont les configurations Littman et Littrow (voir *fig. 1*), la configuration Littrow présentant l'avantage de pouvoir intégrer une gamme de diode plus large (diodes standard et diodes traitées anti-reflet) et présente moins de pertes de puissance.

Accordabilité et caractère monomode des DLCE

L'accordabilité de la DLCE est essentiellement assurée par le réseau, celui-ci permet de limiter la courbe de gain du laser à une bande étroite de longueur d'onde dans laquelle l'oscillation laser est possible. La longueur d'onde effectivement émise correspond au mode de la cavité étendue pour lequel le gain est maximal. L'accordabilité fine se fait en agissant sur le courant et la température de la diode, le résultat net étant de décaler le peigne de fréquences associé aux modes de la cavité étendue et donc de changer la longueur d'onde. Pour que la diode soit monomode et qu'elle ne saute pas d'un mode à l'autre, il est nécessaire que le maximum de la courbe de gain coïncide avec le mode associé à la longueur d'onde souhaitée. On s'en assure en agissant sur le courant et/ou la température de la diode.

Finesse spectrale

Le montage de la diode en cavité étendue remplace la cavité initiale de la diode – courte et à la facette de sortie médiocrement réfléchissante – par une cavité plus longue et dont le réseau fait office de miroir de sortie plus performant. Ces deux effets, combinés à une mécanique très stable et à une électronique faible bruit, permettent de réduire la largeur spectrale du mode émis à typiquement 100 kHz.

Le verrouillage de la DLCE sur une transition atomique ou une cavité Fabry-Perot permet de gagner encore trois ordres de grandeur avec une largeur spectrale de 150 Hz.

DLCE amplifiée ou système MOPA

Pour certaines applications, la puissance des DLCE s'avère insuffisante, on utilise alors un montage de type maître-esclave ou MOPA (Master Oscillator Power Amplifier).

Dans ce montage la DLCE – le maître – est utilisée pour injecter une puce semi-conductrice – l'esclave –, qui n'est rien d'autre qu'une diode de puissance un

peu particulière conçue pour être traversée de part en part par le faisceau du laser maître.

L'amplification se fait en un seul passage, la puissance de l'esclave est transmise au faisceau maître qui gagne en puissance tout en conservant ses qualités spectrales (accordabilité, finesse, caractère monomode) et spatiales (qualité de faisceau).

DLCE avec conversion de fréquence

Malgré la gamme très étendue de longueurs d'onde offerte par les diodes laser, il existe toujours des «trous» qu'il faut combler pour travailler sur des atomes

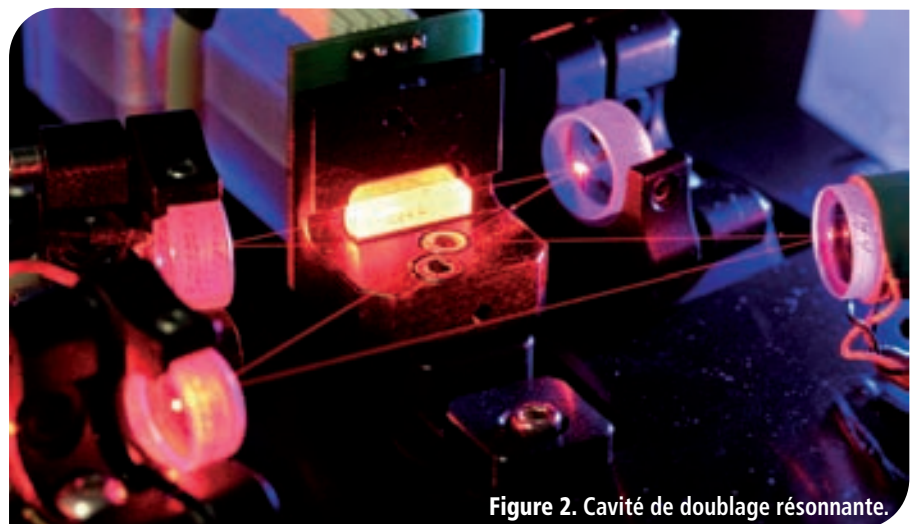


Figure 2. Cavité de doublage résonnant.

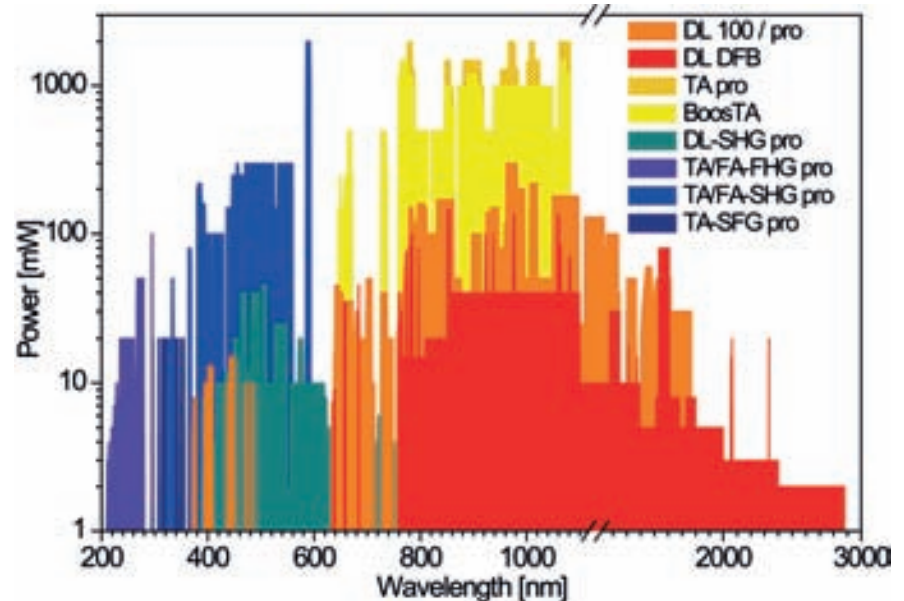


Figure 3. Étendue spectrale couverte par les DLCE, les DLCE amplifiées et les DLCE avec conversion de fréquence.

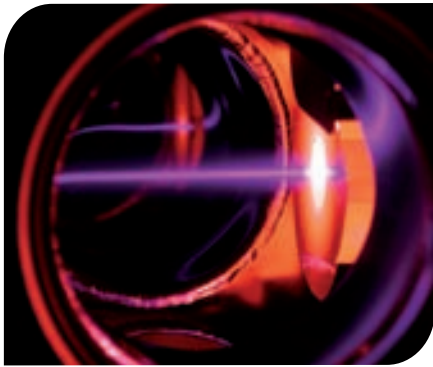


Figure 4. Faisceau laser violet ralentissant des atomes d'Erbium à la sortie d'un four à 1300°C au « National Institute of Standards and Technology ».

et ions tels que le sodium Na (à 599 nm), et l'Ytterbium Yb (à 399 nm). Les techniques de génération d'harmoniques permettent de combler ces « trous » par doublage, quadruplage, somme ou différence de fréquence.

Afin d'augmenter l'efficacité de conversion, le cristal non linéaire est intégré

dans une cavité résonnante de type « bow-tie » stabilisée activement sur la longueur d'onde du fondamental. Comparées à d'autres technologies, ces solutions à semi-conducteurs n'utilisent ni laser de pompe, ni refroidissement à eau. Ces systèmes sont compacts, fiables et très simples d'utilisation.

Applications

Les DLCE trouvent leur application et sont utilisées de manière routinière dans un nombre impressionnant de domaines, sans être exhaustif nous citons les principales :

- refroidissement et piégeage d'atomes neutres : He*, Li, Ne*, Na, Mg, Al, Ar*, K, Ca, Cr, Fe, Ga, Kr, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Xe, Cs, Ba, Dy, Er, Tm, Yb, Hg, Fr, Ra
- refroidissement et piégeage d'ions
- obtention de la condensation de Bose-Einstein et de gaz de Fermi dégénérés
- horloge à fontaine atomique.

Les lasers à fibre

» David PUREUR,
Alexandre BIASI
Quantel SA, Lannion
alexandre.biasi@quantel.fr
www.quantel-laser.com

Pour certaines applications liées aux atomes froids, le laser à fibre est utilisé et il présente des avantages évidents en termes de coûts, compacité, flexibilité et simplicité d'utilisation. Les sources les plus communément utilisées sont des lasers à fibre émettant une radiation dans l'infrarouge à 1064 nm, notamment pour la réalisation de pièges dipolaires optiques (qui permettent de concentrer et sélectionner les atomes les plus froids par évaporation afin de ne conserver que les atomes ayant des températures de l'ordre de quelques fractions de microkelvins). Ces lasers qui émettent hors de la bande d'absorption des atomes refroidis, ont une puissance continue qui peut

aller jusqu'à plusieurs dizaines de watts pour une largeur de raie spectrale inférieure au MHz. Les spécifications en bruit d'intensité du laser, mais aussi en stabilité du pointé de faisceau sont importantes afin de minimiser les fluctuations et assurer par exemple une bonne stabilisation du condensat de Bose-Einstein étudié. D'autres longueurs d'onde peuvent également être utilisées autour de 1.56 microns avec des lasers à fibre émettant en régime continu une puissance de quelques dizaines de watts. De tels lasers IR sont une alternative intéressante aux lasers CO₂ pour certaines étapes du refroidissement.

Une autre application intéressante autour de laquelle les sources fibrées se développent est le ralentissement des atomes au sein des pièges magnéto-optiques (MOT-2D et 3D). Ces pièges assurent le refroidissement des atomes de quelques millikelvins à quelques dizaines de microkelvins.




Transformez votre PC en mesureur de puissance et d'énergie



Nouvelle interface USB compacte permettant la mesure de la puissance et de l'énergie sans afficheur, directement sur votre PC.

- ▶ connexion facile
- ▶ compacte
- ▶ compatible avec toutes les têtes de mesure de puissance et d'énergie OPHIR
- ▶ taux de répétition jusqu'à 10 kHz avec des capteurs pyro-électriques





Pour plus d'informations
Tel +33 (0)1 60 79 59 06/38 - photonique.fr@bfiptilas.com
www.bfiptilas.fr