

ACHETER

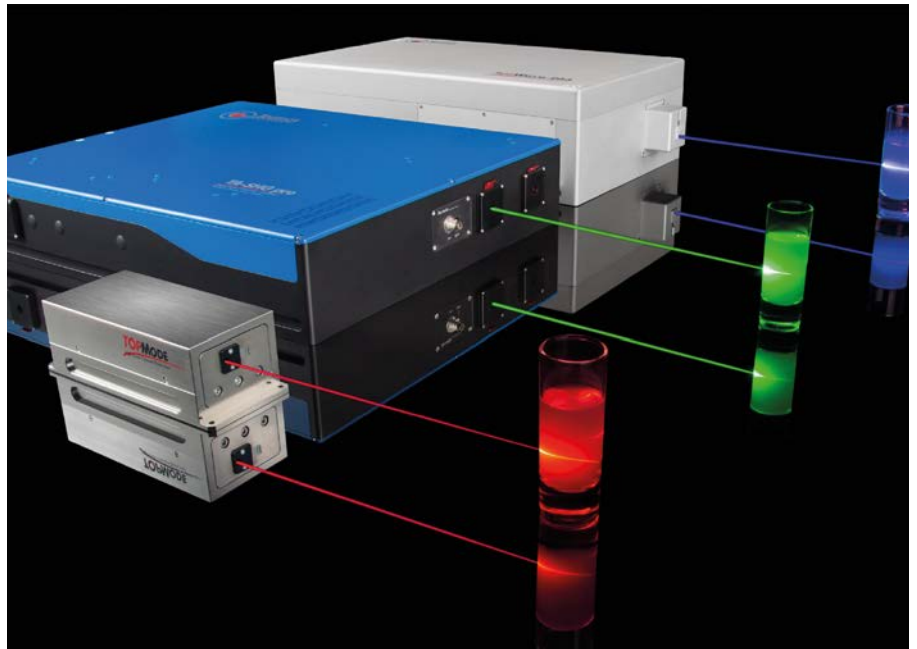
Diodes laser toutes longueurs d'onde pour l'holographie

Vincent AUBERTIN¹Ulrich EISMANN²¹Opton Laser International²TOPTICA Photonics

Les diodes laser répondent maintenant aux exigences techniques pour les applications d'holographie et de lithographie aux longueurs d'onde principales, mais aussi à de nouvelles longueurs d'onde dans l'UV et le visible.

Quand Dennis Gábor a essayé d'améliorer la résolution du microscope électronique à la fin des années 1940, il ne s'est probablement pas rendu compte de l'impact de son travail. En effet, il a découvert la méthode holographique qui permet d'afficher une image tridimensionnelle complète (3D) d'un objet. Combinée avec l'invention du laser, l'holographie a quitté les seuls laboratoires de recherche et engendré une activité industrielle conséquente avec une multitude d'applications.

Les applications pratiques actuelles de l'holographie vont des hologrammes de sécurité bien connus des cartes de crédit et des passeports jusqu'à l'holographie médicale. Les composants optiques comme les réseaux de transmission ou de réflexion



LA FLEXIBILITÉ ET L'EXPERTISE AU SERVICE DE L'INNOVATION

HTDS
Hi-Tech Detection Systems

OPTO ÉLECTRONIQUE

SOLUTIONS SPÉCIFIQUES / PRODUITS STANDARTS / SERVICE SUR MESURE / POUR PETITES À GRANDES SÉRIES

EMETTEURS UV-VIS-IR
LEDs et Power LEDs / Sources lumineuses à LED ou Xénon
Diodes lasers / Lampes flash Xénon / Corps noirs miniatures

DÉTECTEURS UV-VIS-IR
Pyrodecteurs / Thermopiles / Imageurs thermiques
Photodiodes PIN et APD / Si, InGaAs / Barettes, quad
SPCM, CPM, Compteurs de photons

APPLICATIONS : INDUSTRIELLES, AÉRONAUTIQUES, GRAND PUBLIC, MÉDICALES, SCIENTIFIQUE, DÉFENSE, AUTOMOBILE

Société HTDS - info@htds.fr - www.htds.fr - Tel : +33 (0)1 64 86 28 28

trouvent une multitude d'applications dans les lasers ou spectromètres (illustration).

La micro-intégration de ces composants a beaucoup progressé, des exemples étant les diodes laser DFB (*distributed feedback*) et DBR (*distributed Bragg reflector*) et les réseaux de Bragg fibrés. Dans un proche avenir, une croissance significative de ce secteur est attendue grâce à l'émergence du marché de la réalité augmentée pour le grand public.

Les principes de l'holographie optique n'ont pas changé de manière significative depuis sa première invention (voir *figure 1*). Une lame séparatrice de faisceaux divise un faisceau laser en deux parties : le faisceau d'éclairage qui irradie l'objet et le faisceau de référence envoyé directement à un support d'enregistrement (généralement une plaque photographique). Le faisceau de référence interfère avec la lumière réfléchie par l'objet, et le motif d'interférence résultant est enregistré dans un substrat photosensible. Après cette procédure, le substrat peut être éclairé pour produire une image 3D de l'objet.

Alors que les lasers à gaz étaient les premiers lasers à être largement utilisés pour l'holographie, une nouvelle génération de diodes laser de puissance est maintenant disponible pour remplacer ces sources. Le principal avantage des diodes laser est leur disponibilité à presque toutes les longueurs d'onde.

Les diodes laser standard couvrent une large gamme spectrale, de l'infrarouge (IR) à la lumière visible. La couverture spectrale peut être étendue bien au-delà dans l'ultraviolet (UV) en utilisant des techniques de conversion de fréquence [1].

La *figure 2* montre le spectre en puissance de sortie des diodes laser accordables TOPTICA et illustre bien cette couverture spectrale étendue. Le spectre s'étend de l'UV profond (190 nm) à l'infrarouge moyen (3500 nm), avec des niveaux de puissance de sortie pouvant atteindre plusieurs watts. Il comprend les longueurs d'onde visibles (RGB) autour de 457, 532 et 647 nm (voir *tableau*).

La résolution du motif d'interférence est un paramètre important pour façonner les éléments lithographiques de plus en plus petits utilisés pour les composants électroniques. Cela nécessite des longueurs d'onde laser toujours plus courtes. Les lasers à gaz fournissent des longueurs d'onde standard largement utilisées pour l'holographie et la lithographie (incohérente). Ainsi, en raison de leur manipulation simple, de leurs excellents paramètres de faisceau et de leur coût d'exploitation réduit, les diodes laser ont trouvé leur place dans des applications qui étaient auparavant dominées par les lasers à gaz. Par exemple, les lasers à ions krypton émettant à 407 nm ont été remplacés par des

diodes laser à 405 nm depuis plusieurs années maintenant. Ces longueurs d'onde sont obtenues soit en utilisant directement des diodes laser, soit en doublant la fréquence d'un laser IR puissant, stable et à bande étroite, si une puissance plus importante est requise. La plage UV est atteinte en ajoutant un autre étage de conversion de fréquence. La longueur d'onde UV populaire de 266 nm est obtenue par des diodes laser offrant une puissance de sortie cohérente de 300 mW avec une qualité de faisceau limitée par la diffraction (typiquement un facteur de qualité du faisceau $M^2 < 1,2$).

Applications de l'holographie

Le processus de fabrication de semi-conducteurs optiques nécessite la génération de réseaux holographiques à l'intérieur du matériau. Cela se fait généralement à l'aide de lasers à gaz ou à diodes convertis en fréquence à 244 nm. La longueur d'onde populaire de 213 nm d'un laser Nd:YAG pulsé à quintuplement de fréquence peut être obtenue à partir de diodes laser de puissance continues. L'utilisation de cristaux de KBBF (potassium beryllium fluoroborate) comme moyen de doubler la fréquence est un autre progrès crucial en faveur de longueurs d'onde encore plus courtes. Celles-ci permettent de faire de l'holographie

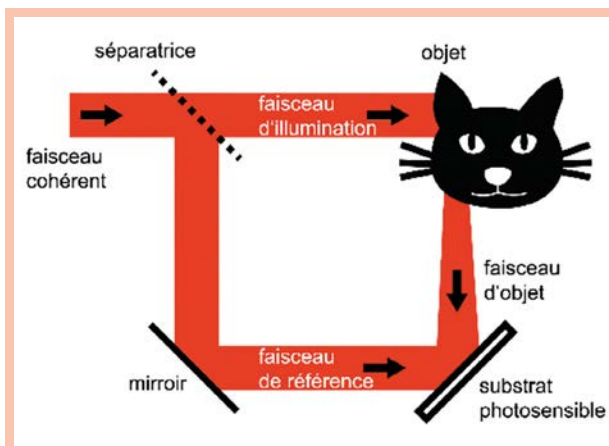


Figure 1. Pour créer un hologramme, un faisceau est divisé en deux parties : le faisceau d'éclairage illumine un objet dont la lumière réfléchie est dirigée vers une plaque photographique où elle interfère avec le second faisceau, dit faisceau de référence afin de capturer un motif d'interférence.

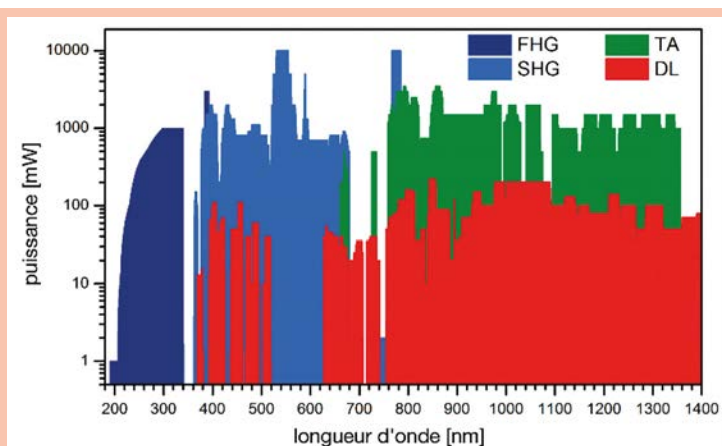


Figure 2. Les diodes laser peuvent couvrir une plage de longueurs d'onde extrêmement large allant de 190 à 3500 nm; les sources de faible puissance (DL) peuvent être amplifiées (TA) et doublées en fréquence (SHG) ou quadruplées en fréquence (FHG). (crédit photo : TOPTICA Photonics AG)

Laser Accordable à Haute Performance



L'innovation depuis 1979

Lasers accordables disponibles de 1260 à 1680nm, pour vos applications de guides d'ondes et de caractérisation de composants optiques.

SANTEC EUROPE LIMITED

Tel: +44-20-3176-1550

Grand Union Studios,
332 Ladbroke Grove,
London, W10 5AD, UK

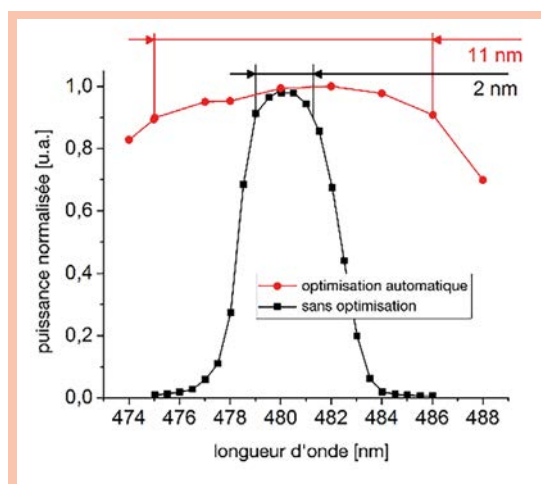


Figure 3. Accordabilité automatique d'un système à diode laser SHG avec (rouge) et sans (noir) optimisation automatique de la puissance de sortie du laser; la plage d'accordabilité utile, donnée selon un critère de puissance max. de 90 %, est augmentée d'un facteur cinq grâce à la routine d'optimisation automatique.

à la longueur d'onde habituelle de 193 nm avec des diodes laser à la place des lasers à excimères [2].

Les dispositifs de réalité augmentée (RA) tels que les HoloLens de Microsoft ou les One de Magic Leap sont des exemples de nouvelles applications d'holographie destinées aux consommateurs. La RA a le potentiel de changer complètement la façon de travailler en entreprise et potentiellement de remplacer les smartphones.

Autre marché de masse, le secteur de l'automobile est prometteur pour ce type d'application où des informations importantes pour le conducteur, telle que la vitesse du véhicule, peuvent être projetées directement « sur la route » à l'aide d'un affichage tête haute. Pour ces deux applications, les appareils d'imagerie holographique offrent la meilleure luminosité de l'image projetée par rapport à la lumière ambiante. Par conséquent, les utilisateurs expérimentent une véritable immersion dans la réalité augmentée.

Étant donné que les LEDs d'éclairage ou les diodes laser ont une longueur d'onde d'émission dispersée sur quelques nanomètres autour de la longueur d'onde nominale, l'image projetée peut être très faible, voire invisible, d'autant plus que les structures photosensibles peuvent voir leurs dimensions varier pendant le processus de production après leur exposition à la lumière. Ici, un autre avantage des diodes laser entre en jeu, à savoir la possibilité d'ajuster le laser d'écriture à la longueur d'onde souhaitée.

La *figure 3* montre un exemple d'une telle courbe de réglage, où une accordabilité automatique de 14 nm autour de 480 nm est démontrée. La diode laser non optimisée est accordée sur plus de 2 nm par rapport à la longueur d'onde centrale avant que la puissance ne chute à 90 % de son maximum. La diode laser avec optimisation automatique s'accorde sur 11 nm avant que le critère de 90 % ne soit rempli, correspondant à une multiplication par cinq de la plage de réglage utile.

Ces systèmes à diodes laser sont intrinsèquement efficaces et consomment généralement moins de 100 W d'énergie électrique entraînant des économies de centaines de milliers de kilowattheures par rapport à des lasers à gaz gourmands en énergie. En outre, ils fonctionnent sans refroidissement par eau, ce qui simplifie non seulement la configuration et le fonctionnement du laser, mais diminue également le coût de revient déjà considérablement réduit par rapport aux sources historiques. Étant donné que l'apport en chaleur dans un laboratoire d'holographie est un élément crucial et que les turbulences de l'air ou le bruit acoustique peuvent rendre un enregistrement holographique inutilisable, les diodes laser présentent l'avantage de fonctionner avec un refroidissement passif et sans ventilateur.

La facilité de maintenance est assurée par des unités remplaçables sur site, composées principalement de sous-composants à semi-conducteurs optiques compacts.

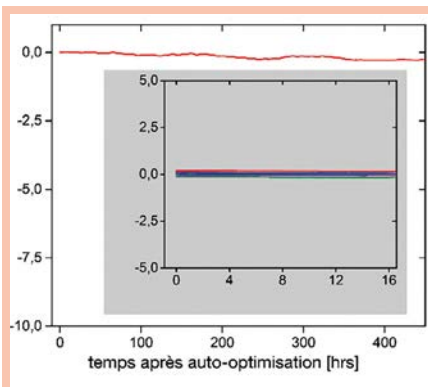
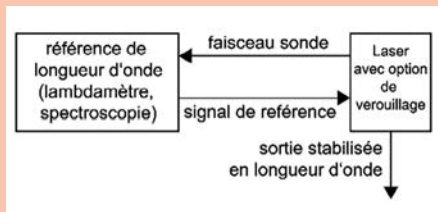


Figure 4. Dérive résiduelle en longueur d'onde d'un laser en free-running à 405 nm, où la dérive reste bien en dessous de 1 pm sur plus de 400 heures (a) ; après une répétition de routines d'optimisation (chaque courbe correspond à des acquisitions obtenues après chaque



routine), le laser en free-running détecte de manière fiable la longueur d'onde optimale pour un fonctionnement stable. Aucun saut de mode n'est observé pour l'ensemble des mesures (en insert). Stabilisation active du système laser, où le laser peut être stabilisé sur une référence externe – par exemple, une cellule à gaz (pour une longueur d'onde cible de 390,1 nm ou 397,5 nm) ou par un lambdamètre (pour toutes les longueurs d'onde). En pratique la stabilité en longueur d'onde est limitée par la référence (b).

La question de la cohérence

La longueur de cohérence est un paramètre crucial pour une source de lumière pour l'holographie. Le processus d'écriture nécessite une source dont la longueur de cohérence est donnée par la taille de l'objet et du support photosensible. En principe, la longueur de cohérence doit être au moins égale à la différence de longueur de trajet entre les faisceaux d'éclairage et de référence pour permettre leur interférence au niveau de la plaque photographique. Fonctionnant sur une fréquence unique, les diodes laser accordables peuvent offrir des longueurs de cohérence supérieures à 100 m dans leur configuration standard. De plus, l'électronique d'asservissement du

contrôleur permet de verrouiller deux lasers en phase. De cette manière, le faisceau de référence peut également être généré directement sur le support à l'aide d'un second laser.

Pour certaines applications, la longueur d'onde absolue et la stabilité sont essentielles. Sans dispositifs supplémentaires, la longueur d'onde de sortie d'une diode laser présente des dérives résiduelles. Ces dérives peuvent être fortement compensées à l'aide d'un dispositif de compensation de pression atmosphérique intégré (voir figure 4a). En raison de l'absence d'eau de refroidissement, le jitter haute fréquence en longueur d'onde est négligeable. Si une référence absolue en longueur d'onde est nécessaire, un module de stabilisation par spectroscopie peut être connecté au système.

Par exemple, des systèmes stabilisés sur des références fournies par les raies D d'un gaz d'atomes de rubidium et qui émettent à 390,1 nm et 397,5 nm ont été réalisés (voir figure 4b).

Ce principe peut être élargi à toutes les longueurs d'onde en remplaçant la cellule à gaz de référence par un lambdamètre de précision doté d'une fonctionnalité d'asservissement en longueur d'onde entièrement numérique.

Comme présenté ci-dessus, les diodes laser répondent aux exigences techniques pour effectuer des applications d'holographie et de lithographie non seulement à des longueurs d'onde établies, mais également à toutes les longueurs d'onde dans les domaines UV et visible. En combinaison avec les autres atouts offerts par rapport aux lasers traditionnels, notamment en termes de manipulation, de fonctionnement et de coût, les diodes laser sont clairement une solution très intéressante pour l'holographie.

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] U. Eismann et al., *Novel Lasers: Short, shorter, shortest - Diode lasers in the deep ultraviolet*, Laser Focus World, **52**, 39 (2016); <https://goo.gl/Ys9SRm>
- [2] M. Scholz et al., *A bright continuous-wave laser source at 193 nm*, Appl. Phys. Lett., **103**, 051114 (2013)
- [3] U. Eismann et al., *Active and passive stabilization of a high-power violet frequency-doubled diode laser*, CLEO 2016, JTu5A.65 (2016)

MARQUE	INFOS	CONTACT
Laser Quantum	https://www.laserquantum.com	info@laserquantum.com +44 (0) 161 975 5300
Coherent	coherent.france@coherent.com	+33 1 69 11 94 00
IPG Photonics	https://www.ipgphotonics.com/en	Laurent Weber +33 3 88 67 49 74
Azur Light Systems	http://azurlight-systems.com/high-power-fiber-lasers-low-noise-single-mode-single-frequency/	Pierre Laygue +33 5 47 74 55 98
LASOS	https://www.acalbfi.com/fr/search/Z20-LASOS	sales-fr@acalbfi.fr +33 1 60 79 59 00
Lumentum	https://www.lumentum.com/en	media@lumentum.com 408 546 4593
MKS Instruments	mks-germany@mksinst.com	mks-germany@mksinst.com +33 1 48 35 39 39 +49 89 420008-0
Thorlabs	https://www.thorlabs.com/	sales.fr@thorlabs.com +33 1 83 71 11 31
Toptica	https://www.toptica.com/	info@toptica.com +49 89 85837-0
Opton Laser	https://www.optonlaser.com/	Vincent Aubertin vincent.aubertin@optonlaser.com +33 1 69 41 04 05

Tableau 1. Les lasers pour l'holographie (DPSS, lasers à fibre, laser à gaz).