

Dans la ligne de mire

Des capteurs laser fabriqués en série

Le marché de la télémétrie ne cesse de se développer. Élaborés à l'origine pour les applications de pointe dans les secteurs militaire et industriel, les capteurs laser n'ont jamais été aussi abordables depuis qu'ils sont devenus des produits grand public. La stadimétrie repose sur des diodes laser et des photodiodes de grande qualité et très abordables.

La mesure de la distance et l'orientation sans aucun contact peuvent déjà être observées dans la nature. Par exemple, les chauves-souris sont capables de se déplacer dans le noir absolu. Elles utilisent l'écholocation et peuvent extraire des informations relatives à la distance et à la direction des obstacles grâce à la rétro-réflexion de leurs signaux.

En s'inspirant de la nature, les scientifiques se sont mis à rechercher des moyens de rendre cette technique accessible aux hommes. Ces systèmes d'orientation peuvent servir aux machines et aux déficients visuels. Par exemple, Vistac a créé une canne blanche à laser destinée aux déficients visuels. Le faisceau laser est étendu de façon à identifier les obstacles situés au niveau de la tête ou de la partie supérieure du corps de la personne aveugle, et qui ne peuvent pas être détectés par le seul mouvement de la canne. Si une lumière rétro-réfléchi est détectée, le module de signalisation se met à vibrer. Comme pour les chauves-souris, une information "oui/non" est transmise en ce qui concerne l'orientation spatiale.

Le secteur automobile utilise également cette technologie pour accroître le confort et la sécurité par le biais de systèmes d'aide à la conduite. En 2005, plus de 40 000 personnes ont perdu la vie sur les routes européennes. Le programme e-Safety lancé par la Commission européenne vise à réduire



Figure 1 : aide à l'orientation – canne blanche à laser destinée aux déficients visuels.

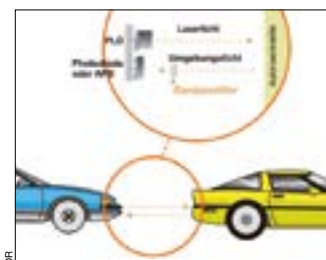


Figure 2 : mesure de la distance et de la vitesse relative pour les applications automobiles.

de moitié le nombre d'accidents en 2010. Parmi les applications destinées à accroître la sécurité au volant, on peut citer le contrôle des distances de sécurité (figure 2), les systèmes de maintien sur les voies et les systèmes de freinage d'urgence qui se déclenchent dès que d'autres véhicules sont trop près. Les informations sur l'environnement proche, les systèmes d'alerte anticipée

et les aides au stationnement permettent d'améliorer la sécurité routière.

Sur le plan juridique, l'introduction de systèmes supplémentaires d'aide à la conduite nécessite toujours une étude très approfondie.

Par exemple, qui est responsable en cas d'accident provoqué par un dysfonctionnement du système ?

Ces questions, cependant, ne concernent pas les personnes qui souhaitent juste mesurer des distances de plusieurs kilomètres sans aucun contact et en utilisant un télémètre laser moderne.

Ces opérations peuvent être effectuées à l'aide d'un dispositif de petite taille ou d'un télémètre intégré à un viseur ou à des jumelles.

Ces systèmes sont utilisés par les golfeurs qui souhaitent améliorer leur handicap ou par les chasseurs qui ont envie de mieux viser leurs cibles.

Les utilisateurs n'ont pas à s'inquiéter des risques pour les yeux, étant donné que le laser à semi-conducteurs contenu à l'intérieur du télémètre fait partie des lasers de catégorie 1.

La télémétrie laser repose sur la stadimétrie qui utilise le principe du temps de vol (TOF). Cette méthode sans contact permet de mesurer la distance et la vitesse de quelques centimètres à plusieurs kilomètres.

Temps de vol, principe de fonctionnement

Avec le principe du temps de vol, une impulsion lumineuse modulée et collimatée par une optique d'émetteur est envoyée.

Le temps de déplacement Δt du faisceau est déterminé en mesurant le temps de retour de la lumière réfléchi. Lorsque la vitesse de la lumière c est connue, la distance / peut être calculée.

OPTIQUE
Avis d'experts

Étant donné que la lumière doit parcourir 2 fois la distance, le résultat est divisé par deux. Le pouvoir de réfraction n du milieu ambiant réduit la vitesse de la lumière.

$$l = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot n}$$

L'avantage de cette méthode est son temps de réaction court. Le principe du temps de vol peut être utilisé pour des plages de mesure allant d'un mètre à plusieurs dizaines de kilomètres. L'un de ses inconvénients est que la mesure doit être effectuée dans des périodes de temps très courtes (de l'ordre de quelques nanosecondes à quelques picosecondes). Par conséquent, il est difficile d'obtenir une résolution supérieure à quelques centimètres. Des techniques sont utilisées afin de réduire les exigences liées à la mesure de la durée. En fait, le faisceau laser lui-même est modulé en fréquence ou avec un signal à hautes fréquences.

Utilisation du laser comme un émetteur

La plupart des diodes laser sont conçues pour avoir une puissance continue de quelques milliwatts à plusieurs watts. Ces diodes laser ne peuvent être surchargées que d'une manière très limitée. Si la puissance optique est supérieure au niveau maximum approprié – même pendant une courte période de temps – la lumière laser détruit le résonateur situé à l'intérieur de la diode.

Les diodes laser pulsées (PLD), cependant, sont conçues pour résister aux surcharges importantes et de courte durée et conviennent donc pour les mesures à l'aide du principe de temps

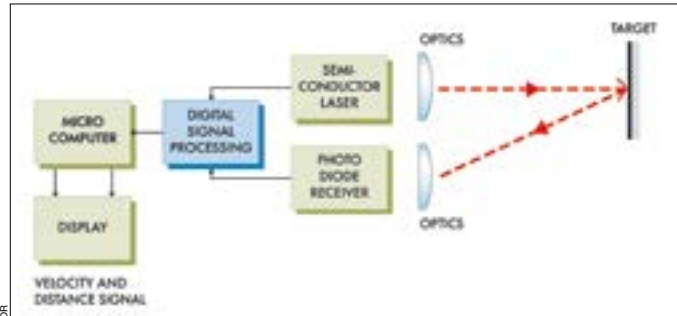


Figure 3 : principe de fonctionnement de la méthode du "temps de vol".

de vol. Pour pouvoir atteindre ces niveaux de puissance maximale, le facteur d'utilisation des diodes doit être très faible (0,1 % en règle générale). Cela signifie qu'une impulsion de 100 ns, par exemple, est suivie par une "pause" de 100 µs. Par conséquent, pour atteindre des fréquences d'impulsions de plusieurs kHz, l'impulsion optique doit être très courte. En général, des impulsions de plusieurs dizaines de ns ayant des temps de montée très courts sont créées. Pour cela, la diode doit être utilisée avec une impulsion de courant importante (1 à plusieurs ampères). Ces impulsions de courant sont difficiles à créer. Des transistors de commutation spéciaux et des fils courts sont nécessaires, entre autres.

La longueur d'onde d'émission est un critère important pour le choix de la diode laser pulsée. Différentes longueurs d'onde d'émission peuvent être produites selon le matériau de base utilisé pour les couches actives. La norme est de 905 nm (invisible à l'œil nu) pour la télémétrie laser avec les applications grand public, industrielles

et automobiles. Les détecteurs à silicium sont les récepteurs les plus appropriés, étant donné que leur sensibilité de photodétection est maximale à cette longueur d'onde (voir ci-après).

La technologie "multi-jonctions" : des performances optimales

L'AlGaAs est le matériau utilisé pour les diodes laser de 905 nm. Depuis plusieurs années, la structure en AlGaAs est également réputée pour sa fiabilité, ses caractéristiques de faisceau et sa stabilité thermique. Avec un rendement de 1 W/A, les émetteurs uniques (voir figure 4a) atteignent une puissance de sortie de 40 W.

Des niveaux de puissance plus élevés peuvent être atteints grâce à la technologie "multi-jonctions" (voir figure 4b) développée par Laser Components. Plusieurs diodes laser sont empilées de manière épitaxiale à l'intérieur d'une seule puce, afin que la distance entre deux émetteurs ne soit que de 4 µm environ. Selon la taille de l'émetteur, une seule diode peut atteindre une puissance

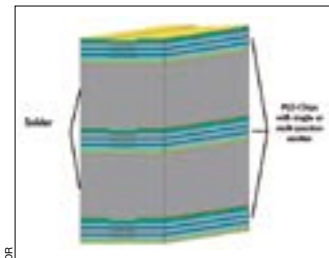
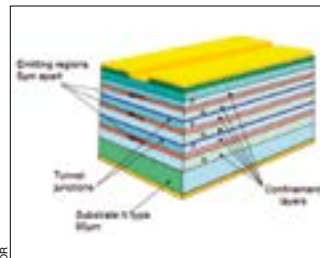
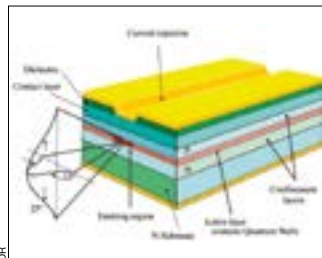


Figure 4 : structures PLD (non à l'échelle) ;

4a : émetteur simple ; 4b : puce multi-jonctions à 3 émetteurs ; 4c : empilement composé de 3 puces.

OPTIQUE
Avis d'experts

de sortie allant jusqu'à 75 W. Des niveaux de puissance maximale plus élevés ne peuvent être atteints qu'en utilisant des empilements (voir figure 4c) : puissance maximale de 220 W avec des durées d'impulsions de 100 ns ; les impulsions plus courtes entraînent des "clignote-ments" au-delà de 400 W.

Outre la longueur d'onde et les caractéristiques électro-optiques, la fiabilité est également un critère de sélection important pour les PLD. Comme avec les autres sources de lumière, et en particulier les lasers à semi-conducteurs, la durée de vie dépend des conditions d'utilisation. Pour les impulsions suffisamment courtes (plusieurs ns) ou les basses fréquences, les diodes laser pulsées peuvent être surchargées de manière significative sans subir aucun dommage. Bien que les applications militaires (comme l'allumage optique de munitions) puissent avoir besoin d'une seule impulsion laser, certaines applications industrielles (comme les scanners de sécurité) doivent fonctionner 24h/24 et 7j/7 pendant des années.

Pour calculer le MTTF (temps moyen entre les pannes) des diodes laser pulsées de 905 nm, la formule empirique suivante est utilisée, elle est le résultat de plusieurs années d'expérience et de mesures :

$$MTTF = k \times (Po/L)^{-6} \times t_w^{-2} \times F^{-1} \times f(T)$$

Où :

- Po/L (mW/μm) : puissance optique maximale/portée de l'émetteur ;
- t_w (ns) : durée d'impulsion ;
- F (kHz) : fréquence de répétition ;
- f(T) = 1 @ 25°C : facteur de multiplication, selon la température du boîtier ;
- k : constante, selon le matériau de la diode laser (ex. : 1,7 x 10²¹ pour les diodes laser pulsées de 905 nm Laser Components).

La fiabilité et les performances dépendent également du boîtier dans lequel est intégrée la puce de la diode laser. Il y a peu de temps encore, les applications bas de gamme se limitaient à des diodes laser pulsées placées dans des boîtiers en plastique. Avec la série 905DxxUA (voir figure 5), Laser Components propose des diodes laser pulsées à hautes performances et à faible coût contenues dans

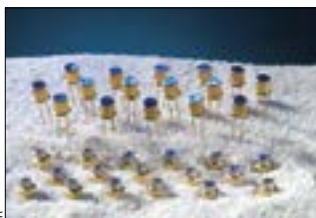


Figure 5 : diodes laser pulsées à hautes performances à faible coût et photodiodes à avalanche à filtre passe-bande intégré de 905 nm.

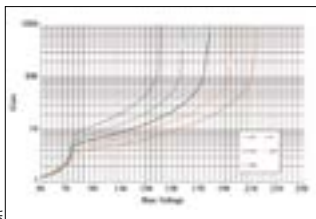


Figure 6 : courbes de gain par rapport à la tension de polarisation et à la température pour une photodiode à avalanche Si (D = 500 μm).

un boîtier métallique hermétique TO56. Selon le modèle et la structure de la puce, la puissance optique maximale peut aller de 5 à 75 W. Les avantages d'un boîtier métallique sont évidents :

- un hublot en verre pour des caractéristiques d'émission optimales ;
- un alignement très précis de la puce à l'intérieur du boîtier ;
- une excellente stabilité thermique ;
- une fiabilité améliorée ;
- une résistance à la surcharge ;
- une faible inductivité et des temps de montée courts.

Le récepteur

Afin de détecter les impulsions de lumière courtes émises par une diode laser pulsée, les télémètres laser utilisent généralement des photodiodes PIN en silicium ou des photodiodes à avalanche (APD) comme détecteur. Leur sensibilité se situe entre 400 et 1 100 nm (le maximum étant environ 900 nm). La durée de vie n'est pas un élément essentiel pour ces composants. Si elles sont correctement manipulées, les photodiodes à avalanche ne vieillissent presque pas.

Dans les photodiodes PIN classiques, les photons entrants créent des paires de trous d'électrons (appelées "porteurs de charge") qui entraînent un courant photo-électrique mesurable.

Par conséquent, l'énergie des photons entrants est transformée en énergie électrique. Les photodiodes à avalanche, à l'inverse, posent beaucoup plus de problèmes.

Contrairement aux photodiodes PIN "classiques", dans les photodiodes à avalanche, les photons entrants créent une avalanche de porteurs de charge.

Par conséquent, ces photodiodes conviennent particulièrement pour améliorer la sensibilité. Une tension de polarisation doit être appliquée afin d'élargir la zone d'épuisement. Dans cette zone, les porteurs de charge libérés par la lumière entrante sont accélérés par le champ électrique et, en raison de l'ionisation par impact, créent des paires de trous d'électrons supplémentaires. Le courant résultant peut être calculé comme suit :

$$I = R_o \times M \times P_s$$

Où :

- R_o (A/W) : sensibilité spectrale de la photodiode à avalanche ;
- M : gain interne ;
- P_s (W) : puissance de la lumière incidente.

Le gain de la photodiode à avalanche dépend de la tension de polarisation appliquée (voir figure 6).

Photodiode à avalanche ou diode PIN

Pour comparer les performances d'une photodiode à avalanche à celles d'une diode PIN, il ne suffit pas d'observer simplement les caractéristiques de bruit. Le rapport signal/bruit du système entier est décisif.

Par conséquent, pour évaluer les performances des diodes PIN, il est nécessaire de prendre en compte le préamplificateur correspondant, dont les propriétés de bruit dépendent, entre autres, de la fréquence.

Une photodiode à avalanche est supérieure à une diode PIN, étant donné que l'APD peut clairement améliorer le niveau de signal sans augmenter de manière significative le bruit total du


OPTIQUE
Avis d'experts

système. Les photodiodes à avalanche sont privilégiées lorsque de faibles niveaux de lumière doivent être détectés avec des fréquences moyennes ou élevées.

Afin que l'APD n'affecte pas le bruit du système, le gain interne doit être contrôlé de façon à ce que le bruit du détecteur soit quasi égal au bruit d'entrée de l'amplificateur ou de la résistance suivant(e). En fonction de l'application, une photodiode à avalanche (ayant un gain interne de 10 à 1 000) permet d'améliorer le rapport signal/bruit selon un facteur de 2 à 5 en comparaison avec une diode PIN et un préamplificateur.

Dans les APD et les diodes PIN, le bruit augmente avec la bande passante du système. Par conséquent, l'utilisateur doit étudier de près l'ensemble des options possibles pour réduire la bande passante.

Afin d'éliminer le bruit provoqué par la lumière ambiante ou parasite, un filtre optique passe-bande est ajouté côté

récepteur. Laser Components peut également proposer une solution à hautes performances et à faible coût adaptée à cette situation.

Notre SARF500F2 convient parfaitement en combinaison avec nos diodes laser pulsées de 905 nm.

La série SARF (voir figure 5) comprend un filtre passe-bande de 905 nm déjà intégré au boîtier TO de petite taille. La puce d'une photodiode à avalanche de 230 ou 500 μm est également optimisée pour 905 nm, afin de garantir des performances optimales.

Les avantages liés à l'intégration du filtre directement à l'intérieur du boîtier sont les suivants : un coût réduit, étant donné qu'aucun filtre externe n'est nécessaire et que les étapes d'assemblage supplémentaires deviennent inutiles ; un encombrement plus faible ; des propriétés optimales du système à une longueur d'onde de mesure de 905 nm.

La solution APD/filtre est fabriquée dans un boîtier TO46 modifié ou un boîtier SMD ■

En résumé

Les possibilités d'application des capteurs laser sont de plus en plus nombreuses. Des composants à hautes performances et à faible coût sont utilisés pour fabriquer des télémètres laser économiques basés sur le principe du temps de vol. Ces composants comprennent des diodes laser pulsées placées dans des boîtiers métalliques et des photodiodes à avalanche munies d'un filtre passe-bande intégré.

Références

- Laser Components : "Photodiodes à avalanche en silicium"
- Vistac : "Laser Langstock", www.vistac.de
- K. Fürstenberg & R. Schulz : "Laserscanner für Fahrerassistenzsysteme", ATZ09/2005 Jahrgang 107
- www.wikipedia.de