
Génération micro-ondes par voie optique appliquée à la caractérisation de composants d'extrémité.

Pascal Dherbécourt *, **Olivier Latry ***, **Eric Joubert***, **Mohamed Kétata ****

** Université de Rouen - IUT - Département Génie Electrique et Informatique Industrielle - Rue Lavoisier 76821 Mont Saint Aignan Cedex
Laboratoire Groupe Physique des Matériaux UMR 6634 CNRS*

*** Université de Rouen - IUT - Département Génie Electrique et Informatique Industrielle – Rue Lavoisier 76821 Mon Saint Aignan Cedex
Laboratoire Electronique Microtechnologie Instrumentation*

Pascal.dherbecourt@univ-rouen.fr ; olivier.latry@univ-rouen.fr; eric.joubert@univ-rouen.fr ; mohamed.ketata@univ-rouen.fr

Sections de rattachement : 63

RÉSUMÉ. Le couplage de deux ondes optiques issues de lasers semiconducteurs monomodes permet par photoréception quadratique l'obtention d'une onde GHz ou THz. Dans le domaine des télécommunications optiques nous avons développé ce principe pour des mesures de bande passante de photorécepteurs ultra rapides PIN. Les lasers de type DFB (Distributed FeedBack) sont des émetteurs répondant parfaitement aux exigences des systèmes de télécommunications optiques modernes. La maîtrise des paramètres physiques comme la puissance d'émission proportionnelle au courant de commande en fonctionnement au dessus du seuil et la température de jonction nécessite la mise en œuvre d'une électronique de commande associée au laser. Ces paramètres conditionnent la stabilité en puissance et en fréquence du signal radiofréquence généré. En décalant la longueur d'onde des lasers, un balayage sur plusieurs dizaines de GHz, voire jusqu'au domaine des THz est obtenu avec une stabilité satisfaisante.

MOTS-CLÉS : Génération GHz et THz, laser DFB, télécommunication optique, effet Peltier, photodiode PIN, couplage optique, hétérodynage optique.

1. Introduction

L'optoélectronique permet aujourd'hui d'explorer de nouvelles longueurs d'onde, et ne se limite plus au domaine du visible et de l'infrarouge. Un domaine de fréquence situé entre les ondes radio et les ondes optiques, le domaine des TéraHertz, suscite un vif intérêt de la part de la communauté scientifique. Les recherches concernent à la fois les sources mais aussi les récepteurs, le défi concerne la réalisation de sources stables et suffisamment puissantes, les récepteurs quant à eux devront être suffisamment rapides et sensibles. L'exploitation de ces nouvelles bandes de fréquence trouve un intérêt à la fois dans le domaine des télécommunications pour la réalisation de porteuses radio à plusieurs dizaines de GHz mais aussi dans le domaine de la sécurité pour les THz. Ces sources permettront de développer de nouveaux systèmes de sécurité, autorisant notamment la vision à travers les vêtements. Le couplage de deux ondes laser légèrement décalées en fréquence est une alternative pour la modulation d'une onde optique dans le domaine GHz ou THz réalisant ainsi la génération de porteuse très haute fréquence. Nous avons développé théoriquement et expérimentalement ce principe essentiellement pour des applications en télécommunication pour la caractérisation de photodiodes rapides. Nous présentons dans cet article le principe de base du couplage optique à partir de lasers télécom, la commande des émetteurs lasers, l'application à la mesure de bande passante de photodiodes PIN ultra rapides est enfin développée.

2. Le couplage optique pour la génération GHz ou THz

Le principe du banc réalisé dont le schéma est donné en figure 1 repose sur le couplage de deux lasers DFB émettant à la longueur d'onde télécom 1550 nm.

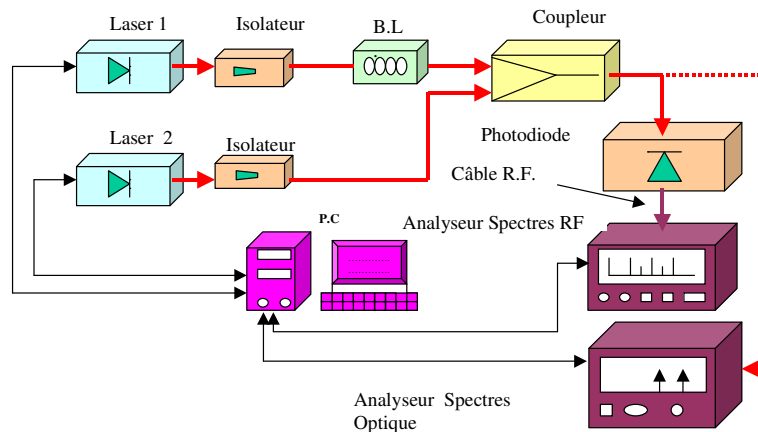


Figure 1 . principe du banc de couplage optique pour la génération micro-onde.

Le coupleur assure la superposition spatiale des deux ondes optiques dont la différence en valeur est maintenue constante par contrôleur en température des sources lasers. Le contrôleur de polarisation assure un niveau de puissance maximum en sortie. La photodiode par détection quadratique génère à partir de l'onde optique modulée en amplitude une onde dont la fréquence est égale à la différence des fréquences optiques des deux sources. Par décalage en température d'un des deux lasers sur environ 20°C un signal de l'ordre de 250 GHz est généré en photoréception. La figure 2 représente le signal généré par la photodiode brut avant filtrage, mesuré à l'analyseur de spectres à une fréquence voisine de 45GHz. La pureté spectrale du signal généré dépend directement de la finesse spectrale des sources lasers, des sources à spectre très étroit sont donc à recommander pour le montage [Dhe 02], [Char Ch].

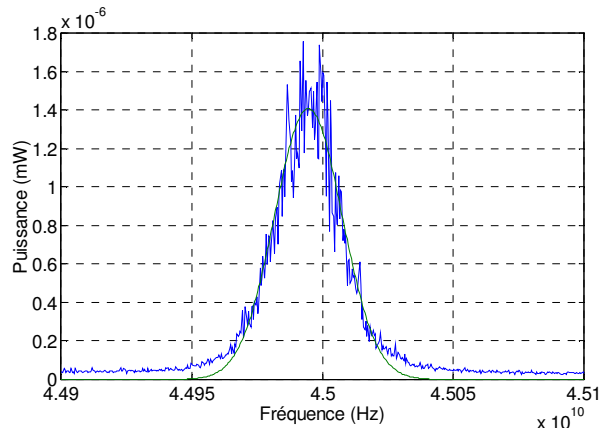


Figure 2 . signal obtenu en sortie photodiode généré par couplage optique à 45 GHz .

3. Le laser DFB exploité : structure et caractéristiques

Le principe du laser semiconducteur de type Fabry Péro (FP) repose sur une cavité résonante aux faces semi réfléchissantes. La condition de résonance impose que la longueur du guide notée L soit un multiple entier de la demi-longueur d'onde divisée par l'indice du matériau (soit $\lambda/2n$ dans le matériau d'indice n), ce qui sélectionne les modes longitudinaux. Le spectre du laser FP contient plusieurs raies, ce spectre est dit multimode longitudinal. Le laser DFB ou *Distributed FeedBack* est une diode Laser Fabry Péro dont la cavité comporte un réseau gravé interne jouant le rôle d'un filtre optique très sélectif. Le rôle de ce réseau est de sélectionner un seul mode longitudinal de sorte que le spectre d'émission est dit mono fréquence, et ne comporte qu'une seule raie correspondant à une lumière quasi monochromatique. Le résultat est une

amélioration très importante de la cohérence temporelle, ou en d'autres termes, de la largeur spectrale du mode longitudinal unique dont la valeur est de quelque MHz. Du point de vue physique, la longueur géométrique de la cavité L et l'indice du milieu n dépendent de la température T , en effet, une variation de température peut provoquer une dilatation du matériau. De plus l'indice n dépend aussi de la densité de porteurs de charge N dans le matériau et donc du courant de polarisation. La dépendance de la longueur d'onde du laser ou de sa fréquence optique se traduit par la relation suivante :

$$\lambda(T, I) = 2/k \cdot [n(T, I) \cdot L(T)]$$

Une évaluation par calcul de la dépendance de la longueur d'onde par rapport à la température et au courant nous donne :

$$d\lambda(T, I) = \frac{2}{k} \left[\frac{\partial n(T, I)}{\partial T} \cdot L(T) + n(T, I) \frac{\partial L(T)}{\partial T} \right] \cdot dT + \frac{2}{k} \left[\frac{\partial n(T, I)}{\partial I} \cdot L(T) \right] \cdot dI$$

Les paramètres de variation de longueur d'onde en fonction d'une part de la température et d'autre part en fonction du courant de jonction sont donnés ci-dessous pour un laser développé pour les télécommunications.

$$\left[\frac{\partial n}{\partial T} \cdot L + n \cdot \frac{\partial L}{\partial T} \right] \approx 0.1 \text{ nm}/^\circ\text{C} \qquad \left[\frac{\partial n}{\partial I} \cdot L \right] \approx 0.05 \text{ nm}/\text{mA}$$

La variation de ces paramètres physiques représente un inconvénient pour l'utilisation des structures laser DFB dans les systèmes de communications optiques à très haut débit. Ces paramètres doivent être parfaitement maîtrisés pour respecter les canaux de multiplexage DWDM définis par les normes internationales ITU. Nous exploitons dans notre banc le fait que ces lasers sont parfaitement stabilisés en température, indispensable pour la stabilité du signal micro-onde généré, nous détaillons dans la suite de l'exposé la commande expérimentale du contrôle des sources en température et en puissance.

4. Contrôle en puissance et en température du laser

4.1. L'émetteur laser

Les lasers utilisés dans le montage présenté en figure 1 sont intégrés dans des modules d'émission et pilotés par PC et dédié aux applications télécom. Une autre alternative présentée ici consiste à câbler des composants achetés directement chez le fabricant en lui associant une électronique de commande en puissance et en température. Nous détaillons cette étape de développement dans ce paragraphe. Le laser DFB Avanex référence 1905 LMI est commercialisé en boîtier du type Butterfly dont le schéma de principe est représenté sur la figure 3. Il comporte un support métallique relié au substrat de la diode laser, un système de régulation de température, en fait un dispositif thermoélectrique à effet Peltier mis en contact étroit avec le support de la puce, une sonde de température constituée d'une thermistance typiquement de 10 kOhms à 20°C, une photodiode de contrôle de la puissance émise par la puce placée en face arrière du laser. La lumière issue de la puce est injectée par une lentille optique vers une fibre amorce munie d'un connecteur. Le laser étudié présente une puissance de l'ordre de 10 mW, une longueur d'onde d'émission voisine de 1550 nm, une variation de la longueur avec la température de 0.1 nm/°C, une largeur spectrale typique égale à 2 MHz.

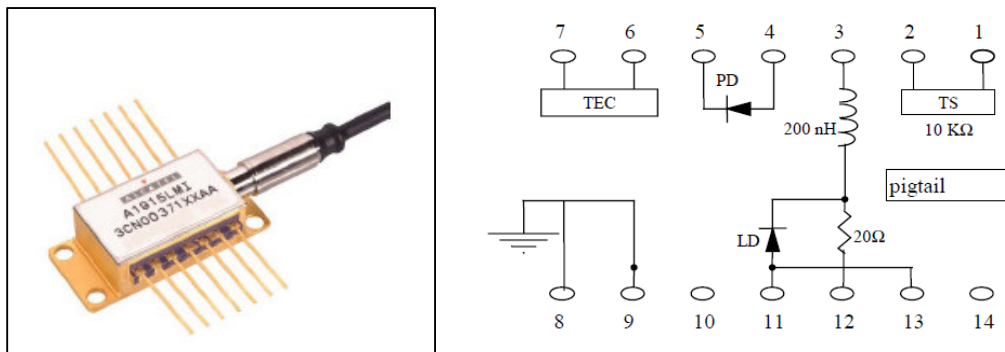


Figure 3. diode laser DFB et brochage interne du composant.

4.2. L'électronique de commande en puissance et température

Les cartes de contrôle en température et en puissance distribuées par la société Micro Laser Systems pilotent le laser (figure 4). La carte de commande en température est destinée au contrôle de systèmes thermoelectriques (TEC). La température de consigne est ajustable par l'intermédiaire d'un potentiomètre extérieur, la valeur de la température et de la longueur d'onde sont lues par voltmètres extérieurs. Le courant fourni au TEC par la carte peut être limité afin de protéger le module thermoélectrique sous commande (Laser). L'ensemble laser et cartes de commande est monté dans un boîtier relié aux alimentations et voltmètres de contrôle extérieurs. Le dispositif ainsi réalisé permet une stabilité de la longueur d'onde d'émission dans le temps assurant ainsi un signal micro-onde stable en réception photodiode.

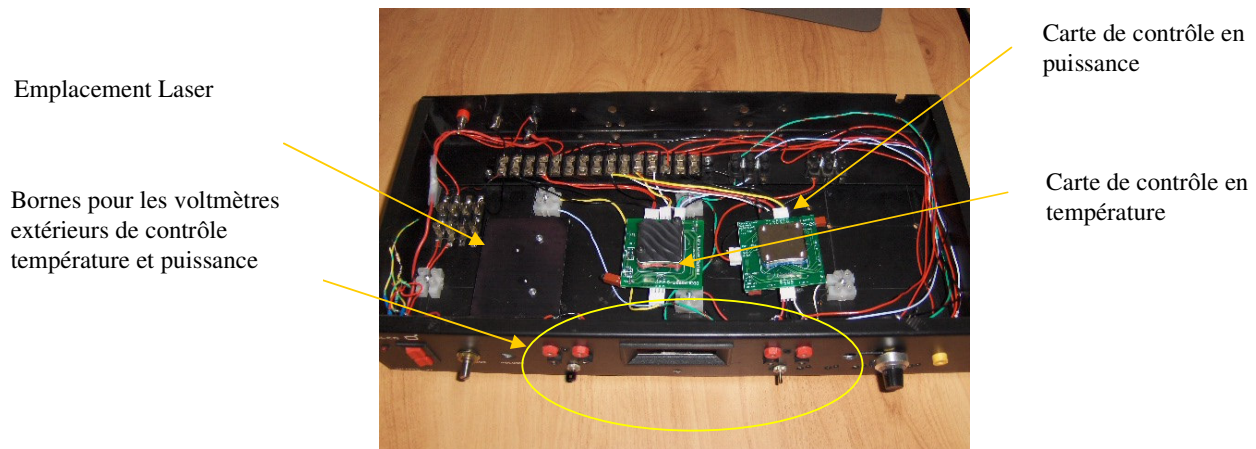


Figure 4. photographie du banc avec le support laser, et les deux cartes électroniques de commande en température et puissance.

Les tests en fonctionnement ont permis de relever la caractéristique de puissance de sortie de la source exprimée en mW en fonction du courant de jonction laser exprimé en mA. Le courant de seuil du laser se situe à 27 mA, la caractéristique est ensuite linéaire conformément aux données constructeurs atteignant une puissance optique voisine de 9 mW. Nous avons relevé aussi une parfaite linéarité du courant photodiode interne du laser en fonction de la puissance émise, la régulation de puissance jouant ainsi un rôle efficace.

5. Application du couplage optique pour le relevé de bande passante de photodiodes ultra-rapides PIN

Le montage développé en figure 1 utilisant des lasers montés en modules et pilotés par PC a été exploité pour la mesure de bande passante de photodiode PIN ultra rapides [Lat 07]. La figure 5 représente un relevé de bande passante de la photodiode, le signal de sortie photodiode (DUT) est mesuré par analyseur de spectres radio-fréquence. La figure 2 montre l'allure de ce signal brut. Un moyennage et une intégration sont assurés pour une meilleure précision et reproductibilité des mesures. La bande passante de la photodiode a été mesurée sur le relevé à 22 GHz à -3 dB. Le principe du couplage optique de deux sources lasers présente l'avantage de n'être nullement limité en fréquence, le banc actuel autorise la génération de fréquences de l'ordre de plusieurs centaines de GHz voire plusieurs THz. En réception, il est alors possible de tester tous type de photodiodes rapides quelque soit sa fréquence de coupure, la condition est alors de pouvoir mesurer ce signal RF par l'analyseur de spectres.

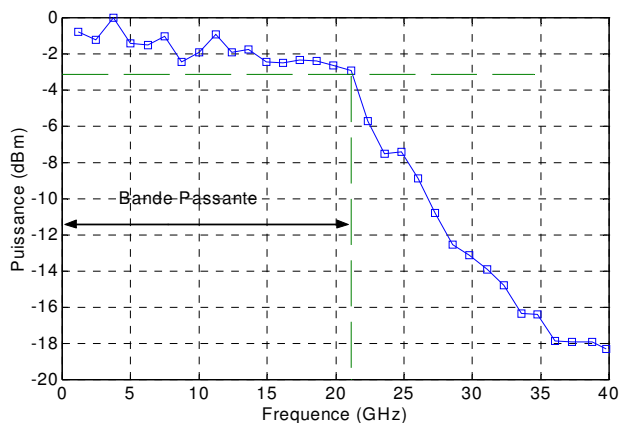


Figure 5. Bande passante de la photodiode mesurée selon le principe du montage décrit en figure 1 par décalage en longueur d'onde des deux sources lasers.

6. Conclusions et perspectives

La régulation en température et en puissance interne au boîtier laser permet une parfaite stabilité en fréquence de l'onde optique générée. Le contrôle efficace de ces deux paramètres physiques autorise l'utilisation de l'émetteur laser pour des

applications télécommunication répondant aux normes ITU. Nous avons exploité ces émetteurs régulés en température et puissance pour la génération d'une onde radio fréquence en sortie de photodiode, la stabilité en fréquence de cette onde est ainsi assurée. Il est envisageable de caractériser cette stabilité en longueur d'onde et en puissance de manière automatique, en effet, grâce aux tensions de contrôle de ces deux paramètres un banc automatisé piloté par PC permettra dans l'avenir une analyse précise dans le temps de leur évolution. Les perspectives d'exploitation de cet outil sont nombreuses, elles concernent l'instrumentation autour des télécommunications à fibre optiques, citons la mesure de largeur de raie du laser par hétérodynage, la mesure de la déformation du spectre laser (phénomène de Chirp), l'application présentée dans le paragraphe 5 consistant à mesurer la bande passante de photorécepteurs rapides de type photodiode PIN peut être étendue à tout type de photorécepteur utilisés pour les télécommunications.

Bibliographie

[Dhe 02] Dherbécourt P., Latry O., Joubert E., Di Bin P., Kétata M., *Achieving of an optical very high frequency modulated wave source using heterodyne technique*, Optics Communications, 202 (2002) p. 81–90.

[Char Ch] Chardonnet Ch., *Laser monofréquence et stabilisation Les Lasers et leurs applications scientifiques et médicales*, Société Française d'Optique.

[Lat 07] Latry O. Ducournau G, Dherbécourt P, Joubert E, Kétata M, *Experimental considerations on bandwidth measurement of ultra-fast photoreceptors by optical heterodyning*, revue Measurement , vol. 40, issue 4, Mai 2007, p. 406-417.

Lecoy Pierre., *Principes et technologies des télécoms* , Paris, Editions Hermes Lavoisier, 2005.

Toffano Zéno., *Optoélectronique : Composants photoniques et fibres optiques*, Paris, Editions Ellipses Technosup Supélec, 2001.