

Développement de lasers à fibres bi-fréquences à impulsions synchrones pour la réalisation de sources terahertz

ROY Philippe, philippe.roy@xlim.fr

Tél : 0555457332


HUMBERT Georges, georges.humbert@xlim.fr

Tél : 0555457386

Equipe : Phot-Fibres, LIMOGES

Mots clés : Lasers à fibres optiques, terahertz, optique non-linéaire, fabrication de fibres optiques, caractérisations THz, modélisations.

Résumé de la thèse :

 Le domaine des fréquences térahertz (THz) [0.1 - 10 THz] est compris entre les domaines spectraux des micro-ondes et de l'optique. Il connaît un grand intérêt justifié par les propriétés uniques de ces ondes, permettant de nombreuses nouvelles applications dans le secteur de la sécurité, de la biologie, de la médecine, du contrôle industriel et de la communication. Les champs THz interagissent avec de nombreuses molécules, ce qui se traduit par des pics d'absorptions facilement identifiables. Ils sont faiblement absorbés par des matériaux non-métalliques et non-polarisant (tels que les textiles, céramiques, plastiques et les semi-conducteurs ...), ce qui rend ces matériaux transparents alors qu'ils sont opaques dans le domaine visible. De plus, les radiations THz sont non-ionisantes rendant leurs utilisations sûres pour les environnements biologiques et médicales. Ces propriétés font de la spectroscopie THz et de l'imagerie THz multi-spectrales des techniques très prometteuses et puissantes pour l'analyse de substances, matériaux, dispositifs et produits.

Même si quelques systèmes commerciaux sont maintenant disponibles, de gros efforts de développements sur les sources THz sont encore nécessaires pour exploiter pleinement les propriétés des ondes THz dans des applications quotidiennes. Bien qu'une grande variété de techniques pour générer un rayonnement THz sont étudiées, aucune d'entre-elles ne fournit une source THz qui est à la fois compacte, puissante, accordable sur une large bande spectrale, et fonctionnant à température ambiante. Les sources THz fondées sur la différence deux fréquences optiques générée dans un cristal non-linéaire sont très attrayantes car elles peuvent permettre de couvrir l'ensemble du domaine THz et leur potentiel de montée en puissance est important. Cette technique peut de plus capitaliser sur les progrès des lasers à fibres pompés par diode, ce qui permettraient l'avènement de sources THz puissantes et compactes.

XLIM a récemment proposé un nouveau concept de fibre optique active présentant une très grande aire modale, qui présente des propriétés de confinements uniques pour réaliser des sources laser de très haute puissance, transversalement monomode.

Nous proposons dans ce sujet de thèse d'exploiter l'expertise d'XLIM sur la fabrication de fibres optiques spéciales et sur la réalisation de lasers à fibres originaux pour concevoir des sources THz performantes, basées sur un seul laser à fibre optique qui émet deux fréquences. En plus de la réalisation de ce laser à fibre original, les efforts porteront sur l'amélioration du rendement de la génération, par effets non-linéaires, des ondes THz.



The terahertz (THz) domain refers to the frequency band of electromagnetic waves ranging from 300 GHz to 10 THz. Unlike the microwave and optical domains, it remains an unexplored area. It is often considered as the last unexplored part of the electromagnetic spectrum. Indeed, the important degradation of the properties of most materials at THz frequencies is a strong limiting factor to the extension of microwave and optical technologies to develop building block devices such as sources, receptor, components and systems.

However, this area is currently experiencing exceptional interests justified by many applications inherent to the unique properties of these waves. THz fields interact with numerous molecules, which results in easily identifiable absorption peaks. Thus, THz spectroscopy is a powerful technique for analyzing materials, biological or chemical substances, detect gases and pollutant in the air. In addition, the THz radiation is very poorly absorbed by the non-metallic and non-polarizing materials (such as textiles, ceramics, plastics and semiconductors ...), which makes these materials transparent in the THz domain while they are opaque in the optical domain.

Among the numerous key devices to be realized for the development of the THz domain, we focus our interest on the generation of THz waves using special optical fiber lasers. An efficient way to generate THz waves is to convert two optical waves to a THz wave by generating nonlinear effects within a nonlinear crystal or with an optoelectronic component (i.e. photomixer). The frequency difference between the two optical waves gives the frequency of the THz wave. This kind of source required therefore the use of two lasers.

In this thesis, we proposed to exploit the expertise developed at XLIM research institute on the fabrication of special micro-structured optical fibers and on the development of original fiber laser for realizing new THz sources based on only one optical fiber laser that emits at two frequencies. In addition to the realization of that original fiber laser the efforts will be focused on enhancing THz generation by nonlinear effects.

Objectifs :

Pour atteindre ce résultat, plusieurs objectifs scientifiques devront être réalisés. Ces derniers sont listés ci-après :

- Conception et développement d'un laser impulsif à fibres optiques générant deux fréquences optiques dont la différence de fréquence peut être accordée. Ce laser sera composé d'éléments standards.
- Génération de radiations THz, par conversion dans un cristal non-linéaire des deux signaux optiques générés par le laser. Des amplificateurs (à fibres optiques) seront ajoutés, en sortie du laser, pour accroître la puissance des radiations THz générées.
- Mise en place d'un spectromètre THz à transformée de Fourier dédié à l'analyse spectrale des radiations THz générées.
- A la suite de ces premiers résultats, l'objectif sera de concevoir et de réaliser une architecture originale du laser qui permet d'accroître significativement l'efficacité de conversion optique/THz.
- L'objectif final sera d'augmenter la puissance THz générée en augmentant la puissance de fonctionnement du laser. Pour cela des diodes de pompes de très fortes puissances seront utilisées. L'objectif majeur sera d'adapter le laser aux contraintes du régime de forte puissance, ce qui nécessitera, entre autre, de remplacer la fibre optique active (standard) par une fibre optique active adaptée. Ainsi, cet objectif impliquera la conception, la fabrication, et la caractérisation d'une fibre optique « active » originale répondant aux exigences de cette architecture laser et du régime de forte puissance. L'intégration de cette fibre dans le laser et la

démonstration de l'augmentation de la puissance des radiations THz générées seront les ultimes objectifs de ce travail de thèse.

Description complète du sujet de thèse :

Le domaine térahertz (THz) [300 GHz - 10 THz] est compris entre les domaines spectraux des micro-ondes et de l'optique. Il est souvent considéré comme la dernière partie inexplorée du spectre électromagnétique. En effet, l'importante dégradation des propriétés des matériaux aux fréquences THz limite l'utilisation des technologies micro-ondes et optiques pour concevoir les éléments de bases : sources, détecteurs et composants.

Cependant, le domaine THz suscite un fort intérêt justifié par de nombreuses applications inhérentes aux propriétés uniques de ces ondes. Les ondes THz interagissent avec de nombreuses molécules, permettant l'analyse de matériaux, de substances biologiques ou chimiques, de gaz et de polluants. De plus, les ondes THz sont faiblement absorbées par les matériaux non-métalliques et non-polarisant (tels que les textiles, les céramiques, les plastiques et les semi-conducteurs...), ce qui rend ces matériaux transparents dans le domaine THz, alors qu'ils sont opaques dans le domaine optique.

Parmi les nombreux dispositifs clés à réaliser pour le développement du domaine THz, nous concentrons notre intérêt sur la génération d'ondes THz. Nous proposons dans cette thèse, de développer une source THz fondée sur la conversion non-linéaire de deux ondes optiques en une onde THz par générations d'effets non-linéaires dans un cristal (ou un composant spécifique). La fréquence de l'onde THz correspond à la différence de fréquence entre les deux ondes optiques.

Les solutions actuelles sont limitées par une très faible efficacité de conversion du flux optique en radiations THz, ce qui impose l'utilisation des techniques d'hétérodynage ou l'emploi de sources optiques de très fortes puissances.

Dans ce sujet, nous proposons dans un premier temps, d'exploiter l'expertise développée à XLIM sur la réalisation de lasers à fibres optiques pour développer une architecture originale permettant d'accroître significativement l'efficacité de conversion optique/THz. La qualité spectrale (largeur de bande) et l'accordabilité de la fréquence THz générée sont des propriétés qui seront prises en compte dans le design de cette source.

L'équipe de recherche possède également une grande expertise dans la conception et la fabrication de fibres optiques spécifiques dédiées aux lasers à fibres de très forte puissance. Cette expertise sera exploitée, dans un second temps, afin d'augmenter la puissance THz générée par la source. Pour cela une fibre optique spécifique répondant aux exigences de cette architecture laser et du régime de forte puissance sera conçue, fabriquée, caractérisée et finalement intégrée dans la source THz.

Enfin, pour caractériser les performances de la source THz développée, le candidat pourra également s'appuyer sur l'expertise de l'équipe dans la mise en place de bancs expérimentaux dans le domaine des fréquences THz.

Compétences à l'issue de la thèse :

- Compétences dans la conception et la réalisation de lasers à fibres optiques fonctionnent en régimes impulsionnels.
- Compétences dans la caractérisation des propriétés des lasers.

- Compétences dans la mise en place de banc de caractérisations dans

Présentation de l'équipe d'accueil :

L'équipe de recherche d'accueil (« Equipe photonique fibre ») est l'une des équipes de recherche du Département Photonique de l'institut de recherche XLIM. Cette équipe est nationalement et internationalement reconnue pour son savoir-faire et son expertise dans la modélisation, la fabrication (notamment par la méthode « stack and draw ») et la caractérisation de fibres optiques de nouvelle génération. L'équipe de recherche d'accueil est fortement impliquée dans le développement de fibres optiques à cristal photonique (fibres microstructurées air/silice notamment) et plus particulièrement dans le développement de fibres à cristal photonique toute solide dopée avec des ions de terres rares pour la conception de lasers à fibres de puissance. L'équipe de recherche d'accueil se tourne également vers i) le développement et l'utilisation de nouvelles méthodes de fabrication de verres optiques ultra-purs et ii) la conception de sources lasers dans des bandes spectrales non conventionnelles, comme par exemple le domaine des fréquences terahertz (0.1 – 10 THz). L'équipe de recherche d'accueil base notamment son expertise sur l'utilisation d'équipements spécifiques dans le domaine des fibres optiques tels que i) une tour de fibrage de 6 m de haut, adaptée au tirage de fibre hors normes et ii) une tour de fibrage de 14 m de haut dédiée au tirage de capillaires (briques de base d'un assemblage de préforme structurée air – silice) et aux tirages de fibres microstructurées (fibres à cristal photonique) principalement.

Financement : Lot1: Sujet financé sur crédits institutionnels (sujets fléchés)

Spécialité de Doctorat : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Domaine de compétences principal: Sciences pour l'Ingénieur

Domaine de compétences secondaire: Physique

Candidat :

Compétences souhaitées : Le candidat devra avoir un master de Recherche dans les domaines scientifiques relatifs au sujet de thèse. Ce sujet de thèse comportera une grande expérimentale, et aussi des parties théoriques et de modélisations. Le candidat devra avoir les dispositions nécessaires pour mener à bien ces travaux.

Conditions restrictives de candidature : Aucune

Date Limite de candidature : 4 Juin 2016 - 18h

