

Une source TeraHertz

Le terme « TéraHertz » désigne la bande de fréquences comprises entre les micro-ondes ($f > 300\text{GHz}$ ou $\lambda < 1\text{mm}$) et l'infrarouge thermique ($f < 3\text{THz}$ ou $\lambda > 100\mu\text{m}$). C'est donc, pour les uns, le domaine de l'infrarouge lointain et, pour les autres, celui des ondes sub-millimétriques. L'atmosphère terrestre présente, dans cette bande spectrale, des séries de raies d'absorption intense dues à la vapeur d'eau, ce qui en fait un très mauvais canal de propagation pour le rayonnement THz – sauf sur de courtes distances, de l'ordre de la dizaine de mètres. Cependant, comme le rayonnement micro-onde, le rayonnement THz peut pénétrer une grande variété de matériaux non-conducteurs : les vêtements, le carton, le bois, le plastique, même la maçonnerie... justifiant ainsi son intérêt prononcé pour les applications de sécurité ou de visibilité en environnement dégradé.

Riad Haidar, haidar@onera.fr

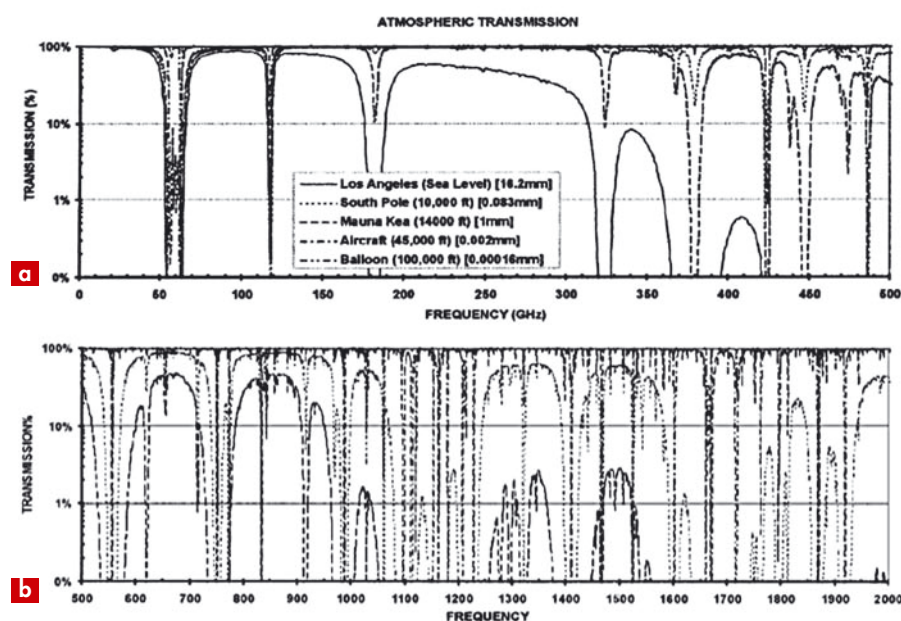


Figure 1. Transmission atmosphérique dans le domaine THz pour diverses positions géographiques, altitudes et conditions d'hygrométrie. (a) Bande 0–500 GHz. (b) Bande 500–2000 GHz. Voir [1].

L'intérêt pour les THz s'est d'abord manifesté parmi les spectroscopistes au milieu des années 1970. Dix ans plus tard, le rayonnement THz a été rendu accessible par des techniques de rectification optique et de photoconduction, utilisant des lasers à impulsions brèves ou des lasers à électrons libres (free-electron lasers, ou FEL). Ce développement s'est accéléré à partir des années 1990 : des sources et

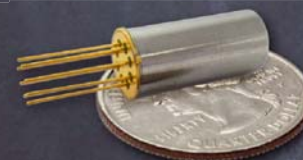
des détecteurs compacts ont été développés pour produire, détecter et manipuler le rayonnement THz. L'application probablement la plus emblématique est celle de la spectroscopie dans le domaine temporel (time-domain spectroscopy, ou TDS) avec des lasers à impulsions ultrabrèves. Cette technique, inventée en 1989 par Martin van Exter, permet de mener des études résolues en temps, et

Sacher
Lasertechnik



ARE YOU WEARING THE SAME PAIR OF SHOES FOR ANY SITUATION?

Specific types of cavity concepts for the best results:



Micron S1
Advanced Airborne Applications



Littrow S3
Cooling & Trapping



Littman S5
QD-Spectroscopy and more ...



www.idil.fr tél. 02 96 05 40 20 info@idil.fr

d'explorer les applications de spectroscopie dans le régime THz.

Bien que la production et la détection d'un rayonnement THz reste une gageure technologique, des efforts soutenus ont permis de proposer des sources THz commerciales, délivrant une puissance moyenne dans la gamme 1 mW à 1 W. Il existe environ une vingtaine de sources THz différentes, que l'on peut diviser en deux grandes catégories : les sources photoniques et les sources électroniques.

Les sources photoniques

La source la plus simple est le corps noir, puisque son émission couvre l'ensemble du spectre électromagnétique. Notons toutefois que, de par la nature de son rayonnement qui suit la loi de Planck, la puissance disponible dans la gamme des THz est faible, y compris pour des corps noirs de très haute température. Plusieurs autres sources photoniques existent.

Les sources THz à antennes photoconductrices (THz photoconductive antennas, ou THz-PCAs)

Ce sont les éléments constitutifs de la plupart des systèmes actuels de spectroscopie ou d'imagerie THz. Une THz-PCA est composée d'une grille serrée d'électrodes métalliques, déposée sur une couche de matériau photoconducteur (habituellement, du GaAs ou un film d'InGaAs).

La THz-PCA est habituellement déclenchée optiquement à l'aide d'un laser ultrabref (typiquement, un laser Ti:saphir avec des impulsions de durée 10 à 100 fs). On obtient ainsi des impulsions THz large bande, avec un contenu en fréquences s'étendant jusqu'à 5 THz, et une puissance moyenne qui peut atteindre quelques microwatts.

Le signal THz généré dans le matériau photoconducteur est ensuite rayonné par l'antenne dans l'espace libre. Il existe plusieurs structures d'antennes, telles que les antennes dipolaires, les antennes à fentes ou les antennes bow-tie. L'efficacité de conversion typique des THz-PCA est limitée par la puissance optique maximale supportable par le matériau (i.e., le seuil de dommage), et est typiquement de 10^{-5} .

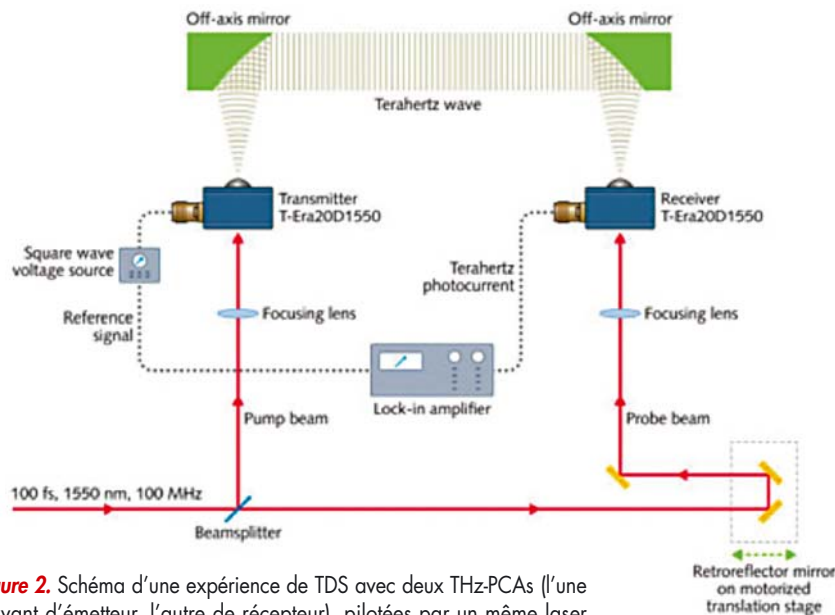


Figure 2. Schéma d'une expérience de TDS avec deux THz-PCAs (l'une servant d'émetteur, l'autre de récepteur), pilotées par un même laser femtoseconde à 1,55 μm . Voir [2].

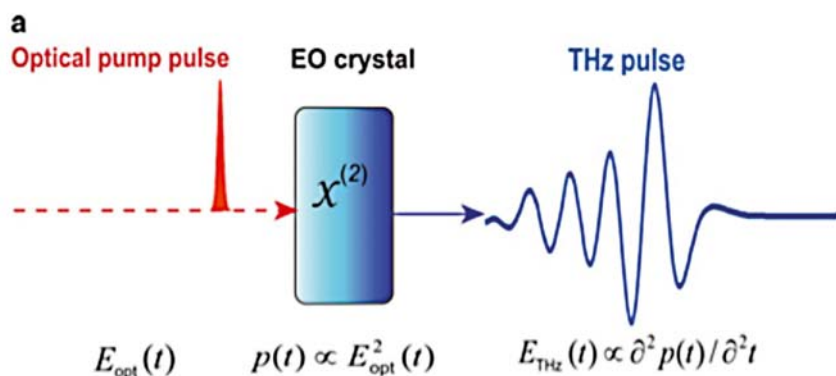


Figure 3. La rectification optique est un effet du second-ordre. Si un cristal électro-optique est éclairé par un laser ultra-bref, cet effet peut induire un train d'onde THz. Voir [3].

Les lasers à cascade quantique (quantum-cascade lasers, ou QCL)

Un QCL est un laser unipolaire dans laquelle la bande de conduction (ou la bande de valence) est divisée en plusieurs sous-bandes, obtenues dans une hétérostructure semi-conductrice formée de plusieurs puits quantiques couplés. La transition des porteurs, qui est à l'origine du rayonnement THz, se produit entre ces niveaux d'énergie discrets. Les QCL peuvent délivrer des puissances moyennes de quelques mW sur tout le domaine THz.

Les sources optiques non linéaires

Le rayonnement THz peut aussi être généré par l'interaction paramétrique de photons du proche infrarouge dans des cristaux non linéaires. On utilise des lasers

optiques dont les fréquences d'émission sont proches, choisies de sorte que leur différence soit localisée dans le domaine THz.

Un autre mécanisme non linéaire repose sur la rectification optique, un effet du second ordre par lequel une excitation optique engendre un champ de polarisation électrique statique dans le cristal. Si l'excitation optique est obtenue avec un laser ultrabref, cet effet peut induire un train d'onde THz.

Les sources électroniques

Les sources à faisceaux d'électrons (gyrotrons, lasers à électrons libres...)

Leur fonctionnement repose sur l'interaction d'un faisceau d'électrons de haute énergie avec un champ magnétique

Les fournisseurs de sources TéraHertz

Fabricants français

Société	Produits	Contact
HGH	Corps noirs	Édouard Campana – Tél. : 33 1 69 35 47 70 edouard.campana@hgh.fr

Distributeurs français

Acal BFi France	Sources électroniques	Laurence Alonzi – Tél. : 33 1 60 79 59 06 Laurence.Alonzi@acalbf.fr
Opton Laser	Sources électroniques & lasers	Vincent Aubertin – Tél. : 33 1 69 41 04 05 vincent.aubertin@optonlaser.com
Optoprim	Sources M-Squared	François Beck – Tél. : 33 1 41 90 33 77 fbeck@optoprim.com
CI-systems	Corps noirs	Isabelle Bracq – Tél. : 33 1 48 19 97 97 info@ci-systems.fr
Coherent	Sources lasers	Jean-Luc Tapie – Tél. : 33 1 80 38 10 00 Jean-luc.tapie@coherent.com
VERSYS	Varicap	Tél. : 33 1 69 59 16 51 versys@versys.fr
Lot Oriol	Sources optiques	Romain Dechenaux – Tél. : 33 1 69 19 49 49 dechenaux@lot-oriol.fr
IDIL Fibres Optiques	Lasers Sacher	Yi-Mei LIU – Tél. : 33 1 69 31 39 52 yimei.liu@idil.fr
Hamamatsu	Sources électroniques	Anne Llorens – Tél. : 33 1 69 53 71 00 allorens@hamamatsu.fr

intense à l'intérieur de cavités ou de guides d'onde résonants. Il se crée un transfert d'énergie entre le faisceau d'électrons et une onde électromagnétique qui s'étend jusqu'aux THz. Les récents lasers à électrons libres proposent des performances intéressantes (intensité élevée, impulsion brève, accordabilité aisée, forme d'impulsion variable), qui favorisent leur utilisation pour les études biologiques ou pour l'exploration de transitions moléculaires de vibration.

Les sources à semiconducteurs

Citons essentiellement les diodes Gunn, basées sur l'effet de résistance négative dans les semiconducteurs, et nommées ainsi d'après le physicien J.B. Gunn, ingénieur IBM dans les années 1960. Ces diodes peuvent générer plusieurs microwatts de puissance dans une gamme de fréquences allant de 300 GHz à quelques THz, selon le matériau utilisé (GaAs ou GaN).

Les multiplicateurs de fréquences

Le principe repose sur la génération de fréquences harmoniques dans un dispositif non linéaire. Plusieurs systèmes utilisent une diode varicap, qui présente la particularité de se comporter comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes. Ces diodes sont couramment

utilisées dans des multiplicateurs de fréquence, et permettent d'obtenir des signaux jusqu'à 2 THz.

Conclusion

L'enjeu actuel pour donner une impulsion décisive aux applications des ondes THz réside essentiellement dans la conception de sources puissantes et compactes. La puissance (donc le rendement à la pompe) est en effet la clé pour augmenter la gamme des matériaux (en termes de nature et d'épaisseur) qui peuvent être étudiés. La compacité, quant à elle, est indispensable pour en démocratiser l'usage au sein de la communauté scientifique (biologistes, médecins, archéologues...) . L'ultime barrière à franchir, une fois la puissance et la compacité acquises, sera le coût car ces sources sont encore d'un accès restreint.

Références

- [1] P.H. Siegel, THz technology, IEEE Transactions on microwave theory and techniques, **50**, 3 (2002)
- [2] D. Saeedkia, THz Sources: Terahertz emitters gain power, variety, Laser focus world, **49**, 4 (2013)
- [3] X. Yin et al., Terahertz Imaging for Biomedical Applications: Pattern Recognition and Tomographic Reconstruction, Springer (2012)

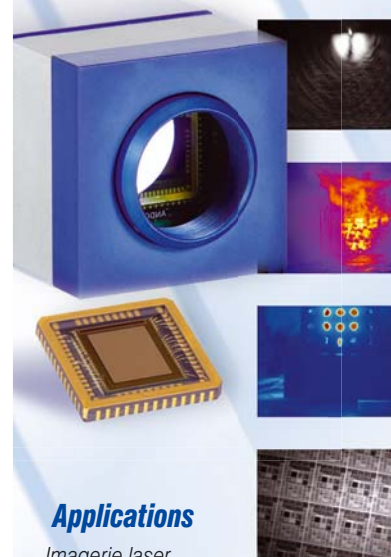
WiDy SWIR 640

Votre solution
InGaAs HDR pour
le proche Infrarouge
(900 nm - 1700 nm)



Spécifications

- Dynamique scène >140 dB
- Sans refroidissement
- Résolution VGA et pixel de 15 µm
- USB 2.0 ou sortie Analogique TV



Applications

Imagerie laser
(Télécommunication, Industriel)

Imagerie Industrielle proche Infrarouge
(soudage, thermographie)

Surveillance côtière

Caméras aéroportées



www.new-imaging-technologies.com