

M2 internship proposal:

Emission of electrons and ions from nanotips illuminated by THz pulses.

The activities of the GPM laboratory are focused on the study of the link between the properties of materials and their characteristics on the nanometric scale. One of the GPM's techniques for analyzing materials is the Atomic Probe Tomography (APT), which can be used to analyze nanotip samples using field ion evaporation. This technique allows the reconstruction of the chemical distribution of atoms inside a nano-object in 3D, with a spatial resolution close to the atomic scale. One of the laboratory's departments is Scientific Instrumentation (IS), where the ultra-fast laser-assisted APT was developed between 2000 and 2007. The IS department is one of the world's leading teams in the development of laser-assisted 3D atomic probes, in particular concerning field evaporation processes and laser-matter interaction on the nanometric scale [1-2].

The IS team has just set up a new version of the APT instrument: atom probe tomography assisted by very short terahertz pulses.

This bench has made it possible to demonstrate the emission of ions and electrons by field effects assisted by single-cycle THz pulses, and has opened up the GPM's activity to radiation-matter interaction in the THz domain [3-4].

High-energy single-cycle THz pulses are generated from an ultrafast mid-infrared laser by optical rectification in a non-linear crystal or by generating a plasma in air.

The shape of the THz pulse generated can be controlled, as shown in the figure. Using negative pulses (in red in the figure) we observe, in sequence, electron emission, electron and ion emission and ion-only emission, by increasing the positive potential applied to the sample.

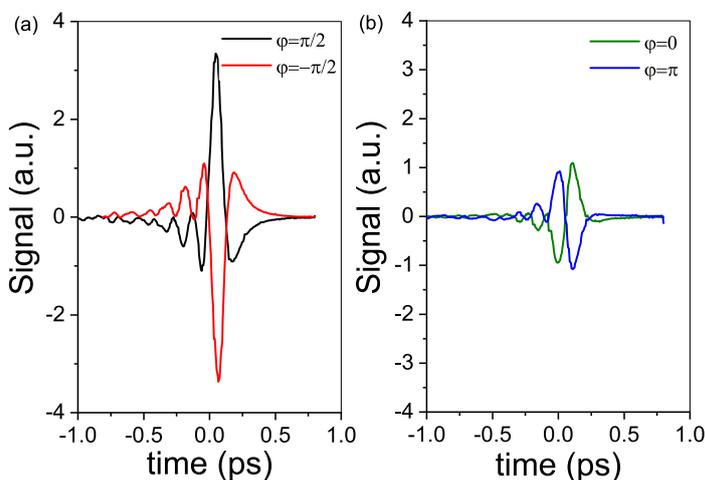


Figure: Time evolution of the THz pulse generated by varying its phase. The pulse can therefore be positive, negative or bipolar.

The aim of this M2 intership is to study the transition from electronic to ionic emission, to understand whether ionic emission is triggered by electrons and how this depends on the energy acquired by electron due to the interaction with the THz pulse.

During this M2 internship, in order to gain a better understanding of the emission mechanisms, the student will analyse conductive and non-conductive samples in a THz APT by varying the static field and the amplitude of the THz pulse under the supervision of a PhD student who has been working on the subject for two years. In addition, the student will carry out numerical simulations of the trajectories of electrons and ions under the action of the static field and THz using Simion software, under the supervision of a young researcher who has been using the software and working on the project for three years.

This research work could be pursued as part of a future PhD work.

Starting time: March 2025 ; duration 5-6 months.

Contact : Pr Angela Vella

Groupe de Physique des Matériaux, Université de Rouen Normandie

E-mail: angela.vella@univ-rouen.fr

Institute: <http://www.univ-roue.fr/gpm>

REFERENCES

- [1] B. Gault et al., Rev. Sci. Instrum. 77, 043705 (2006)
- [2] E. Silaeva et al. Nano Letters 2014, 14 (11), pp 6066-6072
- [3] A. Vella et al. *Science Advances*, 2021, 7.7: eabd7259
- [4] M. Karam et al., *APL Materials* 12.7 (2024)



Proposition de stage de M2:

Émission d'électrons et d'ions à partir de nanopointes éclairées par impulsions THz.

Les activités du laboratoire GPM sont centrées sur l'étude du lien entre les propriétés des matériaux et leurs caractéristiques à l'échelle nanométrique. Une des techniques phare du GPM pour l'analyse des matériaux est la Sonde Atomique Tomographique (SAT) qui permet d'analyser des pointes nanométriques grâce à l'évaporation ionique par effet de champ. Cette technique permet de reconstruire la distribution chimique d'un nano-objet en 3D, avec une résolution spatiale proche de l'échelle atomique. L'un de départements du laboratoire est celui d'Instrumentation Scientifique (IS) où la sonde atomique tomographique assistée par laser ultra rapide a été développée dans les années 2000-2007. Le département IS est l'une des équipes leaders mondiales dans le développement de sondes atomiques 3D assistées par laser, en particulier concernant les processus d'évaporation de champ et l'interaction laser matière à l'échelle nanométrique [1-2].

L'équipe IS vient de mettre en place une nouvelle version de l'instrument d'imagerie à l'échelle atomique : une sonde atomique tomographique assistée par des impulsions terahertz très brèves.

Ce banc a permis de mettre en évidence l'émission d'ions et d'électrons par effet de champ assisté par des impulsions THz monocycle et il a ouvert l'activité du GPM à l'interaction rayonnement-matière dans le domaine THz [3-4].

Les impulsions THz monocycle de haute énergie sont générées à partir d'un laser ultra-rapide émettant dans le moyen infrarouge par redressement optique dans un cristal non-linéaire ou par génération d'un plasma dans l'air.

La forme de l'impulsion THz générée peut être contrôlée, comme montré en figure. En utilisant des impulsions négatives (en rouge sur la figure) nous observons en séquence, l'émission d'électrons l'émission d'électrons et d'ions et l'émission d'ions seulement, en augmentant le potentiel positif appliqué à l'échantillon.

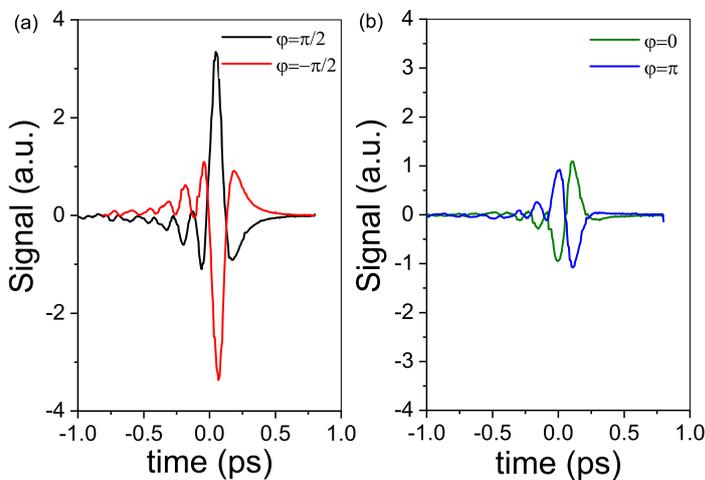


Figure : évolution temporelle de l'impulsion THz générée en faisant varier sa phase. L'impulsion peut donc être positive, négative ou bipolaire.

Le but de ce stage de M2 est d'étudier le passage de l'émission électronique à l'émission ionique, de comprendre si l'émission ionique est déclenchée par les électrons et comment celle-ci dépend de l'énergie que les électrons vont acquérir dans le champ variable THz.

Au cours de ce stage de M2, afin de mieux comprendre les mécanismes d'émission, l'étudiant/e analysera en sonde THz d'échantillons conducteurs et non conducteurs en variant le champ statique

et l'amplitude de l'impulsion THz sous la supervision d'un doctorant qui travaille sur le sujet depuis deux ans. De plus l'étudiant/e effectuera des simulations numériques des trajectoires des électrons et des ions sous l'action du champ statique et THz en utilisant le logiciel Simion, sous la supervision d'une jeune chercheuse qui utilise le logiciel et travaille sur le projet depuis trois ans.

Ce travail de recherche pourrait donner lieu à une poursuite dans le cadre d'une thèse

Date de début : Mars 2025 ; durée 5-6 mois.

Contact : Pr Angela Vella

Groupe de Physique des Matériaux, Université de Rouen Normandie

E-mail: angela.vella@univ-rouen.fr

Institute: <http://www.univ-roue.fr/gpm>

REFERENCES

- [1] B. Gault et al., Rev. Sci. Instrum. 77, 043705 (2006)
- [2] E. Silaeva et al. Nano Letters 2014, 14 (11), pp 6066-6072
- [3] A. Vella et al. Science Advances, 2021, 7.7: eabd7259
- [4] M. Karam et al., APL Materials 12.7 (2024)

