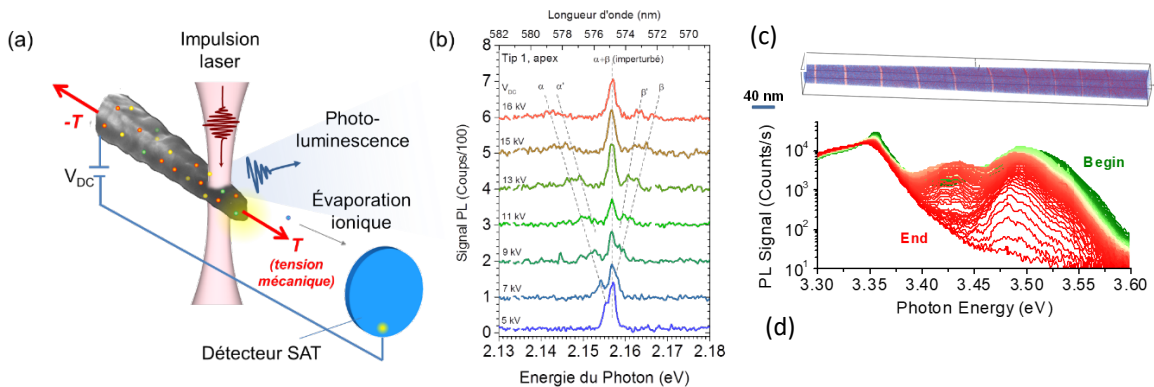


Proposition de Thèse de Doctorat :

Étude à l'échelle atomique des propriétés structurales et optiques de nano-objets.

La Sonde Atomique Tomographique (SAT), technique phare du Groupe de Physique des Matériaux (GPM), 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. Dans les SAT assistées par laser, couramment utilisées dans les études de métaux, isolants et semiconducteurs, l'évaporation est déclenchée par une impulsion laser ultrarapide. Une astuce adoptée par l'équipe du GPM était de trouver la façon d'analyser la photoluminescence (PL) produite – simultanément à l'émission ionique – par l'impulsion laser. Il est devenu donc possible d'analyser la structure et les propriétés optiques d'un objet nanométrique simultanément.

Un des premiers résultats marquants de cette technique a été la mesure de la contrainte induite par l'application d'un champ électrique de surface sur l'apex d'une pointe d'émission de champ de diamant [1] [2]. Du fait de l'évaporation graduelle de l'émetteur, il est désormais devenu possible d'attribuer une signature optique spécifique à des émetteurs de lumière contenus dans une pointe nanométrique. De même, grâce à la μ PL résolue en temps, il devrait devenir possible d'étudier la cinétique temporelle de ces émissions lumineuses, et de la mettre en relation avec la structure du nano-objet à l'étude. De plus, l'émission d'un émetteur de lumière contenu dans une pointe dépende aussi de la contrainte appliquée à la pointe et de sa position au sein de la pointe elle-même.



(a) Principe de la mesure de la photoluminescence in-situ dans une SAT. L'impulsion laser excite simultanément l'évaporation ionique et l'émission lumineuse des émetteurs contenus dans une pointe (dans cette illustration, des centres colorés dans une nano-aiguille de diamant). (b) La variation de la tension V_{DC} appliquée à la pointe provoque une tension mécanique T et la séparation des composantes spectrales (α, β) de la raie principale du centre coloré NV^0 . Le décalage spectral s'échelonne avec le carré de la tension appliquée, et rend possible la mesure de la contrainte qui perturbe l'émission du défaut. (c), la reconstruction 3D des positions des atomes de Mg (bleu) et de Zn (rouge) dans un système de puits quantiques ZnO/MgZnO obtenue par SAT. (d) Spectres de PL émis par ce système et enregistrés durant l'évaporation de la pointe qui le contenait.

Dans ce cadre, **une thèse de doctorat est proposée**. Le programme de la thèse peut s'articuler sur un ou plusieurs des volets suivants :

- Extension de la technique de la SAT-PL in situ a des nouveaux systèmes d'émetteurs de lumières : puits ou botes quantiques, centres colorés (défauts) dans des matériaux diélectriques.
- Étude des mécanismes d'interaction lumière-matière à la nano-échelle sous champ intense
- Amélioration de l'interface logicielle d'acquisition des données de SAT-PL.

La proposition de thèse s'adresse aux étudiants/étudiantes avec un bon niveau en physique du solide et des semiconducteurs, avec un intérêt particulier pour les études d'optique et de microscopie, et avec une forte orientation vers la recherche fondamentale.

Début prévu : Octobre 2020

Durée : 3 ans

Contact : lorenzo.rigutti@univ-rouen.fr, angela.vella@univ-rouen.fr

REFERENCES

- [1] E. P. Silaeva *et al.*, "Do Dielectric Nanostructures Turn Metallic in High-Electric dc Fields?," *Nano Lett.*, vol. 14, no. 11, pp. 6066–6072, Nov. 2014.
- [2] L. Rigutti *et al.*, "Optical Contactless Measurement of Electric Field-Induced Tensile Stress in Diamond Nanoscale Needles," *Nano Lett.*, vol. 17, no. 12, pp. 7401–7409, Dec. 2017.

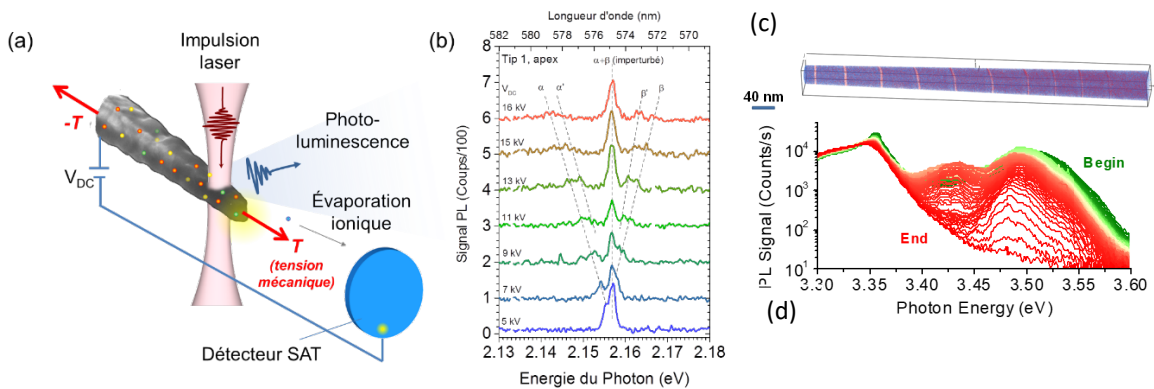


Proposition of PhD Thesis :

Atomic-scale study of structural and optical properties of nanoscale systems.

Atom Probe Tomography (APT), a microscopy and nano-analysis technique developed within the Groupe de Physique des Matériaux (GPM) laboratory, allows the analysis of nanometric tip specimens by field emission of ions. This technique makes it possible to reconstruct the chemical distribution of a nano-object in 3D, with a spatial resolution close to the atomic scale. In laser-assisted APT - commonly applied to the study of metals, insulators and semiconductors – ion evaporation is triggered by an ultra-fast laser pulse. The original approach adopted by our team was to collect and analyze the photoluminescence (PL) produced - simultaneously with ion emission - by the laser pulse. It then became possible to analyze the structure and optical properties of a nanometric object simultaneously.

One of the first significant results of this technique was the measurement of the stress induced by the application of a surface electric field on the apex of a diamond field emission point [1] [2]. Due to the gradual evaporation of the emitter, it has now become possible to assign a specific optical signature to different light emitters contained in a nanometric tip. Likewise, thanks to the μ PL resolved in time, it should become possible to study the temporal kinetics of these light emissions, and to relate it to the structure of the nano-object under study. In addition, the emission of a light emitter contained in a tip also depends on the stress applied to the tip and its position within the tip itself.



(a) Principle of the measurement of photoluminescence in situ in an APT instrument. The laser pulse simultaneously excites ionic evaporation and light emission from the emitters contained in a tip (in this illustration, color centers in a diamond nano-needle). (b) The variation of the voltage V_{DC} applied to the tip causes a mechanical tension T and the splitting of the spectral components (α , β) of the main line of the color center NV_0 . The spectral shift is scaled with the square of the applied voltage, and makes it possible to measure the stress which disturbs the emission of the fault. (c) The 3D reconstruction of the positions of the atoms of Mg (blue) and Zn (red) in a system of quantum wells ZnO / MgZnO obtained by SAT. (d) PL spectra emitted by this system and recorded during the evaporation of the tip which contained it.

In this framework, we propose a PhD thesis within the GPM instrumentation team. The thesis program can be based on one or more of the following items:

- Extension of the in situ APT-PL technique to new light emitting systems: quantum wells or dots, colored centers (defects) in dielectric materials.

- Study of light-matter interaction mechanisms at the nanoscale under intense field
- Optimizaton of the APT-PL instrumental setup and data acquisition software interface.

The thesis proposal is aimed at students with a good level in solid state and semiconductor physics, with a particular interest in optics and microscopy studies, and with a strong orientation towards fundamental research.

PhD beginning : October 2020

Duration : 3 years

Contact : lorenzo.rigutti@univ-rouen.fr, angela.vella@univ-rouen.fr

REFERENCES

- [1] E. P. Silaeva *et al.*, "Do Dielectric Nanostructures Turn Metallic in High-Electric dc Fields?," *Nano Lett.*, vol. 14, no. 11, pp. 6066–6072, Nov. 2014.
- [2] L. Rigutti *et al.*, "Optical Contactless Measurement of Electric Field-Induced Tensile Stress in Diamond Nanoscale Needles," *Nano Lett.*, vol. 17, no. 12, pp. 7401–7409, Dec. 2017.

