



## Films minces d'oxynitrides multiferroïques multifonctionnels pour l'opto-spintronique

**Spécialité** Physique des matériaux

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [SPEC/LNO](#)

**Candidature avant le** 30/04/2021

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [BARBIER Antoine](#)  
+33 1 69 08 39 23  
[antoine.barbier@cea.fr](mailto:antoine.barbier@cea.fr)

### Résumé

L'objectif de ce stage est d'élaborer des couches minces épitaxiées multiferroïques d'oxynitrides ferrite/pérovskite ( $\text{CoFe}_2(\text{OxN}_{1-x})_4/\text{BaTi}(\text{OxN}_{1-x})_3$ ) par épitaxie par jets moléculaires assistée de plasmas azote et oxygène atomiques : un matériau ferroélectrique, ferrimagnétique et potentiellement sensible au spectre solaire. On procédera par dopage de films minces dont les conditions de croissance sont déjà maîtrisées au laboratoire CEA/SPEC. On étudiera le potentiel d'application de ces films pour l'opto-spintronique au laboratoire, au C2N et au synchrotron-SOLEIL.

### Sujet détaillé

La transition énergétique requiert le développement de nouveaux matériaux dédiés, en particulier, à la production d'énergie propre et/ou permettant des économies d'énergie et de matériaux dans les systèmes électroniques. Dans ce cadre, les oxynitrides constituent une classe de matériaux pertinents. Parmi ceux-ci, les composés ferroélectriques sont particulièrement bien adaptés pour réaliser des capteurs opto-spintroniques. L'insertion d'azote, moins électronégatif que l'oxygène, dans le réseau d'un oxyde engendre une augmentation du caractère covalent des liaisons chimiques. Cela se traduit par une diminution de la valeur du gap optique  $E_g$  et donc par une modification des propriétés d'absorption du composé. On s'attend également à de nouvelles propriétés de transport induite par le dopage par l'azote. La réalisation de films minces monocristallins d'oxynitrides est cependant délicate et a été peu étudiée à ce jour.

Nous allons explorer la possibilité de moduler les propriétés de couches minces multiferroïques laminaires de ferrites de cobalt ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , ferrimagnétique) déposées sur du titanate de Baryum ( $\text{BaTiO}_3$ , ferroélectrique) dont nous maîtrisons déjà la croissance par l'adjonction d'un plasma azote durant la croissance. On étudiera l'influence du dopage azote sur les propriétés magnétiques au CEA/SPEC et ferroélectriques au C2N en fonction de l'épaisseur des couches et des paramètres de croissance. Les mesures ferroélectriques seront réalisées au C2N après lithographie. Idéalement, on s'attachera à quantifier le ratio entre la perte de ferroélectricité / ferrimagnétisme et le gain en sensibilité à la lumière. On pourra également envisager des mesures en utilisant les rayons X pour caractériser les matériaux élaborés sur les lignes DiffAbs, HERMES, DEIMOS et/ou CASSIOPEE au synchrotron SOLEIL.

---

L'étudiant(e) sera sous la responsabilité de S. Matzen pour son travail au C2N et sous la responsabilité de R. Belkhou (ligne HERMES) pour son activité au synchrotron SOLEIL.

Contacts : BARBIER Antoine, +33 1 69 08 39 23, antoine.barbier@cea.fr ; Autres chercheurs impliqués : H. Magnan, S. Matzen (C2N), J.-B. Moussy et C. Mocuta (Synchrotron-SOLEIL). Lignes de lumière Synchrotron-SOLEIL associées au projet : HERMES (R. Belkhou), DEIMOS (P. Ohresser), CASSIOPEE (P. LeFevre)

### **Mots clés**

Oxynitrures, épitaxie par jets moléculaires, ferroélectricité, ferrimagnétisme, synchrotron, lithographie

### **Compétences**

Le (la) candidat(e) abordera les techniques d'ultra-vide associées à la croissance par épitaxie par jets moléculaires assistée par plasma d'oxygène et azote. On utilisera la diffraction des électrons rapides (RHEED), la spectroscopie d'électrons Auger (AES), la photoémission des niveaux de cœur (XPS), la microscopie en champ proche (PFM), la microscopie électronique de basse énergie (LEEM), les mesures magnétiques (VSM), la lithographie et les mesures ferroélectriques (au C2N) et la diffraction des rayons X.

### **Logiciels**

---

## Multifunctional multiferroic oxynitride thin films for opto-electronics

### Summary

The objective of the internship is to grow epitaxial thin multiferroic ferrite/perovskite ( $\text{CoFe}_2(\text{O}_x\text{N}_{1-x})_4/\text{BaTi}(\text{O}_x\text{N}_{1-x})_3$ ) oxynitride films by oxygen and nitrogen plasma assisted molecular beam epitaxy: a potentially visible light sensitive ferroelectric and ferrimagnetic material. We will proceed by nitrogen doping of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$  for which the growth conditions are already mastered in the CEA/SPEC laboratory. Potential application to opto-spintronics will be studied in the laboratory, at C2N and at synchrotron-SOLEIL.

### Full description

Novel materials are required within the energy transition framework, in particular to produce clean energy and/or reduce electronic device consumption and overall materials usage. Within this context oxynitrides are a relevant class of materials. The ferroelectric ones are very well suited to realize opto-spintronic sensors. The insertion of nitrogen, less electronegative than oxygen, into the lattice of an oxide causes an increase in the covalent nature of the chemical bonds. This leads to a decrease of the optical gap,  $E_g$ , value and thus in a modification of the absorption properties of the compound as well as doping by charge carriers making it possible to envisage new transport properties. The production of single crystalline thin oxynitride films is however challenging and has been little studied to date.

We will explore the possibility of modulating the properties of thin laminar oxide multiferroic films of cobalt ferrite ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , ferromagnetic) deposited on barium titanate ( $\text{BaTiO}_3$ , ferroelectric). Its growth conditions are already well mastered and we will proceed by the addition of nitrogen plasma during growth. We will study the influence of the N doping on the magnetic properties at CEA/SPEC and on the ferroelectric ones at C2N after lithography. Ideally, the ratio between the loss of ferroelectricity / ferrimagnetism and the gain of photosensitivity will be quantified. X-ray measurements may be used to characterize the material developed on the DiffAbs, HERMES, DEIMOS and/or CASSIOPEE beamlines at the SOLEIL synchrotron.

The student will be supervised by S. Matzen during his/her work at C2N and by R. Belkhou (HERMES beamline) during his/her work at synchrotron SOLEIL.

Contacts : BARBIER Antoine, +33 1 69 08 39 23, antoine.barbier@cea.fr ; Other researchers : H. Magnan, S. Matzen (C2N), J.-B. Moussy and C. Mocuta (Synchrotron-SOLEIL). Synchrotron-SOLEIL beamlines associated with the project : HERMES (R. Belkhou), DEIMOS (P. Ohresser), CASSIOPEE (P. LeFevre)

### Keywords

Oxynitrides, molecular beam epitaxy, ferroélectricité, ferrimagnétisme, synchrotron, lithography

### Skills

The candidate will address the UHV techniques associated with the growth by molecular beam epitaxy. The techniques that will be used are Reflexion High Energy Electron Diffraction (RHEED), Auger Electron Spectroscopy (AES), Photoemission core level spectroscopy (XPS), Piezo Force Microscopy (PFM), Low Energy Electron microscopy (LEEM), magnetic measurements (VSM), lithography and ferroelectric measurements at (C2N) and X-ray diffraction.

### Softwares