

### **3-years postdoc position in 2D spintronics team of Spintec**

Today, two-dimensional (2D) materials are clearly envisioned as future building blocks of nanoelectronic devices. They are included in more-Moore and more-than-Moore roadmaps. Beyond graphene, the most promising candidates are transition metal dichalcogenides (TMD) for their semiconducting character, high sensitivity to external stimuli (molecules, light, stress or electric field), their flexibility and exceptional optical properties in the monolayer form. Today, the two main challenges for their integration remain the growth of high quality TMDs on large areas and their transfer onto circuits or chips.

In this context, the 2D spintronics team of Spintec ([www.spintec.fr](http://www.spintec.fr)) has been developing for 10 years the epitaxial growth of high quality TMDs (selenides and tellurides) over  $\text{cm}^2$ . Some examples are:  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ ,  $\text{PtSe}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Fe}_x\text{GeTe}_2$ ,  $\text{Cr}_{1+\delta}\text{Te}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . For this, we use molecular beam epitaxy (MBE) in the van der Waals regime to obtain quasi-single crystalline layers with monolayer thickness control. We also developed a large area transfer process of TMDs on  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  substrates and chips without degrading the layer quality. Based on these abilities, the 2D spintronics aims at studying proximity effects in van der Waals heterostructures, 2D magnetism (intrinsic or by magnetic doping), spin-charge interconversion phenomena and also aims at developing high carrier mobility 2D materials for radiofrequency (RF)/Terahertz (THz) applications.

The 2D spintronics team developed a platform to grow 2D materials on large areas (up to 2 inches) and van der Waals heterostructures composed of three MBE reactors all connected by a UHV linear transfer system: one dedicated to the growth of selenides, one for tellurides and the last one (to be developed in 2024) for hBN. The team is currently involved in ANR (French Research Agency) and European projects as well as in the "Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR)" and the "EQUIPements d'EXcellence (Equipex)". This unique platform thus aims at providing high quality 2D materials and vdW heterostructures to French and European laboratories through scientific collaborations. To reinforce the team in terms of growth capacities, we open a three-years CDD (fixed-term job) position to work on the platform and grow 2D materials and vdW heterostructures.

The candidate will develop a research activity around spin-charge interconversion phenomena in TMDs to study THz spintronic emission and spin-orbit torques in the frame of the PEPR Microelectronics. In this project, the candidate will explore new 2D materials and vdW heterostructures with high spin-orbit coupling interfaced with ferromagnets (either transition metals or 2D ferromagnets). THz measurements will be carried out in collaboration with LPENS in Paris (Sukhdeep Dhillon) and Laboratoire Albert Fert in Palaiseau (Jean-Marie George, Henri Jaffrès) where short stays will be planned. For the study of spin-orbit torques, the candidate will develop a new detecting technique based on magneto-optics where spin-orbit torques are measured by Kerr effect. For this last development, a collaboration with IPCMS in Strasbourg (Paul Noël) is starting. In parallel, the candidate will have in charge the MBE growth of a large variety of 2D materials in the frame of the European project EIC Pathfinder PLASNANO for the development of high carrier mobility TMDs and the ANR Project COME ON to study the first growth stages of TMDs on graphene. Before sharing the samples with the partners, the candidate will characterize the MBE grown films by AFM, Raman spectroscopy and x-ray diffraction measurements.

**Scientific skills:** Required: material growth mechanism and its characterization, 2D materials physics, Condensed Matter Physics, electronic transport. Recommended: Magnetism, spintronics.

**Technical skills:** Required: material growth by MBE, data analysis with e.g. Python, micro/nano patterning using clean room, magneto-optics/transport, Recommended: X-ray diffraction, Raman spectroscopy, AFM, Labview.

Contact: Matthieu JAMET, [matthieu.jamet@cea.fr](mailto:matthieu.jamet@cea.fr). Tel +33(0)438782262 / +33(0)620081119

### **Offre de postdoc de 3 ans dans l'équipe 2D spintronique de Spintec**

Aujourd'hui, les matériaux bidimensionnels (2D) sont clairement considérés comme les futurs éléments constitutifs des dispositifs nanoélectroniques. Ils figurent dans les feuilles de route more-Moore et more-than-Moore. Outre le graphène, les candidats les plus prometteurs sont les dichalcogénures de métaux de transition (TMD) pour leur caractère semi-conducteur, leur grande sensibilité aux stimuli externes (molécules, lumière, stress ou champ électrique), leur flexibilité et leurs propriétés optiques exceptionnelles sous forme de monocouche. Aujourd'hui, les deux principaux défis pour leur intégration restent la croissance de TMD de haute qualité sur de grandes surfaces et leur transfert sur des circuits ou des puces.

Dans ce contexte, l'équipe spintronique 2D de Spintec ([www.spintec.fr](http://www.spintec.fr)) développe depuis 10 ans la croissance épitaxiale de TMD (séléniures et tellurures) de haute qualité sur des  $\text{cm}^2$ . En voici quelques exemples :  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ ,  $\text{PtSe}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Fe}_x\text{GeTe}_2$ ,  $\text{Cr}_{1+x}\text{Te}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Pour ce faire, nous utilisons l'épitaxie par jets moléculaires (EJM) dans le régime de van der Waals pour obtenir des couches quasi monocristallines avec un contrôle de l'épaisseur jusqu'à la monocouche. Nous avons également mis au point un processus de transfert de grandes surfaces de TMD sur des substrats de  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  et des puces sans dégrader la qualité de la couche. Sur la base de ces capacités, l'équipe spintronique 2D vise à étudier les effets de proximité dans les hétérostructures de van der Waals, le magnétisme 2D (intrinsèque ou par dopage magnétique), les phénomènes d'inter-conversion spin-charge et vise également à développer des matériaux 2D à haute mobilité de porteurs pour les applications radiofréquence (RF)/Térahertz (THz).

L'équipe spintronique 2D a développé une plateforme de croissance de matériaux 2D sur de grandes surfaces (jusqu'à 2 pouces) et d'hétérostructures de van der Waals composée de trois réacteurs EJM tous reliés par un système de transfert linéaire sous ultraviolet : un dédié à la croissance des séléniures, un pour les tellurures et le dernier (qui sera développé en 2024) pour le hBN. L'équipe est actuellement impliquée dans des projets ANR et européens ainsi que dans les Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) et les Equipements d'EXcellence (Equipex). Cette plateforme unique vise ainsi à fournir des matériaux 2D et des hétérostructures vdW de haute qualité aux laboratoires français et européens par le biais de collaborations scientifiques. Afin de renforcer l'équipe en termes de capacités de croissance, nous ouvrons un poste de postdoc de trois ans pour travailler sur la plateforme et fabriquer des matériaux 2D et des hétérostructures vdW.

Le candidat développera une activité de recherche autour des phénomènes d'inter-conversion spin-charge dans les TMDs pour étudier l'émission spintronique THz et les couples de spin-orbite dans le cadre du PEPR Micro-électronique. Dans ce projet, le candidat explorera de nouveaux matériaux 2D et des hétérostructures vdW avec un fort couplage spin-orbite interfacé avec des matériaux ferromagnétiques (soit des métaux de transition, soit des ferromagnétiques 2D). Les mesures THz seront effectuées en collaboration avec le Laboratoire de Physique de l'ENS à Paris (Sukhdeep Dhillon) et le Laboratoire Albert Fert à Palaiseau (Jean-Marie George, Henri Jaffrès) où des séjours de courte durée seront prévus. Pour l'étude des couples de spin-orbite, le candidat développera une nouvelle technique de détection basée sur la magnéto-optique où les couples de spin-orbite sont mesurés par effet Kerr. Pour ce dernier développement, une collaboration avec l'IPCMS à Strasbourg (Paul Noël) est en cours. En parallèle, le candidat aura en charge la croissance par MBE d'une grande variété de

matériaux 2D dans le cadre du projet européen EIC Pathfinder PLASNANO pour le développement de TMDs à haute mobilité de porteurs et du projet ANR COME ON pour étudier les premières étapes de croissance de TMDs sur graphène. Avant de partager les échantillons avec les partenaires, le candidat caractérisera les films produits par EJM par AFM, spectroscopie Raman et mesures de diffraction des rayons X.

Compétences scientifiques : Requises : mécanisme de croissance des matériaux et leur caractérisation, physique des matériaux 2D, physique de la matière condensée, transport électronique. Recommandées : Magnétisme, spintronique.

Compétences techniques : Requises : croissance de matériaux par EJM, analyse de données avec par ex. Python, micro/nanofabrication en salle blanche, magnéto-optique/transport, Recommandées : Diffraction des rayons X, spectroscopie Raman, AFM, Labview.

Contact: Matthieu JAMET, [matthieu.jamet@cea.fr](mailto:matthieu.jamet@cea.fr). Tel +33(0)438782262 / +33(0)620081119