

PhD Thesis Prizes C'Nano 2021 - Abstracts



Interdisciplinary research

Ye WANG

Molecular science and two-dimensional materials: hybrid systems for opto-electronics

The progress of semiconductor industry has largely revolutionized the human life in an unprecedented level. Despite the breakthroughs, the silicon-based semiconductors are facing many several obstacles. New semiconducting materials emerges as promising alternatives. A best candidate is two-dimensional (2D) materials, which attracted tremendous attention since the isolation of graphene in 2004 by K. Novoselev and A. Geim (Laureates of Nobel Prize of Physics, 2010). The atomic-thick materials range from metallic, semiconducting to insulating in electronic properties, opening up great opportunities in semiconductor industry. The large surface-to-volume ratio and ultraflat surfaces enables the 2D materials to interact actively with the local environment, including neighbouring organic molecules, able to markedly influence the properties of the latter component. However, systematic studies towards the influences of molecules on 2D materials and harnessing their functionalities in optoelectronic applications were hardly carried out in literature. In this regard, the thesis of the applicant covers the study of interactions between organic molecules and 2D semiconducting materials from both fundamental physico-chemical point of view and application aspects in electronic devices including field-effect transistors, phototransistors, PN junctions and logic gates. The scientific results demonstrated in the thesis revealed highly-efficient doping, record-high responsivity 2D photodetectors with molecular functionalization, as well as the very first demonstration of molecule-enabled logic-in-memory circuits based on 2D materials. Overall, the thesis demonstrated high potential of molecular-functionalized 2D materials in optoelectronic applications with record performances.

Pierre GAFFURI

Nouveaux Matériaux pour des LED Blanches Eco-Efficentes : Hétérostructures à Base de Nanofils de ZnO et Luminophores d'Aluminoborates sans Terres Rares

L'implémentation généralisée de diodes électroluminescentes (LED) blanches réduit la consommation énergétique mondiale, mais repose sur l'emploi de matériaux dits critiques (InGaN, YAG:Ce) dont la synthèse nécessite des méthodes de dépôt à haute température. C'est dans ce contexte qu'ont été étudiés deux matériaux non critiques élaborés par des méthodes de chimie douce à basse température : les réseaux de nanofils de ZnO pour la LED UV, et les poudres d'aluminoborate pour la conversion UV-visible. D'une part, les mécanismes de dopage extrinsèque et la modification associée de la croissance des nanofils de ZnO par dépôt en bain chimique ont été mis en évidence, montrant le rôle dominant du pH. Les dopants incorporés au sein des nanofils de ZnO permettent d'ajuster finement leurs propriétés optiques et électriques. Leur intégration dans des LED UV a été réalisée suivant leur croissance épitaxiale sur des couches minces de GaN de type p déposé sur saphir pour former des hétérojonctions avec de bonnes propriétés d'électroluminescence. D'autre part, les poudres de luminophores à base d'aluminoborate ont été synthétisées par la méthode Pechini en éliminant le cérium et en substituant l'yttrium par du zinc. L'optimisation des compositions chimiques et traitements thermiques offre une émission spectrale large basée sur le piégeage d'espèces carbonées, dont le rendement quantique interne de luminescence dépasse 60%. Par ailleurs, la criticité par essence multifactorielle des matériaux dits critiques a été étudiée avec soin et l'intérêt des consommateurs pour des LED blanches sans matériaux critiques et à faible énergie grise a été révélé, offrant des perspectives optimistes pour le développement de ces dispositifs.

PhD Thesis Prizes

C'Nano 2021 - Abstracts



Interdisciplinary research

Islam ZMERLI

Conception et caractérisation de nanoparticules bio-inspirées à effet bimodal pour le traitement du cancer de l'oesophage

La photothérapie dynamique (PDT) et la photothérapie thermique (PTT) sont deux modalités thérapeutiques particulièrement intéressantes pour le traitement des cancers accessibles par une source de lumière, grâce à leur haute spécificité et faible invasivité. Elles reposent sur l'administration d'une molécule ou matériau photoabsorbant(e) dont l'interaction avec la lumière entraîne des réactions photochimiques ou une génération de chaleur, aboutissant à la destruction des cellules tumorales. L'association PTT/PDT se traduit par des effets synergiques menant à une meilleure efficacité thérapeutique. Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est de concevoir un nanosystème photoactivable associant PTT et PDT pour un traitement efficace et spécifique du cancer de l'oesophage, dont le traitement optimal reste non résolu. Ce nanosystème est composé de nanoparticules (NPs) biocompatibles et biodégradables de polydopamine (PDA, composante photothermique), décorées avec des chaînes de PEG portant à leurs extrémités un photosensibilisateur (PS, composante photodynamique) via un espaceur clivable par les espèces réactives d'oxygène générées suite à l'illumination du PS, permettant ainsi sa libération contrôlée dans le temps et dans l'espace. Dans ce travail, les NPs de PDA ont été préparées avec des propriétés physico-chimiques et nanomécaniques bien définies et la densité de PEG greffé à leur surface a été optimisée. L'efficacité de conversion photothermique des NPs de PDA a été étudiée et la libération du PS lors de son illumination a bien été mise en évidence. Enfin, la phototoxicité du nanosystème complet a été démontrée in vitro sur des cellules cancéreuses d'oesophage, avec un effet synergique, résultant de l'association PTT/PDT, supérieur aux traitements appliqués séparément.

Fundamental research

Nikita KAVOKINE

Effets à N corps dans le transport de fluides aux nanoéchelles

Le transport de fluides confinés à l'échelle nanométrique est l'ingrédient fondamental de nombreux processus complexes, allant de la désalinisation d'eau de mer à la neurotransmission. Alors que les systèmes expérimentaux pour l'étude de ces phénomènes de transport atteignent aujourd'hui des tailles moléculaires, les modèles utilisés pour les décrire sont formulés au mieux dans un cadre mésoscopique. Cette thèse développe de nouveaux outils théoriques, spécifiques aux fluides aux nanoéchelles, qui mettent en lumière des phénomènes inattendus en confinement extrême. Nous montrons d'abord, par des méthodes de physique statistique hors équilibre, que les corrélations ioniques dans les électrolytes confinés résultent en des phénomènes de transport non linéaire, allant du blocage de Coulomb ionique aux effets de mémoire et comportements neuromorphiques. Nous montrons ensuite, grâce à des outils de théorie des champs, l'émergence d'effets quantiques à l'interface solide-liquide, à travers une contribution des excitations électroniques à la friction hydrodynamique. Ces résultats suggèrent la possibilité de contrôler le transport nanofluidique par les propriétés électroniques des parois confinantes, et établissent un lien entre physique des liquides et physique de la matière condensée. La thèse comporte également une partie expérimentale, qui présente l'étude de l'instabilité d'une suspension de nanoparticules, ainsi que le développement d'un dispositif pour la mesure de flux d'eau dans des canaux bidimensionnels.

PhD Thesis Prizes C'Nano 2021 - Abstracts



Fundamental research

Ekaterina MAMONTOVA

Multifunctional nanomaterials based on coordination networks

To meet the need for new technologies market, future materials must be multifunctional, *i. e.*, be able to combine at least two different properties. However, trying to create a simple coexistence between certain properties within the same object is already not trivial. It becomes even more difficult when the properties have to interact to control one by another and promote the emergence of synergistic effects. Molecular chemistry, thanks to its great versatility, allows designing such functional systems. Coordination networks, as Prussian Blue and its analogues (PBA) or Metal Organic Frameworks, present many advantages inherent to molecular materials and appear to be perfect candidates for the investigation of the synergy between the properties. This PhD work was devoted to the development of new multifunctional nanomaterials based on PBA. Being simple to implement, but rarely applied to PBA, the post-synthetic modification method has been explored and enforced in order to combine the intrinsic properties of these coordination networks (porosity, magnetic behavior, optical properties) with optical functionalities of other chemical species, such as photoluminescence or surface plasmon resonance. An important effort has been given to investigate the properties of the obtained functional molecule-based nanomaterials by means of spectroscopic techniques, electronic microscopy and magnetic measurements. Through the conception and characterization of new nanosystems, this research work has aimed to demonstrate the existence of magneto-optical cross effects in such functional materials, confirming their potential for different applications, including sensors technologies, biomedicine or catalysis.

Applied research

Soukaina ES-SAIDI

Optimization of the Optical Response of Diffractive Metallic Gratings: Application to Plasmogram technology

Security holograms based on sub-wavelength gratings (SWGs) are increasingly used not only to protect sensitive documents, but also to combat against reprographic technologies used in counterfeiting. The aim of the phd work was to design optical security devices allowing to produce visual and chromatic effects easily recognizable but difficult to counterfeit and compatible with high-tech foil production. To this end, we studied the optical response of one and two dimensional asymmetric SWGs fabricated by laser interferometric lithography and scaled up to larger scales on polymer film using roll-to-roll replication processes. The in-depth physical analysis of the resonance mechanisms generated by metallic and hybrid metal-dielectric SWGs allows to understand and tailor their chromatic response. We also demonstrated that this kind of nanostructures opens new design perspectives and enhance the quality of the perceived colors. The research evidence showed that the use of modern optimization tools, prior to fabrication, provides an efficient way to tailor and to optimize the resonant response of diffraction gratings. We demonstrated that the multi-objective approach outperforms single-objective strategies and opens the possibility of increasing the complexity of the diffractive structures used for color reproduction. We emphasize that Artificial Intelligence tools constitute an efficient alternative to the traditional time-consuming electromagnetic methods. The results of this approach constitute an original solution in the optical security market. The technology developed has also given rise to a patent and has been transferred to an industrial scale.