



ELSEVIER

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

## Comptes Rendus Physique

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Nanophotonics and near field / Nanophotonique et champ proche

## Foreword

In the race towards new functionalities, as well as towards downscaling, photonics is increasingly and naturally evolving towards nanophotonics. The development of nanophotonics rests on the evolution of various disciplinary fields. Its outputs involve fundamental studies, the applications of specific properties as well as the development and use of new materials. This topical issue is dedicated to photonics and associated near-field schemes, thereby covering a variety of domains such as evanescent waves, plasmonics and materials for the future.

This issue starts with a theoretical study by Boris Gralak and Daniel Maestre of the behavior of evanescent waves close to a planar interface between vacuum and a material of strictly negative index of refraction. The concept of a negative index material still asks a number of questions, in particular, in connection with the notion of a perfect lens, which could form, thanks to evanescent waves taking part in the phenomenon, the point-wise image of a point-wise light source. In their article, the authors show that the image of a point source is broadened. Their description avoids any possible ambiguity such as could be associated to causality or the electromagnetic energy flow.

Following this purely theoretical article, the next ones belong to the fast developing domain of plasmonics, which stands-out as a major sub-field of nanophotonics. The achievement of sub-micron scale optical functions via plasmonic schemes requires that they be observed by adequate means. The article contributed by Françoise Argoul and her team describes a plasmon resonant microscope, and develops, more specifically, an original method to retrieve phase maps from images generated by resonant plasmon microscopy. Phase images are generally inferred from images of the complex field as reflected by a plasmon sustaining metallic surface. The determination of phase discontinuities is obtained in this context by an original approach of special phase derivation.

Plasmons are again at the focus of the following article by Ludovic Douillard and Fabrice Charra. In this more review-oriented paper, examples of plasmonic field maps are presented, based on two microscopic techniques: light emission induced by scanning tunneling microscopy (STM) and multiphotonic photo-emission imaging (PEEM); these two methods are among those which provide today the best spatial resolution in plasmonic microscopy. One can also mention the contribution of photoemitted electrons, which allows for a two-dimensional intensity mapping that directly reflects the non-perturbed distribution of the optical near field.

In the article by Hong Shen et al., the predictive power of group theoretical considerations is once more evidenced, whereby the authors show that any complex structure that is invariant with respect to an  $n$ -fold rotation ( $n$  equal or larger than 3) behaves like an apolar system for a light excitation that propagates along the symmetry axis. Different examples satisfying this geometry, such as triangular or star shaped nano-particles, are being reported and come to validate the theoretical model via Surface Enhanced Raman Scattering (SERS) studies.

Razvigor Ossikovski et al., through a selection of case-studies, designate the potential benefits to be derived from the control of the polarization states of the exciting and scattered radiations in a Raman diffusion experiment. The experimental examples reported therein originate both from the domain of conventional Raman spectroscopy (e.g. in far-field conditions) and from that of near-field spectroscopy. The article covers topics such as the measurement of the stress tensor in a strained semiconductor structure, the assignment of vibration modes in thin layers of pentacene, and the determination of the Raman scattering tensor from near-field measurements on azobenzene monolayers.

The sixth and last contribution, from Ileana Rau et al., is addressing the most promising domain of biophotonics, through the optically nonlinear and conduction properties of multifunctional DNA based assemblies, also hosting surfactant and non-linear dye molecules. Anomalies in the third harmonic generation response dependence in terms of the dye concentration of such compounds are accounted for in terms of a simple quantum mechanical model. Parallel studies of their conduction properties pave the way towards new generation of bio-components that would bear the advantages of a "green" technology.

These articles jointly evidence that the domain of near-field interactions involves a broad range of disciplines that are crossbreeding with each other at their interfaces. Indeed, such interfaces encompass material science, electromagnetism and instrumentation, not to mention the fore-front domain of nanotechnologies, which are to be increasingly developed and implemented in the realm of photonics. Considering the width of those domains and of their interfaces, the reader will

have understood that this issue is by no means intended to provide an exhaustive exploration of the field, but limits itself to providing a few particularly meaningful current directions.

The editors of this topical issue wish to thank those of their colleagues who have accepted to devote their time and energy to the elaboration of the articles here, in a current environment where generous efforts of this kind are often crushed by the daily pressure of survival priorities. Let them be aware that the inspiration and enrichment that their contributions will have generated are bound to induce readers, either new to the field and considering entering it, or more seasoned practitioners, to come into this new field of knowledge and action, where their own contributions are well needed and expected.

## Avant-propos

Dans la course vers de nouvelles fonctionnalités comme dans celle de la miniaturisation, la photonique se dirige tout naturellement vers la nanophotonique. Le développement de la nanophotonique tire parti de l'évolution de différentes disciplines. Cette évolution se traduit par des études fondamentales spécifiques, par l'usage de propriétés particulières et par le développement ou l'usage de nouveaux matériaux. Ce numéro thématique dédié à la nanophotonique et son champ proche associé couvrira des domaines aussi variés que celui de l'étude des ondes évanescentes, de la plasmonique en finissant par des matériaux du futur.

Ce numéro débutera par une étude théorique du comportement des ondes évanescentes en présence d'une interface plane séparant le vide et un matériau d'indice négatif parfait. Le concept de matériau d'indice négatif pose encore de nombreuses questions en particulier sur la notion de lentille parfaite, qui pourrait former, grâce aux ondes évanescentes mises en jeu dans le phénomène, une image ponctuelle d'une source lumineuse ponctuelle. Boris Gralak et Daniel Maystre dans cet article montrent que l'image d'un point source n'est plus ponctuelle. La description évite toute ambiguïté relative à la causalité et l'énergie électromagnétique.

Plusieurs articles qui suivent cet article purement théorique, appartiennent au domaine en pleine évolution de la plasmonique qui est une composante importante de la nanophotonique.

Réaliser des fonctions à l'échelle submicrométrique en plasmonique impose de pouvoir les observer avec des moyens performants. L'article proposé par l'équipe de Françoise Argoul décrit un microscope à résonance plasmonique, en développant une méthode originale pour extraire les cartes de phase d'images obtenues par microscopie à résonance plasmonique. Les images de phases sont habituellement calculées à partir des cartes de la mesure du champ complexe réfléchi par la surface métallique, siège de plasmons. La détermination des discontinuités de phase est obtenue ici selon une approche originale dans ce contexte à partir de la dérivée de la phase.

Les plasmons sont encore à l'honneur dans l'article suivant par Ludovic Douillard et Fabrice Charra. Dans cet article de synthèse, sont présentés des exemples de cartographie des champs plasmoniques basés sur deux techniques de microscopie : l'émission de lumière induite par microscopie tunnel à balayage de sonde (*scanning tunneling microscopy* STM) et l'imagerie de photoémission multiphotonique (*photoemission electron microscopy* PEEM), deux techniques parmi celles qui offrent aujourd'hui les meilleures résolutions spatiales pour la microscopie plasmonique. On peut noter l'apport de l'imagerie des électrons photoémis, qui permet l'obtention de cartes d'intensité en deux dimensions reflétant directement la distribution non perturbée du champ proche optique.

A partir de la théorie des groupes, dont la puissance est une fois de plus mise ici en valeur, Hong Shen et al. dans l'article suivant démontrent que toute structure complexe invariante par rotation d'ordre  $n$  (supérieur ou égal à 3) selon un axe, agit comme un système apolaire pour une excitation lumineuse se propageant selon cet axe. Différents exemples obéissant à cette géométrie (particules en or de forme triangulaire ou en étoile) sont étudiés et viennent valider le modèle théorique grâce à des mesures en Spectroscopie Raman exaltée en surface (SERS).

L'avant-dernier article de ce numéro, par Razvigor Ossikovski et al., au travers quelques cas d'étude choisis, montre les bénéfices potentiels qui peuvent être tirés en contrôlant les états de polarisation des radiations excitatrice et diffusée dans une expérience de diffusion Raman. Les exemples d'expériences présentés dans ce travail proviennent à la fois du domaine de la spectroscopie Raman conventionnelle (c'est-à-dire, en champ lointain) et de celui de la spectroscopie en champ proche. Ils couvrent des sujets tels que la mesure du tenseur des efforts dans une structure semiconductrice contrainte, l'attribution des modes de vibration dans des couches minces de pentacène et la détermination du tenseur de diffusion Raman à partir de mesures en champ proche sur des monocouches d'azobenzène.

La sixième et dernière contribution, l'article de Ileana Rau et al., aborde le domaine particulièrement prometteur de la biophotonique, au travers de propriétés optiques non-linéaires et de conductivité d'assemblages multifonctionnels à base d'ADN, comportant en outre des surfactants et des molécules de colorant. Des anomalies dans la dépendance en concentration du colorant de la réponse en génération de troisième harmonique de tels composés sont expliquées par un modèle quantique simple, et des études conjointes de conductivité permettent d'envisager de nouveaux composants biophotoniques à base de tels matériaux et qui présenteraient de plus les atouts d'une technologie « verte ».

Ces quelques articles démontrent que le domaine des interactions en champ proche intéresse des domaines disciplinaires variés mais susceptibles d'entrer en synergie et de se féconder mutuellement. Leurs interfaces s'étendent en effet de la science des matériaux, à l'électromagnétisme et à l'instrumentation, sans oublier les nouvelles nanotechnologies, qui seront de plus en plus mises à contribution. Au regard de l'étendue de ces champs et de leurs interfaces, on aura compris que

ce numéro spécial ne prétend aucunement l'épuiser, mais seulement en donner une vue qui pointe quelques directions particulièrement significatives.

Les éditeurs de ce numéro tiennent à remercier ceux de leurs collègues qui ont bien voulu consacrer leur temps et leur énergie à la rédaction de ces articles, dans un contexte où les efforts désintéressés de cette nature entrent en conflit avec des impératifs de plus en plus lourds au quotidien. Qu'ils soient conscients de l'inspiration et de l'enrichissement que leurs contributions ne manqueront pas d'amener aux lecteurs désireux soit de parfaire leur connaissance, soit d'entrer dans ce champ nouveau de connaissance et d'action qui attend leur apport.

Frédérique de Fornel

*GDR CNRS 2451 ONDES, Equipe optique de champ proche, ICB UMR CNRS 6303,  
9, avenue A. Savary, BP 47870, 21078 Dijon, France  
E-mail address: [ffornel@u-bourgogne.fr](mailto:ffornel@u-bourgogne.fr)*

Joseph Zyss

*Laboratoire de photonique quantique et moléculaire (LPQM, UMR 8537), École normale supérieure de Cachan,  
61, avenue du Président Wilson, 94235 Cachan cedex, France  
E-mail address: [joseph.zyss@lpqm.ens-cachan.fr](mailto:joseph.zyss@lpqm.ens-cachan.fr)*

Available online 7 November 2012