



## New concepts for nanophotonics and nanoelectronics

## Foreword

Developing and improving the components used in telecommunication systems are major challenges for society in general. The URSI (*L'Union Radio-Scientifique Internationale*), and its French branch the CNFRS (*Comité National Français Radio-Scientifique*), are well aware that research undertaken in the field of nanosciences is, and will continue to be, at the origin of the evolution of many electronic and optical components. While this trend is due in part to the improvement of existing technologies, it is essentially based on the development of new concepts.

The annual scientific workshop of the CNFRS, held at the CNAM (Paris) in 2007, was devoted to “Nanosciences and radioelectricity”. Among the presentations submitted, the scientific committee decided to select ten articles covering the whole spectrum of evolutions which have been taking place recently, in terms of concepts, in the two fields of nanoelectronics and nano-optics. While these two topics are, in general, discussed and presented separately, it seemed interesting to us to draw a parallel between their evolutions, and to underline their common objective of domesticating electrons and photons inside increasingly reduced-sized components. Indeed, the control of either electrons or photons at the nanometric scale may reveal particular properties. Moreover, these particles are no longer considered in simple environments, but they are now being integrated in nanostructured materials (photonic crystals, carbon nanotubes, . . .), thereby creating new functions. This issue of *Comptes rendus Physique* will thus aim at describing some new concepts and their use. It does not, of course, pretend at being exhaustive.

We begin this issue in the Optical field with a review of components, including cavities, waveguides and laser sources, realized from photonic crystals and from metamaterials, whose specific properties rely on the strong confinement of light due to the photonic bandgap, and on the remarkable dispersion properties in the transmission bands, respectively. Plasmonics is currently undergoing a strong revival, and the combination of concepts of guided optics with concepts of plasmonics leads to the possibility of envisioning new components, for instance a surface plasmon polariton gap waveguide (SPGW) formed by a subwavelength slit (smaller than 100 nm) made in a metal slab. This particular waveguide allows the propagation of the field without any significant modification of the lateral confinement of the field, which remains of the order of the slit size. Quite recently, it has been shown that the electromagnetic field of a photonic crystal cavity can be nano-manipulated using a nanometric probe. Not only do these results demonstrate the new concept of the *active optical near field*, but they open the door for new functionality. Staying in the field of periodically structured components, two examples exploiting the specific properties of metamaterials will be described. The first example is that of the electronically reconfigurable ultra-compact antenna realized from a composite metamaterial. The second example shows that it is possible to implement negative permittivity and permeability for plasmon resonances in the infrared of a material made from gold wires and C-shaped nanostructures. This structure opens the way to the realization of a superlens.

In the field of electronics, we included, on the occasion of the 60th anniversary of its invention, an article describing the evolution of the transistor, from its infancy at the millimeter scale to the development of nanotube transistors at the nanoscale. Nanotube transistors will then be more specifically described through the consideration of their applications in the field of microwaves, including nano-switches and nano-antennas. Finally, a comparison between transistors made from nanotubes and from gold nanowires will be carried out from a theoretical point of view.

Molecular electronics has turned out to be an interesting alternative for future nanoelectronics. Molecular electronics opens a broad active field of investigation, ranging from quantum objects to hybrid devices molecular-silicon CMOS. The realization of nanometric-scale components for optics and electronics calls for a new approach, where

the reliability of these components will be fully taken into account. The scaling factor between classical components and these future components is but an aspect of this problem, and a whole new thinking must be developed in order to account for the nanometer scale. We end this issue devoted to nanosciences with an article approaching the problem of energy management, which is due to become a main issue in the future. Here again, the structuring at nanometric scale paves the way for the realization of solar cells with high efficiencies.

## *Avant-propos*

*Faire évoluer les composants utilisés pour les communications représente un enjeu majeur pour la société en général. L'Union Radio-Scientifique Internationale (URSI) et sa branche française le Comité National Français Radio-Scientifique (CNFRS) sont conscients que les recherches menées dans le domaine des nanosciences sont et seront à l'origine de l'évolution de nombreux composants électroniques et optiques. Cette évolution trouve partiellement son origine dans l'amélioration des technologies utilisées mais elle est essentiellement basée sur le développement de nouveaux concepts. Les Journées Nationales du CNFRS, URSI-France, se sont déroulées au CNAM (Paris) en 2007, elles avaient pour thème « Nanosciences et radioélectricité ». Le comité scientifique a sélectionné parmi les communications présentées une dizaine d'articles couvrant l'ensemble des évolutions récentes en termes de concepts dans les domaines de la nano-électronique et de la nano-optique. Généralement ces deux thématiques sont abordées et présentées séparément ; il nous a semblé intéressant, ici, de mettre en parallèle leur évolution, qui vise à domestiquer les électrons comme les photons dans des dispositifs et composants de taille de plus en plus réduite. En effet contrôler les électrons comme les photons à l'échelle nanométrique peut faire apparaître des propriétés particulières. De plus, on n'imagine plus seulement un environnement simple de ces deux particules, on les insère dans des matériaux nanostructurés (cristaux photoniques, nanotubes de carbone...) générant ainsi de nouvelles fonctions. Ce numéro des Comptes Rendus Physique vise donc à décrire quelques nouveaux concepts et leur usage, il n'est pas, bien sûr, exhaustif.*

*Nous avons débuté ce numéro par le domaine de l'optique, par un article de revue sur les composants comme des cavités, des guides, des sources laser réalisés à partir de cristaux photoniques et de métamatériaux dont les propriétés spécifiques utilisent respectivement le fort confinement de la lumière dû aux effets de bande interdite photonique (BIP) et des propriétés remarquable de dispersion. La plasmonique est un domaine en plein renouveau, le mélange des concepts de l'optique guidée avec ceux de la plasmonique permet d'imaginer de nouveaux composants, comme par exemple des guides à plasmon formés par une fente très largement sublongueur d'onde (inférieure à 100 nm) réalisée dans une couche métallique. Ce guide à plasmon particulier permet la propagation du champ électrique sans modification notable de son confinement latéral qui reste de l'ordre de la largeur de la fente. Les cavités à cristaux photoniques permettent elles aussi d'avoir des champs électromagnétiques très fortement confinés. Très récemment, il a été démontré que l'on pouvait nano-manipuler le champ électromagnétique d'une telle cavité par une sonde nanométrique, ce travail s'insère dans le nouveau concept de l'optique de champ proche active, ceci pourra ouvrir la porte vers de nouvelles fonctions optiques. Toujours dans le domaine des composants périodiquement structurés, deux exemples d'utilisation des propriétés spécifiques des métamatériaux sont décrits. Le premier exemple concerne l'antenne ultra compacte reconfigurable électroniquement réalisée à l'aide d'un métamatériau composite. Le deuxième exemple montre qu'il est possible d'accéder à une permittivité et une perméabilité négatives pour des résonances plasmons dans l'infrarouge d'un matériau réalisé à partir de fils d'or et de nanostructure en forme de C. Cette structure ouvre la voie à la réalisation de superlentilles.*

*Dans le domaine de l'électronique, à l'occasion des 60 ans de l'invention du transistor, nous avons intégré un article décrivant l'évolution du transistor de ses balbutiements à l'échelle millimétrique aux transistors à nanotubes à l'échelle nanométrique. Les transistors à nanotubes seront plus spécifiquement présentés par leurs applications dans le domaine des microondes comme nano-switch et nanoantennes. Puis, une comparaison entre transistors réalisés à partir de nanotubes ou à partir de nanofils d'or est présentée d'un point de vue théorique.*

*L'électronique moléculaire s'avère être une alternative intéressante pour la nano-électronique du futur. Elle ouvre un large champ d'investigation allant des objets quantiques aux dispositifs hybrides moléculaire-silicium CMOS. La réalisation de composants pour l'optique et l'électronique de taille nanométrique fait apparaître une problématique nouvelle quand à la prise en compte de la fiabilité de ces composants. Il n'y a pas qu'un facteur d'échelle entre les composants classiques et ces futurs composants, il y a toute une nouvelle réflexion à mener pour prendre en compte*

*la dimension nanométrique. Enfin, nous terminerons ce numéro consacré aux nanosciences, par un article traitant de la gestion de l'énergie ; le problème de l'énergie sera un problème majeur dans le futur et notamment dans les futurs dispositifs à dimensions nanométriques. Là encore, la structuration à l'échelle réellement nanométrique permet de réaliser des cellules solaires de hautes performances.*

Frédérique de Fornel  
Présidente de la Commission D de l'URSI et du CNFRS  
*Équipe optique de champ proche,*  
CNRS UMR 5209,  
Institut Carnot de Bourgogne,  
9, avenue Alain-Savary,  
BP 47870,  
21078 Dijon, France  
E-mail address: [ffornel@u-bourgogne.fr](mailto:ffornel@u-bourgogne.fr)