

Journée Graphene Flagship 18 avril 2013

Graphene pour Applications Optoélectroniques



Institut des
Nanotechnologies
de Lyon - UMR5270



Institut non linéaire de Nice
SOPHIA ANTIPOLIS



UNIVERSITÉ
PARIS
SUD
Comprendre le monde,
construire l'avenir!



Univ. Paris XIII



Univ.
Franche
Comté



utt

université de technologie
Troyes

Institut Charles Delaunay

institut Charles Delaunay

laboratoire de nanotechnologies et d'instrumentation optique

Graphene pour applications en optoélectronique

nature
photonics

REVIEW ARTICLE

PUBLISHED ONLINE: 31 AUGUST 2010 | DOI: 10.1038/NPHOTON.2010.186

Graphene photonics and optoelectronics

F. Bonaccorso, Z. Sun, T. Hasan and A. C. Ferrari*

Nature Photonics 2010

A role for graphene in silicon-based semiconductor devices

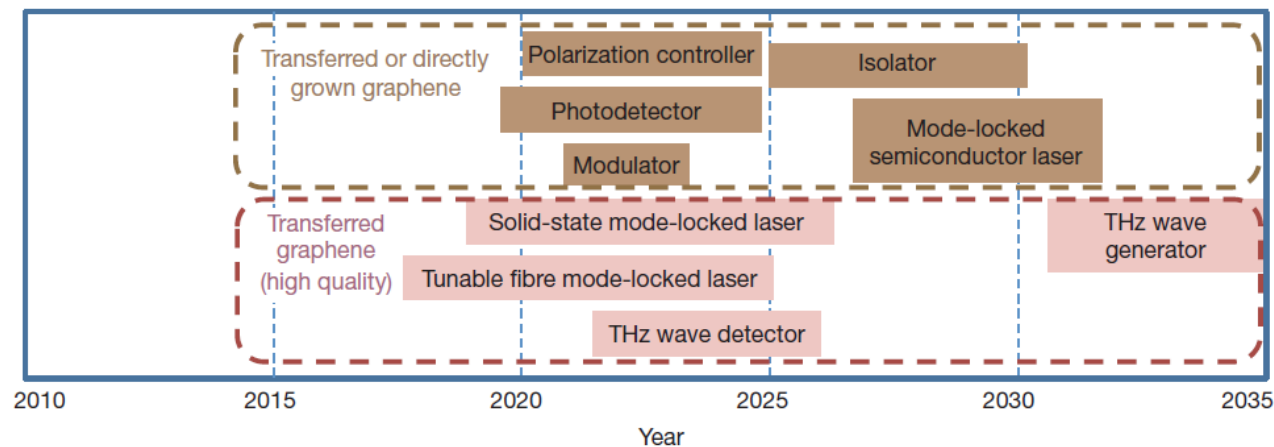
Kinam Kim¹, Jae-Young Choi¹, Taek Kim¹, Seong-Ho Cho¹ & Hyun-Jong Chung¹

Nature 2011

A roadmap for graphene

K. S. Novoselov¹, V. I. Fal'ko², L. Colombo³, P. R. Gellert⁴, M. G. Schwab⁵ & K. Kim⁶

Nature 2012



Photonic applications

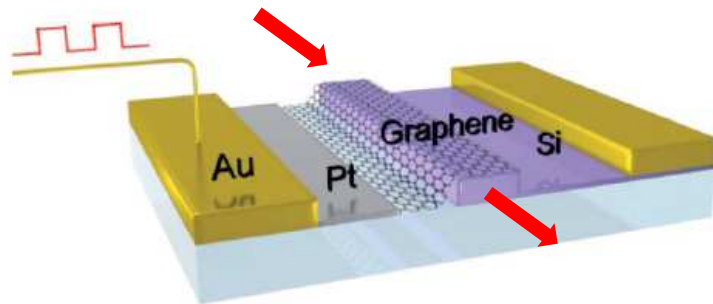
Journée 18 avril Graphene Flagship

Graphene pour applications en optoélectronique

Quelques exemples récents d'applications en photonique

A graphene-based broadband optical modulator *Nature* 2012

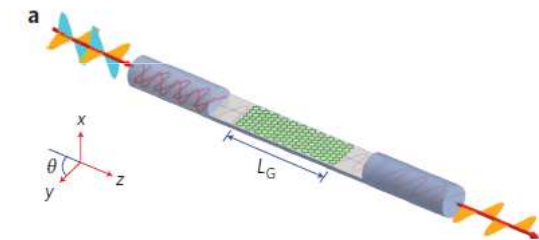
Ming Liu^{1*}, Xiaobo Yin^{1*}, Erick Ulin-Avila¹, Baisong Geng², Thomas Zentgraf¹, Long Ju², Feng Wang^{2,3} & Xiang Zhang^{1,3}



Modulation du signal lumineux par contrôle électrique dans des structures compactes

Broadband graphene polarizer *Nature Photonics* 2011

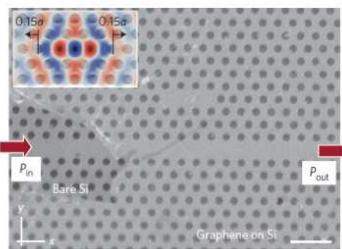
Qiaoliang Bao¹, Han Zhang^{2,5}, Bing Wang³, Zhenhua Ni⁴, Candy Haley Yi Xuan Lim¹, Yu Wang¹, Ding Yuan Tang² and Kian Ping Loh^{1*}



Regenerative oscillation and four-wave mixing in graphene optoelectronics

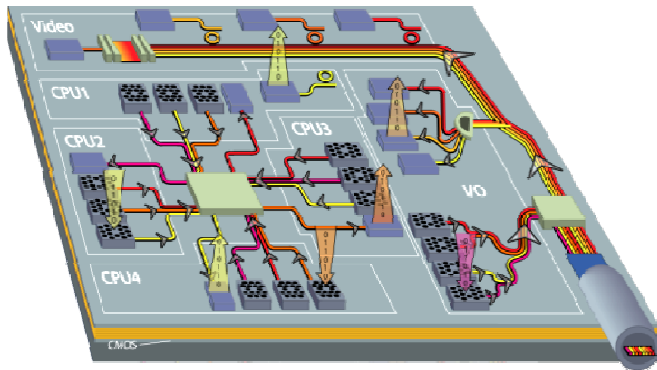
Nature Photonics 2012

T. Gu^{1*}, N. Petrone², J. F. McMillan¹, A. van der Zande², M. Yu³, G. Q. Lo³, D. L. Kwong³, J. Hone² and C. W. Wong^{2*}



Switch tout optique

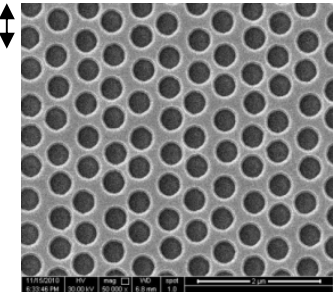
Photonique intégrée à l'INL



Expertise INL:

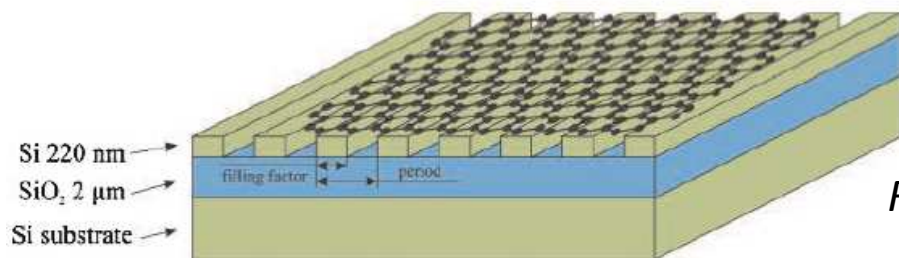
- Microlasers
- Microcavités et guides d'onde
- Ingénierie de résonances optiques
- Structures périodiques ($\approx \lambda/n$) pour contrôler la lumière

500nm



Activité Graphène + photonique intégrée avec GPI-Moscou (E. Obratsova)

Utilisation de structures photoniques pour exalter les propriétés du graphène



Ex: Cristal photonique 1D + graphène
⇒ Renforcement de l'absorption linéaire

Rybin et al. *Phys. Status Solidi B* 249, 2530 (2012)

⇒ Graphène pour applications nonlinéaires en photonique intégrée

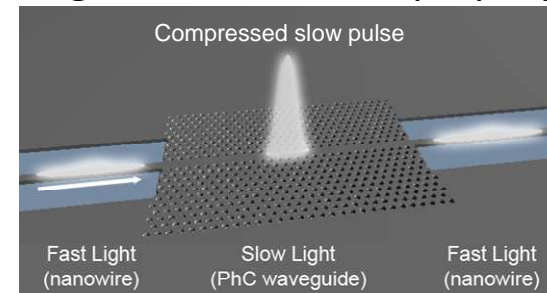
Graphène pour applications nonlinéaires en photonique intégrée

Graphene:

- Absorption 2.3% large bande
- Absorption saturable rapide
- « Facilité » d'intégration / photonique planaire
- Réponse $\chi^{(3)}$ importante
- Modulation des propriétés du graphène



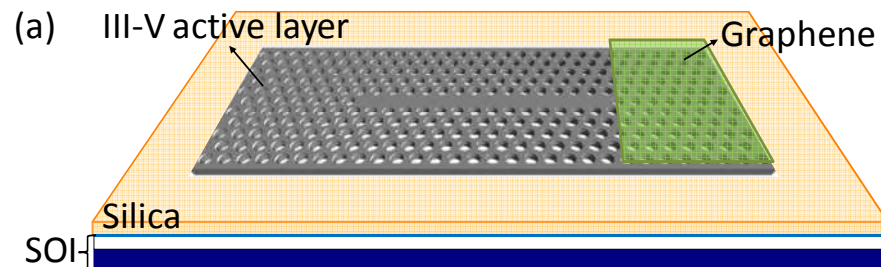
Résonances optiques (cavités et modes lents) pour exalter les propriétés optiques NL du graphène placé au voisinage d'un fort champ optique



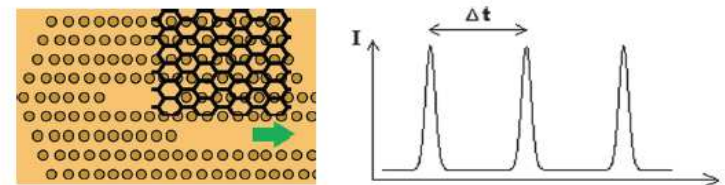
Premier volet: Microlasers mode-lockés

C. Monat & X. Letartre

Absorption saturable du graphène pour réaliser des microlasers intégrés pulsés



Thèse en co-tutelle INL/ GPI-Moscou



Emission de trains optiques courts sur puce

Graphene as Saturable Absorber for Mode-Locking in Semiconductor Laser

M. Giudici (INLN, Valbonne), A. Michon (CRHEA, Valbonne), A. Garnache (IES, Montpellier), I. Sagnes (LPN, Marcoussis)

Performances of Mode-Locked Semiconductor Lasers are today limited by Semiconductor Saturable Absorber (SSA):

- **Saturable absorption bandwidth:** SSAs have a wavelength-dependent absorption coefficient; Optimum saturable absorption is limited to 5-10 nm, while laser gain curve is 40 nm wide.
- **Mode-locking instabilities** occur because of thermal detuning between gain and SSA sections.
- **Self Q-switching instability** appears because of the relatively slow response time of SSA.
- **Catastrophic breakdown** of the SSA under mode-locking operation due to high current density.

The use of graphene as Saturable Absorber may solve these problems:

- Saturable absorption bandwidth is wavelength-independent from visible to near infrared
- Graphene has fast response times (<1 ps)
- Excellent thermal conductivity limiting catastrophic damage especially when grown on SiC substrate

Different schemes will be explored based on Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers and External Cavity Edge Emitting lasers; graphene grown on SiC is provided by A. Michon

Graphène pour applications nonlinéaires en photonique intégrée

Deuxième volet: Composants « intelligents »

Réponse $\chi^{(3)}$ du graphène pour réaliser des composants photoniques pour le traitement tout optique de l'information

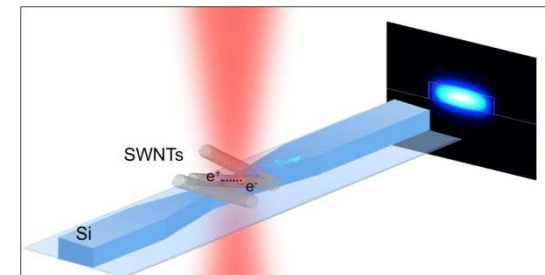
C. Monat (INL)

N. Izard/ L. Vivien (IEF)

Conversion de fréquences
etc...



CNTs pour émission de lumière
Couplage via champ évanescent
⇒ Extension vers le graphène



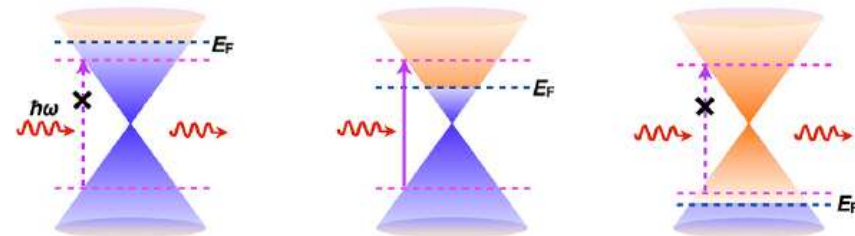
Troisième volet: Composants accordables

Actuation électrique des propriétés nonlinéaires du graphène (ajustement du niveau de Fermi) – Contacts électriques

C. Monat (INL)

P. Rojo-Romeo (INL)

Structure empilée avec électrodes:
Guide/graphène/oxyde



Projets en cours

- Capteurs SPR (film d'Or/graphène):
Collaboration Biotech (USA)
- NP d'Or couplées à un film d'Or via le graphène (collaboration LNIO/IEMN/IRI/LRN) :
ANR G-Plasmo déposée en 2013

VISIBLE

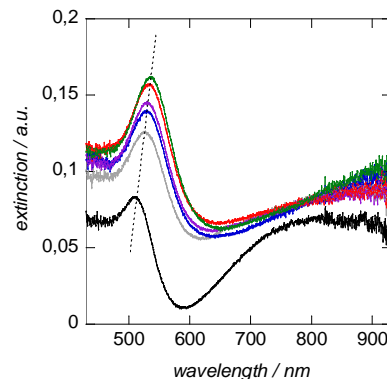
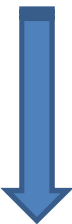


Fig. 1: Excitation du mode plasmon vertical des NPS d'Or par couplage au film d'Or via le graphène

- Couplage résonateurs IR/graphène par étude a-SNOM: collaboration Liban

Infra-Rouge

Equipements disponibles

- Nanofabrication (plate-forme Nanomat)
 - ✓ Salle blanche
 - ✓ Lithographie électronique/optique
 - ✓ Lithographie 3D à 2 photons
 - ✓ Techniques bottom-up (copolymères, nanosphere lithography, synthèse colloïdale...)
- Caractérisation optique
 - ✓ spectroscopie d'extinction/diffusion
 - ✓ SERS
 - ✓ a-SNOM visible et IR
 - ✓ ellipsométrie
 - ✓ photoluminescence

Besoins envisagés (Flagship)

- Synthèse de graphène par CVD (demande de financement en cours au sein du LABEX ACTION)
- Systèmes cryogéniques de microscope confocal et a-SNOM

Graphene pour Applications Optoélectroniques

- Un matériau aux propriétés optoélectroniques remarquables...
 - ... modulables à souhait (voie électrique, dopage...)
 - ... 2D:
 - fonctionnalisation efficace
 - compatible avec les technologies planaires
- Photonique: exalter/contrôler ces propriétés
- Des laboratoires aux compétences complémentaires
 - élaboration, fonctionnalisation du graphene
 - technologies micro-opto-électronique
 - concepts photoniques
 - outils de caractérisation
- Un large champ d'applications
 - traitement de l'information, capteurs, nouvelles sources de lumière...