

**Lentille plane à base de cristaux
photoniques : conception et fabrication**
Photonic crystal flat lens : design and fabrication

O. Vanbesien, N. Fabre, X. Mélique, D. Lippens.

Institut d'électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie
UMR CNRS 8520, Université des Sciences et Technologies de Lille
Avenue Poincaré, BP 60069
59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex

Contexte : du rêve à la réalité

En optique : du principe de la « superlentille »

VOLUME 85, NUMBER 18

PHYSICAL REVIEW LETTERS

30 OCTOBER 2000

Negative Refraction Makes a Perfect Lens

J. B. Pendry

$n = -1$ et $z = 1$ / $\varepsilon = -1$ et $\mu = -1$

réfraction négative / rétropropagation
(changement de signe de la vitesse de phase)

en théorie :

- résolution parfaite
- amplification des ondes évanescentes

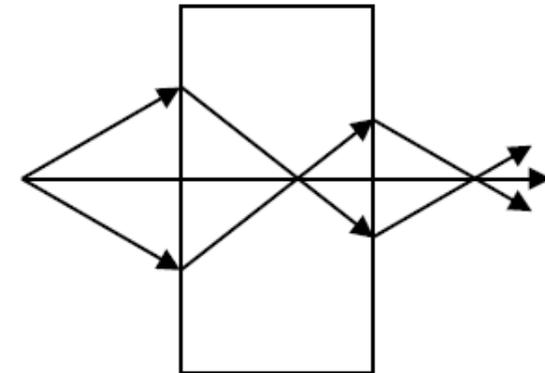


FIG. 1. A negative refractive index medium bends light to a negative angle with the surface normal. Light formerly diverging from a point source is set in reverse and converges back to a point. Released from the medium the light reaches a focus for a second time.

Contexte : du rêve à la réalité

... à la réalité expérimentale

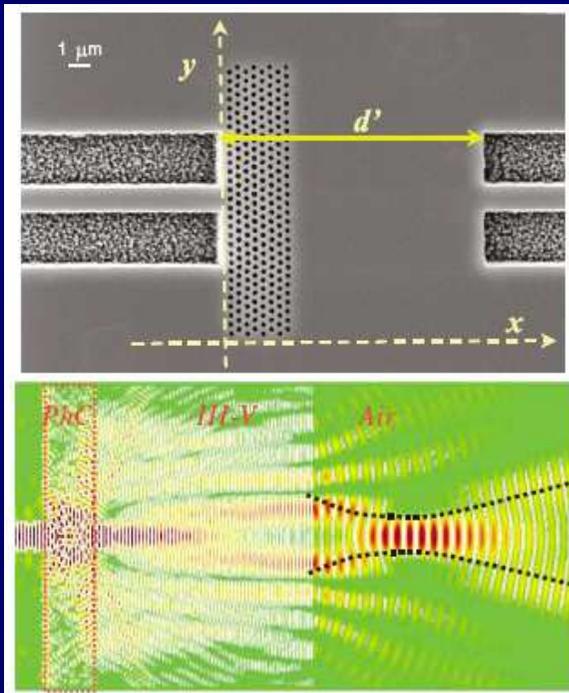
VOLUME 93, NUMBER 7

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
13 AUGUST 2004

Negative Refraction at Infrared Wavelengths in a Two-Dimensional Photonic Crystal

A. Berrier,¹ M. Mulot,¹ M. Swillo,¹ M. Qiu,^{1,*} L. Thylén,¹ A. Talneau,² and S. Anand^{1,†}

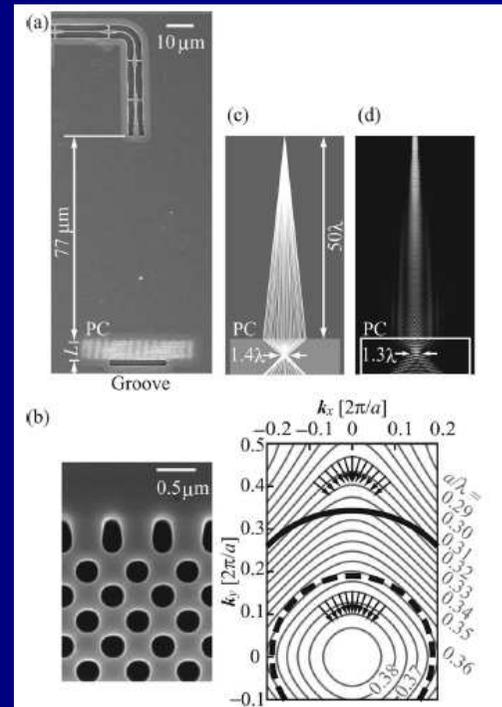


➤ mise en évidence de la réfraction négative

OPTICS LETTERS / Vol. 31, No. 18 / September 15, 2006

Focusing of light by negative refraction in a photonic crystal slab superlens on silicon-on-insulator substrate

Takashi Matsumoto, Kun-Sun Eom, and Toshihiko Baba



➤ focalisation dans la lentille en régime de réfraction négative

résolution : 1.3 λ à la première refocalisation

...

Sommaire

1. ***Cristaux photoniques et réfraction négative***
 1. généralités - réfraction négative
 2. la lentille et son environnement
2. ***Fabrication d'un prototype***
3. ***Conclusions et perspectives***

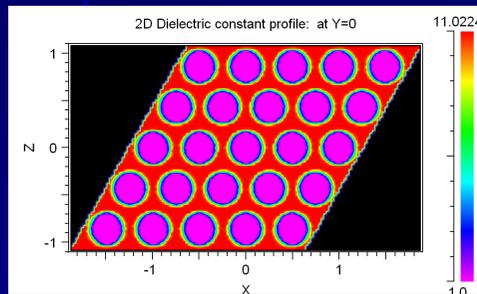
1. Cristaux photoniques et réfraction négative

Généralités

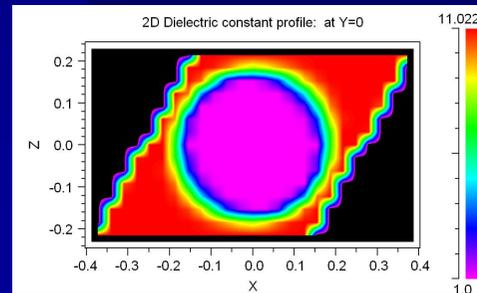
	Outil	Type PC	Réseau	Matériau
Description	Logiciel Rsoft >Fullwave >Bandsolve (2D)	Réseau de trous d'air dans un SC	Triangulaire	InP
Intérêt	Rapide, pratique	Faisabilité technolo- gique	Haut degré d'isotropie	Hétérostructure confinante λ télécoms

1. Cristaux photoniques et réfraction négative

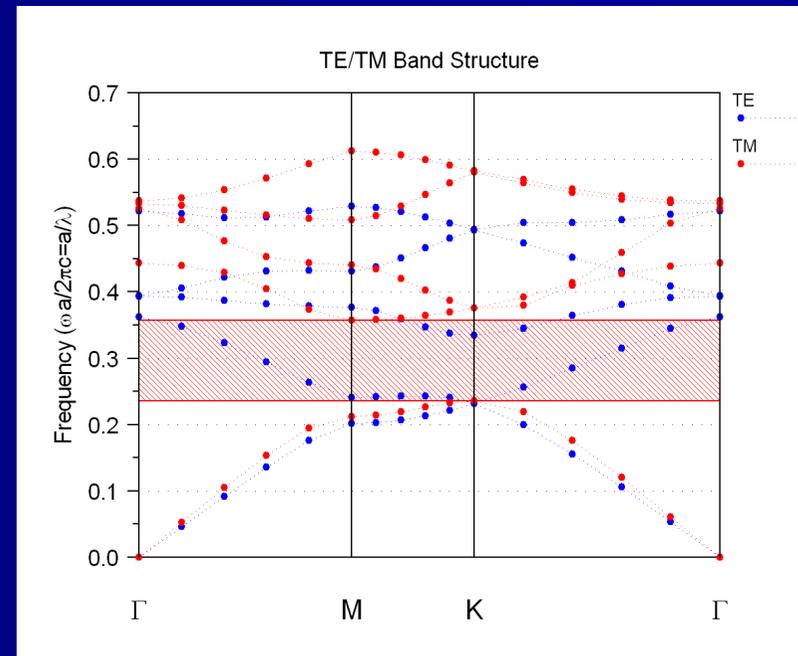
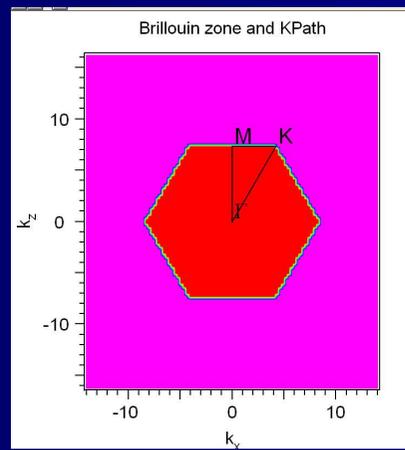
Structure de bande



Cellule unitaire

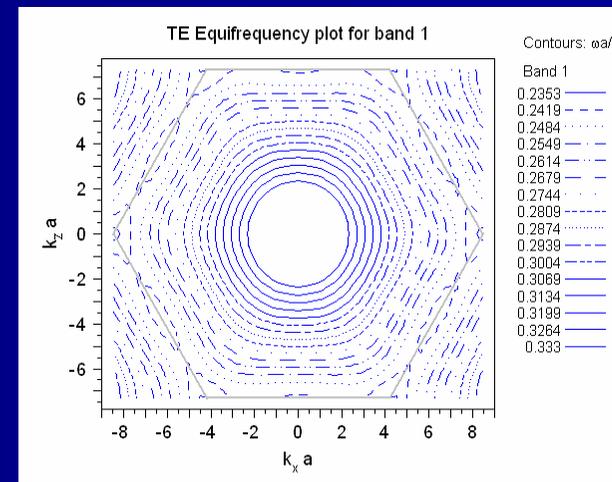
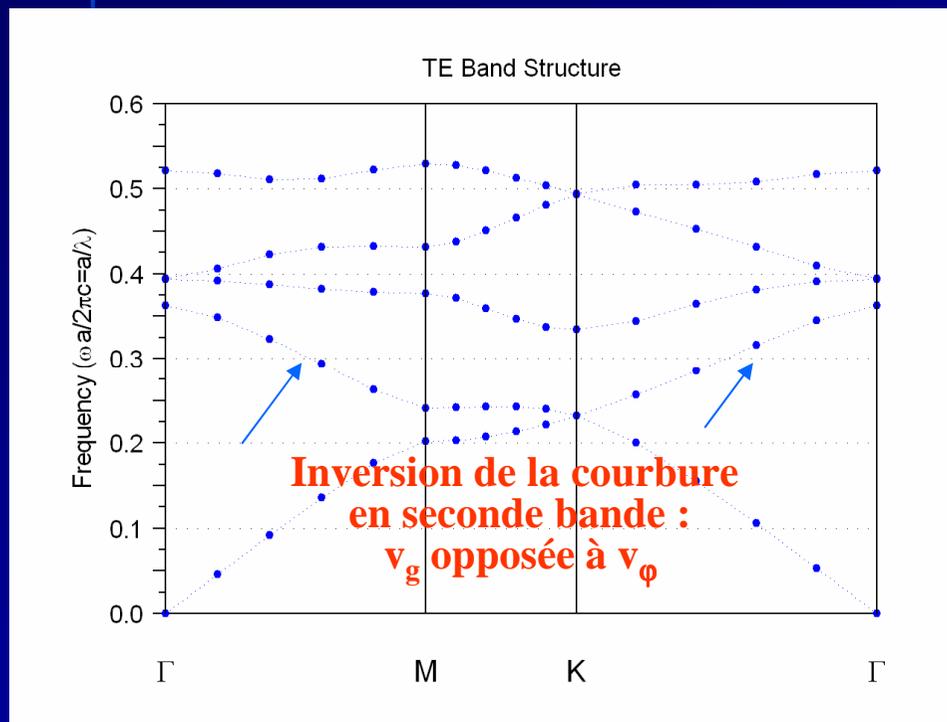


Première zone de Brillouin



1. Cristaux photoniques et réfraction négative

Structure de bande TE



Période ~ 495 nm

Diamètre ~ 355 nm

→ Taux remplissage en air : 47 %

→ Extraction du n à partir des iso-fréquences : $n \sim -1$ à $\lambda = 1.55$ μm

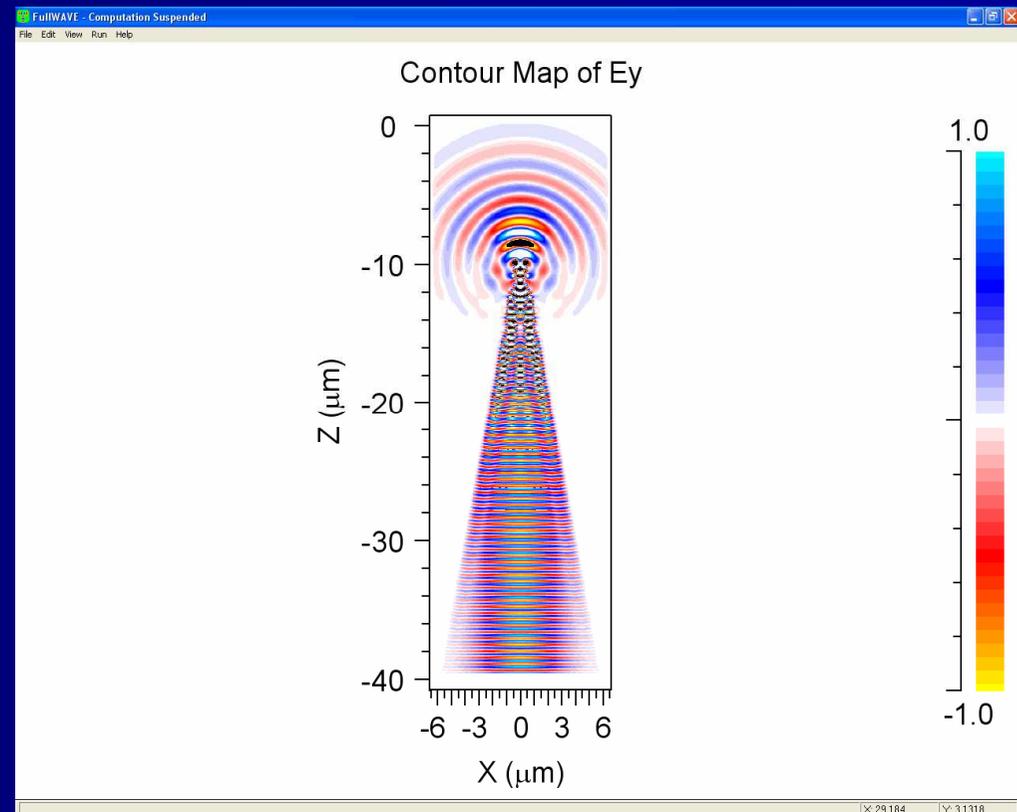
1. Cristaux photoniques et réfraction négative

Choix d'une source

Guide d'onde de
largeur variable
terminé par un trou
diffractant ($\sim \lambda/10$)
($L = 30 \mu\text{m}$, $l = 12 \mu\text{m}$)

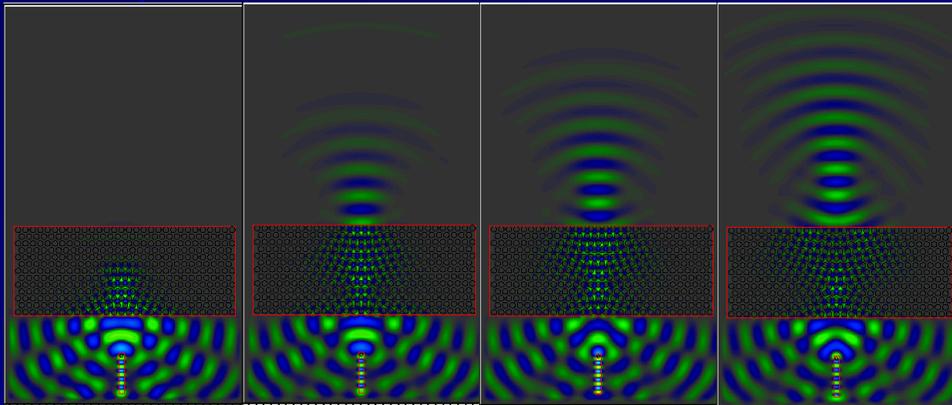
→ Source "ponctuelle"

Effets d'ombre à éviter
Pertes à optimiser



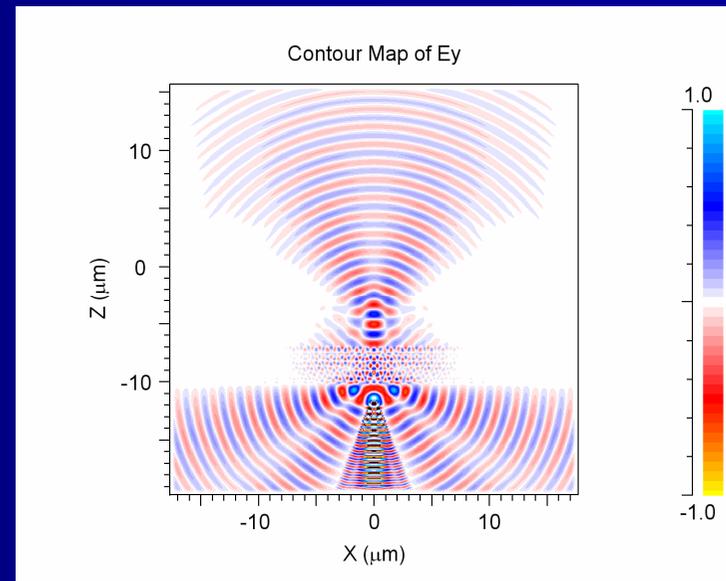
1. Cristaux photoniques et réfraction négative

Cartographie de champ électrique



Instantanés : $\Delta t \sim 15\text{fs}$

- Reconstruction de l'image de la source dans et derrière la lentille (en champ proche : distance source lentille $\sim \lambda$)
- $n \sim -1$ mais $z \neq 1$: forte réflexion (forte dépendance en fonction de l'angle d'incidence)



↗ optimisation de la résolution à mener

1. Fabrication d'un prototype

Deux étapes :
- lithographie électronique
- gravure profonde

Résine HSQ

- Résine négative à haute résolution
- Degré de viscosité permettant des épaisseurs de résine compatibles avec la gravure profonde

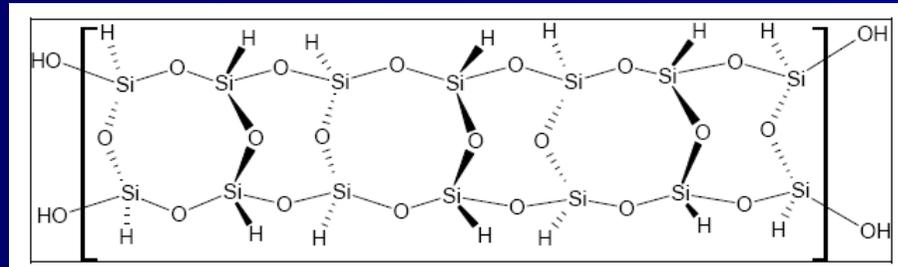
→ Un seul niveau de masque



1. Fabrication d'un prototype

Résine HSQ

- Inorganique



Dureté suffisante pour servir de masque à l'attaque

Oxydation par plasma O_2 (P=80W, Pr=50mT, T=10min)

Sélectivité HSQ / III-V ~ 8

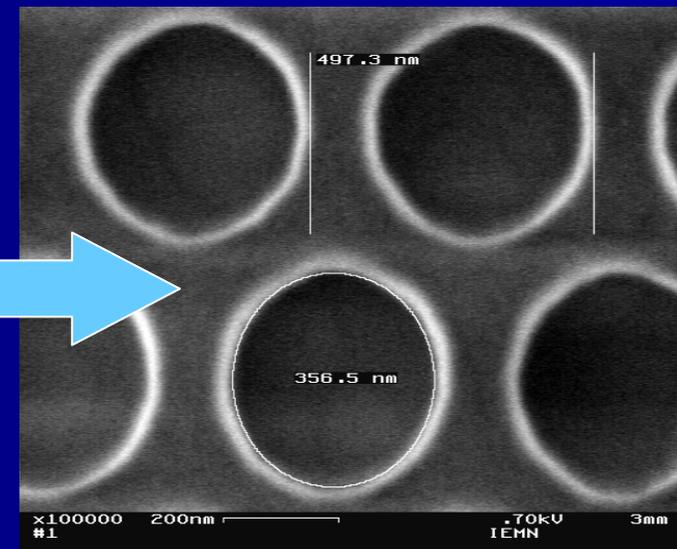
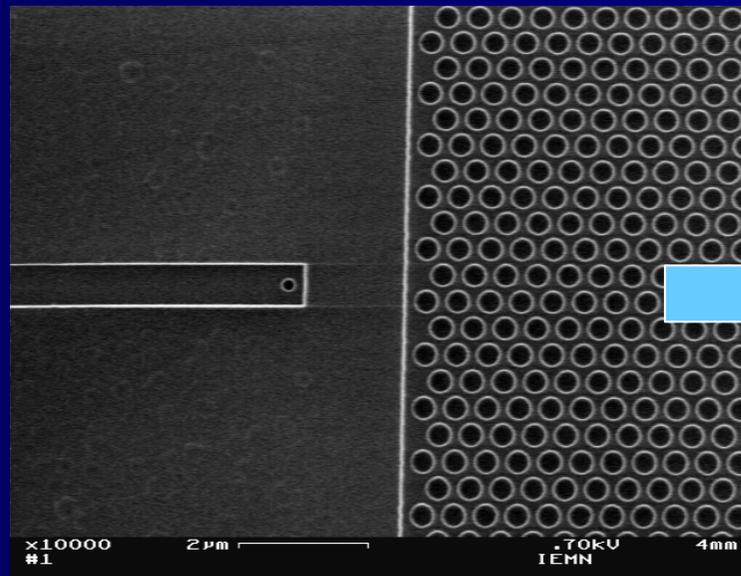
D. Lauvernier, S. Garidel, C. Legrand, J-P. Vilcot, "Realization of sub-micron patterns on GaAs using a HSQ etching mask," *Microelectronic Engineering* 77 (2005)

1. *Fabrication d'un prototype*

Lithographie électronique

Prise en compte des effets de proximité
(par simulation Monte-Carlo)

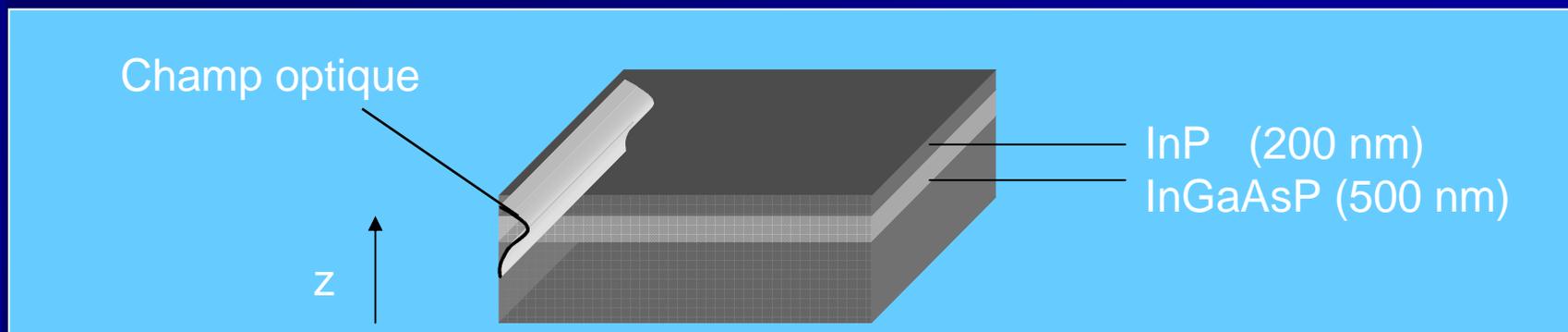
→ Variations de doses adaptées à la géométrie locale



1. Fabrication d'un prototype

Gravure profonde

- Heterostructure InP/InGaAsP : confinement du champ optique par une structure multicouche
- longueur d'onde visée : $1,55\mu\text{m}$
- Profondeur de gravure permettant une capture quasi-complète du champ dans la direction transverse : $> 2\mu\text{m}$



M. Mulot, S. Anand, M. Swillo, M. Qiu, B. Jaskorzynska, and A. Talneau, "Low loss InP-based photonic crystal waveguides etched with Ar/Cl chemical assisted ion beam etching," in *Proc. ECOC'01*, vol. 6.

1. Fabrication d'un prototype

Gravure profonde

Gravure ICP (anisotropie, vitesse gravure)

Gaz : CH_4/H_2 ; Cl_2

Vitesse de gravure :

~ 400 nm/min

Selectivité

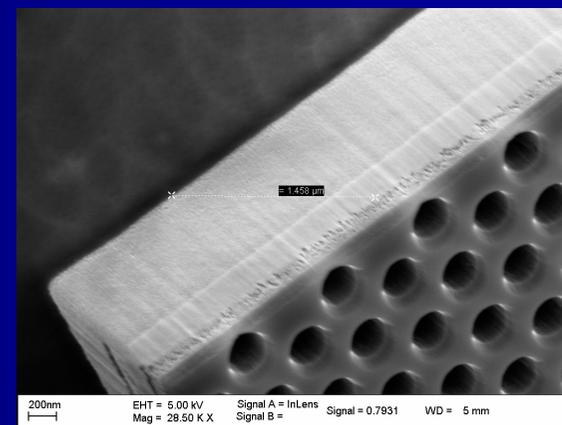
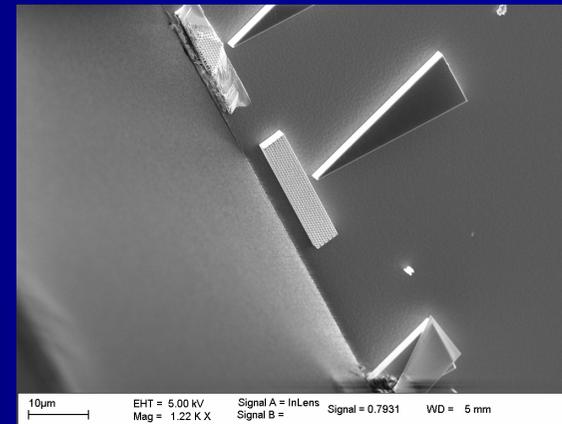
~ 8

Flancs de gravure

Faible rugosité, anisotrope

Aspect ratio

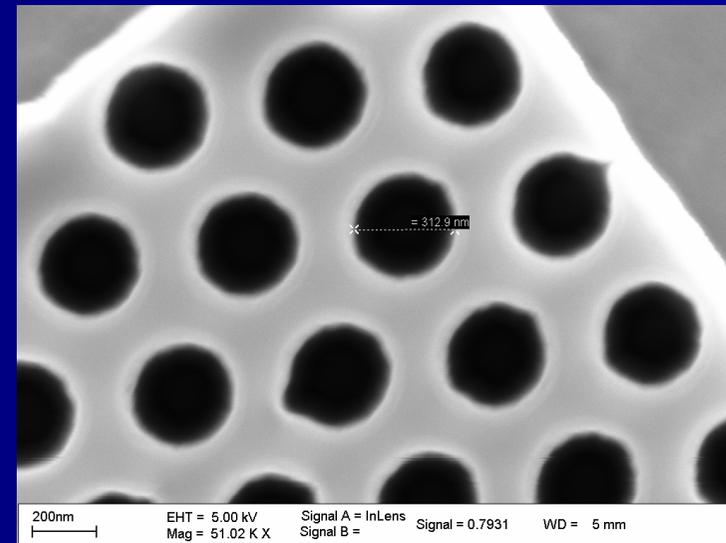
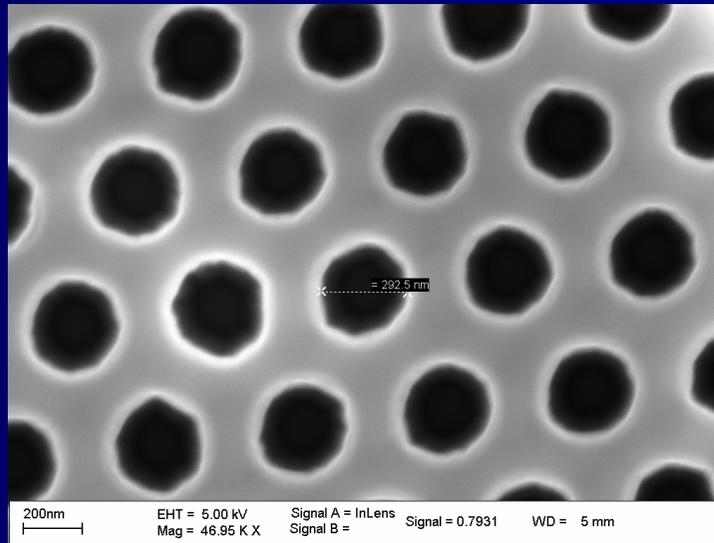
~ 8



1. Fabrication d'un prototype

Cristal photonique après gravure

- La correction d eproximité est efficace
- Le masque HSQ est de bonne qualité



1. *Conclusions*

- Démonstration numérique en 2D de la possibilité de fabriquer une lentille plane à base de cristaux photoniques
- Fabrication d'un dispositif à partir d'un cristal photonique (réseaux de trous d'air dans une hétérostructure semiconductrice pour fonctionnement à $1.55 \mu\text{m}$. Environnement adapté pour caractérisation SNOM.

Ensuite...

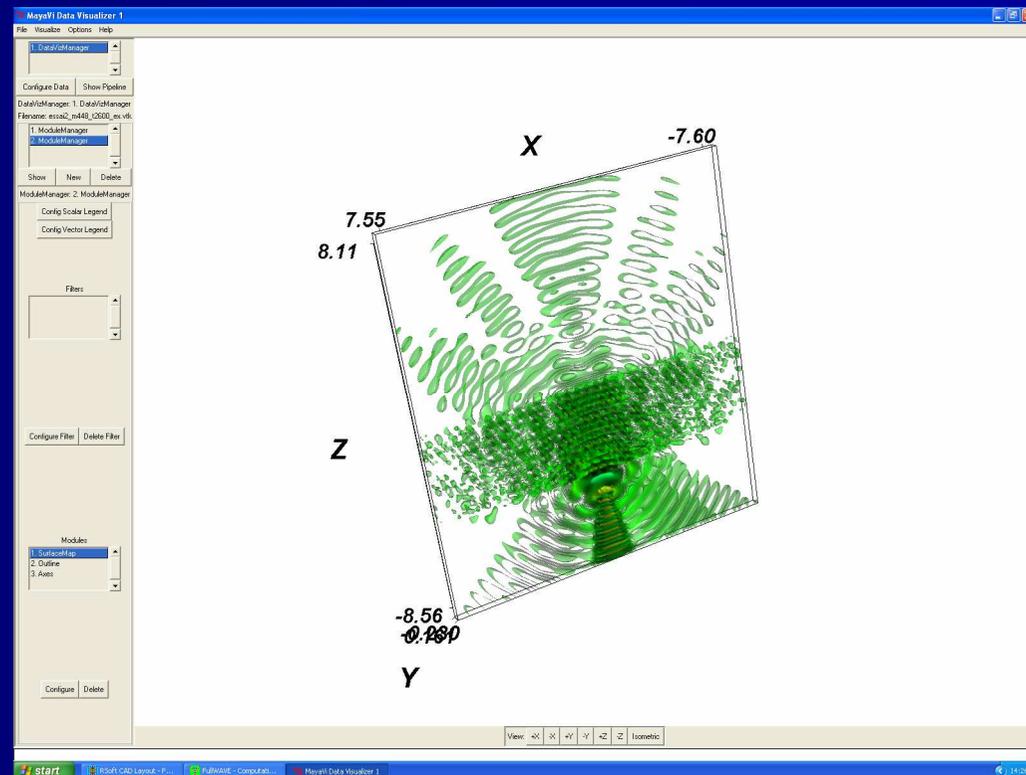
1. *Prospectives*

En théorie...

↗ en 2D : approche paramétrique détaillée (épaisseur lentille, position de la source, adaptation d'impédance, ...).

Comment s'approcher de la super-lentille (est-ce possible ?) ?

↗ approches tridimensionnelles complètes (ressources)



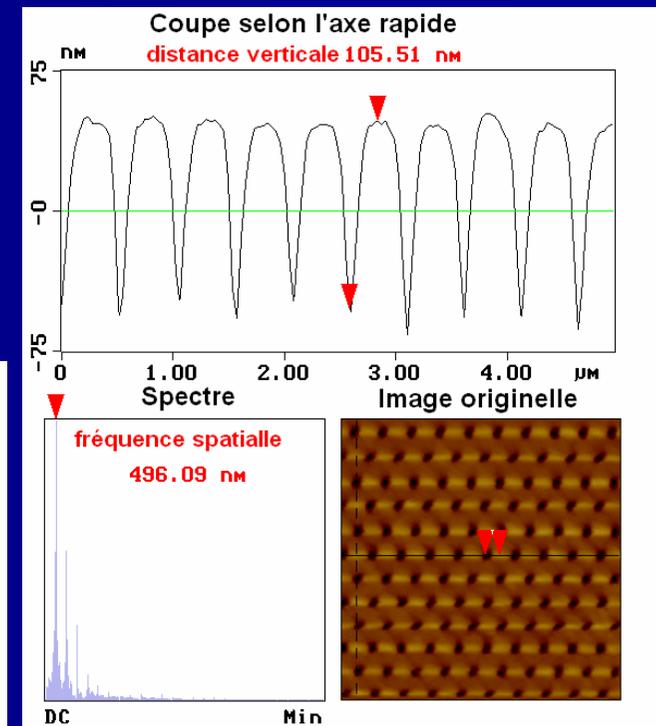
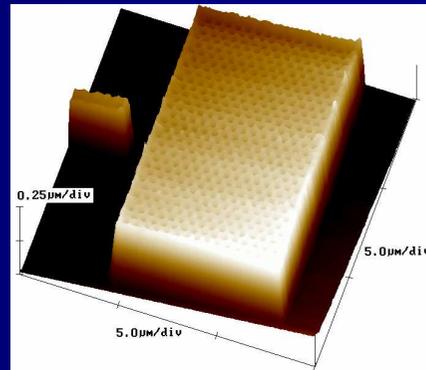
1. *Prospectives*

Expérimentalement ...

➤ Caractérisation en SNOM (en collaboration avec L. Lalouat et F. de Fornel - LPUB - Université de Dijon)

La topographie du réseau a été réalisée avec succès

➤ *Premières mesures en focalisation encourageantes mais à confirmer...*



1. *Remerciements...*

- ❖ Groupe DOME - IMEN : N. Fabre, X. Mélique, and D. Lippens.
- ❖ Groupe LPUB - Dijon : L. Lalouat et F. De Fornel.
- ❖ C. Legrand (Chimie-Plasma) , M. Muller et M. Francois (Lithographie- Masqueur electronique)

DES QUESTIONS ?