



HAL
open science

Oxydation sélective contrôlée de semiconducteurs III-V pour les composants photoniques

Guilhem Almuneau, Stéphane Calvez, Gaël Lafleur, Oleksandr Stepanenko,
Alexandre Arnoult, Antoine Monmayrant, Henri Camon

► **To cite this version:**

Guilhem Almuneau, Stéphane Calvez, Gaël Lafleur, Oleksandr Stepanenko, Alexandre Arnoult, et al.. Oxydation sélective contrôlée de semiconducteurs III-V pour les composants photoniques. GDR OXYFUN : Couches minces d'oxydes fonctionnels et applications en électronique et photonique, Oct 2019, Caen, France. hal-02449267

HAL Id: hal-02449267

<https://laas.hal.science/hal-02449267v1>

Submitted on 22 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

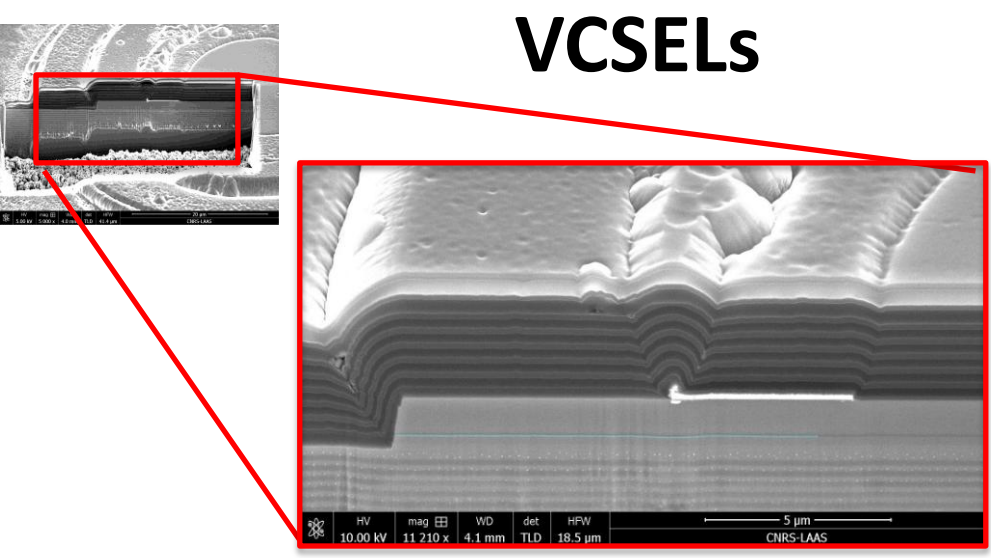
Contexte et positionnement

- Oxydation humide sélective de semiconducteurs III-V à forte teneur en Al
- Etape technologique clef pour un confinement optique et électrique dans les composants photoniques
- Procédé industriel pour les VCSELS,
- Applicable aux composants à guide d'onde et autres dispositifs d'optique intégrée sur III-V [1-3]

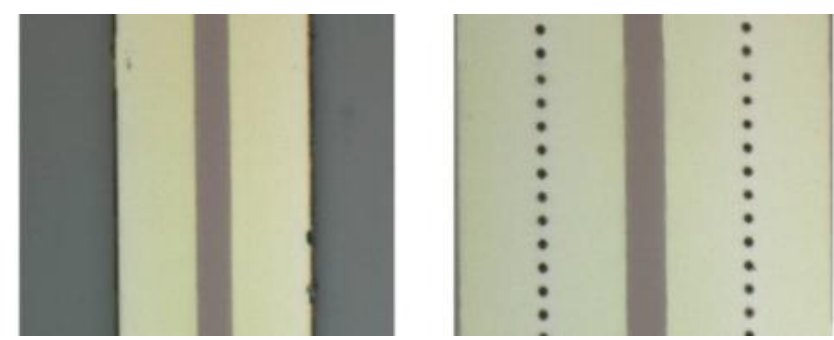
VCSELS

Guides d'onde

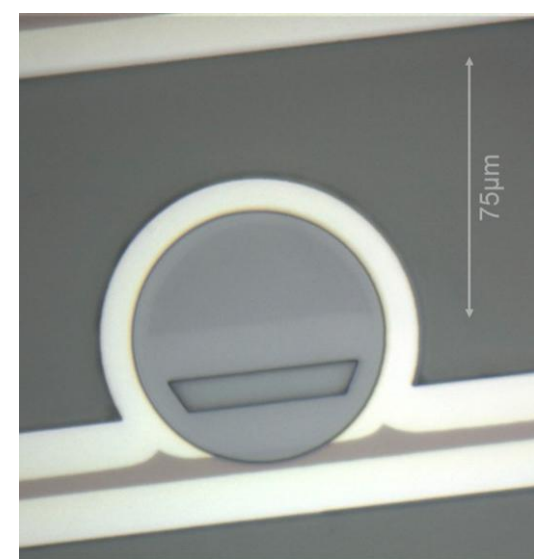
Micro-disques



Y. Laaroussi et al, *Electron. Lett.*, **48** (25), 1616 (2012)



S. Calvez et al, *Optics Express*, **25** (16), 19275 (2017)



S. Calvez et al, *Photon. Technol. Lett.*, **27** (9), 982 (2015)

Inconvénients/verrous majeurs:

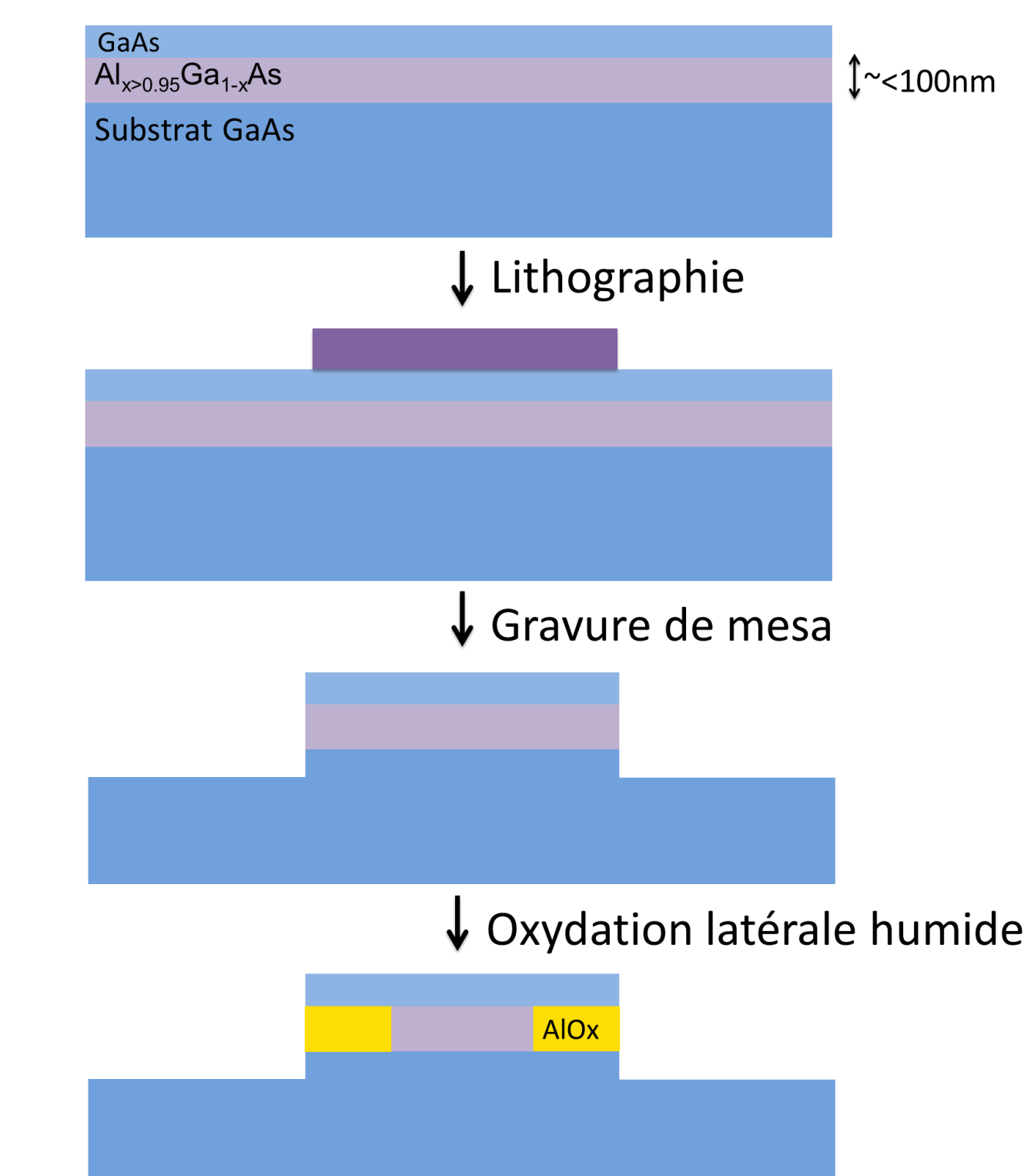
- Oxydation de couches enterrées >> Gravure de mésas >> Perte de planéité
- Réaction anisotrope >> Problème de maîtrise des géométries de confinement

Références

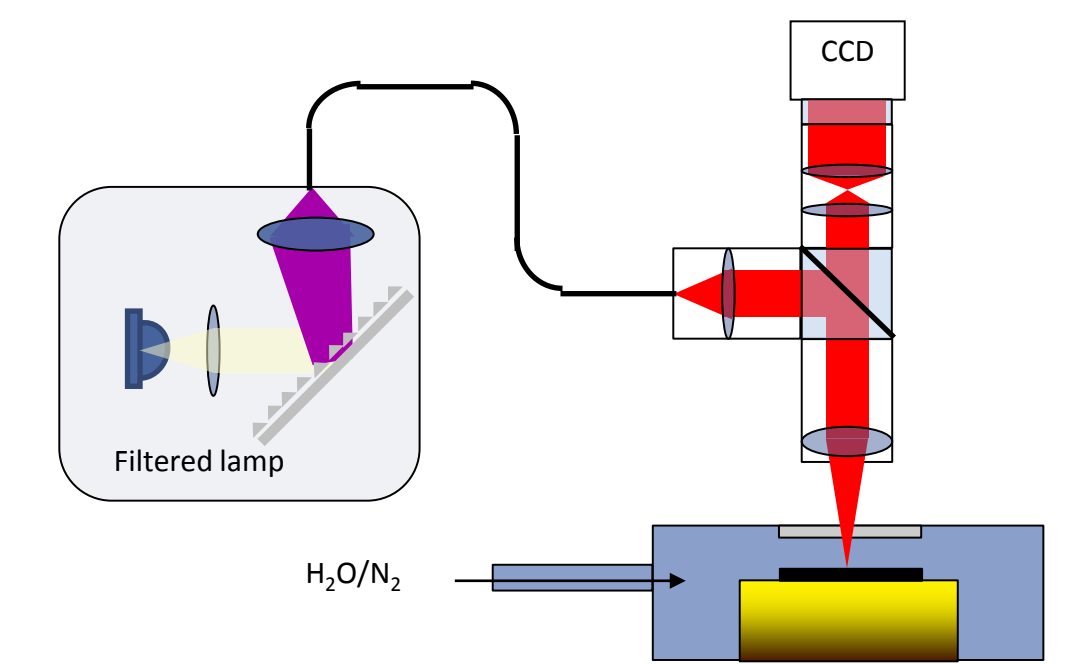
1. D. L. Huffaker et al., *Appl. Phys. Lett.* **65**, 97 (1994).
2. J. M. Dallesasse et al., *Proc. IEEE*, **101**, 2234–2242 (2013).
3. J. M. Dallesasse et al., *J. Appl. Phys.* **68**, 2235–2238 (1990).

Approche Expérimentale

Process « standard »

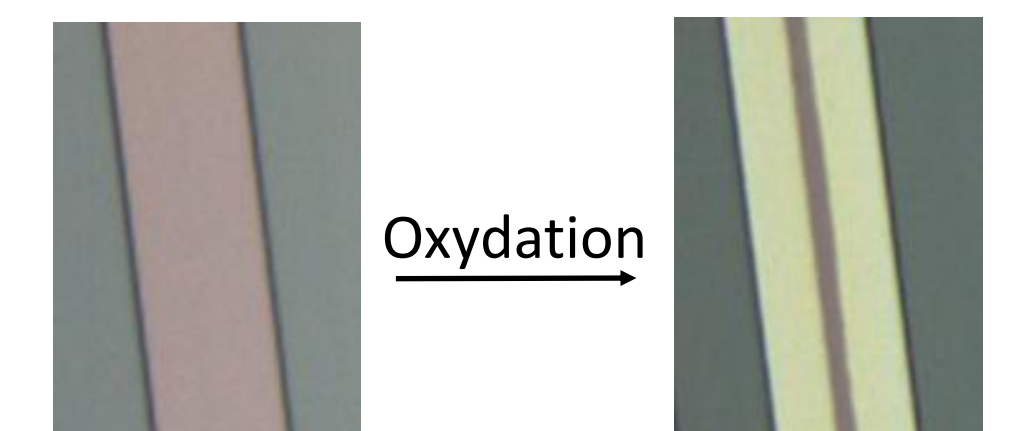


Visualisation in-situ



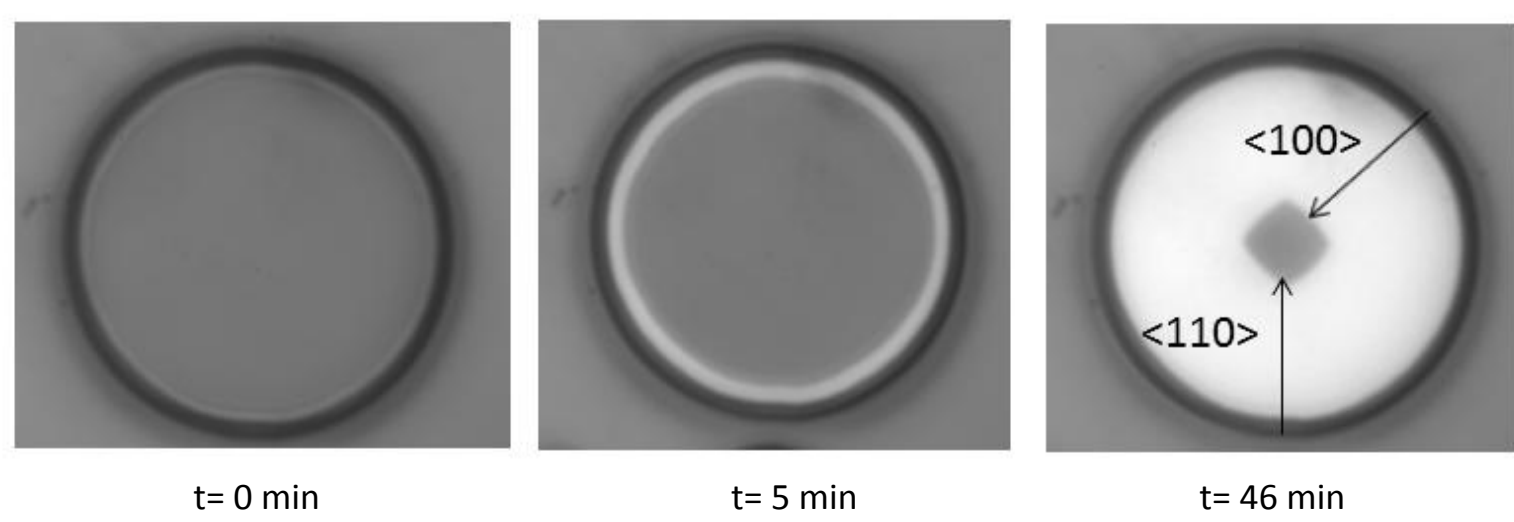
G. Almuneau et al, *Semi. Sc. & Technol.*, **23**, 105021 (2008)

- Lampe spectralement filtrée ($\Delta\lambda \sim 5\text{nm}$)
- Résolution spatiale $\sim 1\mu\text{m}$
- Observation en « temps réel »

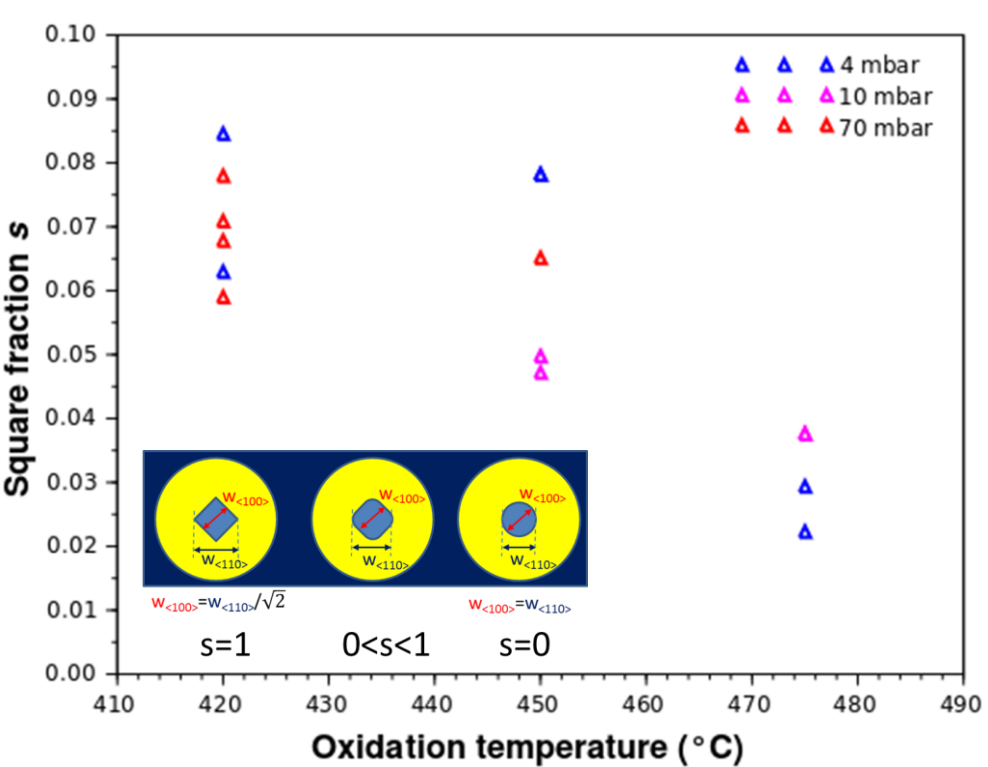


Compréhension / Modélisation / Maîtrise du procédé AlOx

Observations expérimentales



L'anisotropie induit une déformation du front d'oxydation. Pour un méso circulaire, Contour de l'oxyde = combinaison linéaire cercle / carré. L'oxydation est anisotrope avec des directions rapides selon $\langle 100 \rangle$ et des directions lentes selon $\langle 110 \rangle$.



Influence de la température sur l'anisotropie

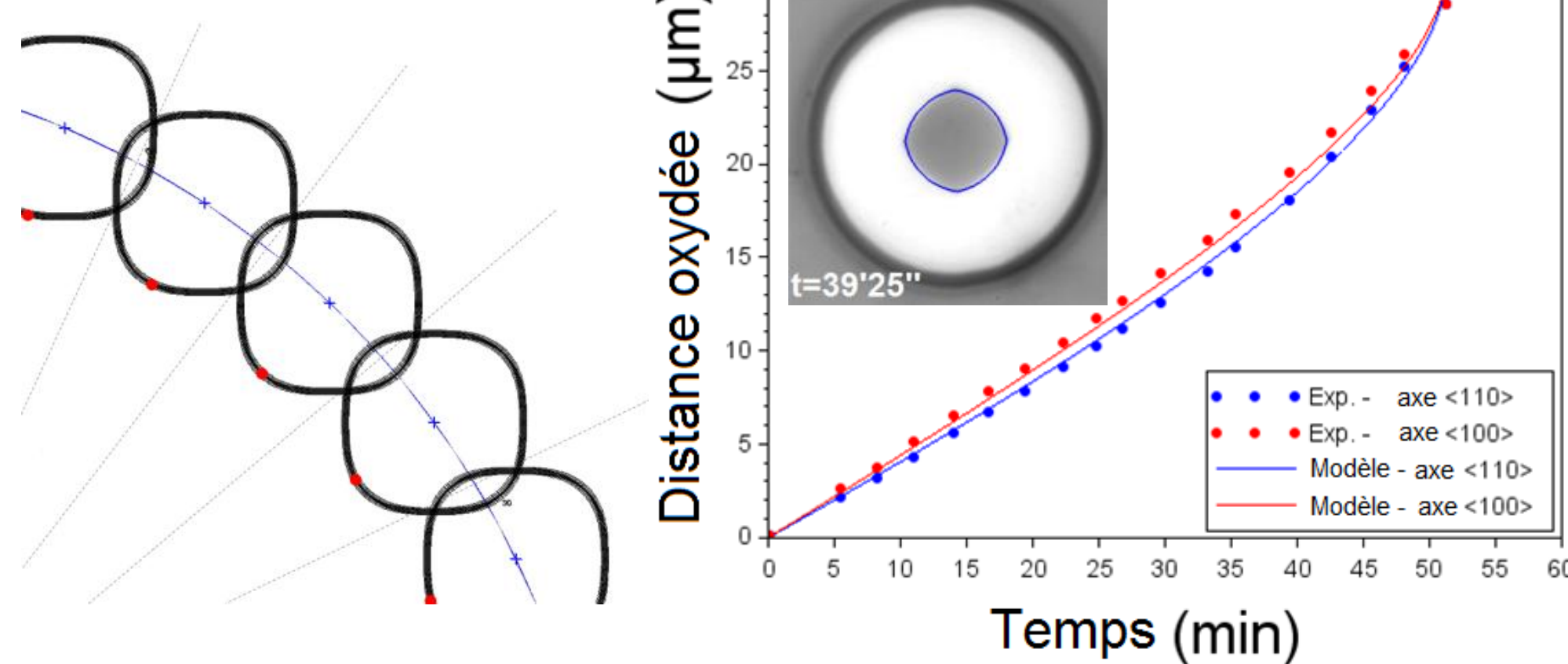
G. Lafleur et al, *Optical Materials Express*, **8** (7), 1788 (2018)

Modélisation

Objectif: Reproduire l'oxydation anisotrope depuis un méso circulaire

Méthode:

- Modèle analytico-numérique
- Extension d'un modèle isotrope
- Méthode itérative
- Oxydation = combinaison d'oxydations ponctuelles

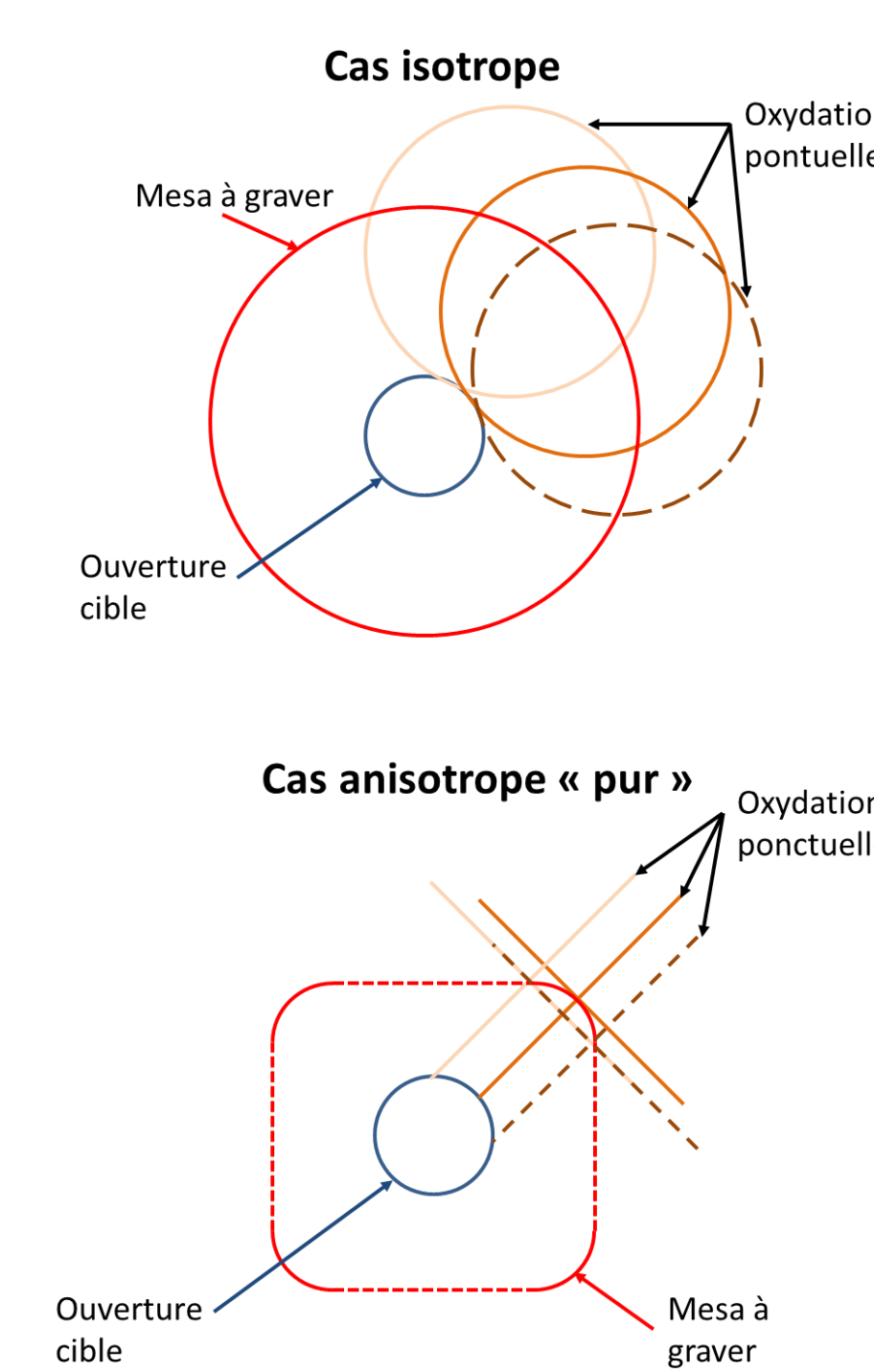


S. Calvez et al, *Optical Materials Express*, **8** (7), 1762 (2018)

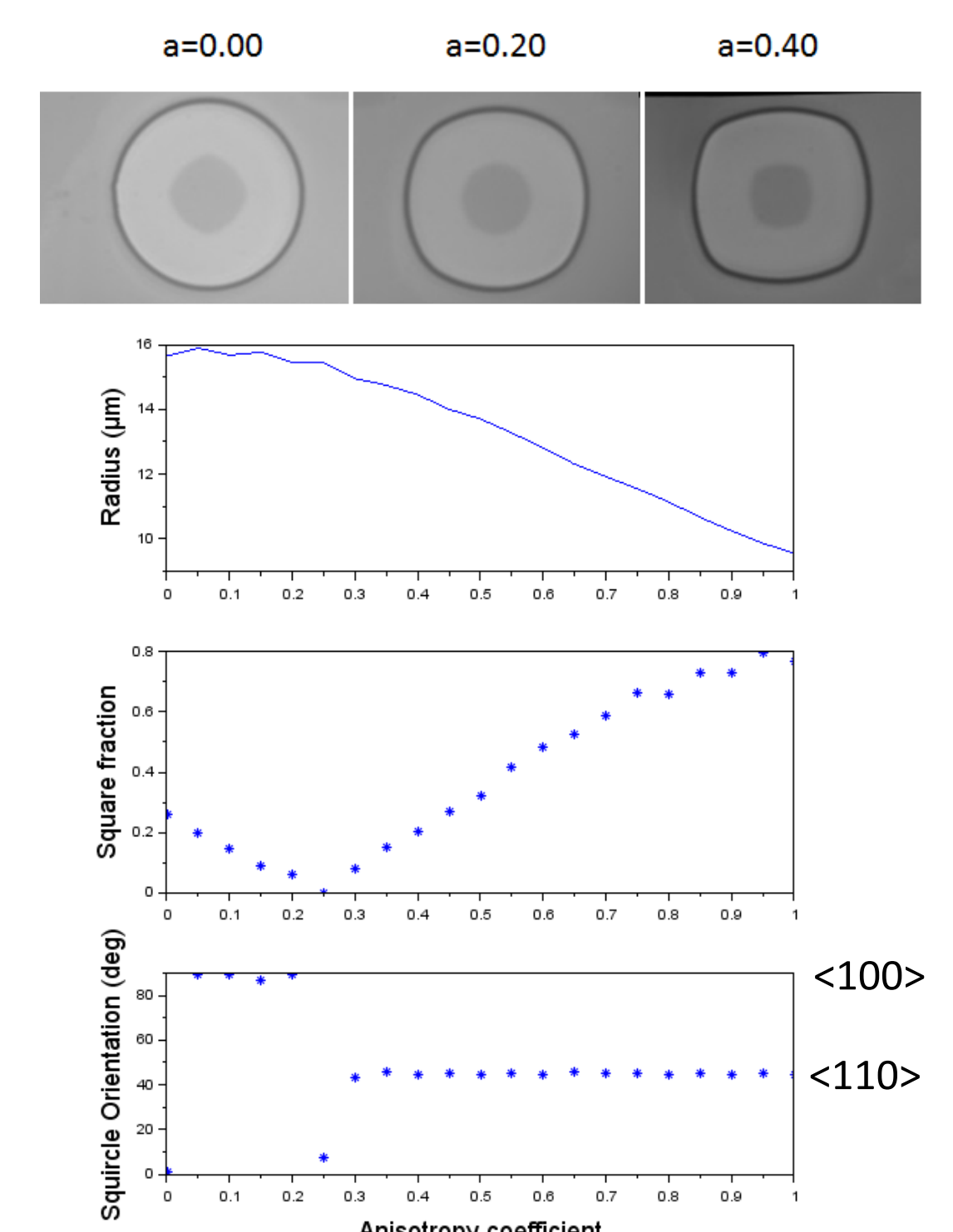
Problème inverse: pré-compensation

Objectif: Définir la géométrie de méso à graver pour obtenir une ouverture cible après oxydation

Méthode



Résultats

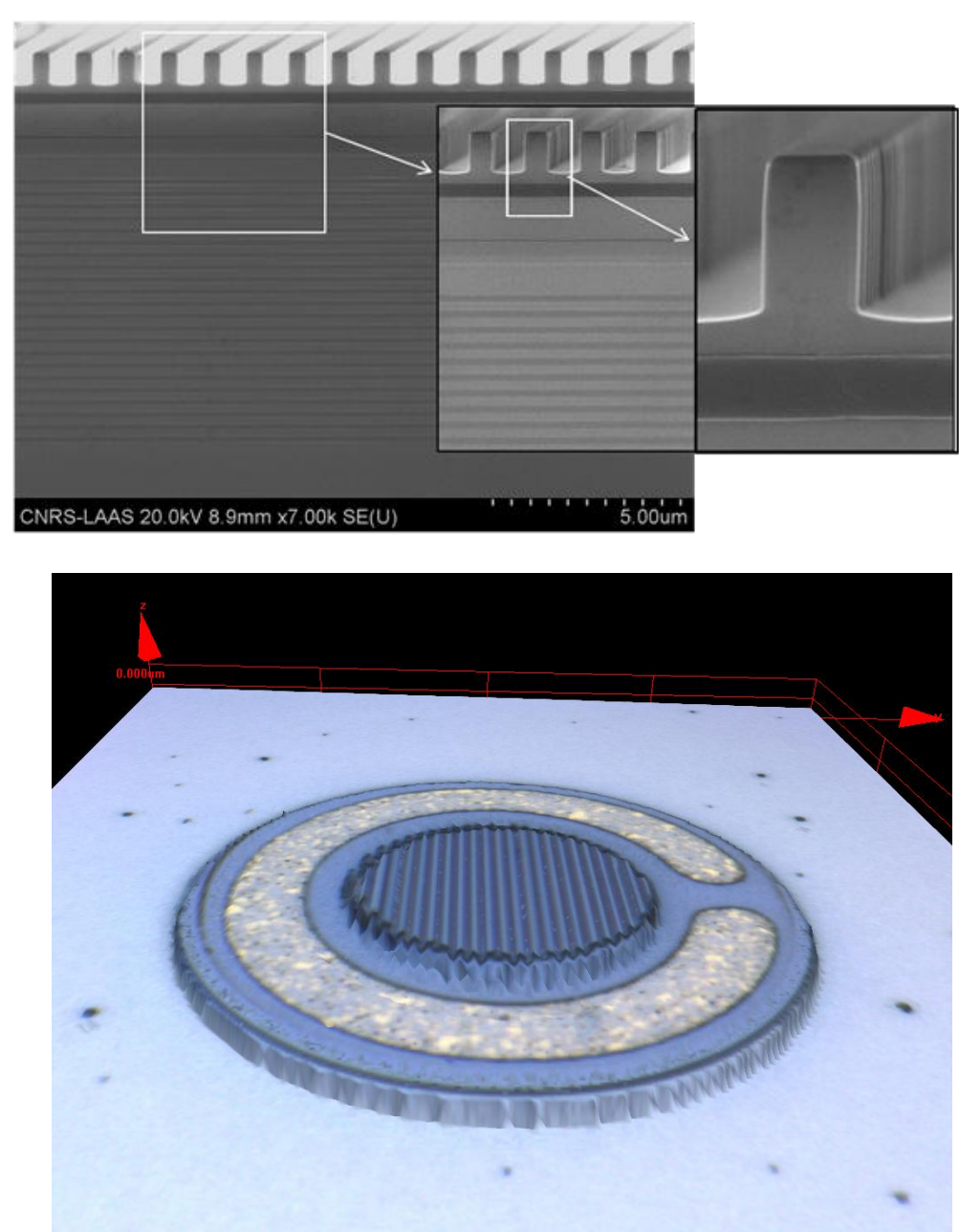


S. Calvez et al, *Semiconductor Science & Technology* **34** (1), 2019

Composants innovants à confinement AlOx

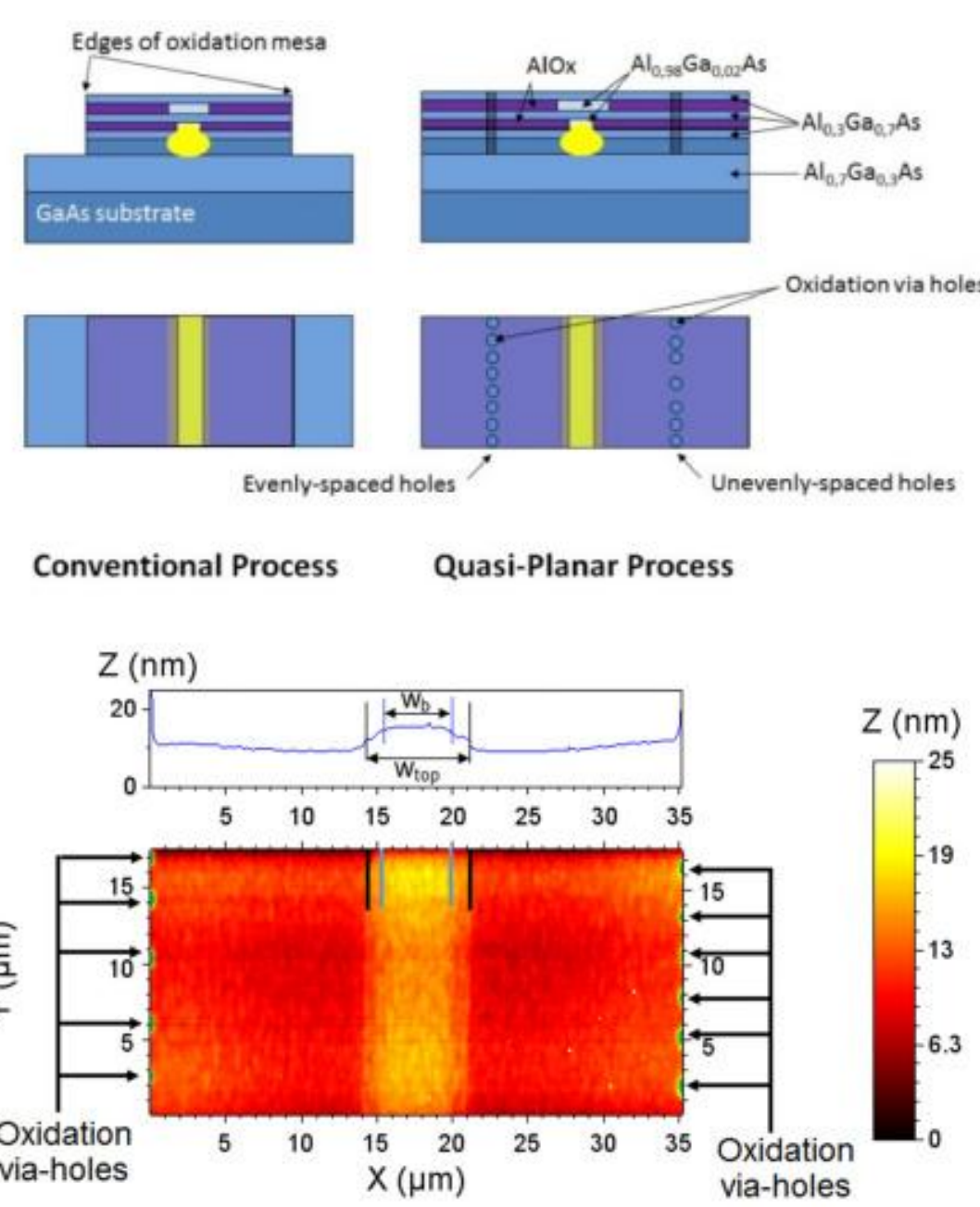
Transfert industriel

VCSEL pour le moyen-infrarouge



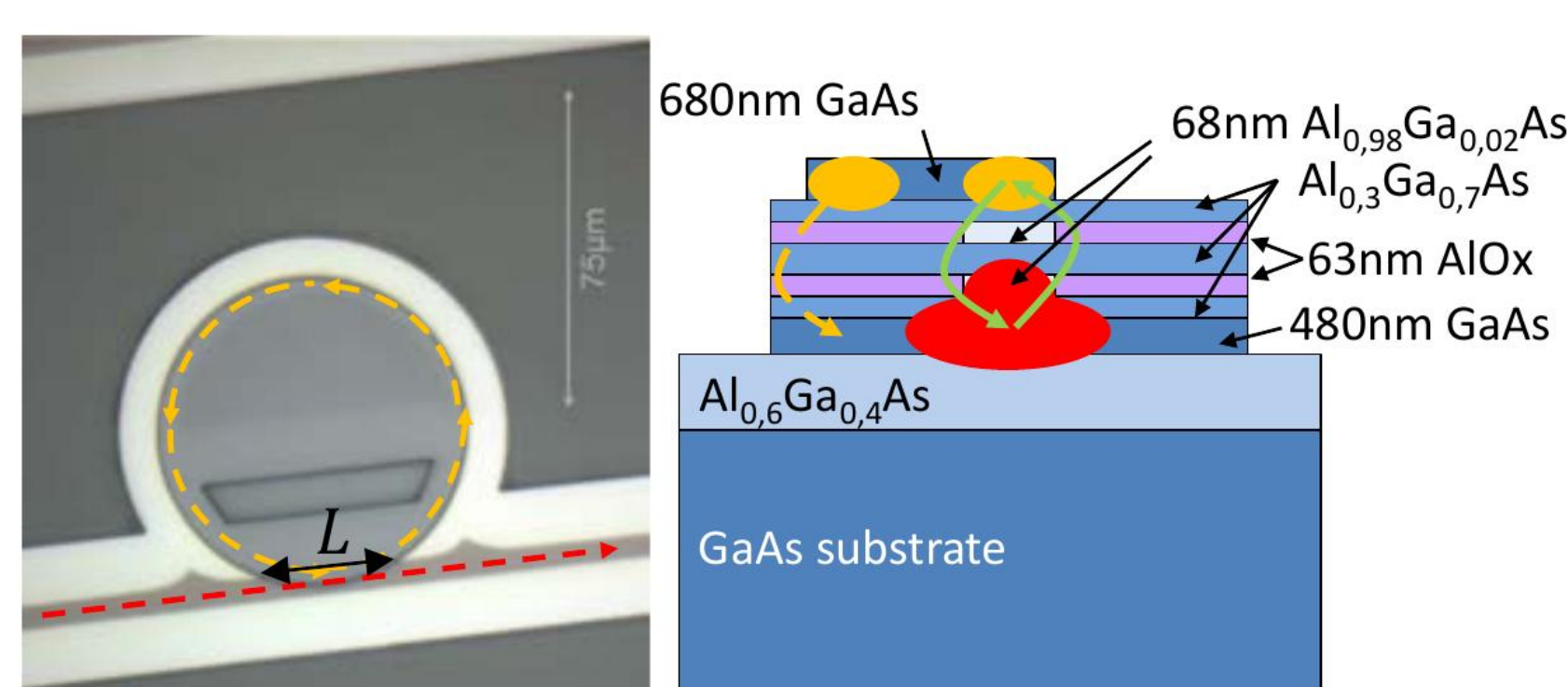
Y. Laaroussi et al, *Optical Materials Express* **3**, 1576-(2013)

Guide d'onde III-V planaire



S. Calvez et al., *Optics Express* **25**, 19275 (2017)

Résonateurs non-linéaires Pour les peignes de fréquence



S. Calvez et al., *Photonics Technol. Lett.*, **27**, 982 (2015)



Four d'oxydation industrielle de production de VCSELS commercialisé par AET Technologies / Aloxtec : alox.aet-technologies.fr

Conclusions

- Compréhension du comportement anisotrope de l'oxydation humide des semiconducteurs III-V riche en Al
- Modélisation numérique tenant compte de cette anisotropie >> modèle prédictif
- Etude de l'influence des conditions d'oxydation sur l'anisotropie
- Modélisation du problème inverse par la définition de la forme du méso
- Exploitation de l'oxydation sélective (AlOx) pour l'ingénierie des confinements électrique et optique
- Démonstrations originales sur des composants photoniques à géométries innovantes
- Exploitation aux nouveaux domaines de la photonique : sources moyen-infrarouge, optique nonlinéaire intégrée
- Transfert industriel d'un four instrumenté vers la PME française ALOXTEC pour la production de VCSELS