



04/02/2021 – COS

Platform of Reliability tOOLs for Failure analysis dedicated to  
wide bandgap devices

# Identification des défauts dans les matériaux semi-conducteurs et leurs localisations par techniques spectroscopiques

Richard Monflier  
LAAS-CNRS



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL



Interactions de rayonnement avec la matière

→ Peut causer une redirection du rayonnement et/ou des transitions entre les niveaux d'énergies des atomes ou des molécules.



Accéder aux propriétés intrinsèques du matériau

Quel intérêt pour les semi-conducteurs ?

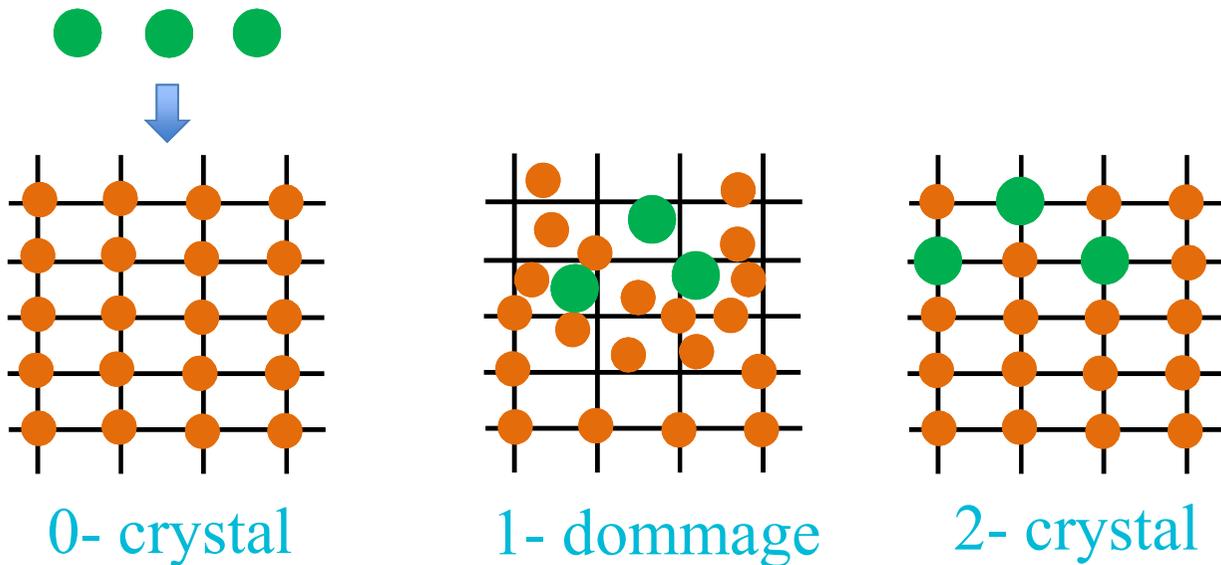
- > Evaluer une étape technologique (gravure, nettoyage de surface, recuit laser)
- > Aider à la maturation d'un matériau
- > Fiabiliser les dispositifs

- > Contexte : le recuit laser nanoseconde sur Silicium
- > Identification et localisation des défauts par PL
- > Origine des impuretés par SIMS
- > Etude des pièges par DLTS
- > Conclusion

# Optimisation des couches : dopage

Modification des propriétés électriques d'un matériau semi-conducteur :

1. Introduction d'impuretés « dopantes » : implantation ionique, *in situ* (épitaxie),...
2. Restauration du réseau & activation des dopants : **recuit thermique**



Paramètres du recuit :

- Durée → Diffusion
- Température → Activation

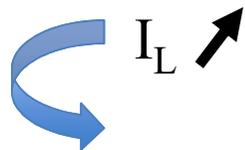
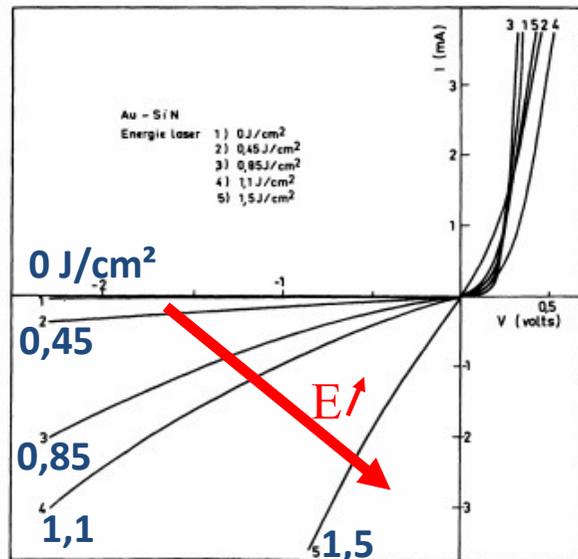
Miniaturisation :

Durée ↓ et Température ↑

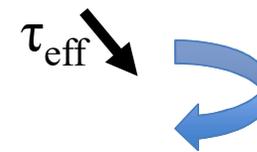
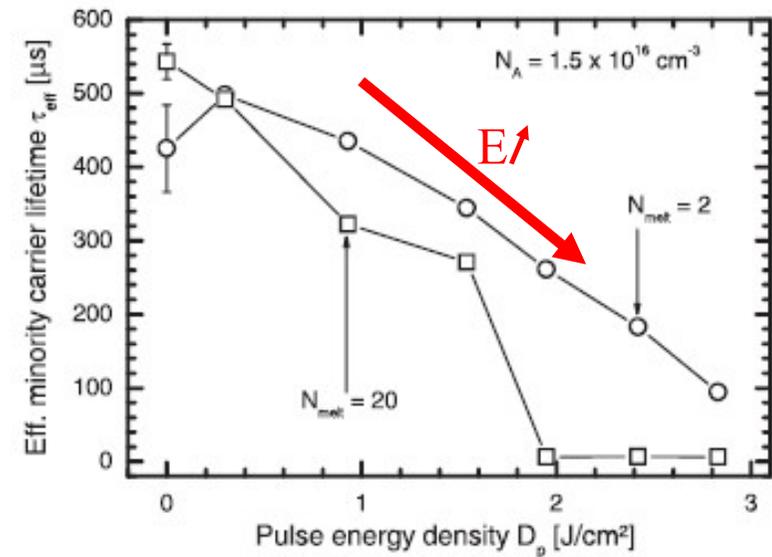
**Recuit laser nanoseconde (LTA)**

Mais ...

### Courant inverse



### Durée de vie des porteurs minoritaires



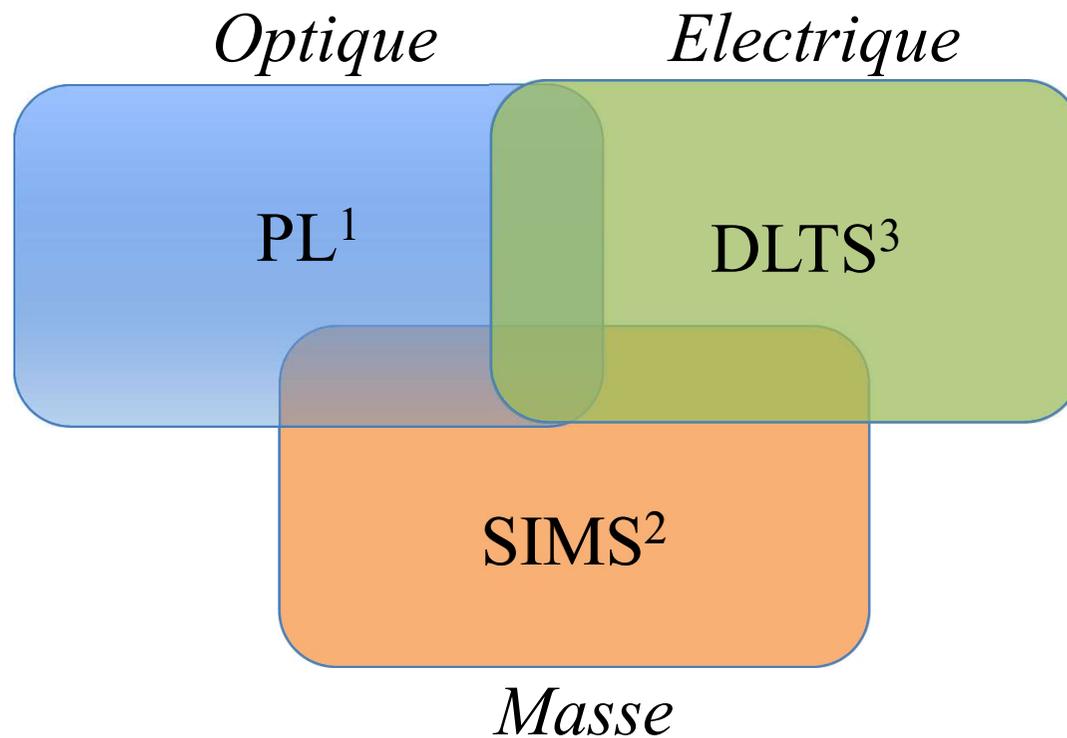
LTA → Introduction de défauts

**Lesquels ?**

[1982, Revue Phys. Appl., vol. 17, pp. 687-692]

[2012, JAP 111, 114515]

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID



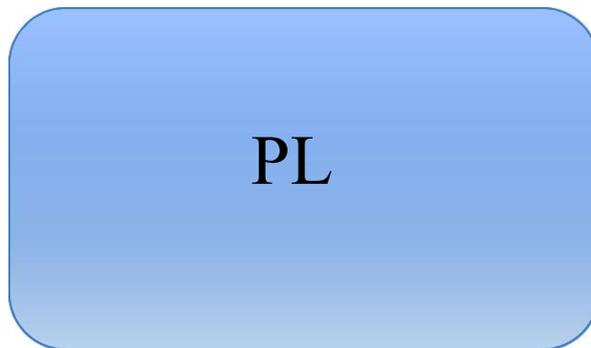
<sup>1</sup>*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

<sup>2</sup>*Secondary Ion Mass Spectrometry*

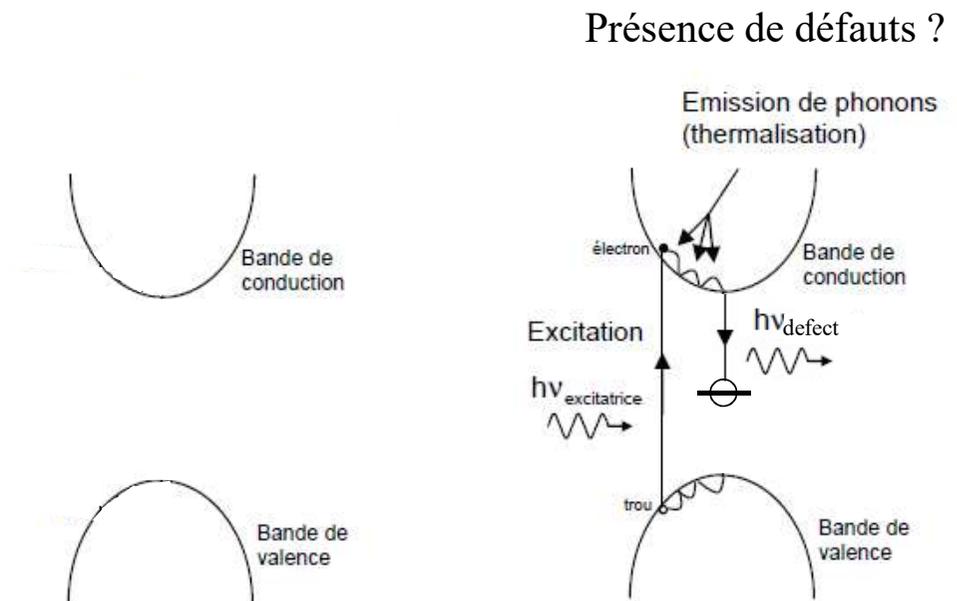
<sup>3</sup>*Deep Level Transient Spectroscopy*

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID

*Optique*

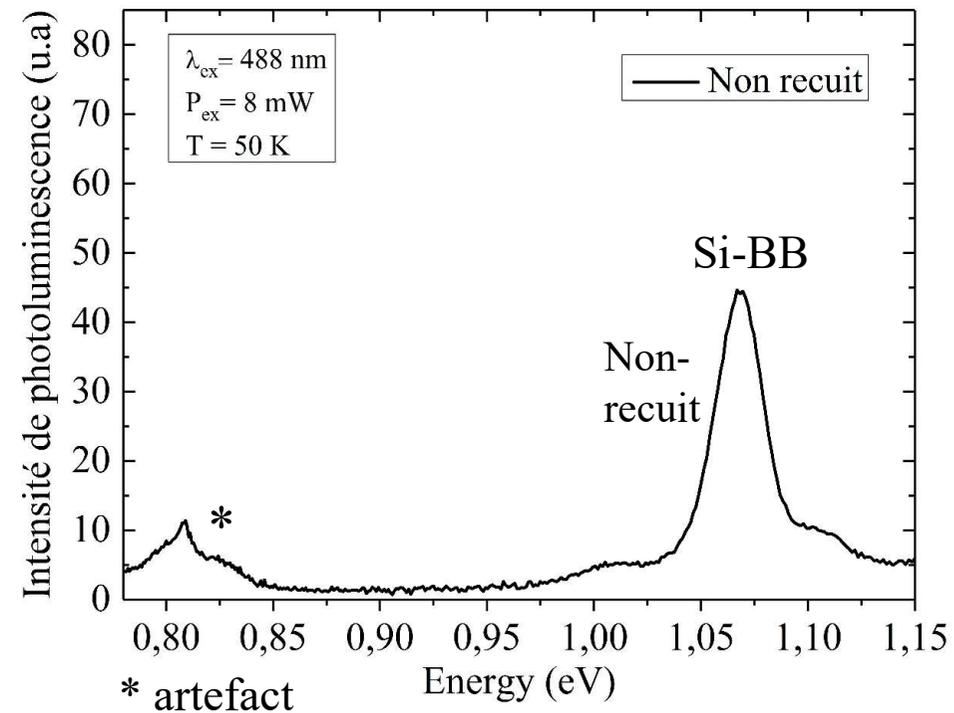
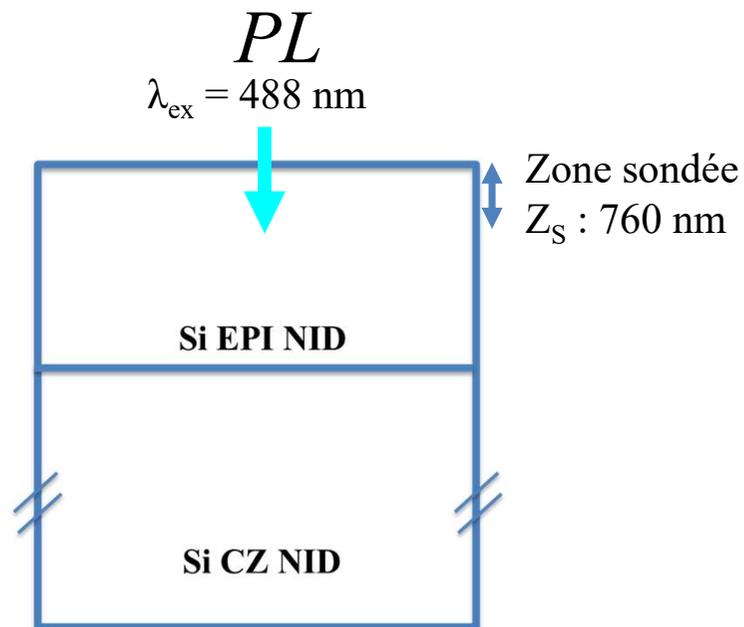


- Energie  $>$  gap du matériau
- Génération de paires électron/trou
- Recombinaison

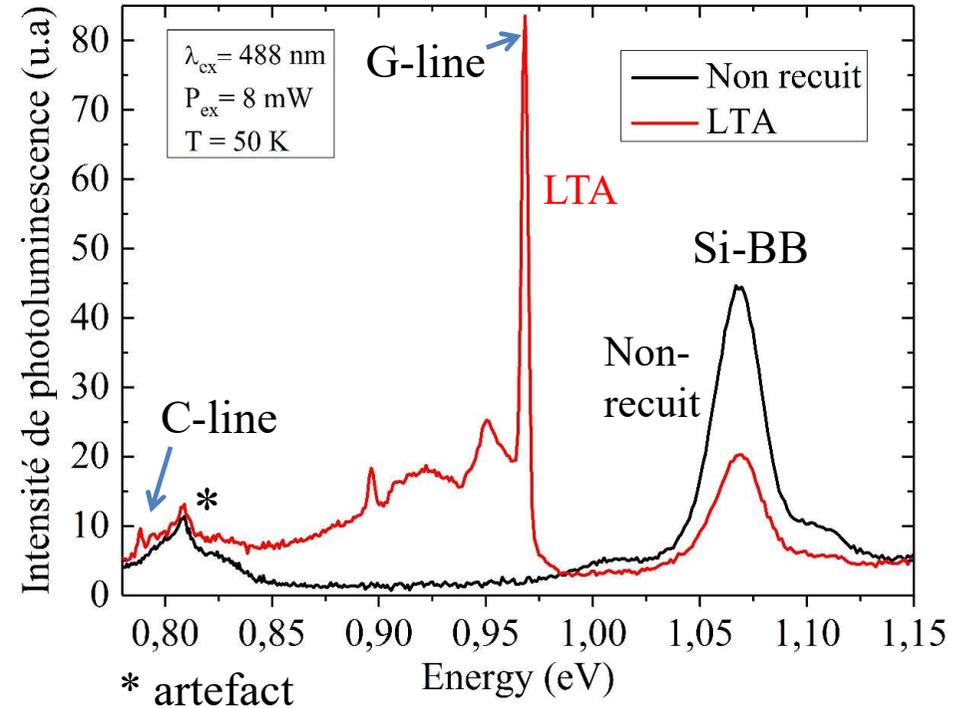
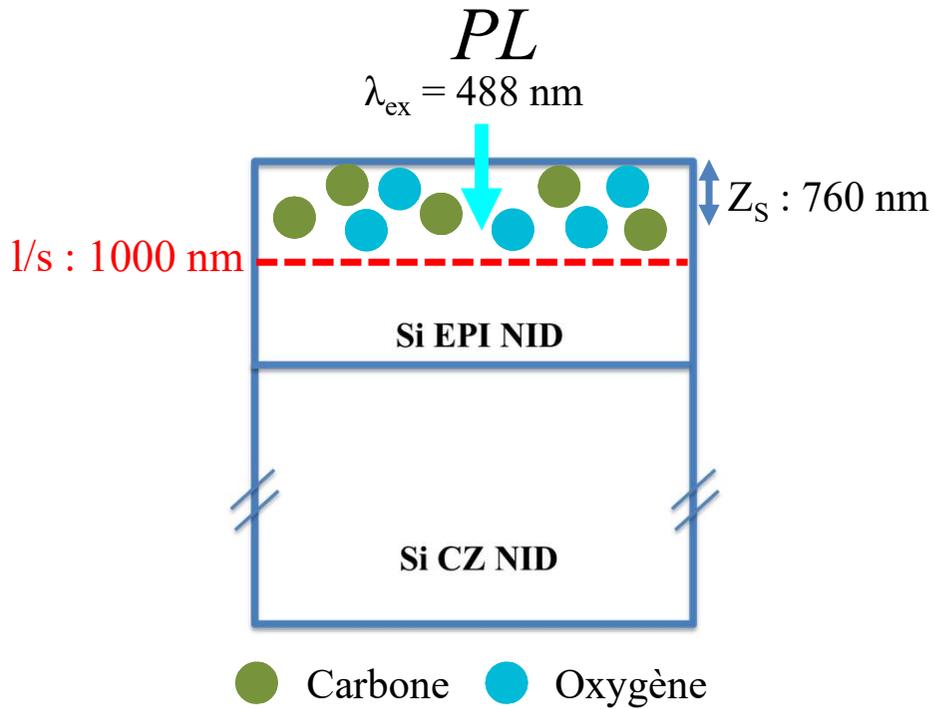


*Processus de photoluminescence [1]*

# Identification et localisation des défauts par PL (1/4)



# Identification et localisation des défauts par PL (2/4)



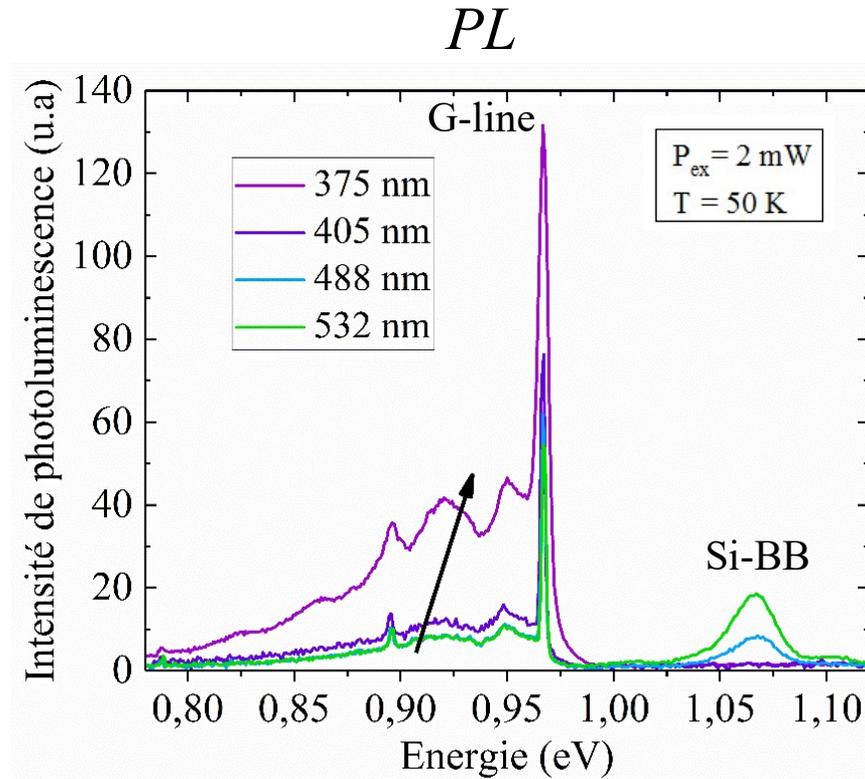
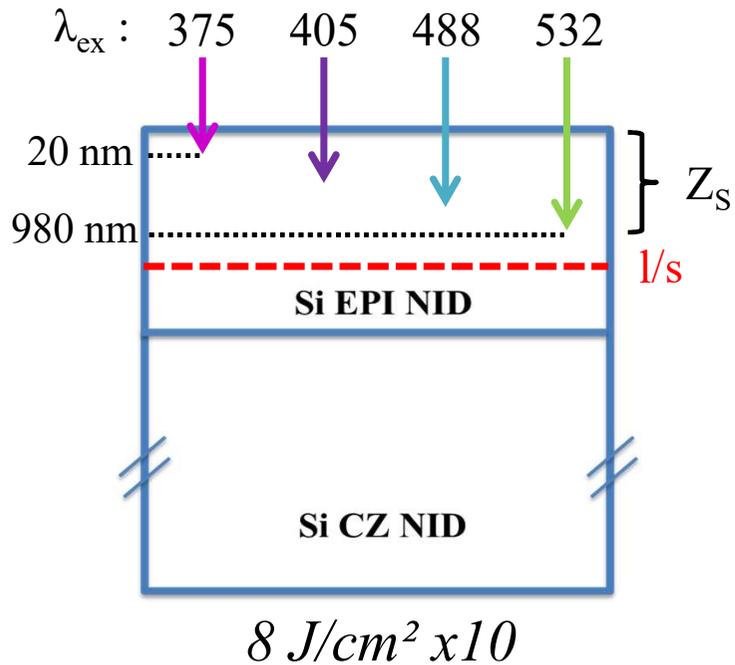
✓ Pic à 0,97 eV → G-line ( $C_s-C_i$ )

✓ Pic à 0,79 eV → C-line ( $C_i-O_i$ )

→ Défauts liés au carbone et à l'oxygène

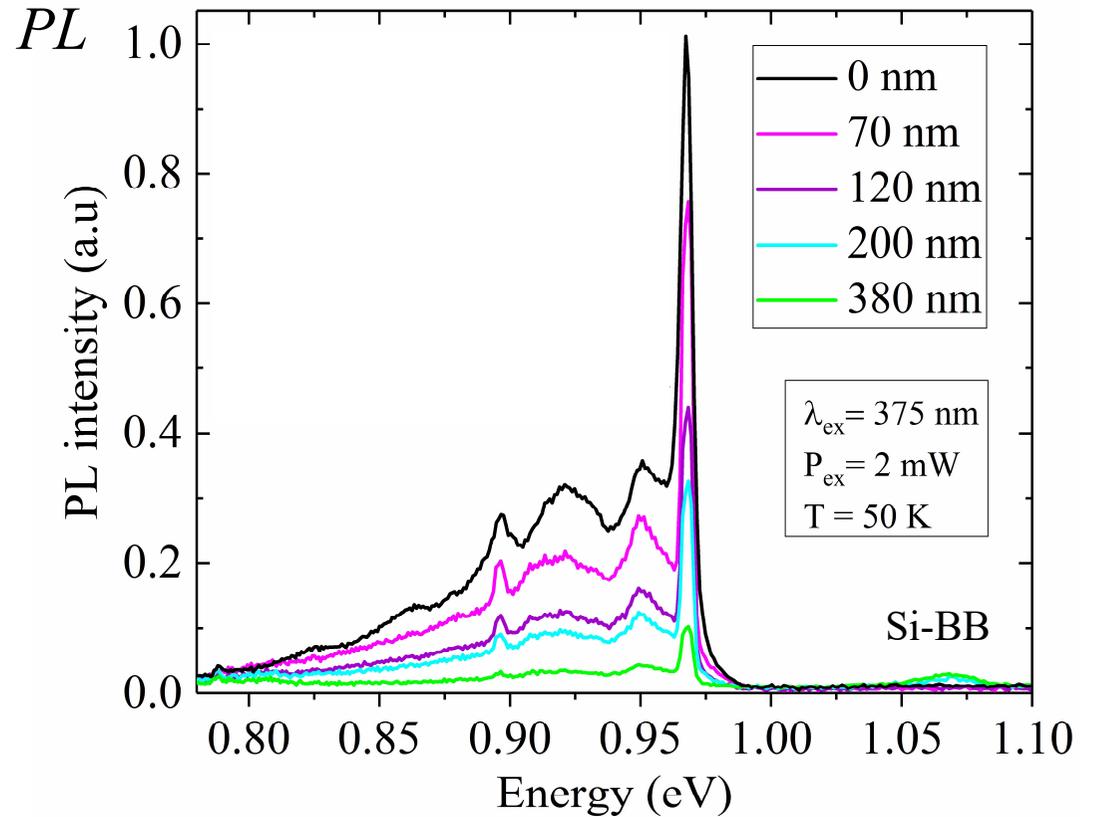
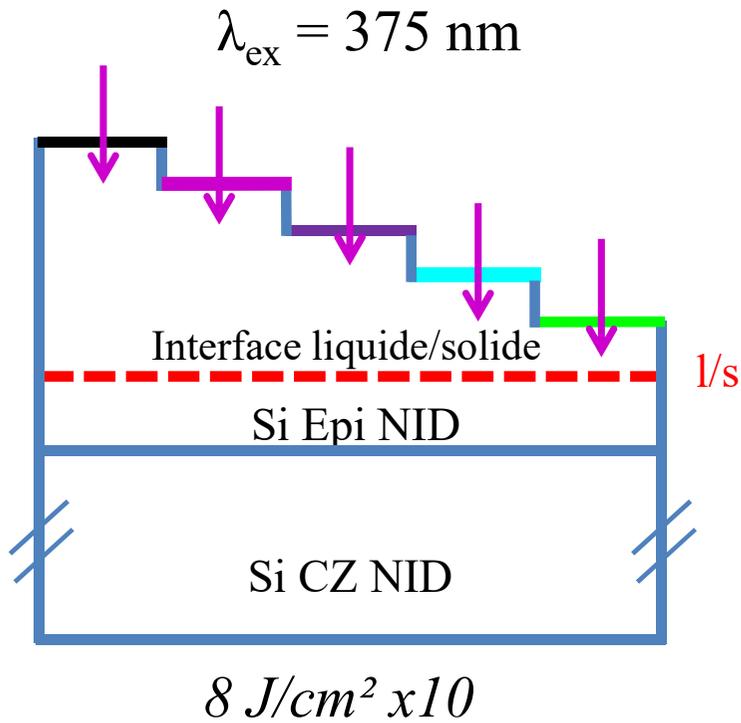
Localisation ?

# Identification et localisation des défauts par PL (3/4)



→ Intensités des défauts ↗ quand  $\lambda_{\text{ex}}$  ↘

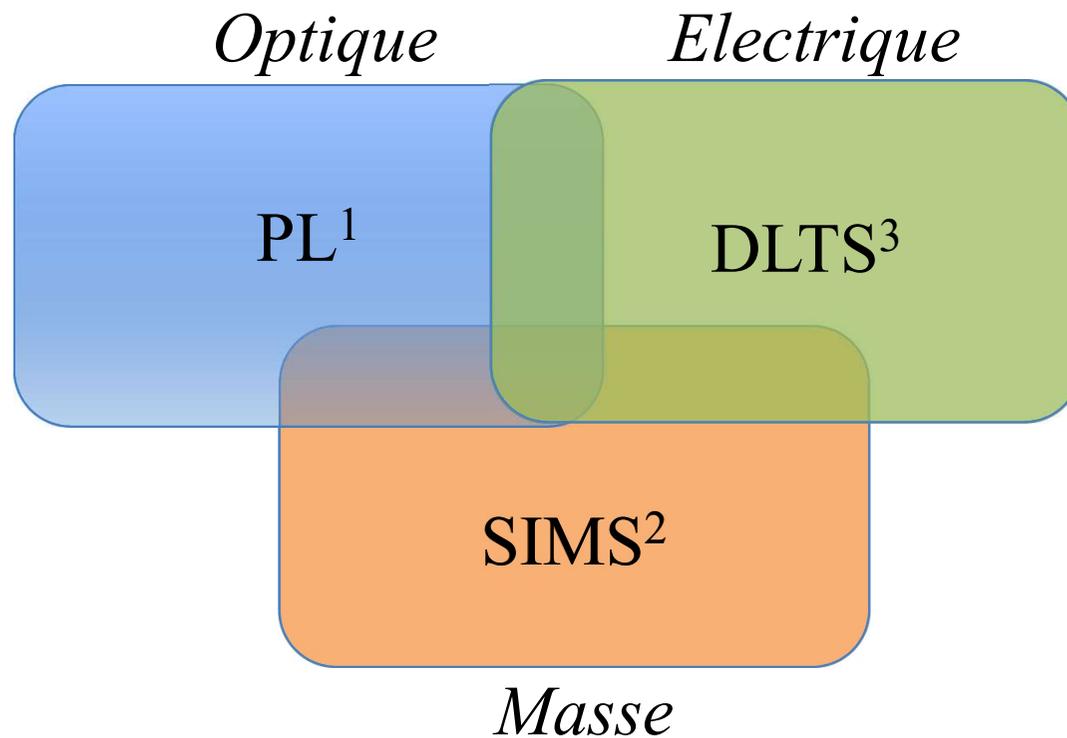
↳ + de défauts près de la surface ?



→ Confirmation : Plus grande densité de défauts près de la surface

Origine des impuretés ?

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID



<sup>1</sup>*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

<sup>2</sup>*Secondary Ion Mass Spectrometry*

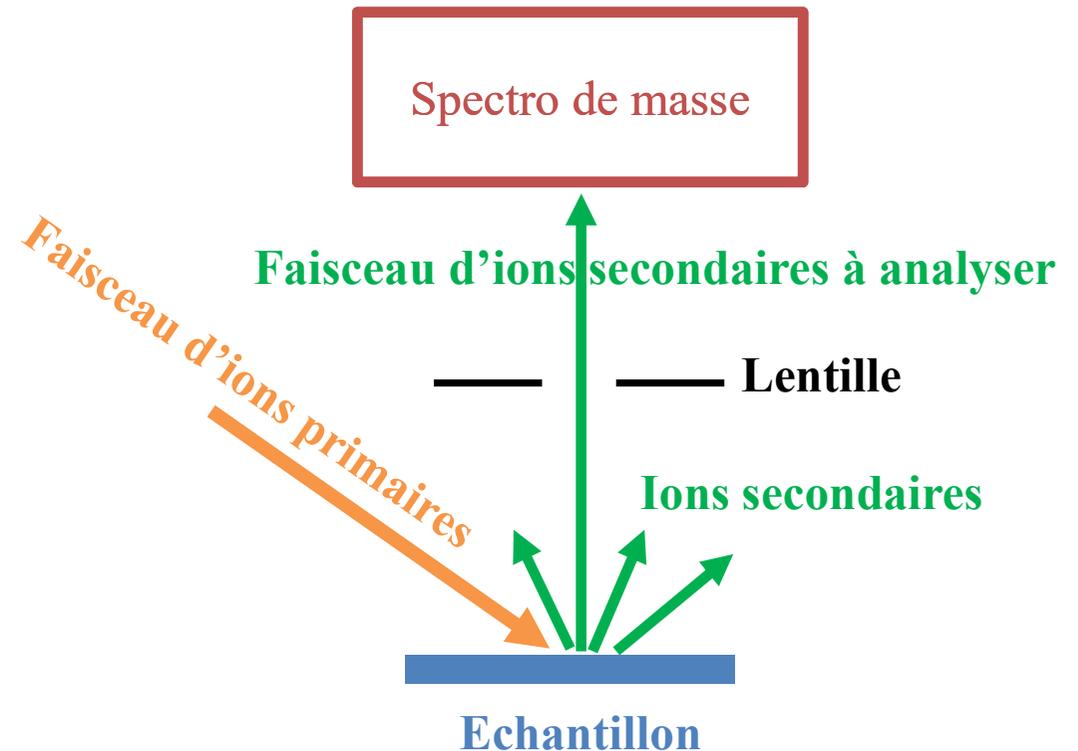
<sup>3</sup>*Deep Level Transient Spectroscopy*

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID



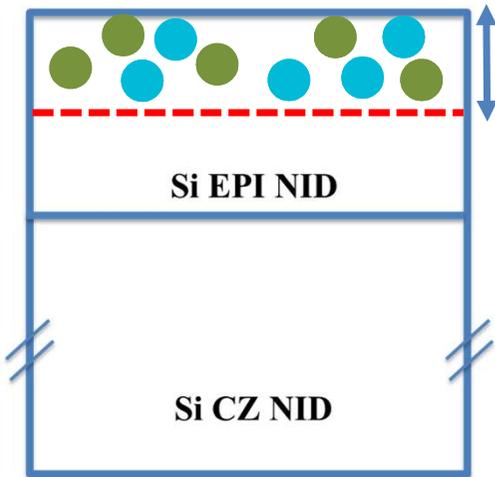
*Masse*

- Bombardement avec un faisceau d'ions
- La matière pulvérisée est ionisée
- Mesure de la composition élémentaire



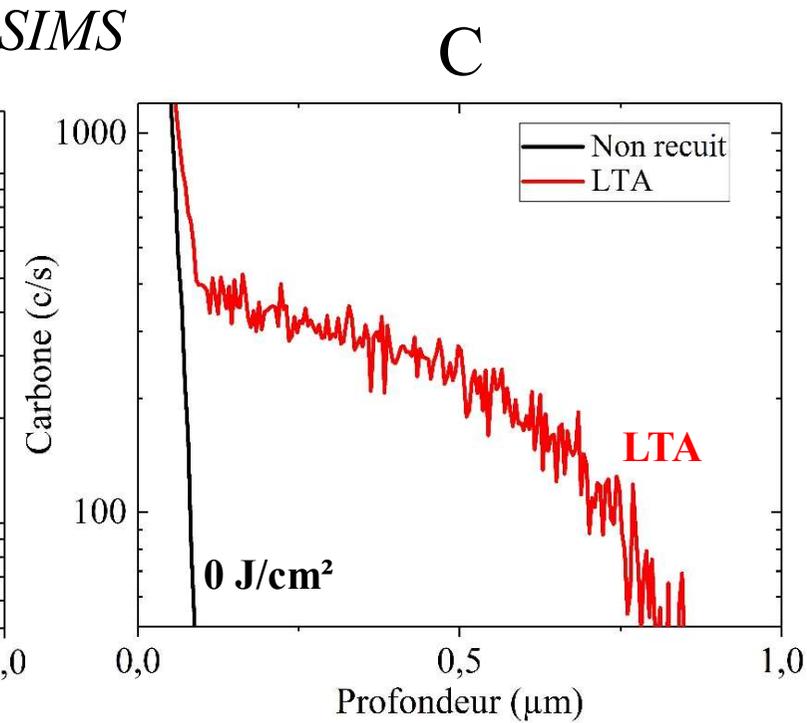
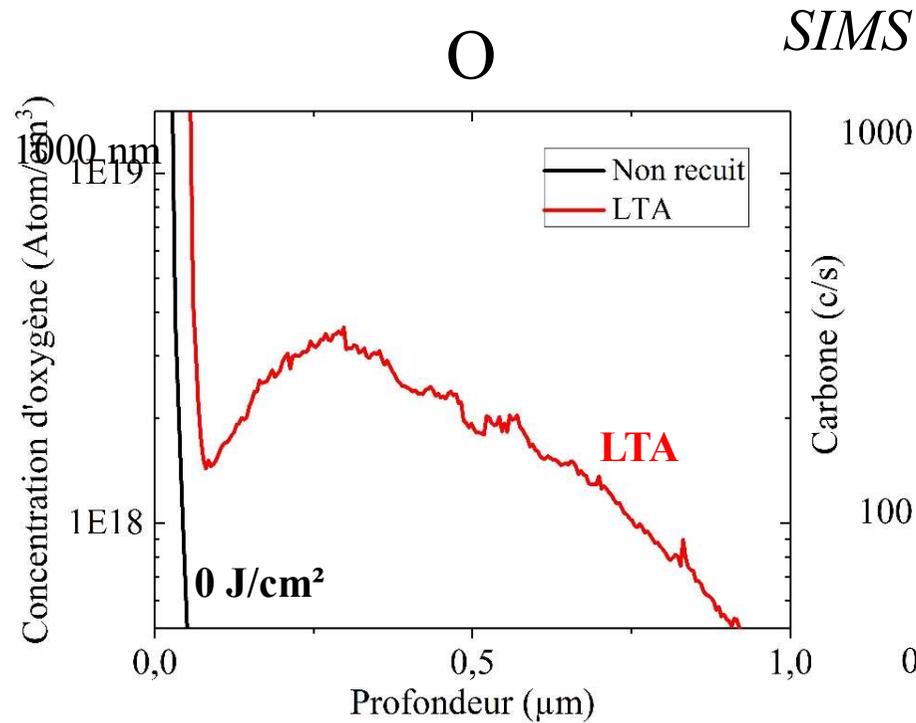
# Origine des impuretés par SIMS (1/6)

● Carbone ● Oxygène



→  $C_i-O_i$

→  $C_i-C_s$



→  $[O] >$  de 3 ordres de grandeur

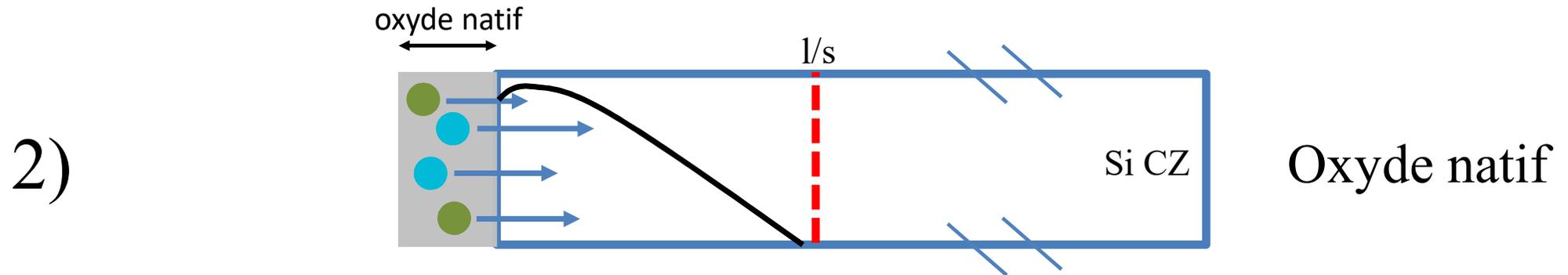
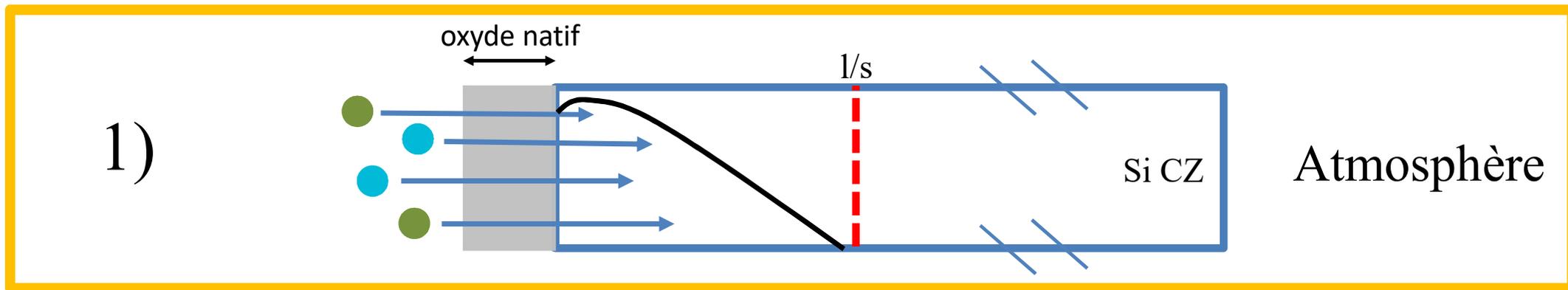
→  $[C] \uparrow$

✓ Confirmation O et C

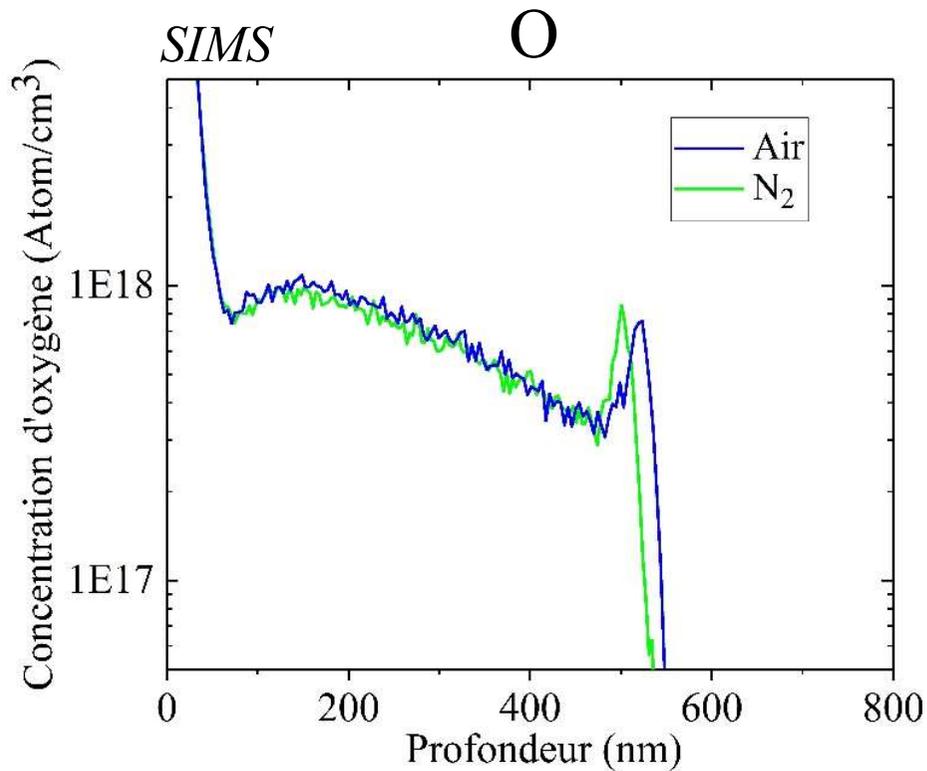
# Origine des impuretés par SIMS (2/6)

● Carbone ● Oxygène

→ 2 hypothèses :



# Origine des impuretés par SIMS (3/6)



*3,6 J/cm<sup>2</sup> - 10 tirs*

Profils SIMS obtenus sur silicium recuit sous deux environnements différents :

→ Air ambiant

→ Azote



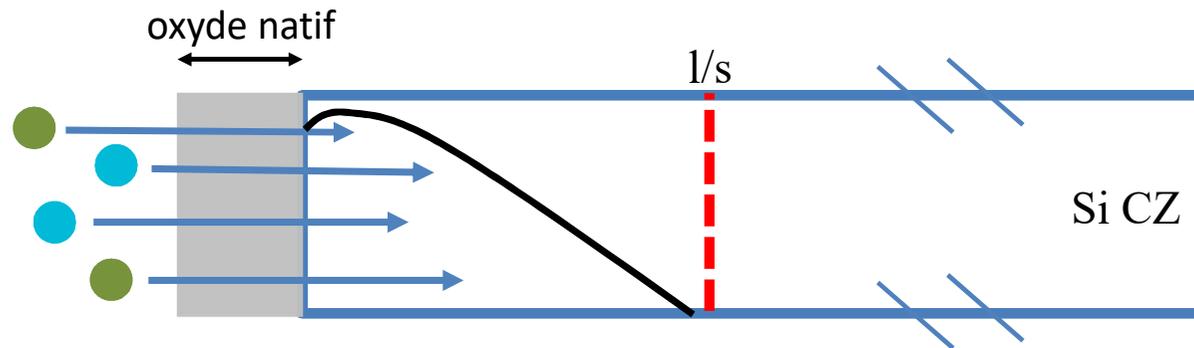
Aucune différence

# Origine des impuretés par SIMS (4/6)

● Carbone ● Oxygène

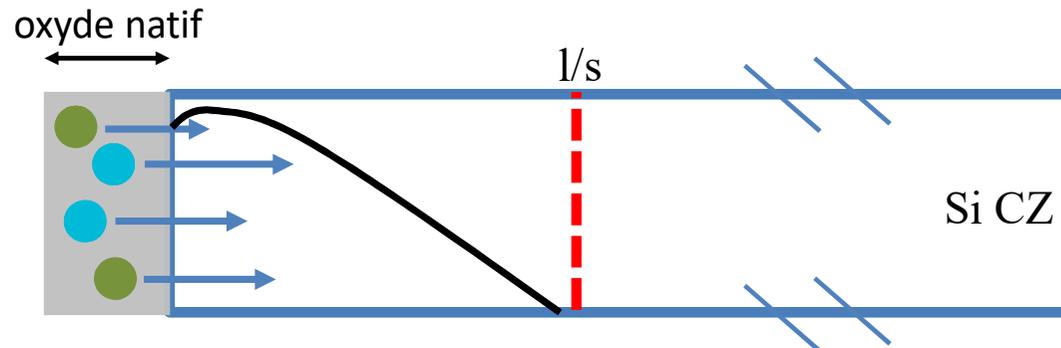
→ 2 hypothèses :

1)



~~Atmosphère~~

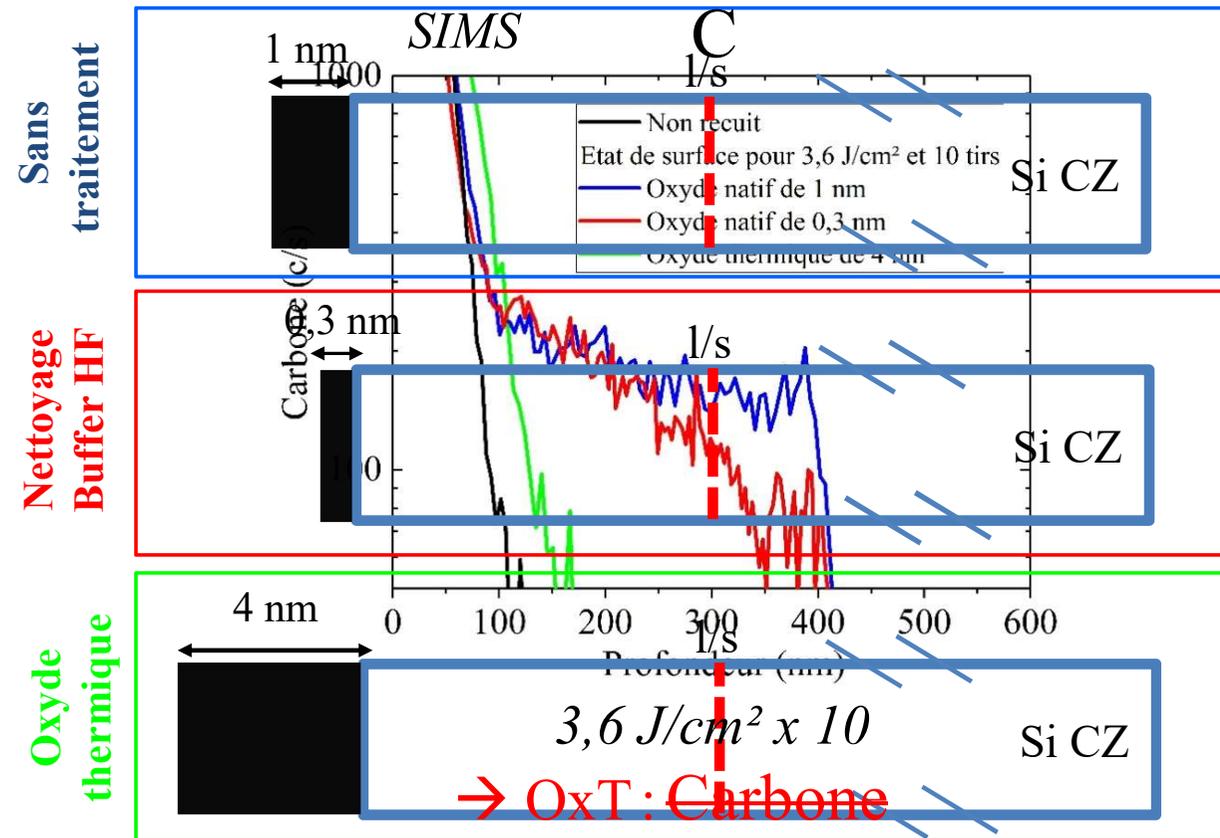
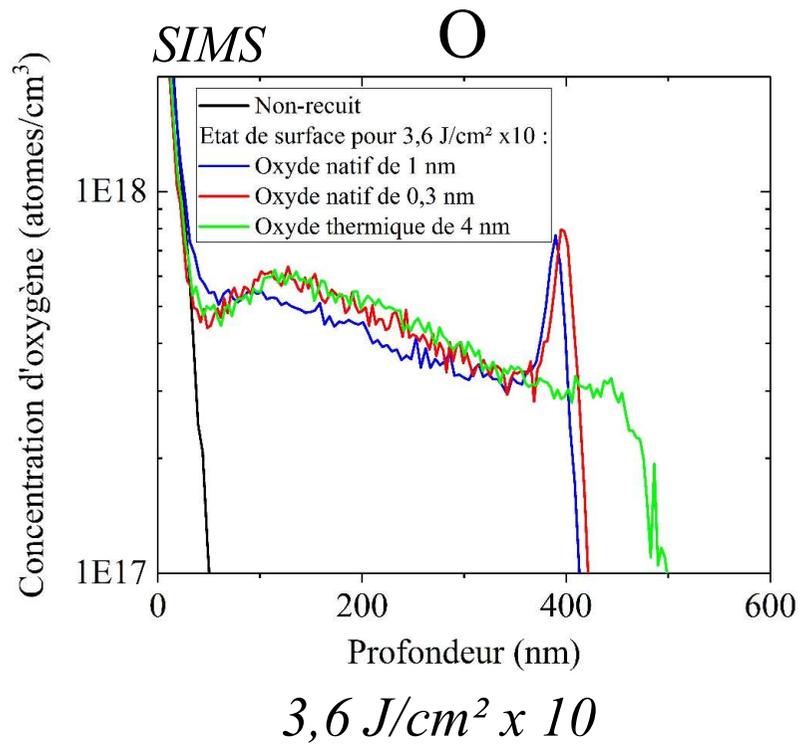
2)

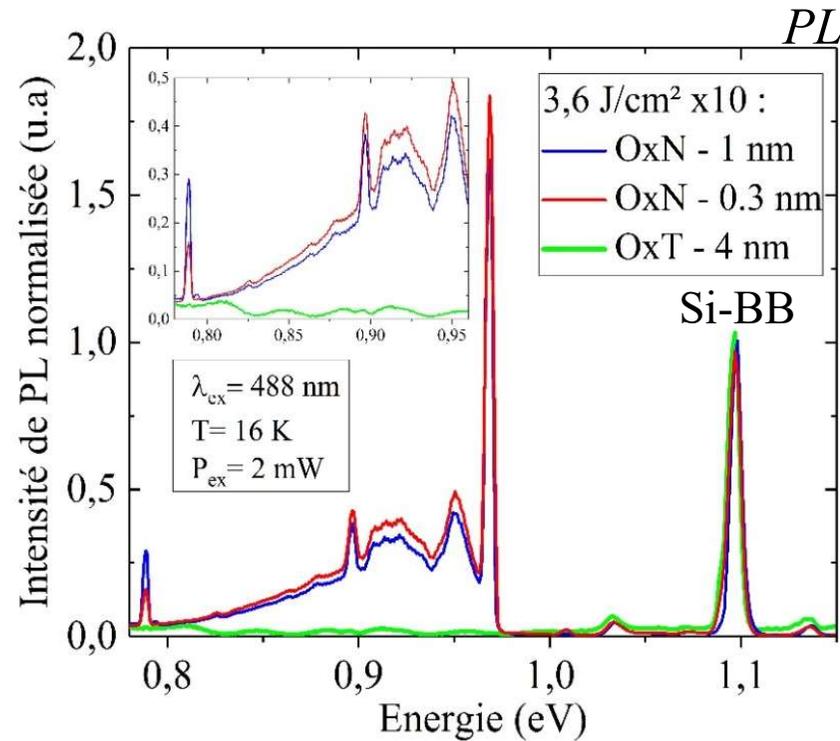


Oxyde natif

# Origine des impuretés par SIMS (5/6)

→ Mesures SIMS sur des échantillons avec différents états de surface

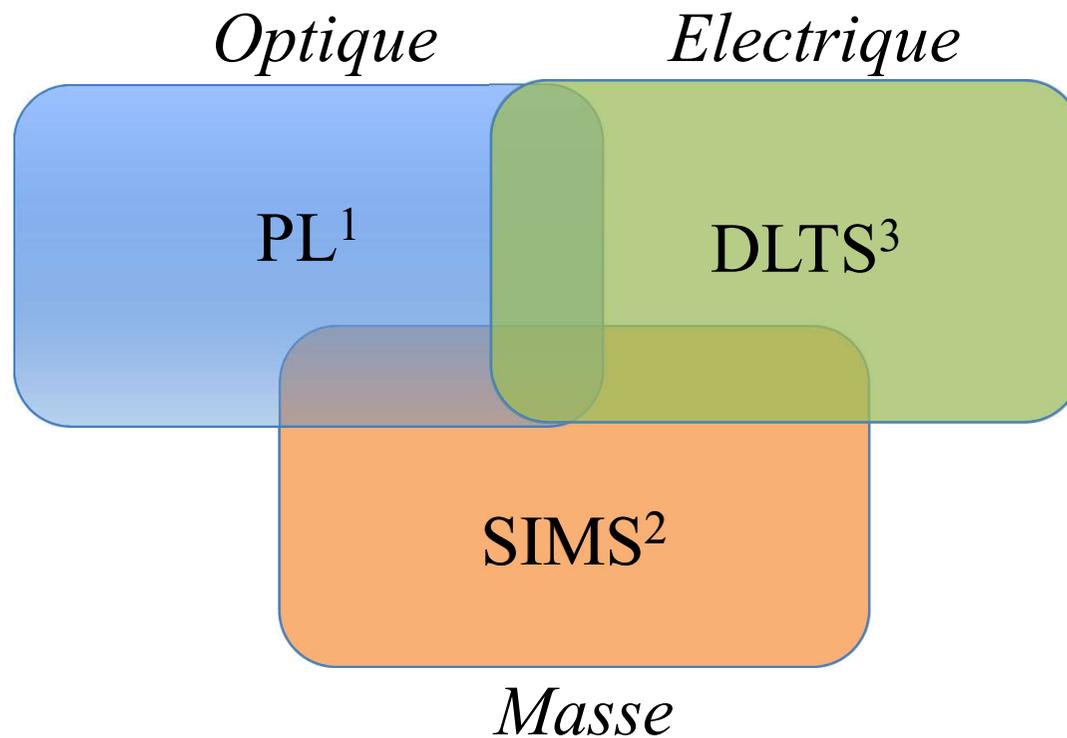




→ Tous défauts observés en PL sont liés aux impuretés de carbone

Electrique ?

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID



<sup>1</sup>*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

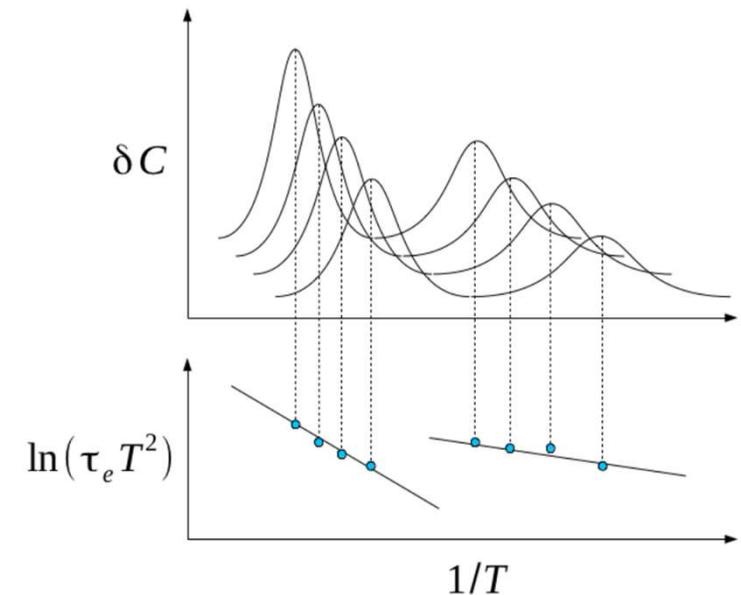
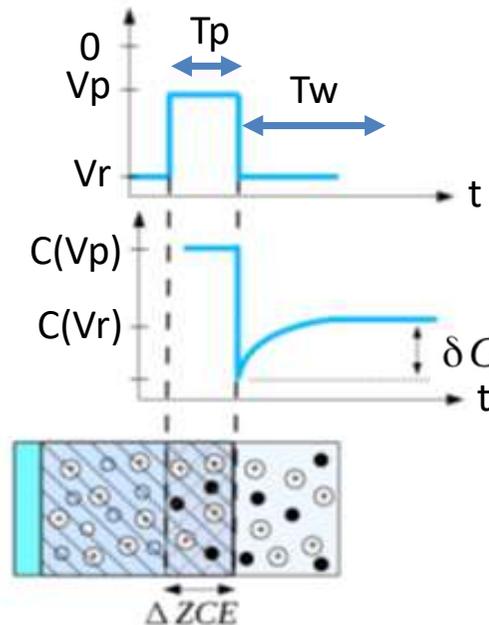
<sup>2</sup>*Secondary Ion Mass Spectrometry*

<sup>3</sup>*Deep Level Transient Spectroscopy*

→ Etude systématique des défauts induits par LTA dans du silicium NID

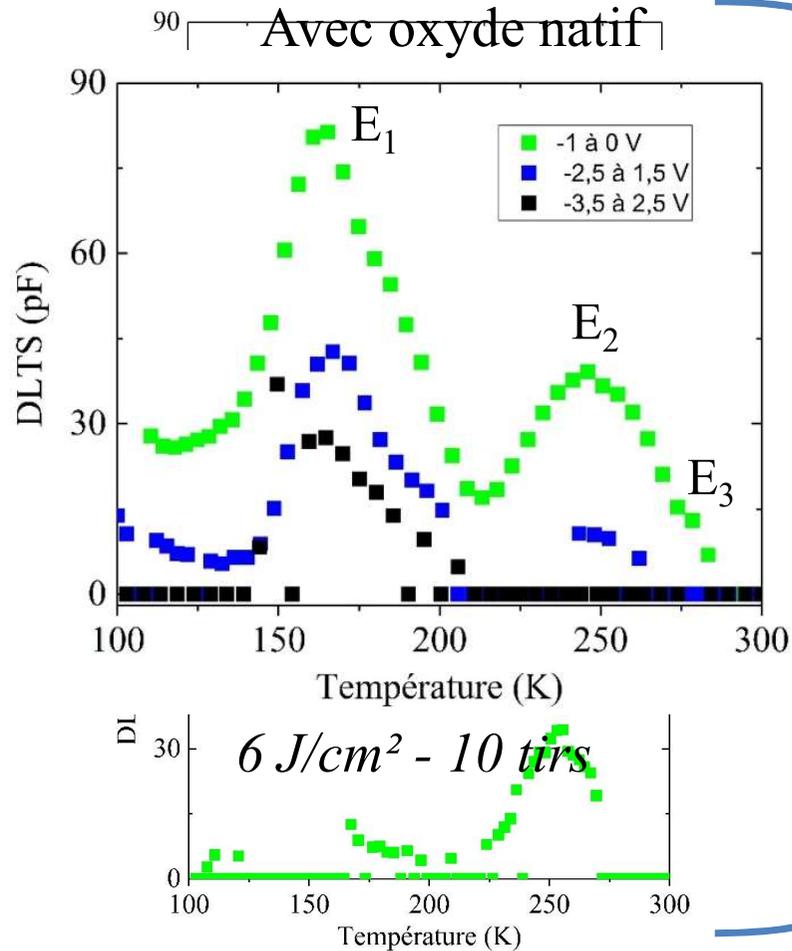
*Electrique*

DLTS

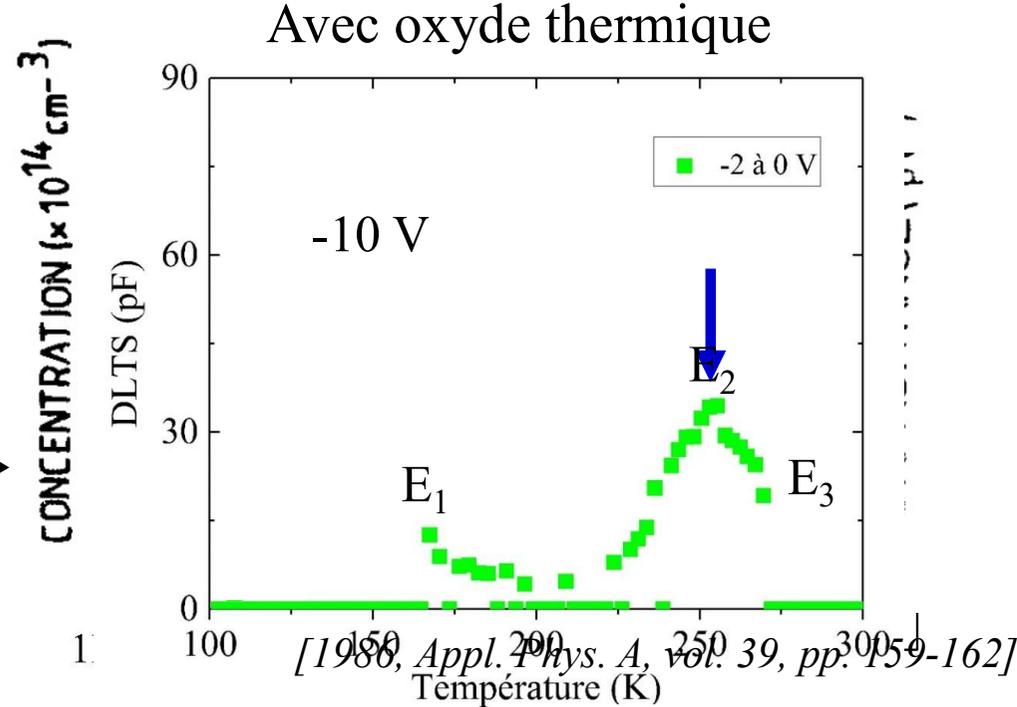
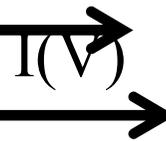


- $V_r \rightarrow$  Dépeuplement
- $V_p$  pendant  $T_p \rightarrow$  Remplissage des pièges
- $V_r$  pendant  $T_w \rightarrow$  Ré-émission des porteurs capturés

# Etude des pièges par DLTS



Similaire à Diodes sans C



- lacunes  $6 J/cm^2 - 10 |V_{rs} O|$
- di-lacunes  $- |V^2 - O^2|$

**Sans carbone - Diminution du courant de fuite**

$E_1$  et  $E_3$  faibles :  
 pentavalent  $\rightarrow$  Défauts liés au C

## Conclusion

- > Identifier et localiser des complexes d'impuretés O et C
- > Comprendre l'origine des impuretés
- > Identifier des défauts électriquement actifs
- > Améliorer les performances électriques

Application aux matériaux à grand gap : banc de PL PROOF

Energie d'excitation élevée : jusqu'à 5,9 eV

Température : 4 K

Gamme spectrale observable : 200 – 800 nm

Merci pour votre attention

[monflier@laas.fr](mailto:monflier@laas.fr)