



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 ?

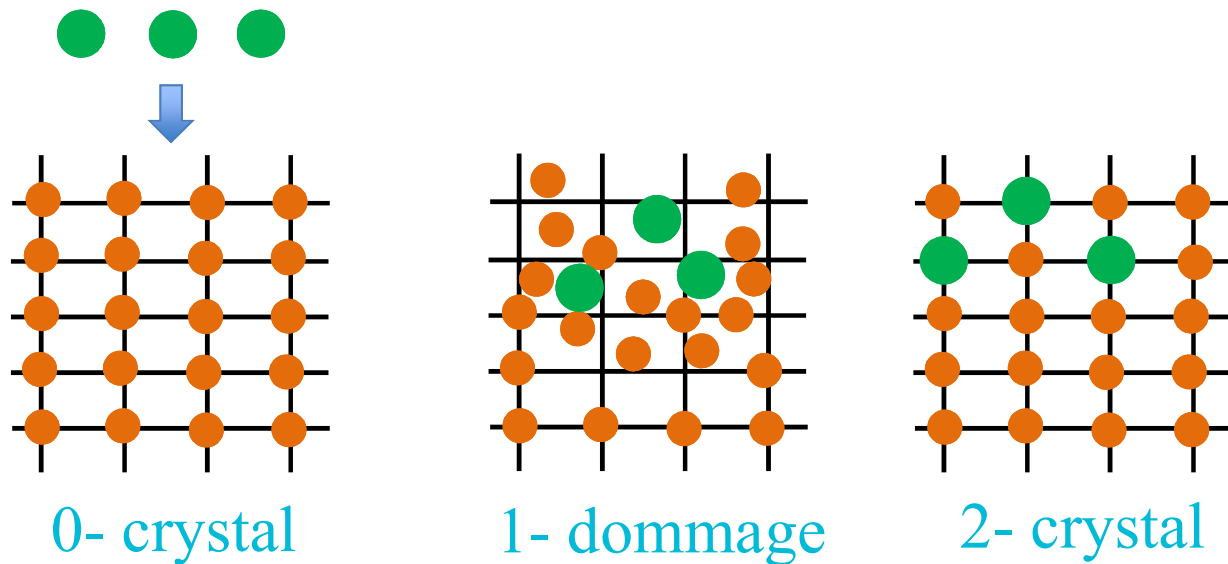
- > Evaluer une étape technologique (gravure, nettoyage de surface, recuit laser)
- > Aider à la maturation d'un matériau
- > Fiabiliser les dispositifs

- > 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

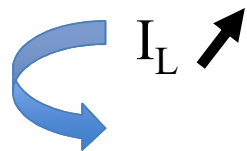
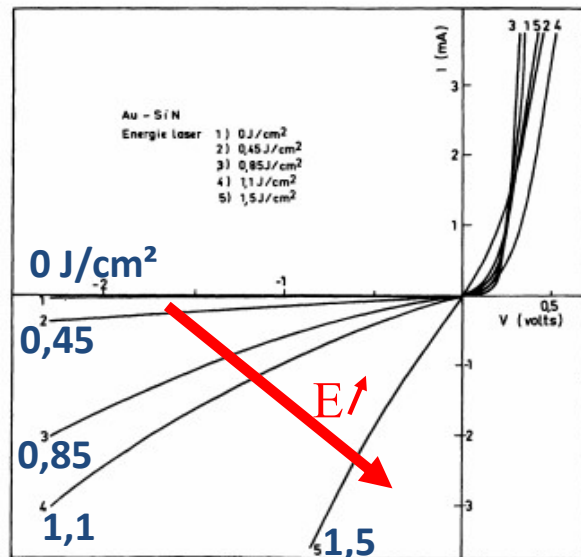
Miniaturisation :

Durée ↓ et Température ↑

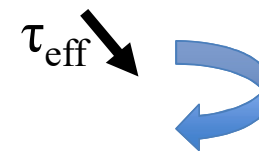
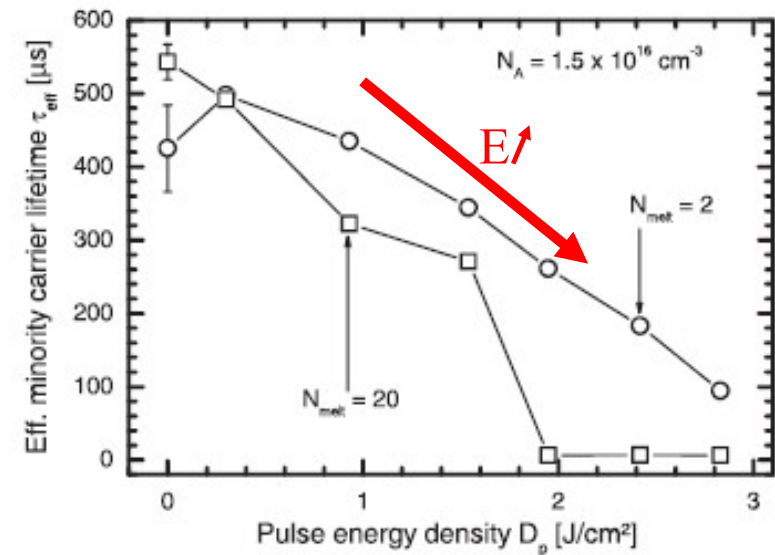
Recuit laser nanoseconde (LTA)

Mais ...

Courant inverse



Durée de vie des porteurs minoritaires



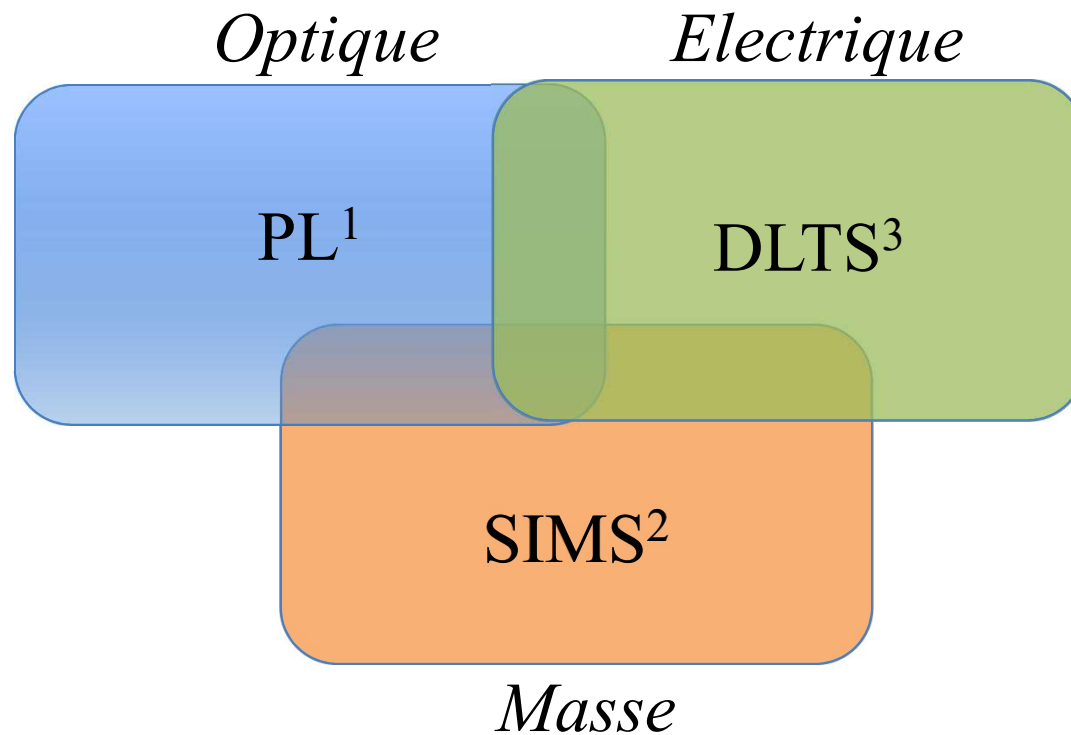
LTA → Introduction de défauts

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



¹*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

²*Secondary Ion Mass Spectrometry*

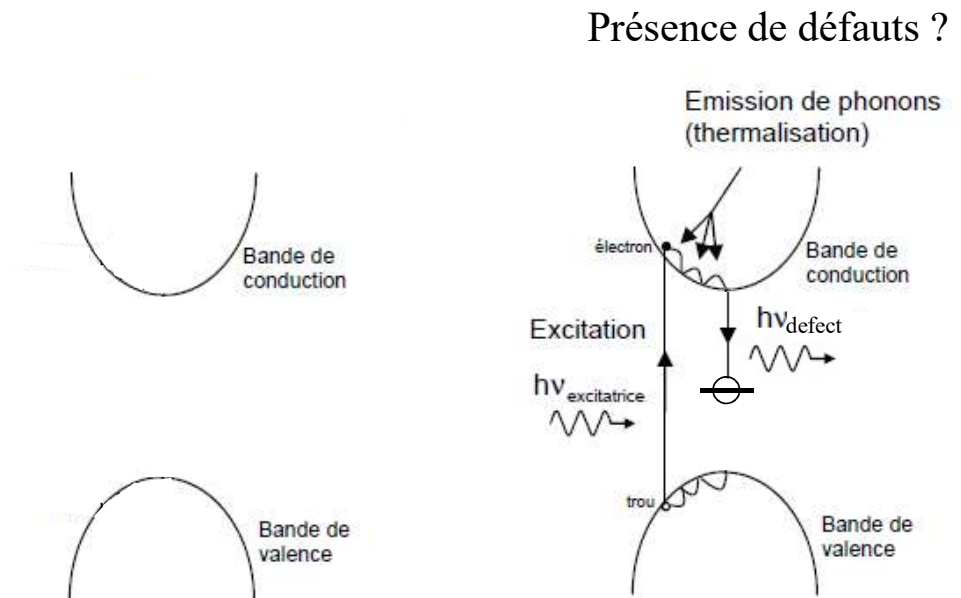
³*Deep Level Transient Spectroscopy*

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

Optique

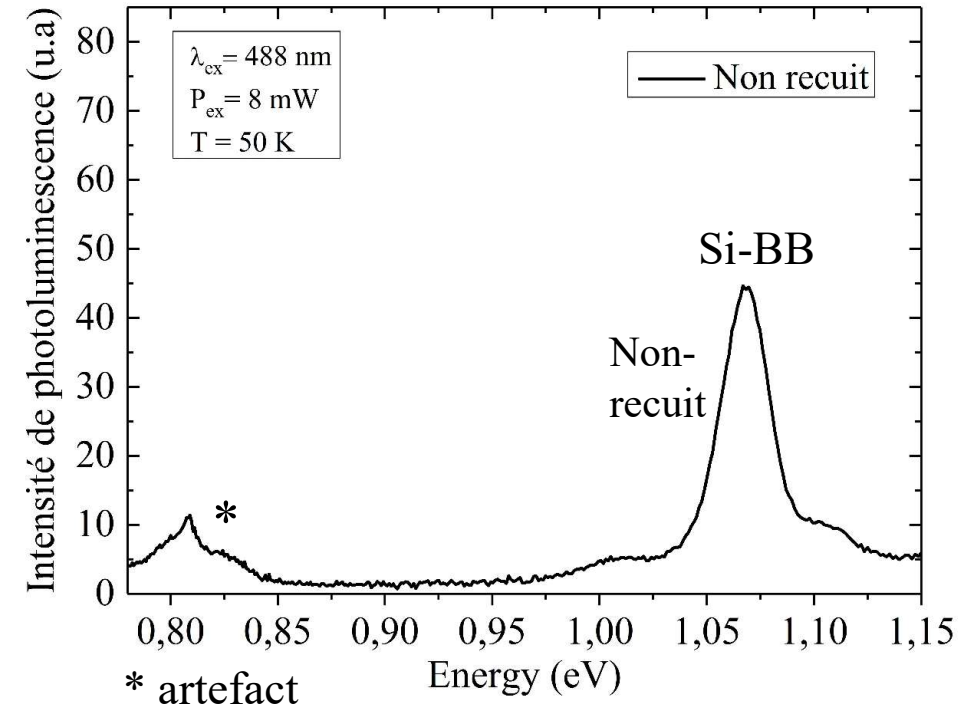
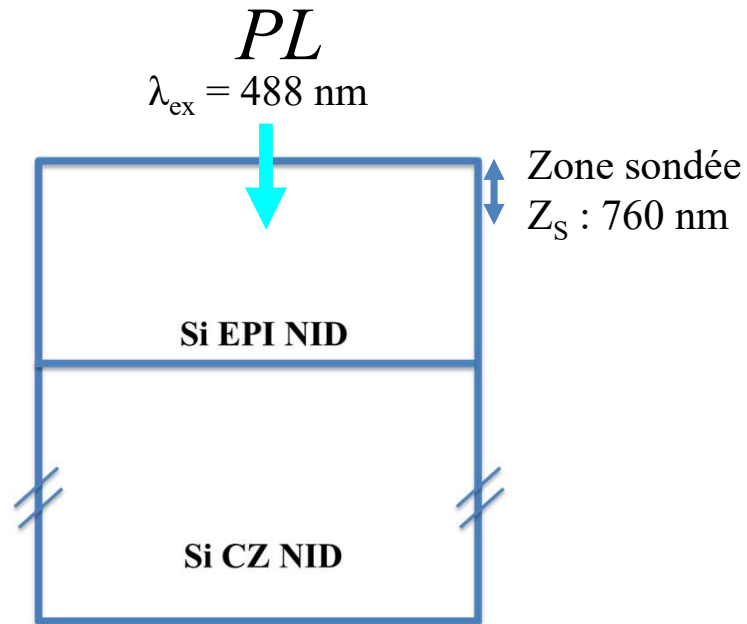


- Energie $>$ gap du matériau
- Génération de paires électron/trou
- Recombinaison

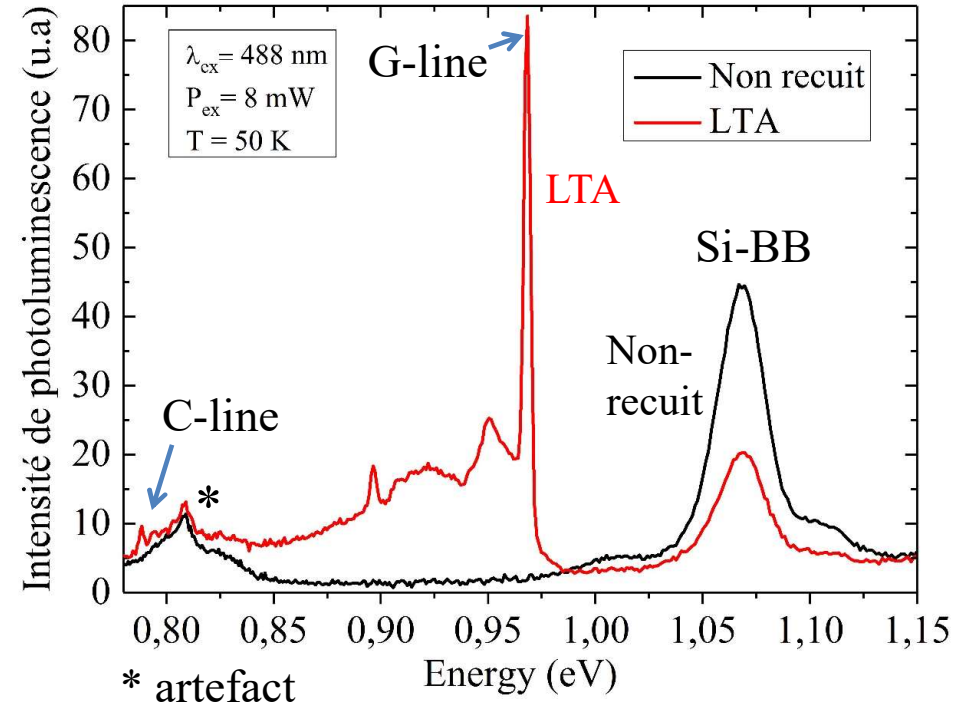
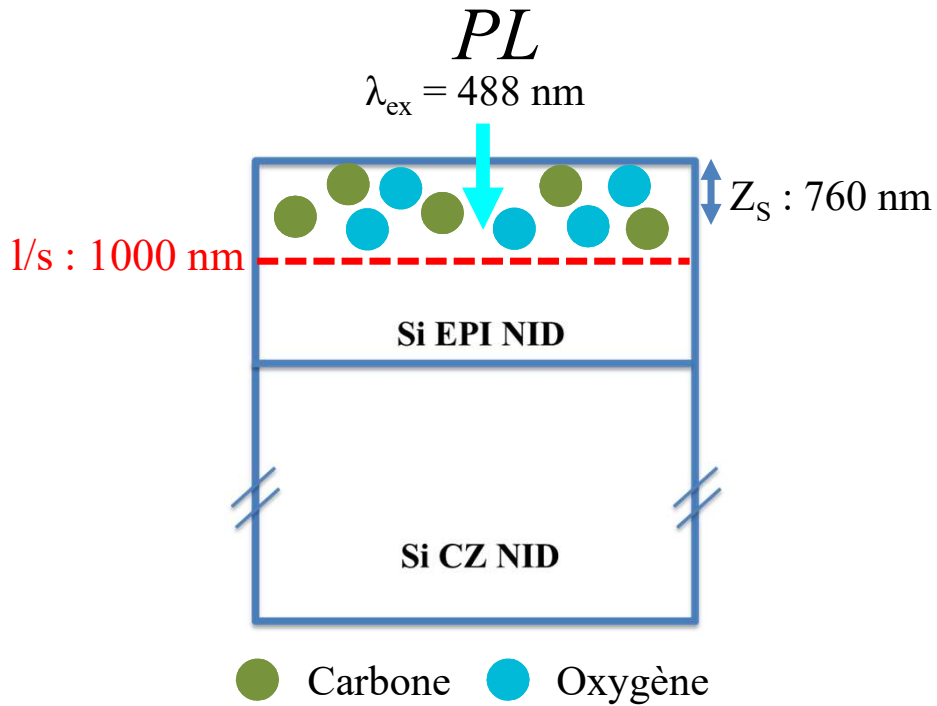


Processus de photoluminescence [1]

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



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



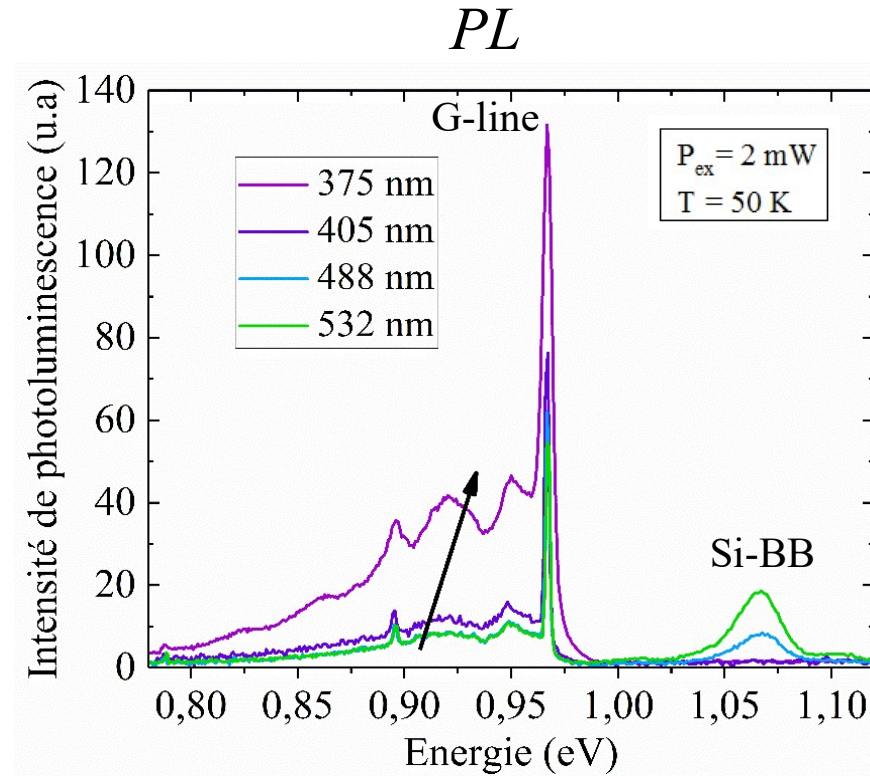
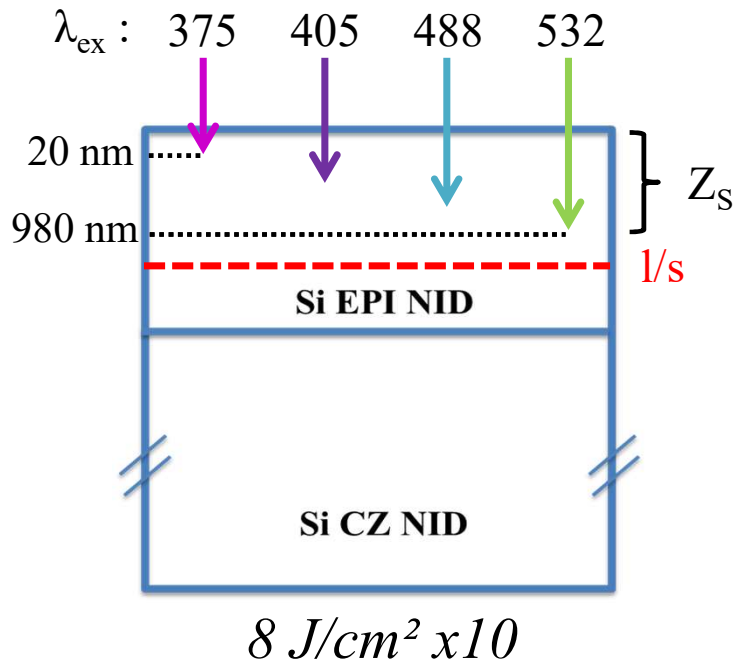
✓ Pic à 0,97 eV → G-line (C_s-C_i)

✓ Pic à 0,79 eV → C-line (C_i-O_i)

→ Défauts liés au carbone et à l'oxygène

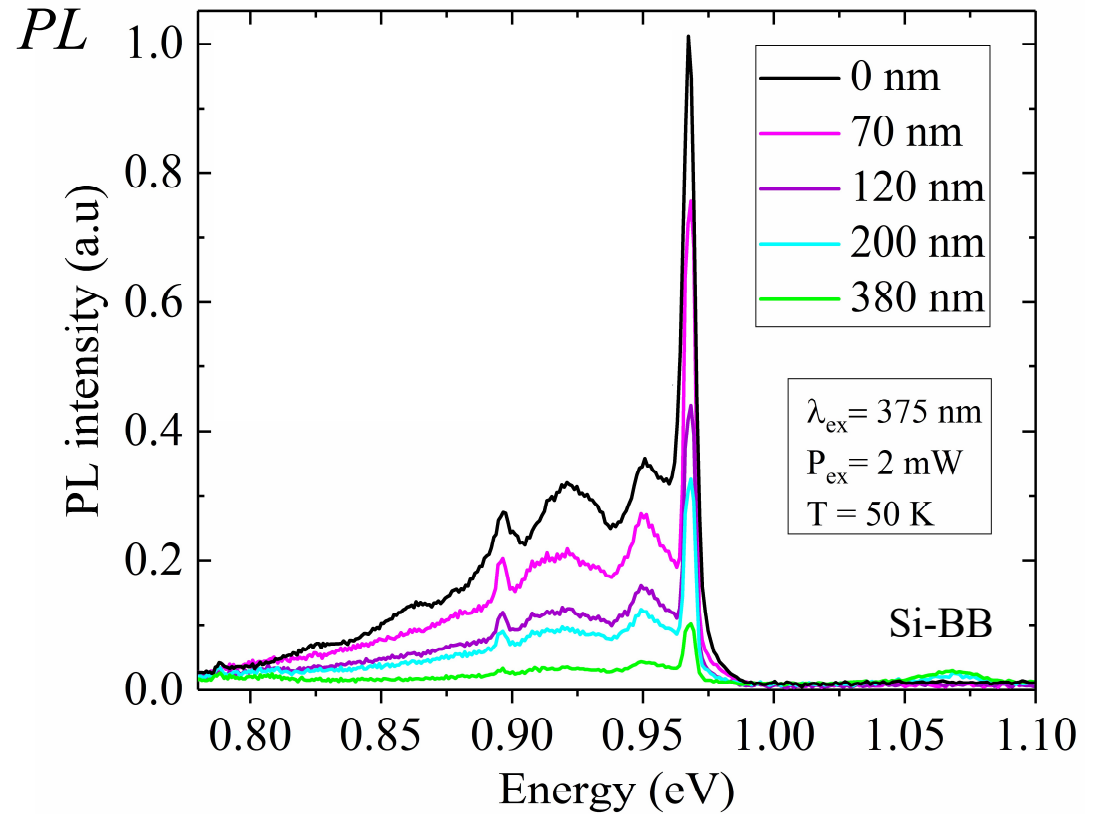
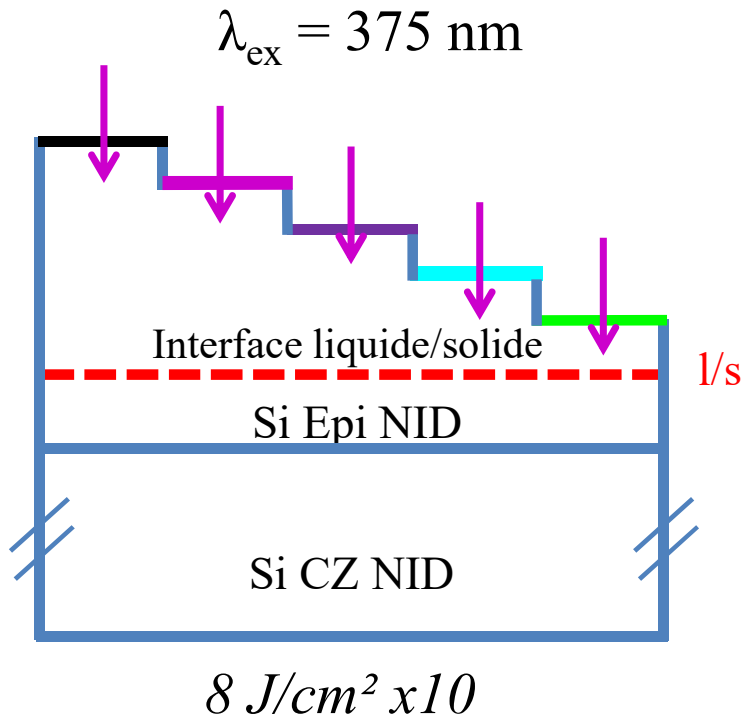
Localisation ?

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



→ Intensités des défauts ↗ quand λ_{ex} ↘

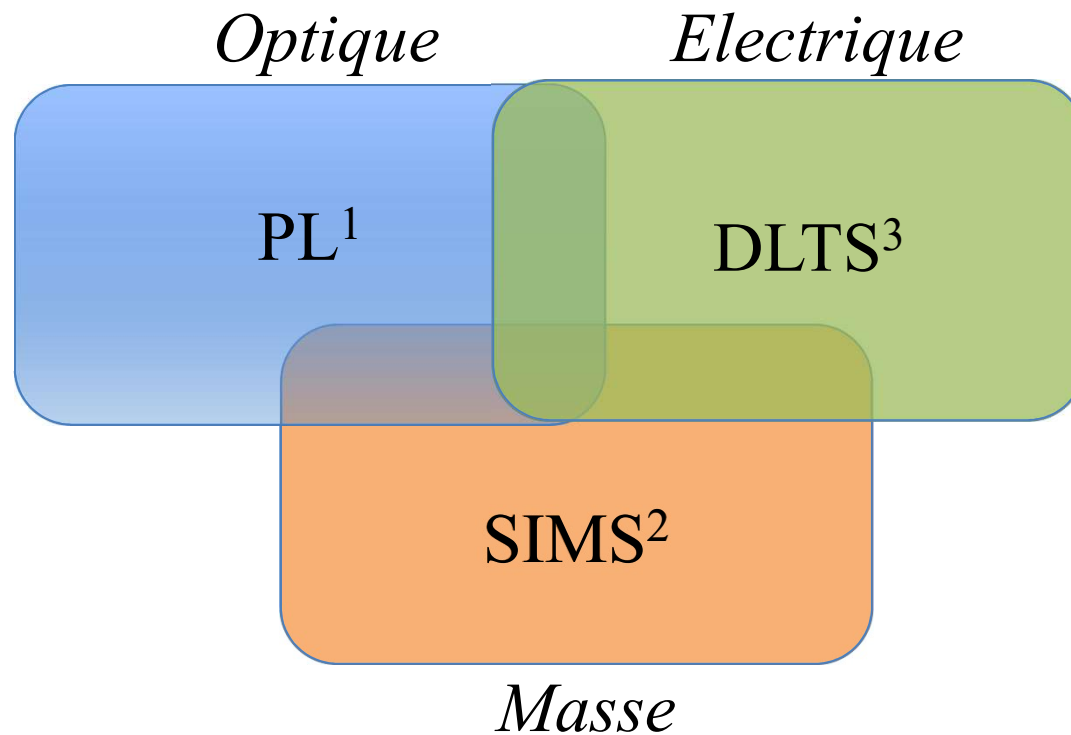
↳ + de défauts près de la surface ?



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

Origine des impuretés ?

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

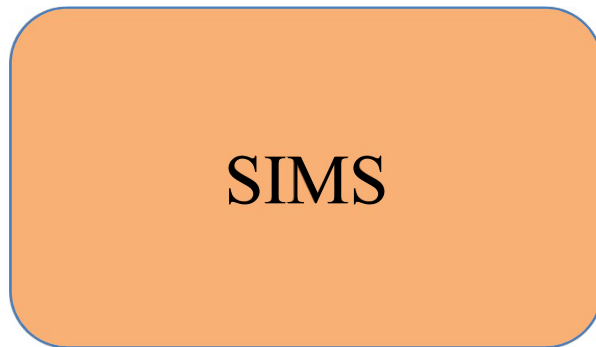


¹*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

²*Secondary Ion Mass Spectrometry*

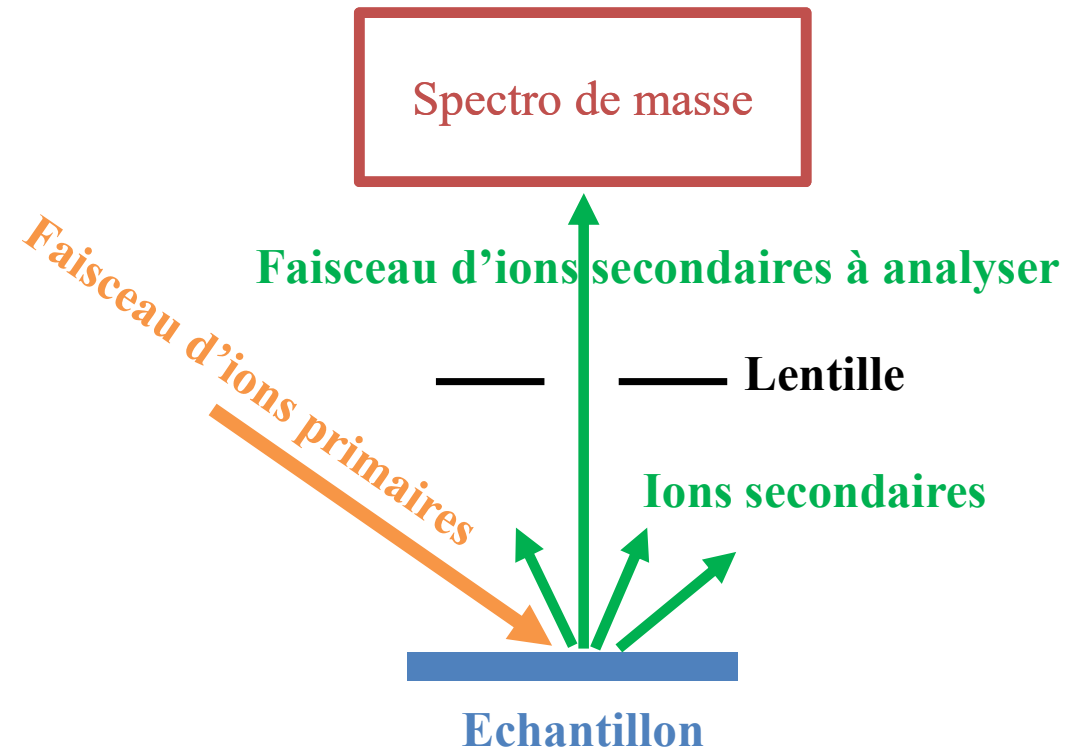
³*Deep Level Transient Spectroscopy*

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



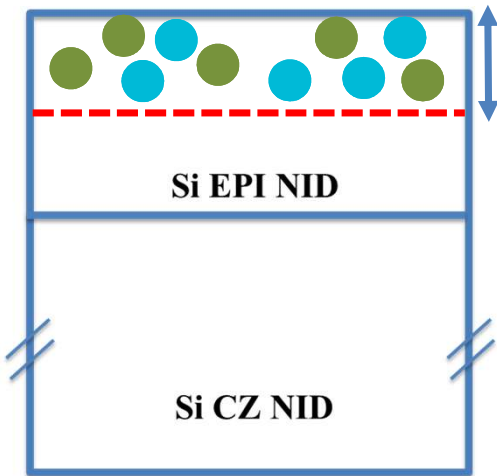
Masse

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

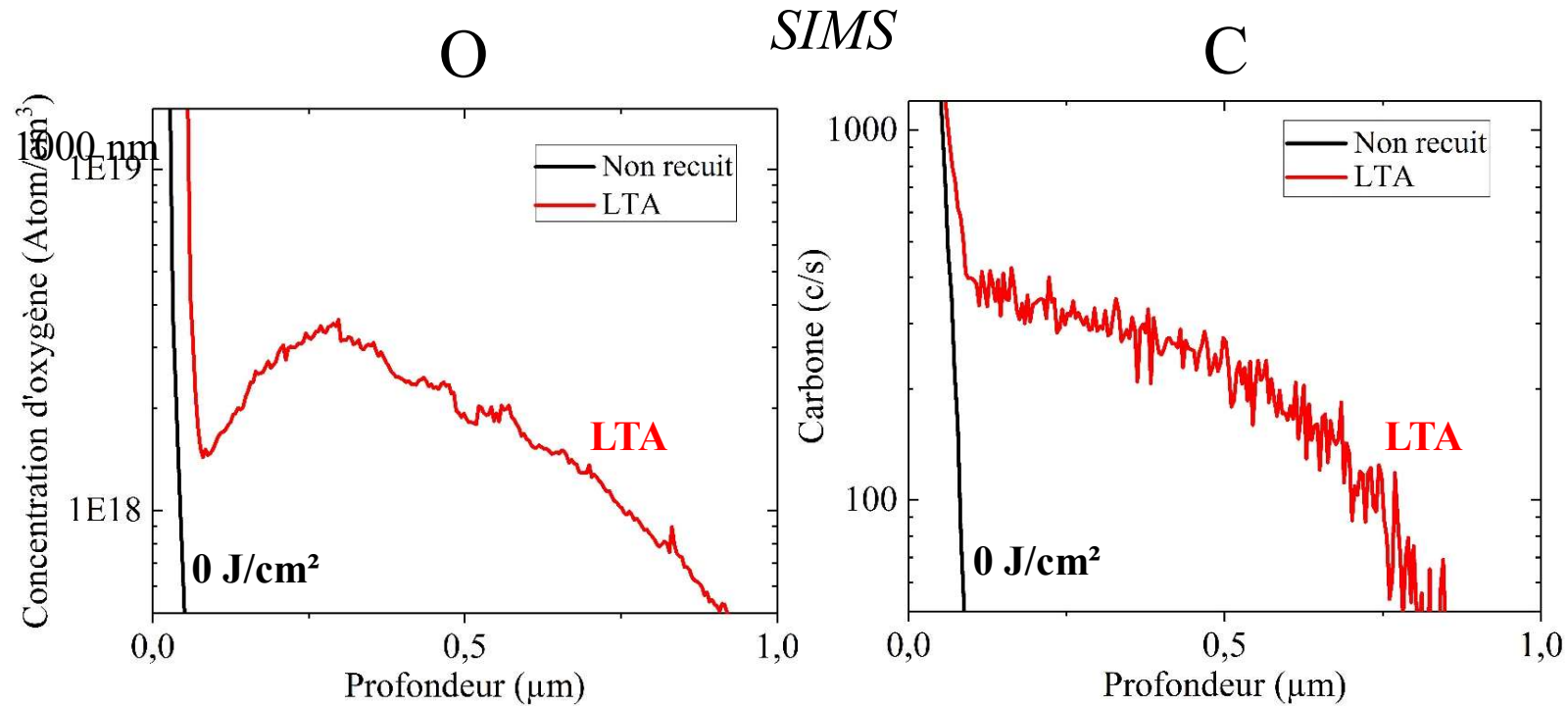


Origine des impuretés par SIMS (1/6)

● Carbone ● Oxygène



→ C_i-O_i
→ C_i-C_s



→ $[O] >$ de 3 ordres de grandeur

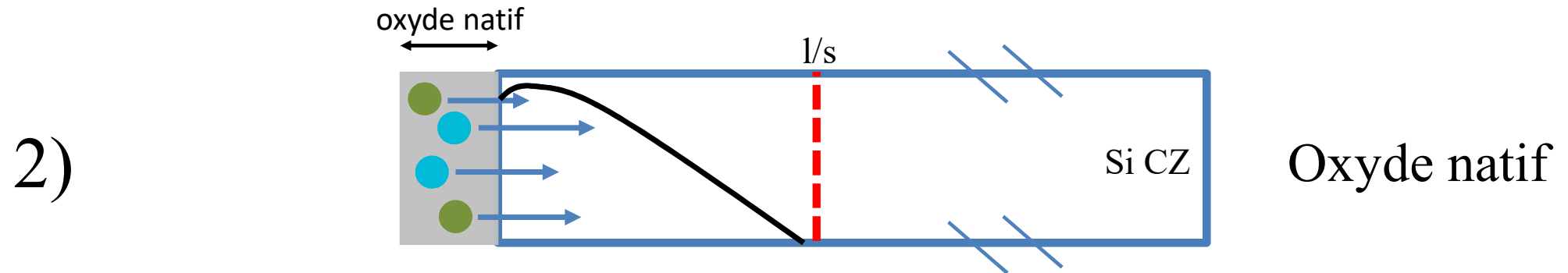
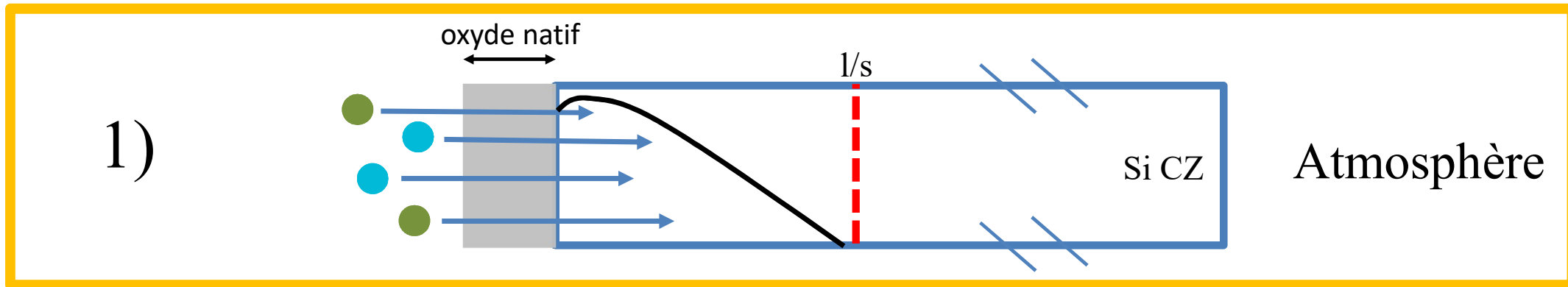
→ $[C]$ ↗

✓ Confirmation O et C

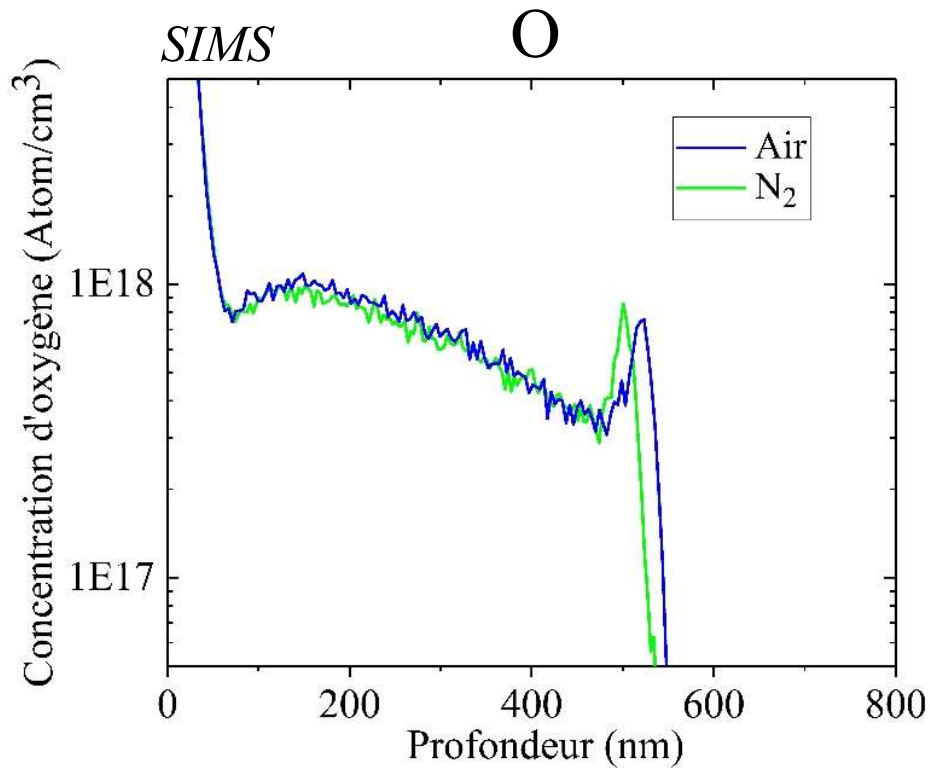
Origine des impuretés par SIMS (2/6)

● Carbone ● Oxygène

→ 2 hypothèses :



Origine des impuretés par SIMS (3/6)



3,6 J/cm² - 10 tirs

Profils SIMS obtenus sur silicium recuit sous deux environnements différents :

→ Air ambiant

→ Azote



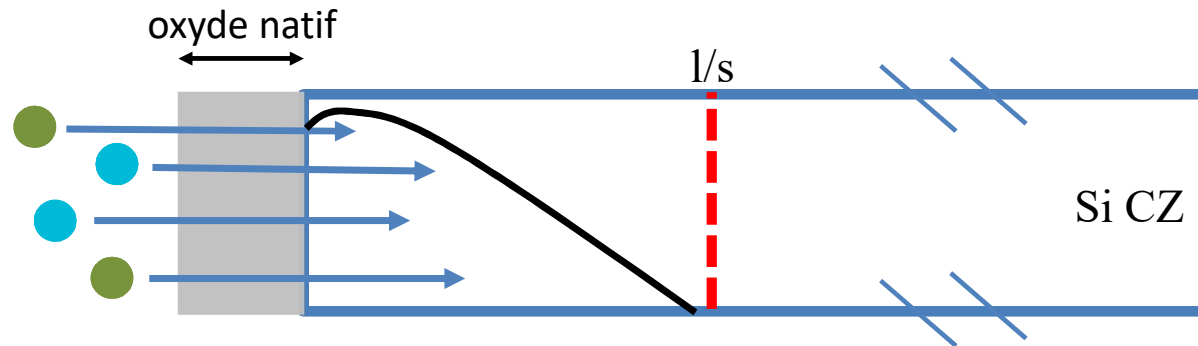
Aucune différence

Origine des impuretés par SIMS (4/6)

● Carbone ● Oxygène

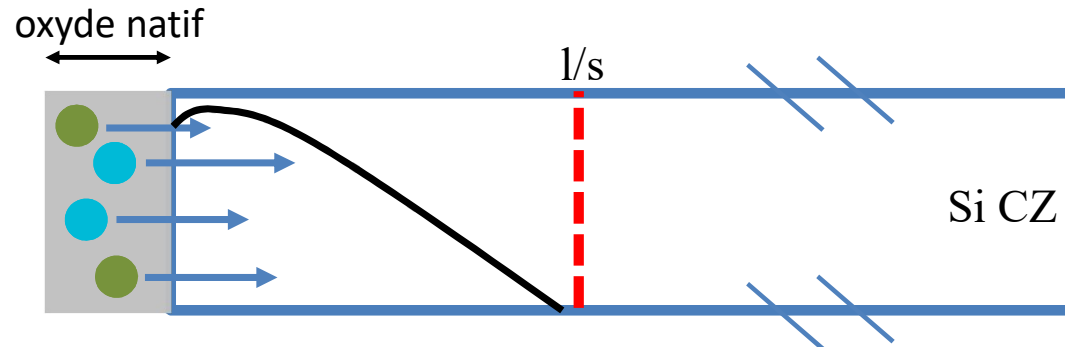
→ 2 hypothèses :

1)



~~Atmosphère~~

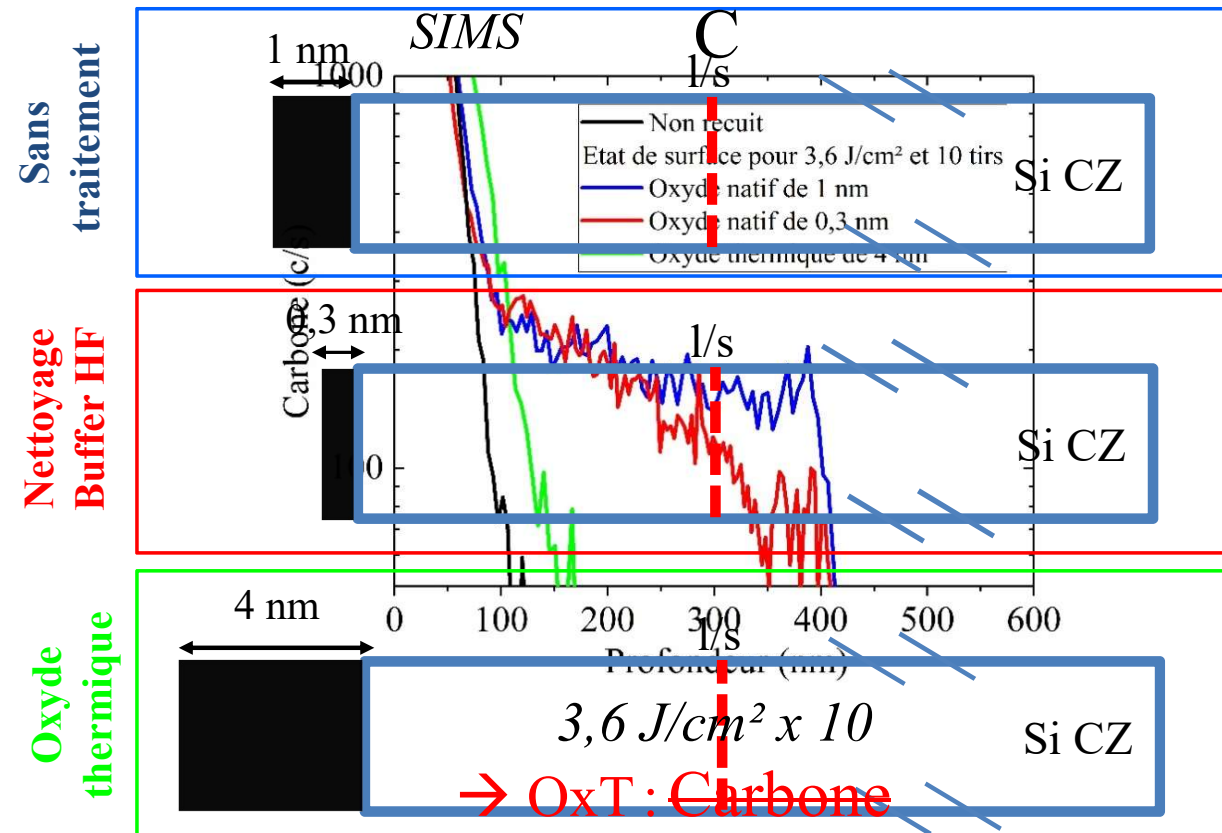
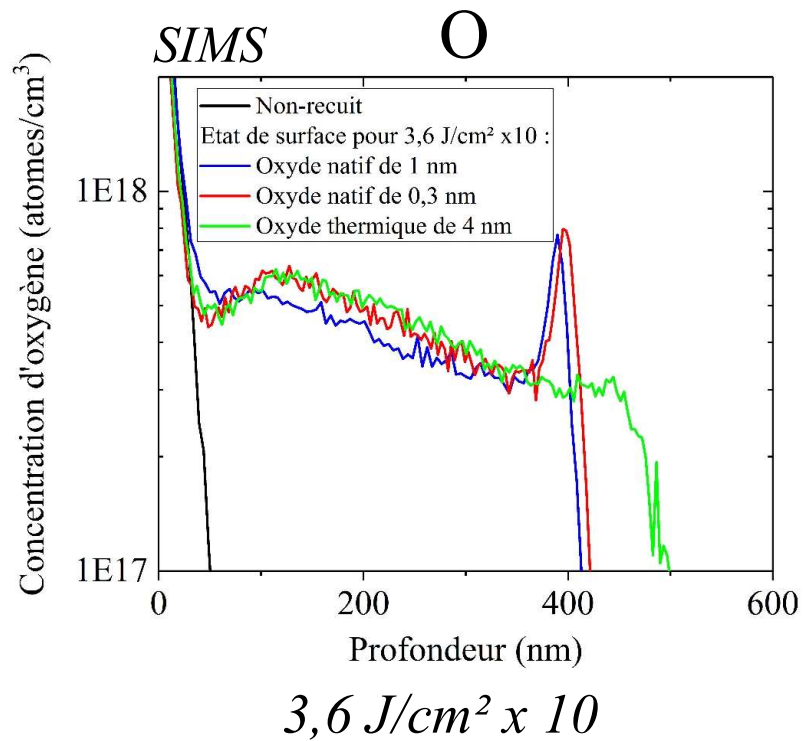
2)

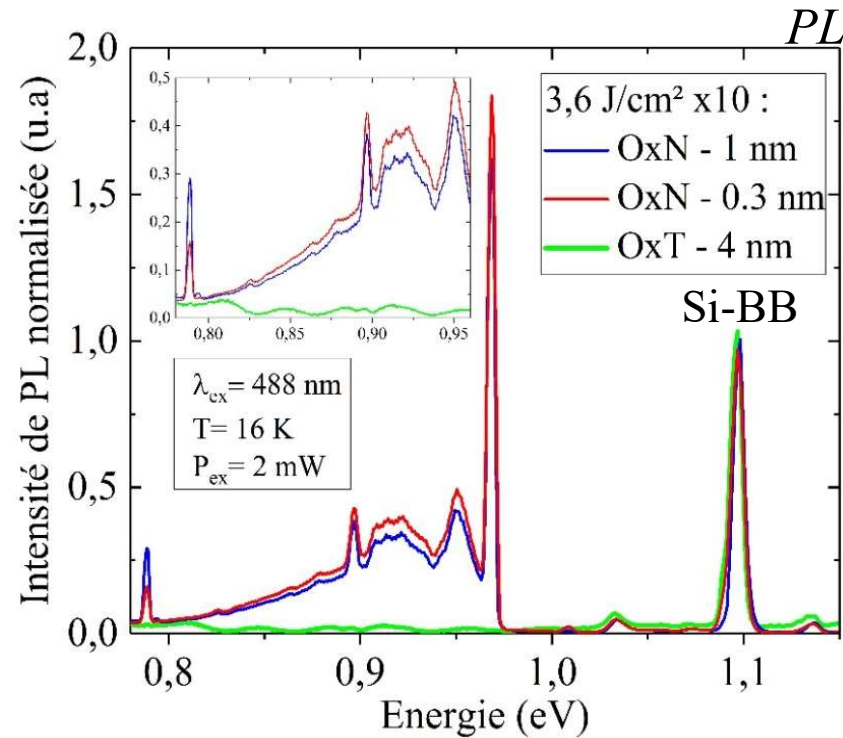


Oxyde natif

Origine des impuretés par SIMS (5/6)

→ Mesures SIMS sur des échantillons avec différents états de surface

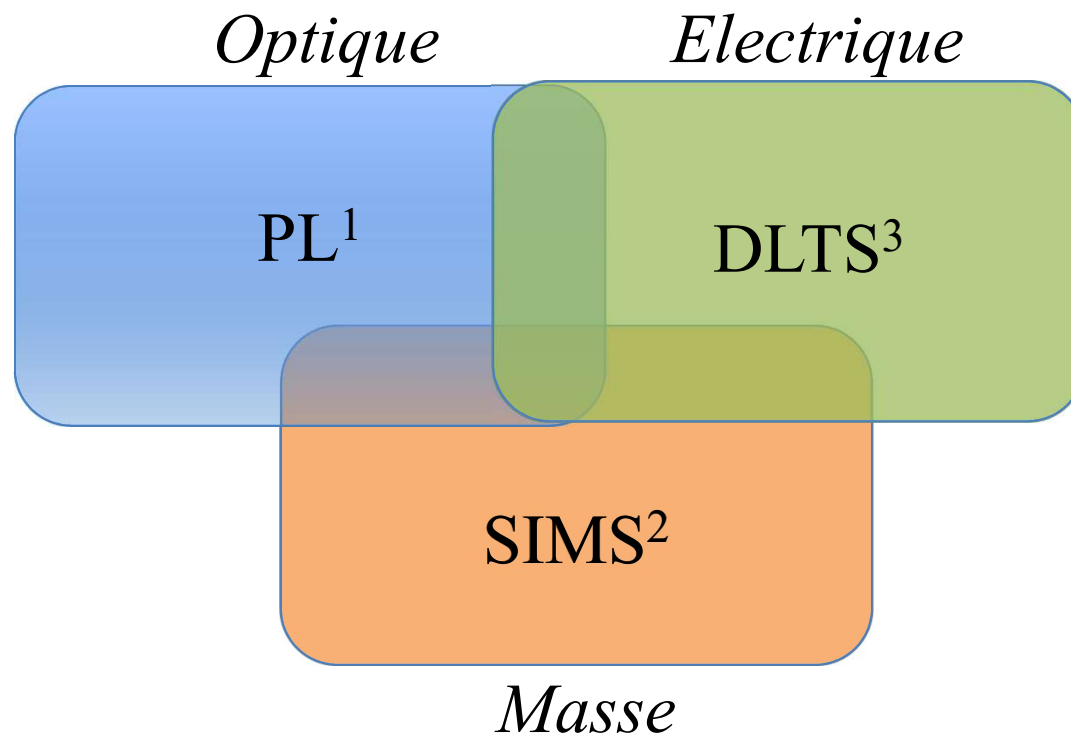




→ Tous défauts observés en PL sont liés aux impuretés de carbone

Electrique ?

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



¹*Spectroscopie de PhotoLuminescence*

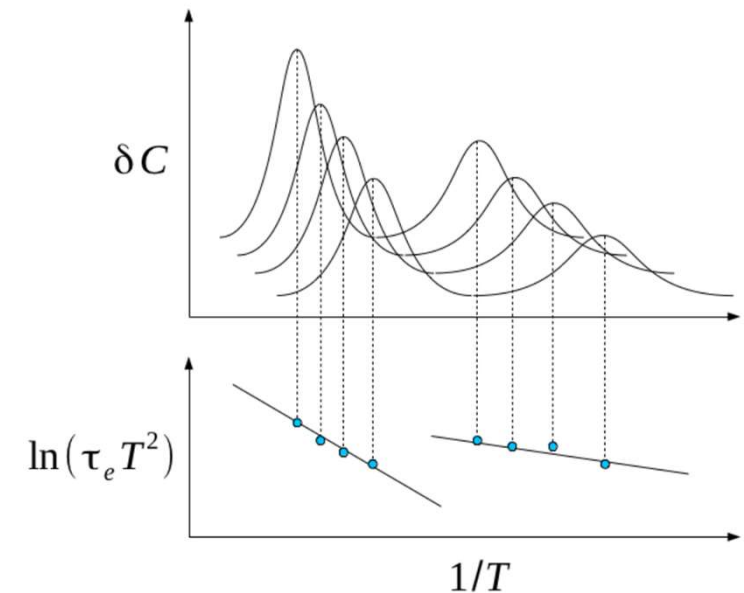
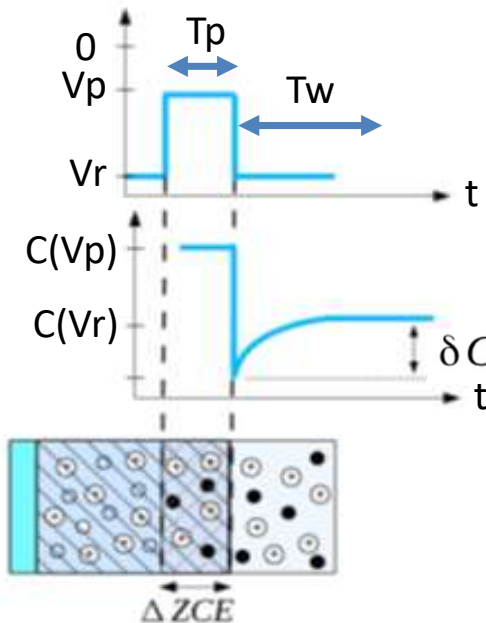
²*Secondary Ion Mass Spectrometry*

³*Deep Level Transient Spectroscopy*

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

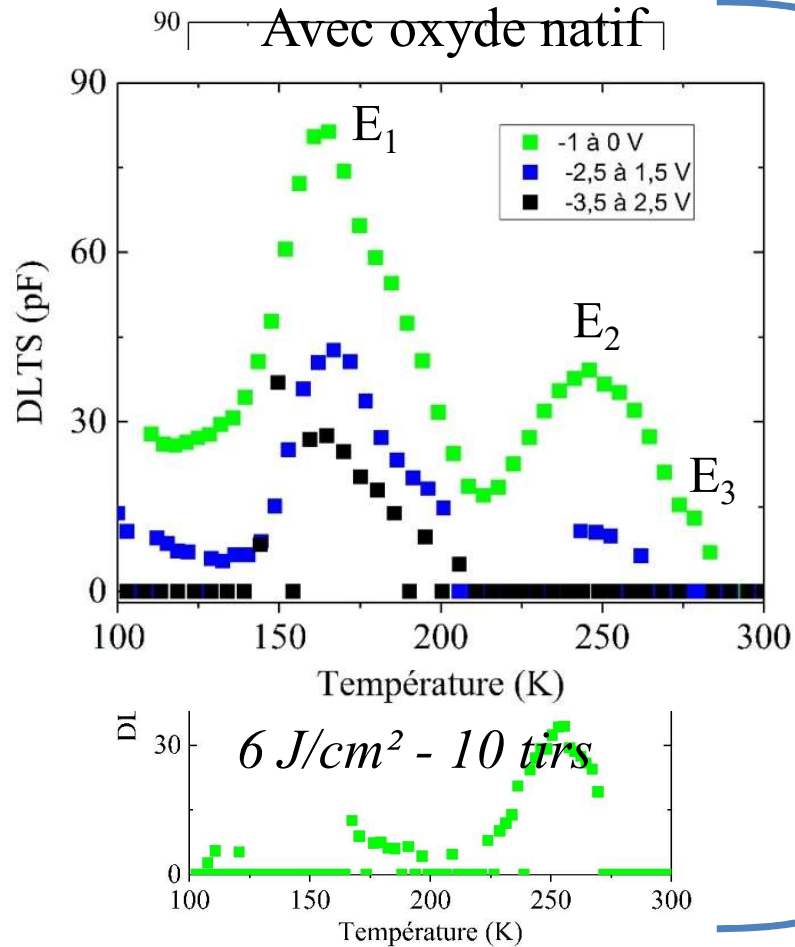
Electrique

DLTS

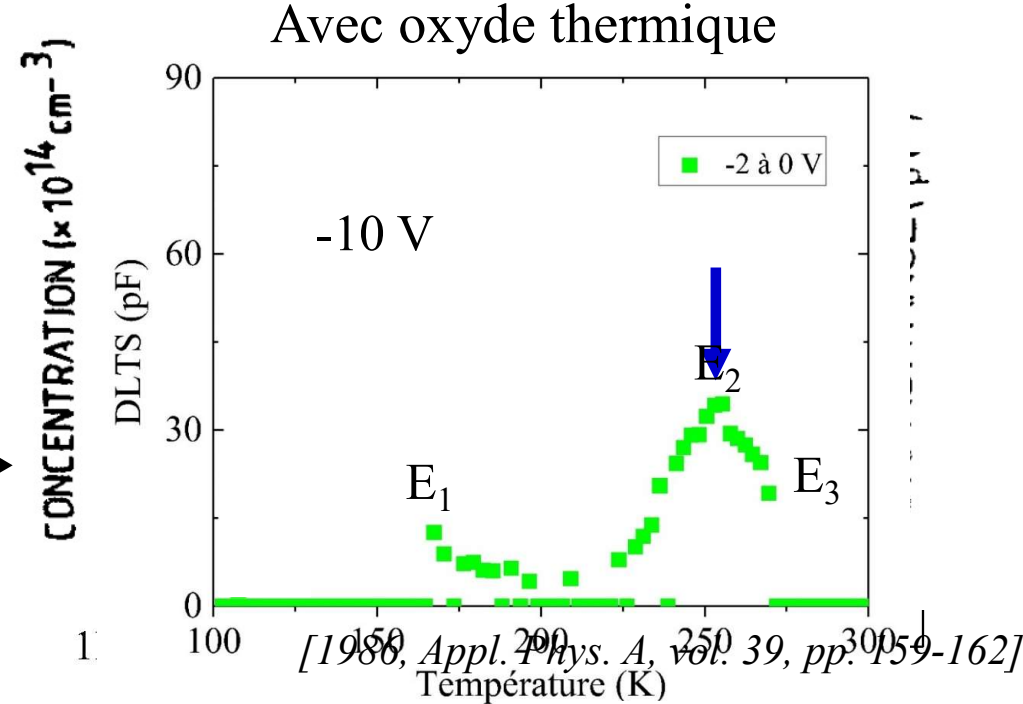
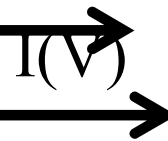


- $V_r \rightarrow$ Dépeuplement
- V_p pendant $T_p \rightarrow$ Remplissage des pièges
- V_r pendant $T_w \rightarrow$ Ré-émission des porteurs capturés

Etude des pièges par DLTS



Similaire à Diodes natif



- lacunes $6 J/cm^2 - 10 |Mrs O|$
- di-lacunes $- |V^2 - O^2|$

Sans carbone - Diminution du courant de fuite

E₁ et E₃ faibles
 → 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