

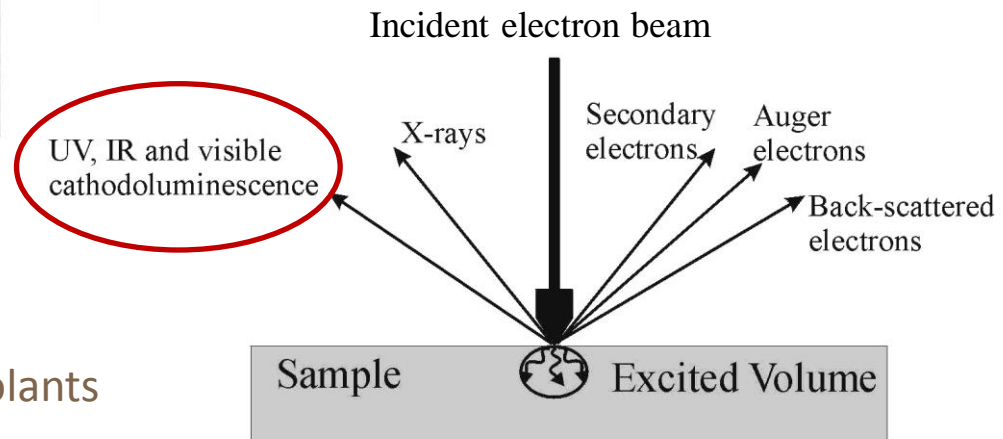
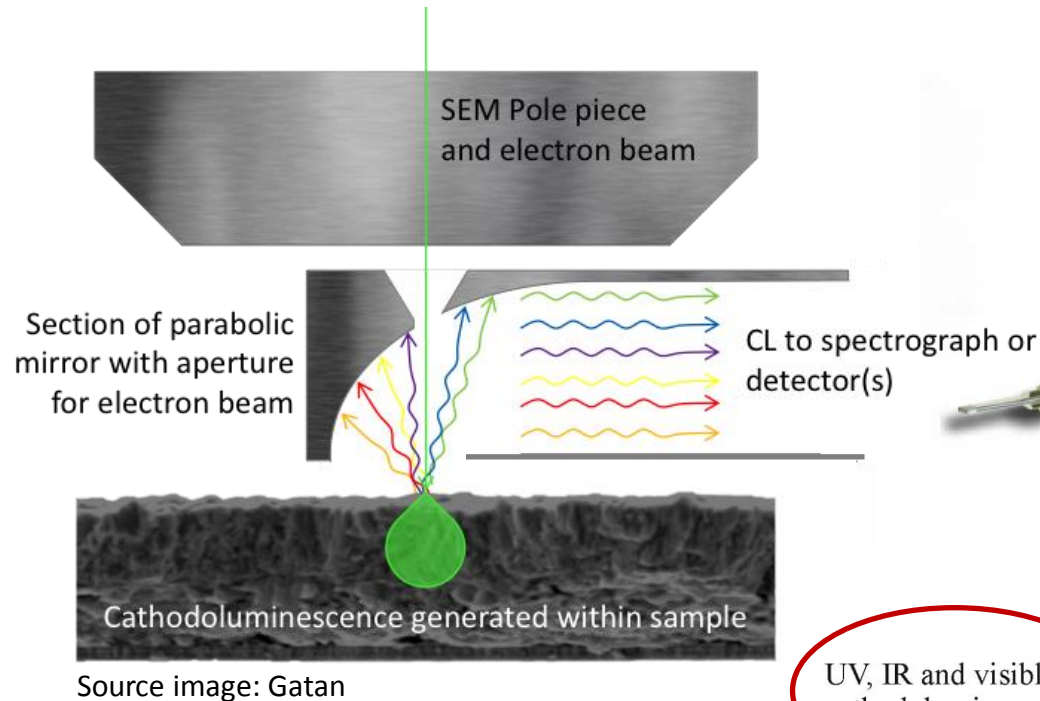
Etude des défauts par Cathodoluminescence

Cas de la croissance sélective de GaN
(11-22) sur saphir structuré

F. Tendille, M. Teisseire, P. Vennéguès, P. De Mierry

Cathodoluminescence (CL)

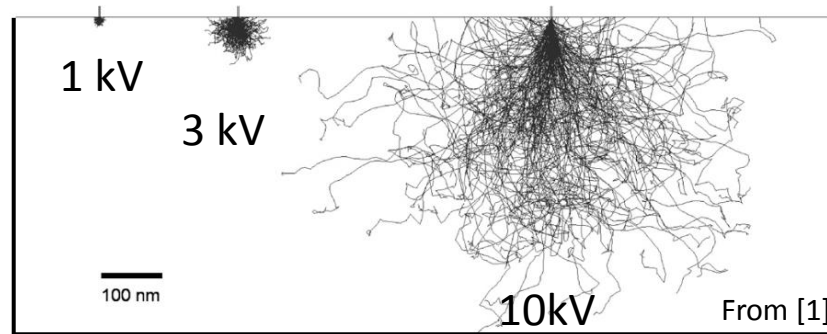
Phénomène d'émission de photons sous l'effet d'un bombardement d'électrons



Matériaux semi-conducteurs ou isolants

Cathodoluminescence (CL)

Etude locale de luminescence



Différentes applications:

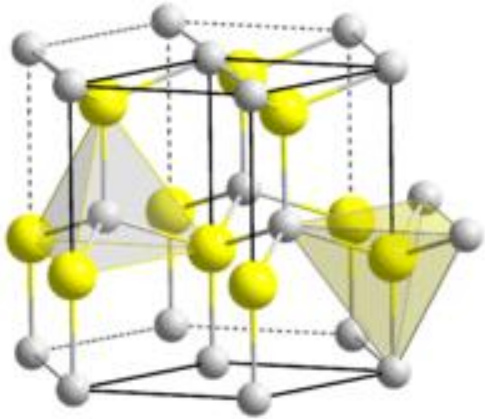
- Etude des transitions électroniques
- Analyse de la contrainte et ses variations à l'échelle locale
- Observation des défauts cristallins et des impuretés

[1]Edwards, P. R. & Martin, R,W . *Semiconductor Science and Technology* **26**, 064005 (2011).

Sommaire:

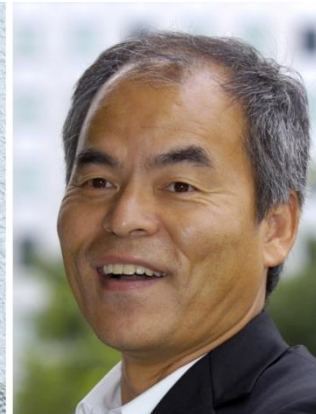
- I. GaN semi-polaire et défauts associés
- II. Réduction de défauts par croissance sélective sur saphir structuré
- III. Observations par CL

Nitruure de Gallium (GaN)



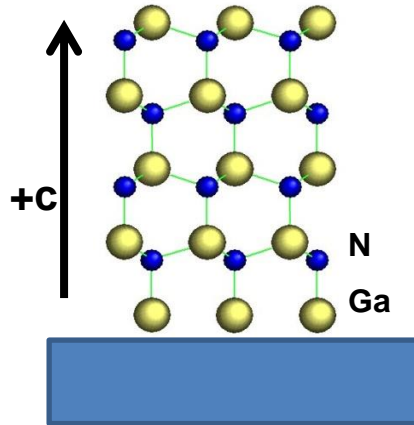
Wurtzite

$E_g = 3,44 \text{ eV}$
(300 K)



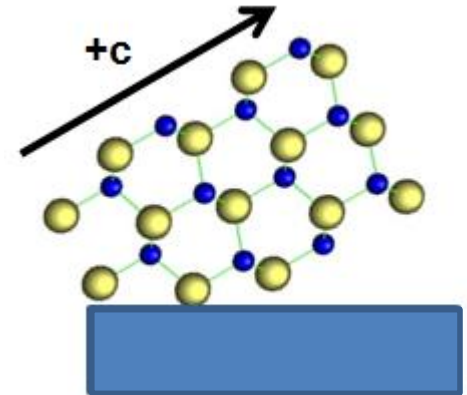
Prix Nobel de physique 2014

GaN semi-polaire

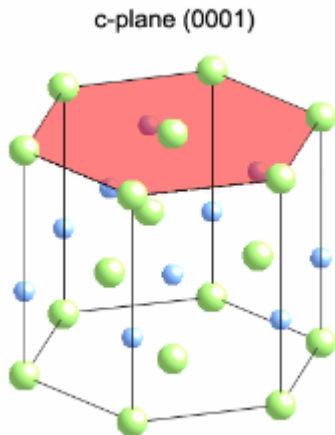


GaN polaire

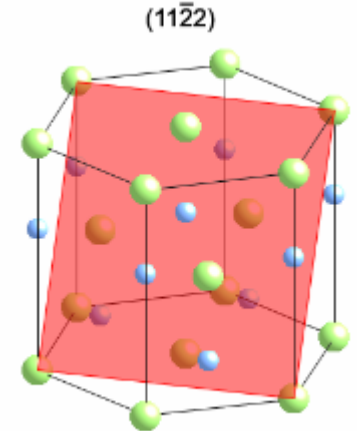
Growth direction



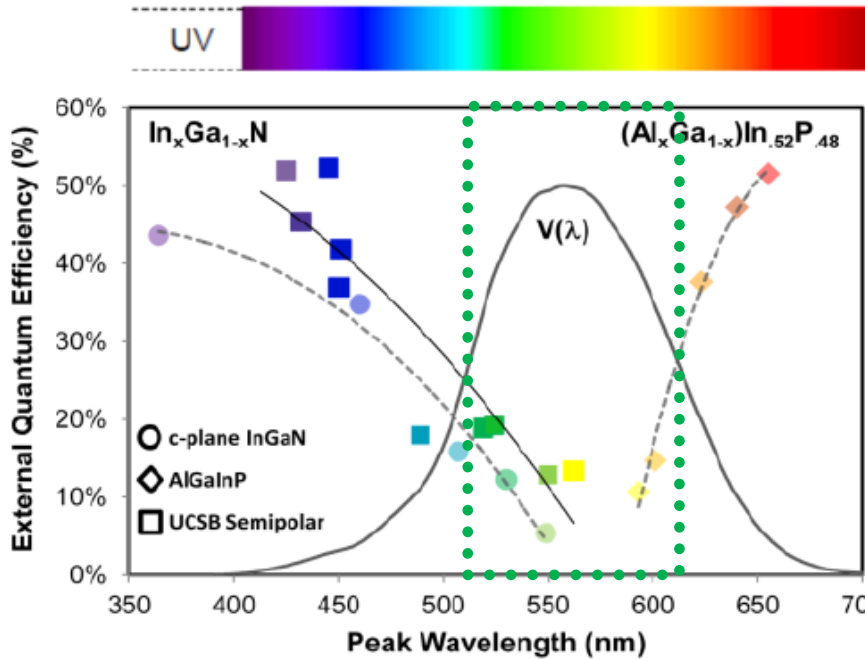
GaN semi-polaire



Diminution importante des effets de polarisations dans les hétérostructures (In, Al, Ga)N



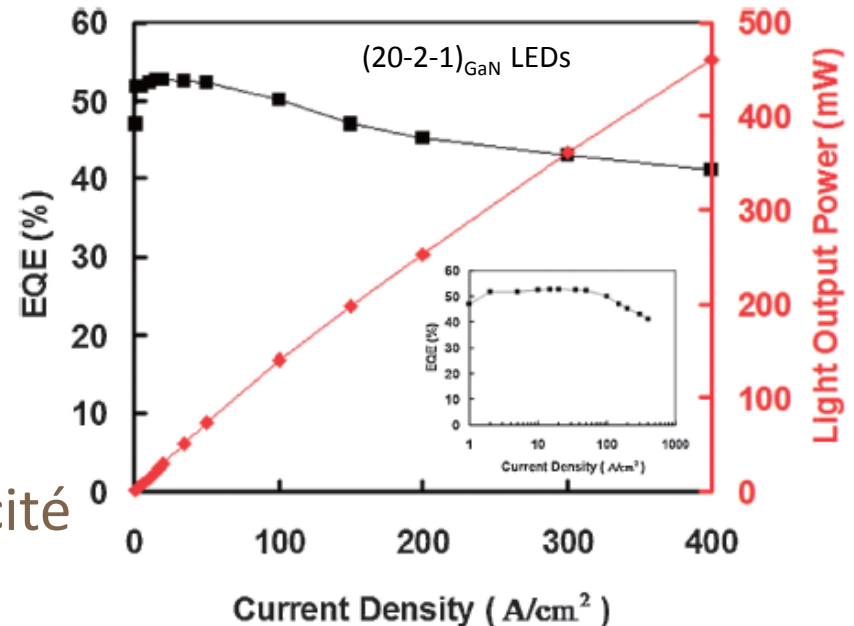
GaN semi-polaire



Source: UCSB

- Pas d'effondrement de la l'efficacité sous forte injection de courant

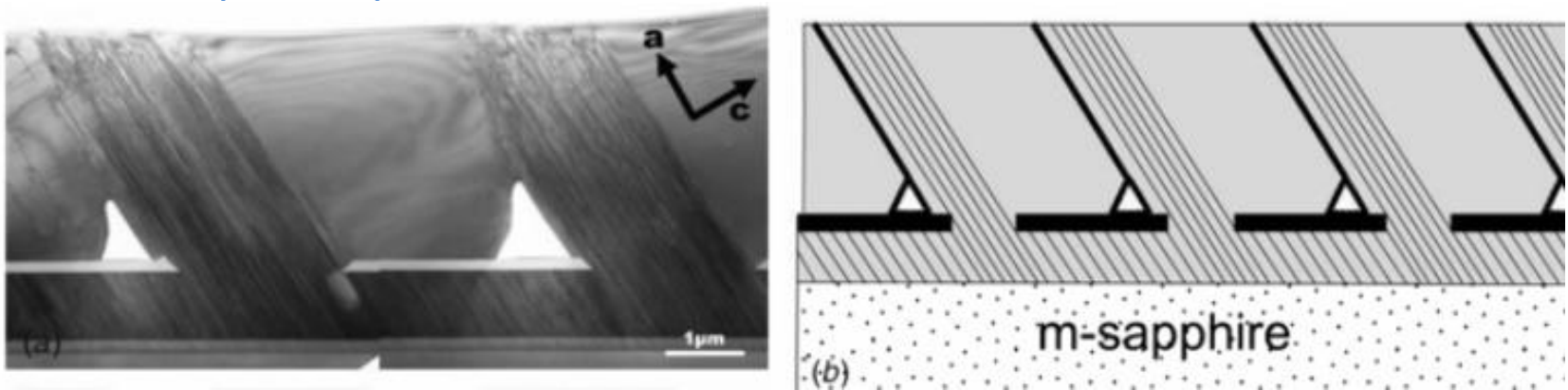
- Amélioration potentielle de l'efficacité d'émission la région verte-jaune



Pan, C.-C. et al. *Applied Physics Express* **5**, 062103 (2012).

GaN semi-polaire: défauts

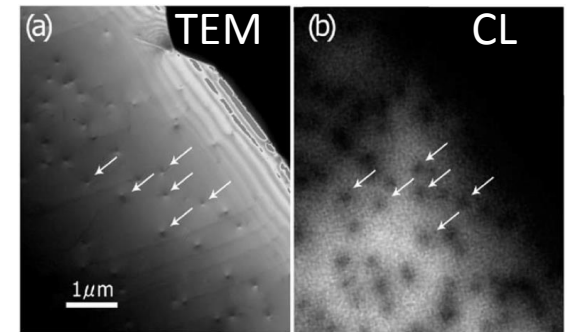
- Hétéroépitaxie → génération de défauts
 - Dislocations parfaites de type a ou a+c
 - Fautes d'empilements du plan basal (0001) (BSFs)
 - Terminées par des dislocations partielles
 - Ou par des fautes d'empilements du plan prismatique (11-20)



Vennéguès. *Semiconductor Science and Technology* **27**, 024004 (2012).

GaN semi-polaire: défauts

- Défauts visible en CL:
 - Centres non-radiatifs: dislocations
 - Présence d'impuretés :
 - bande jaune
 - Luminescences **localisées** caractéristiques
 - Fautes d'empilements

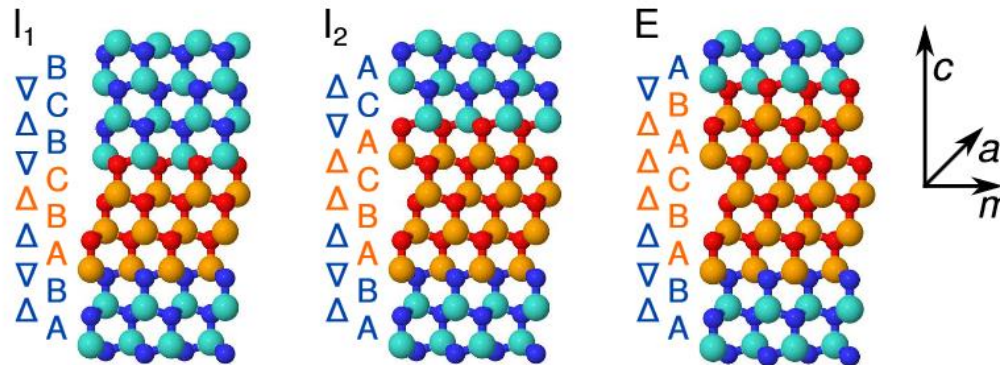


Ino, N. & Yamamoto, N. *Applied Physics Letters* **93**, 232103 (2008).

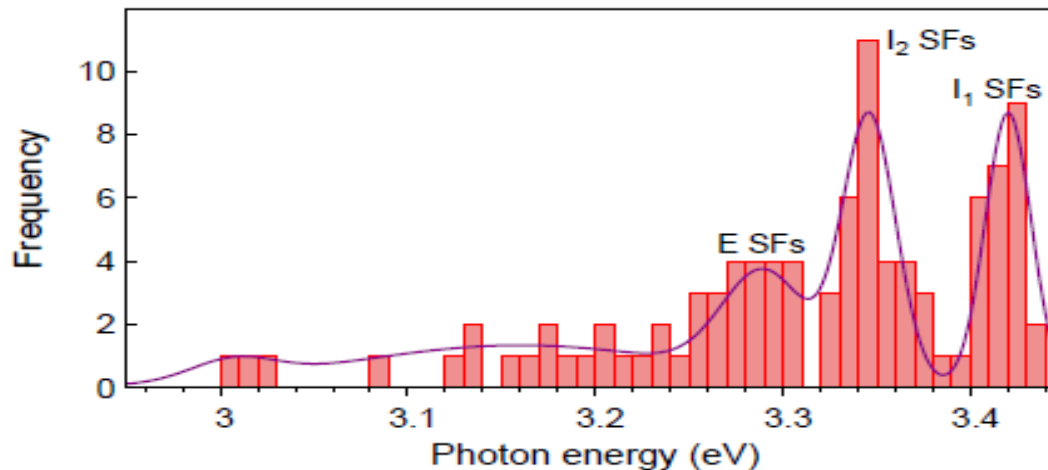
GaN semipolaire: défauts

- Luminescence des BSFs pour du GaN relaxé :

I₁=3.42eV, I₂=3.35eV et E=3.29eV



Visibles en dessous
de T = 100 K



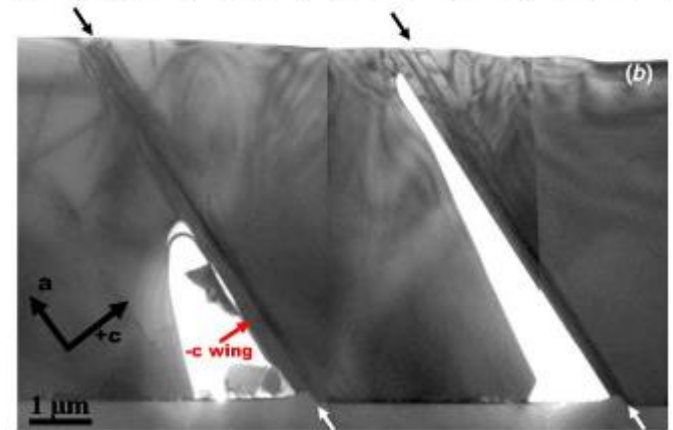
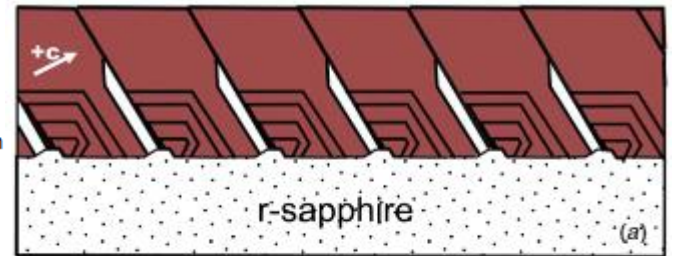
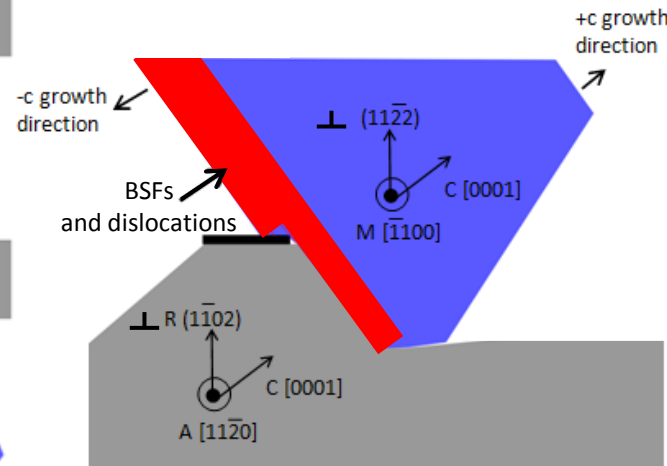
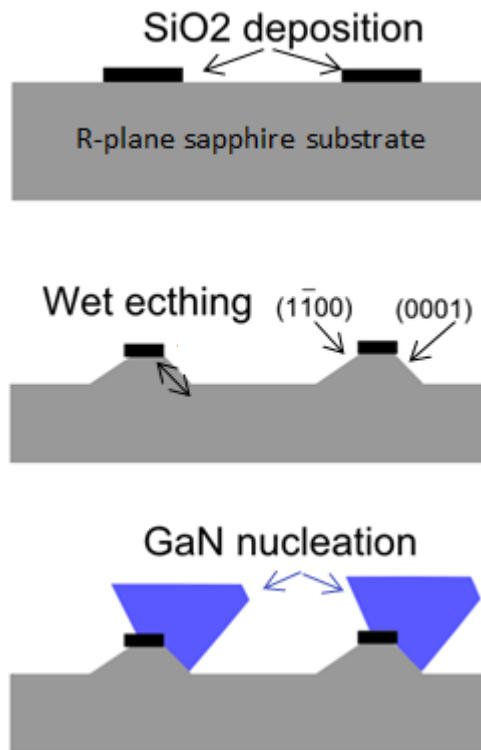
Lähnemann, J. et al. *Physical Review B* **86**, 081302 (2012).

Sommaire:

- I. GaN semipolaire et défauts associés
- II. Réduction de défauts par croissance sélective sur saphir structuré**
- III. Observations par CL

Croissance sélective

- Réduction de la surface de nucléation:

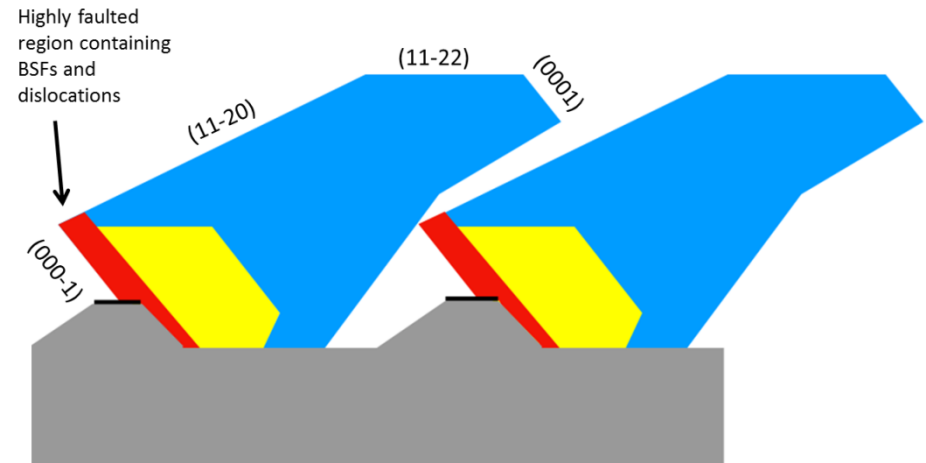
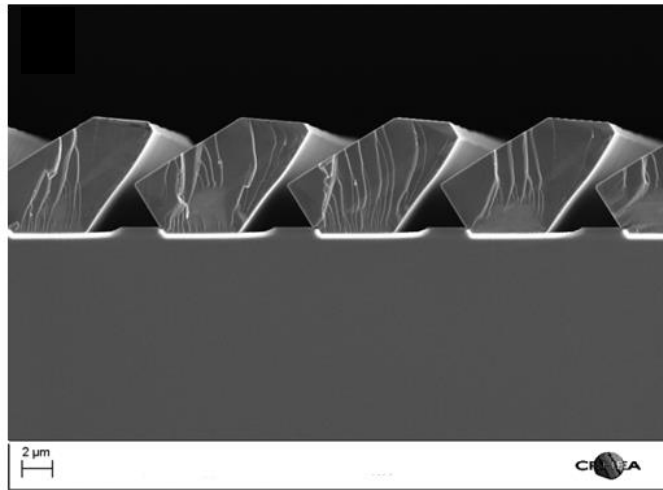


Vennéguès. *Semiconductor Science and Technology* **27**, 024004 (2012).

De Mierry *et al.* *Applied Physics Letters* **96**, 231918 (2010).

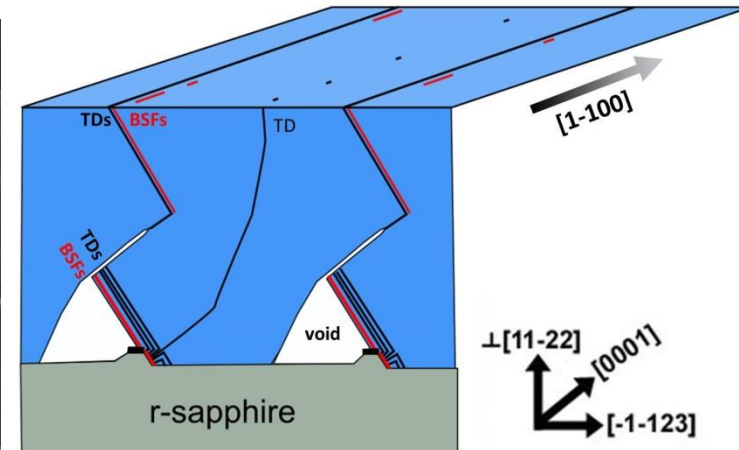
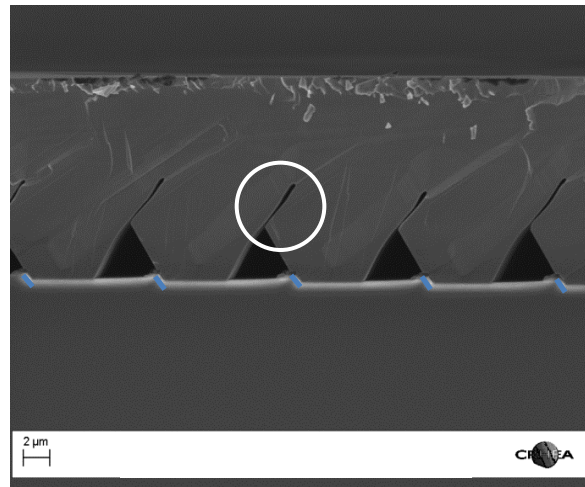
Croissance sélective

- Chevauchement des cristaux:



- Coalescence:

Tendille et al. *Journal of Crystal Growth* **404**, 177–183 (2014).



Sommaire:

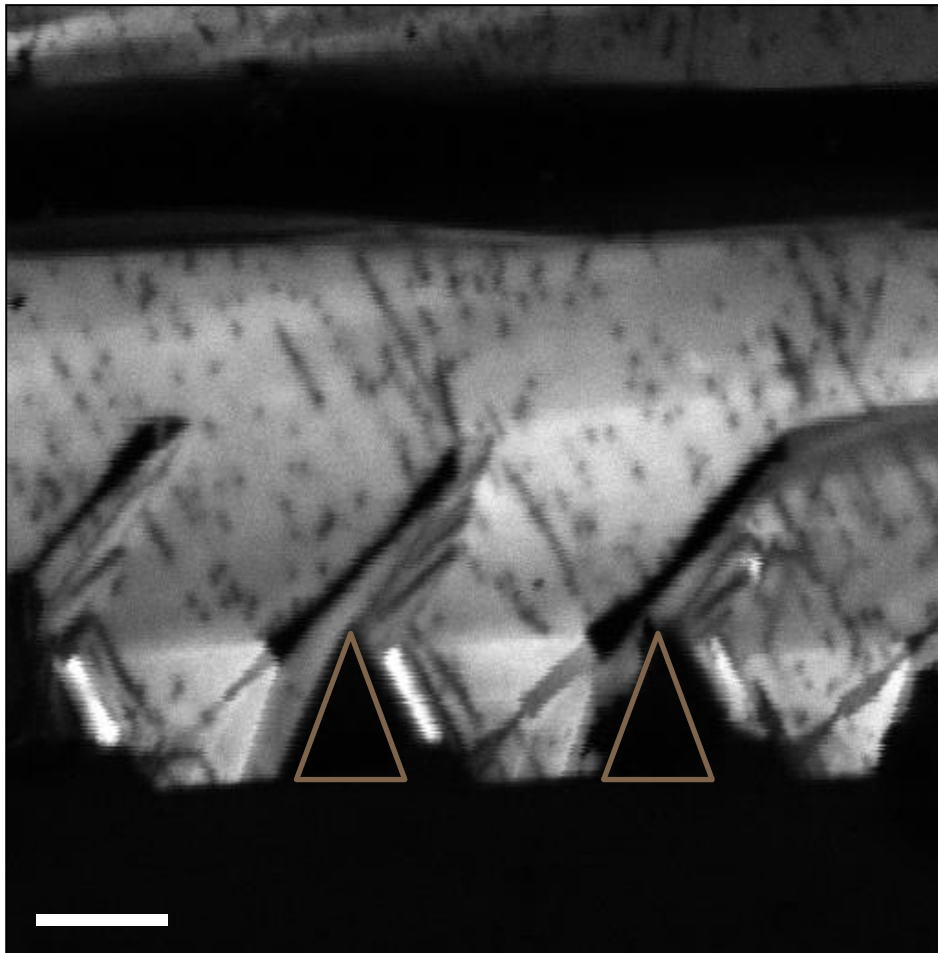
- I. GaN semipolaire et défauts associés

- II. Réduction de défauts par croissance sélective sur saphir structuré

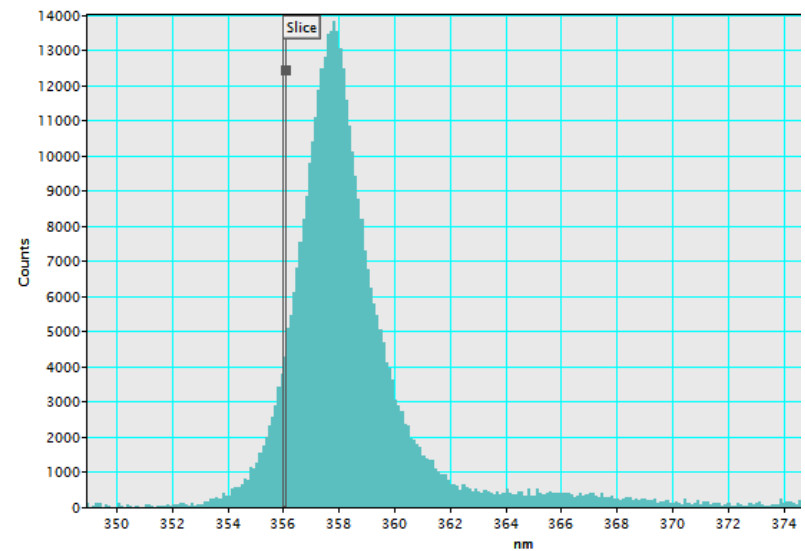
- III. Observations par CL**
 - I. En section
 - II. En vue plane

Observation CL

Panchromatique

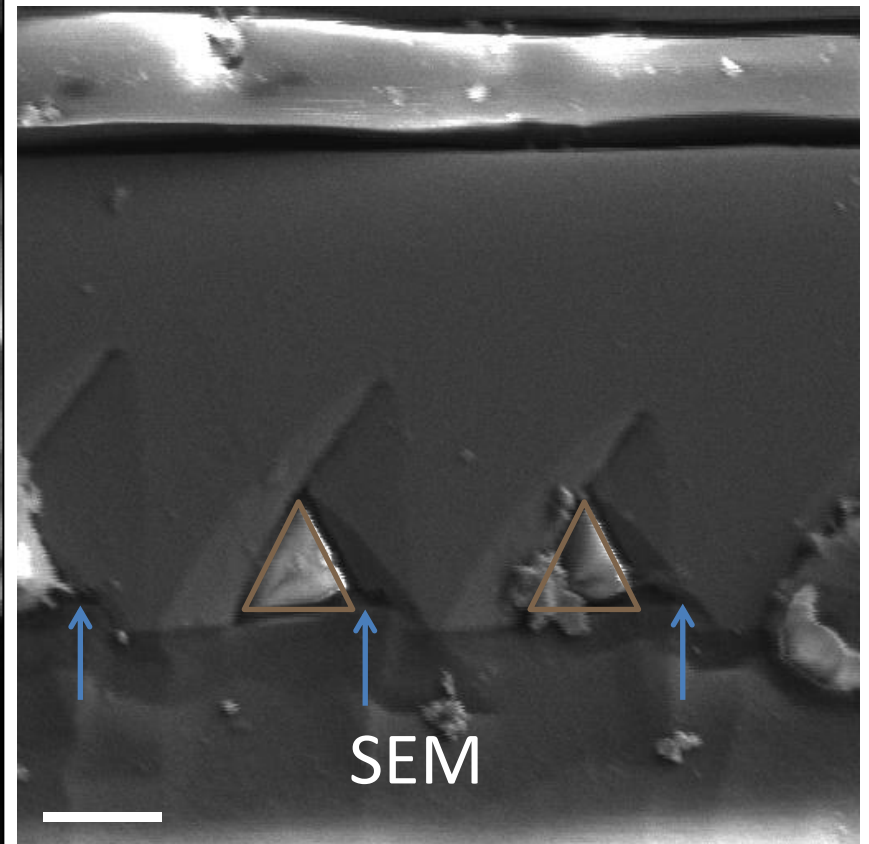
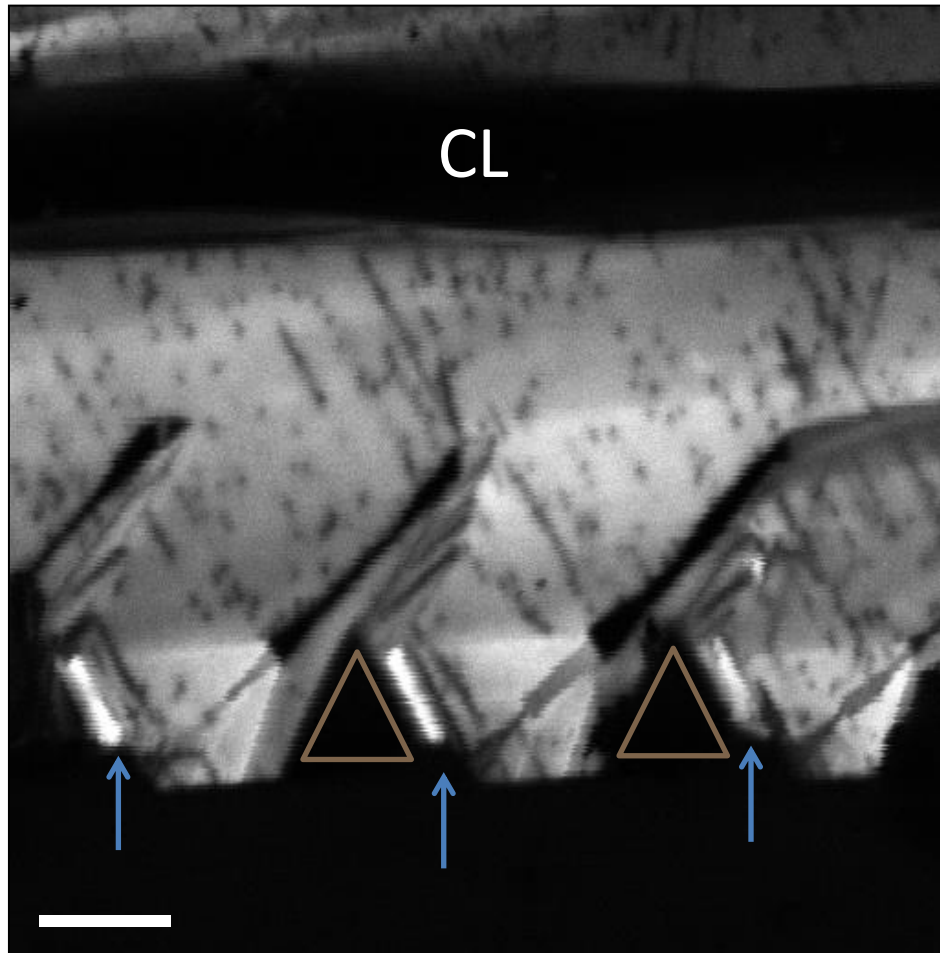


Monochromatique



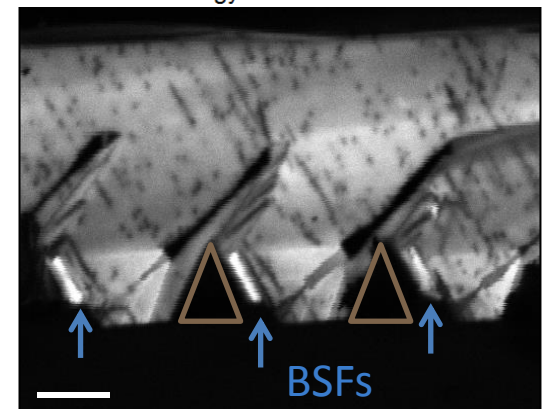
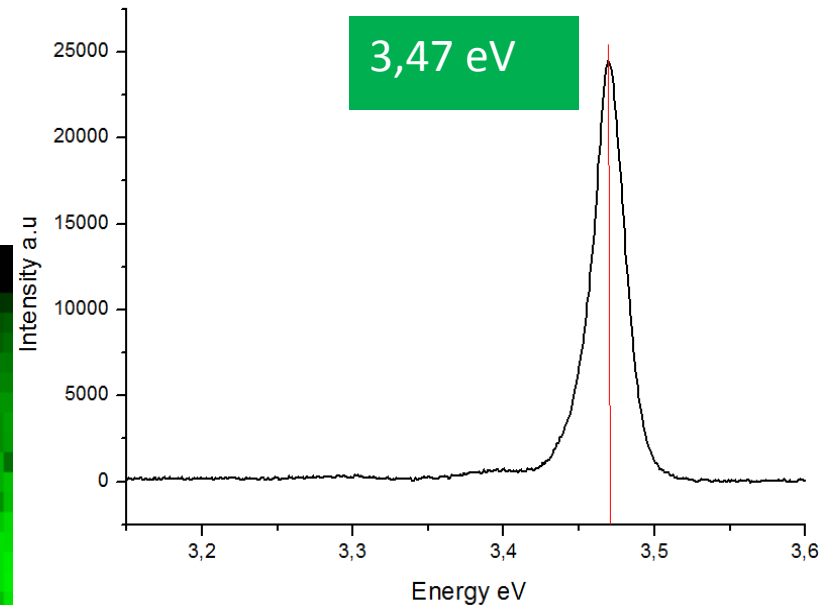
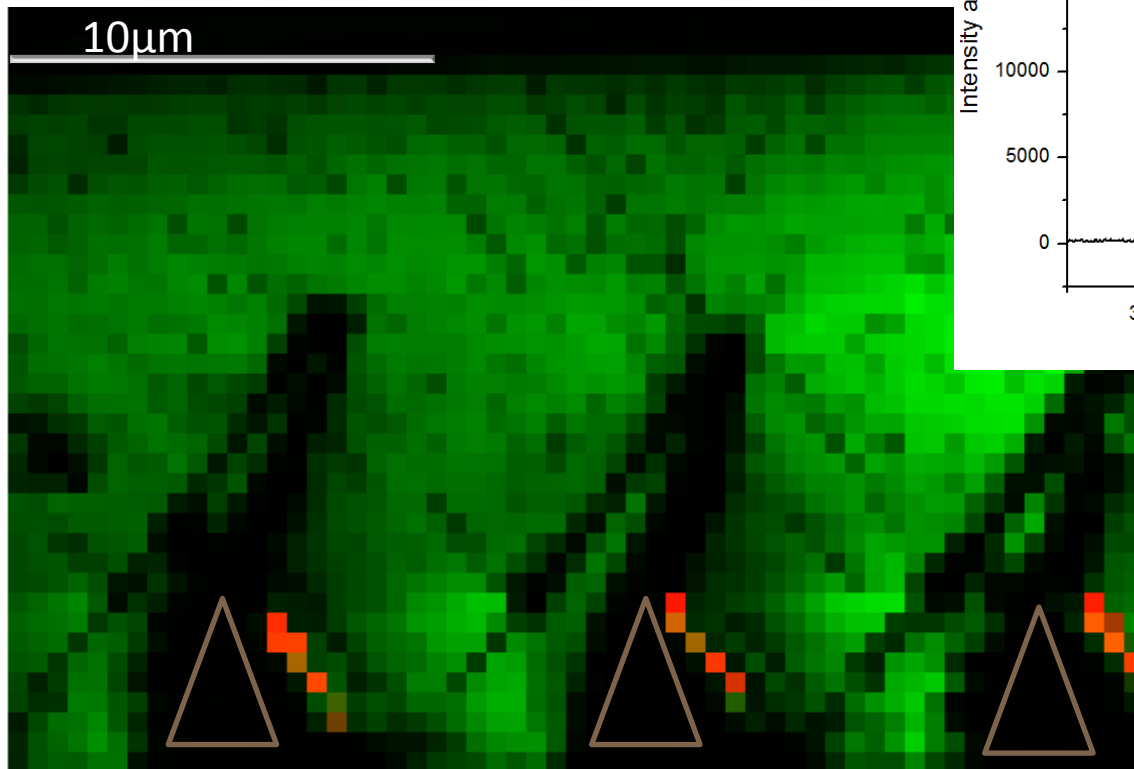
Observation CL: Vue en section

- Image panchromatique à $T = 80 \text{ K}$



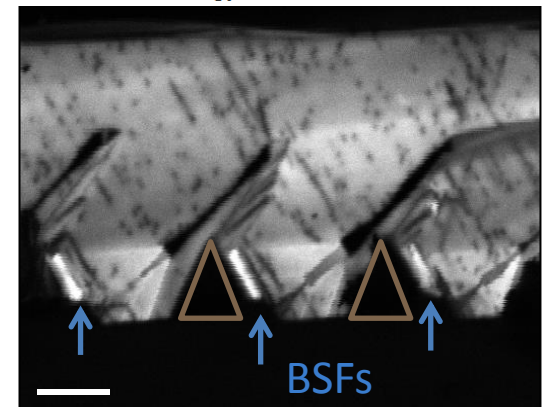
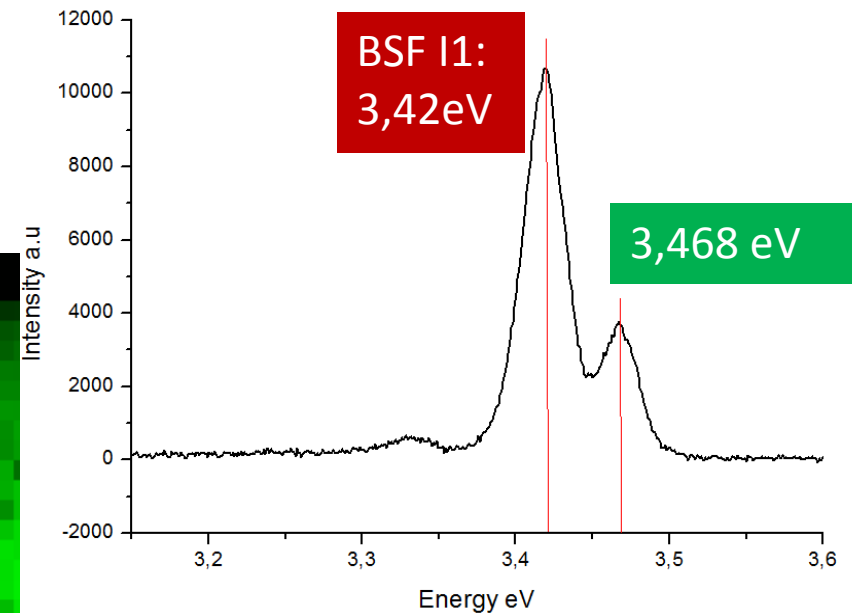
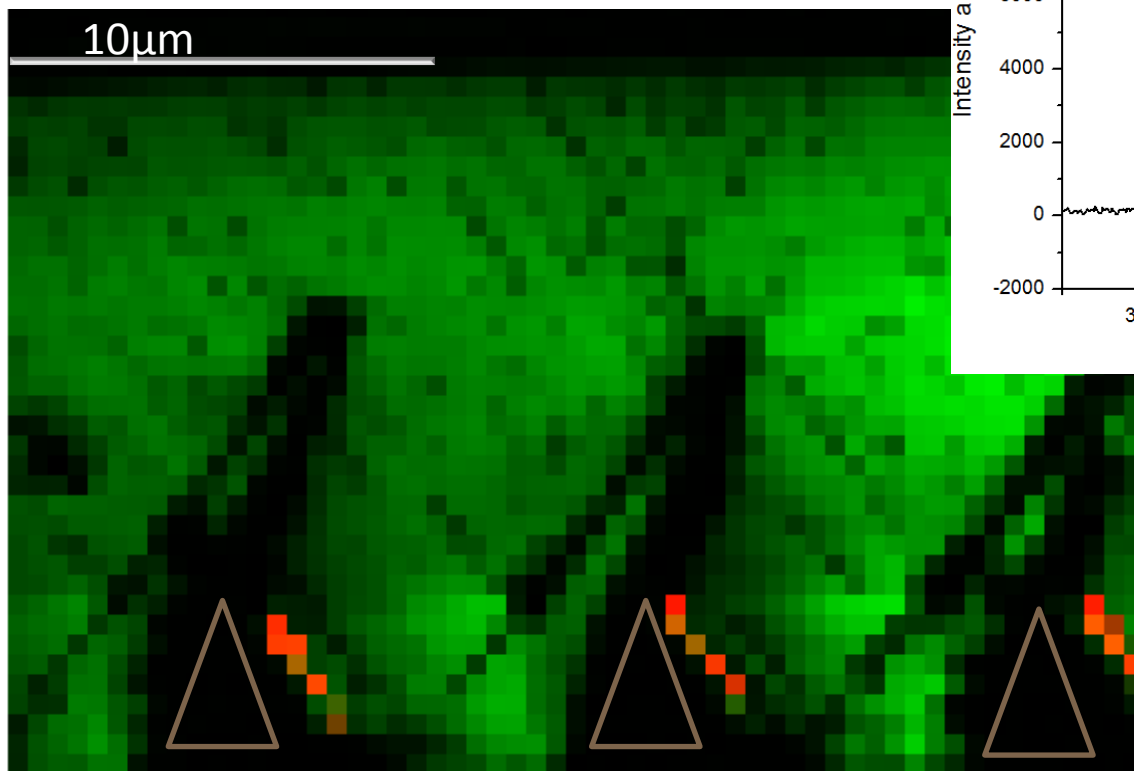
Observation CL: Vue en section

- Cartographie CL (80K)
 - En vert le bord de bande
 - En rouge les BSFs de type I1



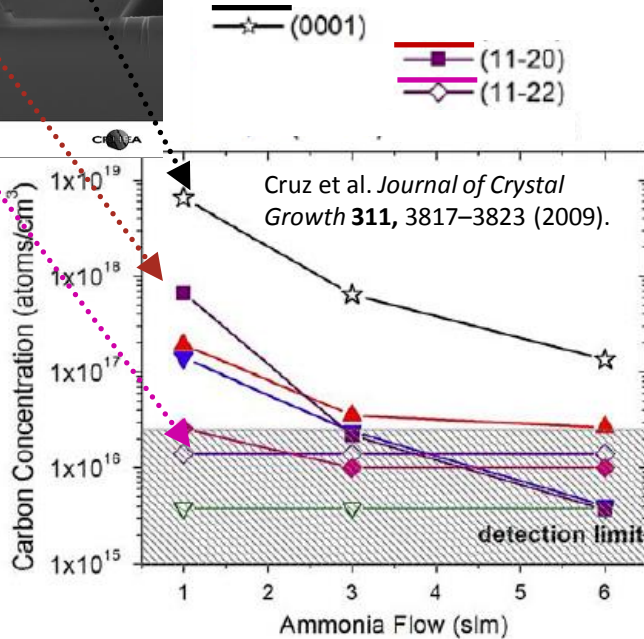
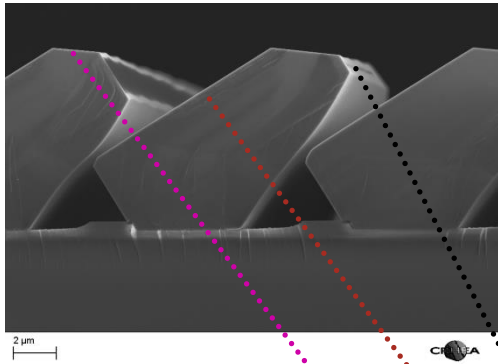
Observation CL: Vue en section

- Cartographie CL (80K)
 - En vert le bord de bande
 - En rouge les BSFs de type I1

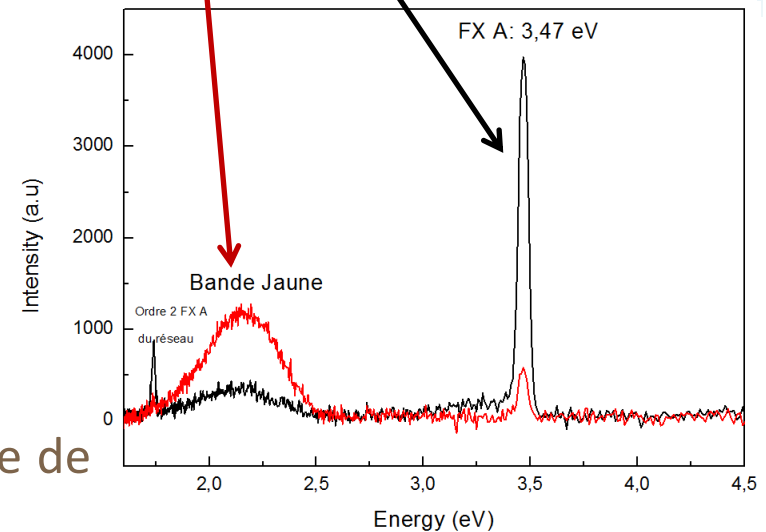
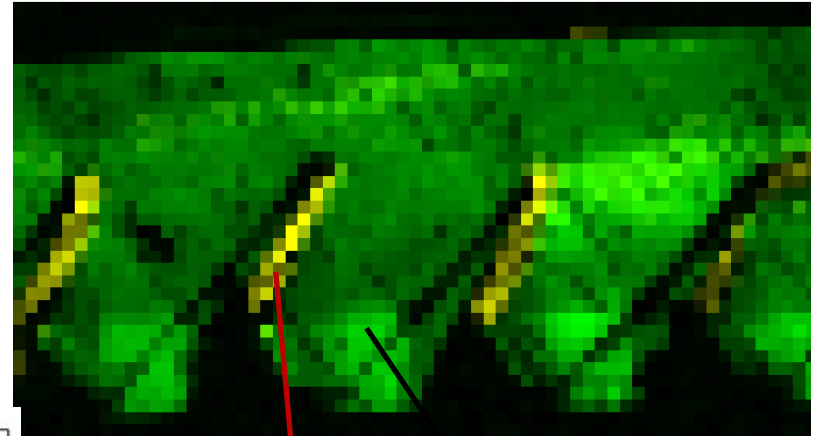


Observation CL: Vue en section

Localisation d'impuretés:



Caractérisation d'impuretés présentes dans de faibles concentration



Spectre de luminescence caractéristique de l'incorporation de carbone dans GaN

Sommaire:

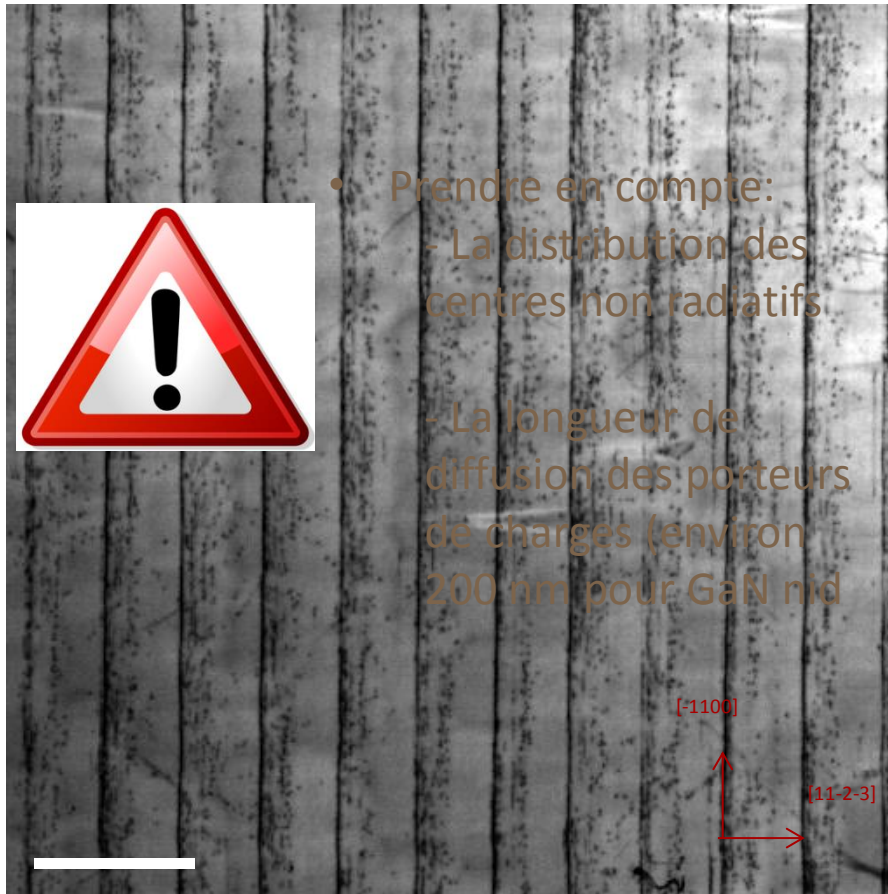
- I. GaN semi-polaire et défauts associés

- II. Réduction de défauts par croissance sélective sur saphir structuré

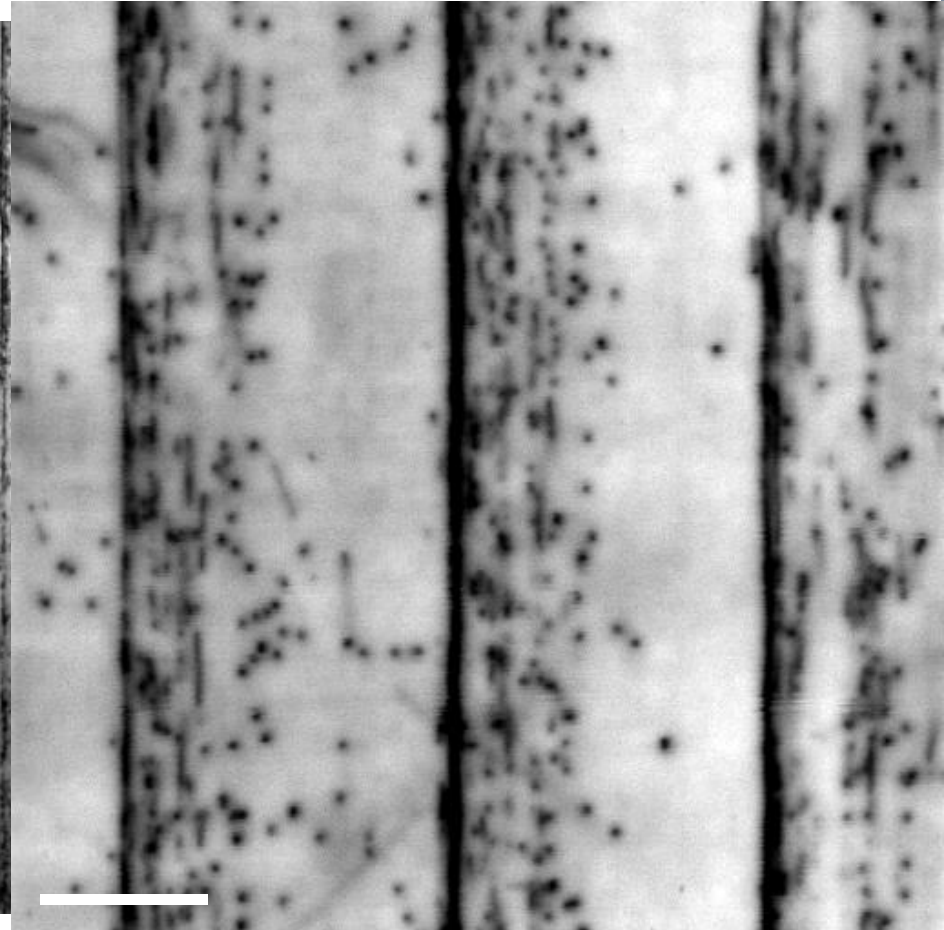
- III. Observations par CL**
 - I. En section
 - II. En vue plane

Observation CL: Vue plane

- Comptage des dislocations si $< 3 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$



- Prendre en compte:
 - La distribution des centres non radiatifs
 - La longueur de diffusion des porteurs de charges (environ 200 nm pour GaN nid)

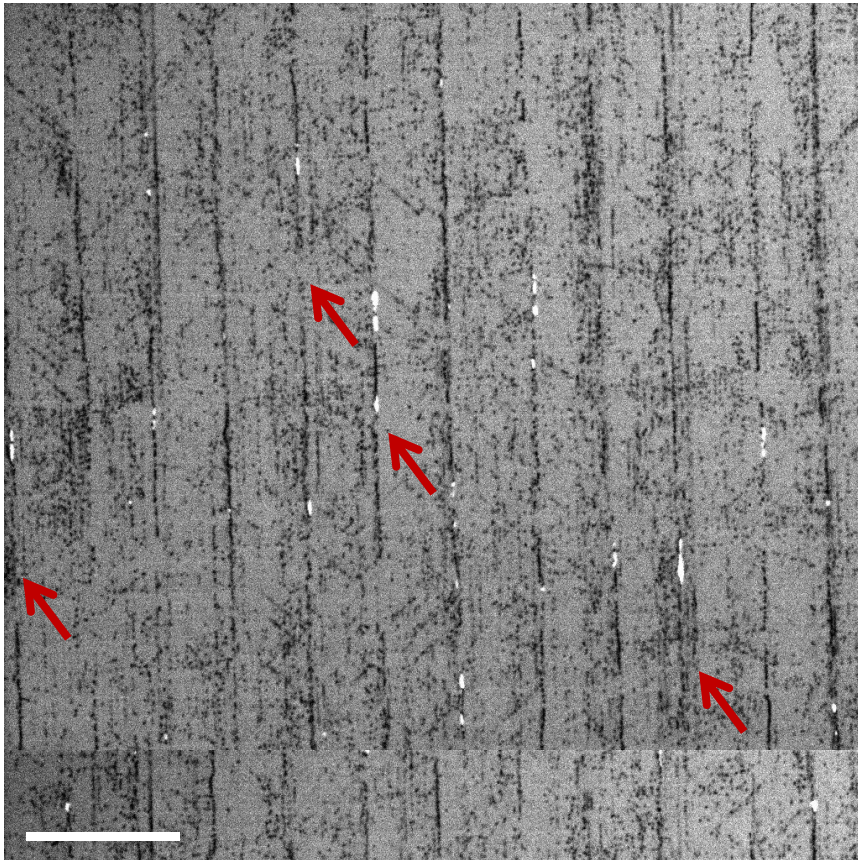


Densité de centres non-radiatifs: $4,5 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}$

Observation CL: Vue plane

- Comptage des BSFs si $< 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$

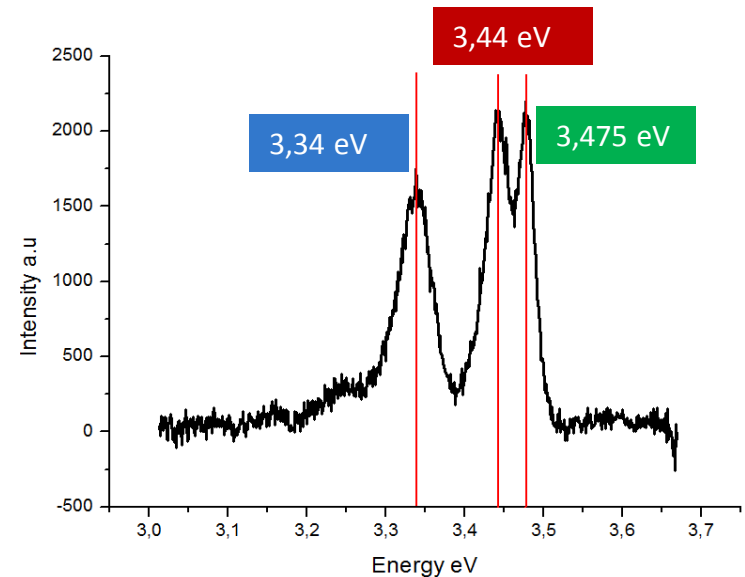
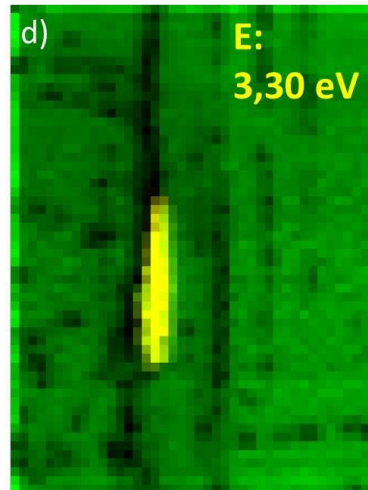
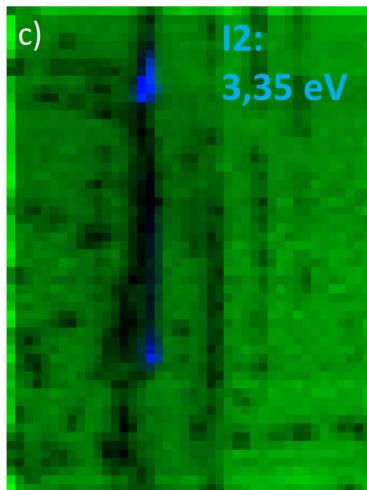
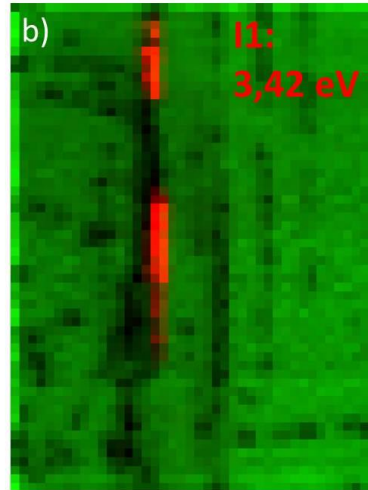
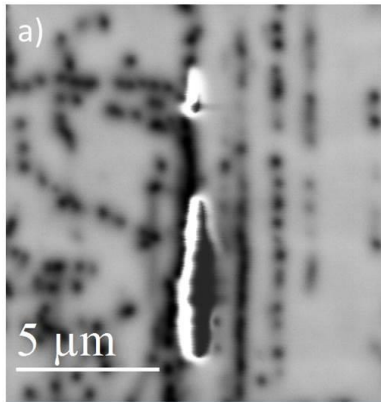
T = 80K



Densité de fautes d'empilements
sur cette image: **38,2 cm⁻¹**

Observation CL: Vue plane

- Cartographie d'une zone de défauts:

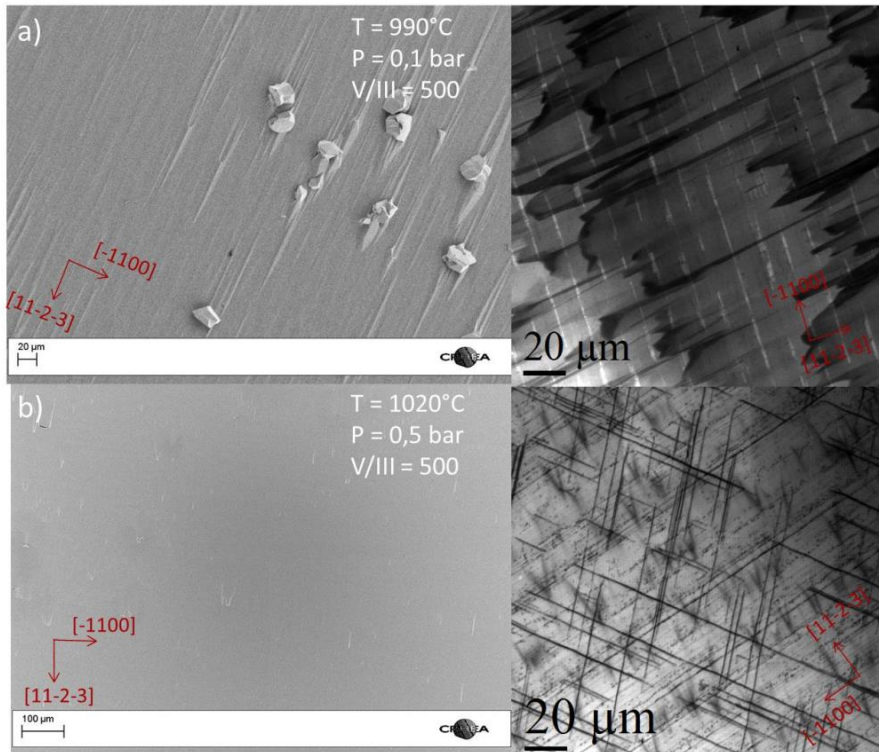


Observation CL: Vue plane

Optimisation des conditions de croissance:
Non destructive, simple et rapide

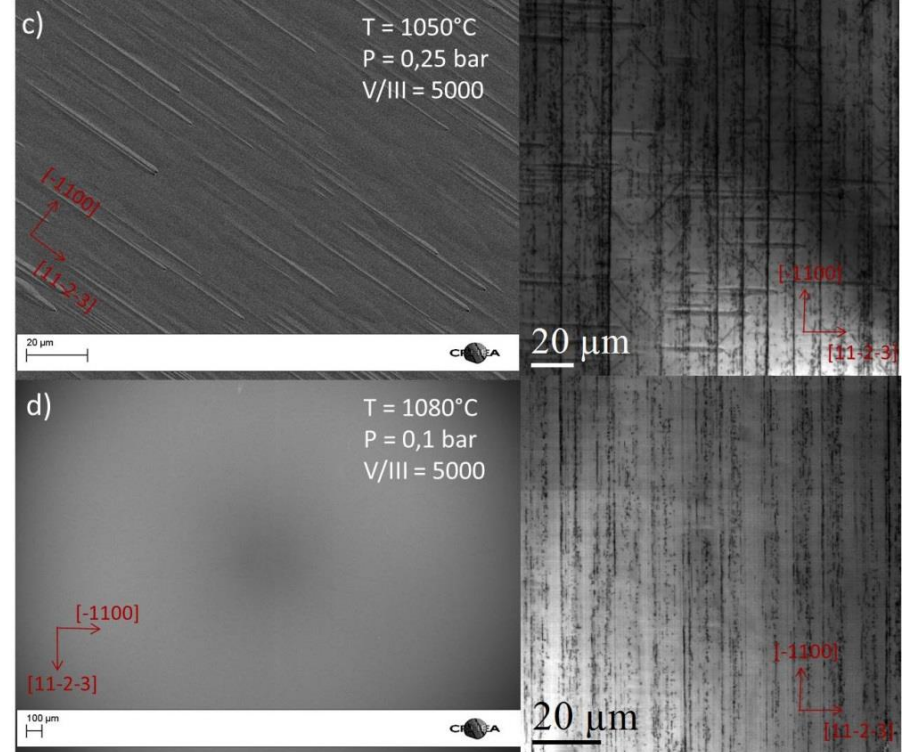
SEM

CL



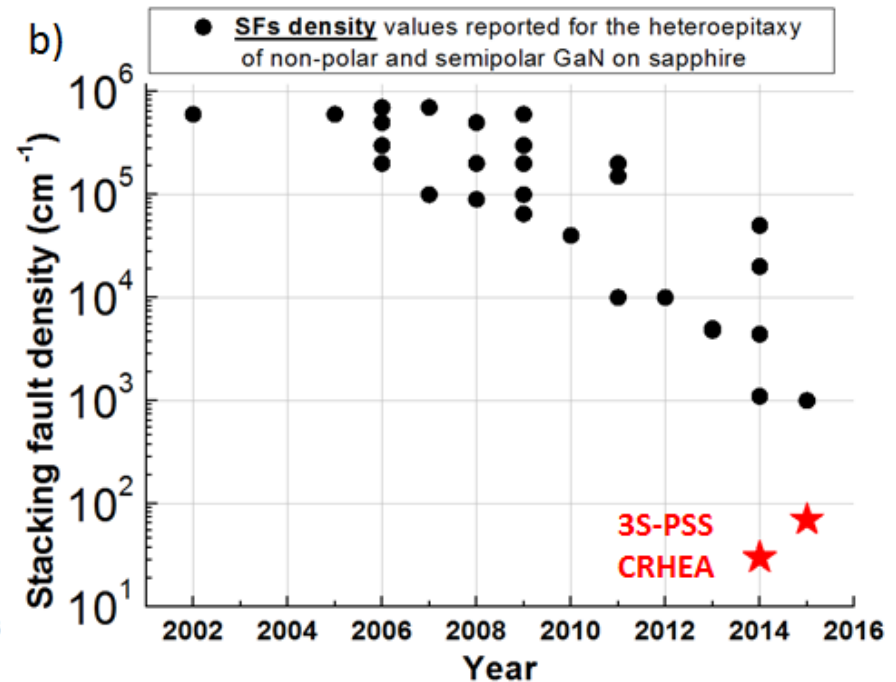
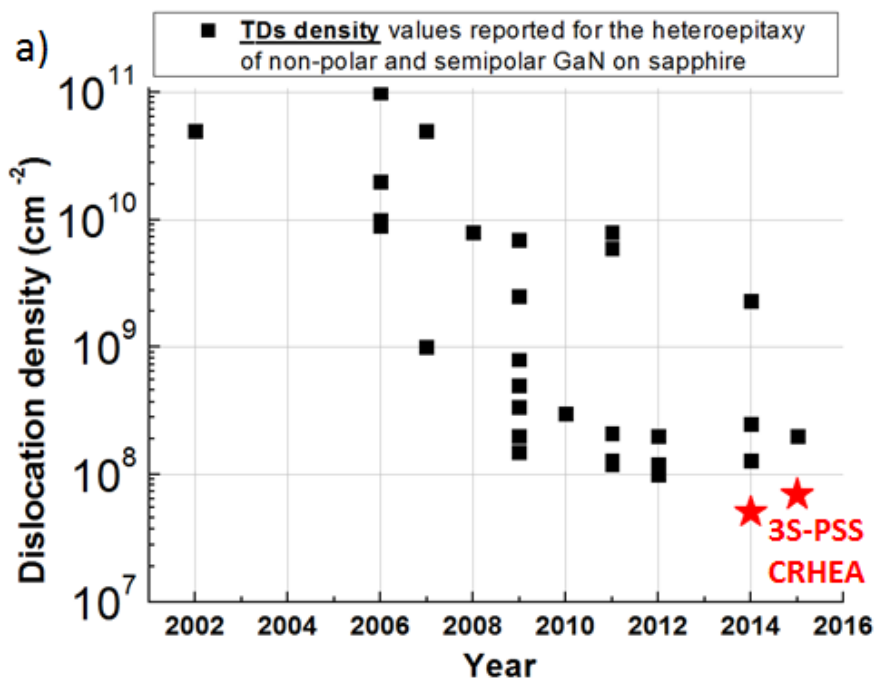
SEM

CL



Résultat

Utilisation de la CL en outil de routine pour le développement de la croissance épitaxiale du GaN semi-polaire



Conclusion

- Détermination de la nature et de la localisation des défauts radiatifs.
- Estimation de la densité des défauts ponctuels non-radiatifs.
- Optimisation rapide de la croissance épitaxiale conduisant à l'amélioration de la qualité cristalline du GaN semi-polaire.

Merci de votre attention

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur

