

Caractérisations structurales des hétérostructures III-N

Philippe Vennéguès



- MEB: *Marc Passerel*
- MFA: *Olivier Tottereau et Stéphane Vézian*
- Diffraction RX: *Sophie Marguerite Laügt*

+

B. Beaumont, F. Semond, F. Vigué, E. Frayssinet, E. Feltin, H. Larhèche, B. Damilano, S. Dalmasso, D. Schenk, J.M. Bethoux, P. De Mierry, M. Leroux, V. Bousquet, S. Haffouz, P. Gibart, N. Grandjean, G. Nataf, J. Massies....

-Introduction

- structure des III-N

-Microscopie Electronique à Balayage

- Microscopie à Force Atomique

- Diffraction des Rayons X

- Microscopie Electronique en Transmission

Introduction

We report that, by using a thin AlN layer as the buffer layer, GaN single crystal films with optically flat surfaces free from cracks have been successfully grown by MOVPE for the first time. Investigations by double crystal x-ray dif-

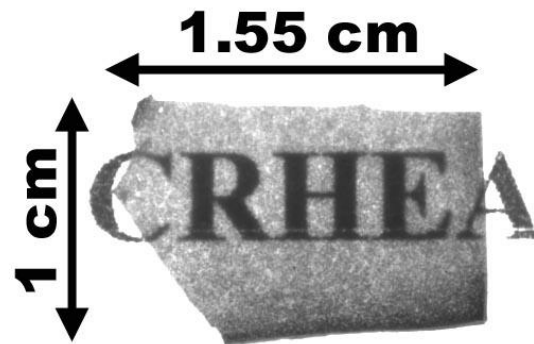
Amano et al., Appl. Phys. Lett. 48, 353 (1986).

Les premières caractérisation de couches minces de III-N était faites à très grande échelle. L'outil était l'œil éventuellement le microscope optique. Aujourd'hui, la maîtrise de la croissance fait que les caractérisations se font à beaucoup plus petite échelle. Mais le premier outil de caractérisation après croissance d'un matériau reste l'œil; une couche de III-N qui n'est pas transparente n'est pas une couche de bonne qualité. L'outil de caractérisation le plus utilisé au CRHEA est le microscope optique.

Les outils de caractérisation présentés dans ce cours travaillent à des échelles différentes, du millimètre à l'Angström. Une caractérisation « complète » nécessite des études à toutes ces échelles: la microscopie électronique haute résolution ne sera utilisée qu'après des études à plus grande échelle.

Il faut se méfier des phénomènes observés à fort grossissement (très faible champ d'observation) et vérifier la statistique d'observation. Ceci est particulièrement important pour les couches de nitrures qui sont souvent très inhomogènes.

Une caractérisation « à l'œil »: couche auto-supportée HVPE



structure

III-N : 2 structures: - würtzite

- sphalérite (GaN basse température)

structures

tétra-coordonnées

Würtzite: structure hexagonale, groupe d'espace $P6_3/mmc$

2 atomes par maille: Ga (Al, In) en $(1/3, 2/3, 1/4)$

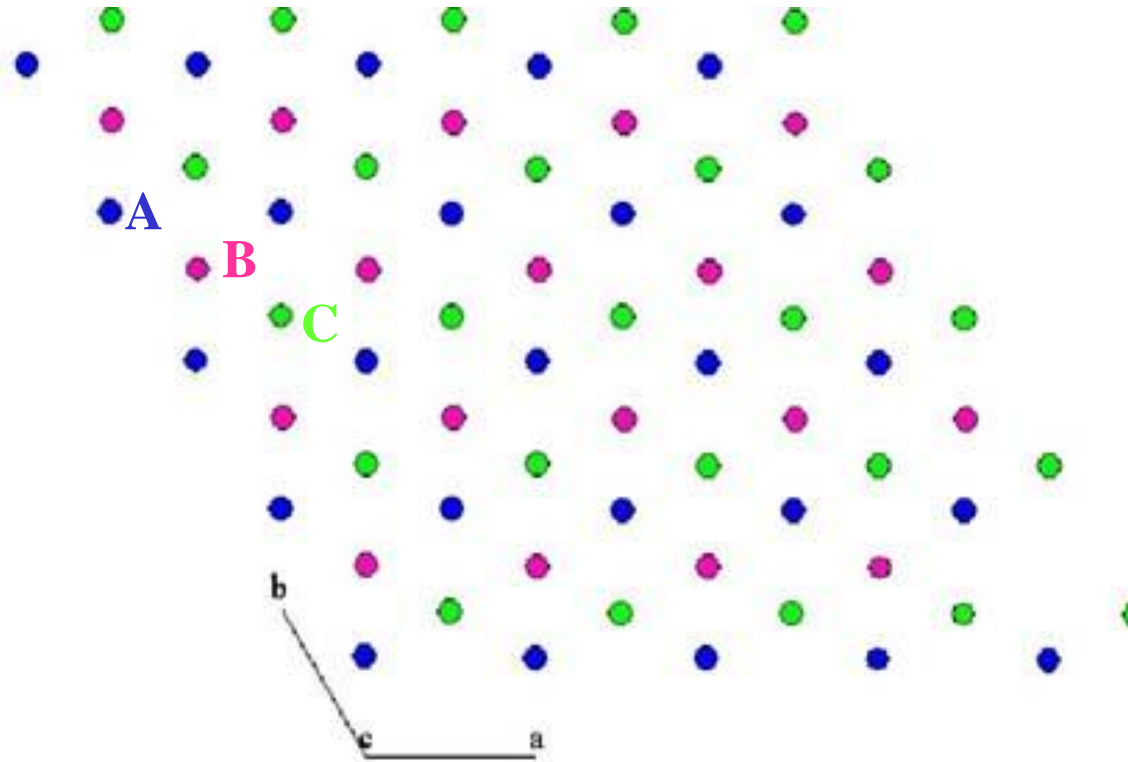
N en $(1/3, 2/3, 1/4+u)$

2 réseaux hexagonaux compacts: N et III

Sphalérite: cubique faces centrées, groupe d'espace $F-43m$

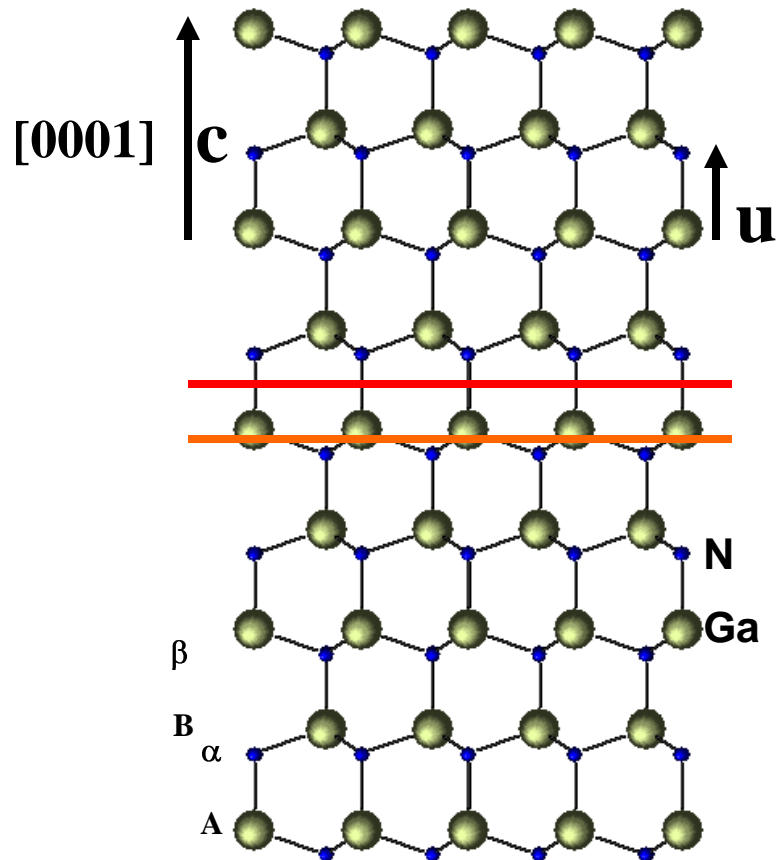
2 atomes par maille: Ga (Al, In) en $(0, 0, 0)$

N en $(1/4, 1/4, 1/4)$



Empilement hexagonal
compact: ABABAB...

Empilement cubique faces
centrées: ABCABC...



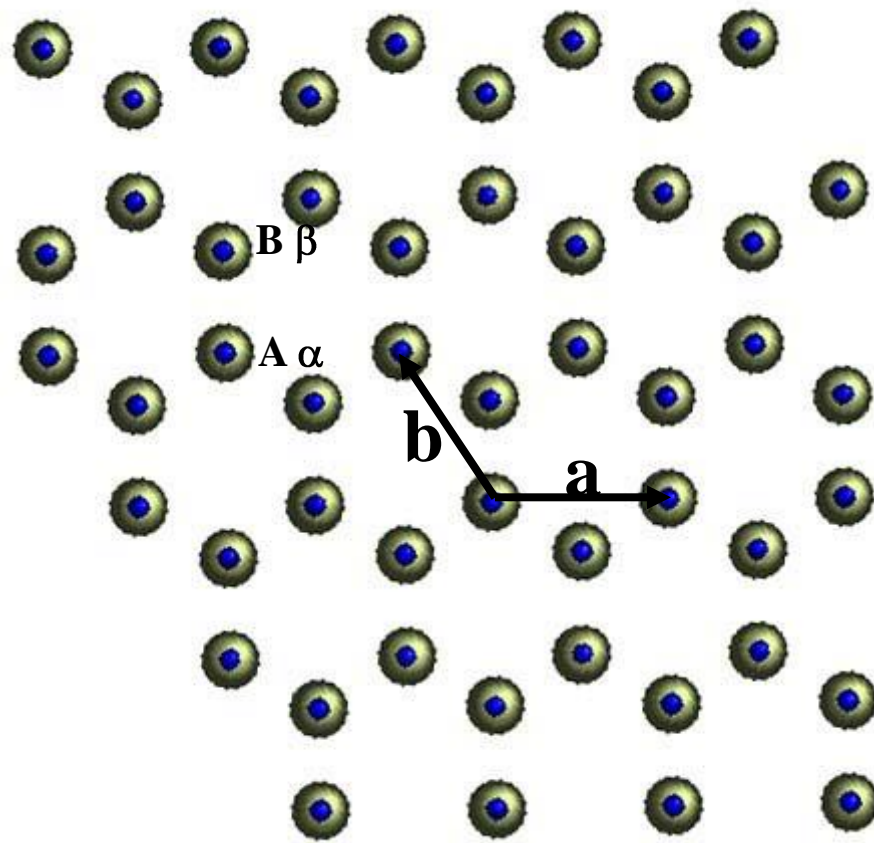
Projection $[11-20]$

Würtzite:

Ga (N) en site tétraédrique dans le réseau de N (Ga)

empilement $A\alpha B\beta\dots$

Structure polaire: axe $[0001]$ (positif)
joint un Ga à un N : face Ga ou polarité Ga



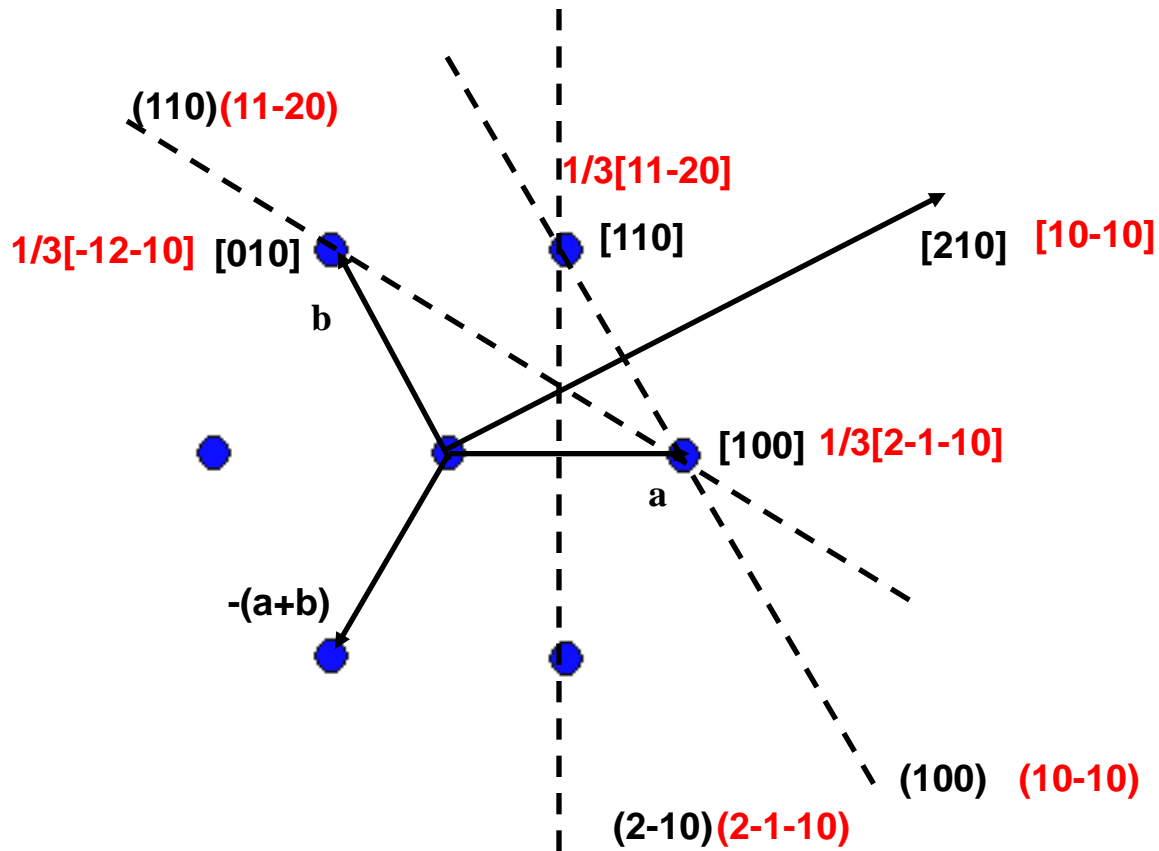
Projection [0001]

Würtzite « parfaite »:

$$c/a = \sqrt{8/3} = 1.633$$

$$u/c = 3/8 = 0.375$$

	a(nm)	c(nm)	c/a	u/c
GaN	0.3189	0.5185	1.626	0.377
AlN	0.3113	0.4982	1.600	0.382
InN	0.3538	0.5703	1.612	0.377



En notation à 4 indices:

$$[hki0] \perp (hki0)$$

Les directions équivalentes se déduisent par permutation des 3 indices h, k et i ($[hki0]$, $[hik0]$, $[ihk0]$...)

3 indices- 4 indices

2 directions principales dans le plan de base: $\langle 11-20 \rangle$ et $\langle 10-10 \rangle$

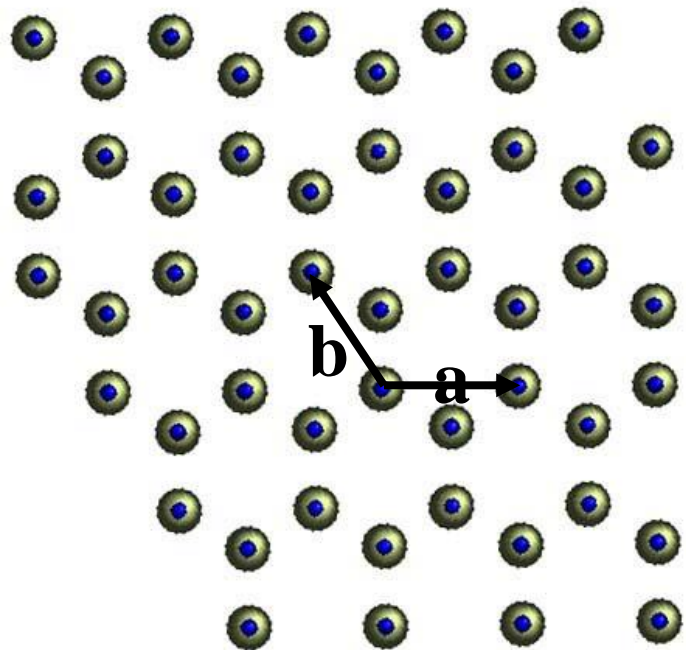
plans les plus denses: $\{0001\}$, $\{10-10\}$ et $\{11-20\}$

Angle ($[10-10] [11-20]$) = 30°

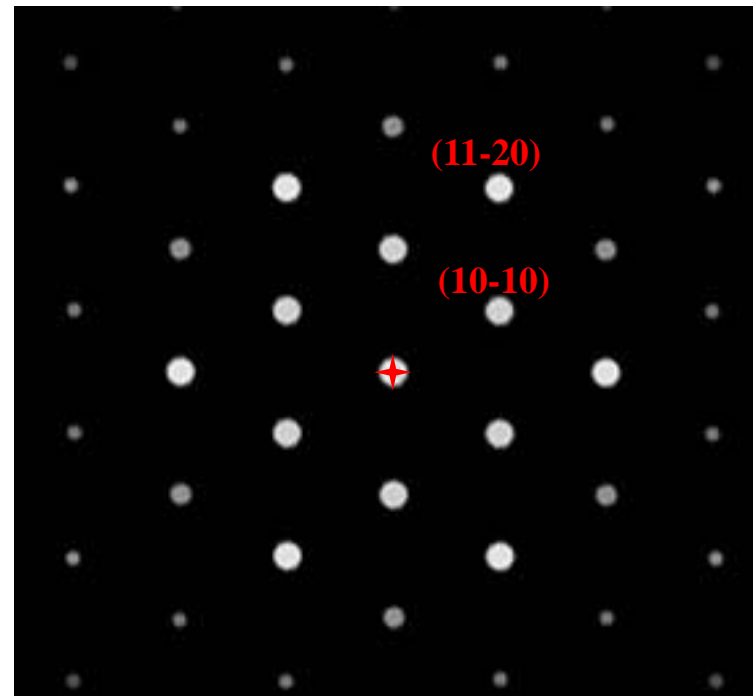
$$d^2 = \frac{a^2}{\frac{4}{3}(h^2 + k^2 + hk) + l^2 \frac{a^2}{c^2}}$$

	3 indices	4 indices
Directions	$U = 2u + v$ $V = u + 2v$ $W = w$	$u = (2U - V)/3$ $v = (2V - U)/3$ $t = -1/3(U + V)$ $w = W$
Plans	$H = h$ $K = k$ $L + 1$	$h = H$ $k = K$ $i = -(h + k)$ $l = L$

Réseau direct

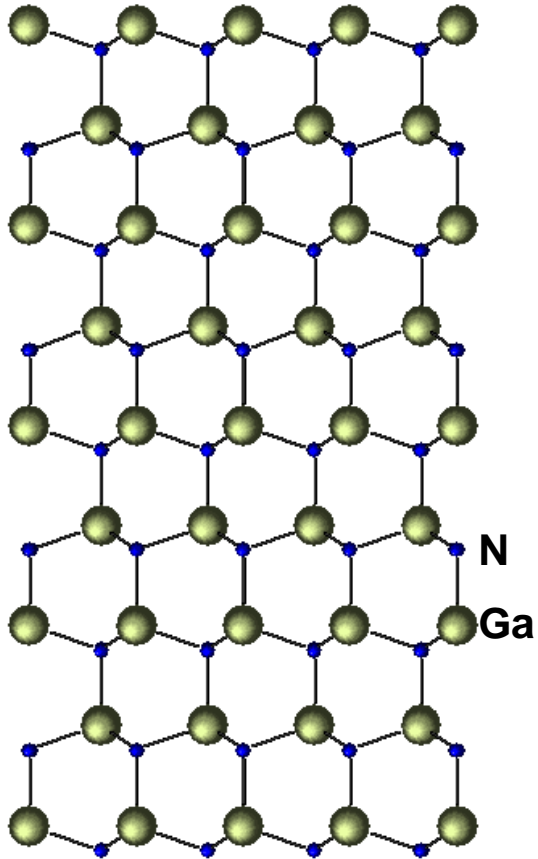


Réseau réciproque

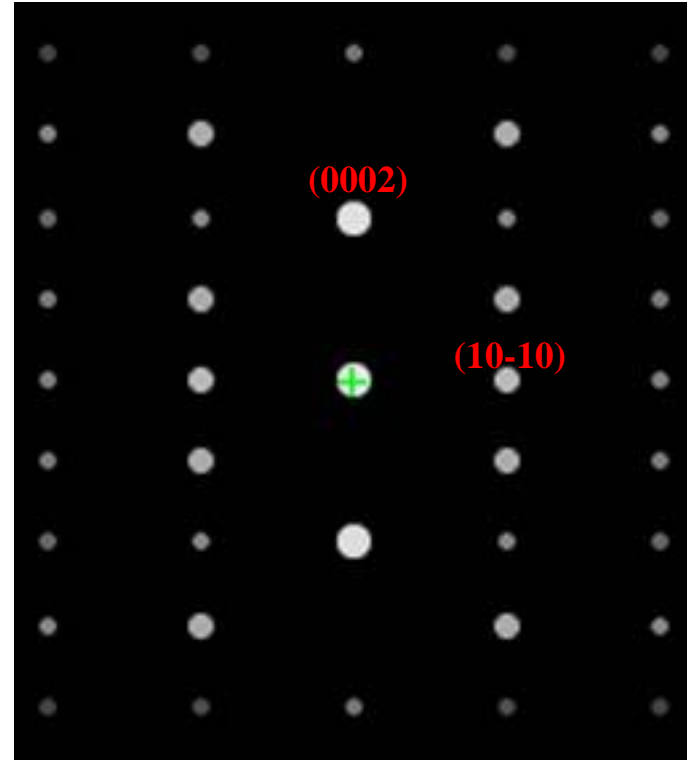


Projection [0001]

Réseau direct

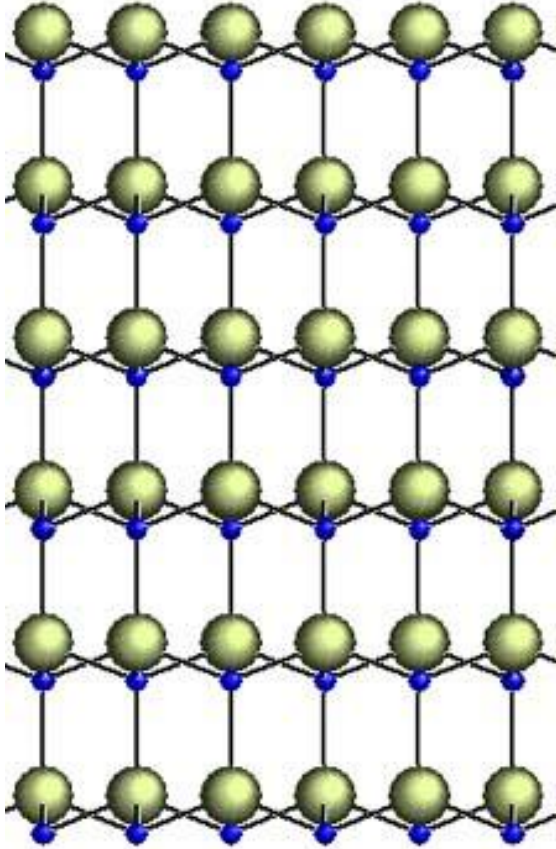


Réseau réciproque

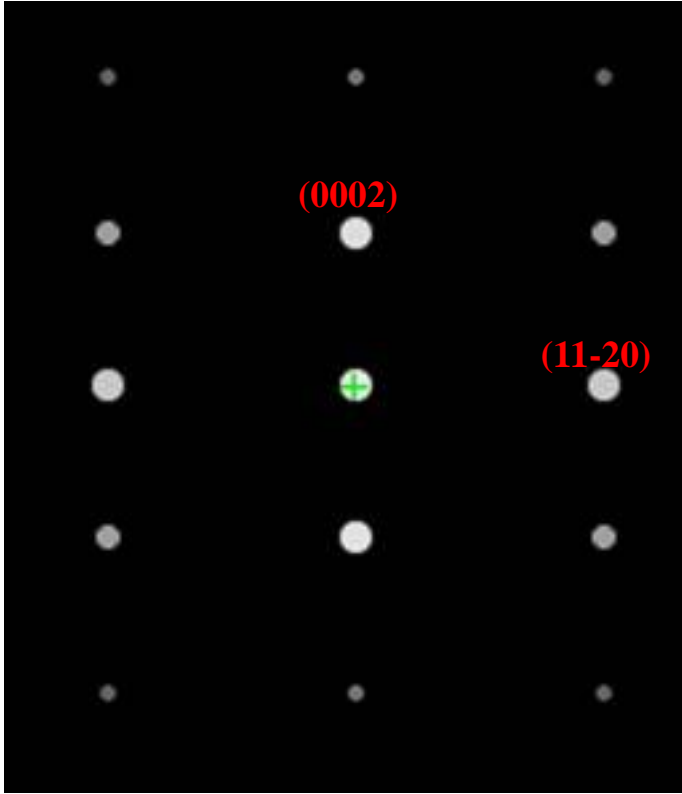


Projection [11-20]

Réseau direct



Réseau réciproque



Projection [10-10]

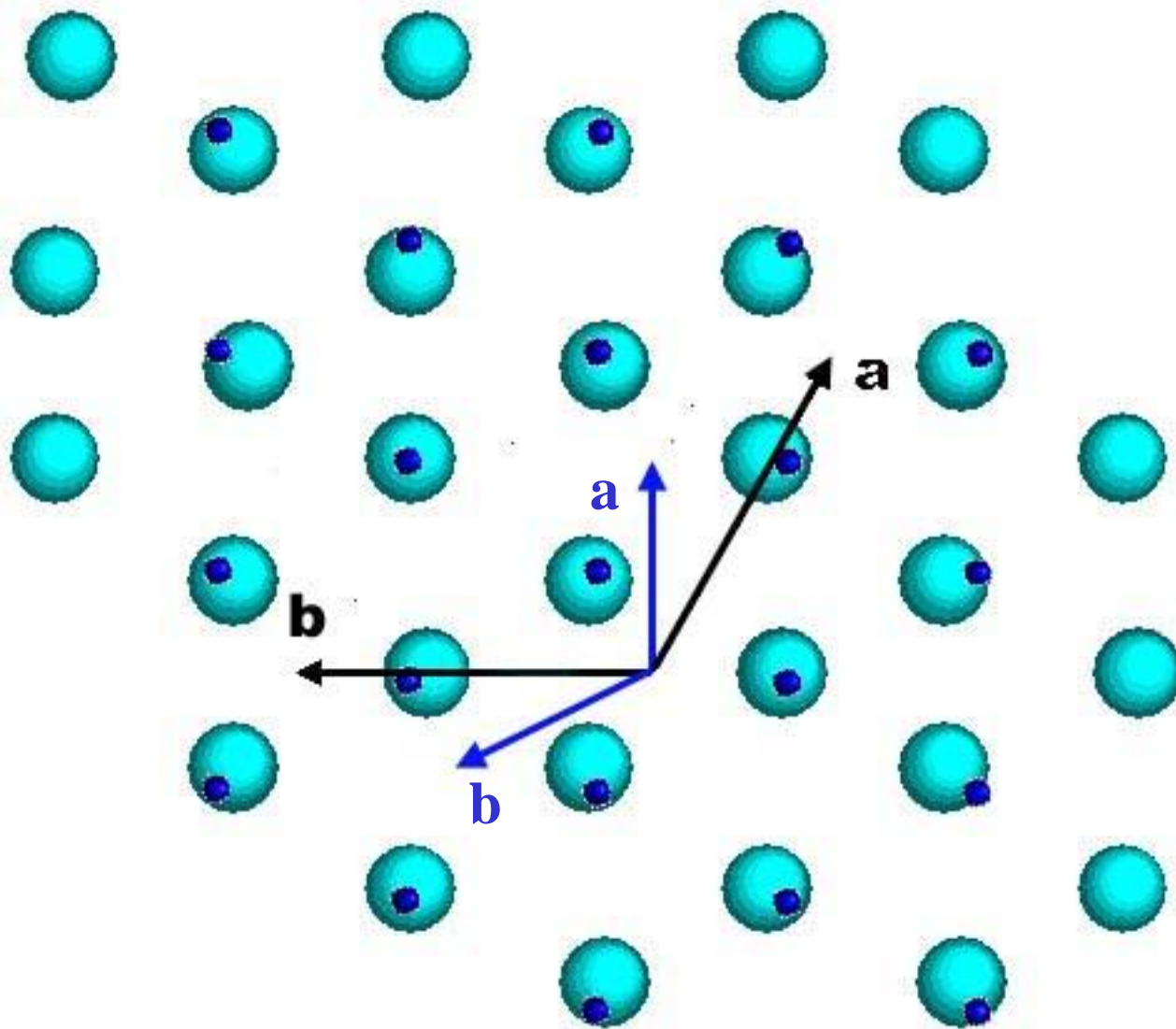
Relations d'épitaxie avec les principaux substrats:

Si (111) : $\langle 0001 \rangle_{\text{GaN}}$ || $[111]_{\text{Si}}$, $[11-20]_{\text{GaN}}$ || $[110]_{\text{Si}}$, $[10-10]_{\text{GaN}}$ || $[211]_{\text{Si}}$

SiC 6H (0001) : $\langle 0001 \rangle_{\text{GaN}}$ || $\langle 0001 \rangle_{\text{SiC}}$, $[11-20]_{\text{GaN}}$ || $[11-20]_{\text{SiC}}$

\Rightarrow Hexagone sur hexagone

Saphir (0001): $\langle 0001 \rangle_{\text{GaN}}$ || $\langle 0001 \rangle_{\text{Al}_2\text{O}_3}$, $[11-20]_{\text{GaN}}$ || $[10-10]_{\text{Al}_2\text{O}_3}$



Hexagone sur hexagone