Influence des paramètres de croissance de l'homoépitaxie silicium par UHV- CVD sur la reconstruction de surface du silicium

Rozenn Bernard, Nicolas Bertru, Tony Rohel, Karine Tavernier, Ida Lucci, Yoan Léger, Charles Cornet

▶ **To cite this version:**

Rozenn Bernard, Nicolas Bertru, Tony Rohel, Karine Tavernier, Ida Lucci, et al.. Influence des paramètres de croissance de l'homoépitaxie silicium par UHV- CVD sur la reconstruction de surface du silicium. Journées Nanomatériaux, Jan 2020, Rennes, France. hal-02474736

HAL Id: hal-02474736
https://hal.science/hal-02474736

Submitted on 3 Mar 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.

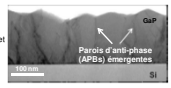
Influence des paramètres de croissance de l'homoépitaxie silicium par UHV-CVD sur la reconstruction de surface du silicium.

R. Gautheron-Bernard, N. Bertru, T. Rohel, K. Tavernier, I. Lucci, Y. Léger, C. Cornet

Contexte : contrôle de la formation des parois d'antiphase (APBs)

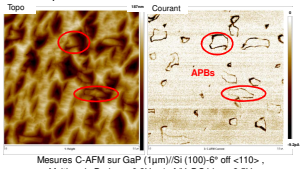
Formation de défauts cristallins (macles, parois d'antiphase…) lors de l'intégration monolithique de matériau III-V sur silicium.

Cas des parois d'antiphase (APBs) :

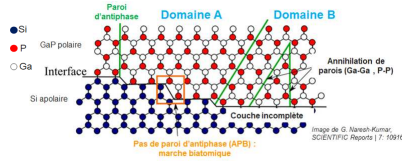


Coupe TEM, CEMES, A. Ponchet

Défauts structuraux qui peuvent se propager sur toute l'épaisseur de la structure et affecter les propriétés physiques (optiques, électriques…) des composants.



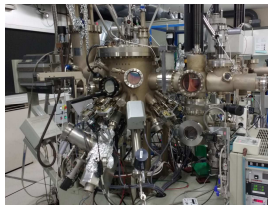
Mesures C-AFM sur GaP (1µm)//Si (100)-6° off <110> , Multimode Bruker ; 0,3Hz, 1nA/V, DC bias=-8,5V



Paramètres influençant la formation des APBs :

- Qualité de la reconstruction de surface du silicium (marches mono/bi-atomiques, absence de défauts…)
- Conditions d'épitaxie III-V

Cluster III-V / Si – nanoRennes - Foton

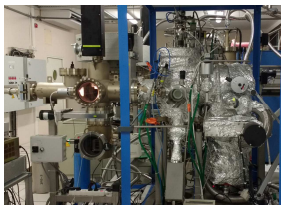


SSMBE (Solid Source Molecular Beam Epitaxy) : RIBER COMPACT21

- ► Eléments III (solides) : In1, In2, Ga1, Ga2, Al dopants Si, Be
- ► Eléments V (cracker) : P_2, As_2, Sb_2, N_2 (cellule plasma)

Spécificités : - wafers 2 pouces
- RHEED

COUPLAGE UHV

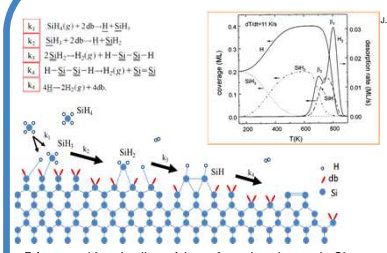


UHV-LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) : RIBER

- ► Eléments (Cellule gaz BT): SiH_4, H_2, dopants AsH_3, B_2H_6

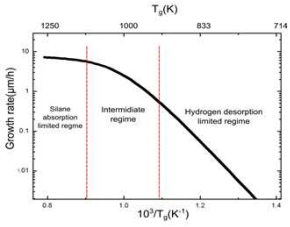
Spécificités : - wafers 2 pouces
- connexion UHV avec la SSMBE
- RHEED

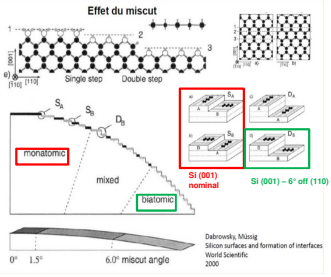
Homoépitaxie Silicium par UHV-LPCVD



Décomposition du silane à la surface du substrat de Si et désorption de l'hydrogène

J. Spitzmuller et al, *Physical review. B, Condensed matter*, vol. 55, n°. 7, p. 4659-4664.





Contrôle des contaminants (C, SiO_2, ….) à la surface du Si et de la qualité du vide dans le bâti:

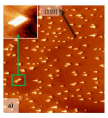


Image STM (1*1µm²) (IPR P. Turban - ANR Antipode) d'une surface de Si(001) 0.3°-off après un recuit à 900°C sous vide.

Propagation des marches monoatomiques perturbées par cristallites de SiC (contamination C).

Traitement de surface du substrat de Si avant épitaxie : HF1% (90') / UV-O_3 (10 min) / HF1% (90')

+

Dégazage des supports avant chaque épitaxie (1100°C sous vide)

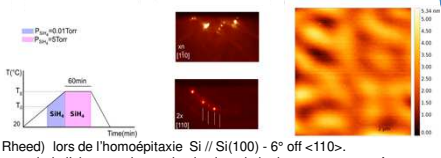
➡ Reconstruction de surface du Si dépendant du régime d'épitaxie (T°C, P_{SiH4}) ; du miscut du Si ; de la qualité du vide résiduel du bâti et de la préparation de surface du wafer de Si

Hydrogénation de la surface du Si

Hydrogénation de la surface du silicium avant épitaxie avec HF 1%....mais pas jusqu'à la température de croissance (Tg)

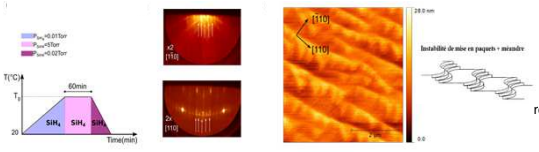
Si // Si(100) - 6° off <110> et mode LPCVD

➡ Montée en température sous faible P_{SiH4}



Reconstruction 2*n (clichés Rheed) lors de l'homoépitaxie Si // Si(100) - 6° off <110>.
Surface avec présence d' 'ilots' pouvant provenir de l'absence de passivation lors de la descente en température.

➡ Montée en température et descente sous faible P_{SiH4}



Suppression des 'ilots' en surface mais passage par une zone d'instabilité avec mise en paquets des marches. Passage d'une reconstruction (2*n) à une reconstruction (2*2) lors de la phase de refroidissement.

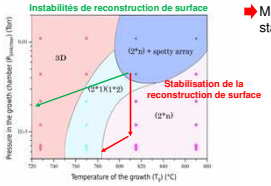
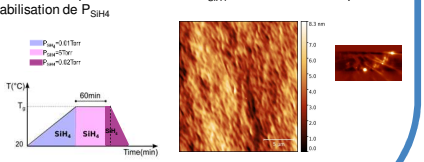


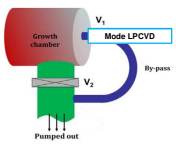
Diagramme de phase $P_{SiH4inGer}$ = f(Tg) pour l'homoépitaxie Si//Si (100) - 6° off <110> en mode LPCVD.
Thèse d'Ida Lucci, 2019 – ANR Antipode

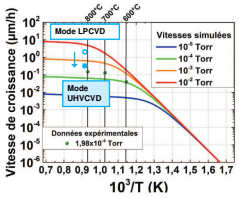
➡ Montée en température sous faible P_{SiH4} et refroidissement après stabilisation de P_{SiH4}

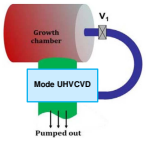


Suppression des ilots et des instabilités de croissance.
Conservation d'une reconstruction de surface de type (2*n)

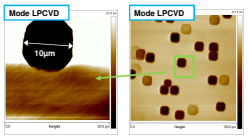
Influence du régime d'épitaxie



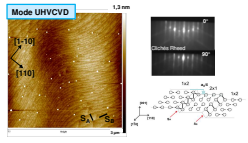




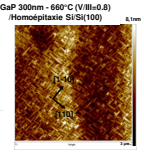
Si // Si(100)



Trous et reconstruction (2*1)(1*2)

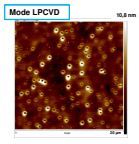


Suppression des trous et reconstruction (2*1)(1*2) avec marches S_A et S_B visibles

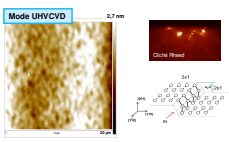


GaP structuré selon les 2 orientations de dimères Si-Si

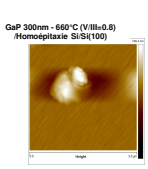
Si // Si(100) - 6° off <110>



Trous et reconstruction (2*n)



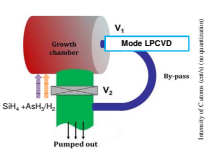
Reconstruction de type (2*n), avec marches biatomiques D_B , mais non observables à l'AFM

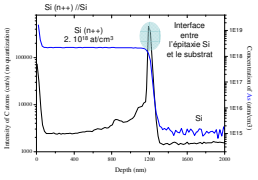


GaP structuré selon l'orientation dominante des dimères Si-Si

➡ *Arrangement des dimères de silicium fortement dépendant du régime de croissance et de la pression partielle de SiH_4.
*Possibilité de contrôler la structuration de l'épitaxie III-V avec l'homoépitaxie Si

Dopage de l'épitaxie silicium





Analyse SIMS – GEMAC - Marie-Amandine Pinault-Thaury

- Dopage résiduel des homoépitaxies Si //Si non dopées = 4. 10^{15} at/cm^3 – type n
- Dopage type n avec AsH_3/H_2 jusqu'à 2.10^{18} at/cm^3, avec mode LPCVD
- Dopage de type p avec B_2H_6 en cours de développement

Perspectives

- Développement du dopage de type p du silicium
- Optimisation des conditions d'épitaxie pour obtenir des marches biatomiques sur Si (100).
- Exploration des gammes de dopage (types n et p) dans le mode UHVCVD
- Etude de la passivation As de la surface du silicium