



**HAL**  
open science

## Structuration de surface par croissance de Nanorubans de Germanium sur Aluminium (110)

Khaoula El Mechyly, Ahmed Mehdaoui, Samar Hajjar, Carmelo Pirri, Didier  
Dentel

► **To cite this version:**

Khaoula El Mechyly, Ahmed Mehdaoui, Samar Hajjar, Carmelo Pirri, Didier Dentel. Structuration de surface par croissance de Nanorubans de Germanium sur Aluminium (110). Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619755

**HAL Id: hal-04619755**

**<https://hal.science/hal-04619755v1>**

Submitted on 21 Jun 2024

**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.

---

# Structuration de surface par croissance de Nanorubans de Germanium sur Aluminium (110)

---

Khaoula El Mechly<sup>1,2</sup>  
khaoula.el-mechly@uha.fr

Ahmed Mehdaoui<sup>1,2</sup>  
ahmed.mehdaoui@uha.fr

Samar Hajjar<sup>1</sup>  
samar.hajjar@uha.fr

Carmelo Pirri<sup>1,2</sup>  
carmelo.pirri@uha.fr

Didier Dentel<sup>1,3</sup>  
didier.dentel@uha.fr

<sup>1</sup> Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M) UMR 7361  
CNRS – Université de Haute Alsace Bâtiment IRJBD  
3 bis rue Alfred Werner 68093 Mulhouse Cedex

<sup>2</sup> Faculté des Sciences et Techniques - Université de Haute Alsace  
18 rue des Frères Lumière 68200 Mulhouse

<sup>3</sup> IUT Colmar - Université de Haute Alsace  
Bâtiment H – 34 rue du Grillenbreit 68008 Colmar

**Thèmes** – Physique – Matériaux - Nanoélectronique

**Résumé** – *Les matériaux bidimensionnels sont largement étudiés depuis plusieurs années du fait de leurs propriétés physiques et chimiques différentes de celles des matériaux massifs. La découverte du graphène en 2004 a ouvert de nouvelles perspectives sur la croissance de ces cristaux 2D monoatomiques. Dernièrement plusieurs équipes ont travaillé sur la synthèse du germanène en étudiant son interaction avec différents types de substrats afin de trouver les conditions optimales de croissance de la monocouche de germanène. Le substrat choisi pour la croissance de germanium influe sur la symétrie et la géométrie du système final. Il est possible d'obtenir une couche monoatomique de germanène ou des objets unidimensionnels. Le sujet de cette étude entre dans le cadre de la croissance de germanium sur un plan métallique d'Al (110) par la technique d'épitaxie par jets moléculaires (MBE) sous ultravide où la croissance d'objets 1D comme des rubans de germanium est attendue. La structure obtenue sera analysée in-situ microscopie à champ proche (STM). Nous avons choisi de travailler sur Al (110) d'abord parce que l'aluminium est un métal simple qui ne présente pas de reconstruction de surface, ni de liaisons pendantes directionnelles. De plus l'anisotropie de son plan (110) semble favoriser la croissance de Ge selon une direction précise comme cela a déjà été observé sur d'autres systèmes.*

**Mots-Clés** – Croissance cristalline, Nanostructures unidimensionnelles.

## 1 Introduction

Depuis la découverte du graphène en 2004, un nouveau domaine de matériaux de faible dimension en physique des solides a été étudié en profondeur, en particulier le silicène et le germanène, deux structures allotropiques 2D de silicium et de germanium, respectivement. Seules quelques études se sont concentrées sur des structures unidimensionnelles comme les nanorubans de silicium ou de germanium [1][2][3]. Dans ce travail, nous avons voulu explorer l'universalité des processus de croissance sur la face (110) d'un cristal par l'étude de la nucléation de nanorubans de germanium pour la première fois mise en évidence sur un substrat d'Al (110).

## 2 Conditions expérimentales

Cette expérience se déroule dans un environnement ultravide ( $10^{-10}$  mbar) indispensable pour éviter toute contamination de surface à l'échelle atomique et pour pouvoir faire les mesures de diffraction d'électrons et de photoémission. La difficulté majeure dans l'utilisation d'un substrat d'aluminium est sa réactivité élevée avec l'oxygène qui conduit à la formation d'un oxyde de surface. Il y a donc nécessité d'une procédure de nettoyage bien particulière. Cette dernière consiste en un décapage aux ions de Néon de plusieurs heures suivi d'un recuit à  $500^{\circ}\text{C}$  pendant 30 min afin d'enlever les atomes de néons implantés et de recristalliser la surface. La caractérisation d'échantillon se fait par spectroscopie de photoélectrons X (XPS) pour le contrôle de la composition chimique, par diffraction d'électrons lents (LEED) pour le suivi de la cristallinité de surface et par microscopie par effet tunnel (STM) pour la topographie de surface.

## 3 Résultats

La figure 1 montre la caractérisation de la surface du substrat d'Al (110) par microscopie à effet tunnel. L'image met en évidence la présence de marches sur la surface. Les terrasses qui se situent à différentes hauteurs, sont similaires au cas de l'Ag (110) [4]. On a obtenu une hauteur d'environ  $1.75 \text{ \AA}$ . Sur la surface d'Al (110), nous ne sommes pas arrivés à la résolution atomique à cause de la délocalisation des électrons sur la surface et la petite distance entre les atomes. Les points blancs sur les images sont dû à la contamination d'aluminium durant la caractérisation.

Le dépôt de Ge est réalisé par épitaxie par jets moléculaire avec une vitesse de croissance très lente (50 min pour un plan atomique de Ge) afin de laisser la possibilité aux atomes de diffuser avant de s'ancrer sur la surface.

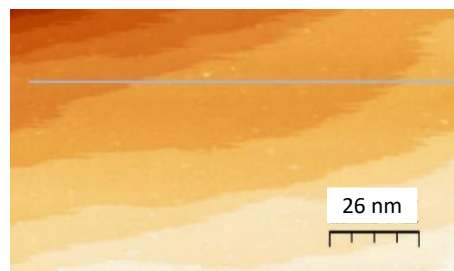


Figure 1 – Image STM de la surface d'Al(110) propre ( $V = +2 \text{ V}$ ,  $I = 50 \text{ pA}$ )

La figure 2 représente les images STM prises après le dépôt de la monocouche de Ge sur Al(110). Elle confirme la formation des nanorubans parallèles et réguliers sur la surface. C'est la deuxième observation des nanorubans de Ge après leur première observation sur Ag(110)/Ge(110) [3]. On remarque que ces rubans sont caractérisés par différentes longueurs et largeurs, on observe également des rubans individuels et d'autres multiples ainsi que des parties nues d'aluminium. La largeur de ces nanorubans mesurée à partir du profil pris varie entre 2 et 3 nm et leur hauteur est autour de  $3.5 \text{ \AA}$  qui est en accord avec la hauteur d'une monocouche atomique. Ces valeurs sont proches des largeurs (2–3 nm) et des hauteurs (0.1–0.2 nm) mesurées sur Si/Au(1110) (Figure 3).

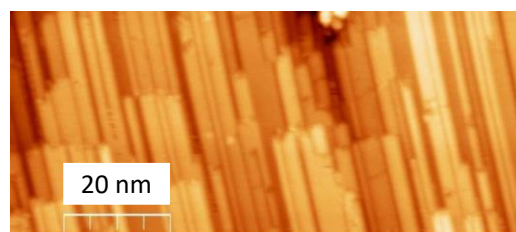


Figure 2 – Image STM topographique après dépôt d'1 MC de Ge/Al(110) ( $V = +2 \text{ V}$ ,  $I = 50 \text{ pA}$ )

Les nanorubans de Ge/Al(110) sont formés perpendiculairement aux terrasses de la surface d'Al (110), et ne sont pas formés le long de celles-ci. Nous supposons que la croissance de Ge sur cette surface est liée à l'anisotropie du plan d'Al(110). En effet, ce plan possède deux paramètres de maille différents ( $a_1 = 4.05 \text{ \AA}$  et  $a_2 = 2.86 \text{ \AA}$ ), le paramètre  $a_1$  correspond à la direction [001] et le paramètre  $a_2$  correspond à la direction [-110]. Du fait de cette différence, la croissance MBE de Ge sur Al(110) est donc plus favorable selon la direction [001] que selon la direction [-110]. Les clichés avec les allongements les plus marqués sont obtenus pour un dépôt d'une couche atomique de Ge. Cette image montre des nanorubans de Ge

parallèles entre eux avec différentes dimensions et multiplicités.

Cette première observation de rubans à l'échelle nanométrique sur Al(110) est un résultat important qui conforte les observations faites sur d'autres systèmes comme Si/Au(110) [1], Si/Ag(110) [2] et Ge/Ag(110)/Ge(110) [3].

[4] R. Bernard et al, *Growth of Si ultrathin films on silver surfaces: Evidence of an Ag(110) reconstruction induced by Si*, Phys. Rev. B Vol 88 no12, 2013, 121411(R)



Figure 3 – Image STM topographique après dépôt de 0.3 MC de Si/Au(110) (Image prise de la référence [1])

On peut conclure de l'importance d'un plan métallique (110) sur l'universalité des processus de croissance puisqu'il donne la même géométrie aux matériaux déposés (Ge ou Si). L'observation des structures unidimensionnelles de Ge/Al (110) nous a amené à nous poser plusieurs questions, afin de comprendre les étapes intermédiaires de la formation de ces nanorubans. Ces études sont actuellement en cours

## 4 Conclusions

Dans cette étude, nous avons initié la croissance d'une nano-structuration de surface par la formation de nanorubans lors de dépôts de Ge sur un substrat métallique d'Al(110). C'est la première mise en évidence expérimentale sur ce système mais ce phénomène semble témoigner d'un processus plus universel sur ce type de surface cristalline.

## 5 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à P. Sonnet, M.C.Hanf, I Deroche et R. Stephan pour les fructueuses discussions et les simulations numériques qu'ils vont entreprendre.

## Références

- [1] M. Rachid Tchallala et al., *Formation of one-dimensional self-assembled silicon nanoribbons on Au(110)-(2×1)*, Appl. Phys. Lett., vol. 102, no. 8, 2013, 083107.
- [2] B. Aufray et al., *Graphene-like silicon nanoribbons on Ag(110): A possible formation of silicene*, Appl. Phys. Lett., vol. 96, no. 18, 2010, 183102
- [3] J. Yuhara et al., *Epitaxial growth of massively parallel germanium nanoribbons by segregation through Ag(110) thin films on Ge(110)*, Appl. Surf. Sci., vol. 550, 2021, 149236