

TECHNIQUE GRAPHÈNE POUR DES DISPOSITIFS OPTO- ET MICRO-ÉLECTRONIQUES DÉTACHABLES ET FLEXIBLES, ET RÉUTILISATION DU SUBSTRAT

Dévoiler l'hétéro-intégration des semi-conducteurs 3D sur le graphène par nucléation par points d'ancrage (NPA)

Référence – Boucherif 2023-005

Contexte

Les technologies des semi-conducteurs font partie intégrante de tous les appareils modernes. Cette invention est un nouveau procédé réalisé sur des tranches semi-conductrices permettant une intégration hétérogène de matériau, un détachement de dispositif, ainsi qu'une réutilisation multiple du substrat. Cette approche originale, appelée nucléation par points d'ancrage (NPA), propose une méthode révolutionnaire d'hétéro-épitaxie qui permet le dépôt de couches de divers matériaux semi-conducteurs sans les limitations des techniques conventionnelles, créant ainsi des dispositifs hautes performances. Le principal avantage de cette méthode est que n'importe quel matériau cristallin, tel que le silicium ou le germanium, peut être utilisé comme substrat sans limitation de correspondance de maille cristalline avec le matériau déposé, grâce à la relaxation sur l'interface 2D. De plus, la structure épitaxiale finale peut être détachée du substrat, permettant sa réutilisation répétée et réduisant ainsi considérablement les coûts du dispositif.

Cette invention vise à révolutionner les technologies électroniques permises par cette nouvelle approche. Cela conduira à une nouvelle génération de dispositifs hautes performances, flexibles et multifonctionnels, basés sur des structures de membranes autoportantes et/ou des hétérostructures hybrides 3D/2D (semi-conducteur/graphène), repoussant ainsi les limites de l'électronique à un niveau supérieur. Ces hétérostructures hybrides peuvent avoir un impact profond sur divers secteurs, notamment la santé, les télécommunications, la production d'énergie, l'informatique quantique et la défense (communications sécurisées et radars).

Description

La méthode, illustrée par la Figure 1, comprend les étapes suivantes :

- Dépôt d'une couche de graphène (si fine, seulement 1 atome d'épaisseur, qu'elle est considérée comme « 2D »).
- Création de sites de nucléation dans le graphène par introduction contrôlée de défauts (lacunes, nano-trous, interstices, etc.). Ces défauts agissent comme des sites de nucléation préférentiels lors de l'épitaxie, ancrant les semi-conducteurs sur le substrat et formant une couche d'ensemencement cristalline orientée vers le substrat.
- Croissance de dispositifs sur le graphène par épitaxie, impliquant des dépôts de couches successives.
- Détachement l'hétérostructure du dispositif du substrat et la transférer sur un autre substrat d'intérêt.
- Reconditionnement du substrat pour une réutilisation répétée.

Pour plus de détails, en anglais, voir : [Unraveling the Hetero integration of 3D Semiconductors on Graphene by Anchor Point Nucleation, Small 2024, 20, 2306038.](#)



200-35, Radisson
Sherbrooke QC J1L 1E2
CANADA

t 819 821-7961

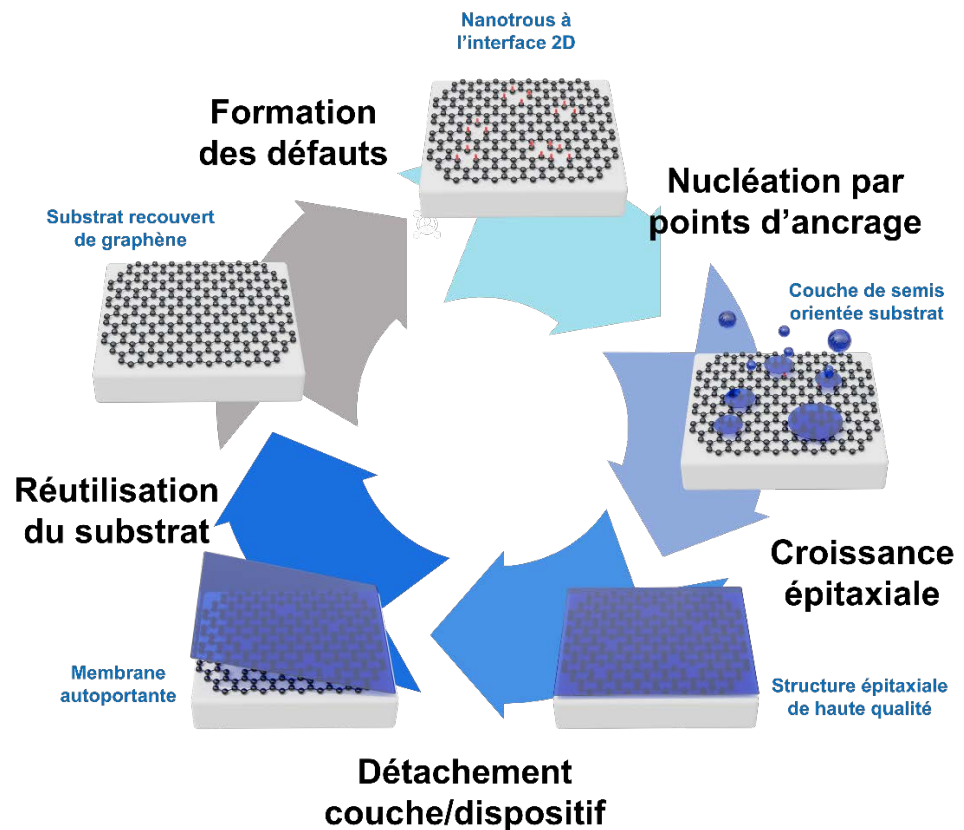


Figure 1. Les étapes du processus de nucléation par points d'ancrage. Source : Université de Sherbrooke.

Applications

- Dispositifs hybrides (3D/2D) à hautes performances.
- L'électronique et l'optoélectronique flexibles.
- Hétéro-intégration avec la technologie CMOS (« Complementary Metal Oxyde Semiconductor »)
- Développement et fabrication en série de dispositifs ultra-flexibles dans plusieurs domaines :
 - o Télécommunications mobiles et Internet des objets (IoT),
 - o Production d'énergie – cellules photovoltaïques et thermo-photovoltaïques
 - o Photonique – Lasers sur Silicium ; Communications optiques,
 - o Diodes électroluminescentes (DEL) et photodétecteurs, technologies quantiques
 - o Soins de santé – Dispositifs médicaux sur la peau et portables.
- **Marchés :**
 - o Parmi plusieurs autres marchés applicables à cette invention, le marché des dispositifs optoélectroniques devrait atteindre 52,7 milliards de dollars américains en 2025, augmentant de 5%/an ; avec ces secteurs verticaux : automobile, militaire et aérospatiale, médical, électronique grand public, commercial, télécommunications, industriel et résidentiel.
- Entreprises ciblées :
 - o Teledyne Dalsa, UMICORE, STMicroelectronics, Laser Components, SOITEC, Excelitas.

Avantages

- Une méthode universelle permettant la croissance de couches monocristallines sur des substrats polaires et apolaires ; une première dans le domaine.
- L'utilisation d'une interface graphène 2D, résolvant les contraintes liées aux mésappariements cristallins (désaccords de maille) entre substrat et couche épitaxiale, problème fondamental en hétéro-épitaxie.
- Améliore la mouillabilité et la réactivité de l'interface graphène, résolvant le problème fondamental de l'épitaxie Van der Waals : la faible énergie de surface du graphène.

- Permet le détachement des couches : La faible liaison entre l'hétérostructure et l'interface 2D permet un détachement facile.
- Cette méthode permet un contrôle précis de l'épaisseur de la couche à transférer, avec des contraintes moindres.
- En comparaison aux techniques existantes :
 - o Ne nécessite pas de couches sacrificielles, éliminant ainsi le besoin de gravure pour détacher la couche.
 - o Applicable à grande échelle, contrairement à la plupart des méthodes actuelles limitées à de petites zones.
 - o Améliore les limites des techniques existantes concernant le transfert de couches.
- Réduit considérablement le coût des dispositifs, car le substrat représente une grande partie des coûts de fabrication :
 - o Par ex. – En 2016, l'industrie des semi-conducteurs a dépensé plus de 7 milliards de dollars en plaquettes utilisées comme substrats pour les transistors, les LED et d'autres dispositifs. Le substrat est utilisé dans sa totalité tandis que moins de 5 % de son épaisseur joue un rôle actif dans la fonctionnalité du dispositif.
 - o En revanche, cette méthode réutilise le substrat, permettant l'utilisation de matériaux rares comme substrat, sans se soucier des coûts du substrat (2 à 3 ordres de grandeur plus chers que le silicium). Résultat : des appareils jusqu'à 5 fois moins chers.

Mots clés

- Nucléation par points d'ancrage, transfert des couches, épitaxie Van der Waals, transfert des dispositifs, électronique flexible.

Maturité de la technologie (TRL)

Niveau de préparation technologique (TRL) : TRL 2-3

- Preuve de concept démontrée et développement de prototypes en cours.

Propriété intellectuelle

- Demandes de brevets déposées.

Ce que nous recherchons

- Partenaires de développement
- Partenaires commerciaux
- Investissements
- Licences
- Start-up

Contact Inventeurs

Professeur Abderraouf Boucherif
Abderraouf.Boucherif@USherbrooke.ca

Contact TransferTech Sherbrooke

François Nadeau
f.nadeau@transfertech.ca
873 339-2028
www.transfertech.ca

