

ZÉRO DÉFAUTS POUR UNE HÉTÉROSTRUCTURE SEMICONDUCTRICE !

Substrat compliant universel pour l'hétéro-épitaxie sans défauts pour la conception et la réalisation de dispositifs de hautes performances !

Référence : Boucherif – 2023-003



200-35, Radisson
Sherbrooke QC J1L 1E2
CANADA
t 819 821-7961

Contexte

Les technologies à base de semiconducteurs sont présentes dans tous les dispositifs modernes de notre vie quotidienne. Cette invention est un nouveau procédé dans le domaine des gaufres (substrats) à semiconducteurs, soit la création d'un substrat « compliant » sans défauts prêt à recevoir la fabrication de dispositifs à hautes performances.

Pour obtenir des dispositifs aux fonctionnalités et aux performances avancées (p. ex. des cellules solaires, lasers, détecteurs, et autres), les couches de semiconducteurs sont déposées sur les gaufres par « épitaxie ». L'épitaxie est une technique de croissance de deux cristaux. L'hétéro-épitaxie est la croissance de cristaux de natures chimiques différentes. Malheureusement, l'hétéro-épitaxie conduit à la genèse de défauts cristallins qui affectent considérablement les performances des dispositifs. Il est donc nécessaire de développer une méthode pour éliminer la naissance de ces défauts. De plus, dans le but de réduire le coût des dispositifs conçus avec ces matériaux, il est nécessaire de les intégrer sur du silicium (peu chers comparés aux autres substrats). Un exemple d'une telle hétérostructure semiconductrice est le substrat silicium-germanium (Si-Ge), tel qu'illustré à la Figure 1.

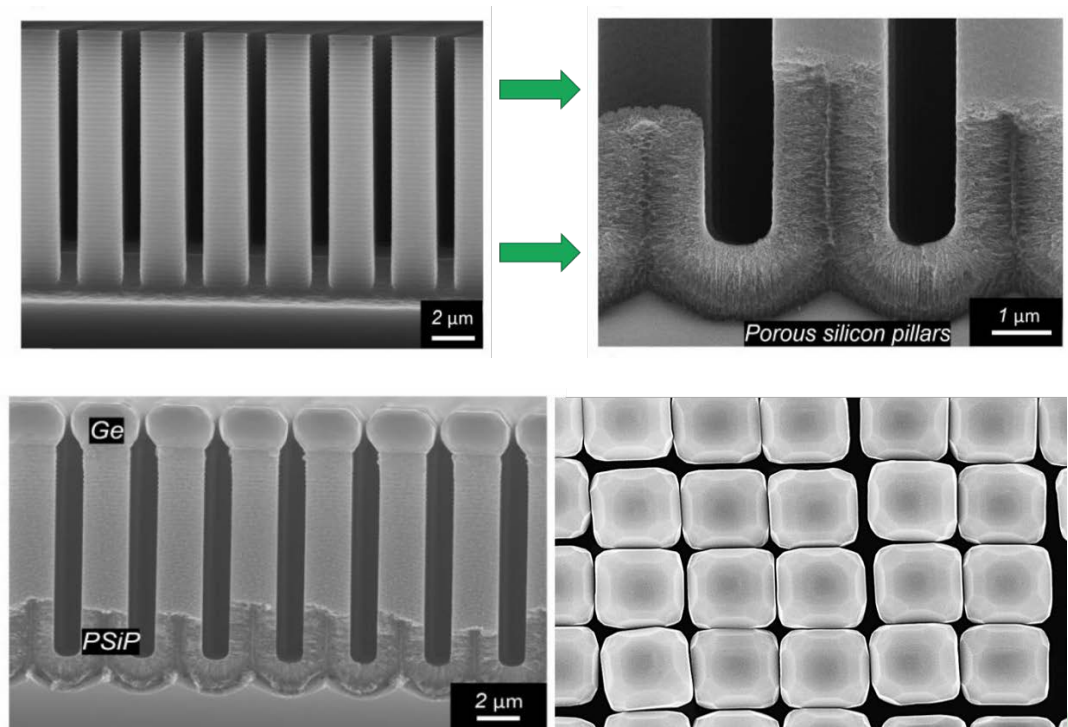


Figure 1 – Images par microscope électronique : Haut à gauche : Substrat silicium (Si) traité par processus Bosch résultant en piliers de Si. Haut à droite : Porosification. Bas à gauche : Dépôt par épitaxie de germanium (Ge). Bas à droite : Zéro-défauts sur les piliers, indépendant de l'épaisseur. PSiP : « Porous Silicon Pillars ». Source : Université de Sherbrooke.

Plus de détails sont disponibles dans cet article de Nature Communications (en anglais) :
« Defect free strain relaxation of microcrystals on mesoporous patterned Silicon –
<https://www.nature.com/articles/s41467-022-34288-4>.

Description

L'invention consiste à modifier le substrat de silicium par différents procédés pour que celui-ci empêche la nucléation de défauts ; c'est une combinaison de méthodes existantes : substrat microstructuré, porosifié, et diffusion graduée. La combinaison de ces procédés permet, pour la première fois, de réaliser de l'hétéro-épitaxie sans défauts. L'invention permet donc de faire croître des couches épaisses sans fissures et sans défauts cristallins malgré la différence de nature entre les couches et le substrat, ce qui reste à ce jour le « Saint Graal » de ce domaine.

Cette technologie permet ainsi d'augmenter significativement les performances des dispositifs tout en offrant une intégration directe sur la plateforme standard de Si. Elle consiste à créer des microstructures poreuses spatialement localisables sur substrat de silicium standard. En effet, l'élasticité des microstructures en silicium poreux augmente grandement avec la porosité. Nous avons alors exploité cette propriété pour accommoder la différence de paramètres de maille entre le substrat et les couches épitaxiales, et réussi à obtenir des microstructures de Ge sans défaut sur silicium.

Applications

Meilleurs coûts et performances :

- Émetteurs et détecteurs de photons opérant dans l'UV, le visible et l'IR; circuits photoniques intégrés sur Si; électronique de puissance; cellules solaires; LIDAR ; télécommunication par fibres optiques ; autres.
- Quelques marchés mondiaux ciblés
 - o Lasers, diodes, émetteurs photon unique (quantique), transistors, cellules solaires.
 - P. ex. : Cellules solaires multi-jonctions (les plus efficaces) – Marché de US\$5,439 milliards en 2022, avec un TCAC de 6,3% selon Markets & Markets.
 - o La photonique sur silicium pour les télécommunications et de données :
 - Marché de US\$1,950 milliards en 2023, avec un TCAC de 23,4% !
 - o Les photodétecteurs à grand volume tels les LIDAR pour le marché automobile et les téléphones cellulaires.
- Partenaires identifiés
 - o Umicore, Teledyne Dalsa, Excelitas, Laser Components, Samsung, Meta, 5N Plus, SOITEC, STMicroelectronics, GaN Systems.

Avantages

- Cette méthode satisfait tous les critères suivants, une première !
 - o Compliance
 - o Paramètres adaptables
 - o Tenue mécanique / manipulable
 - o Bonne structure cristalline
 - o Stabilité à haute température
 - o Simplicité de mise en œuvre
 - o Transférable sur de grandes surfaces
- Résolution des problèmes fondamentaux de l'hétéro-épitaxie : possibilité d'intégrer proprement des matériaux III-V sur silicium.
- La structure des piliers peut être ajustée pour maximiser le rendement des dispositifs ciblés.
- Compatibilité industrielle / chaînes de montage existantes.
- Permet de fabriquer des dispositifs auparavant impossibles à fabriquer, p. ex. : des lasers ou des capteurs sur silicium.
- Permet des dispositifs plus performants et à moindres coûts.
 - o Cette méthode s'applique sur toutes technologies semiconductrices sur silicium ; le Si est 6 fois moins cher que le Ge ! P. ex. le prix du substrat d'une cellule solaire sur Ge représente 50 % du prix total. Une intégration sur Si vient considérablement réduire le prix des dispositifs.

Mots clés



200-35, Radisson
Sherbrooke QC J1L 1E2
CANADA

t 819 821-7961

Substrat conforme, substrat compliant, substrat à motifs profonds, substrat poreux, porosification, matériau poreux, hétéro-épitaxie sans défaut, diffusion, infiltration, optoélectronique.

Maturité de la technologie (TRL)

TRL 3-4

- Démonstration expérimentale sur silicium avec le germanium; voir l'article ci-haut.
- Nous croyons qu'un tel modèle compliant ouvre la voie à la synthèse potentielle d'hétérostructures sans défauts, y compris la croissance directe de divers matériaux tels que le GaAs, le InP et le GaN.

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@transfertechn.ca
873 339-2028
www.transfertechn.ca

