

ÉLIMINER LES DÉFAUTS POUR PERMETTRE LA FABRICATION DE DISPOSITIFS OPTOÉLECTRONIQUES III-V DE HAUTE PERFORMANCE SUR SILICIUM

Substrats virtuels Ge/Si de haute qualité fabriqués par un procédé à faible coût et évolutif



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

Contexte

Les cellules photovoltaïques existent aujourd'hui sous une multitude de formes. Les plus efficaces sur le marché sont celles composées de matériaux semi-conducteurs III-V sur Germanium (Ge). Les excellentes performances de ces cellules, avec des rendements supérieurs à 40%, sont dues à leur capacité de convertir indépendamment différentes sections du spectre solaire. Malgré des rendements records, le coût de ces cellules est encore trop élevé pour atteindre le marché de masse. En effet, le prix du substrat Ge représente plus de 50% de la cellule alors que moins de 1% de celui-ci constitue la zone active où le courant est généré. De nombreuses technologies de semi-conducteurs, notamment celles de la famille III-V, reposent sur la capacité à synthétiser des films minces de haute qualité cristalline. Dans les technologies standard, les films sont produits par épitaxie à partir d'un cristal de départ appelé "substrat", dont la structure cristalline est presque identique à celle du film à synthétiser.

Les techniques d'épitaxie actuelles ne permettent pas de combiner le Ge avec le Silicium (Si) en raison d'un décalage de réseau élevé (4,2%). Cette contrainte limite considérablement le choix des films qui peuvent être produits pour la fabrication de dispositifs. Des matériaux aux propriétés potentielles extrêmement puissantes ne peuvent pas être utilisés pour des dispositifs commerciaux en raison de l'absence d'un substrat approprié. Par conséquent, certaines technologies présentant d'excellentes performances sont confinées à des marchés de niche car le substrat nécessaire à la production de films de haute qualité est trop coûteux.

L'idée est donc d'intégrer une fine couche de Ge sur un substrat de support moins coûteux. Le Si semble être une plateforme idéale en raison de son prix compétitif et de son nombre réduit de dislocations qui augmente considérablement son efficacité potentielle.

Description

Cette invention représente différentes méthodes à appliquer à une structure semi-conductrice composée de deux matériaux cristallins différents, le substrat et la "couche", pour créer une région semi-conductrice de haute qualité cristalline, présentant une faible densité de défauts cristallins. Ces différentes méthodes consistent à créer des vides par l'utilisation de pores (ou nano-cavités) dans des régions spécifiques de la structure cristalline de la couche et du substrat. Ces cavités exercent une force d'attraction et agissent comme des sites d'annihilation pour le réseau de défauts cristallins. Ces défauts, appelés "dislocations", sont affectés par la présence ou la formation de pores ou de cavités à proximité. Lors de la stimulation thermique, les réseaux parallèles de dislocations et de cavités se mobilisent et interagissent pour atteindre une configuration comprenant une région cristalline avec très peu de défauts.

Avec la possibilité de réparer les défauts produits par le dépôt de films sur un substrat en décalage cristallin, l'invention ouvre la porte à la fabrication d'une multitude de dispositifs à partir de matériaux actuellement indisponibles. L'invention permet également de fabriquer des dispositifs actuellement confinés à des marchés à haute valeur ajoutée, étant donné le coût élevé du substrat, en les remplaçant par des substrats à faible coût (souvent du Si). La plaquette obtenue présente une surface Ge de très haute qualité, contenant 10X à 100X moins de dislocations, plus facilement apte à recevoir les couches actives qui formeront plusieurs types de dispositifs.

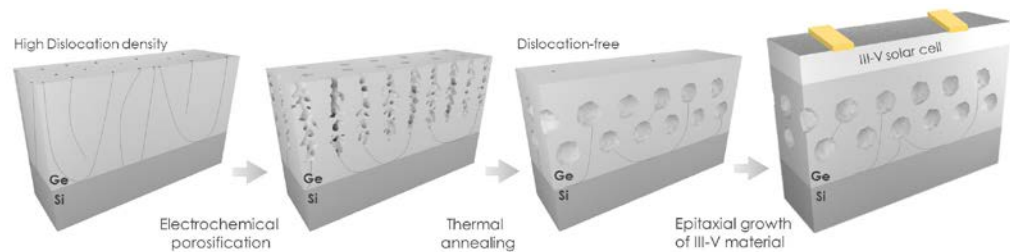


Figure 1 - Fabrication de substrats Ge/Si virtuels par piégeage des dislocations à l'aide de nano-cavités. Source : Université de Sherbrooke.

Applications

- Une solution idéale pour améliorer les performances, et réduire le coût, des dispositifs optoélectroniques et microélectroniques basés sur des matériaux III-V-on-Si
 - o Matériaux III-V-sur-Si et dispositifs à base de Ge-sur-Si, tels que :
 - Cellules solaires multi-jonction sur Si, photodétecteurs, microprocesseurs, modulateurs Ge-on-Si, capteurs optiques, LEDs, dispositifs quantiques et autres.
- Plusieurs industries - photovoltaïque, photonique, électronique.

Avantages techniques

- Potentiel d'augmentation significatif de l'efficacité des cellules solaires à multi-jonction III-V sur Si.
 - o Ne se limite pas au Ge ; peut s'appliquer à diverses structures hétéro-épitaxiales avec un décalage de réseau élevé.
 - o Possibilité de créer des dispositifs actuellement impossibles à fabriquer, par exemple des lasers sur Si.
- Qualité de la couche supérieure à celle de toute autre technique actuellement disponible
 - o Moins de défauts (10X à 100X)
 - o Un taux de rejet plus faible et un meilleur rendement de chaque plaquette ; plus de dispositifs par plaquette.
 - o Plaquettes plus grandes, ce qui réduit les coûts.

Avantages commerciaux

- Faible coût de fabrication et procédé évolutif
 - o Processus standard (traitement électrochimique et recuit thermique) compatibles avec les processus et infrastructures de fabrication existants.
 - o Réduction des coûts de fabrication des dispositifs - remplacement d'un substrat de Ge massif par un substrat de Ge/Si possédant des qualités similaires à son homologue de Ge massif.
 - o Compatible avec les substrats de grande taille - 4, 6 et 10 pouces.

Mots clés

- Ge-on-Si sans défaut, vides intégrés, réduction de la densité de dislocation, interaction dislocation-vide, substrat conforme, hétéro-intégration de matériaux à réseau désadapté (hétéroépitaxie), réduction des défauts cristallins, cellule solaire III-V à multi-jonction sur Si.

Maturité de la technologie

TRL 2-3 pour un dispositif

- o Activité de développement actuelle : prototypage de dispositifs pour atteindre le TRL 4.

- Une technologie de base prometteuse reconnue par le monde universitaire et l'industrie permettant la croissance du dispositif sur un substrat de haute qualité :

- o La preuve de concept a été démontrée par la fabrication et la caractérisation de substrats de Ge-on-Si avec des nano-cavités ayant les caractéristiques suivantes :
 - Densité de dislocations obtenue : $\sim 10^4$ par cm carré (une réduction de $\sim 10^8$ par cm carré) - une réduction de 10 000 fois des défauts.
 - Détaillé dans l'article suivant de Nature Communications : "Uprooting defects to enable high-performance III-V optoelectronic devices on silicon" : <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12353-9>

- Marchés clés

- o Cellules solaires multi-jonction (5,4 milliards de dollars US en 2022)
- o Photonique au silicium pour les télécommunications et les communications de données (1,95 milliard de dollars américains en 2023).
- o Intégration hétérogène de la technologie non-Si sur des tranches de Si à grande échelle (Marché à déterminer - ? milliards).

- Sociétés cibles

- o UMICORE, STACE, Teledyne (multiples divisions), 5N Plus, Ranovus, Aeponyx, Excelitas, SOITEC, First Solar, Broadcom, Canadian Solar, Sunpower, American Crystal Technology (AXT), Siltronic, Boreal Photonics, ST Microelectronics, TSMC, WIN Semiconductor and more.

Propriété intellectuelle

Demande de brevet internationale déposée.

Ce que nous recherchons

Partenaires de développement/collaboration. Partenaires commerciaux. Octroi de licences.

Contact Inventeur

Professeur Richard Arès
Richard.Ares@USherbrooke.ca

Contact TransferTech Sherbrooke

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

