



УКРАЇНА

(19) UA
(51) МПК

(11) 155666

(13) U

C30B 29/06 (2006.01)

C30B 33/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

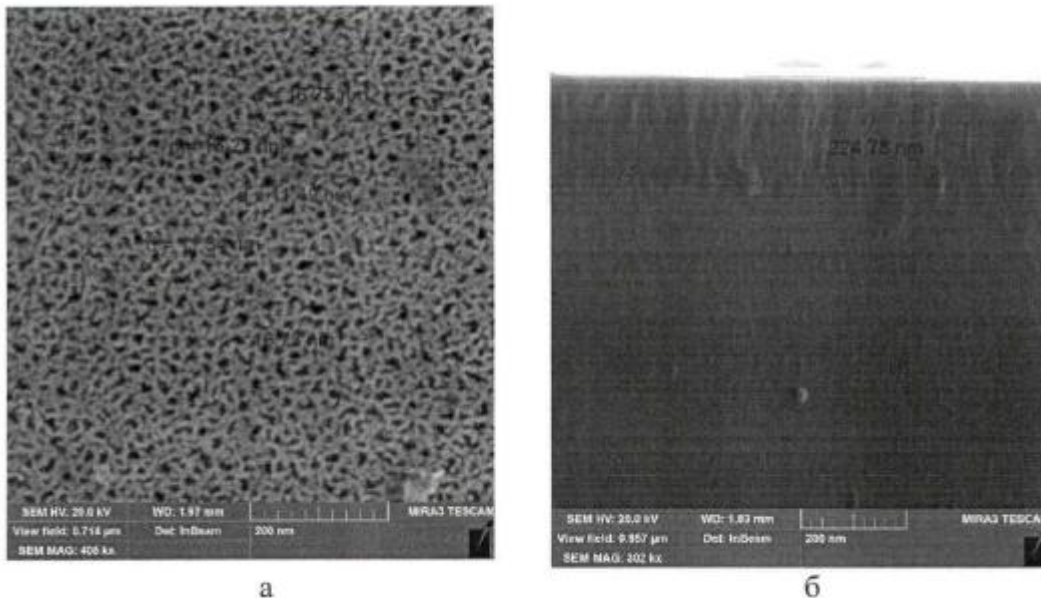
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | |
|---|--|
| (21) Номер заявки: u 2023 02605 | (72) Винахідник(и): Кідалов Валерій Віталійович (UA), Дяденчук Альона Федорівна (UA), Дьоміна Наталя Анатоліївна (UA) |
| (22) Дата подання заявки: 29.05.2023 | (73) Володілець (володільці): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО, пр-т Соборний, 226, корп. 9, каб. 70, м. Запоріжжя, 69006 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 28.03.2024 | |
| (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 27.03.2024, Бюл.№ 13 | |

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛІВОК КАРБІДУ КРЕМНІЮ НА ПІДКЛАДКАХ ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ

(57) Реферат:

Спосіб виготовлення плівок карбиду кремнію на підкладках кремнію Si (111) включає відпал поруватих шарів Si в атмосфері CO та SiH₄. Як підкладки для вирощування епітаксійних плівок SiC використовується буферний шар porous-Si.



Фіг. 1

UA 155666 U

Корисна модель належить до способів виготовлення плівок карбіду кремнію на підкладках поруватого кремнію із застосуванням методу твердофазної епітаксії. Такі структури відіграють важливу роль при виготовленні фотодетекторів і сонячних елементів.

Плівки карбіду кремнію останнім часом знаходять застосування як в області фізики напівпровідників, так і в області технології нових напівпровідникових приладів силової, опто- і НВЧ-електроніки. Однак розвитку напівпровідникової SiC-електроніки перешкоджає низька якість вирощуваних монокристалів карбіду кремнію. Структурні дефекти, які виникають у підкладці, а при епітаксійному рості проникають в осаджуваний шар, здатні значно погіршити характеристики приладів.

У роботі [Agati ML, Boninelli S., Calabretta C., Mancarella F., Mauceri M., Crippa D., Albani M., Bergamaschini R., Miglio L., La Via F. Growth of thick [111]-oriented 3C-SiC films on T-shaped Si micropillars. *Materials & Design*. - 2021. - Vol. 208. - P. 109833. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109833>] були успішно отримані товсті [111] - орієнтовані плівки 3C-SiC, епітакційно вирощені на підкладці Si із T-подібними мікростовпами, застосування якої дозволило зняти напруги, що виникають в 3C-SiC, вирощеному на Si, через невідповідність ґраток і різні коефіцієнти теплового розширення між 3C-SiC і Si. Проте отримані плівки мали товщину 10-16 мкм та мали невеликий вигин.

Авторами роботи [Juri, R.R., Hansen, J.L., Kristensen, P.K. et al. Optical characterization of SiC films grown on Si(111). *Appl Phys. B*. 2018. Vol. 124. P. 230. <https://doi.org/10.1007/s00340-018-7103-x>] вирощено тонкі плівки SiC на підкладці Si шляхом заміщення C в Si з буферним шаром SiGe і без нього. Встановлено, що утворення доменів SiC призводить до сильної зеленої і синьої фотолюмінесценції від укладання розломів і поверхневих оксидів. Однак в цьому випадку введення буферного шару SiGe товщиною 10 нм призводить до поліпшення кристалічності, про що свідчить дифракція рентгенівських променів і оптичне друге гармонійне покоління.

Як найближчий аналог вибрано [Kukushkin S., Osipov A., Redkov A. SiC/Si as a new platform for growth of wide-bandgap semiconductors. In: *Mechanics and Control of Solids and Structures*. Cham: Springer International Publishing, 2022. - P. 335-373. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93076-9_18]. У роботі представлено результати вирощування тонких плівок карбіду кремнію на кремній методом координованого атомного заміщення, властивості отриманих шарів SiC/Si та перспективи їх використання як субстратів для росту тонких плівок різних матеріалів. При цьому як підкладки для вирощування плівок SiC використовуються монокристалічні пластини Si.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу виготовлення плівок SiC на кремнієвих підкладках Si (111) із застосуванням буферного шару porous-Si методом заміщення атомів.

Поставлена задача вирішується тим, що підкладки Si перед відпалом у потоці газів CO та SiH₄ попередньо текстуруються методом електрохімічного травлення в розчині кислот.

Як підкладки для вирощування плівок SiC використовувалися пластини поруватого кремнію, отримані методом електрохімічного травлення. Для цього дослідні зразки монокристалічного кремнію p-Si діагоналлю 100 мм, леговані бором із питомим електричним опором 1-10 Ом·см, товщиною 500±25 мкм, з полірованою робочою стороною і шліфовано-травленим зворотним боком і щільністю дислокацій <100 см⁻², попередньо електрохімічно травилися в розчині плавикової кислоти, перекису водню та спирту (HF:H₂O:C₂H₅OH=2:1:1, 40 % плавикова кислота, 96 % спирт). На фіг. 1 представлені СЕМ-знімки поверхні (а) та поперечного перерізу (б) зразка porous-Si/Si. Система пор має складний характер. Пори проросли по всій поверхні пластини з утвореними масивними ямами травлення розташованими під кутом до поверхні, що характерно для Si (111). Товщина поруватого шару становила 224,5 нм.

На наступному етапі, згідно з методом твердофазної епітаксії, отримані зразки поруватого Si піддавалися відпалу в атмосфері CO та SiH₄. Безпосередньо перед відпалом повітря в камері відкачувалося роторним насосом 2НВР-5ДМ до тиску від 10⁻² до 10⁻³ Па. Пластина porous-Si/Si поміщалася в установку та нагрівалася графітовим нагрівачем до температури від 950 до 1350 °С. Потім за допомогою газового регулятора Horiba через з'єднувальні газопроводи прокачувалися гази CO і SiH₄, загальний тиск газової суміші CO+SiH₄ становив 133 Па, потоки газу CO і SiH₄ становили 14 і 3,5 см³/хв, відповідно. Загальний тиск у зоні реакції підтримувався в межах 20...600 Па. Тривалість процесу синтезу становила 20 хвилин.

Після відпалу в печі пластина porous-Si/Si виявилася покритою тонкою плівкою червоного кольору товщиною 280 нм. На фіг. 2 представлені СЕМ-знімки поверхні зразка гетероструктури SiC/porous-Si/Si. Незважаючи на щільність шарів, кулеподібну структуру плівки. Висока щільність упаковки призводить до зрощування кристалів, через що поверхня плівки майже гладка й однорідна.

Структуру плівок SiC досліджено на електроннографі EMP-100 в режимі "на відображення" при напрузі 75 кВ. На фіг. 3 наведена картина дифракції електронів (електроннограма) від поверхні (111) плівок SiC/Si у напрямку [110]. Точкові рефлекси даної електроннограми однозначно вказують на те, що на поверхні Si лежить епітаксійний шар SiC. З електроннограми також випливає, що плівки SiC є гладкими та не містять двійників на поверхні. Характерні кола, що відповідають полікристалічній фазі, практично відсутні, зате добре видно Кікучі-лінії, що вказує на високу якість кристалічної структури плівок.

У спектрах фотолюмінесценції як при T=77 K (фіг. 4, а), так і при T=300 K (фіг. 4, б), спостерігається вузька лінія на довжині хвилі ~371 nm (FWHM 2.3 nm або 21 meV). Отримані спектри люмінесценції плівки SiC складаються з вузьких та широких смуг і тягнуться від ближнього ультрафіолету на всю видиму область спектра. Люмінесценція в області гексагональних фаз політипів 2H та 4H, що містяться в перехідній області, є переважаючою.

Таким чином, вирощений шар SiC має лише незначний контакт з Si, що вигідно його відрізняє від шару SiC, вирощеного при тих самих умовах, але на монокристалічному Si. Це дуже важливий ефект для використання подібних структур як буферного шару для подальшого росту на їх поверхні епітаксійних плівок широкозонних напівпровідникових з'єднань.

Перелік фігур креслення

Фіг. 1. СЕМ-зображення поверхні (а) та поперечного перерізу (б) поруватого Si.

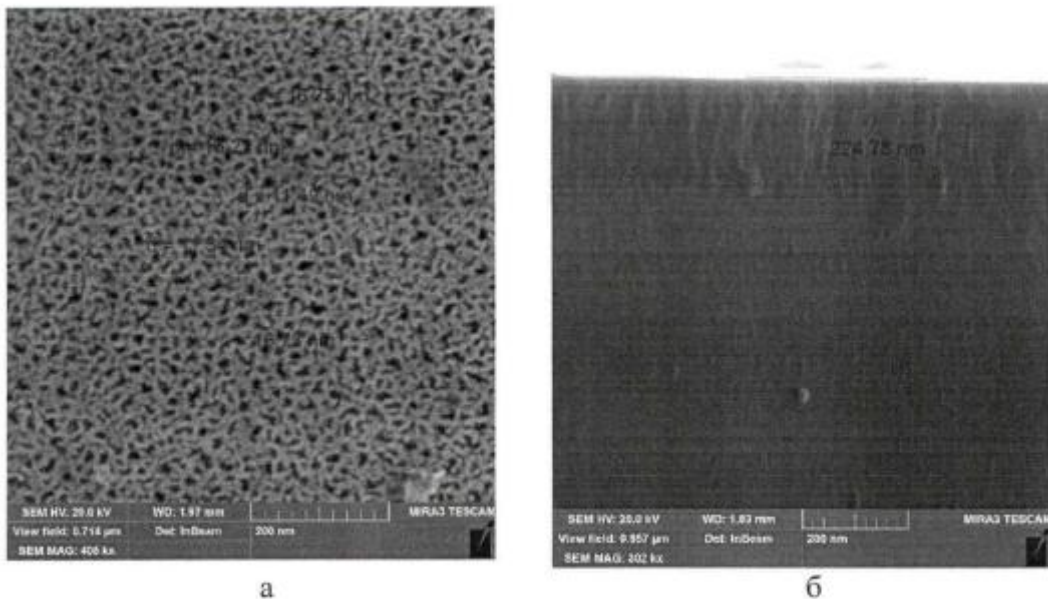
Фіг. 2. СЕМ-зображення поверхні та поперечного перерізу гетероструктури SiC/porous-Si/Si

Фіг. 3. Електроннограма від поверхні шару SiC, синтезованого на поруватій поверхні Si (111)

Фіг. 4. Спектри люмінесценції плівки SiC на підкладці поруватого Si при T=77 K (а) та T=300 K (б) з переважаючою смугою світіння гексагональних політипів 2H та 4H.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб виготовлення плівок карбіду кремнію на підкладках кремнію Si (111) включає відпал поруватих шарів Si в атмосфері CO та SiH₄, який **відрізняється** тим, що як підкладки для вирощування епітаксійних плівок SiC використовується буферний шар porous-Si.



Фіг. 1

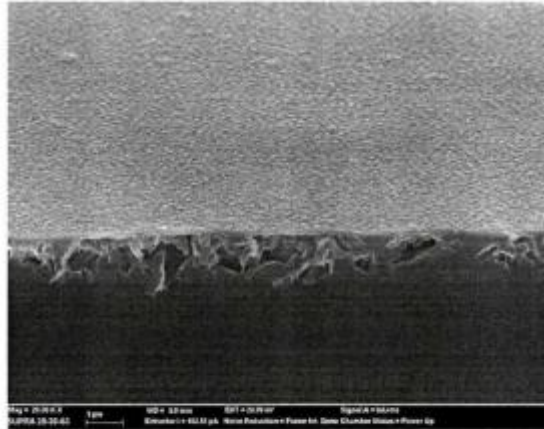


Fig. 2

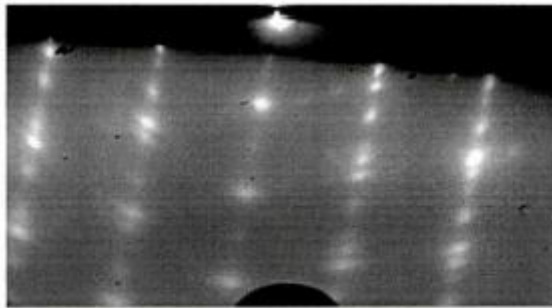
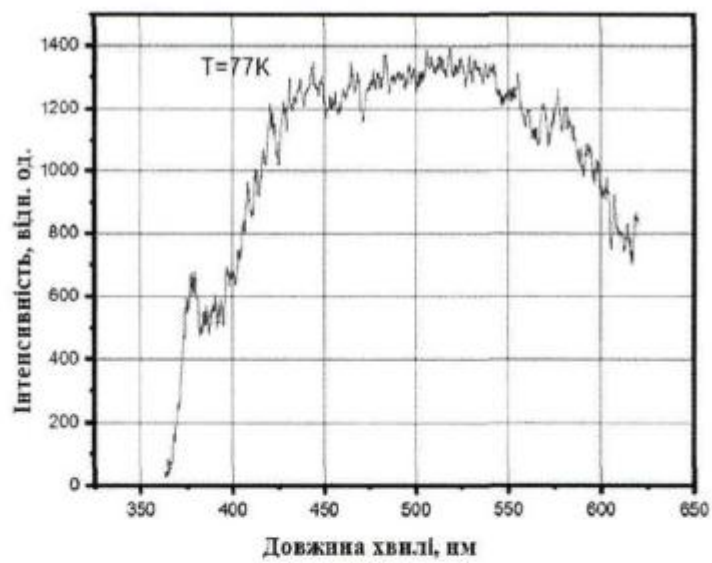
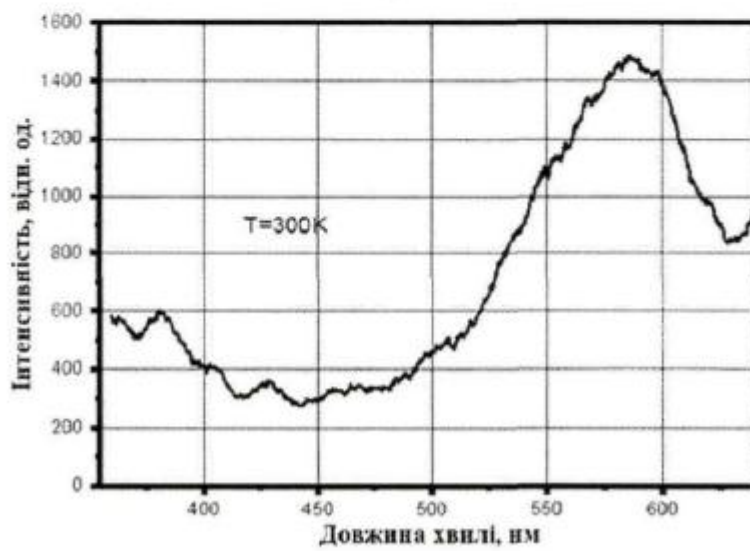


Fig. 3



а



б

Фіг. 4