



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **65586** (13) **U**
(51) **МПК**
G01R 31/27 (2006.01)
G01N 23/20 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВІДБРАКОВУВАННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕНАДІЙНИХ ГОМОЕПІТАКСІЙНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ GaAs ТА InP

1

2

(21) u201106133

(22) 16.05.2011

(24) 12.12.2011

(46) 12.12.2011, Бюл.№ 23, 2011 р.

(72) ЗАЯЦЬ МИКОЛА СЕРГІЙОВИЧ, КОНАКОВА
РАЇСА ВАСИЛІВНА, МІЛЕНІН ВІКТОР ВОЛОДИ-
МИРОВИЧ, РЕДЬКО РОМАН АНАТОЛІЙОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ.
В.Є.ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ

(57) Спосіб відбраковування потенційно ненадійних гомоепітаксійних структур на основі GaAs та

InP, що базується на вимірюванні спектрів оптичного відбиття в інтервалі довжин хвиль 900-1200 нм, який **відрізняється** тим, що контрольовані структури після вимірювання спектра оптичного відбиття додатково піддають впливу імпульсного магнітного поля з індукцією 50-70 мТл, тривалістю імпульсу 1,0-4,0 мс, частотою слідування імпульсів 10-20 Гц і тривалістю дії на структури 1-6 хв., після чого знову вимірюють спектр оптичного відбиття і шляхом порівняння з вихідним спектром оцінюють надійність гомоепітаксійних структур.

Корисна модель належить до області оптичної діагностики гомоепітаксійних структур на основі сполук A^3B^5 та може бути використане для виявлення та відбраковування потенційно ненадійних структур, які містять приховані метастабільні дефектні комплекси, локалізовані поблизу міжфазних границь.

Епітаксійні методи вирощування дозволяють отримувати монокристалічні плівки напівпровідників із заданими властивостями, які широко застосовуються в мікроелектроніці. Разом з чим, навіть при гомоепітаксійному рості тонких плівок особливості початкової стадії осадження призводять до утворення на міжшарових границях протяжних перехідних областей, структурні та електрофізичні характеристики яких значно гірші ніж самих плівок. Особливо гостро проблема перехідних областей стоїть при використанні епітаксійних структур на основі напівпровідникових структур A^3B^5 у зв'язку з жорсткішими вимогами до однорідності плівок та досконалості міжфазних границь гомо- і гетеропереходів. Наявність перехідної області плівка-підкладка з однієї сторони пов'язана з неоднорідністю структури плівки по товщині, а з іншої вказує на неповне протіканні окремих релаксуючих процесів протягом росту плівок: виникають метастабільні структурні неоднорідності. Так, в приладах з n-p⁺ шарами, які використовуються при виготовленні діодів Ганна

зменшення концентрації електронів у перехідній області призводить до погіршення їхніх частотних властивостей і, навіть, до подавлення генерації, а підвищення концентрації знижує пробивні напруги та зменшує потужність цих приладів. В епітаксійних p-n переходах наявність перехідної області зменшує напругу пробою і збільшує струми втрат.

Підвищений рівень дефектності перехідних областей призводить до підсилення масопереносу на міжшарових границях, що впливає не тільки на перерозподіл домішок, але й на їхню електричну стабільність. Не дивлячись на численні дослідження процесів епітаксійного росту плівок, фізичні закономірності, що зумовлюють виникнення перехідних областей, до кінця не вивчені. Таким чином, залишається проблема отримання стабільних по структурі та властивостям монокристалічних плівок. Виявлення істинних причин недостатньої стабільності і потенційної ненадійності епітаксійних структур потребують проведення доволі складних досліджень із застосуванням складних аналітичних методів [1]. Тому одним із технічних рішень цієї проблеми є розробка простих, не руйнуючих методів відбраковування потенційно ненадійних структур.

В деклараційному патенті України на винахід № 6565 [2] пропонується проводити відбраковування вже готових мікроелектронних

(19) **UA** (11) **65586** (13) **U**

виробів шляхом активації дефектів кристалічної ґратки напівпровідника електричним полем. Спосіб має наступний недолік. Параметр, по якому здійснюють відбраковування - квазірівноважний опір об'єкту контролю в активному режимі є інтегральним і відхилення його від номінального (еталонного) не пов'язаний напряму із структурними неоднорідностями епітаксійних шарів і може не відображати істинну дефектну структуру матеріалу, тим самим знижуючи надійність такого технічного підходу.

В патенті України на корисну модель №42618 [3], запропонований спосіб інтегральної оцінки структурної досконалості напівпровідникових кристалів по відношенню пікових значень дифузійного та головного максимумів рентгенівських дифрактограм, який дозволяє експресно оцінювати ступінь структурної досконалості напівпровідникових матеріалів без їхнього руйнування в широкому діапазоні товщини. Недоліком даного технічного рішення є неможливість виявлення структурних відхилень, пов'язаних з міжшаровими границями епітаксійних структур, а також ступені їхньої структурної нерівноважності.

В [4] запропонований неруйнівний спосіб виявлення гомоепітаксійних структур з дифузійно розмитими міжфазовими границями (даний спосіб вибраний за найближчий аналог). Спосіб базується на особливостях відбивання світла від епітаксійних структур при якому виникає інтерференційний ефект. Інтерференція спостерігається при відбиванні падаючого випромінювання від поверхні епітаксійного шару та границі поділу з нижче розташованим шаром (підкладкою). Це має місце в умовах, коли у використуваному інтервалі довжин хвиль епітаксійний шар прозорий, а його оптичні постійні відрізняються від оптичних постійних нижче розташованого шару (підкладки). Дані умови добре виконуються для гомоепітаксійних структур, в яких епітаксійний шар містить малу концентрацію вільних носіїв, а нижче розташований шар (підкладка) сильно легований. Для таких об'єктів спектральна залежність коефіцієнта відбивання являє собою осцилюючу криву з екстремумів симетричної форми. Наявність перехідних областей в епітаксійних структурах призводить до трансформації інтерферограми: зміни амплітуди, ширини та числа піків. Шляхом порівняння спектрів оптичного відбиття контрольованих структур із еталонним можна виявити зразки, що містять структурні неоднорідності.

Недоліками даного технічного рішення є:

- необхідність виготовлення еталону, структурна досконалість якого підтверджена яким-небудь іншими методами аналізу, що веде до зростання вартості даного способу контролю;
- неможливість оцінки ступені структурного розупорядкування міжфазних областей гомоепітаксійних плівок;
- неможливість виявлення прихованих метастабільних локалізованих дефектних комплексів, активація яких може призводити до зміни як структурно-фазового стану перехідних областей, так і дефектно-домішкового складу

епітаксійного шару, що, у свою чергу, сприятиме недостатньому рівню точності та надійності процесу контролювання.

Задачею корисної моделі було отримати більш дешевий, але також неруйнівний спосіб відбраковування із можливістю оцінки ступеня дефектного розупорядкування міжфазних областей і в той же час підвищити його надійність та точність.

Вказана задача вирішується завдяки тому, що в способі відбраковування потенційно ненадійних гомоепітаксійних структур на основі GaAs та InP, який базується на вимірюванні спектрів оптичного відбиття в інтервалі довжин хвиль 900-1200нм згідно з корисною моделлю, контрольовані структури додатково піддають впливу імпульсного магнітного поля з індукцією 50-70мТл, тривалістю імпульсу 1,0-4,0мс, частотою слідування імпульсів 10-20Гц і тривалістю дії на структури 1-6хв. після чого знову вимірюють спектр оптичного відбиття і шляхом порівняння з вихідним оцінюють надійність гомоепітаксійних структур.

Безпосереднє відбраковування структур здійснюється по змінам інтерферограм відбитого світла після вливу на структури слабого імпульсного магнітного поля.

Магнітне поле ініціює спін-залежні процеси перебудови метастабільних нерівноважних дефектних комплексів, яка супроводжується їхнім розпадом на частини, дифузією продуктів розпаду та наступними реакціями з домішками та дефектами. Макроскопічним проявленням таких процесів є зміна протяжності та структурно-фазового складу міжфазних границь, а отже і умов відбивання світла від них. Це призводить до зміни амплітуди (аж до зникнення) інтерференційних екстремумів, їхньої ширини та кількості піків. Чим вища ступінь структурної нерівноважності епітаксійної структури, тим сильніше проявляється оптичний відгук на дію слабого імпульсного магнітного поля. Порівнюючи інтерферограми до та після вливу магнітного поля проводять відбраковування потенційно ненадійних гомоепітаксійних структур, виключаючи їх із технологічного процесу на початкових станах виготовлення мікроелектронних приладів.

Даний спосіб має наступні відмінності від найближчого аналога:

- для виявлення структурно-нерівноважного стану епітаксійних структур останні піддаються обробці в слабкому магнітному полі ($B=50-70\text{мТл}$, $\tau=1,0-4,0\text{мс}$, $f=10-20\text{Гц}$, $t=1-6\text{хв.}$);
- ступінь дефектної неоднорідності міжфазних границь може бути оцінена по відношній зміні інтерферограф, знятих до та після магнітопольової обробки, одної і тої ж епітаксійної структури;
- при проведенні відбраковування потенційно ненадійних структур немає необхідності виготовлення еталонної структури.

Якщо спектр оптичного відбиття гомоепітаксійної структури не зазнав змін або ж ці зміни не суттєві, то з максимальною ступінню ймовірності можна стверджувати про високу структурну досконалість міжфазних границь багатшарової структури, оскільки метастабільні

комплекси, що розпадаються під впливом слабого магнітного поля відсутні, або ж їхня кількість є незначною. Суттєві зміни в осциляційних залежностях оптичного відбиття (зміна кількості інтерференційних максимумів, їхніх напівширин, частотного положення, амплітуди, тощо), зумовлені магнітно-польовою обробкою, свідчатимуть про недостатню структурну довершеність такого матеріалу через існування зазначених метастабільних дефектних утворень у великій кількості в міжшаровій області. Ступінь структурної недосконалості оцінюється з величини відносних відхилень параметрів інтерферограми від вихідних значень.

Таким чином, запропоноване нами технічне рішення є більш дешевим, оскільки не потребує еталону, виготовлення якого є достатньо коштовним і в той же час дозволяє здійснити відбраковування гомоепітаксійних структур з більшою ступінню надійності та точності через вплив слабою імпульсного магнітного поля на приховані дефекти структури, що в подальшому може призвести до трансформації спектрів оптичного відбиття, а також оцінити ступінь структурної недосконалості міжфазних границь по величині відносних відхилень, параметрів інтерферограм від початкових.

Приклад конкретного виконання

Запропонований спосіб відбраковування був реалізований на приладових гомоепітаксійних структурах на основі InP та GaAs, отриманих газофазовою епітаксією. Параметри структур представлені в таблиці.

На Фіг.1 та 2 приведені спектри оптичного відбивання до (Фіг.1, а; Фіг.2, с) та після (Фіг.1, б; Фіг.2, d) обробки епітаксійних структур імпульсним магнітним полем з індукцією 60мТл, частотою

10Гц, тривалістю одного імпульсу 1,2 мс, протягом часу 5 хв. гомоепітаксійних структур на основі GaAs та InP, відповідно. Як слідує з представлених результатів магніто-польова обробка призводить до суттєвої зміни інтерференційної картини гомоепітаксійних структур на основі InP (Фіг.2) і практично повному зникненню інтерференції в епітаксійних структурах на основі GaAs (Фіг.1) в спектральній області 900-1200нм. Це вказує на те, що вирощені структури характеризуються високим ступенем структурної нерівноважності і є потенційно ненадійними. Причому концентрація локальних метастабільних комплексів дефектів, виявлених магнітно-польовою дією, в структурах на основі GaAs більша (відсутність інтерференції) ніж у випадку структур на основі InP (слабка інтерференція присутня). Відсутність ж змін у інтерферограмах свідчила б про високу структурну досконалість міжфазних границь та про потенційну стабільність такої структури.

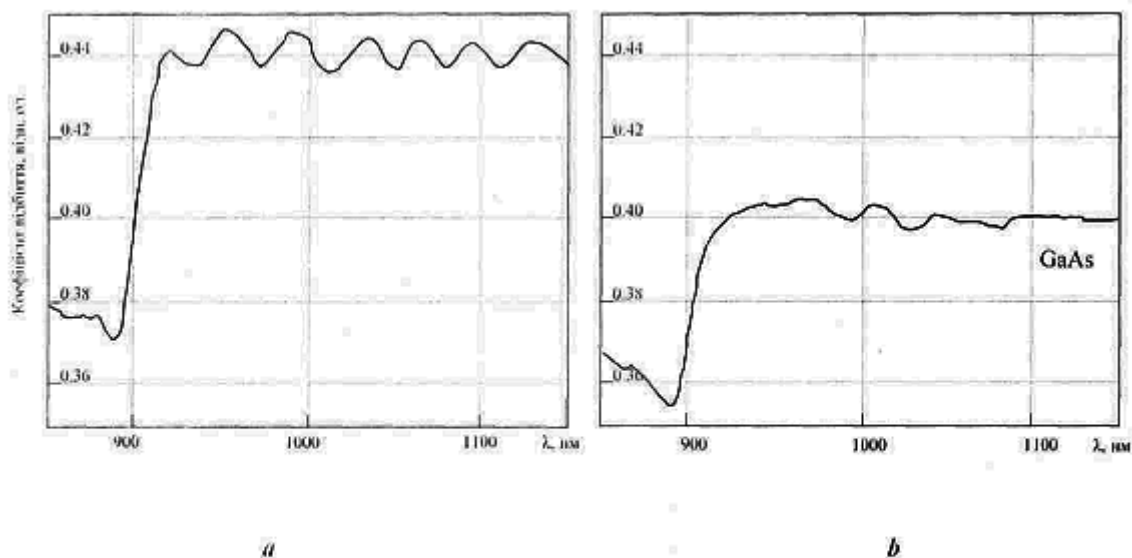
Джерела інформації:

1. Арсенид галлія в мікроелектроніці / У.Уиссмен, У.Френсли, У.Дункан и др. / под ред. Н.Айнспрука, У.Уиссмана / пер. с англ., под ред. В.Н.Мордковича. -М.:Мир. 1988.-555с.

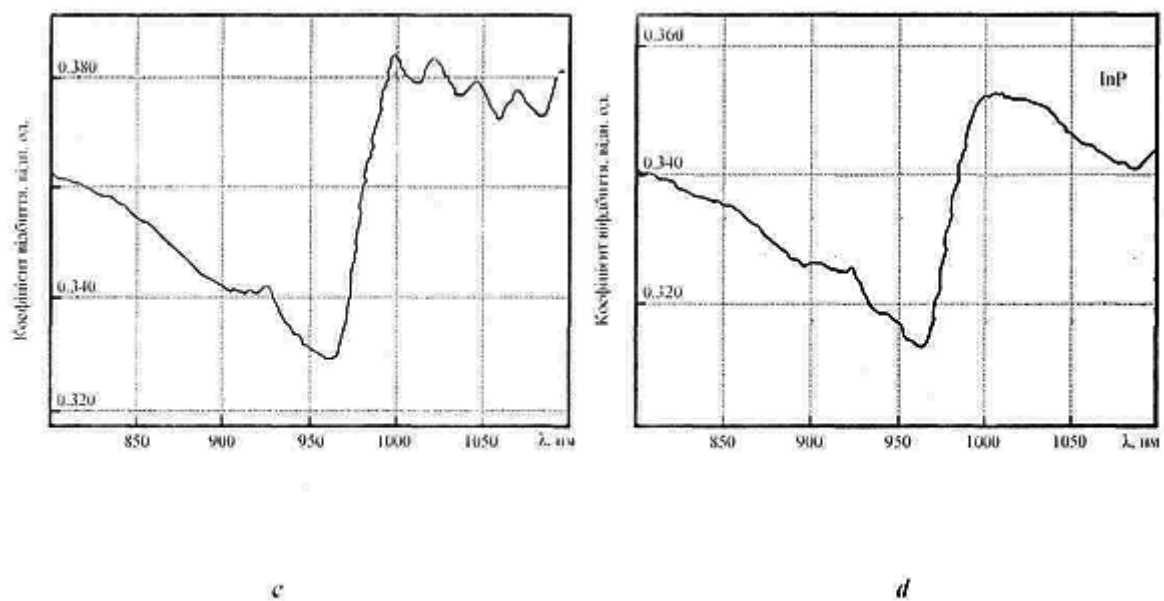
2. Бідник Д.І., Ілюк І.Є., Молчанов К.В... Пенцак І.Б. Спосіб відбраковування інтегральних схем. Патент України на винахід № 6595, Бюл. №8, 1994р.

3. Новиков М.М., Теселько П.О., Сушко В.Г., Ремешок П.І. Спосіб інтегральної оцінки структурної досконалості кристалів. Патент України на корисну модель №42618, 2001.

4. Батавин В.В... Концевой Ю.А., Федорович Ю.В. Измерения параметров полупроводниковых материалов и структур. - М.: Радио и связь. 1985.- 254с.



Фіг. 1



Фиг. 2