

УДК 548.5

АНАЛІЗ УМОВ ОТРИМАННЯ ТОНКИХ ТА НАДТОНКИХ ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ МЕТОДОМ РІДИННОФАЗНОЇ ЕПІТАКСІЇ

В. В. Цибуленко, к. т. н. С. В. Шутов, О. І. Марончук

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова
Національної академії наук України
Україна, м. Київ
shutov_sv@mail.ru

Розглянуто основні недоліки рідиннофазної епітаксії, що не дозволяють вирощувати тонкі та надтонкі епітаксійні шари. Запропоновано критерії для нового способу і оснастки для отримання цих шарів. Основними критеріями є короткочасність переохолодження на границі росту та короткочасність контакту розчину-розплаву з робочою підкладкою.

Ключові слова: рідиннофазна епітаксія, сполуки A^3B^5 , тонкі та надтонкі епітаксійні шари.

Використання методів епітаксії з рідинної фази дозволяє отримувати найбільш досконалі, з кристалографічної точки зору, шари для сполук A^3B^5 та їх твердих розчинів. Тому надалі обмежимо розглядом рідиннофазної епітаксії (РФЕ) саме для них. Отримання тонких та надтонких, а також періодичних шарів є невід'ємною частиною технології виготовлення сучасних напівпровідникових приладів. Існує багато відомих підходів для вирішення цієї проблеми, але більшість з них відрізняються складністю технології і високою собівартістю виробництва. Технологія вирощування шарів напівпровідникового матеріалу з рідинної фази є найбільш простою та дешевою, а відтак доступною для широкого застосування. Але виготовлення тонких та надтонких, а також періодичних шарів РФЕ є досить складним завданням з точки зору однорідності отриманих шарів та відтворюваності результатів. Ця робота присвячена виявленню недоліків РФЕ, які стримують її подальший розвиток, та спробі знаходження шляхів усунення цих недоліків.

У всіх різновидах РФЕ є однакові чинники, які впливають на якість, розміри та склад шарів, що вирощуються.

В першу чергу це нестабільність температурного режиму в зоні росту внаслідок інерційності теплових процесів, яка призводить до «розмиття» границі росту та зміни товщини епітаксійного шару, що особливо критично при вирощуванні тонких шарів. Отже, для досягнення заданої точності товщини треба значно знижувати температуру вирощування. Другим способом зменшення впливу нагрівального вузла може слугувати використання розчинників із малою розчинністю компонентів.

Наступним фактором, що треба враховувати при використанні РФЕ, є вплив пружної енергії деформованого епітаксійного шару. Пружні напруження зміщують фазову рівновагу і суттєво впливають на температуру фазових перетворень, а також на характер кристалізації [1—3]. Цей фактор суттєво впливає на періодичні структури та/або структури із зняттям напружень. Виходом із ситуації може бути використання окремої ростової комірки для кожного шару твердого розчину, що вирощується. А при вирощуванні великої кількості періодичних шарів позбутися впливу цього фактору неможливо, але можна його мінімізувати зменшенням температури вирощування, а також підбором сталих ґраток твердого розчину та підкладки.

Збіднення розчину-розплаву в ростовій комірці по одному або більше компонентам [4] суттєво впливає при вирощуванні об'ємних шарів з обмеженого об'єму розчину-розплаву та при вирощуванні великої кількості періодичних шарів, а також якщо один з компонентів дуже летючий. Отже після вирощування кожного шару треба повертати розчин-розплав в контейнер для гомогенізації для повернення складу до заданого.

Вплив конвекції. Якщо в розчині-розплаві існують конвективні потоки, то в об'ємі виникає концентраційна нестабільність, яка, в свою чергу, призводить до нерівномірності скорості росту

вздовж границі розділу, що призводить до формування недзеркальної (хвилястої) поверхні епітаксійного шару. Такий вплив конвекції є суттєвим для заданої якості тонких та надтонких епітаксійних структур. Позбутися цього впливу можна за допомогою використання обмеженого об'єму розчину-розплаву, при якому переносу речовини конвекцією немає, а є тільки перенос дифузійною.

Перетягування розчину-розплаву з однієї комірки в іншу пов'язано із змочуванням робочої підкладки розчино-розплавом. В результаті відбувається змішування розчинів-розплавів в різних ростових комірках, що призводить до неконтрольованого по товщині та складу росту твердих розчинів. Боротися із цією проблемою можна, наприклад, за допомогою методу центрифугування робочої підкладки над ростовою або зливною коміркою. Але цей метод є досить інерційним.

Дифузія i -го компонента розчину-розплаву в тверду фазу при великому часі вирощування може змінювати склад попередніх шарів. Виходом із ситуації може бути зменшення температури та часу вирощування.

Також треба враховувати коефіцієнт термічного розширення епітаксійного шару і підкладки, коефіцієнт розподілення компонентів між твердою і рідинною фазами, орієнтацію підкладки тощо.

Виконаний аналіз дозволив розробити наступні вимоги для методу РФЕ, який дозволить отримувати більш досконалі тонкі та надтонкі, а також періодичні шари:

- процеси вирощування повинні проводитись при максимально низьких температурах для зменшення впливу нестабільності нагрівального вузла;
- має проводитись контрольоване та кероване температурне переохолодження на границі росту;
- розчин-розплав повинен повертатись в контейнер для гомогенізації після вирощування кожного шару для стабілізації або повернення складу розчину-розплаву до заданого;
- час вирощування кожного епітаксійного шару повинен бути максимально зменшений для зменшення впливу процесів дифузії в твердій фазі та дифузії з рідинної фази до твердої;
- процес вирощування повинен проводитись з обмеженого об'єму розчину-розплаву для усунення впливу конвективних потоків в розчині-розплаві;
- розчин-розплав повинен контактувати з робочою підкладкою тільки під час росту епітаксійного шару, а по закінченню росту робоча підкладка повинна миттєво очищуватися від розчину-розплаву.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. В. Н. Лозовский, Л. С. Лунин. Пятикомпонентные твердые растворы соединений $A^{III}B^V$.— Ростов н/Д: Издательство Ростовского Университета, 1992.
2. В. В. Кузнецов, Л. С. Лунин, В. И. Ратушный. Гетероструктуры на основе четверных и пятерных твердых растворов соединений $A^{III}B^V$.— Ростов н/Д: Издательство СКНЦ ВШ, 2003.
3. В. В. Кузнецов, П. П. Москвин В. С. Сорокин. Неравновесные явления при жидкостной гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов.— Москва: Металлургия, 1991.
4. В. М. Андреев, Л. М. Долгинов, Д. Н. Третьяков. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. – Москва: Сов. Радио, 1975.

V. V. Tsybulenko, S. V. Shutov, A. I. Maronchuk

Analysis of conditions for obtaining thin and ultrathin epitaxial layers by liquid-phase epitaxy.

Basic disadvantages of liquid-phase epitaxy making impossible to obtain thin and ultrathin epitaxial layers have been considered. Criteria have been proposed for a new method and equipment for fabrication of such layers. The principal criteria are short-time supercooling of the growth interface as well as short-time contact between a solution-melt and a substrate.

Keywords: *liquid-phase epitaxy, III-V compounds, thin and ultrathin epitaxial layers.*