

УДК 548.5

## ВПЛИВ ГОМОГЕННОГО ЗАРОДКОУТВОРЕННЯ НА ЯКІСТЬ ШАРІВ ПРИ ІМПУЛЬСНИХ МЕТОДАХ РФЕ

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

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України  
Україна, м. Київ  
shutov\_sv@mail.ru

*Для імпульсних методів рідиннофазної епітаксії розглянуто вплив гомогенного зародкоутворення на якість вирощуваних епітаксійних шарів. Розраховано критичні радіуси зародків при переохолодженні розчину-розплаву і швидкість їх спливання для системи Ga—GaAs при 850°C. Показано, що завдяки короткочасності зазначених методів гомогенне зародкоутворення не вплине на якість вирощуваних шарів.*

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

В процесі вирощування епітаксійних шарів методом рідиннофазної епітаксії у розчині-розплаві біля фронту кристалізації може виникнути концентраційне переохолодження. Це відбувається, якщо температура розчину-розплаву дещо нижча за температуру лінії ліквідусу – температури початку кристалізації [1, 2]. В результаті в об'ємі розчину-розплаву відбувається гомогенне зародкоутворення і, можливо, ріст окремих кристалів, які, спливаючи до границі росту, можуть бути захоплені шаром, що росте. Очевидно, що це має впливати на якість вирощуваних епітаксійних шарів.

Метою роботи є встановлення умов концентраційного переохолодження для імпульсних методів рідиннофазної епітаксії і оцінка його впливу на якість вирощуваних шарів.

Розрахунок умов виникнення концентраційного переохолодження був проведений для розчину-розплаву Ga—GaAs за умов, що шар розчину-розплаву товщиною 3,5 мм знаходився при початковій температурі 850°C, робоча підкладка GaAs товщиною 400 мкм на початку процесу знаходилася при кімнатній температурі. Згідно проведених розрахунків швидкість охолодження на границі росту не є лінійною і спадає з часом після різкого стрибка на початку процесу. При цьому з розрахунків видно, що на границі росту і в об'ємі розчину-розплаву виникає концентраційне переохолодження, яке швидко змінюється з часом.

Знайдемо критичні радіуси зародків, що утворюються в об'ємі розчину-розплаву при наявності переохолодження. А також знайдемо швидкість, з якою ці новоутворені кристалики спливають до границі росту. Запишемо рівняння руху кульки, що спливає у в'язкій рідині:

$$\vec{F}_{\text{рез}} = \vec{F}_A - \vec{F}_T - \vec{F}_{\text{тертя}}. \quad (1)$$

У міру збільшення швидкості сила опору збільшується, прискорення стає рівним нулю. Рівняння (1) для рівномірного руху можна переписати:

$$0 = \rho_{\text{Ga}} g V_{\text{GaAs}} - m_{\text{GaAs}} g - 6\pi\eta r_C \vartheta, \quad (2)$$

де  $\vec{F}_A = \rho_{\text{Ga}} g V_{\text{GaAs}}$  – сила Ампера;  $\vec{F}_T = m_{\text{GaAs}} g$  – сила тяжіння;  $\vec{F}_{\text{тертя}} = 6\pi\eta r_C \vartheta$  – сила в'язкого тертя (формула Стокса);  $\rho_{\text{Ga}}$  – густина Ga в рідинному стані;  $\rho_{\text{GaAs}}$  – густина твердого GaAs;  $\eta$  – динамічна в'язкість Ga, знайдена по [1];  $V_{\text{GaAs}}$ ,  $m_{\text{GaAs}}$  – об'єм кульки, що спливає, та її маса, відповідно, виражені через радіус кульки  $r_C$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Критичний радіус зародка  $r_C$  знайдено згідно [2—4].

Переписавши рівняння (2), отримаємо швидкість кульки, що спливає:

$$\vartheta = \frac{(\rho_{\text{Ga}} - \rho_{\text{GaAs}}) g \frac{4}{3} \pi r_C^3}{6\pi\eta r_C}. \quad (3)$$

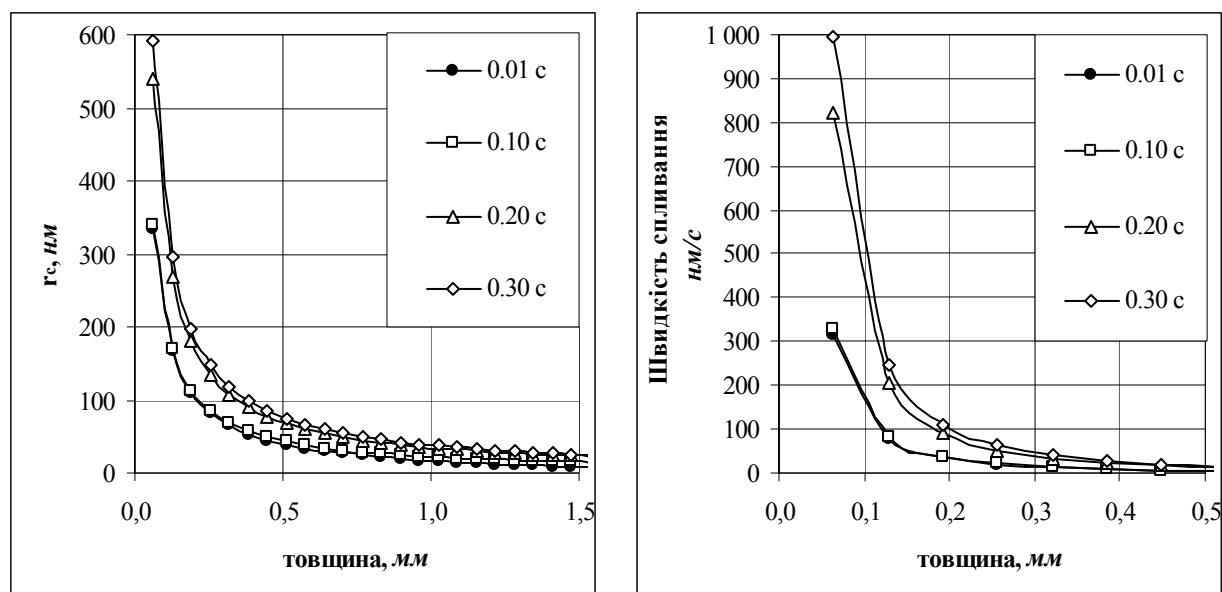


Рис. 1. Розподілення по товщині розчину-розплаву критичного радіусу зародків (а) та їх швидкості спливання (б) через інтервали часу 0,01 с; 0,1 с; 0,2 с та 0,3 с (0 мм відповідає протилежній границі від границі росту)

Моделювання процесів тепло- і масопереносу для імпульсних методів рідиннофазної епітаксії показало, що найбільші за розміром зародки знаходяться на протилежній границі від границі росту (рис. 1, а) і мають більшу швидкість спливання (рис. 1, б). До того ж, з часом, спостерігається уповільнення приросту розмірів зародків і, відповідно, приросту швидкості їх спливання. На нашу думку, це пов'язано із температурним профілем, що виникає по товщині розчину-розплаву, і змінюється з часом по експоненційній залежності.

Імпульсні методи рідиннофазної епітаксії є швидкоплинними – час процесу вирощування складає менше 1 с. На основі результатів розрахунків встановлено, що кристалики, які виникають в розчині-розплаві в результаті концентраційного переохолодження, не встигають спливати до границі росту, а отже, і не впливають на якість шару, що вирощується.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Соколов И. А. Расчеты процессов полупроводниковой технологии.– Москва: Металлургия, 1994.
2. Карпунин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов.– Москва: Металлургия, 1982.
3. Таиров Ю. М., Цветков В. Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов.– Москва: Высш. шк., 1983.
4. Чернов А. А., Гиваргизов Е. И., Багдасаров Х. С. и др. Современная кристаллография (в четырех томах). Том 3. Образование кристаллов.– Москва: Наука, 1980.

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

#### Homogenous nucleation influence on the layer quality in pulse methods of the liquid-phase epitaxy

The effect of homogenous nucleation on the quality of epitaxial layers grown was considered for pulse methods in the liquid-phase epitaxy. Critical radius of the nuclei at the solution-melt overcooling as well as the rate of their surfacing were calculated for the system Ga—GaAs at 850°C. It was shown that due to the short action time of the pulse methods the homogenous nucleation did not affect the quality of the layers obtained.

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