ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 5, № 2 (2004) С. 372-376

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 5, № 2 (2004) P. 372-376

УДК 621.315.592.2; PACS number: 81.10.Fq

ISSN 1729-4428

А.І. Мінайлов

Керування параметрами низькорозмірних структур, отриманих методом імпульсного охолодження насиченого розчину-розплаву

Херсонський державний технічний університет,
Бериславське шосе 24, м. Херсон, 73008, Україна
тел. (0552) 51 64 68, e-mail: andymin@selena.net.ua

Коротко описано метод отримання низькорозмірних шарів напівпровідникових сполук A^3B^5, наведено методику та результати розрахунку залежності товщини шарів від заданих технологічних параметрів процесу для InAs, InSb.

Ключові слова: епітаксія, розчин-розплав, фронт кристалізації, імпульс охолодження.

Стаття поступила до редакції 19.05.2003; прийнята до друку 19.05.2004.

I. Вступ

В теперішній час розвиток в галузі електронної техніки в значній мірі пов'язується з широким застосуванням нанорозмірних шарів і надграток. Застосування епітаксійних шарів товщиною менш ніж 0,1 мкм дало змогу не тільки покращити характеристики вже існуючих приладів мікроелектроніки, а й призвело до створення нових типів приладів, принцип дії яких заснований на фізичних ефектах, які відбуваються в квантово-розмірних структурах.

Найбільш перспективними процесами для отримання якісних структур є методи рідкофазової епітаксії, оскільки в цьому випадку кристалізація відбувається при більш низьких значеннях переохолодження, що дає можливість отримувати структурно досконалі шари. Одним із найбільш перспективних методів отримання низькорозмірних структур є метод імпульсного охолодження насиченого розчину-розплаву (ІОНРР).

II. Модель процесу

При вирощуванні епітаксійних шарів методом імпульсного охолодження тильна сторона підкладки (1), що знаходиться при температурі T_0 у термодинамічній рівновазі з насиченим розчином-розплавом (2), доводиться в контакт із холоднішим теплопоглиначем (3), що має температуру $T_1 < T_0$. [1]

У результаті взаємодії з теплопоглиначем відбувається охолодження підкладки і прилягаючого до неї розчину-розплаву. Створюване при цьому переохолодження викликає кристалізацію епітаксійного шару. Тривалість і швидкість росту цього шару, а також умови протікання росту визначаються значенням переохолодження на фронті кристалізації і його зміни в часі. Т. ч., для розрахунку товщини шарів, одержуваних при різних технологічних умовах проведення процесу, тобто рівноважній температурі T_0, температурі теплопоглинача T_1 та його товщині, повинна бути вирішена задача про теплоперенесення в системі і визначене значення температури в кожній точці і її зміна в часі T(x,t). Залежність T(x,t) є розв'язком рівняння теплопровідності, що для розглянутого одномірного випадку має вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{f}{-\rho}, \quad (1)$$

$$\chi = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (2)$$

де χ – коефіцієнт температуропровідності; f – щільність теплових джерел; c – питома теплоємність середовища; ρ – його густина; λ – коефіцієнт теплопровідності.

Для розв'язку даної задачі використовувався

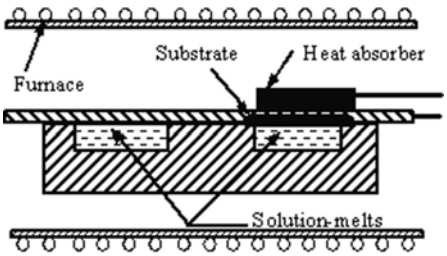

Рис. 1. Схема процесу ІОНРР.

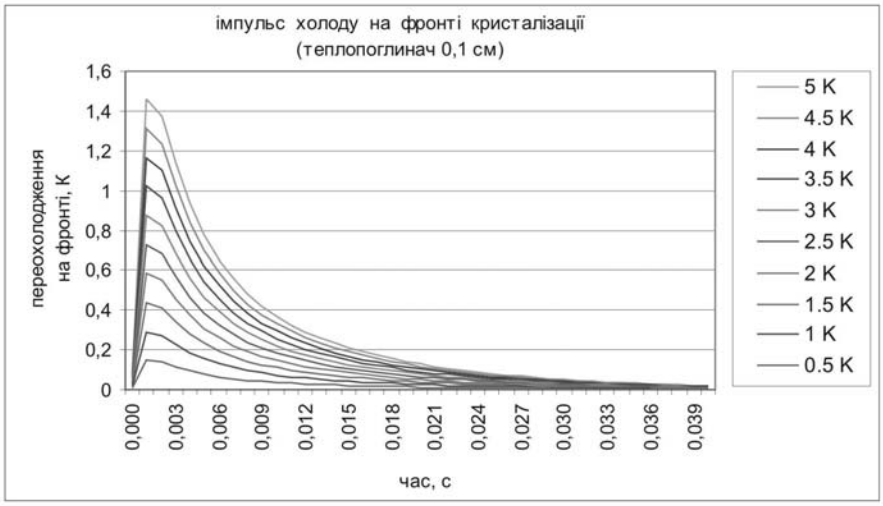

Рис. 2. Імпульс холоду на фронті кристалізації.

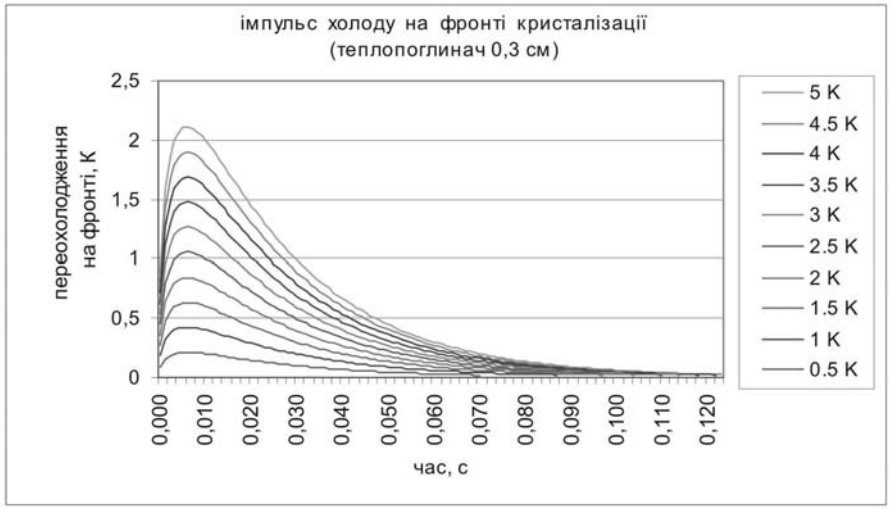

Рис. 3. Імпульс холоду на фронті кристалізації.

Таблиця 1

Результати розрахунку для InAs при Тпр = 550°С

Переохолодження, К	Тривалість імпульсу холоду, с		Товщина шару, нм		Швидкість росту, нм/с	
	0,1см	0,3см	0,1см	0,3см	0,1см	0,3см
0,5	0,013	0,065	1,4	3,8	53,0	29,0
1	0,02	0,082	3,4	8,4	85,1	51,4
1,5	0,025	0,092	5,7	13,4	113,8	72,6
2	0,028	0,099	8,0	18,4	143,0	93,0
2,5	0,03	0,105	10,3	23,6	172,1	112,5
3	0,032	0,109	12,8	28,8	199,3	132,1
3,5	0,034	0,113	15,3	34,1	224,9	150,9
4	0,035	0,117	17,7	39,5	252,5	168,9
4,5	0,036	0,12	20,1	44,9	279,1	187,0
5	0,037	0,122	22,6	50,1	305,0	205,4

метод сіток. Застосовувалася симетрична неявна схема (схема Кранка-Ніколсона) із $\sigma = 1/2$ і 6-крапковим шаблоном, тому що така схема абсолютно стійка. При цьому вихідна задача зводиться до системи лінійних рівнянь яка вирішується методом прогонки. На рис. 2 та рис. 3 графічно подані розраховані залежності розміру переохолодження на фронті кристалізації від часу для різних значень початкового переохолодження теплопоглинача [2].

За відсутності конвекції в розчині доставка компонента до підкладки здійснюється за рахунок молекулярної дифузії. При дуже великих значеннях пересичення швидкість росту може лімітуватися кінетикою процесів, які відбуваються безпосередньо на поверхні кристалізації. В дифузійному режимі

Таблиця 2

Результати розрахунку для InSb при Тпр = 300°С

Переохолодження, К	Тривалість імпульсу холоду, с		Товщина шару, нм		Швидкість росту, нм/с	
	0,1см	0,3см	0,1см	0,3см	0,1см	0,3см
0,5	0,013	0,065	2,7	5,9	102,1	45,7
1	0,02	0,082	6,6	13,3	163,9	80,9
1,5	0,025	0,092	10,9	21,0	218,9	114,1
2	0,028	0,099	15,4	28,9	274,5	146,0
2,5	0,03	0,105	19,8	37,0	329,9	176,3
3	0,032	0,109	24,4	45,1	381,5	206,7
3,5	0,034	0,113	29,2	53,3	429,8	235,8
4	0,035	0,117	33,7	61,7	481,9	263,6
4,5	0,036	0,12	38,3	69,9	532,1	291,5
5	0,037	0,122	43,0	78,0	580,5	319,7

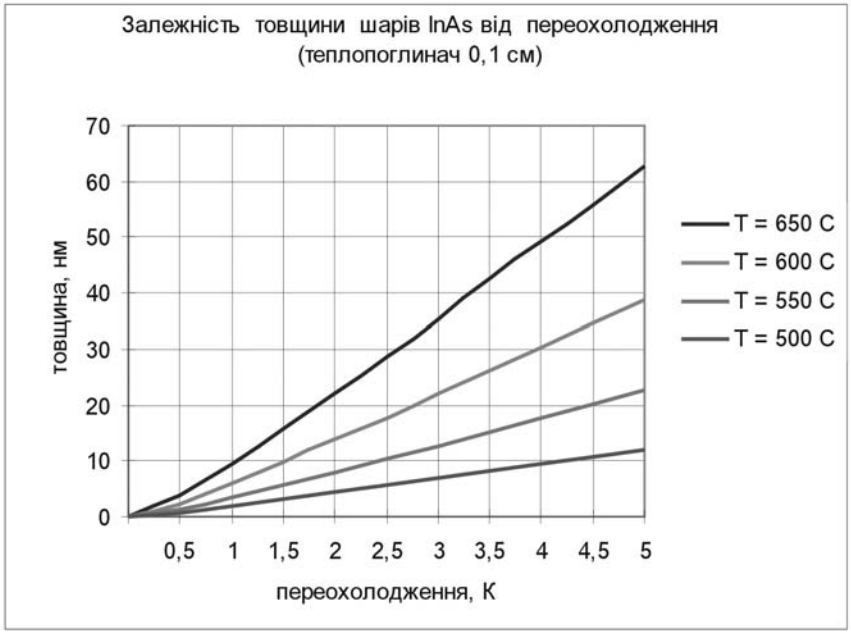

Рис. 4. Залежність товщини шарів InAs від переохолодження.

швидкість росту та товщину шару розраховують в залежності від способу проведення процесу і висоти шару розчина-розплаву над підкладкою. Остання визначає характеристичний час дифузії τ_D, с:

$$\tau_D = \frac{l^2}{D} \qquad (3)$$

де D – коефіцієнт взаємодифузії компонента В в розчині-розплаві; l – висота шару розчина-розплаву над підкладкою.

Характеристичний час дифузії – це час, потрібний для розповсюдження дифузійної хвилі в розчині-розплаві, і якщо він більший за тривалість процесу (тобто довжини імпульсу холоду), то ріст відбувається немов з напівнескінченного розчину-розплаву.

При розрахунку процесу епітаксії напівпровідникової сполуки АВ приймається, що кількість молекул АВ в шарі дорівнює кількості атомів В.

Для наближення напівнескінченного розчину-розплаву :

Швидкість росту

$$\omega_p = 10^4 \frac{\Delta N_0^{Ж}}{N^{ТВ}} \left(\frac{D}{\pi t}\right)^{0,5}, \qquad (4)$$

Товщина шару

$$h = 10^4 \frac{2\Delta N_0^{Ж}}{N^{ТВ}} \left(\frac{Dt}{\pi}\right)^{0,5}, \qquad (5)$$

де $\Delta N_0^{Ж}$ – різниця початкової та кінцевої рівноважної концентрацій; $N^{ТВ}$ – концентрація в твердій фазі компонента В; t – тривалість імпульсу холоду [3].

III. Результати

Проведені розрахунки виявили наступні залежності:

Результати цього розрахунку показали

Рис. 5. Залежність товщини шарів InSb від переохолодження.

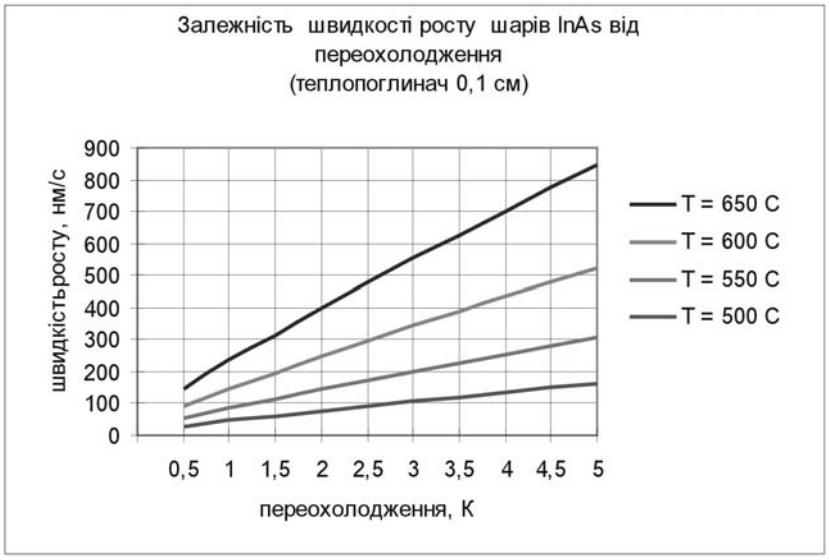

Рис. 6. Залежність швидкості росту шарів InAs від переохолодження.

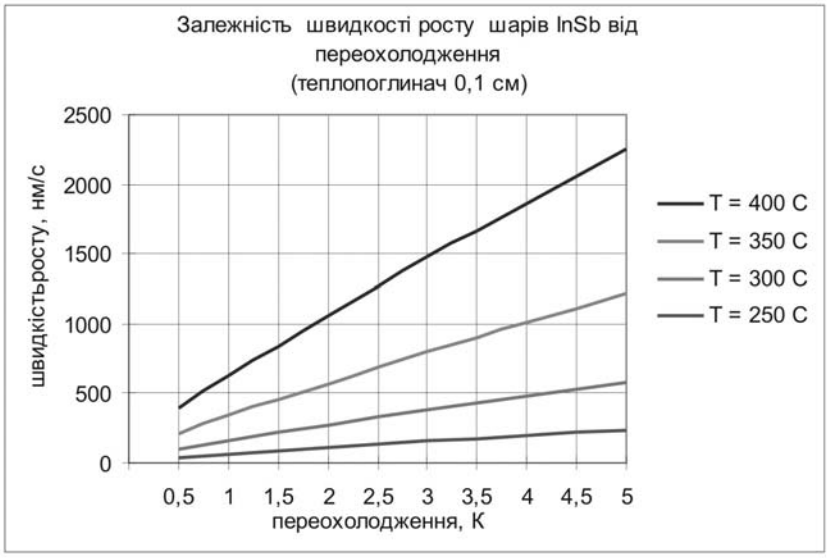

Рис. 7. Залежність швидкості росту шарів InSb від переохолодження.

придатність методу імпульсного охолодження насиченого розчину-розплаву для отримання низькорозмірних напівпровідникових шарів та структур, а також можливість задавати в широкому діапазоні параметри структур, що вирощуються. Ця можливість забезпечується тим, що метод імпульсного охолодження насиченого розчину-розплаву дозволяє в дуже широких межах варіювати величину пересичення, створюваного на фронті кристалізації за рахунок зміни температури процесу, початкового переохолодження теплопоглинача та його товщини. А як відомо, головним важелем за допомогою якого можна керувати кінетикою кристалізації і навіть формою росту кристалу є переохолодження і як наслідок пересичення розчину [4].

[1] И.Е. Марончук, А.И. Марончук, А.В. Шорохов. Наноразмерные слои GaAs полученные методом импульсного охлаждения насыщенного раствора-расплава // *Письма в ЖЭТФ,* **23**(17), сс. 82-86 (1997).

[2] А. Мінайлов, Є. Баганов, С. Єрохін. Розрахунок переохолодження на фронті кристалізації при вирощуванні епітаксійного шару методом імпульсного охолодження насиченого розчину-розплаву // *Вісник Львівського університету. Серія фізична,* вип. 34, сс. 247-252 (2001).

[3] И.А. Соколов. *Расчеты процессов полупроводниковой технологии.* Металлургия, М. 176 с. (1994).

[4] И.В. Салли, Э.С. Фалькевич. *Управление формой роста кристаллов.* Наукова думка, К. 160 с. (1989).

A.I. Minailov

Controlling of Parameters of Low-dimension Structures, Oobtained by the Method of Pulse Cooling of Saturated Solution-melt

Kherson State Technical University,
Berislavske Shosse 24, Kherson, 73008, Ukraine,
tel. (0552) 51 64 68, e-mail: andymin@selena.net.ua

The short description of method of obtaining a low-dimension layers of semiconductor compounds A^3B^5; the methods and results of calculation dependence of layers thickness on technical process parameters for InAs, InSb are presented.