

УДК 539

В.М. Мицишин, Ю.М. Богдановський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра напівпровідникової електроніки

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТВЕРДИХ ПЛАНАРНИХ ДЖЕРЕЛ БОРУ

© Мицишин В.М., Богдановський Ю.М., 2003

Оптимізовано технологію виготовлення твердих планарних джерел (ТПД) бору методом повного факторного експерименту. Досліджено вплив дисперсності і процентного вмісту компонентів дифузанта на максимальну температуру експлуатації ТПД бору.

Optimization of technology for production of solid planar sources (SPS) of boron has been made by a method of full factor experiment. The influence of a dispersivity and percentage contents of components for a diffusant has been investigated on maximum exploitation temperature of SPS of boron.

Вступ

Процеси дифузійного легування пластин кремнію є одними з найбільш відповідальних етапів виробництва напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. При діаметрах пластин 76, 100 мм і більше значні переваги має метод з використанням ТПД. У цьому методі газоподібний окисел легуючого елемента, дифундуючи від ТПД, взаємодіє з поверхнею кремнієвої пластини з утворенням скла і подальшою дифузією домішки у кремній [1, 2].

ТПД бору використовуються для створення шарів р-типу при виготовленні об'ємних напівпровідникових структур. ТПД бору на основі алюмоборосилікатних сполук (АБСС) пройшли перевірку у технологічних процесах виготовлення фотоперетворювачів.

При виготовленні джерел бору на термостійких підкладках необхідно забезпечити такі параметри: 1) максимальну температуру експлуатації ТПД; 2) відтворюваність дифузійних параметрів під час всього терміну експлуатації джерел; 3) чистоту ТПД. Максимальна температура експлуатації залежить від в'язкості дифузанта, яка зменшується з підвищенням температури. Відтворюваність залежить від поруватості дифузанта протягом всього терміну експлуатації джерел [3–5]. На основі попередніх експериментів ми встановили, що ці параметри залежать від вмісту B_2O_3 і дисперсності вихідних порошків. АБСС виготовляли за такою технологією: спочатку вариться боросилікатне скло певного складу, а потім до нього додаються різні компоненти, що забезпечують властивості джерел. Такий підхід до створення дифузантів дозволив обмежити максимальну температуру виготовлення 1870 К. Якісний рентгено-фазовий аналіз дифузантів показав, що АБСС має такі основні фази: B_2O_3 , $Al_4B_2O_9$, $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$. Кількісний склад цих фаз залежить від дисперсності Al_2O_3 , вмісту B_2O_3 у боросилікатному склі і режимів термообробки. В процесі подальших експериментів режими термообробки не змінювались. Дисперсність вихідних матеріалів досліджували методами седиментаційного аналізу, що базується на залежності швидкості осадження (седиментації) твердих частинок у в'язкому середовищі від їх розмірів [6].

У цій роботі досліджувався вплив вмісту B_2O_3 і дисперсності (загальної) Al_2O_3 на максимальну температуру експлуатації джерел.

Седиментаційний аналіз матеріалів дифузанта

Реальні суспензії переважно містять частинки, що відрізняються за формою від сферичних. При дослідженні таких суспензій величина „r” є радіусом сферичних частинок, що осаджуються з такою самою швидкістю, що й частинки досліджуваної суспензії. Розрахований так радіус називають седиментаційним. На рис. 1 показані залежності приросту маси від часу седиментації для основних компонентів.

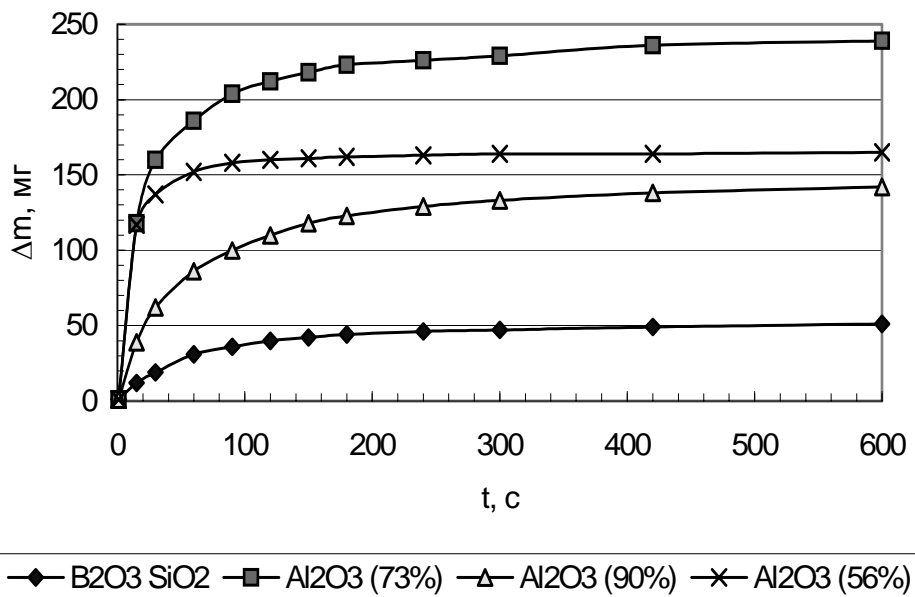


Рис. 1. Залежність приросту маси осадку від часу

Результати седиментаційного аналізу оброблялися з використанням інтерполяційної формули Лагранжа [7] у середовищі Microsoft Excel та MathCAD [8].

У табл. 1 наведено результати седиментаційного аналізу порошків $B_2O_3 \cdot SiO_2$ і Al_2O_3 різного ступеня помолу.

Таблиця 1

Інтервал, мкм	Матеріал			
	$B_2O_3 \cdot SiO_2$	Al_2O_3 (56%)	Al_2O_3 (73%)	Al_2O_3 (90%)
0...10	16,42	2,8	15,30	22,68
10...20	15,84	4,4	15,04	33,23
20...30	19,12	10,6	14,79	17,57
30...40	19,38	16,8	10,20	8,95
40...50	11,38	23,1	17,85	8,63
>50	17,85	42,2	26,83	8,95

Гістограма розподілу частинок $V_2O_3 \cdot SiO_2$ за фракціями показана на рис. 2. Дрібна фракція Al_2O_3 йде на утворення АБСС, крупна – на побудову структури дифузанту. Після подрібнення фракції додатково сортувалися за розмірами частинок.

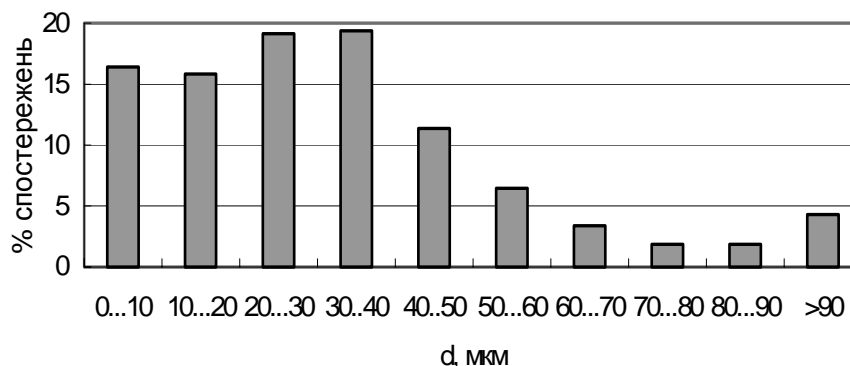


Рис. 2. Розподіл частинок $V_2O_3SiO_2$ за фракціями

Реалізація повного факторного експерименту

Попередньо було досліджено вплив дисперсності Al_2O_3 та відсоткового вмісту V_2O_3 у шихті дифузанту на максимально допустиму температуру експлуатації джерел. Дослідження проводилися методами активного планування експериментів. Оптимальні значення шукалися за схемою повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^k , де $k = 2$ – це кількість факторів [9].

На основі попередніх досліджень, а також з врахуванням технологічних можливостей промислової установки були вибрані інтервали зміни (варіювання) досліджуваних факторів. Дисперсність Al_2O_3 за процентним вмістом частинок матеріалу, розмір яких був менший ніж 50 мкм: – 1 (56 %); 0 (73 %); +1 (90 %), рис. 1–3. Інтервал вмісту V_2O_3 вибирався за умови відносного збігу коефіцієнтів лінійного термічного розширення (КЛТР) дифузанту та підкладки.

Основні рівні (Z_{i0}), інтервал зміни параметрів (ΔZ_i) незалежних змінних (факторів): дисперсності (Z_1), вмісту V_2O_3 (Z_2) подані у табл. 2.

Таблиця 2

Фактори, Z_i	Основний рівень, Z_{i0}	Інтервал варіювання, ΔZ_i	Межі зміни факторів	
			нижній	верхній
Дисперсність, %	73	17	56	90
Вміст V_2O_3 , %	24,5	3,5	21	28

До безрозмірної системи координат переходять за формулою:

$$X_i = (Z_i - Z_{i0}) / \Delta Z_i \quad (1)$$

Переходом до безрозмірної системи координат шляхом лінійного перетворення отримуємо розширену матрицю планування експерименту за схемою ПФЕ 2^2 та рівняння регресії у вигляді:

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (2)$$

У табл. 3 наведено матрицю планування та результати дослідів.

Таблиця 3

№№/пп	№ реалізації	Параметр		Т, °С
		Z ₁	Z ₂	
1	4	-1	-1	1270
2	2	+1	-1	1070
3	1	-1	+1	1040
4	3	+1	+1	930

Розрахунок коефіцієнтів регресії та перевірку їх значущості проводили за допомогою пакета Mathcad. Коефіцієнти рівняння (2) наведено у табл. 4:

Таблиця 4

Коефіцієнт	a ₀	a ₁	a ₂	a ₁₂
Значення	1077,5	-77,5	-92,5	22,5

Рівняння регресії (2) при заміні кодованих змінних набуває такого вигляду:

$$Y = 2734,1 - 13,825X_1 - 54,035X_2 + 0,378X_1X_2 \quad (3)$$

де: X_1 – дисперсність Al₂O₃, %; X_2 – вміст В₂O₃ в дифузанти.

Аналіз результатів ПФЕ

Через те, що в рівнянні регресії коефіцієнти при X_1 і X_2 від'ємні, то більшому значенню відклику сприяє менша дисперсність та менший вміст В₂O₃. Оскільки мінімально можливе значення активного компонента в ТПД обмежене (з міркувань технологічної придатності джерела), то оптимальне значення фактора X_2 (вміст В₂O₃) можна знайти, вибираючи температуру експлуатації джерел.

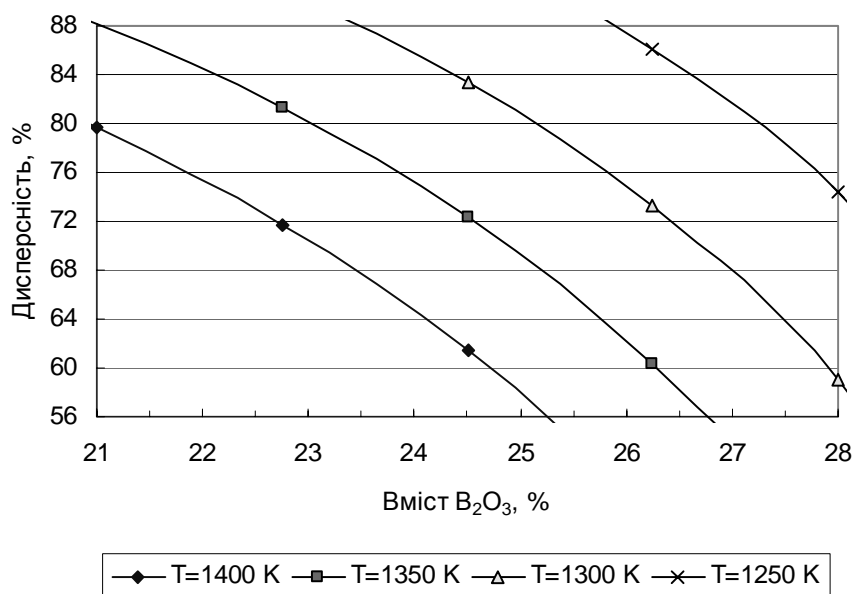


Рис. 3. Залежність дисперсності Al₂O₃ від вмісту B₂O₃ в дифузанти

На рис.3 показано ділянку, обмежену граничними умовами. Як бачимо, при дисперсності 90 % максимальний вміст B_2O_3 при температурі $980^\circ C$ (~ 1250 K) відповідає $\sim 25,5$ %, при температурі $1030^\circ C$ (~ 1300 K) – ~ 23 %, тоді як при даній дисперсності Al_2O_3 вже при температурі $1080^\circ C$ потрібно вийти за межі 21 % B_2O_3 .

Висновки

Отримане рівняння регресії з врахуванням обмежень, накладених особливостями технологічних процесів дифузії, адекватно описує процес одержання твердих планарних джерел бору у факторному просторі дисперсності (Z_1) та вмісту B_2O_3 (Z_2). Може бути використане для створення ТПД бору з максимальним терміном експлуатації у конкретному температурному інтервалі.

1. *Phos Plus.Boron Plus. High Purity Planar Dopant Sources. Owens – Illinois Inc., 1988. One Sea Gate Toledo, Ohio. 43666(419) 247 – 7026.*
2. *Voronin V.O., Bogdanovski Y.M., Hasko L.Z., Myshchyshin V.M. Solid Planar Sources of Boron and Phosphorus for Highly Uniform Doping of Large Diameter Silicon Plates. European Materials Research Society. E-MRS'98 Scientific/Technical Symposia & Exhibition. Strasbourg (France) June 16-19, 1998. – C.F-5.*
3. *Буджак Я.С., Гасько Л.З., Мицишин В.М. Вивчення процесу масопереносу легуючого оксиду в реакційній зоні при дифузії з використанням твердих планарних джерел // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка”. – 1995. – № 297. – С.48–54.*
4. *Богдановський Ю.М., Гасько Л.З., Мицишин В.М. Дослідження термостійких властивостей твердих планарних джерел для дифузії бору на термостійких підкладках // Фізична електроніка. – Т.42. – 1992. – С.69–71.*
5. *Богдановський Ю.М., Гасько Л.З., Мицишин В.М. Оцінка термічних напруг у дисках кремнію при вводиті в зону реакції // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка”. – 1998. – С.3–6.*
6. *Лукин Е.С., Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. – М.: Стройиздат, 1975.*
7. *Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1974.*
8. *Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MathCAD 8 PRO в математике, физике и Internet. – М.: Нолидж. – 1999. – 512 с.*
9. *Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высш. школа, 1978.*