



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 41850

(13) A

(51) 7 G21H5/00,5/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ОБРОБКИ ЛЕГОВАНИХ МОНОКРИСТАЛІВ АРСЕНІДУ ІНДІЮ

1

2

(21) 2001053666

(22) 30.05.2001

(24) 17.09.2001

(46) 17.09.2001, Бюл. № 8, 2001 р.

(72) Мегела Іван Георгійович, Гомоннай Олександр Васильович

(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) Спосіб обробки легованих монокристалів арсеніду індію, що включає термічний відпал дефек-

тів, який відрізняється тим, що підвищення домішкової однорідності матеріалу досягається радіостимульованою дифузією внаслідок високоенергетичного опромінення (електронами,  $\gamma$ -квантами)

величиною інтегрального потоку, при якій реалізується рівномірний просторовий розподіл домішок, причому введені радіаційні дефекти усуваються наступним температурним відпалом при 275-325°C протягом 30 хвилин.

Винахід відноситься до напівпровідникового матеріалознавства і може бути використаний для підвищення однорідності легованих напівпровідникових монокристалів арсеніду індію шляхом післяростової радіаційної та термічної обробки.

Відомі методи отримання легованих напівпровідникових монокристалів арсеніду індію, зокрема Чохральського та Бріджмена [1]. Недоліками таких методів є неможливість отримання оптично однорідних матеріалів, оскільки легуючі домішки і власні дефекти неоднорідно розподіляються вздовж осі росту та в області формування перетяжки кристалу. Використання відомих методів післяростової обробки монокристалів, зокрема термічного, дозволяє отримати необхідні характеристики готових приладів або зменшити густину дислокацій напівпровідникового матеріалу. Недоліками таких методів є тривалість процесу і відносно низький ступінь домішкової однорідності матеріалу.

Найбільш близьким до запропонованого за технічною сутністю та ефектом, що досягається, є спосіб термообробки монокристалів арсеніду галію у вакуумі, наведений у [2], який обрано нами за прототип. Згідно з даним технічним рішенням, створено умови для отримання однорідних монокристалів арсеніду галію завдяки тому, що процес термообробки монокристалів проводять у вакуумі при температурі 400-500°C і пропускають через зразок постійний електричний струм щільністю 2-3 А/см<sup>2</sup> протягом 24 годин.

До недоліків наведеного способу слід віднести тривалість процесу та проведення його у вакуумі,

необхідність нанесення електричних контактів на матеріал для проходження через нього постійного електричного струму, трудомісткість, пов'язану з очищенням поверхні кристала за допомогою травлення, промивання і сушіння. Завданням винаходу є підвищення ступеня однорідності легованих монокристалів арсеніду індію.

Завдання досягається тим, що в способі обробки легованих монокристалів арсеніду індію, який включає термічний відпал дефектів і відрізняється тим, що підвищення домішкової однорідності матеріалу досягається радіостимульованою дифузією внаслідок високоенергетичного опромінення (електронами,  $\gamma$ -квантами) величиною інтегрального потоку, при якій реалізується рівномірний просторовий розподіл домішок, причому введені радіаційні дефекти усуваються послідовним температурним відпалом при 275-325°C протягом 30 хвилин,

Порівняння з прототипом показує, що запропонований спосіб містить ряд суттєвих переваг, зокрема значно скорочує тривалість процесу і усуває необхідність нанесення електричних контактів на монокристали для пропускання через них постійного електричного струму, а також потребу в попередній очистці поверхні кристала за допомогою травлення, промивання і сушіння.

Внаслідок неоднорідного розподілу легуючої домішки та власних дефектів кристала значення коефіцієнта поглинання світла в області поглинання на вітаних носіях заряду (~ 5 мкм) може змінюватися до 50% в різних точках. При обробці монок-

(19) UA (11) 41850 (13) A

ристал пучком високоенергетичних електронів з енергією 5-10 MeV або  $\gamma$ -квантів значення коефіцієнта поглинання в різних точках кристала стають однаковими за рахунок рівномірного розподілу легуючих домішок внаслідок радіаційне стимульованої дифузії. Величина інтегрального потоку, при якій досягається рівномірний розподіл легуючої домішки в об'ємі кристала, залежить від неоднорідності і ступеня легування монокристала арсеніду індію. При цьому виникає додаткове поглинання світла, обумовлене радіаційними дефектами, які - відпалюються в інтервалі температур 275-325°C протягом 30 хвилин. Температурний інтервал відпалу вибирається з наступних міркувань. При температурах відпалу, нижчих за 275°C, процес усунення радіаційних дефектів є значно тривалішим. При температурах, вищих за 325°C, в монокристали арсеніду індію вводяться термодонори, які негативно впливають на характеристики кристала.

Таким чином, однорідність властивостей легованих монокристалів арсеніду індію досягається опроміненням відповідними інтегральними потоками високоенергетичних електронів або -квантів з послідовним відпалом радіаційних дефектів протягом 30 хвилин при 275-325°C.

Приклад 1. Вихідний монокристал арсеніду індію n-типу (n-InAs), легований оловом (Sn) з концентрацією носіїв  $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при 293 K товщиною 0,065 см характеризується величинами коефіцієнта пропускання і поглинання світла в області поглинання на вільних носіях заряду (5 мкм), значення яких відрізняються до 35% в різних точках кристала внаслідок неоднорідного розподілу легуючої домішки та власних дефектів кристала. Зразок опромінюють високоенергетичними електронами енергією 10 MeV і величиною інтегрального потоку  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . При цьому різниця між мінімальним ( $T_{\text{мін}}$ ) і максимальним ( $T_{\text{макс}}$ ) значеннями коефіцієнта пропускання зменшується і водночас абсолютні величини  $T_{\text{мін}}$  та  $T_{\text{макс}}$  зменшуються за рахунок додаткового поглинання радіаційними дефектами (див. табл.1). Відповідні значення коефіцієнтів поглинання  $\alpha_{\text{макс}}$  і  $\alpha_{\text{мін}}$  наведено в табл. 1. При подальшому збільшенні величини інтегрального потоку спостерігається тенденція зменшення різниці між значеннями коефіцієнта пропускання  $T_{\text{макс}}$  і  $T_{\text{мін}}$  і при величині інтегрального потоку  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  значення  $T_{\text{макс}}$  і  $T_{\text{мін}}$  збігаються в межах похибки вимірювань. Відповідні величини коефіцієнтів пропускання  $T_{\text{мін}}$ ,  $T_{\text{макс}}$  та коефіцієнтів поглинання  $\alpha_{\text{макс}}$  і  $\alpha_{\text{мін}}$  для зразка, опроміненого інтегральними потоками  $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ,  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  та  $2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , наведено в табл. 1. З порівняння даних, наведених у табл. , видно, що оптимальною величиною інтегрального потоку для радіаційної обробки монокристала n-InAs:Sn з концентрацією носіїв  $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , при якій досягається рівномірний розподіл легуючої домішки в об'ємі зразка, є  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Обробка монокристалів більшим інтегральним потоком не є доцільною через підвищення енергозатрат при однаковому результаті.

Радіаційні дефекти, які відповідають за зменшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання і збільшення коефіцієнта поглинання, відпалюють в інтервалі температур 275-325°C протягом

30 хвилин, що веде до збільшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання і, відповідно, зменшення коефіцієнта поглинання.

Таблиця 1

№	$\Phi, \text{см}^{-2}$ Потік електронів енергією 10 MeV	Т, % Коефіцієнт пропускання		$\alpha, \text{см}^{-1}$ Коефіцієнт поглинання	
		Мінімальне значення	Максимальне значення	Максимальне значення	Мінімальне значення
1.	0	29.5	34.0	7.81	5.62
2.	$1 \times 10^{16}$	28.9	33.4	8.12	5.90
3.	$2 \times 10^{16}$	28.5	32.6	8.34	6.27
4.	$1 \times 10^{17}$	25.94	26.07	9.79	9.71
5.	$2 \times 10^{17}$	21.27	21.3	12.84	12.81
6.	Після відпалу при 300°C тривалістю 30 хвилин	30.11	30.11	7.49	7.49

Приклад 2. Вихідні зразки № 1-4 монокристалів арсеніду індію n-типу (n-InAs), леговані оловом (Sn) з концентрацією носіїв  $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при 293 K товщиною 0,065 см, опромінують високоенергетичними електронами енергією 10 MeV інтегральним потоком  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , як у прикладі 1. Зразки № 1-4 характеризуються величинами коефіцієнта пропускання і поглинання світла в області поглинання на вільних носіях заряду (5 мкм), які наведено в таблиці 2. Зразки №№ 1, 2, 3, 4 відпалюють протягом 30 хвилин при температурах відповідно 250, 275, 300, 325°C. Значення оптичних параметрів наведено в Табл. 2.

Таблиця 2.

№ зразка	Температура відпалу, °C тривалість 30 хвилин	Т, % Коефіцієнт пропускання		$\alpha, \text{см}^{-1}$ Коефіцієнт поглинання після відпалу
		до відпалу	після відпалу	
1	250	25.94	27.58	8.84
2	275	26.07	29.82	7.64
3	300	25.82	30.11	7.49
4	325	26.99	30.11	7.49

Як випливає з табл. 2, радіаційні дефекти, які відповідають за зменшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання і збільшення коефіцієнта поглинання, відпалюються в інтервалі температур 275-325°C протягом 30 хвилин, що веде до збільшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання, і, відповідно, зменшення коефіцієнта поглинання (див. Табл. 2). При температурах відпалу, нижчих за 275°C, не всі радіаційні дефекти відпалюються і процес усунення радіаційних дефектів є більш тривалим. При температурах, вищих за 325°C, в легованих монокристалах арсеніду індію утворюються термодонори, які негативно впливають на характеристики кристала.

Оптимальним температурним інтервалом, в якому протягом 30 хвилин усуваються радіаційні дефекти, які відповідають за зменшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання в опромінену леговану зразку арсеніду індію, є 275-325°C, в результаті чого відбувається збільшення абсолютних величин коефіцієнта пропускання (див. Табл. 2).

Приклад 3. Вихідні зразки № 1-4 монокристалів арсеніду індію n-типу (n-InAs), леговані оловом (Sn) з концентрацією носіїв  $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при 293 K товщиною 0,065 см, опромінують пучком високоенергетичних електронів енергією 10 MeV і величиною інтегрального потоку  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , як у прикла-

дах 1 і 2. Величини коефіцієнта пропускання і поглинання світла в області поглинання на вільних носіях заряду (5 мкм) показано в табл. 3. Зразки № 1, 2, 3, 4 відпалюють при температурі 300°C протягом відповідно 10, 20, 30, 40 хвилин. Значення коефіцієнтів пропускання і поглинання для зразків, опромінених інтегральним потоком  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  і відпалених при 300°C, в залежності від тривалості відпалу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

№ зразка	Тривалість відпалу при температурі 300°C, хв	T, % Коефіцієнт пропускання	$\alpha$ , $\text{см}^{-1}$ Коефіцієнт поглинання
	опромінені зразки до відпалу	25.94	9.79
1	10	27.23	9.04
2	20	29.1	8.02
3	30	30.11	7.49
4	40	30.11	7.49

Найбільш оптимальним періодом відпалу радіаційних дефектів є його тривалість 30 хвилин, внаслідок якого оптичні характеристики легованих монокристалів арсеніду індію, опромінених високоенергетичним пучком електронів інтегральним потоком  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  і відпалених при температурі 300°C, визначаються рівномірно розподіленими в об'ємі кристала легуючими домішками в області

докрайового поглинання.

Таким чином величина інтегрального потоку, необхідного для рівномірного розподілу легованих домішок у монокристалах арсеніду індію, визначається ступенем неоднорідності легування, а оптимальним режимом термообробки є тривалість 30 хвилин в інтервалі температур 275-325°C.

Запропонований спосіб обробки легованих монокристалів арсеніду індію планується використовувати в Інституті електронної фізики НАН України при проведенні науково-дослідних та прикладних робіт з радіаційної фізики твердого тіла. Даний спосіб може бути застосований в установах, що займаються вирощуванням і використанням легованих монокристалів арсеніду індію.

#### Джерела інформації:

1. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников. – Высшая школа, Москва, 1975. – С. 302.
2. Борисова Л.А., Пыльнева Н.А. Способ термообработки монокристаллов арсенида галлия. – А.с.СССР № 1120722 А от 14.07.82 (С 30 В 33/00, 29/40). – прототип.