

06.2;12

©1995

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАДИОАКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ $\text{InP}(\text{Bi})$

С.З.Зайнабидинов, С.А.Исламов, В.М.Сафина

Введение

Получение полупроводниковых кристаллов с определенным уровнем легирования нуждается в сведениях о коэффициентах распределения и растворимости примесей.

Для фосфида индия в работах [1,2] обобщены сведения о коэффициентах распределения и растворимости, указаны максимальная растворимость и энергия ионизации некоторых примесей в InP , где показано, что максимальная растворимость для цинка, кадмия, кремния, германия, олова и теллура в InP реализуется при температуре 1200–1280 К, а для висмута, выращенного из расплава, состав которого близок к стехиометрическому, незначительна по сравнению с другими ИВП и составляет $(3 - 7)^{17}$ ат/см³.

Методика эксперимента

В условиях получения слоев $\text{InP}(\text{Bi})$ методом ЖФЭ по толщине исследовали распределение висмута в эпитаксиальных слоях фосфида индия.

Содержание висмута в слоях фосфида индия определяли методом радиоактивных индикаторов с использованием изотопа ^{210}Bi ($T_{1/2} = 5.2$ сут, $E_{\beta} = 1.17$ эВ), введявшегося в исходную шихту.

Главным преимуществом этого метода помимо его высокой чувствительности (до 10^{-11} вес.% по отдельным примесям) является независимость его результатов от наличия в объекте исследования других примесей, которые при ином способе определения могут давать сходные реакции и рефлексы, накладывающиеся на основной результат. Подробное описание метода радиоактивных индикаторов можно найти в [3].

Облучением исходного чистого висмута (ВИ-0000) в ядерном реакторе тепловыми нейтронами с потоком $1.210 \cdot 10^{13}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ в течение 20 ч получали радиоактивный

изотоп ^{210}Bi . Так как висмут облучался при высокой температуре, на его поверхности в процессе обработки образовывались оксиды. Для удаления окисного слоя и гомогенизации активности радиоактивный висмут сплавляли в откаченной от воздуха кварцевой ампуле при 400°C в течение 3 ч. После этого висмутовый слиток травил в разбавленной азотной кислоте до полного исчезновения окисного слоя на его поверхности и промывали многократным объемом дистиллированной воды. Такой радиоактивный висмут использовали в качестве растворителя при выращивании эпитаксиальных слоев $\text{InP}(\text{Bi})$. Шихту, состав которой соответствовал квазибинарным разрезам $\text{InP}-\text{InBi}$ и $\text{InP}-\text{In}_2\text{Bi}$, готовили по описанной ранее методике [4].

Расчет количества радиоактивного висмута проводили по формуле

$$X_0 = \frac{X_e/V_0}{N_e},$$

где X_0 — количество активного висмута в рабочей пробе; X_e — количество активного висмута в эталонной пробе; N_0 — скорость счета рабочего образца за вычетом фона; N_e — скорость счета эталонной пробы за вычетом фона.

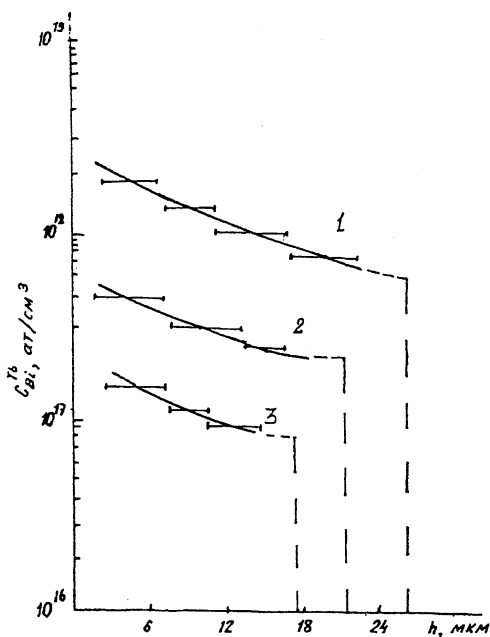
Общая ошибка данного метода с учетом объемных и весовых ошибок приготовления эталона не превышает 9%.

Далее методом автордиографии выявлялась картина распределения по поверхности образца. Для этого использовалась рентгеновская пленка типа РТ-4М. Время экспозиции выбиралось в зависимости от активности образца, которая измерялась на установке ПСТ-100 с газоразрядным счетчиком СИ-2Б. Рабочее напряжение счетчика устанавливается по рабочей характеристике 2000 В. Стабильность работы счетчика проверялась по скорости счета эталона C^{14} . Допустимое отклонение $\pm 2\%$.

Результаты эксперимента

Исследование распределения висмута по толщине эпитаксиальных слоев проводили путем послойного стравливания с последующим измерением активности оставшегося слоя. Послойное травление (шаг 2–6 мкм) проводили травителем $\text{HCl}:\text{CH}_3\text{OOH}$ (1:1). Скорость травления 0.5 мкм/мин.

Перед травлением образец взвешивался на аналитических весах ВАМ-20м с точностью до пятого знака. Со стороны подложки образец покрывали химически стойким лаком (ХСЛ). После высыхания лака образец вынимался из травителя и опускался в воду для прекращения реакции. Затем



Концентрационные профили распределения висмута в эпитаксиальных слоях фосфида индия, полученных при различных исходных температурах (1 — 700°С, 2 — 750°С, 3 — 800°С). Вертикальные штриховые линии соответствуют границе подложка-слой.

Коэффициенты распределения и равновесные концентрации висмута в InP (жидкофазная эпитаксия)

Разрез	Параметры	700°С	750°С	800°С
InP-InBi	$C^{Tв}, ат/см^3$	$8.0 \cdot 10^{16}$	$2.0 \cdot 10^{17}$	$7.0 \cdot 10^{17}$
	K_{Bi}	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$6.5 \cdot 10^{-6}$	$5.8 \cdot 10^{-5}$
InP-In ₂ Bi	$C^{Tв}, ат/см^3$	$6.0 \cdot 10^{16}$	$1.9 \cdot 10^{17}$	$3.5 \cdot 10^{17}$
	K_{Bi}	$3.5 \cdot 10^{-6}$	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$5.3 \cdot 10^{-5}$

с образца удалялся ХСЛ. Образец промывался, высушивался и взвешивался. По убыли веса определялась величина травленного слоя. Активность образца измерялась до травления и после. Для расчета концентрации Bi в слое параллельно с образцом измерялась активность эталона Bi*.

Концентрация висмута в слоях на границе раздела слой-подложка определялась путем экстраполяции концентрационных кривых к нулевой толщине ЭС и принималась за равновесное значение $C^{Tв}$ для температуры начала кристал-

лизации. Одновременно они характеризуют растворимость висмута в фосфиде индия при температуре начала эпитаксии. Средняя концентрация висмута в эпитаксиальных слоях, установленная по измерениям интегральной активности, составляла $8.0 \cdot 10^{16}$, $2.00 \cdot 10^{17}$, $7 \cdot 10^{17}$ ат/см³ для образцов, полученных от температур 700, 750, 800°C соответственно. Результаты исследования распределения висмута по толщине ЭС показаны на рисунке. Величина $C^{Tв}$, а также рассчитанные как отношение $C^{Tв}/C^{Ж}$ значения коэффициентов распределения висмута для разных температур начала роста ЭС даны в табл. 1. Видно, что значение $C^{Tв}$ выше в слоях, выращенных при более высоких температурах.

Заклучение

С использованием метода радиоактивных индикаторов (изотоп ²¹⁰Bi) изучено распределение висмута в InP по толщине эпитаксиальных слоев. Установлено, что величина коэффициента распределения висмута возрастает от $1.6 \cdot 10^{-6}$ до $6 \cdot 10^{-5}$ с повышением температуры начала кристаллизации от 700 до 800°C. Расчетным и экспериментальным путем получены кривые предельной растворимости в InP в интервале температур 400–1050°C и показано, что максимальная растворимость $6.4 \cdot 10^{18}$ ат/см³ соответствует температуре 1000°C.

Список литературы

- [1] *Затаренко Л.Ф., Саморуков Б.С.* // Материалы Всес. конференции "Технология получения и электрические свойства соединений А³В⁵". Л., 1981. С. 15–21.
- [2] *Вавилов Е.В., Елсаков В.Г. и др.* // Неорганич. материалы. 1988. Т. 24. С. 492–493.
- [3] *Заборенко К.Б., Иофе Б.З. и др.* Метод радиоактивных индикаторов в химии. М.: Вышш. шк., 1964. 372 с.
- [4] *Исламов С.А., Евгенийев С.Б., Сорокин О.В. и др.* // ЖНХ. 1984. Т. 29. N 9. С. 2369.

Ташкентский
государственный
университет

Поступило в Редакцию
17 февраля 1995 г.