

УДК 621.382.019.3

## ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СОСТАВА НА ЛЮМИСЦЕНЦИЮ ГЕТЕРОСТРУКТУР $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$ ( $0,1 < x < 0,7$ )

Манего С.А.<sup>1</sup>, Груздев Ю.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Минский НИИ Радиоматериалов

Минск, Республика Беларусь

Одним из основных факторов, определяющих развитие опто- и микроэлектроники в настоящее время, является разработка принципиально новых приборов, обладающих уникальными свойствами на основе многокомпонентных твердых растворов соединений А<sup>III</sup>В<sup>V</sup>. Создание таких приборов основывается на получении качественных тонких эпитаксиальных слоев твердых растворов А<sup>III</sup>В<sup>V</sup>.

Особенно это важно для приборов содержащих активные области с характерными толщинами слоев, не превышающих 5–20 нанометров. Неоднородности в таких областях, как по толщине, так и по составу одной из компонент приводит к изменению области чувствительности и/или спектра излучения таких приборов, а также к формированию структурных дефектов в активной области полупроводникового прибора.

Поэтому, в связи с прикладными аспектами применения полупроводниковых приборов на основе твердых растворов  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  становится актуальным изучение физико-технологических особенностей формирования эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$ , возникновение дефектов и структурной неоднородности состава в эпитаксиальных слоях.

Эпитаксиальные слои (ЭС) арсенида-фосфида индия выращивались методом газотранспортной эпитаксии в гидридно-хлоридной системе на подложках фосфида индия. Толщина ЭС была (3–7) мкм. Спектры фотолюминесценции были получены при 4,2–300 К по стандартной методике с синхронным детектированием. Для возбуждения фотолюминесценции использовался аргоновый лазер ЛГН-401А. в качестве фотоприемника использовалось фотосопротивление из германия, легированного медью, охлаждаемый жидким азотом. Спектральное разрешение монохроматора было 2,88 нм/мм.

Исследование зависимости неоднородности эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ) от состава газовой фазы в зоне осаждения проводилось с помощью низкотемпературной фотолюминесценции и рентгеновской топографии.

Как видно из рисунка 1 с ростом парциального давления  $P^*_{\text{PH}_3}$  степень неоднородности эпитаксиальных слоев увеличивается. Спектры фотолюминесценции ЭС, выращенных при больших значениях парциального давления неразложившегося гидрида фосфора ( $P^*_{\text{PH}_3} = 6,2 \cdot 10^{-1}$  Па), состояли из нескольких полос, интенсивность которых

была сравнима друг с другом, что может быть обусловлено образованием макро неоднородных областей. Оценка размеров этих областей с помощью растрового электронного микроскопа BS-350 и рентгеновской топографии показала величины порядка (20–100) мкм. Уменьшение парциального давления неразложившегося гидрида фосфора уменьшало число этих полос, они перекрывались. Некоторые полосы имели достаточно малую величину полуширины на половине максимума ( $\Delta E_{1/2} = 7,0\text{--}10$  мэВ, б).

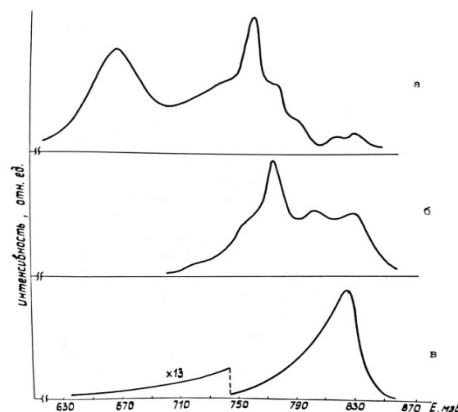


Рисунок 1 – Спектры фотолюминесценции эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_{0,5}\text{P}_{0,5}$  ( $T=4,2$  К), выращенных при различных парциальных давлениях фосфина  $P^*_{\text{PH}_3}$ :

$a - 6,2 \cdot 10^{-1}$  Па;  $b - 2,9 \cdot 10^{-1}$  Па;  $v - 2,9 \cdot 10^{-1}$  Па

Размеры этих неоднородностей были (1–10) мкм. При малых величинах парциального давления неразложившегося гидрида фосфора ( $P^*_{\text{PH}_3} \leq 2,9 \cdot 10^{-1}$  Па), образуются нано- и микро неоднородности равномерно распределенные по всему объему эпитаксиального слоя. Спектр фотолюминесценции эпитаксиальных слоев состоял из одной широкой полосы с затянутым длинноволновым краем.

На основании экспериментальных данных по структурному совершенству и характеристическим параметрам полос люминесценции эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$ , содержащих как малые количества атомов мышьяка ( $0 < x < 0,05$ ) [1], так и значительные его количества ( $0,1 < x < 0,7$ ), видно, что величина парциального давления неразложившегося фосфина существенно определяет размеры и концентрацию неоднородных по составу областей.

Хлоридно-гидридная эпитаксия характеризуется использованием при синтезе твердых растворов гидридов элементов V группы и хлоридов элементов III группы таблицы Менделеева. Гидриды фосфора и мышьяка являются нестабильными при температуре эпитаксии 873–973 К, причем разложение гидридов фосфора идет медленнее, чем гидридов мышьяка. Поэтому при рассмотрении процесса эпитаксии на молекулярном уровне мы можем полагать, что концентрация неразложившихся молекул фосфина значительно превосходит концентрацию молекул арсина.

Для роста эпитаксиальных слоев необходима поставка к поверхности атомов водорода для удаления атомов хлора с поверхности роста. Процесс поставки атомов водорода осуществляется путем пиролиза молекул водорода, молекул фосфина и арсина. Так, при взаимодействии молекул фосфина с адсорбированными молекулами хлористого индия у поверхности роста, происходит гетерогенное разложение молекул фосфина и поставка атомов водорода к поверхности с последующим удалением атомов хлора с нее в виде молекул хлористого водорода. При этом мы имеем два процесса, у поверхности роста, разложение молекул фосфина и диссоциацию молекул водорода. Следует отметить, что скорость удаления атомов хлора с поверхности роста значительно превосходит скорость поставки атомов мышьяка и фосфора к ней. В силу статистического процесса взаимодействия молекул фосфина с поверхностью роста из-за различий в скорости поставки атомов мышьяка и фосфора к поверхности роста, а также скорости удаления адсорбированных атомов хлора имеется неоднородное распределение по поверхности металлических пятен индия. Термодинамический анализ показывает, что при температуре эпитаксии 873–893 К энергетически более выгодным является процесс захвата атомами индия атомов мышьяка, что приводит к преимущественному росту в местах образования пятен индия составов с большим процентным содержанием

атомов мышьяка. Данная модель позволяет объяснить формирование различных как по составу, так и по размерам микрообластей в эпитаксиальных пленках  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ). Следует отметить, что, с увеличением парциального давления фосфина  $P^* \geq 7,2 \cdot 10^2$  Па количество атомов фосфора над подложкой становится достаточно большим и вероятность их взаимодействия с атомами индия увеличивается, что приводит к формированию микроблочной структуры.

Морфологические исследования эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ), выращенных хлоридно-гидридной эпитаксией на подложках фосфида индия, показывают, что на поверхности образуется характерная морфологическая сетка. Гетероструктуры  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$ , выращенные с переходным слоем более 1,0 мкм, обладали зеркальной поверхностью с характерной рельефной поверхностью и морфологической сеткой. Шаг морфологической сетки зависел от толщины переходного слоя и изменялся от 2,5 мкм для  $d_{\text{пер.}} = 8$  мкм до 10 мкм для  $d_{\text{пер.}} = 3$  мкм.

Металлографические исследования показывают, что дислокации расположены вдоль морфологической стенки, а их плотность для гетероструктур с толщиной переходного слоя 3 мкм составляла  $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ .

Таким образом, анализ спектров люминесценции гетероструктур  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ) показал, что степень неоднородности состава твердого раствора  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  зависит от парциального давления неразложившегося гидрида фосфора. Предлагается модель формирования неоднородных по составу и размерам микрообластей в эпитаксиальных слоях  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ).

#### Литература

1. Быковский В.А. Особенности роста и излучательная рекомбинация эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$  ( $0 < x < 0,05$ ), выращенных газовой эпитаксией на подложках  $\text{InP}$  / В.А. Быковский, С.А. Манего, В.И. Осинский // Журн. прикл. спектроскопии, 1990.– Т. 52, № 1. – С. 121–126.

УДК 624.94

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФАР ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ДЕТАЛЯМИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ

Балохонов Д.В.<sup>1</sup>, Сернов С.П.<sup>1</sup>, Коничева Л.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «РУДЕНСК»

Марьина горка, Республика Беларусь

Существующие конструкции фар транспортных средств предусматривают использование в качестве источника света ламп или светодиодов. Распределение силы света фар строго задано международными Правилами ООН. Важнейшим элементом этого распределения является резкая светотеневая граница, выше которой свет фары

распространяться не должен, чтобы исключить вероятность ослепления водителей встречных транспортных средств и дорожно-транспортных происшествий.

Так как все современные источники света, которые по величине светового потока могут применяться в фарах (лампы накаливания, мощ-