

УДК 621.315.592.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРНОЕ СОВЕРШЕНСТВО ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ *InP*

Манего С.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследовано влияние физико-технологических факторов на структурное совершенство приповерхностных слоев подложек фосфида индия. Анализ влияния преэпитаксиального процесса подготовки подложек *InP* проводился методом дифракции быстрых электронов на отражения и по измерению интегральной интенсивности длинноволновой полосы (1,08 эВ) и коротковолновой полосы (1,41 эВ) люминесценции. Установлено, что минимальные нарушения приповерхностных слоев наблюдались при парциальных давлениях фосфина $(3-5) \cdot 10^2$ Па, в температурном диапазоне 400–960 К.

Ключевые слова: подложка фосфида индия, электронограммы, интенсивность люминесценции, приповерхностные слои.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRUCTURAL PERFECTION OF NEAR-SURFACE LAYERS *InP*

Manego S.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus*

Abstract. The influence of physical and technological factors on the structural perfection of the near-surface layers of indium phosphide substrates is investigated. The influence of the preepitaxial process of preparation of *InP* substrates was analyzed by fast electron diffraction on reflections and by measuring the integral intensity of the long-wavelength band (1.08 eV) and short-wavelength band (1.41 eV) luminescence. It was found that minimal disturbances of the near-surface layers were observed at partial pressures of phosphine $(3-5) \cdot 10^2$ Pa, in the temperature range 400–960 K.

Key words: indium phosphide substrates, electronograms, luminescence intensity, near-surface layers.

Исследование физических свойств твердых растворов соединений АПБВ в последние годы показывают, что гомогенность твердых растворов существенно определяется условиями их получения. Формирование нано-, микро- и макронеровностей обусловлено как предварительной подготовкой подложки, на которой проводится эпитаксия, условиями проведения и процессами окончания эпитаксии, так и условиями последующих термических обработок. В ранее проведенных исследованиях отмечалось влияние на люминесцентные и электрофизические свойства твердых растворов соединений АПБВ процессов газовой очистки, скорости и атмосферы, в которой происходят процессы охлаждения эпитаксиальных структур от температуры эпитаксии до комнатной. Однако, влияние процесса начальной стадии эпитаксии не рассматривалось. Кроме преэпитаксиального процесса на формирование и рост неоднородностей в многокомпонентных твердых растворах существенную роль оказывают такие физико-технологические факторы как: соотношение газовых потоков гидридов и хлоридов, присутствие неконтролируемых примесей в реакторе, степень взаимодействия хлористого водорода с металлами III группы в источнике и т.д. Полное и глубокое рассмотрение всех физико-технологических факторов, определяющих образование и рост неоднородностей в многокомпонентных твердых растворах соединений

АПБВ, весьма сложен, что заставляет нас ограничить круг рассматриваемых вопросов данной проблемы.

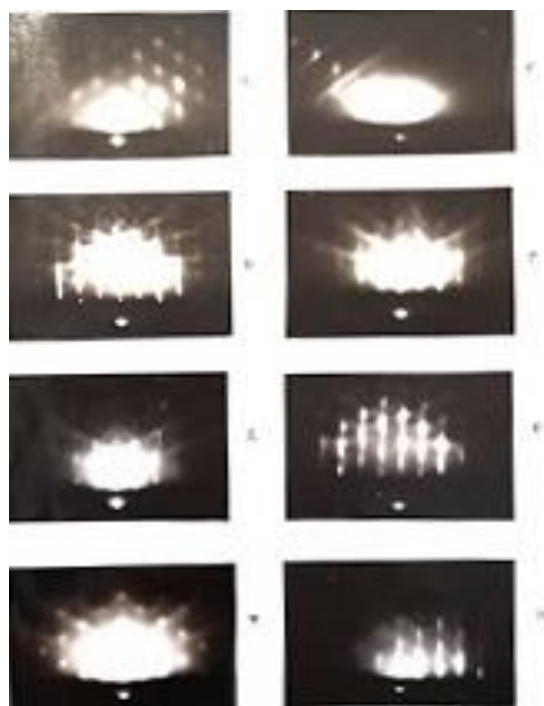
Известно, что термическое воздействие на полупроводниковые материалы, особенно соединений АПБВ, приводит к существенному изменению структуры их приповерхностных слоев [1]. Поэтому, процесс загрузки пластин в реактор из предростовой камеры и температурно-временные режимы хранения полупроводниковых подложек в предростовой камере имеют определяющее значение для последующего роста эпитаксиальных слоев твердых растворов. Для исследования влияния предростовой подготовки на структуру приповерхностных слоев фосфида индия использовались подложки фосфида индия марки ФИЭТ-1, ориентированные в плоскости $(100) \pm 2^\circ$. Концентрация носителей заряда подложек была $\sim 10^{17}$ см⁻³. Предварительно подложки фосфида индия обрабатывались механически, с последующим удалением верхнего слоя (5–6 мкм) химико-динамическим травлением. Термическая обработка фосфида индия проводилась в предростовой камере реактора в течение 10 мин с плавным изменением температуры от 400 до 950 К в атмосфере водорода и фосфина, парциальное давление которого изменялось от $1,25 \cdot 10^2$ до $19,1 \cdot 10^2$ Па.

Структурное совершенство приповерхностных слоев фосфида индия исследовалось на

электронографе ЭМР-102 (метод дифракции быстрых электронов на отражение) и по измерению интегральной интенсивности различных полос люминесценции при послойном снятии приповерхностного слоя. Анализ электронограмм, полученных от образцов, отожженных при различном парциальном давлении фосфина, показал, что по кристаллическому совершенству их можно разделить на несколько групп (рис. 1).

К первой группе относятся образцы, у которых на электронограммах наблюдается правильная сетка точечных рефлексов от решетки фосфида индия и Кикучи-линии. Структура поверхностного слоя таких образцов мозаична, разориентировка блоков (2–3)°, структура более глубокого слоя совершенна, кристаллографические плоскости строго параллельны.

Ко второй группе относятся образцы, у которых на электронограммах наблюдались Кикучи-линии и сетка штрихов. Образцы обладали волнистым профилем поверхности и искаженной структурой поверхностного слоя. Структура более глубоких слоев была аналогична образцам первой группы.



$a - 1,9 \cdot 10^2$ Па; $b - 2,5 \cdot 10^2$;
 $v - 3 \cdot 10^2$; $z - 3,5 \cdot 10^2$; $d - 5,3 \cdot 10^2$; $e - 6,3 \cdot 10^2$;
 $ж - 7,1 \cdot 10^2$; $з - 10,5 \cdot 10^2$

Рисунок 1 – Парциальные давления фосфина в предростовой камере:

К третьей группе были отнесены образцы, на электронограммах которых наблюдается сетка размытых штрихов, Кикучи-линии не проявляются. Профиль поверхности этих образцов волнистый, структура поверхностного слоя искажена, кристаллографические плоскости не параллельны.

Зависимость изменения отношения интегральных интенсивностей краевой полосы люминесценции образцов до и после отжига в предростовой камере от давления фосфина представлена на рис. 2, а. Обнаружено, что отношение интегральных интенсивностей краевой полосы люминесценции после термической обработки (I) и до термического отжига (I_0) резко возрастает при увеличении парциального давления, при плавном изменении температуры подложки от 400 до 950 К в приповерхностных слоях фосфида индия формируется слой с повышенной концентрацией дефектов, образующийся в результате нестехиометрического разложения фосфида индия. Глубина залегания этого слоя 0,1 мкм, а толщина – 0,1 мкм. Таким образом, из данных электронограмм и люминесценции видно, что при парциальных давлениях фосфина ($P > 0,3$ кПа) в предростовой камере, наблюдалась минимальная термическая деградация подложек фосфида индия. Кроме того, следует отметить, что недостаток фосфина сильнее сказывается на степень деградации подложки фосфида индия, чем его избыток.

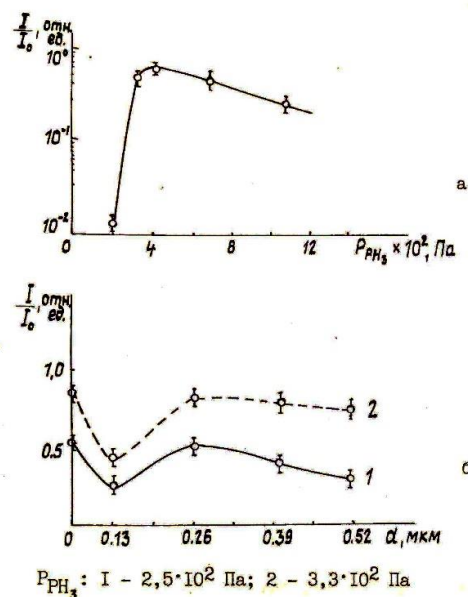


Рисунок 2

Необходимость защиты поверхности подложек фосфида индия от деградации в начальный период эпитаксии, а также создание областей селективной эпитаксии потребовали разработки способов создания маскирующих покрытий. В качестве маскирующих покрытий использовались пленки двуокиси кремния, полученные пироэлектрическим разложением тетраэтоксисилана при температуре 603 К и комбинированные пленки с подслоем собственного окисла, полученного как химическим окислением, так и анодным окислением. Определение степени деградации приповерхностных слоев, после нанесения маскирующего покрытия про-

водилось люминесцентным методом. Для этого после соответствующей обработки поверхности подложки фосфида индия, диэлектрическая пленка удалялась химическим травлением. Известно, что длинноволновые полосы (0,9–1,2) эВ в фосфиде индия связаны с вакансиями фосфора и индия [2]. Поэтому исследование зависимости изменения отношения интегральных интенсивностей длинноволновой полосы к краевой полосе от глубины снятия верхнего слоя подложки позволяет определить относительное изменение концентрации дефектов по глубине монокристаллического фосфида индия. Исследования фотолюминесценции при низком уровне возбуждения проводилась при 77 К. Источником возбуждения служил (He-Cd)-лазер с $\lambda = 441,6$ нм. Каждое измерение проводилось в 3–5 точках пластины и усреднялось. Люминесцентные исследования приповерхностных слоев фосфида индия показали, что наименьшее изменение величины отношения интегральной интенсивности длинноволновой полосы (1,08 эВ) к интегральной интенсивности краевой полосе (1,41 эВ) было у подложек, на которых формировались маскирующие покрытия пиролизическим разложением тетрээтоксисилана в присутствии травящих добавок (рис. 2, б). Сильное изменение величины $I_{дл}/I_{кр.}$ по глубине припо-

верхностного слоя связывается с процессом формирования пленки двуокиси кремния, т.е. происходит нестехиометрическое разложение фосфида индия, покрытого пленкой собственного окисла. Использование в процессе формирования диэлектрической пленки травящих добавок приводит к удалению верхних нестехиометрических слоев с последующей пассивацией поверхности фосфида индия пленкой двуокиси кремния.

Таким образом, исследование влияния физико-технологических факторов предростовой подготовки подложек фосфина индия на структурное совершенство приповерхностных слоев позволило установить оптимальные технологические режимы в предростовой камере. Минимальные нарушения приповерхностных слоев фосфида индия наблюдались при парциальных давлениях фосфина $(3-5) \cdot 10^2$ Па, в температурном диапазоне 400–960 К.

Литература

1. Марина, Л. И. Полупроводниковые фосфиды АПВВ и твердые растворы на их основе / Л. И. Марина, А. Я. Нашельский, Л. И. Колесник. – М. : Металлургия, 1974. – 232 с.
2. Temkin, N. Photoluminescence study of melt grown InP / N. Temkin, W. A. Bonner // J. Appl. Phys. – 1981. – Vol. 51, № 1. – P. 397–401.

УДК 620.3

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Маркевич М.И.¹, Малышко А.Н.¹, Журавлева В.И.², Щербакова Е.Н.³

¹ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

²Военная академия Республики Беларусь

³Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В настоящей работе исследовались морфология поверхности наночастиц алюминия. Для получения материала использовали лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме. Исследования наночастиц алюминия, образовавшихся в результате лазерного воздействия, проводились на растровом электронном микроскопе MIRA-3.
Ключевые слова: морфология поверхности, наночастицы алюминия, лазерная абляция.

PRODUCTION OF ALUMINUM NANOPARTICLES BY LASER ABLATION

Markevich M.¹, Malyshko A.¹, Zhuravleva V.², Shcherbakova E.³

¹Physical-technical Institute of the NAS of Belarus

²Military Academy of the Republic of Belarus

³Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

Abstract. In this work, we investigated the surface morphology of aluminum nanoparticles. To obtain the material, a yttrium aluminum garnet laser (LS-2134D) with a wavelength of 1064 nm, generating in a two-pulse mode, was used. Studies of aluminum nanoparticles formed as a result of laser exposure were carried out on a scanning electron microscope MIRA-3.

Key words: surface morphology, aluminum nanoparticles, laser ablation.

Адрес для переписки: Щербакова Е.Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: scherbakova@bntu.by