

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Университета ИТМО

д.т.н., профессор

В.О. Никифоров

« 09 » декабря 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Снигирева Леонида Алексеевича «Формирование и кристаллография наночастиц AsSb при распаде пересыщенного мышьяком твердого раствора GaAsSb», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. - Физика полупроводников

Актуальность темы.

Диссертационная работа посвящена исследованию фундаментальных процессов формирования наноструктур в полупроводниковых материалах, что является актуальной задачей современной физики полупроводников. Особую актуальность приобретает изучение систем с наночастицами (НЧ), проявляющими металлические свойства в полупроводниковой матрице, поскольку такие структуры обладают уникальными физико-химическими характеристиками и широким спектром потенциальных применений. Исследование процессов формирования НЧ в системах на базе GaAs имеет важное значение для развития современной полупроводниковой науки.

Диссертация Снигирева Л.А. вносит существенный вклад в понимание технологии создания перспективных полупроводниковых материалов, содержащих НЧ, при эпитаксиальном росте на подложках GaAs - материале, который сегодня широко применяется в электронной промышленности.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов исследования подтверждается применением современного оборудования, использованием комплексного подхода к проведению экспериментальных измерений, привлечением современных методов обработки данных и статистического анализа. Обоснованность научных положений и выводов, представленных в диссертации, подтверждается опубликованными работами в рецензируемых журналах, индексируемые в международных базах данных:

1. Bert N., Ushanov V, Snigirev L., Kirilenko D., Ulin V., Yagovkina M., Preobrazhenskii V., Putyato M., Semyagin B., Kasatkin I., Chaldyshev V., Metal-Semiconductor AsSb-Al_{0.6}Ga_{0.4}As_{0.97}Sb_{0.03} Metamaterial // Materials, v.15, 21, art.no. 7597 (2022)

2. Снигирев Л. А., Ушанов В. И., Иванов А. А., Берт Н. А., Кириленко Д. А., Яговкина М. А., Преображенский В. В., Путятю М. А., Семягин Б. Р., Касаткин И. А., Чалдышев В. В. Структура и оптические свойства композитного метаматериала AsSb-Al_{0.6}Ga_{0.4}As_{0.97}Sb_{0.03}// ФТП, т.57, 1, с. 71 - 76 (2023)

3. Снигирев Л. А., Берт Н. А., Преображенский В. В., Путятю М. А., Семягин Б. Р., Чалдышев В. В. Влияние промежуточного низкотемпературного нагрева на преципитацию в нестехиометрическом GaAs// ФТП, т.57, 6, с. 507 - 512 (2023)

4. Снигирев Л. А., Мясоедов А. В., Берт Н. А., Преображенский В. В., Путятю М. А., Семягин Б.Р., Чалдышев В.В. Особенности микроструктуры

наноразмерных преципитатов AsSb в LT-GaAsSb// ФТТ, т.65, 12, с. 2309 - 2316 (2023)

5. Поленок Е. Д.; Берт Н. А., Иванов А. А., Снигирев Л. А., Ушанов В. И., Преображенский В. В., Путятю М. А., Семягин Б. Р., Яговкина М. А., Чалдышев В. В. Формирование квазидвумерных слоев наночастиц висмута в эпитаксиальных пленках арсенида галлия// ФТТ, т.66, 9, с. 1514 - 1519 (2024)

Оценка новизны и достоверности основных научных положений, выводов и рекомендаций.

В диссертационной работе получены существенные результаты, характеризующиеся принципиальной научной новизной. Автором впервые определена энергия активации совместной преципитации мышьяка и сурьмы в низкотемпературном (т.е., полученном при низких температурах роста) LT-GaAsSb, составляющая $0,7 \pm 0,1$ эВ, что расширяет существующие представления о механизмах диффузионных процессов в данной системе полупроводниковых соединений. Для LT-GaAsSb установлено значительное усиление диффузионных процессов по сравнению с низкотемпературным LT-GaAs. Важным результатом является выявление существенного влияния промежуточного термического воздействия при 250°C на активацию диффузионных процессов, что позволяет точнее контролировать процесс роста. Детальное исследование кристаллической структуры образовавшихся НЧ позволило установить преобладание ромбоэдрической фазы как основной структурной модификации и выявить специфические ориентационные соотношения кристаллических решеток матрицы и НЧ, а также определить возможность формирования кубических фаз в определённых условиях.

Особую научную ценность представляет обнаружение и изучение эффекта переориентации НЧ, проявляющегося в изменении их кристаллографических ориентаций относительно GaAs матрицы. Эти результаты существенно дополняют современные представления о

механизмах формирования наноструктур в системах на основе полупроводниковых соединений.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Полученные в ходе исследования результаты позволяют целенаправленно формировать ансамбли НЧ с заданными параметрами, что открывает широкие возможности для создания метаматериалов с управляемыми свойствами. Экспериментально определенная энергия активации диффузии в LT-GaAsSb может быть использована как базовый параметр при компьютерном моделировании процессов формирования наноструктур.

Установленные закономерности влияния промежуточного низкотемпературного нагрева на процесс формирования НЧ расширяют существующие технологические возможности управления параметрами получаемых структур. Это позволяет разрабатывать новые методы преципитации с заданными характеристиками нановключений.

Выявленные особенности кристаллической структуры и поведения НЧ AsSb имеют важное значение для интерпретации результатов оптических исследований плазмонного резонанса в LT-GaAsSb.

Обнаружено явление кристаллографической переориентации наночастиц в материалах на основе LT-GaAs может быть использовано для управления прочностными свойствами материала путем целенаправленного воздействия на ориентационные соотношения включений с матрицей.

Замечания по диссертационной работе.

По материалам диссертационной работы имеются замечания:

1. При низких температурах As накапливается в слое при росте. Не ясно, можно ли уменьшением потока мышьяка подавить этот эффект;
2. В работе рост происходит при пониженных температурах, что делает слой более дефектным. В диссертации не обсуждается насколько снижается кристаллическое качество слоя, и сведения о дефектности слоев не

приводятся;

3. Использование термина «созревание» в контексте выполненных исследований должно быть пояснено;

4. В диссертации не обсуждается строение поверхности раздела наночастица/матрица; является ли эта граница когерентной, или она содержит дислокации несоответствия.

Дополнительные замечания по оформлению:

- стр. 3-4 – опечатка в порядке нумерации разделов: после подраздела 3.2.1. идет раздел 3.2;
- нет единообразия в некоторых обозначениях, например – стр. 6: «LT GaAs» (без дефиса) и стр. 14: «LT-GaAs» (с дефисом);
- не всегда используются запятые для записи десятичного числа (стр. 7, стр. 11, стр. 17 и т.д.);
- стр. 29 – лишняя запятая в названии подраздела «Оптическая экстинкция и, плазмонный резонанс в LT-AlGaAsSb»;
- стр.30 – «...поглощение света, связанное с наличием антиструктурных дефектов...» - выше сказано, что антиструктурные дефекты являются донорами. Остался без обсуждения вопрос – чем определяется поглощение;
- стр. 37 – опечатка «принципиальная»;
- стр. 42 – опечатка «...в поперченном сечении...» несколько раз по тексту;
- стр.53 – опечатка, в слове толщина: «...а t -толщина...»;
- отсутствует единообразие в оформлении рисунков.

Отмеченные замечания, однако, не снижают качество полученных результатов рассматриваемого диссертационного исследования.

Заключение.

Диссертационная работа Снигирева Л. А. представляет собой законченное научное исследование, в котором решены важные задачи по исследованию формирования и свойств наночастиц AsSb в матрице GaAsSb.

В диссертации получены результаты, характеризующиеся научной новизной и практической значимостью. Автором детально исследованы процессы преципитации в системах на основе GaAsSb, определены ключевые параметры формирования наноструктур, установлены закономерности их эволюции при термической обработке.

Материалы диссертации изложены логично и последовательно, экспериментальные данные достоверны и подтверждены комплексом современных методов исследования. Полученные результаты имеют важное значение для развития технологий создания перспективных полупроводниковых материалов и могут найти применение в электронике и оптоэлектронике.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаем, что диссертационная работа Снигирева Леонида Алексеевича «Формирование и кристаллография наночастиц AsSb при распаде пересыщенного мышьяком твердого раствора GaAsSb» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. - «Физика полупроводников» согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Снигирев Леонид Алексеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа обсуждалась на семинаре Института перспективных систем передачи данных федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО». На семинаре присутствовало 18 человек.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании комиссии по

предварительному рассмотрению диссертаций, допуску к ГИА и подготовке заключений организации при Институте перспективных систем передачи данных Университета ИТМО, протокол №01/12-2025 от «03» декабря 2025 г.

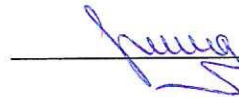
Председатель комиссии,
заведующий лабораторией
ростовых технологий
перспективных материалов
Института перспективных
систем передачи данных
Университета ИТМО,
к.ф.-м.н.

Панов
Дмитрий
Юрьевич



Секретарь комиссии,
старший научный сотрудник
лаборатории оптоэлектронного
обеспечения киберфизических
систем Института
перспективных систем
передачи данных Университета
ИТМО,
к.ф.-м.н., доцент

Кремлева
Арина
Валерьевна



Сведения о составителе отзыва:

Кремлева Арина Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории оптоэлектронного обеспечения киберфизических систем Университета ИТМО, E-mail: avkremleva@itmo.ru

старший научный сотрудник
лаборатории оптоэлектронного
обеспечения киберфизических
систем Института
перспективных систем передачи
данных Университета ИТМО,
к.ф.-м.н., доцент

Кремлева
Арина
Валерьевна

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО).

Почтовый адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, пр-т Кронверкский, д. 49, лит. А

Телефон: (812) 480-00-00

Веб-сайт: <https://itmo.ru>

Адрес электронной почты: od@itmo.ru