

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе **Левина Р.В.** «Исследования и разработка технологии изготовления гетероструктур на основе антимонида галлия методом ГФЭМОС», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников

Тема диссертационной работы несомненно является **актуальной**.

В течение последних ряда десятилетий интенсивно ведутся работы по созданию и исследованию гетероструктур на основе узкозонных полупроводников в системе твердых растворов GaSb-AlSb-InAs-InSb, что обусловлено возможностью создания на их основе различных оптоэлектронных приборов для средней инфракрасной области спектра. Данная спектральная область важна для решения задач экологии, промышленной безопасности и медицинской диагностики, поскольку в ней лежат характеристические полосы поглощения многих природных, бытовых и промышленных газов. В России для изготовления данных материалов используется в основном жидкофазная эпитаксия, которая обладает рядом недостатков, которые препятствуют массовому производству приборов. Этих недостатков лишена газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Осталось только разработать и оптимизировать соответствующую технологию. Решению этой задачи и посвящена рецензируемая диссертация.

К **основным новым практически значимым результатам**, полученным автором, можно отнести следующие.

1. Исследованы особенности роста и легирования слоев и структур GaSb и твердых растворов на его основе в широком диапазоне изменения условий в реакторе — температуры и соотношения потоков элементов III и V групп.

2. Получены слои GaSb с достаточно высоким удельным сопротивлением.

3. Выращены градиентные и квантоворазмерные структуры твердых растворов, которые могут найти свое приборное применение.

4. Особо следует отметить получение р-п-структур с микрокристаллами кремния, которые с успехом могут заменить туннельные диоды в каскадных солнечных элементах.

Многую перечислены лишь основные результаты, но и они уже свидетельствуют о том, что автором разработана технология выращивания

слоев и структур твердых растворов узкозонных соединений  $A^3B^5$  для газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Это, пожалуй, первая в России работа, касающаяся разработки данной технологии для этой группы соединений.

Работа, к сожалению, не лишена недостатков.

#### **Вопросы и замечания**

1. Диссертация небрежно оформлена. Русский язык автора оставляет желать лучшего.

2. Автор не использует современные методы аппроксимации экспериментальных данных, может проводить кривые по двум точкам (рис. 3.17, 3.18, 3.20), делать заключение об экспоненциальности и параболичности зависимостей без доказательства (стр. 61, 65, 68), проводить аппроксимирующие кривые при огромном разбросе экспериментальных точек так, как ему хочется (рис. 2.7, 2.9, 2.19, 3.4, 3.34, 3.40).

3. Ряд результатов представлен лишь феноменологически без объяснения причин. Простые расчеты могли бы легко ликвидировать этот недостаток. Результаты по легированию GaSb теллуром были известны из жидкофазной эпитаксии.

4. Отсутствуют данные о размерах использованных подложек и толщинах выращиваемых слоев.

5. Как измерялось удельное сопротивление (контакты, толщина слоя, расположение зондов, удельное сопротивление подложки, погрешности)?

6. Указанный состав твердых растворов с точностью до третьего знака не соответствует погрешности его определения.

7. Не корректно присваивать исследуемому слою значения концентрации носителей заряда, измеренной на слое-спутнике, выращенном на инородной подложке, без установления близости их дефектной структуры.

Несмотря на перечисленные замечания, считаю, что объем новых, практически значимых технологических достижений смещает общую оценку работы в положительную сторону. Результаты опубликованы, доложены на престижных конференциях, подтверждены патентами.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

В целом, диссертант выполнил большой объем работы, получил ряд новых, практически важных результатов, которые подтверждены патентами, и тем показал свою достаточно высокую квалификацию как специалиста. Это практически первая в России работа по разработке технологии газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений для выращивания слоев и структур на основе соединений  $A^3B^5$ , содержащих сурьму. Результаты

можно рекомендовать к использованию в учреждениях Академии Наук РФ и на предприятиях электронной промышленности.

Считаю, что Левин Р.В. заслуживает присуждения ему искомой квалификационной степени кандидата наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертация соответствует требованиям П.9 положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (ред. от 21.04.2016).

Официальный оппонент,  
профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники  
Санкт-Петербургского государственного  
политехнического университета Петра Великого  
д.ф.-м.н.

В.Г.Сидоров

*В.Г.Сидоров*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»).

р.т. 8(812) 5529671, моб. +7-931-007-8079

[vgidorov39@mail.ru](mailto:vgidorov39@mail.ru)