

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Левина Романа Викторовича** на тему: «Исследования и разработка технологии изготовления гетероструктур на основе антимонида галлия методом ГФЭМОС», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Мировой рынок оптоэлектронных приборов, работающих в ближнем и среднем ИК-диапазоне спектра, растет из года в год. Данный сектор стал сейчас существенным экономическим фактором. Для полупромышленного и промышленного производства наиболее подходит метод МОС-гидридной эпитаксии при пониженном давлении (ГФЭМОС). Однако для его использования необходимо проведение огромного количества исследований в области получения полупроводниковых соединений на основе GaSb. Полупроводниковые соединения АЗВ5 на основе GaSb перекрывают широкий диапазон составов и позволяют изготавливать различные гетероструктуры I и II типа с необходимыми энергетическими барьерами, что дает возможность создавать, как селективные, так и широкополосные фотоприемники. В связи с этим не вызывает сомнения актуальность темы диссертационной работы, целью которой является разработка технологии изготовления полупроводниковых структур на основе GaSb, твердых растворов AlGaInAsSb и гетероструктур методом ГФЭМОС.

В автореферате описаны методика и изложены результаты по выращиванию и легированию эпитаксиальных слоев GaSb и твердых растворов на его основе; впервые получены слои GaSb с высоким удельным электрическим сопротивлением; представлена модель новых соединительных элементов для каскадных фотопреобразователей вместо туннельных переходов; разработаны технология изготовления твердых растворов с плавным изменением ширины запрещенной зоны, и технология изготовления квантоворазмерных гетероструктур на основе InAs/GaSb, а также показана возможность использования их для оптоэлектронных приборов.

В автореферате приведены результаты, обладающие **научной и практической значимостью**, а именно:

- выращены эпитаксиальные слои GaSb с удельным электрическим сопротивлением более  $400 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ;
- выращены твердые растворы, изопериодные с подложкой GaSb в широком диапазоне составов, и получены слои с непрерывным изменением состава с различным градиентом изменения ширины запрещенной зоны;
- при помощи метода ГФЭМОС изготовлены наногетероструктуры с глубокой квантовой ямой и напряженные сверхрешетки InAs/GaSb;
- предложены и экспериментально получены новые соединительные p-n переходы для каскадных приборов с микрокристаллическими включениями в области пространственного заряда.

**Вопросы и замечания по автореферату:**

В основных результатах указано, что "Изготовлены варизонные слои с плавным изменением ширины запрещенной зоны от 0.43 эВ до 1.3 эВ и различным градиентом изменения ширины запрещенной зоны методом ГФЭМОС. Край спектральной чувствительности был сдвинут до 2100 нм (обычно 1750нм). Показана возможность использования данных структур для фотопреобразователей". В то же время, в описании параграфа 3.3 описан только метод получения слоев с различным градиентом изменения Eg.

Автореферат содержат опечатки и ошибки.

В целом положения и выводы, сформулированные в автореферате, следуют из приведённых материалов, обоснованы и достоверны.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, были доложены на всероссийских и зарубежных конференциях. На технологические решения, отраженные в положениях, выносимых на защиту, получены патенты РФ или приняты заявки на патенты.

Работа Р.В. Левина соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Профессор кафедры микро- и нанoeлектроники,  
Санкт-Петербургского государственного  
Электротехнического университета  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
доктор физико-математических наук

А.В. Соломонов

197376 Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5 СПбГЭТУ «ЛЭТИ»  
Телефон: 8-921-918-53-28

ПОДПИСЬ

РУКИ

АЧОН

ЗАВЕРЯЮ

ШУБИНСКИЙ

2016 г