

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дворецкой Лилии Николаевны по теме «Теоретическое и экспериментальное исследование микросферной фотолитографии на подложках кремния для селективной эпитаксии полупроводниковых структур», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертационная работа Л.Н. Дворецкой посвящена исследованию метода микросферной фотолитографии и его применению для создания упорядоченных массивов наноструктур полупроводниковых материалов группы АІІІV на кремнии. Эпитаксиальный синтез упорядоченных массивов нитевидных нанокристаллов (ННК) на рассогласованных по параметру решётки подложках является одним из способов решения проблемы возникновения дислокаций в полупроводниковом слое, что ведет к повышению его кристаллического совершенства. В диссертационной работе теоретически и экспериментально рассмотрена микросферная фотолитография как универсального метода текстурирования ростовых подложек для последующего синтеза гексагонально-упакованных массивов нанокристаллов, что подчёркивает важность и актуальность данного исследования.

В работе Л.Н. Дворецкой продемонстрированы результаты численного расчета зависимости размера пятен, сфокусированных массивом сфер во время экспонирования, от технологических параметров процесса микросферной фотолитографии. Полученные данные хорошо согласуются с результатами экспериментального исследования. Для демонстрации технологических возможностей развиваемого метода микросферной фотолитографии в работе проведено текстурирование подложек  $\text{SiO}_x/\text{Si}$  для последующего селективного синтеза наноструктур полупроводниковых материалов группы АІІІV. С помощью постростовых технологий созданы свето- и фотодиодные структуры на базе ННК p-GaN/i-InGaN/n-GaN и ННК InAs.

Л.Н. Дворецкой были поставлены и решены ряд теоретических и экспериментальных задач, что позволило достигнуть следующих результатов:

1. Представлена численная модель, определяющая диапазон размеров сфер при процессах микросферной фотолитографии, при этом учтены нелинейные особенности фоторезиста, что позволяет предсказывать оптимальные технологические параметры микросферной фотолитографии.

2. Продемонстрирована возможность использования вещества неонол для увеличения адгезии кварцевых сфер к поверхности резиста, что обеспечило формирование массивов микросфер большой площади на резисте.

3. С использованием микросфер в качестве фотомаски при экспонировании резиста плазменным источником был достигнут минимальный размер структур из резиста на кремнии порядка 110 нм.

4. Продемонстрирован полный технологический цикл предростовой подготовки подложек для селективной эпитаксии полупроводниковых наноструктур, включающий в себя в том числе метод микросферной фотолитографии, и представлены результаты синтеза гексагонально-упорядоченных массивов наноструктур GaP, GaN, GaN/InGaN, InAs на поверхности SiO<sub>x</sub>/Si(111) с контролируемой поверхностной плотностью и морфологией.

К работе имеется ряд замечаний/:

1. В работе не обсуждается влияние некогерентности источника излучения при экспонировании фоторезиста через массив микросфер.
2. В экспериментальной части работы выбраны пластины кремния Si(111), однако чем обусловлен выбор такой ориентации пластины не ясно.

Следует подчеркнуть, что данные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Диссертационная работа Л.Н. Дворецкой «Теоретическое и экспериментальное исследование микросферной фотолитографии на подложках кремния для селективной эпитаксии полупроводниковых структур» является завершённой научно-квалификационной работой, результаты которой опубликованы в 9 научных статьях в изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus, соответствующих требованиям ВАК, и апробированы на Российских и международных конференциях.

Считаю, что диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, а Л.Н. Дворецкая заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

д-р физ.-мат. наук,  
зам. декана факультета физико-математических наук  
Санкт-Петербургского государственного университета

Крыжановская Наталья Владимировна

Подпись Крыжановской Н.В. удостоверять

Крыжановская Наталья Владимировна  
Контактная информация

Микросферная литография вентильных элементов  
Национальный исследовательский университет  
Санкт-Петербург, ул. Котельническая дом 3, к. 1, 190000  
телефон +7(812)3011000  
e-mail: n.v.kryzhanovskaya@phs.spbu.ru

