

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дворецкой Лилии Николаевны “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”

Развитие технологии эпитаксиальных полупроводниковых гетероструктур в последние десятилетия оказывается тесно связанным с развитием методов селективной эпитаксии. В ряде работ было показано, что площадь и форма отверстий, изготовленных в ростовой маске, предварительно нанесенной на кристаллическую подложку, могут оказывать определяющее влияние на свойства гетероинтерфейса, морфологию и кристаллическое совершенство формируемых эпитаксиальных наноструктур. Возможность же широкого практического внедрения методов селективной эпитаксии оказывается неразрывно связана с разработкой соответствующей литографической технологии, обладающей как высоким пространственным разрешением, так и возможностью масштабирования на большую площадь кремниевых платин, применяемых в полупроводниковой промышленности.

Диссертационная работа Л. Н. Дворецкой представляет собой комплексное исследование, направленное на развитие физико-технологических основ селективной гетероэпитаксии. Для решения вышеописанной проблемы в работе был предложен и развит легко масштабируемый метод безшаблонной микросферной фотолитографии, позволяющий, как показано соискателем, достигать субволнового пространственного разрешения. Комплексность проведенных исследования обуславливают выполненные соискателем: 1) теоретическое описание и численное моделирование оптических и фотохимических процессов, 2) экспериментальное исследование процесса фотолитографии через массив микросфер, 3) развитие методов изготовления структурированных подложек  $\text{SiO}_x/\text{Si}$  большой площади (до 75 мм в диаметре) и, наконец, 4) экспериментальная демонстрация селективной эпитаксии наноструктур соединений GaP, GaN, GaN/InGaN, InAs на  $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$  с контролируемой поверхностной плотностью и морфологией.

Автореферат позволяет составить полноценное суждение о содержании работы и полученных новых научных результатах. Во введении к автореферату подробно изложены современное состояние и актуальность темы исследования и сформулирована

озвученная выше физико-технологическая проблема. Представленное и проиллюстрированное в автореферате краткое содержание основных научных результатов, изложенных в рамках 3-х смысловых глав диссертации, дает возможность сделать вывод о достаточной обоснованности выдвигаемых на защиту соискателем научных положений.

Для успешной реализации развиваемого в работе метода селективной эпитаксии, Л.Н. Дворецкой был решен ряд практических задач связанных как с оптимизацией условий фотолитографии, так и выбором оптимальных методов нанесения и травления ростовой маски  $\text{SiO}_x$  на Si. Научная новизна и потенциальная практическая значимость результатов работы в достаточной мере обуславливается следующими научно-практическими результатами:

- 1) Развитие принципиального нового метода безшаблонной фотолитографии, экспериментально демонстрирующего пространственное разрешение до  $110 \pm 5$  нм
- 2) Демонстрация функционального применения наноструктур, изготовленных на основе предложенного соискателем метода, а именно создание светоизлучающих диодов на основе массивов нитевидных нанокристаллов (ННК) GaN/InGaN и фотодиодных структур на основе ННК InAs на Si.

Список публикаций соискателя по теме диссертации содержит 9 работ в международных реферируемых изданиях, из которых 3 опубликованы в журналах, входящих в первый квартиль (согласно БД Scopus). Данный фактор подтверждает высокий уровень апробации результатов исследования и компетентность автора в области представленной темы исследования.

По содержанию автореферата можно сформулировать следующие замечания и вопросы:

1) В качестве источника коротковолнового излучения, применяемого для экспонирования фоторезиста, в работе упоминается источник излучения на основе  $\text{N}_2$  плазмы, однако его принципиальная конструкция, и, что более важно, спектр излучения никак не обсуждаются.

2) При подготовке структурированных подложек соискателем широко применялся метод химической полировки Si в щелочном растворе KOH, приводящий к латеральному подтравливанию Si по периметру отверстия ростовой маски. В частности, на Рисунке 5 автореферата видно, что края отверстия ростовой маски  $\text{SiO}_x$  могут “нависать” над ямкой, образующейся в Si. Рассматривался ли в работе эффект присутствия подвешенного слоя оксида на процесс селективного эпитаксиального роста?

Однако высказанные замечания не умоляют безусловно высокой общей оценки результатов диссертационной работы Л.Н. Дворецкой. На основе вышесказанного, считаю, что научно-квалификационная работа Л.Н. Дворецкой удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Лилия Николаевна Дворецкая, заслуживает присуждения искомой степени по специальности 1.3.2 – “Приборы и методы экспериментальной физики”.

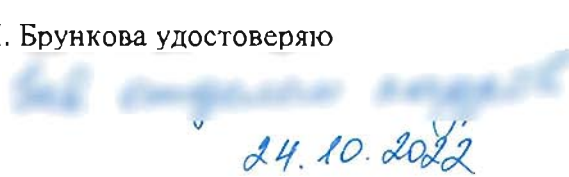
Имя, фамилия и отчество  
подпись



П.Н. Брунов

Инициалы и номер документа

Подпись П.Н. Брунова удостоверяю



24.10.2022

З.М. Сушаева



Инициалы и номер документа  
Имя, фамилия и отчество  
подпись