

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»

Приборные структуры на основе массивов полупроводниковых АІІВV наноструктур находят свое применение при разработке и исследовании солнечных элементов, светоизлучающих диодов, пьезосенсоров и пьезогенераторов, а также фотодиодов. Для приборных применений требуется создание упорядоченных массивов наноструктур, что стимулирует развитие методов селективной эпитаксии и предростовой подготовки подложек, обеспечивающих формирование центров роста с характерными размерами, лежащими в субмикронном диапазоне. Наиболее распространенные подходы, такие как электронная или ионная литография, наноимпринт не могут обеспечить обработку подложек большей площади (диаметр подложек более 3 дюймов), либо требует дорогостоящих методов изготовления специализированных масок или шаблонов. Таким образом, развитие методов литографии с субмикронным латеральным разрешением, обеспечивающих экспонирование образцов большой площади является актуальным.

Диссертационная работа Л.Н. Дворецкой посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процессов фотолитографии через массив микросферических линз на подложках с высоким показателем преломления, в частности на эпитаксиальных пластинах кремния с тонким оксидным слоем. Следует подчеркнуть, что наличие подложки с высоким показателем преломления приводит к возникновению отраженной волны при фотолитографии, и возникновению интерференции при взаимодействии с падающей волной. Данный факт существенно влияет на качество микросферной литографии и в научной литературе в должной мере рассмотрен не был.

В настоящей работе разработана математическая модель, учитывающая явление интерференции и позволяющая предсказать технологические параметры процесса литографии (в частности, дозу экспонирования), необходимые для достижения требуемого размера литографических структур при использовании микросфер заданного размера. Результаты теоретического рассмотрения подтверждены экспериментальными данными по экспонированию различных резистов с использованием разных источников экспонирования. Также в работе рассмотрены такие важные технологические аспекты, как применение поверхностно-активных веществ для улучшения качества упаковки микросфер при их центрифугировании на поверхности оптического резиста.

В последней части работы приведены экспериментальные результаты по синтезу упорядоченных массивов GaP, GaN, GaN/InGaN, InAs

наноструктур на поверхности $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$ подложек, предварительно текстурированных с помощью разработанных подходов микросферной литографии.

К представленной работе можно сформулировать следующие замечания:

1. Было бы оправданным привести данные атомно-силовой микроскопии для структур, сформированных в резисте, что позволило бы определить профиль литографических структур. Представленные данные сканирующей электронной микроскопии не позволяют оценить глубину сформированных наноструктур.
2. Для многих задач является востребованным текстурирование подложек Si с ориентацией (100). В работе следовало бы расширить разработанные технологические подходы к микросферной литографии на данном типе подложек.

Тем не менее, приведенные замечания не являются принципиальными и не умоляют общей высокой оценки представленных результатов диссертационной работы Л.Н. Дворецкой.

Достоверность и воспроизводимость представленных теоретических и экспериментальных данных не вызывает сомнений и, в том числе, подтверждается количественным совпадением модельных расчетов с экспериментальными результатами.

Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, а также апробированы на ведущих Российских и международных конференциях.

В заключении следует отметить, что автореферат диссертации позволяет однозначно судить о работе Л.Н. Дворецкой как о завершенной научно-квалификационной работе, полностью соответствующей требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Тематика диссертационной работы в полной мере соответствует специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики», а её автор, Дворецкая Лилия Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.



Д.А. Фирсов

“20” октября 2022 г.

осиг
рбург, 195251


Подпись Фирсова Д.А.
Зона УДОСТОВЕРЯЮ
Ведущий специалист
по кадрам Дворецкая Л.Н.
2022 г.