

ОТЗЫВ

научного руководителя доктора технических наук, член-корреспондента РАН Горнева Е.С. на диссертационную работу Иванова В.В. «Исследование эффектов оптической близости и разработка методов их коррекции для критических литографических слоев технологии производства СБИС проектных норм 65 нм», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств

Иванов Владимир Викторович проводил исследовательскую работу под моим руководством с 2016 г. по настоящее время. В отделе проектирования фотошаблонов АО «НИИМЭ» диссертант работал на протяжении девяти лет сначала в должности начальника лаборатории, затем – заместителя начальника отдела. Иванов В.В. проявил себя квалифицированным и ответственным специалистом, способным самостоятельно ставить и решать сложные задачи в области проектирования фотошаблонов и смежных с ней областей, освоив мировой научно-технический опыт и принципы проектирования фотошаблонов для производства СБИС различных проектных норм. Под руководством Иванова В.В. был разработан и внедрён программный комплекс подготовки управляющей информации для изготовления фотошаблонов диаметра 200 мм. Иванов В.В. в качестве руководителя исследовательской группы участвовал в проекте по разработке технологии проектных норм 28 нм в части проектирования фотошаблонов и разработки решений корректировки эффектов оптической близости (ОРС – Optical Proximity Correction). Диссертант обладает надлежащим уровнем образования, внимания, работоспособности и целеустремленности, а также блестящими знаниями в физике полупроводников, прикладной оптике и смежных областях, что было практически подтверждено в процессе его работы над диссертационным исследованием.

Должен отметить, что наукой занимается он с большим интересом и ответственностью. В процессе подготовки диссертационной работы Иванову В. В. удалось ознакомиться с обширнейшей технической литературой, связанной с разработкой, проектированием и изготовлением фотошаблонов, и перейти к задачам разработки ОРС-решений, необходимых при проектировании и производстве твердотельных электронных приборов проектных норм 65 нм и менее. Диссертантом были досконально изучены методики повышения разрешающей способности проекционной фотолитографии, существующие маршруты их применения, в которые в процессе своей работы Иванов В.В. внес значительные усовершенствования, позволившие существенно увеличить эффективность ОРС-решений при тех же временных затратах. По результатам проведенных исследований считаю, что со всеми поставленными задачами он успешно справился.

Целью диссертационной работы явилось решение актуальной научно-технической задачи, имеющей важное экономическое значение и заключающейся в создании научно-технических основ и методов нахождения оптимальных решений задачи коррекции эффектов оптической близости для критических литографических слоев технологии производства СБИС проектных норм 65 нм (на примере затворного слоя).

Основным содержанием диссертации Иванова В.В. являются научные исследования в области физики, технологии и моделирования, направленные на создание изделий микро- и нанoeлектроники, исследование принципов формирования и переноса изображения в проекционной фотолитографии проектных норм 65 нм и менее, методик коррекции паразитных дифракционных эффектов. Для этого в работе детально исследованы и проанализированы способы повышения разрешающей способности проекционной фотолитографии, смоделированы процессы экспонирования с целью коррекции эффекта близости для оптимизации разрешающей способности, а также оптимизированы параметры OPC-рецепта.

Тема и результаты диссертации представляют безусловный научный и прикладной интерес. Это обусловлено тем, что Ивановым В.В. на основе исследования вклада фотошаблонной составляющей в общую литографическую погрешность разработан универсальный метод составления фотошаблонной спецификации для критических литографических слоев технологии любых проектных норм. Для нахождения оптимальной выборки структур калибровочной матрицы был впервые использован метод k -средних, что позволило использовать для калибровки модели лишь 300-350 из 3300 тестовых структур без ощутимой потери точности модели, значительно сократив время измерений и расчета. Диссертантом впервые предложено использование эвристических алгоритмов оптимизации параметров рецепта коррекции оптической близости на основе метода дифференциальной эволюции, обеспечивающий в сравнении с исходным рецептом уменьшение усредненного значения ошибки смещения края контура и площади смещения моделируемого контура более, чем на 35% и 20% соответственно. В качестве исходного использовался типовой OPC-рецепт, применяемый в технологии уровня 90нм. Различия в целевых показателях, полученных с помощью универсального и специфичных для конкретных топологий рецептов, не превысило 2%, что подтвердило целесообразность применения полученного решения для коррекции топологий с произвольной конфигурацией.

В качестве основных результатов диссертационного исследования следует выделить следующие:

- в процессе исследований для расчета параметров проекционной системы сканера ASML PAS 5500/1150С, требуемых при литографии затворных слоев проектных норм 65 нм, а также параметров непропечатываемых вспомогательных структур SRAF (Sub-Resolution Assist Features) впервые предложена модель

литографического процесса, основанная на анализе воздушного изображения основных типов групповых линий затворного слоя указанных проектных норм, и калибрующаяся на экспериментально установленный минимальный обрабатываемый полупериод рисунка в резисте (т.н. «якорную» структуру);

- впервые с использованием предложенной модели с учетом условий и особенностей конкретного процесса найдены параметры оптической системы сканера ASML PAS 5500/1150C, оптимальные при литографии затворного слоя технологии проектных норм 65 нм, проведено моделирование влияния эффектов близости, выработаны начальные рекомендации к параметрам структур SRAF;

- впервые с применением «полного» моделирования процесса проекционной фотолитографии исследован вклад допусков на параметры фотошаблона (ФШ) в литографическую погрешность, что в результате позволило составить оценочную спецификацию на ФШ затворного слоя технологии проектных норм 65 нм;

- разработан и изготовлен калибровочный фотошаблон, включающий в свой состав ряд тестовых модулей, предназначенных для калибровки оптической и компактной фоторезистивной модели, а также для проверки правил расстановки структур SRAF на одиночных и периодических элементах топологии;

- с использованием результатов пропечаток тестовых структур модулей ФШ откалиброваны оптическая и фоторезистивная модель, исследованы их точность и стабильность. Калибровочная выборка модели формировалась методом кластерного анализа (к-средних) в пространстве параметров оптического изображения используемых калибровочных структур. Исследована достаточность калибровочной выборки для корректной калибровки компактной фоторезистивной модели. При оптимальном числе калибровочных структур (300÷350) значение среднеквадратичной ошибки моделирования смещения положения края контура на верификационном множестве составило 1,5 нм;

- впервые разработаны основные требования к базовой процедуре расстановки структур SRAF для затворного слоя технологии проектных норм 65 нм в применении к двумерным топологиям с учетом результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований;

- впервые на базе метода дифференциальной эволюции разработан эвристический алгоритм оптимальной настройки параметров OPC-рецепта, для исследования эффективности разработанного алгоритма проведена серия вычислительных экспериментов, убедительно подтвердивших целесообразность применения полученного решения для коррекции топологий с произвольной конфигурацией;

- разработано и зарегистрировано в Роспатенте программное средство, позволяющее выполнять настройку OPC-рецепта с помощью предложенного алгоритма, а также решать другие оптимизационные задачи в рамках разработки OPC-решения.

Содержимое глав диссертации обладает внутренним единством и отражает общее стремление автора к строгому и последовательному изложению оригинальных результатов работы.

Научная и прикладная составляющие актуальности темы, высокий уровень новизны и достоверности полученных результатов, в совокупности с положительной характеристикой автора позволяют сделать вывод, что работа «Исследование эффектов оптической близости и разработка методов их коррекции для критических литографических слоев технологии производства СБИС проектных норм 65 нм» Иванова Владимира Викторовича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития отечественной микроэлектроники, исследованы физические принципы создания новых и совершенствования существующих приборов твердотельной электроники, изделий микро- и нанoeлектроники, в полном объеме удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациями на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:

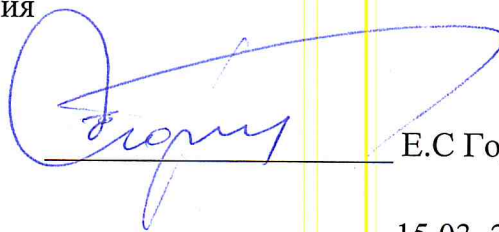
член-корреспондент РАН, д.т.н.,

заместитель руководителя

приоритетного технологического направления

по электронным технологиям,

АО «НИИМЭ»



Е.С Горнев

15.03. 2023 г.

Подпись Горнева Е.С. заверяю:



Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» (АО «НИИМЭ»)

Горнев Евгений Сергеевич

Член-корреспондент РАН, д.т.н.

Специальность: 05.27.01

Почтовый адрес: 124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д.6/1

Телефон: +7 495 229 5570

E-mail: egornev@niime.ru

Макашова *Сет Луавенко Н.В.*