

ОТЗЫВ

научного консультанта кандидата технических наук Балана Н.Н. 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 нанoeлектроники, квантовых устройств

Владимир Викторович Иванов – выпускник Московского государственного института электронной техники (технического университета), который закончил в 2004 году по специальности «Системы автоматизированного проектирования БИС». На протяжении последних девяти лет В.В. Иванов работал в АО «НИИМЭ» в отделе проектирования фотошаблонов в должностях начальника лаборатории (с 2012 г. по 2019 г.) и заместителя начальника отдела (с 2019 г. по н.в.). В период с 2012 г. по 2019 г. при активном непосредственном участии В.В. Иванова был разработан программный комплекс подготовки данных для фотошаблонов, используемых в производстве СБИС проектных норм 180 и 90 нм. Над диссертацией, посвященной коррекции эффектов оптической близости (или OPC – Optical Proximity Correction) в технологии производства СБИС проектных норм 65 нм, работает с 2016 года под руководством член-корреспондента РАН, доктора технических наук, профессора Е.С.Горнева.

В.В. Иванов ведет активную научную деятельность, в том числе участвует в выполнении НИОКР, связанных с вычислительной литографией, в настоящее время является руководителем исследовательской группы, отвечающей за проектирование фотошаблонов и разработку решений OPC в проекте по разработке технологии уровня 28 нм. Кроме того, он уделяет серьезное внимание научно-исследовательской работе студентов, будучи всегда готов оказать необходимую поддержку, как организационную, так и в виде консультации (как правило, исчерпывающей) по тематике выполняемой работы.

Среди главных качеств диссертанта необходимо отметить его сильнейшую мотивировку к проведению научного поиска, высокий уровень знаний в области математики, физики твердого тела, прикладной оптики, умение быстро овладевать знаниями и навыками в новых для себя областях науки, включая прикладную фурье-оптику. В частности, стоит отметить его уверенное владение комплексом современных САПР (в том числе использующих суперкомпьютерные мощности), что обеспечило успешное выполнение объемных и точных расчетов по подбору форм источника излучения и калибровке компактных моделей формирования контура фоторезистивной маски как для диссертационной работы, так и в процессе деятельности отдела в рамках проекта по разработке технологии уровня 28 нм.

В процессе работы над диссертацией В.В. Иванов продемонстрировал способность самостоятельно выполнять глубокие теоретические исследования и

проводить экспериментальные работы, делая объемлющие, но в то же время лаконичные выводы из полученных результатов.

Целью диссертационной работы В.В. Иванова является решение 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).

Как известно, переход на более продвинутые проектные нормы изготовления изделий микро- и нанoeлектроники неизбежно сопровождается дальнейшим усложнением процесса проектирования фотошаблонов, как минимум, по причине необходимости применения новых поколений методов коррекции эффектов оптической близости. Влияние на эффективность ОРС-решения оказывают все его основные составляющие – оптические модели, характеризующие особенности литографического оборудования, модели формирования фоторезистивной маски, а также ОРС-рецепт, определяющий фрагментацию топологии, алгоритм смещения фрагментов и порядок размещения контрольных точек для оценки результата топологической коррекции. Успешное решение задач разработки и калибровки оптической и фоторезистивной моделей, а также нахождения оптимальных параметров ОРС-рецепта для критических литографических слоев технологии производства СБИС проектных норм 65 нм требует проведения комплекса исследований, направленных на выбор оптимальной формы осветителя, корректных топологических элементов тестовых и калибровочных матриц, а также на разработку специализированных алгоритмов оптимизации параметров ОРС-рецепта. Весьма востребованными являются также исследования вклада фотошаблонной составляющей в общую литографическую погрешность в силу необходимости разработки корректной фотошаблонной спецификации, содержащей требования к качеству рисунка, уровню дефектности и свойствам фазового слоя фотошаблонов, используемых в производстве электронных компонентов. В силу перечисленных причин, рассматриваемая диссертационная работа является **актуальной и своевременной**.

Я бы отметил следующие результаты работы в качестве важнейших:

- в работе впервые с применением «полного» моделирования процесса проекционной фотолитографии исследован вклад допусков на параметры фотошаблона (ФС) в литографическую погрешность, что в результате позволило составить оценочную спецификацию на ФС затворного слоя технологии проектных норм 65 нм. Разработанный метод при условии ряда незначительных доработок может быть использован при рассмотрении критических литографических слоев любых проектных норм;

- для настройки параметров ОРС-рецепта в работе впервые предложено использование эвристического оптимизационного алгоритма на основе метода дифференциальной эволюции с двумя видами оценочной функции; проведена

серия вычислительных экспериментов, убедительно подтвердивших целесообразность применения полученного решения для коррекции топологий с произвольной конфигурацией;

- разработано и зарегистрировано программное средство, позволяющее выполнять настройку ОРС-рецепта с помощью предложенного алгоритма, а также решать другие оптимизационные задачи;

- для усовершенствования процесса калибровки компактной модели контура фоторезистивной маски применён кластерный анализ формирования выборок калибровочных структур и исследована эффективность откалиброванной таким образом модели. С применением обозначенной усовершенствованной методики проведена калибровка компактных моделей контура ФРМ для затворного слоя на различных наборах калибровочных данных, что позволило определить оптимальный размер выборки (300-350 из 3300 калибровочных структур) при условии кластеризации калибровочных данных методом k-средних. При этом среднеквадратичная ошибка моделирования составила менее 1,4 нм, что составляет 2,3% от номинала критического линейного размера для технологии проектных норм 65 нм.

Основным результатом диссертационной работы является разработка научно-технических основ и методов нахождения оптимальных решений задачи коррекции эффектов оптической близости для критических литографических слоев технологии производства СБИС проектных норм 65 нм и их внедрение в состав информационной системы проектирования фотошаблонов. Предложенные методы сохраняют основную последовательность этапов разработки ОРС-решения для технологий более продвинутых проектных норм, что значительно облегчает переход к следующим поколениям технологического процесса производства СБИС.

Содержимое диссертации обладает внутренним единством, главы логически связаны друг с другом, изложение результатов ведется строго и последовательно.

Самого диссертанта можно охарактеризовать как сформировавшегося научного работника высокого уровня, способного как к самостоятельной работе над решением современных научно-технических проблем, так и к руководству группой исследователей.

Высокий научный уровень диссертационной работы 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 традиционных приборов твердотельной электроники, изделий микро- и нанoeлектроники.

Работа в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств, а её автор безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный консультант:

к.т.н.,

ведущий инженер-конструктор

АО «НИИМЭ»

Н.Н. Балан

15.03. 2023 г.

Подпись Балана Н.Н. заверяю:



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

Балан Никита Николаевич

к.т.н.

Специальности:

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах;

05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

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

Телефон: +7 495 229 7299

E-mail: nbalan@niime.ru