

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.382:658.274; 621.382.049.77:658.274

АГЕЙЧЕНКО
Александр Степанович

**СИСТЕМЫ ПРОЕКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА ШИРОКОФОРМАТНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СБИС МЕТОДОМ
ПЕРЕВЕРНУТОГО КРИСТАЛЛА**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и в ОАО «КБТЭМ-ОМО».

Научный руководитель **Матюшков Владимир Егорович**, доктор технических наук, профессор, главный инженер ОАО «КБТЭМ-ОМО»

Официальные оппоненты: **Жарин Анатолий Лаврентьевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и технологии» Белорусского национального технического университета

Минько Анатолий Антонович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физическая оптика» Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «22» января 2015 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « » декабря 2014 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

Бордусов С.В.

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Технология сборки полупроводниковых (п/п) кристаллов сверхбольших интегральных схем (СБИС) методом припайки матрицы шариковых контактов перевернутого кристалла на промежуточную подложку во многом определяет технические характеристики СБИС. Создание матрицы шариковых контактов п/п кристалла и вскрытие окон над контактными площадками подложки осуществляются с использованием фотолитографии в толстых слоях специальных термостойких фоторезистов.

Требования по точности положения контактов на п/п кристалле и промежуточной подложке обеспечиваются за счет использования проекционной литографии. В этом случае, в отличие от контактной литографии, геометрические изменения размеров подложки компенсируются за счет изменения масштаба изображения переносимой топологии. Однако существенная анизотропия масштаба подложек и необходимость экспонирования фоторезистов увеличенной толщины (до 100 мкм) с низкой чувствительностью ($1 - 5 \text{ Дж/см}^2$) не позволяет использовать оборудование фотолитографии созданное для традиционной кремниевой технологии.

С целью создания конкурентоспособного на мировом рынке отечественного оборудования проекционной фотолитографии для технологии сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла в рамках диссертации проведены исследования по оптимизации проекционного переноса широкоформатных изображений в слои фоторезистов увеличенной толщины на подложках с анизотропией масштаба.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 1 от 26.09.2008 г.) и соответствует разделу 13 «Микроэлектроника и субмикронные технологии твердотельной электроники», пункт «Критические технологии: производство оптико-механического, контрольно-измерительного и сборочного оборудования для производства субмикронных электронных приборов; контроль процессов изготовления и параметров полупроводниковых приборов и интегральных схем» «Структуры приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2011 – 2015 гг.» (Указ Президента Республики Беларусь от 22.07.2010 г. № 378).

Диссертационная работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и в ОАО «КБТЭМ-ОМО» в рамках: контракта КБТЭМ-ОМО № 2006/ОМО на научно-техническое и производственное сотрудничество в области совместных разработок и совместного производства технологического оборудования с компанией C Sun MFG Ltd от 3.03.2006 г. (Тайвань); соглашения КБТЭМ-ОМО с компанией C Sun MFG Ltd (Тайвань) от 23.11.2011 г. № 2011/ОМО на научно-техническое и производственное сотрудничество в области совместных разработок и совместного производства технологического оборудования; контракта КБТЭМ-ОМО № 20057/ОМО/2005PM4010-44С с Всекитайской импортно-экспортной компанией точного машиностроения (г. Пекин, КНР) на разработку, изготовление и поставку в Чунцинский НИИ оптоэлектроники (г. Чунцин, КНР) проекционной установки экспонирования и мультипликации (код ТН ВЭВ 9010 10 000 0); договора от 26.04.2011 г. № ОП 1-11 между Министерством промышленности Республики Беларусь и ОАО «КБТЭМ-ОМО» в рамках отдельного инновационного проекта «Разработать и освоить производство установки проекционного экспонирования для изготовления печатных плат высокой плотности соединений», утверждённого приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 31.03.2011 г. (02.03.2011 – 30.09.2011), № ГР 20112084.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является исследование и разработка новых методов, алгоритмов и моделей по оптимизации проекционного переноса широкоформатных изображений в технологии сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла для создания отечественного оборудования проекционной литографии, конкурентоспособного на мировом рынке.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

- исследовать возможность обеспечения заданной точности совмещения для подложек, имеющих анизотропные изменения геометрической формы;
- исследовать влияние величины числовой апертуры и спектрального состава излучения на профиль стенок фоторезиста и разработать способ управления углом наклона боковых стенок фоторезистов;
- разработать метод контроля оптических параметров проекционной системы в режиме реального времени без прерывания рабочего цикла;
- исследовать влияние температуры окружающей среды на оптические параметры проекционного объектива и разработать технологию крепления линз

в оправках проекционного объектива для минимизации астигматизма и кривизны поля изображения в расширенном диапазоне температур;

- разработать метод и алгоритм автоматического определения систематических поправок совмещения;

- исследовать возможность уменьшения дрейфа плоскости резкого изображения и астигматизма проекционного объектива при больших световых нагрузках путем оптимизации спектра экспонирующего излучения и выбора оптических материалов.

Объектом исследования является процесс проекционного переноса широкоформатных изображений в слои фоторезистов увеличенной толщины на подложках с анизотропией масштаба.

Предметом исследований являются модели, алгоритмы и методы, позволяющие оптимизировать процессы формирования изображения и минимизировать погрешность совмещения в технологии сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла.

Положения, выносимые на защиту

1. Закономерность влияния заданной погрешности совмещения на размер рабочего поля проекционного объектива, с учетом которой разработан метод проекционного переноса изображений, обеспечивающий заданную погрешность совмещения на подложках с анизотропией масштаба до 200 ppm для объективов с изотропным масштабированием изображения.

2. Закономерности влияния числовой апертуры оптической системы и спектрального состава экспонирующего излучения на сформированный в проявленном фоторезисте профиль, с учетом которых разработан метод управления углом наклона боковых стенок фоторезистов в диапазоне $90^\circ \pm 3^\circ$.

3. Конструкция оптоэлектронной системы для измерения плоскости резкого изображения проекционного объектива в режиме реального времени, основанная на применении растровой маски, расположенной под углом к сопряженной плоскости предметов, определяемым величиной максимального смещения плоскости резкого изображения объектива при световых нагрузках, что обеспечивает позиционирование экспонируемой подложки в плоскости резкого изображения с погрешностью не хуже 10 % от глубины резкости проекционного объектива.

4. Закономерности изменения оптических параметров проекционного объектива в зависимости от световой нагрузки, с учетом которых осуществлен выбор оптического материала в объективе, обеспечивший снижение дрейфа плоскости резкого изображения и астигматизма более чем в 2 раза по сравнению с оптическими параметрами исходного объектива.

Личный вклад соискателя

Все основные научные результаты, приведенные в диссертации, получены лично соискателем. Вклад научного руководителя В.Е. Матюшкова связан с планированием работ, обсуждением полученных результатов и методическими рекомендациями.

Апробация результатов диссертации

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на следующих научных конференциях и симпозиумах: I-й Международной научно-практической конференции «Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, 12 – 13 октября 2004 г.; Symposium of IC China, Шанхай, Китай, 1 – 3 сентября 2004 г.; II-й Международной научно-практической конференции «Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, 20 – 21 октября 2005 г.; 4-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение 2011», Минск, Беларусь, 16 – 18 ноября 2011 г.; III-й Международной научно-практической конференции «Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, 17 октября 2012 г.

Опубликованность результатов диссертации

По результатам представленных в диссертации исследований опубликовано 33 печатные работы, в том числе 6 статей в рецензируемых научных журналах, 2 статьи в материалах научных конференций, 4 тезиса докладов научных конференций. Новизна технических решений подтверждена в 19-ти патентах Республики Беларусь, 1-м патенте Республики Корея, 1-м патенте Тайваня. Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 7,5 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и четырех приложений.

Общий объем диссертации составляет 139 страниц, из них 66 страниц основного текста, 45 рисунков на 20 страницах, 5 таблиц на 5 страницах, библиографический список использованных источников из 69 наименований на 7 страницах, список собственных публикаций автора из 33 наименований на 5 страницах, 6 приложений на 38 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** и в **общей характеристике работы** определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** показана эволюция технологии сборки микросхем от сварки проволокой контактных площадок чипа до нынешней современной сборки кристаллов СБИС методом перевернутого п/п кристалла. Рассмотрены недостатки традиционной технологии последовательного проволочного соединения контактных площадок чипа микросхемы с выводами корпуса микросхем и преимущества современной групповой технологии сборки СБИС методом перевернутого п/п кристалла.

Ряд специфических особенностей, в первую очередь необходимость использования толстых (до 100 мкм и более) и низкочувствительных фото-резистов (до 5 Дж/см²) отличает фотолитографию современной сборки кристаллов СБИС от традиционной кремниевой фотолитографии. Кроме того, специфические свойства материала подложки (большая величина и анизотропия изменения размеров подложки в процессе изготовления, кривизна поверхности) предъявляют к фотолитографическому оборудованию современной сборки кристаллов СБИС новые требования. С учетом указанных обстоятельств сформулированы задачи, решение которых позволит создать конкурентоспособные на мировом рынке степперы для современной сборки кристаллов СБИС.

Во **второй главе** рассмотрена закономерность влияния заданной погрешности совмещения на размер рабочего поля проекционного объектива, приводятся результаты исследования по обеспечению заданной точности совмещения для проекционного объектива с изотропным изменением масштаба изображения при экспонировании подложек, имеющих анизотропные изменения геометрической формы. Анизотропия масштаба многослойных печатных плат весьма существенна по величине: может достигать 100 ppm и более. Для обеспечения заданной погрешности совмещения для пластин с искажениями геометрической формы предложено использовать рабочее поле проекционного объектива в виде узкой полосы. При этом появляется возможность обеспечения точного совмещения даже без опции анизотропного

изменения масштаба изображения объектива. Рабочее поле проекционного объектива в виде полосы позволяет использовать для совмещения каждого кадра только два знака совмещения, которые расположены на продольной оси симметрии вдоль длинной стороны кадра. В этом случае достаточно измерять масштаб пластины только вдоль длинной стороны и изменять масштаб изображения объектива изотропно.

Максимальную ширину полосы, равную целому числу топологических модулей, предложено вычислять из соотношения:

$$W = \frac{2E \times 10^3}{\Delta S}, \quad (1)$$

где W – ширина полосы в миллиметрах; E – допустимая погрешность совмещения в микрометрах; ΔS – максимально возможная разница масштаба пластин по X и по Y в ppm (частей на миллион).

Реализация разработанного метода проекционного переноса изображения в степпере ЭМ-5434М позволила достичь приемлемой (по существующим требованиям технологии изготовления подложек для чипов с масштабированием) погрешности совмещения ± 3 мкм для пластин с анизотропным изменением масштаба ± 200 ppm в диапазоне изотропных изменений масштаба пластин ± 800 ppm.

В результате экспериментальных исследований выявлены закономерности влияния величины числовой апертуры оптической системы и спектрального состава экспонирующего излучения на сформированный в фоторезисте профиль: максимально вертикальные стенки в фоторезисте получаются при уменьшении в экспонирующем спектре доли света в области максимальной спектральной чувствительности используемого фоторезиста.

Предложен новый способ управления углом наклона боковых стенок фоторезистов, основанный на формировании заданных размеров и формы зрачка осветительной системы и/или проекционного объектива для каждой из трех спектральных линий ртутной лампы в диапазоне экспонирующего излучения 360 – 440 нм. При этом площадь зрачка для каждой линии обратно пропорциональна чувствительности используемого фоторезиста, что позволяет формировать угол наклона боковых стенок фоторезистов в диапазоне $90^\circ \pm 3^\circ$. Предложенный способ управления углом наклона боковых стенок фоторезистов реализован в степпере ЭМ-5434М. Эксперименты по измерению угла наклона стенок фоторезиста после экспонирования с различными хроматическими апертурами были проведены на заводе тайваньской компании Nanya. Для фоторезиста Hitachi RY-3525 толщиной 25 мкм позволила изменить угол наклона стенки фоторезиста с 84° до 89° . Более вертикальные боковые стенки проявленного фоторезиста позволяют обеспечить формирование

контактных бампов с лучшей равномерностью по высоте. Результаты экспериментов по измерению угла наклона для резиста Hitachi RY-3525 толщиной 25 мкм с различными хроматическими апертурами приведены на рисунке 1.

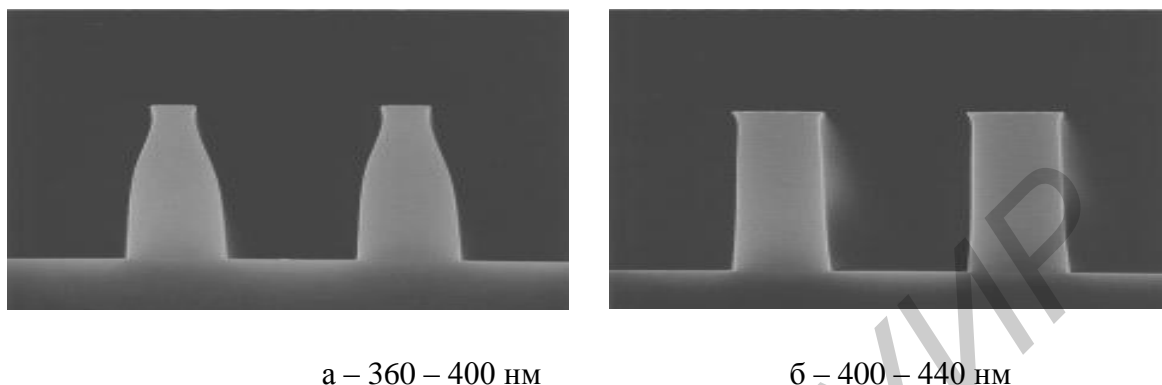


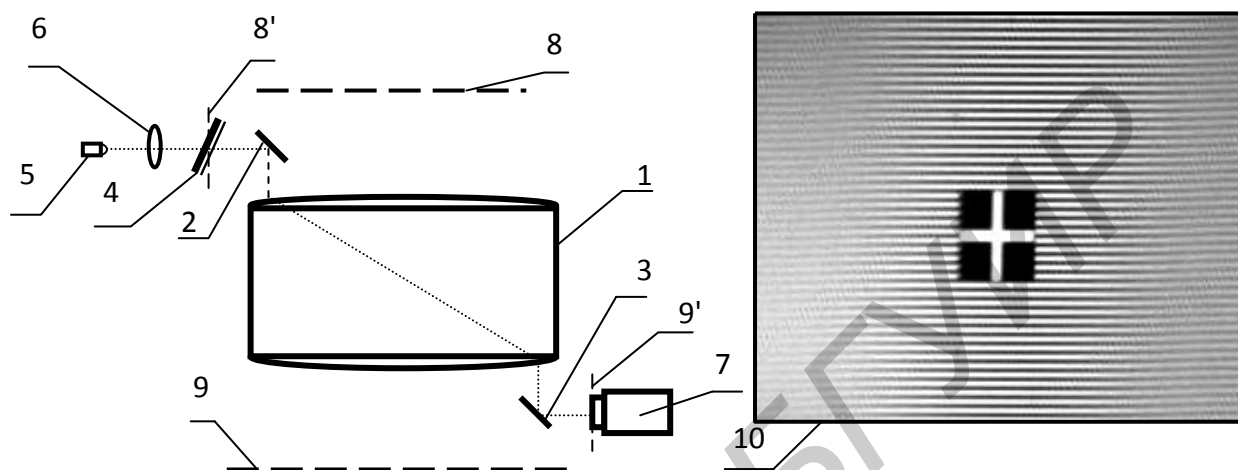
Рисунок 1 – Профиль фоторезиста Hitachi RY-3525 при экспонировании излучением с различным спектром

В третьей главе диссертации рассмотрены причины вызывающие смещение плоскости резкого изображения (ПРИ) проекционных объективов в процессе работы экспонирующих устройств. На положение ПРИ и на масштаб проекционного объектива оказывают влияние ультрафиолетовое (УФ) излучение, проходящее через оптическую систему в процессе экспонирования. Часть энергии УФ света поглощается оптическими компонентами объектива. Дрейф ПРИ приводит к ухудшению качества переноса изображения. Это особенно негативно сказывается при работе с минимальными элементами топологии, имеющими размер, близкий к пределу разрешения объектива. А также при работе с фоторезистами, имеющими низкую чувствительность и большую толщину, когда требуется большая доза экспонирования и, соответственно, световая нагрузка на объектив будет большая. Именно такие фоторезисты, имеющие низкую чувствительность и большую толщину, применяются в технологии современной сборки ИС.

Известные способы определения ПРИ не позволяют проводить измерения положения ПРИ непосредственно в процессе экспонирования или совмещения. Поэтому измерение и учет дрейфа ПРИ проводится периодически, что, с одной стороны, с течением времени приводит к ухудшению качества переноса изображения, с другой стороны, вынужденная остановка рабочего цикла для аттестации текущих параметров проекционного объектива приводит к снижению общей производительности системы экспонирования.

Для обеспечения максимального качества переноса изображения за счет точного слежения за ПРИ разработана конструкция оптоэлектронной системы, позволяющая измерять плоскость резкого изображения проекционного

объектива в режиме реального времени. Принцип ее работы основан на построении через проекционный объектив изображения полос растровой маски, расположенной под углом к сопряженной плоскости предметов. В этом случае различные участки маски будут расположены как выше плоскости предметов, так и ниже плоскости предметов проекционного объектива (рисунок 2).



1 – проекционный объектив; 2, 3 – поворотные зеркала; 4 – предметная маска; 5 – светодиод; 6 – линза; 7 – ТВ камера; 8 – плоскость предметов; 8' – сопряженная плоскость предметов; 9 – плоскость изображения; 9' – сопряженная плоскость изображения; 10 – изображение маски с приемной ТВ камеры

Рисунок 2 – Схема фотоэлектрического датчика определения плоскости резкого изображения

Чувствительность системы обратно пропорциональна углу наклона маски, а диапазон измерения определяется полем зрения приемной ТВ камеры. В процессе работы системы экспонирования положение ПРИ начнет смещаться за счет поглощения определенной части УФ излучения оптическими компонентами объектива.

При этом зона резкого изображения полос предметной маски 4 будет также пропорционально смещаться в поле зрения ТВ приемника. Величину этого смещения можно вычислить из соотношения:

$$A_{cm} = \frac{F}{tg \alpha} \quad (2)$$

где A_{cm} – величина смещения, измеренная ТВ камерой датчика; F – смещение ПРИ вдоль оси объектива; α – угол наклона предметной маски 4 относительно сопряженной плоскости предметов 8'.

Для определения точного положения центра зоны максимального контраста изображения предложено вычислять амплитуду первой гармоники пространственной частоты в изображении полос маски по каждой строке методом быстрого преобразования Фурье. Положение центра тяжести функции распределения амплитуд первой гармоники по столбцам (с субпиксельным разрешением) соответствует текущему положению ПРИ с погрешностью не более нескольких процентов от глубины резкости объектива. Реализация предложенной системы в составе степпера ЭМ-5434М позволила обеспечить перенос изображения с максимальным качеством за счет оперативного измерения текущей плоскости резкого изображения проекционного объектива и экспонирования каждого кадра на пластине точно в плоскости лучшего (резкого) изображения.

Приведены результаты выполненных автором исследований по уменьшению дрейфа плоскости резкого изображения и астигматизма проекционного объектива при больших световых нагрузках проведена оптимизация спектра экспонирующего излучения и сделан выбор оптических материалов. На рисунке 3 показана величина искажений плоского волнового фронта до и после облучения заготовки стекла светом с длинами волн 350 – 450 нм. По величине пиковая aberrация (PV) плоского волнового фронта более чем в 7 раз превышает искажения волнового фронта до облучения: с 0,11 длины волны увеличилась до 0,82.

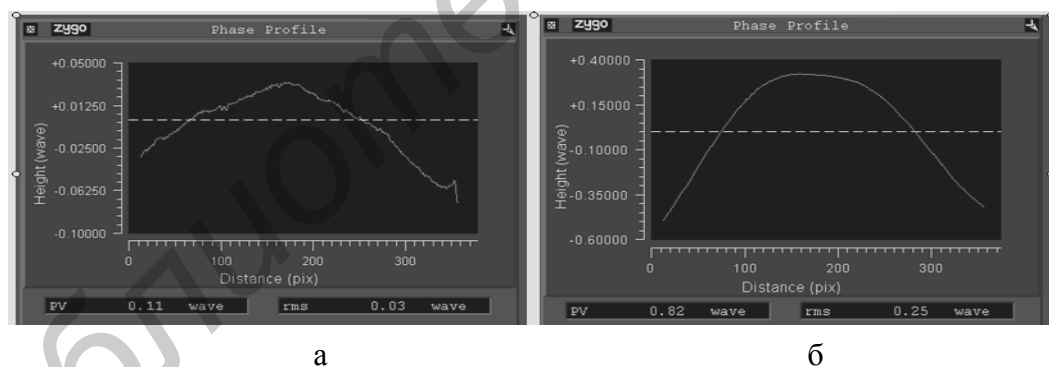
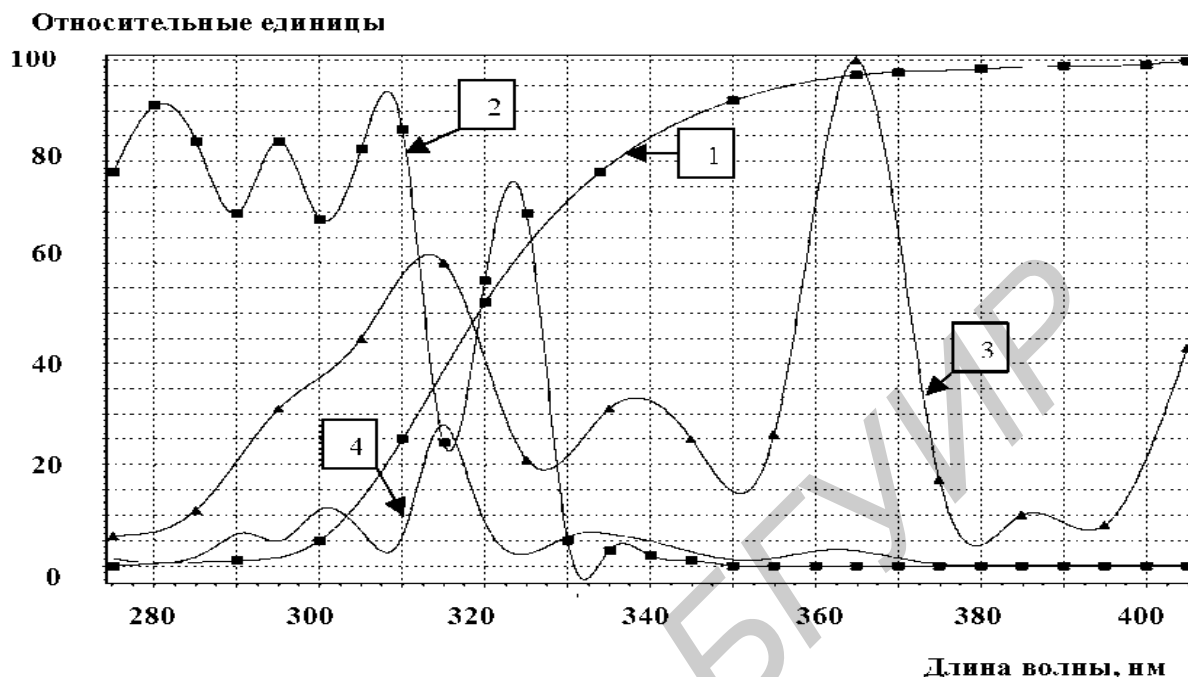


Рисунок 3 – Характер искажения плоского волнового фронта заготовки стекла ВК 7 до облучения (а) и после облучения (б)

Результаты проведенных экспериментов показали, что для уменьшения поглощения стеклом объектива УФ излучения необходимо ограничить спектр экспонирования с коротковолновой (менее 360 нм) стороны. На рисунке 4 показан график поглощенной стеклом ВК7 энергии 4 ртутной лампы, из которого видно, что большая часть световой энергии поглощается стеклом ВК7 вне диапазона экспонирования: в области 310 – 350 нм. Это вызвано совпадением провала в спектре пропускания зеркала и пика интенсивности в спектре излучения ртутной лампы в области 310 – 320 нм. Для уменьшения

поглощенной стеклом объектива энергии изготовлено новое зеркало с границей отражения, смещенной в длинноволновую область примерно на 20 нм.

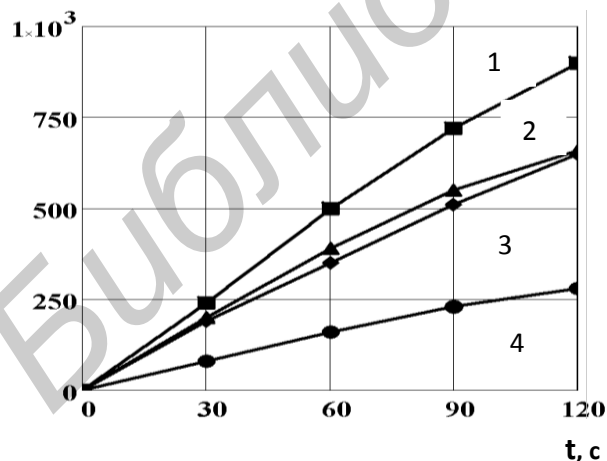


1 – спектр пропускания стекла BK7; 2 – спектр пропускания зеркала; 3 – спектр излучения ртутной лампы; 4 – спектр поглощения стекла BK7

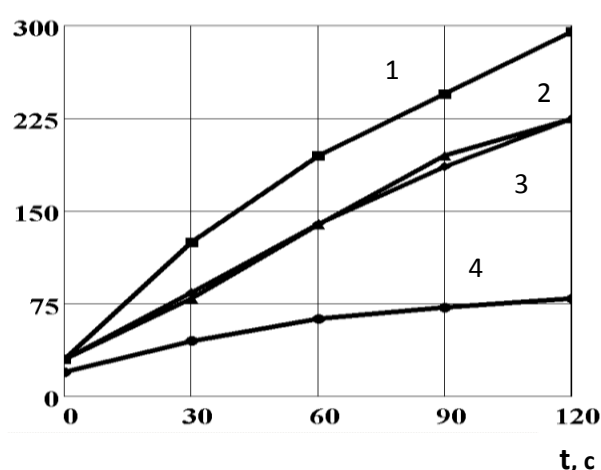
Рисунок 4 – Спектр поглощения энергии стеклом BK7

Расчеты показывают, что новое зеркало со смещенной в длинноволновую область границей отражения позволит уменьшить интегральное значение поглощенной энергии практически в 2 раза.

Плоскость изображения



Астигматизм



1 – оригинальный объектив и осветитель со штатным зеркалом; 2, 3 – оригинальный объектив и осветитель с новым зеркалом; 4 – осветитель с новым зеркалом и новый объектив с двояковогнутой линзой из стекла BSL-7

Рисунок 5 – Величина смещения плоскости лучшего изображения и увеличения астигматизма проекционного объектива степпера ЭМ-5434М при световых нагрузках

Такая оптимизация спектра отражения зеркал была проведена в осветительной системе степпера ЭМ-5434М, что позволило уменьшить влияние световой нагрузки на дрейф плоскости лучшего изображения и астигматизма проекционного объектива примерно на 30 %. Проведен расчет варианта оптической схемы объектива степпера ЭМ-5434М с заменой материала двояковогнутой линзы проекционного объектива из стекла BK7 (Schott) на стекло BSL-7Y (Ohara). Результаты измерений смещения плоскости резкого изображения и астигматизма проекционного объектива при максимально световой нагрузке в течение 120 с показаны на рисунке 5. В результате замены стекла двояковогнутой линзы в объективе степпера ЭМ-5434М влияние световой нагрузки на смещение ПРИ и увеличение астигматизма снизилось практически в 3 раза.

Проведен анализ причин изменения оптических параметров проекционного объектива в процессе работы. Приведены результаты исследования влияния температуры окружающей среды на оптические параметры проекционного объектива. Установлены причины необратимого увеличения астигматизма исследованного объектива при изменениях окружающей температуры. По результатам исследования закономерностей теплового изменения оптических параметров проекционного объектива разработан метод крепления линзы в металлической оправе для объективов с горизонтальной осью на основе упругих элементов. Выполнено моделирование искажения формы поверхности линзы при различных способах ее крепления в оправе.

По результатам моделирования были определены максимально допустимые силы прижима линзы к опорному платику оправы, при которых искажения формы поверхности линз находятся в допустимом диапазоне. Необходимую величину усилия для каждой из трех осевых пружин предложено вычислять из условия

$$F = \frac{2mg}{3k} , \quad (3)$$

где F – сила упругости пружины; m – масса линзы; g – ускорение свободного падения; k – коэффициент трения стекло – металл оправы.

Благодаря двойному превышению величины силы трения по отношению к весу линзы после осевого прижима линзу в оправе (направление оптической оси) можно повернуть на любой угол без смещения линзы относительно оправы. Проведенные измерения на интерферометре реальной величины искажения формы поверхности линз, закрепленных предложенным способом в оправе, подтвердили корректность расчетных результатов моделирования.

Результаты измерений поверхности линз объектива степпера ЭМ-5434М, собранных по разработанной технологии, подтвердили низкие уровни

искажения формы поверхности в полном соответствии с моделированием. Исходные величины дисторсии и астигматизма у собранного по разработанной технологии объектива степпера ЭМ-5434М уменьшились соответственно в 1,5 и в 3 раза по сравнению с объективами, собранными по известной технологии с упорной призмой в оправе. Новый объектив показал сохранение величины дисторсии и астигматизма в течение 10 месяцев при изменениях окружающей температуры в диапазоне от +10 до +28 °С.

В четвертой главе выполнен анализ существующих методов компенсации осевой хроматической aberrации проекционных объективов для света совмещения. Предложен новый принцип построения системы совмещения через проекционный объектив с компенсацией осевой хроматической aberrации проекционного объектива для света совмещения, при котором объектив датчика совмещения выполняется с заданной величиной осевой хроматической aberrации для света освещения знака ретикла и света освещения знака пластины. Численно осевая хроматическая aberrация объектива совмещения равна величине осевой хроматической aberrации проекционного объектива для экспонирующего света и света совмещения знака пластины. Такое техническое решение позволяет построить в плоскости приемной телевизионной камеры системы совмещения через ретикл и проекционный объектив резкое изображение одновременно двух знаков совмещения: знака совмещения ретикла и знака совмещения пластины. Разработан метод автоматического определения систематических поправок совмещения. Темнопольный кольцевой осветитель знаков совмещения пластины дополнительно содержит источник света с длиной волны экспонирования. Измеряется координата знака при освещении светом совмещения и при освещении светом с длиной волны экспонирования. Разница является систематической поправкой совмещения.

В пятой главе описывается использование результатов проведенных исследований в фотолитографическом оборудовании микроэлектроники.

Все результаты экспериментальных исследований, методы, модели и алгоритмы, созданные в рамках диссертационной работы, использованы в экспортном оборудовании проекционного переноса широкоформатных изображений ОАО «КБТЭМ-ОМО», что позволило создать ряд моделей экспортно-ориентированных широкоформатных степперов:

- ЭМ-5034 – для производства жидкокристаллических дисплеев;
- ЭМ-5634 – для производства сверхбольших матричных и линейных приборов с зарядовой связью;
- ЭМ-5434, ЭМ-5434М – для производства подложек современной сборки кристаллов СБИС методом перевернутого п/п кристалла.

В степпере ЭМ-5034 использован катодиоптический широкоформатный объектив с горизонтальной оптической осью, оптоэлектронная система измерения плоскости резкого изображения проекционного объектива.

В степпере ЭМ-5434М реализованы метод проекционного переноса изображения с размером рабочего поля проекционного объектива как функции от заданной погрешности совмещения; метод управления углом наклона стенок фоторезистов; оптоэлектронная система измерения масштаба изображения и ПРИ проекционного объектива в режиме реального времени; метод крепления линз в оправках для проекционного объектива с горизонтальной оптической осью; многофункциональная система совмещения через проекционный объектив с заданной величиной осевой хроматической аберрации и измерением в автоматическом режиме систематических ошибок системы совмещения. Все это в совокупности позволило создать конкурентоспособный на мировом рынке широкоформатный степпер для технологии сборки СБИС.

В степпере ЭМ-5634 использованы три канала оптоэлектронной системы измерения плоскости резкого изображения объектива в режиме реального времени для фокусировки и выравнивания каждого кадра, а также система совмещения с заданной величиной осевой хроматической аберрации и измерением в автоматическом режиме систематических ошибок системы совмещения.

В приложениях представлены результаты моделирования в среде Mathcad математической обработки сигналов ТВ камеры датчика определения ПРИ; рабочий алгоритм совмещения степпера ЭМ-5434М с использованием датчика измерения ПРИ проекционного объектива; алгоритм обработки видеоизображений знаков совмещения с использованием метода быстрого Фурье преобразования; алгоритмы рабочего цикла с расчетом поправок совмещения приведены на примере алгоритмов управления степпера ЭМ-5634; акты внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Применительно к задаче оптимизации проекционного переноса широкоформатных изображений в технологии сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла для создания отечественного конкурентоспособного на мировом рынке оборудования проекционной литографии разработан комплекс информационно-параметрических методов определения закономерностей для обеспечения заданных параметров формирования изображений в слоях фоторезистов увеличенной толщины на подложках с анизотропией масштаба.

1. Установлена закономерность влияния заданной погрешности совмещения на размер рабочего поля проекционного объектива, с учетом которой разработан метод проекционного переноса изображений, обеспечивающий заданную погрешность совмещения на подложках с анизотропией масштаба для объективов с изотропным масштабированием изображения. Метод основан на формировании размеров рабочего поля проекционного объектива как функции от заданной погрешности совмещения. Реализация разработанного метода в степпере ЭМ-5434М позволила достичь приемлемой погрешности совмещения для пластин с анизотропным изменением масштаба ± 200 ppm в диапазоне изотропных изменений масштаба пластин ± 800 ppm [3, 14 – 17].

2. Установлены закономерности влияния числовой апертуры оптической системы и спектрального состава экспонирующего излучения на сформированный в проявленном фоторезисте профиль, с учетом которых разработан метод управления углом наклона боковых стенок фоторезистов. Метод основан на формировании заданных размеров и формы зрачка осветительной системы и/или проекционного объектива для каждой из трех спектральных линий ртутной лампы в диапазоне экспонирующего излучения 360 – 440 нм. При этом площадь зрачка для каждой линии обратно пропорциональна чувствительности используемого фоторезиста для этой длины волны, что обеспечивает необходимое угловое и спектральное распределение света в изображении и позволяет формировать угол наклона боковых стенок проявленных фоторезистов в диапазоне $90^\circ \pm 3^\circ$. Реализация данного метода в степпере ЭМ-5434М для фоторезиста Hitachi RY-3525 толщиной 25 мкм позволила изменить угол наклона стенки фоторезиста с $84,3^\circ$ до $89,32^\circ$ [5, 12, 19, 21].

3. Разработана конструкция оптоэлектронной системы для измерения плоскости резкого изображения проекционного объектива в режиме реального времени, основанная на применении растровой маски, расположенной под углом к сопряженной плоскости предметов, определяемым величиной максимального смещения плоскости резкого изображения объектива при световых нагрузках, что обеспечивает позиционирование экспонируемой подложки в плоскости резкого изображения с погрешностью не хуже 10 % от глубины резкости проекционного объектива. Использование такой системы в составе степпера ЭМ-5434М позволило обеспечить перенос изображения с максимальным качеством за счет оперативного измерения текущей плоскости лучшего изображения проекционного объектива и экспонирования каждого кадра на пластине точно в плоскости лучшего изображения, а также повысить среднесуточную производительность проекционной экспонирующей системы примерно на 5 – 6 % за счет исключения времени на периодические остановки рабочего цикла для измерения текущей плоскости резкого изображения и

текущего масштаба проекционного объектива ранее использовавшимися методами [4, 7, 11, 13, 29, 31, 33].

4. Установлены закономерности изменения оптических параметров проекционного объектива в зависимости от световой нагрузки, с учетом которых осуществлен выбор оптического материала в объективе, обеспечивший снижение дрейфа плоскости резкого изображения и астигматизма более чем в 2 раза. Выполнено экспериментальное исследование поглощения оптическими материалами экспонирующего излучения в диапазоне 320 – 450 нм, по результатам которого проведена оптимизация спектра отражения зеркала в области 365 нм в осветительной системе степпера ЭМ-5434М, что позволило уменьшить влияние световой нагрузки на смещение плоскости резкого изображения примерно на 30 %. Проведена замена материала двояковогнутой линзы проекционного объектива степпера ЭМ-5434М из стекла BK7 на стекло BSL-7Y, что позволило более чем в 2 раза уменьшить влияние световой нагрузки на смещение плоскости резкого изображения и увеличение астигматизма проекционного объектива [2, 9, 10].

5. Исследованы закономерности изменения оптических параметров проекционного объектива в зависимости от температуры окружающей среды, с учетом которых разработан метод крепления линзы в металлической оправе, обеспечивающий сохранение оптических параметров проекционного объектива в диапазоне температур от +10 до +28 градусов. По этому методу линза в оправе удерживается с помощью трех осевых пружин, расположенных по окружности под углом 120 градусов напротив упорных буртиков и одной радиальной разгрузочной пружины, уравнивающей силу тяжести линзы. Дисторсия собранного по новой технологии объектива степпера ЭМ-5434М уменьшилась более чем в 1,5 раза по сравнению с дисторсией объективов, собранных по технологии с упорной призмой, а астигматизм объектива уменьшился в 3 раза [6, 32].

6. Разработан метод компенсации осевой хроматической aberrации проекционного объектива для света совмещения, основанный на использовании объектива датчика совмещения с заданной осевой хроматической aberrацией для света совмещения знака ретикла и знака пластины, равной по величине осевой хроматической aberrации проекционного объектива для света совмещения знака пластины и экспонирующего света, что обеспечивает резкое изображение одновременно двух знаков совмещения ретикла и пластины в плоскости телевизионной камеры. Использование данного метода позволило разработать многофункциональную систему совмещения через проекционный объектив, у которой из бюджета погрешности совмещения исключаются ошибки дрейфа масштаба ретикла и ошибки увеличения проекционного объектива, что примерно на 10 % уменьшает погрешность совмещения. Совмещение пластины и экспонирование производится в одной плоскости,

кроме того, знаки совмещения на пластине могут быть не только дифракционными, но и иметь любую форму [1, 18, 22 – 24, 28, 30].

7. Разработан метод определения систематических ошибок системы совмещения без остановки рабочего процесса. Отличительной особенностью метода является использование дополнительного источника света с длиной волны экспонирования, что позволяет в автоматическом режиме измерить реальное смещение изображения знака совмещения в свете с длиной волны совмещения по отношению к координате знака в свете с длиной волны экспонирования. Благодаря этому обеспечивается возможность без остановки рабочего цикла оперативно измерять и учитывать текущие систематические поправки совмещения, что на 8 – 12 % уменьшает погрешность совмещения и увеличивает на 5 – 7 % среднесуточную производительность экспонирующей системы [1, 8, 12, 20, 25 – 27].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Методы, модели и алгоритмы, представленные в диссертационной работе, в совокупности обеспечили впервые в СНГ:

- разработку установки проекционного переноса широкоформатных изображений ЭМ-5034, ЭМ-5134 для производства жидкокристаллических дисплеев [13], поставленную в компанию Samsung Aerospace (Южная Корея);

- разработку установок проекционного переноса широкоформатных изображений ЭМ-5434, ЭМ-5434М для производства печатных плат высокой плотности соединений и подложек для сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла [3, 6, 9, 10], поставлено 5 степперов в Тайвань на заводы Kinsus и Nanya;

- разработку установки проекционного переноса широкоформатных изображений ЭМ-5634 для производства сверхбольших линейных и матричных приборов с зарядовой связью двойного назначения [6, 10, 11, 26], поставлена в Китай на производство China Electronics Technology Group Corporation.

Разработанные и запатентованные в рамках диссертационной работы научно-технические решения рекомендуется использовать в новых разработках проекционного экспонирующего оборудования. Оборудование, созданное на основе результатов, полученных в диссертационной работе, поставлено в страны дальнего зарубежья (Южная Корея, КНР, Тайвань). Объем валютных поступлений составил 3,96 млн дол. США.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы при выполнении отдельного инновационного проекта по созданию новых технологий, приборов, материалов: ОКР «Разработать и освоить производство установки проекционного экспонирования для изготовления печатных плат высокой плотности соединений» в рамках договора № ОП 1-11 от 26.04.2011 г.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах

1. Точность процессов фотолитографии и фотолитографического оборудования / А.С. Агейченко, А.А. Васильев, В.М. Есьман, Я.И. Точицкий // Нано- и микросистемная техника. – 2006. – № 12. – С. 47–52.
2. Агейченко, А.С. Современные методы упаковки интегральных схем Фотолитография и оборудование. / А.С. Агейченко // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2008. – № 4. ч. 1. – С. 98–102.
3. Агейченко, А.С. Современные методы упаковки интегральных схем. Фотолитография и оборудование. / А.С. Агейченко // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2008. – № 6. ч. 2 – С. 54–59.
4. Агейченко, А.С. Устройство для определения плоскости лучшего изображения и масштаба изображения проекционного объектива в реальном времени / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков // Доклады БГУИР. – 2011. – № 2 (56). – С. 96–101.
5. Агейченко, А.С. Новый метод управления профилем боковых стенок фоторезистов / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков // Доклады БГУИР. – 2011. – № 1 (55). – С. 49–54.
6. Специализированное оптико-механическое и контрольно-измерительное оборудование для промышленного производства изделий микросистемотехники / С.М. Аваков, А.С. Агейченко, В.П. Зуев, А.И. Корнелюк, В.Е. Матюшков, В.К. Самохвалов, Я.И. Точицкий, Г.А. Трапашко // Нано- и микросистемная техника. – 2012. – № 8. – С. 7–14.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

7. Ageichenko A., Opto Lithographic technologies for photomasks production and components forming for IC packing by Flip Chip method / A. Ageichenko, S. Avakaw, U. Matsiushkov // The Proceedings of the Symposium of IC China, Shanghai, 1–3 sept. – 2004. – P. 161–168.
8. Агейченко, А.С. Построение системы совмещения степпера с учетом влияния хроматических аберраций / А.С. Агейченко // Приборостроение 2011 : материалы 4-й Международной научно-технической конференции, Минск, 16–18 ноября 2011 г. / БНТУ. – Минск, 2011. – С. 16–17.

Тезисы докладов на научных конференциях

9. Агейченко, А.С. Фотолитографическое оборудование для новой технологии сборки микросхем / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков // Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники : сб. тез. докл. I Междунар. науч.-практ. конференции, Минск, 12–13 октября 2004 г. / ГНПК «Планар». – Минск, 2004. – С. 24–26.

10. Агейченко, А.С. Широкоформатные степперы УП «КБТЭМ-ОМО» концерна «Планар» / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков // Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники : сб. тез. докл. II Международной науч.-практ. конференции, Минск, 20–21 октября 2005 г. / ГНПК «Планар». – Минск, 2005. – С. 8–10.

11. Специализированное оптико-механическое и контрольно-измерительное оборудование для промышленного производства изделий микросистемотехники / С.М. Аваков, А.С. Агейченко, В.П. Зуев, А.И. Корнелюк, В.Е. Матюшков, Я.И. Точицкий // Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники : сб. тез. докл. III Международной науч.-практ. конференции, Минск, 17 октября 2012 г. / ГНПК «Планар». – Минск, 2012. – С. 25–26.

12. Агейченко, А.С. Широкоформатный мультипликатор для производства печатных плат высокой плотности соединений ЭМ-5434М / А.С. Агейченко // Прецизионное оборудование в технологии производства изделий микро- и радиоэлектроники : сб. тез. докл. III Международной науч.-практ. конференции, Минск, 17 октября 2012 г. / ГНПК «Планар». – Минск, 2012. – С. 39–40.

Авторские свидетельства, патенты

13. Устройство широкоформатного экспонирования : пат. 2561 Респ. Беларусь, МПК G03F7/20 / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков, Я.А. Райхман, В.А. Зайцев ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № 960417 ; заявл. 12.08.1996 ; опубл. 30.12.1998 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры/ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – № 4. – С. 183.

14. Проекционная система с увеличением 1^x : пат. 0586062 Кореи, МПК G02B13/00 / А.С. Агейченко, В.И. Цуран, Э.С. Гуревич, Г.И. Тихончук, В.Е. Матюшков ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № 200-0078355 ; заявл. 10.12.2002.

15. Проекционная система с увеличением 1^x : пат. 7267 Респ. Беларусь, МПК G02B13/00 / А.С. Агейченко, В.И. Цуран, Э.С. Гуревич, Г.И. Тихончук, В.Е. Матюшков, А.Л. Богуш ; заявитель Научно-производственное

республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № а20020403 ; заявл. 16.05.2002 ; опубл. 30.09.2005 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 3. – С. 213.

16. Способ покадрового экспонирования пластин : пат. 9959 Респ. Беларусь, МПК G03B27/52 / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков, Моррисон Лянг, Чарлз Као ; заявители Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО», С SUN MFG Ltd (TW). – № а20050514 ; заявл. 26.05.2005 ; опубл. 30.01.2007 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 153.

17. Способ покадрового экспонирования пластин : пат. 1326012 Тайваня, МПК G03B27/52/ А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков, Моррисон Лянг, Чарлз Као; заявители Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО», С SUN MFG Ltd (TW). – № 095105931, заявл. 22.02.2006 ; опубл. 09.01.2007.

18. Проекционная экспонирующая система : пат. 9243 Респ. Беларусь, МПК G02B17/00 / А.С. Агейченко, Г.И. Тихончук, В.Е. Матюшков ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № а20040570 ; заявл. 23.06.2004 ; опубл. 30.04.2007 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 2. – С. 174.

19. Проекционная экспонирующая система : пат. 8951 Респ. Беларусь, МПК G03F7/20 / А.С. Агейченко, В.Е. Матюшков, Э.С. Гуревич, В.М. Есьман, В.Ю. Мощеников ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № а20041043 ; заявл. 16.11.2004 ; опубл. 28.02.2007 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1. – С. 123.

20. Проекционная экспонирующая система : пат. 4940 Респ. Беларусь, МПК G02B17/00 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, О.В. Курахтина ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20080328 ; заявл. 18.04.2008 ; опубл. 30.12.2008 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 6. – С. 216.

21. Устройство для экспонирования толстых слоев фоторезистов : пат. 11179 Респ. Беларусь, МПК G03F7/20 / А.С. Агейченко, А.А. Васильев, В.П. Зуев ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № а20061107, заявл. 08.11.2006 ; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5. – С. 135.

22. Двухкоординатный стол с линейным шаговым двигателем на воздушной подушке : пат. 4640 Респ. Беларусь, МПК H01L21/00 / А.С. Агейченко, Б.Г. Адзериho, Ю.Н. Назаров, И.С. Теплоухов ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20080046 ; заявл. 25.01.2008 ; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – №4. – С. 213.

23. Проекционная экспонирующая система : пат. 12219 Респ. Беларусь, МПК G03F7/20 / С.М. Аваков, А.С. Агейченко, А.А. Васильев, Э.С. Гуревич, В.М. Есьман ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № a20071124 ; заявл. 14.09.2007 ; опубл. 30.08.09 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4. – С. 157.

24. Проекционная экспонирующая система : пат. 6048 Респ. Беларусь, МПК G02B17/00 / А.С. Агейченко ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20090558 ; заявл. 30.06.2009 ; опубл. 28.02.2010 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1. – С. 212.

25. Проекционная экспонирующая система : пат. 7278 Респ. Беларусь, МПК G 02B 17/00 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, А.А. Васильев ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20100898 ; заявл. 26. 10.2010 ; опубл. 30.06.2011 // Афіцыйны бюлетэнь Вынаходства. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – №3. – С. 221.

26. Проекционная экспонирующая система : пат. 7222 Респ. Беларусь, МПК G 02B 17/00 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, И.Т. Трубчик ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u 20100779 ; заявл. 13.09.2010 ; опубл. 30.04.2011 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2. – С. 208.

27. Проекционная экспонирующая система : пат. 16195 Респ. Беларусь, МПК G02B017/00 / А.С. Агейченко ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № a20100648 ; заявл. 30.04.2010 ; опубл. 30.08.2012 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4. – С. 145.

28. Оптическое устройство совмещения установки фотолитографии : пат. 17160 Респ. Беларусь, МПК G03F 7/20 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № a20110507 ; заявл. 19.04.2011 ; опубл. 30.07.2013 //

Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 146.

29. Устройство автоматической фокусировки : пат. 9638 Респ. Беларусь, МПК G03B027/42 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, В.В. Крот ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20130213 ; заявл. 21.05.2013 ; опубл. 30.10.2013 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5 – С. 231.

30. Проекционная экспонирующая система : пат. 9792 Респ. Беларусь, МПК G02B17/00 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, А.А. Васильев ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20130469 ; заявл. 04.06.2013 ; опубл. 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 6 – С. 235.

31. Устройство автоматической фокусировки : пат. 9848 Респ. Беларусь, МПК G03B027/42 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20130636 ; заявл. 31.07.2013 ; опубл. 30.12.2013 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 6 – С. 236.

32. Конструкция оправы для крепления линз с горизонтальной оптической осью : пат. 9887 Респ. Беларусь, МПК G02B007/02 / А.С. Агейченко, Т.В. Карповская, Л.И. Ляшова, В.Ю. Мощеников ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20130556 ; заявл. 01.07.2013 ; опубл. 28.02.2014 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 1 – С. 231.

33. Устройство автоматической фокусировки : пат. 9932 Респ. Беларусь, МПК G03B027/42 / А.С. Агейченко, В.М. Есьман, А.И. Корнелюк, Ю.И. Красневская ; заявитель Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО». – № u20130684 ; заявл. 14.08.2013 ; опубл. 28.02.2014 // Афіцыйны бюл. Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 1 – С. 232.

РЭЗІЮМЭ

Агейчанка Аляксандр Сцяпанавіч

Сістэмы праекцыйнага пераносу шырокафарматных выяваў у тэхналогіі зборкі СВІС метадам перавернутага крышталя

Ключавыя словы: стэппер, фліпчып, фоталітаграфія, праекцыйны перанос выявы, сумяшчэнне, бампінг.

Мэта працы: даследаванне і распрацоўка новых метадаў, алгарытмаў і мадэляў па аптымізацыі праекцыйнага пераносу шырокафарматных выяваў у тэхналогіі зборкі інтэгральных схем метадам перавернутага крышталя для стварэння канкурэнтаздольнага абсталявання.

Метады даследавання і апаратура: матэматычнае і камп'ютэрнае мадэліраванне велічыні дэфармацыі паверхні аптычных кампанентаў, эксперыментальныя даследаванні скажэнняў хвалевага фронту для розных марак аптычнага шкла пры светлавых УФ нагрузках пры дапамозе спецыяльнага тэхналагічнага абсталявання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Разпрацаваны: метады праекцыйнага пераносу выяваў, які забяспечвае зададзеную хібнасць сумяшчэння на падкладках з анізатрапіяй маштабу за кошт фарміравання памераў працоўнага поля праекцыйнага аб'ектыва як функцыі ад зададзенай хібнасці сумяшчэння; метады кіравання вуглом нахілу бакавых сценак фотарэзістаў, заснаваны на фарміраванні зададзеных памераў і формы зрэнкі асвятляльнай сістэмы для спектральных ліній ртутнай лампы; канструкцыя оптаэлектроннай сістэмы для вымярэння плоскасці рэзкай выявы праекцыйнага аб'ектыва ў рэжыме рэальнага часу; метады мацавання лінзы ў металічнай аправе, які забяспечвае захаванне аптычных параметраў праекцыйнага аб'ектыва ў пашыраным дыяпазоне тэмператур; шматфункцыянальная сістэма сумяшчэння праз праекцыйны аб'ектыў з кампенсцыяй восевай храматычнай аберацыі; метады вызначэння сістэматычных памылак сістэмы сумяшчэння без прыпынку рабочага працэсу.

Ступень выкарыстання: на падставе вынікаў працы ў ААТ «КБТЭМ-ОМА» створана канкурэнтаздольнае фоталітаграфічнае абсталяванне праекцыйнага пераносу выявы.

Вобласць прымянення: распрацоўка фоталітаграфічнага абсталявання праекцыйнага пераносу шырокафарматных выяваў.

РЕЗЮМЕ

Агейченко Александр Степанович

Системы проекционного переноса широкоформатных изображений в технологии сборки СБИС методом перевернутого кристалла

Ключевые слова: степпер, флипчип, фотолитография, проекционный перенос изображения, совмещение, бампинг.

Цель работы: исследование и разработка новых методов, алгоритмов и моделей по оптимизации проекционного переноса широкоформатных изображений в технологии сборки интегральных схем методом перевернутого кристалла для создания конкурентоспособного оборудования.

Методы исследования и аппаратура: математическое и компьютерное моделирование величины деформации поверхности оптических компонентов, экспериментальные исследования искажений волнового фронта для различных марок оптического стекла при световых УФ нагрузках при помощи специального технологического оборудования.

Полученные результаты и их новизна: разработаны: метод проекционного переноса изображений, обеспечивающий заданную погрешность совмещения на подложках с анизотропией масштаба за счет формирования размеров рабочего поля проекционного объектива как функции от заданной погрешности совмещения; метод управления углом наклона боковых стенок фоторезистов, основанный на формировании заданных размеров и формы зрачка осветительной системы для спектральных линий ртутной лампы; конструкция оптоэлектронной системы для измерения плоскости резкого изображения проекционного объектива в режиме реального времени; метод крепления линзы в металлической оправе, обеспечивающий сохранение оптических параметров проекционного объектива в расширенном диапазоне температур; многофункциональная система совмещения через проекционный объектив с компенсацией осевой хроматической аберрации; метод определения систематических ошибок системы совмещения без остановки рабочего процесса.

Степень использования: на основании результатов работы в ОАО «КБТЭМ-ОМО» создано конкурентоспособное фотолитографическое оборудование проекционного переноса изображения.

Область применения: разработка фотолитографического оборудования проекционного переноса широкоформатных изображений.

THE SUMMARY

Aheichanka Aliaksandr

Systems of projection large-format images transfer for IC Flip Chip packaging technology

Key words: Stepper, Flip Chip, Photolithography, Projection large area optical imaging, Alignment, Bumping.

Goal of the work: research and development of new methods, algorithms and models to optimize the transfer of large format projection images in IC Flip-Chip Technology for a competitive equipment development.

Research methods and equipment: mathematical and by computer modeling of optical components surface deformation, experimental researches of the wave front distortions for the various kind of an optical glass at UV light loadings by means of the special process equipment.

The received results and their novelty: Are developed: the projection imaging method, that ensures the required alignment accuracy on substrates with anisotropy of the scale due to the shaping of the sizes of the projection lens working field as a function from the given alignment error; the method of photo resist walls angle control that is based on the shaping the defined sizes and shapes of the illumination system pupil for spectral lines of the mercury lamp; the design of the optoelectronic system for measuring the sharp image plane of the projection lens in real-time; the method of lens mount in metal frame that ensures the preservation of the optical parameters of the projection lens in the extended temperature range; the multifunction through projection lens alignment system with axial chromatic aberration compensation; the method of determination the alignment system systematic errors without process stop.

Degree of application: on the basis of results in "KBTEM-OMO" JSC is created competitive photolithography equipment of projection image transfer.

Field of application: development of large area imaging equipment for photolithography.

Научное издание

Агейченко Александр Степанович

**СИСТЕМЫ ПРОЕКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА ШИРОКОФОРМАТНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СБИС МЕТОДОМ
ПЕРЕВЕРНУТОГО КРИСТАЛЛА**

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс»
Уч.-изд. л.

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$
Отпечатано на ризографе.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровка, 6