ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМ. Н. П. ОГАРЕВА»

Факультет светотехнический

Кафедра сервиса

**Реферат**

**Основы фотолитографического процесса**

Автор реферата

А. В. Богданов

Специальность 100101 сервис

Руководитель работы

Е. Г. Алексеев

Саранск

2010

**Содержание**

Введение

1. Формирование слоя фоторезиста. Фоторезисты и их свойства
2. Формирование защитного рельефа
3. Травление подложки с защитным рельефом и удаление защитного рельефа
4. Организация производства фотолитографического процесса

Заключение

Список использованных источников

**Введение**

Фотолитография — процесс формирования на поверхности подложки (или основания изделия) элементов приборов микроэлектроники с помощью чувствительных к высокоэнергетическому излучению (ультрафиолетовому свету, электронам, ионам, рентгеновским лучам) покрытий, способных воспроизводить заданное взаимное расположение и конфигурацию этих элементов. На рис. 1 показано схематическое изображение литографического процесса.

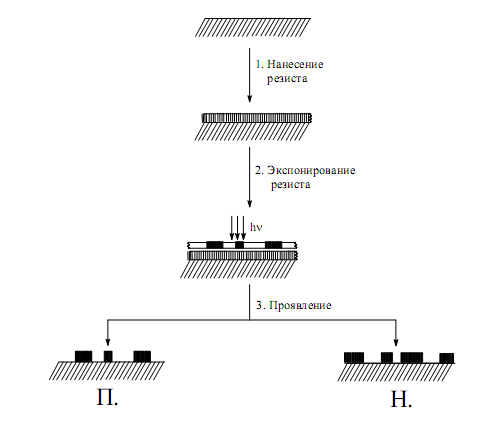


Рис. 2.1. Схематическое изображение типичного фотолитографического процесса: П. и Н. – позитивная и негативная резистная маска.

Поставлены цели: изучить основные этапы процесса фотолитографии, ознакомиться с используемыми материалами и приспособлениями.

**1. Формирование слоя фоторезиста. Фоторезисты и их свойства**

Термином «фоторезисты» обозначают светочувствительные и устойчивые к воздействию агрессивных факторов составы, нашедшие применение в числе прочих для фотолитографии на полупроводниках. Применяемые составы должны обладать, с одной стороны, определенными фотографическими свойствами, а с другой — резистивными, позволяющими выдерживать травление в кислотах и щелочах, нагрев и т. д. Поглощение актиничного излучения, спектральные характеристики чувствительности, резольвометрические характеристики — в этих вопросах фоторезисты близки к хорошо изученным фотоэмульсионным материалам. Основное, однако, назначение фоторезистов заключается в создании защитного рельефа требуемой конфигурации, и в этом отношении они ближе к составам, применяемым в полиграфической технике.

Рельеф образуется в результате того, что под действием актиничного излучения, падающего на определенные участки слоя, последний в общем смысле слова изменяет первоначальные свойства. Появляется дифференцированная растворимость слоя: например, освещенные участки перестают растворяться в растворителе, удаляющем участки слоя, не подвергшиеся освещению. По способу образования рельефа фоторезисты удобно делить на два класса: негативные и позитивные. Различия в поведении фоторезистов обоих классов показаны на рис. 1-1. Негативные фоторезисты под действием актиничного излучения образуют защитные участки рельефа. В результате фотополимеризации, задубливания или иного процесса освещенные участки перестают растворяться и остаются на поверхности подложки. При этом рельеф представляет негативное изображение элементов фотошаблона: под непрозрачными участками фотошаблона фоторезист после обработки в растворителях удаляется, под прозрачными остаются участки, защищающие в дальнейшем от травления. Позитивные фоторезисты, напротив, передают один к одному рисунок фотошаблона, т. е. рельеф повторяет конфигурации непрозрачных элементов шаблона.

Актиничное излучение так изменяет свойства позитивного фоторезиста, что при обработке в соответствующих растворах экспонированные участки слоя разрушаются (вымываются). В основе создания рельефа лежит использование фотохимических реакций, преимущественно фотоприсоединения и фоторазложения. Актиничное излучение создает в слое активные центры; ими могут быть молекулы, которые, поглотив энергию фотонов, претерпевают энергетические превращения, активизируются. Фотохимическая активация, может быть прямой и сенсибилизированной. В первом случае поглотившие излучение молекулы непосредственно вступают в реакцию, например, диссоциируют на атомы или объединяются с другими молекулами. Во втором случае поглотившие излучение молекулы в реакции не участвуют, но передают свою энергию другим молекулам, в обычном состоянии к реакции не способным.

Когда молекула поглощает свет, она выходит из состояния термодинамического равновесия с окружающей средой и поэтому должна терять энергию в одном из трех следующих видов: а) флуоресценции или фосфоресценции, когда вся энергия или часть ее испускается обратно в виде лучистой энергии через малый промежуток времени; б) химической энергии, т. е. путем превращения исходных веществ в новые соединения, и в) тепловой энергии, выражающейся в повышении температуры реакционной системы, или в потере энергии в окружающую среду. Нанесению фоторезиста предшествует обработка подложки, улучшающая сцепление слоя резиста с подложкой (или ухудшающая смачивание подложки травителем). Для этого могут быть использованы простая очистка (обезжиривание) поверхности; физико-химическая обработка, изменяющая свойства поверхности; нанесение связующего подслоя. Для нанесения слоев на подложку можно использовать методы центрифугирования, пульверизации, купания в растворе, полива и т. д. Центрифугирование находит широкое применение в полупроводниковой технологии, так как при сравнительно несложном оборудовании позволяет выдержать колебания толщины слоя в пределах ±10%. Нанесенные на центрифуге слои зачастую содержат характерные дефекты в виде «комет». Эти дефекты возникают, если на поверхности подложки остались посторонние частицы — пыль, грязь и т.д., или сама подложка неоднородна: в пленке окисла встречаются микровключения (например, участки с кристобалитной структурой).

В любом случае на таких местах вязкая масса фоторезиста задерживается и под действием центробежных сил возникают направленные от центра локальные утоньшения или даже разрывы слоя. Немаловажную роль в получении равномерного покрытия играет фильтрация самого фоторезиста. Резисты фильтруют минимум 2—3 раза через стеклянные фильтры Шотта (№ 2, 3); при высокой вязкости применяют вакуумную фильтрацию. Такая очистка позволяет избавиться от инородных частиц, пылинок и др. Более тонкой обработкой, которая устраняет имеющиеся в резистах типа поливинилциннамата субполимерные образования размером порядка 0,5 мкм, является скоростное центрифугирование.

Скорость вращения центрифуги при этом 20 000 об/мин, а время, необходимое для эффективного удаления субполимерных включений, достигает нескольких десятков часов. В процессе эксплуатации вязкость фоторезистов возрастает, в результате чего растет толщина покрытия и может ухудшиться смачивание. Для контроля вязкости пригодны стандартные вискозиметры.Пульверизация резистов считается весьма перспективным методов наиболее удобным для полупроводниковой технологии. Метод пульверизации характеризуется следующими достоинствами: а) хорошо контролируемая толщина пленки, широкие интервалы изменения толщины: от 0,5 до 20 мкм; б) однородность по толщине, отсутствие утолщения на краях, неизбежно получаемого при центрифугировании; в) отсутствие проколов и нарушений пленки, возникающих на дефектах подложки за счет центробежных сил при центрифугировании; г) возможность нанесения слоя резиста на профилированную подложку, в мельчайшие углубления и отверстия подложки; д) сравнительно малый расход фоторезиста; е) высокая производительность и широкие возможности для автоматизации; ж) хорошая адгезия пленки к подложке (лучшая, чем при центрифугировании). В то же время метод пульверизации требует специального подбора растворителей, так как слой не должен стекать по подложке; тщательной очистки резиста и используемого для пульверизации воздуха или газа; наконец, разработки довольно сложного оборудования. Некоторые простейшие методы нанесения фоторезистов — купание в растворе и полив на горизонтальную плоскость, — заимствованы из полиграфической и фотографической техники. При нанесении фоторезиста купанием подложка погружается на несколько секунд, в жидкий фоторезист, после чего извлекается и сушится в вертикальном или наклонном положении.

Избыток резиста стекает и окончательно удаляется с помощью беззольного фильтра. Получаемая пленка клиновидна по толщине: в нижней части подложки слой всегда толще. Этот недостаток ограничивает применение метода купания. Некоторое улучшение однородности по толщине может быть достигнуто повторным купанием, при котором подложка опускается в раствор своей верхней частью. Несомненными достоинствами метода купания являются простота, хорошая адгезия пленки. Иногда полезную роль играет то обстоятельство, что слой наносится сразу на обе стороны подложки. Полив на горизонтальной плоскости обеспечивает лучшую по сравнению с методом купания однородность пленки по толщине (хотя при поливе неизбежно возникают утолщения но краям). Этим методом можно получать толстые слои фоторезиста — до 10—20 мкм, что затруднительно при других методах. Толстые, слои обеспечивают надежную защиту при глубинном травлении; в меза-технологии часто используется метод полива. Приспособления для полива не сложны: платформа с тремя регулировочными винтами или (лучше) подвес маятникового типа с перпендикулярной площадкой. Толщина слоя при поливе регулируется изменением концентрации нанесенного фоторезиста. Операцией, завершающей формирование слоя, является сушка. Общие представления о механизме плёнкообразования основаны на следующих положениях: структура большинства цепных полимеров аморфна; молекулы полимеров имеют клубкообразную форму за счет того, что отдельные звенья молекулы подвижны относительно друг друга; при испарении растворителя пленкообразователи (полимеры) переходят в стеклообразное состояние. Процесс испарения растворителя играет важную роль в образовании пленки. Одним из условий получения качественной пленки является определенная низкотемпературная выдержка после нанесения раствора полимера, необходимая для ориентации макромолекул.

Последующее высушивание пленки при повышенной температуре приводит к интенсивному удалению растворителя. Следует учесть, что при формировании пленки макромолекулы стремятся перейти в устойчивое состояние, т. е. принять такую форму, которая соответствовала бы минимальному значению свободной энергии. Этот релаксационный процесс требует некоторого времени, поэтому слишком быстрая сушка может привести к возникновению напряжений в пленке. Иногда рекомендуется инфракрасная сушка слоя; она эффективна для формирования толстых слоев — порядка 3—5 мкм и выше; для обычных же толщин (0,3—0,4 мкм) различие в методах сушки мало заметно. Хорошие результаты при работе с толстыми слоями позитивных резистов (например, для глубокого травления кремния) дает вакуумная сушка с медленным повышением температуры.

**2. Формирование защитного рельефа**

Одной из важнейших стадий является совмещение изображений на шаблоне и подложке. В любом фотолитографическом методе — контактном, проекционном, и в методе сканирующего луча — необходимым отправным пунктом является некоторый шаблон, образец, содержащий информацию о размерах, расположении, конфигурации и т. д. получаемых изображений.

Чаще всего для этой цели используются пластинки из оптического стекла с полученными фотографическим или иным способом непрозрачными элементами, хотя для решения некоторых задач могут применяться, например, плоские металлические пластинки со сквозными отверстиями.

При наличии современных фоторезистов и отработанной технологии качество фотолитографии во многом определяется качеством фотошаблонов, а производство их является в настоящее время одним из наиболее сложных процессов, связанных с фотолитографией. Сложность изготовления высококачественных фотошаблонов для распространенной в настоящее время контактной фотолитографии определяется их специфическими особенностями:

1. Высокая разрешающая способность. Фотошаблон содержит элементы весьма малых размеров: от 0,1 мкм

2. Большое количество идентичных изображений, количество изображений доходит до 20000.

3. Высокая контрастность изображения, т. е. максимально большая оптическая плотность непрозрачных участков и прозрачность остальных областей, оптические свойства фотошаблонов измеряют в видимом диапазоне, а используют фотошаблоны, как правило в УФ области. Учет спектральных свойств материала фотошаблона является характерной особенностью фотолитографии па полупроводниках.

4. Высокая точность соблюдения размеров элементов и шага между элементами, точность по размерам и точность по шагу определяются необходимостью последовательного совмещения фотошаблонов комплекта. В полупроводниковой технологии в 90% случаев используется не отдельный фотошаблон, а комплект из многих (до 20) фотошаблонов, степень совмещаемости которых целиком зависит от указанных точностей.

5. Высокое качество и однородность, под однородностью при этом понимается равномерно высокое качество всех повторяющихся изображений.

6. Стабильность характеристик (геометрических, оптических и др.). Фотошаблоны, например, не изготовляются на фотопленке (хотя насчитывается немало сортов пленки с весьма высокой разрешающей способностью), так как размеры элементов и взаимное их расположение не должны меняться с изменением влажности и температуры окружающей среды.

7. Высокая устойчивость к истиранию, эмульсионный фотошаблон теряет качества после 20 операций контактной печати, металлизированные, в частности хромовые, фотошаблоны обладают гораздо большей (по некоторым данным в 3000 раз) износоустойчивостью, нежели эмульсионные.

8. Плоскостность рабочей (контактной) стороны шаблона.

Возможны два метода совмещения: базовое и визуальное. При базовом методе шаблоны комплекта укрепляются в специальных приспособлениях — рамках, снабженных установочными микрометрическими винтами. С помощью этих винтов под микроскопом фотошаблоны выставляются таким образом, чтобы элементы их совпадали для всего комплекта. В рамках предусмотрены также фиксирующие упоры или плоскости. На пластинке полупроводника должны быть выполнены особые базовые отметки. Чаще всего от круглой пластинки отрезают сегмент, базой служит получающийся срез. Пластина прижимается двумя точками базового среза и одной точкой окружности к фиксирующим элементам рамки; тем самым положение пластины точно определяется. При повторной фотолитографии пластина устанавливается в рамку со вторым фотошаблоном и снова выставляется фиксирующими элементами в точно такое же положение, как и на первой рамке. Изображения второго фотошаблона в результате совмещаются с изображениями, оставшимися на пластине после первого фотошаблона (и так далее для всех шаблонов комплекта). Базовый метод отличается простотой и высокой производительностью, однако ему свойственны принципиальные ограничения: малая точность и чувствительность к повреждениям пластинки.

Малая точность совмещения объясняется тем, что воспроизводимым образом прижимать пластинку к фиксирующим элементам рамки трудно; метод позволяет реализовать точность порядка ± 10 мкм. Еще более ограничивает применимость метода то обстоятельство, что при повреждении базовых поверхностей пластинка переходит в неисправимый брак. Визуальный метод заключается в том, что изображение на пластине непосредственно наблюдается (под микроскопом) в неактиничном свете и совмещается с изображением на фотошаблоне при помощи, например, микрометрических подач. Собственно, эта же операция визуального совмещения входит неотъемлемой частью и в базовый метод, когда фотошаблоны выставляются в рамках. Экспонирование фоторезиста может осуществляться контактным или проекционным способом. В любом случае под действием актиничного излучения в слое образуются локальные участки с изменившимися свойствами. Выбор источника, пригодного для экспонирования того или иного фоторезиста, определяется спектральным распределением чувствительности данного резиста. Для экспонирования резистов пригодны угольные дуги, ртутно-кварцевые лампы сверхвысокого и высокого давления типа ПРК-2, ПРК-4, СВДШ-250, СВД-120 и др. Зная спектральные характеристики фоторезиста и источников, можно рассчитывать, какой из них наиболее эффективен. Проявление и сушка рельефа. Процесс проявления в любом случае – для негативных или позитивных фоторезистов—заключается в удалении ненужных участков слоя; в результате на поверхности подложки остается защитный рельеф требуемой конфигурации. Однако если у негативных фоторезистов проявление является простым удалением неполимеризованных областей (иногда в том же растворителе, какой использовался для приготовления резиста), то у позитивных проявление связано с химической реакцией превращения инден-карбоновых кислот в растворимые соли. Проявление позитивных слоев — критичный процесс, зависящий от ряда факторов: а) тип проявителя (щелочное соединение, добавки и др.) и его концентрация; б) время и температура проявления; в) дополнительное механическое удаление растворенных участков. Для проявления позитивных фоторезистов на основе хинондиазидов обычно используют сильно разбавленные водные растворы едкого натра или тринатрийфосфата. Некоторые фирмы прилагают к фоторезистам специализированные проявители. Сушка проявленного рельефа отличается от сушки слоя тем, что при ней можно не опасаться теплового сшивания (или разрушения) фоторезиста. Соответственно температура второй сушки задается более высокой — это повышает защитные свойства рельефа.

**3. Травление подложки с защитным рельефом и удаление защитного рельефа**

В полупроводниковой технологии широко распространен химический способ удаления. Это связано с тем, что германий, кремний и окисленный кремний можно обрабатывать в концентрированных кислотах, хорошо разрушающих органические пленки. Существуют универсальные обработки, позволяющие удалять как негативный, так и позитивный фоторезисты. Позитивный резист хорошо удаляется холодным 10—15%-ным раствором едкого кали, однако после этого необходима тщательная отмывка, так как ионы щелочных металлов активно адсорбируются на поверхности подложки.

В планарной технологии, где ионы щелочных металлов могут явиться причиной нестабильности окисловой пассивирующей пленки, удалять рельеф следует кипячением в чистой серной кислоте. В тех случаях, когда обработка в серной кислоте недопустима, например, при удалении рельефа с пленки алюминия, применяют кипячение в органических растворителях, чаще всего трихлорэтилене.

Хорошие результаты обеспечивает длительное набухание рельефа в хлористом метилене (для поливинилциннамата) или смеси диоксана с ацетоном, диоксане (для нафтохинондиазида с новолаком) с последующей протиркой. В комплекты реактивов для фотолитографии, выпускаемые рядом зарубежных фирм, как правило, входят составы для удаления фоторезиста.

**4.** **Организация производства фотолитографического процесса**

В технологии полупроводниковых приборов фотолитография и связанные с нею процессы занимают едва ли не самое значительное место. Создать современный производственный участок фотолитографии сложно и дорого в основном по двум причинам: а) необходима тщательная изоляция от влияния внешней среды и б) требуется сложное и точное оборудование. Пожалуй, ни одна область технологии не требует выполнения стольких условий: обеспыленность, поддержание определенной влажности и температуры, защита от действия света, вибраций и влияния вредных примесей в атмосфере. Известно, например, что при содержании в окружающей среде незначительного количества паров аммиака качество фотолитографии резко ухудшается. Для защиты от большинства внешних влияний и в первую очередь от пыли, фотолитографические процессы проводятся в специальных помещениях, «белых комнатах». Характеристики фотолитографических помещений: температура 22±3,5°С; относительная влажность 25% (в помещениях для диффузии — 50%); смена воздуха от 50 до 55 объемов в 1 ч при добавлении 10% свежего воздуха каждый раз; размер пылинок не более 0,5 мкм. Работники попадают в помещение через специальные воздушные души, снимающие пыль со спецодежды. Сама спецодежда выполняется из моноволокна капрона (нейлона).

Несмотря на такие высокие характеристики помещений, большинство фотолитографических операций проводятся в герметичных скафандрах. Скафандры выполняются из нержавеющей полированной стали и оргстекла. Внутренние углы скафандра должны быть закругленными, чтобы не накапливалась пыль. В наиболее совершенных скафандрах предусмотрено электростатическое удаление пыли. На рис. 3-11 изображена типовая схема производственного участка фотолитографии. Все операции можно разделить на индивидуальные и массовые. К первой группе относятся, безусловно, операции экспонирования и совмещения, в меньшей мере — операция нанесения. Иногда и проявление проводится индивидуальным порядком, например, если применяется вращение пластин или проявителя. Массовые операции — обработка подложек, сушка резиста, травление, удаление резиста.

Производительность фотолитографического участка определяется в первую очередь индивидуальными операциями. Поэтому практически хорошо зарекомендовала себя схема производственного участка с дублируемыми установками нанесения и совмещения. При дублировании возрастает не только производительность, но и надежность работы участка. Для увеличения производительности созданы многошпиндельные центрифуги — для нанесения резиста на три — пять пластин одновременно с регулируемым независимо числом оборотов до 16000 об/мин, а также многопозиционные установки совмещения карусельного типа. Увеличение производительности и переход на полуавтоматическое нанесение резиста обеспечивается применением метода распыления.

Наиболее сложное и прецизионное оборудование требуется на операциях экспонирования и совмещения. Установка экспонирования и совмещения состоит из основных узлов: оптической системы (микроскопа), механизма совмещения и источника ультрафиолетового излучения. На первых стадиях разработки установок совмещения самым трудным представлялось выполнение механизма точных перемещений. В настоящее время положение несколько изменилось: точность совмещения лимитируют микроскопы, от которых требуется переменное увеличение, большие поля зрения и рабочие расстояния, высокая разрешающая способность. В современных установках используются бинокулярные микроскопы с двумя объективами, расстояние между которыми можно менять в пределах от 12 до 25 мм. Увеличение самого микроскопа изменяется от 19-кратного— для грубой наводки при предварительном совмещении, до 1100-кратного — для контроля перемещений порядка долей микрона (±0,25 мкм). Разрешающая способность—не ниже 400 линий на 1 мм; в лучших моделях до 2 000 линий на 1 мм. В установке совмещения требуется большое рабочее расстояние микроскопа. Обычно эта величина составляет 10—35 мм при 100-кратном увеличении.

Механизмы совмещения обычно выполняются трех типов: пантографы, винтовые и кулачковые. Трудно отдать предпочтение какому-либо из них; пантограф, например, удобен тем, что позволяет легче менять передаточное отношение в широких пределах от 30:1 до 100:1; кулачковый механизм удобен в работе и более надежен. Наибольшую точность—до ±0,25 мкм —обеспечивает в настоящее время винтовой механизм, состоящий из двух взаимно перпендикулярных микрометрических подач. Крепление пластины обычно вакуумное, шаблона чаще всего— механическое. Между шаблоном и пластиной при совмещении создается зазор, точно регулируемый в широких пределах (от 0 до 127 мкм). Это позволяет работать с пластинами разной толщины — от 50 мкм до 750 мкм. В некоторых установках регулировка зазора осуществляется автоматически. Иногда для ускорения рабочего цикла применяют предварительное совмещение в отдельной рамке или автоматизируют загрузку и выгрузку пластин. Столик, на котором крепится пластина, самоустанавливающийся, на воздушной подушке. К источнику ультрафиолетового излучения предъявляются такие требования как строгая перпендикулярность светового пучка к пластине, равномерность облученности по полю диаметром 40—60 мм, иногда выделение с помощью фильтров излучения более узкого спектрального диапазона.

Хорошо приспособлены к автоматизация массовые процессы — проявление, промывка, сушка. В последнее время созданы автоматические установки проявления, промывки и сушки, рассчитанные на одновременную обработку 10 и более пластин с фоторезистом. Экспонированные пластины укладываются оператором рабочей поверхностью вверх в дискообразный держатель. После того как оператор загрузил держатель с пластинами в установку, он включает пусковую кнопку, и дальнейшие операции выполняются автоматически. Установка позволяет изменять число и последовательность циклов обработки: проявление — проявление — промывка; промывка — проявление — промывка; проявление—промывка—промывка. В последнем варианте для промывок могут быть использованы два различных состава, например, ацетон и затем спирт. Установка может быть дополнительно оборудована для проведения общим счетом восьми химических циклов. Важно отметить, что любой из перечисленных выше циклов можно выключить из последовательности, а также прервать в требуемый момент времени для визуального контроля пластин. Прерванный цикл продолжается далее автоматически с той же точностью соблюдения времени обработки, поскольку в электронных реле предусмотрена оперативная память.

**Заключение**

Фотолитография занимает центральное место в современной технологии изготовления изделий микроэлектроники. Именно она чаше всего определяет возможность получения того или иного полупроводникового прибора, особенно в том случае, когда размеры элементов топологии прибора, а также толщины его активных слоев близки к критическим, т.е. предельным для современного уровня развития фотолитографии. Можно сказать, что именно успешное развитие фотолитографии было своеобразным «локомотивом», движение которого определяло темпы развития микроэлектроники. Фотолитография обеспечила соблюдение знаменитого закона Гордона Е. Мора, согласно которому плотность компоновки элементов в изделиях микроэлектроники удваивается каждые 18 месяцев.

Успехи фотолитографии во многом определяются культурой фотолитографического производства и продуманностью конструктивных особенностей оборудования, но в большей степени — качеством используемых. Фоторезисты являются материалами, которые должны удовлетворять набору противоречивых требований, а именно обладать высокой чувствительностью к действию актиничного излучения, высокой стойкостью к плазмохимическому травлению, малой дефектностью, высокой контрастностью, низкой чувствительностью к изменению параметров фотолитографического процесса и т.п..

Для успешной разработки фоторезистов и грамотного их использования необходимо глубокое понимание физико-химических механизмов формирования резистных масок в слое резиста.

Все поставленные в самом начале цели достигнуты.

**Список использованных источников**

1. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. Учебник для ВУЗов — М; Радио и связь, 2007 - 464 с: ил.
2. Технология СБИС. В 2 кн. Пер. с англ./Под ред. С. Зи, — М.: Мир, 2006.-786 с.
3. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник. — М.: Радио и связь, 2001.-528 с.
4. Достанко А.П., Баранов В.В., Шаталов В.В. Пленочные токопроводящие системы СБИС. — Мн.: Выш. шк., 2000.-238 с.