

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ НАНЕСЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

А. Н. Анненков, О. В. Белоусова

*Кафедра «Электроэнергетика», sova.ol@mail.ru;
АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий»,
Воронеж, Россия*

Ключевые слова: автоматическая установка нанесения фоторезиста; параметры технологического процесса; рекомендации по проектированию; функциональные технологические модули.

Аннотация: Показано, что обеспечение выпуска продукции микро- и радиоэлектроники с качественно более высокими технологическими нормами возможно за счет разработки автоматизированных установок, выполненных из совокупности ряда функциональных модулей, полностью закрывающих каждую технологическую операцию фотолитографии, размещенных в контролируемой газовой среде; выполнен анализ развития технологии и оборудования фотолитографии, определены требования к параметрам слоя фоторезиста и технологическим режимам для его формирования, дано описание базового технологического процесса и определено влияние различных параметров на него, разработана общая компоновка автоматизированной установки нанесения фоторезиста, а также выработаны практические рекомендации по проектированию данного оборудования.

Введение

Развитие фотолитографического оборудования фактически определяет прогресс на протяжении всего времени существования микро- и радиоэлектроники. Основной характеристикой процесса фотолитографии является разрешающая способность, то есть способность разделять воспроизводить субмикронные, а в последние годы уже нанометровые элементы топологического рельефа. Минимальный размер между элементами топологического слоя на обрабатываемой подложке, называемый топологическим параметром, определяет предельно малые размеры создаваемой элементной базы. Другими словами, технологии фотолитографии и оборудование, на которых они реализованы, в значительной степени определяют технологический и технический прогресс в важнейших производствах.

Фотолитография основана на применении фоторезистов, чувствительных к потоку излучения, которые способны переходить в устойчивое к действию травителей состояние (негативные) или разрушаться (позитивные) [1]. Для получения интегральных микросхем с элементами размером менее микрона, тем более на пластинах большого диаметра, фоторезист должен отличаться хорошей адгезией, давать равномерное покрытие и не содержать загрязнений. Еще одной немаловажной особенностью малых элементов микросхемы является высокая чувствительность к малейшим частицам, загрязняющим поверхность пластины и способным привести ее в негодность. К этому необходимо добавить слежение за техническим процессом нанесения, без чего невозможно получить требуемое качество пленок в течение достаточно продолжительного времени [1, 2].

Основным технологическим оборудованием фотолитографии являются установки совмещения и экспонирования. Остальное технологическое оборудование также является важным, тем не менее, существенно отличаясь по степени сложности. В первую очередь это установки нанесения и проявления фоторезистов; жидкостного химического травления и очистки; сухого плазмохимического травления и очистки и некоторое другое оборудование.

Важной особенностью нанометровой фотолитографии является высокая чувствительность к малейшим частицам, загрязняющим поверхность пластины и способным привести к браку в ходе ее обработки. Наиболее реальный выход из создавшейся ситуации – использование стандартного механического интерфейса, при котором риск загрязнений можно снизить благодаря объединению серии различных операций обработки и транспортировки подложек в единую кластерную систему с контролируемой газовой средой, тем самым повысив выход годных изделий.

На российском рынке оборудования для фотолитографии отсутствует оборудование на кластерной платформе, отвечающее мировому уровню. Подавляющее большинство отечественного фотолитографического оборудования технически соответствует экспериментальному уровню для проведения разработок, оно характеризуется слабыми техническими параметрами, низким уровнем автоматизации.

С точки зрения окупаемости и удовлетворения ряда потребителей в современном высокотехнологичном оборудовании, сегодня актуальна задача разработки автоматизированных установок, выполненных из совокупности ряда функциональных модулей, полностью закрывающих каждую технологическую операцию фотолитографии, размещенных в контролируемой газовой среде. Данный подход отражен в разработках конструкторского бюро технологических машин г. Воронежа (ВКБТМ), входящего в инженерно-технический центр АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий» [3]. В частности, впервые в РФ именно в ВКБТМ разработана автоматизированная установка нанесения фоторезиста в кластерном конструктивном исполнении (с единым объемом контролируемой газовой среды).

В дальнейшем в течение более 10 лет конструкция основных технологических модулей и программное обеспечение системы управления постоянно совершенствовались. За это время на основании государственных контрактов и прямых НИОКР была поставлена целая гамма различных модификаций указанных установок известным предприятиям РФ, нуждающимся в современном высокотехнологичном оборудовании, среди которых можно назвать такие, как ОАО «Лианозовский электромеханический завод» (Лианозовские радары), г. Москва; Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова, г. Санкт-Петербург; АО «Государственный оптический институт им. Вавилова», г. Санкт-Петербург и ряд др.

Требования к параметрам слоя фоторезиста и технологическим режимам для его формирования

Для обеспечения требований технологии проекционной фотолитографии в производстве сверхбольших интегральных схем (СБИС) на пластинах диаметром 150 и 200 мм технологического уровня 65 нм и ниже, необходимо разработать технологический процесс формирования пленок фоторезистов толщиной (0,03...3) мкм и более 3 мкм [4].

При этом должен выполняться ряд требований.

Поверхность пластины должна быть полностью покрыта однородным слоем фоторезиста.

1. Разброс толщин фоторезиста по поверхности пластин
 - не более $\pm 0,0025$ мкм (3σ) для пленок толщиной (0,03...3) мкм;
 - не более $\pm 0,025$ мкм (3σ) для пленок толщиной свыше 3 мкм.

2. Равномерность отмывки краевого валика должна быть менее $\pm 0,3$ мм.
3. Привносимая дефектность операции нанесения по лицевой стороне менее $\pm 0,0003$ частицы/мм² или менее 10 частиц размером более 0,2 мкм.

В автоматической установке нанесения фоторезиста предъявляются высокие требования к однородности толщины нанесения фоторезистивных масок. При нанесении фоторезиста методом центрифугирования:

- скорость вращения центрифуги, рад/с – $1 \dots 1000$;
- равномерность скорости ротора центрифуги, рад/с – $0,1$;
- диапазон регулирования ускорения центрифуги, рад/с² – $(20 \dots 50) \times 10^3$;
- коэффициент линейности динамической характеристики $0,99$;
- точность подачи дозы фоторезиста меньше $\pm 3 \%$.

Кроме того требуется управлять внешними факторами, влияющими на однородность толщины слоя фоторезиста [5, 6], к которым относится поддержание климатических условий (температуры окружающей среды, влажности, воздушного потока).

Условия окружающей среды для формирования фоторезистивных масок:

- чистое помещение;
- температура $T = 20 \dots 25$ °С;
- влажность $H = 40 - 50 \%$;
- изменение температуры ± 1 °/10 мин;
- изменение влажности $\pm 1 \%$ /10 мин;
- диапазон изменений $T \pm 1$ °С, $H \pm 5 \%$.

Особые требования предъявляются к горячим плитам для термообработки пластин, которые могут нести несколько различных функций и быть ориентированы на различные процессы.

Для этого необходимо обеспечить управление граничными значениями температур поверхностей различных плит в интервалах, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны граничных значений температур поверхностей различных плит

Интервал температуры T , °С	Разброс, менее °С
<i>Низкотемпературная горячая плита (ЛНР)</i>	
50,0...90	0,5
90,1...120	0,7
120,1...150	1,0
150,1...200	1,4
<i>Высокотемпературная горячая плита (ННР)</i>	
50,0...120	1,0
120,1...150	1,5
150,1...200	2,0
200,1...300	3,0
300,1...350	5,0
<i>Прецизионная горячая плита (РНР)</i>	
50,0...120	0,2
120,1...150	0,3
150,1...200	0,5
200,1...250	0,6

Для снижения дефектности и проведения последующих операций фотолитографии необходимо обеспечить функцию удаления краевого валика с управляемыми значениями ширины. Для уменьшения дефектности от процессов нанесения и проявления по обратной стороне пластины должна использоваться функция отмывки обратной стороны растворителем.

Описание базового технологического процесса на автоматизированной установке нанесения фоторезиста

Фоторезист подается на неподвижную пластину либо на медленно вращающуюся; растекается на пластине под действием центробежных сил. Когда вся поверхность пластины покрывается резистом, скорость вращения пластины увеличивается.

Большая часть резиста сбрасывается с поверхности пластины в чашу, находящуюся под ней. Предусмотрены специальные системы для отвода жидкого резиста и его паров. На поверхности пластины образуется равномерная по толщине пленка светочувствительного полимера. Резист удаляется и с торца пластины до извлечения ее из модуля.

На качество пленки фоторезиста влияет тип сопла и применяемый метод удержания резиста в трубке. После выдачи резиста оставшаяся в трубке жидкость должна быть удержана. На равномерность пленки определенное влияние оказывают колебания скорости вращения.

Требуемая для получения СБИС равномерность пленок резиста может быть достигнута при наименьших колебаниях скорости. На равномерность пленок существенно влияет ускорение. При увеличении ускорения удается получить более тонкие и максимально равномерные пленки по сравнению с меньшим ускорением при одинаковой конечной скорости.

Для получения на пластинах диаметром 150 и 200 мм пленок с разбросом $\pm 20 \text{ \AA}$, необходимо иметь хорошо работающую вытяжную систему. Растворитель быстро испаряется с поверхности пластины, поэтому если поток воздуха над пластиной не равномерный и не постоянный, то из-за колебаний скорости потока имеют место колебания скорости испарения резиста, что в свою очередь вызывает неравномерность покрытия. Удаление избыточного резиста, загрязняющего все перечисленные части пластины, осуществляется сразу после завершения операции центрифугирования. Резист удаляется на этапе замедления скорости (торможения). Метод удаления – растворение резиста в химических веществах: распылением вещества на обратную сторону пластины достигается его смыв в результате действия капиллярных сил.

Общая компоновка и характеристики автоматической установки нанесения фоторезиста

В состав установки входят модули центрифугирования, инструмента дозирования фоторезиста, подогрева фоторезиста, термообработки, термостабилизации, загрузки/выгрузки пластин; транспортный модуль-манипулятор, а также система управления установкой и защитный бокс. На рисунке 1 показана схема компоновки модулей установки.

Потребительские и технические характеристики установки приведены на сайте ВКБТМ [3]. Они не уступают, а по некоторым параметрам превосходят зарубежные аналоги данной продукции [7]. Система управления установкой – на базе промышленной IBM PC.

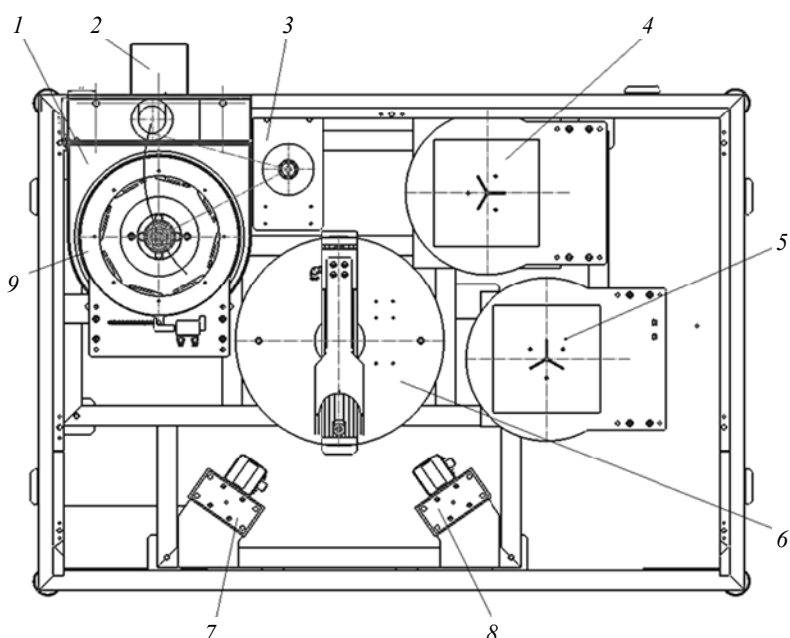


Рис. 1. Схема компоновки модулей установки:

1 – модуль центрифуги; 2 – вытяжной патрубок; 3 – модуль инструмента; 4 – модуль термической сушки (задубливание); 5 – модуль термостабилизации; 6 – транспортный модуль; 7, 8 – загрузочные модули (соответственно заготовки и готовые подложки); 9 – механизм центрирования

Рекомендации по проектированию автоматизированных установок нанесения фоторезиста в кластерном конструктивном исполнении

Важным моментом является скорость выдачи дозы фоторезиста. Наилучшие результаты удастся получить при выдаче резиста без разбрызгивания. При быстрой выдаче сказывается, что резист, попавший на пластину в самом начале цикла, начинает засыхать. Фоторезист в завершающей части подаваемой дозы в определенной мере подсыхает. В результате этого в центре обычно образуется либо выпуклость, либо блюдце (в зависимости от толщины слоя).

На качество пленки фоторезиста влияют также тип сопла и применяемый метод удержания резиста в трубке. После выдачи резиста оставшаяся в трубке жидкость должна быть удержана. Если диаметр отверстия слишком велик, а для отсоса используется слишком большое давление, то в трубке останется тонкая пленка резиста, которая затем засохнет и при очередной подаче дозы попадет на пластину. Если же давление недостаточно, то резист будет падать на поверхность пластины и во время центрифугирования. Избежать это можно, используя перемещающиеся сопла с очень малыми отверстиями, которые к тому же еще и скошены.

Фоторезист растекается на пластине под действием центробежных сил. Когда вся поверхность пластины покрывается резистом, скорость вращения пластины увеличивается с заданным ускорением.

На равномерность пленок существенно влияет ускорение центрифуги и его постоянство. Можно утверждать, что при увеличении ускорения удастся получить более тонкие и равномерные пленки, по сравнению с меньшим ускорением при одинаковой конечной скорости. Также на равномерность пленки определенное влияние оказывают и колебания скорости вращения. Требуемая для получения СБИС равномерность пленок резиста может быть достигнута при колебаниях скорости $\geq \pm 1$ об/мин.

Большая часть резиста сбрасывается с поверхности пластины в чашу, находящуюся под пластиной. Предусмотрены специальные системы для отвода жидкого резиста и его паров. На поверхности пластины образуется равномерная по толщине пленка светочувствительного полимера.

Равномерность нанесения пленки фоторезиста зависит и от формы чаши под пластиной и вокруг нее. Это в значительной степени вопрос аэродинамики. Даже дефлекторное кольцо (кольцо, не позволяющее резисту каким-либо образом вернуться из слива), расположенное в нижней части чаши, может изменить характер истока потока воздуха, если оно установлено не параллельно плоскости пластины, что способно нарушить равномерность потока воздуха над пластиной и привести к колебаниям толщины пленки. Если же скорость пропускаемого над пластиной воздуха контролируется, чаша имеет оптимальную форму, а скорость вращения центрифуги не изменяется, то колебания толщины слоя не превышает $\pm 10 \text{ \AA}$.

Равномерность пленки зависит и от горизонтальности центрифуги. Если установка хотя бы немного наклонена, пластина будет также наклонена, и резист будет иметь возможность стекать на какую-то одну сторону. Обычно оборудование устанавливается правильно, но если по какой-либо причине оно будет смещено, то идет брак.

Важную роль играет центровка пластины. При недостаточно хорошо отцентрированной пластине возникают биения, влияющие на поток воздуха, работу вытяжки и приводящие к сокращению ресурса работы серводвигателя центрифуги. Пластина должна быть хорошо отцентрирована, только тогда можно ожидать воспроизводимости результатов.

В ходе нанесения резиста поток воздуха и скорость потока выхлопных газов контролируются в целях управления процессом испарения растворителя из фоторезиста, так как от этого зависят свойства формируемого слоя, при этом иногда контролируют парциальное давление паров растворителя вблизи поверхности подложки, регулируя в зависимости от него поток выхлопных газов и/или вводя растворитель вблизи поверхности подложки.

Во время нанесения фоторезиста необходимо контролировать влажность. Влага влияет не только на адгезию фоторезиста, но и на сам резист. Позитивный резист наносится на увлажненную поверхность, но при избытке влаги адгезия может недопустимо снизиться. В целом можно утверждать, что влажность менее 50 % наиболее подходящая.

Следует обращать внимание на вытяжную систему. Если резист отводится недостаточно энергично в слив, то его капли могут вновь рикошетом попасть на пластину с нежелательным эффектом. Но это только часть работы вытяжки. Для получения на пластинах диаметром 150 и 200 мм пленок с разбросом $\pm 20 \text{ \AA}$, необходимо иметь высокопроизводительную вытяжную систему.

Растворитель быстро испаряется с поверхности пластины, поэтому если поток воздуха над пластиной не равномерный и не постоянный, то из-за колебаний скорости потока имеют место колебания скорости испарения резиста, что тоже может привести к неравномерности покрытия. Равномерность растет при снижении скорости потока воздуха до достижения такого ее значения, при котором равномерность толщины пленки становится оптимальной. При дальнейшем снижении скорости потока воздуха равномерность толщины пленки вновь ухудшается.

На равномерность влияют колебания давления воздуха в рабочем помещении. Так, если во время центрифугирования будет открыта дверь в помещение с меньшим давлением, то, естественно, упадет давление и в чистой комнате. Если корпус установки недостаточно герметичен, то давление упадет и на центрифуге, растворитель начнет испаряться с другой скоростью и толщина пленки фоторези-

ста изменится. Существуют специальные вентили, которые в реальном масштабе времени компенсируют такие изменения давления, поддерживая его вблизи центрифуги постоянным.

Одним из приемов улучшения качества наносимой пленки является снижение испарения и повышение таким образом равномерности. Для этого можно отключать вытяжку во время подачи резиста и включать ее во время центрифугирования.

Как правило, резист удаляется с торца пластины до извлечения ее из модуля. Обработка краевого валика может осуществляться при помощи специально разработанных для этого блоков. Блоки такого типа изготавливает фирма USHIO America, Inc. Cypress, Calif. Другие производители используют термин Wafer Edge Exposure (WEE) (экспонирование края пластины).

Мнение о необходимости очистки торца пластины разбилось на две противоположные точки зрения. Одни считают, что это необходимо делать для обеспечения максимального процента выхода. Другие – только в случае крайней необходимости. Если объединить вопросы, относящиеся к удалению резиста с обратной стороны пластины, с торца и примерно на расстоянии 1 мм от края пластины, то удаление избыточного резиста, загрязняющего все перечисленные части пластины, осуществляется сразу после завершения операции центрифугирования. Резист удаляется на этапе торможения центрифуги. Метод удаления – растворение резиста в химических веществах. Основная цель всех этих действий – устранение загрязнения. Во время центрифугирования фоторезист затекает на край и под пластину. Затем он засыхает и отрывается на горячих плитах, прилипает к установкам экспонирования и т.д. Распылением вещества на обратную сторону пластины достигается распространение его и вверх в результате действия капиллярных сил. Степень обработки верхней части можно контролировать скоростью вращения пластин. Чем ниже скорость, тем сильнее внедрения вещества в резист. Здесь важно подобрать скорость вращения, которой соответствует оптимальное удаление фоторезиста.

Другой метод, приводящий к хорошим результатам, состоит в том, что на первом этапе пластина вращается с небольшим ускорением до достижения определенной скорости, при которой сбрасывается большая часть резиста. На втором этапе, при разгоне с большим ускорением, сбрасываются остатки резиста и сглаживаются образовавшиеся дефекты на краях пластины. Так удается получить очень ровный край резиста на краю пластины.

На практике имеются установки с фронтальным удалением валика фоторезиста. Сложилось мнение, что этот метод точнее и аккуратнее. Для удаления резиста используется очень тонкая струя растворителя. Такой метод хорош тем, что внедрение растворителя в резист может идти на любую глубину. Известен также метод с фронтальным и тыльным удалением резиста. В них тыльная система очищает обратную сторону, торцы и верхние части, а фронтальная система используется для очистки и придания стенкам отвесности. Но даже при использовании всех этих методов остаются проблемы, которые могут отразиться на работе транспортных систем.

Несмотря на то что большая часть растворителя удаляется на этапе сушки на центрифуге при повышенных оборотах, досушивание сформированной пленки при повышенных температурах гарантирует полное удаление растворителя из резиста и (в некоторых случаях) улучшает адгезию резистивного слоя к нижнему антиотражающему покрытию. Температура на данном этапе зависит от типа резиста, но обычно не более 250 °С. Время операции зависит от температуры и, как правило, не превышает 60 с.

Охлаждение фоторезиста – важный этап для стабильности технического процесса, так как температурно-временной профиль влияет на свойства пленки резиста. Температура обычно поддерживается близкой к температуре окружаю-

шей среды. Время термостабилизации будет зависеть от температуры подложки после выхода с предыдущей позиции, но обычно не превышает 30 с.

Особенностью малых элементов чипа является высокая чувствительность даже к малейшим частицам, загрязняющим поверхность пластины и способным привести ее в негодность. Наиболее реальный выход из создавшейся ситуации – использование стандартного механического интерфейса. Риск загрязнений можно снизить благодаря объединению серии различных операций обработки и транспортировки в единую кластерную систему, тем самым повысив выход годных изделий.

Избежать загрязнений можно только при использовании чистого оборудования, хорошо контролируемого технического процесса, а также чистых фоторезистов и рабочей среды.

Федеральный стандарт США 209E определяет «запыленность» рабочих помещений. Номер класса чистоты помещения – число частиц размером 0,5 мкм в 1 кубическом футе (0,3048 м). В 1 м³ воздуха комнаты класса 10 – не более 300 частиц, а класса 100 – не более 3600 [8].

Для технологии 180 нм приемлемым является обеспечение класса чистоты ISO 1 внутри оборудования фотолитографии. По мере снижения размеров элементов загрязнения становятся все более критичным моментом производства. В субмикронных технологиях частицы сравнимых и даже больших размеров способны легко вызвать повреждения схем. Частицы, присутствующие в фоторезисте, часто вымываются во время проявления, образуя проколы в рисунках.

Чистый резист невозможен без чистых исходных материалов. Так, японская полупроводниковая промышленность достигла больших успехов в очистке резистов в сравнении с другими производителями. Их требования к содержанию ионов металлов в резисте значительно жестче.

Получение очень чистого состава требует применения многочисленных дополнительных операций очистки, а это влечет за собой лишние расходы, которые, в конечном счете, отражаются как на цене фоторезиста, так и цене оборудования для его нанесения.

Кроме того, сам резист способен привести к нежелательным загрязнениям. Выяснилось, что места хранения резиста, находившиеся под центрифугами, являются источниками загрязнений. Фоторезист часто разбрызгивался во время смены бутылей, что приводило к скоплению в таких местах пыли. Засохший резист вместе с пылью попадает в емкости с резистом.

Как правило, фоторезист подается по гибким трубкам, которые часто свиваются в емкостях с резистом. Если при смене емкостей в трубки подачи фоторезиста заходит воздух, это, в конечном итоге, приводит к ухудшению качества нанесения. К этому необходимо добавить засыхание резиста на поверхности трубок в полупустых емкостях. Для борьбы с такими нежелательными явлениями, разработаны специальные устройства извлечения фоторезиста.

Важную роль играет оборудование. В настоящее время разработчики и изготовители оборудования для максимального уменьшения генерируемых загрязнений ведут изготовление машин в чистых помещениях, причем количество движущихся частей стремятся свести к минимуму (так как они способны привести к концентрации частиц). Если без вращающихся или движущихся деталей обойтись нельзя, то они помещаются под поверхность пластин или изолируются так, чтобы генерируемые ими загрязнения не могли попасть на пластину.

Заметна тенденция к замене ременных устройств механизмами подъема и переноса пластин. Ремни могут генерировать статическое электричество, которое в свою очередь способно «захватить» заряженную частицу на поверхность пластины.

Заключение

На основании десятилетнего опыта проектирования, наладки, испытаний, гарантийного и постгарантийного обслуживания широкого ряда конструктивных исполнений автоматизированных установок нанесения фоторезиста в работе сформулированы подробные рекомендации по проектированию установок данного типа, имеющие, по мнению авторов, большую практическую ценность.

В автоматизированной установке нанесения фоторезиста в кластерном конструктивном исполнении предъявляются высокие требования к однородности толщины нанесения фоторезистивных масок, для чего следует управлять внешними факторами, влияющими на однородность толщины слоя фоторезиста. К ним относится поддержание климатических условий (температуры окружающей среды, влажности, воздушного потока).

Особые требования предъявляются к горячим плитам для термообработки пластин, которые могут нести несколько функций и быть ориентированы на различные процессы. Необходим контроль над временем и температурой сушки пленки фоторезиста. При недостаточной температуре и/или времени сушки в пленке сохраняется много остаточного растворителя, что ухудшает стойкость пленки в проявителе. При избыточной температуре и/или времени сушки происходит избыточный термический распад светочувствительного продукта, что также ухудшает разрешение и стойкость пленки.

Для снижения дефектности и проведения последующих операций фотолитографии в установке рекомендуется использовать функцию удаления краевого валика с управляемыми значениями ширины. Для снижения дефектности от процессов нанесения и проявления по обратной стороне пластины в установке следует использовать функцию отмывки обратной стороны на нанесении растворителем.

Автоматизированная установка нанесения фоторезиста в кластерном конструктивном исполнении имеет высокие потребительские и технические характеристики, в частности ускорение центрифуги $(4...6) \times 10^3$ рад/с²; коэффициент линейности скоростной характеристики 0,999 о.е.; среднее время наработки установки на отказ 10 000 ч.

В механизме подачи вакуума на модуль центрифуги использованы специальные уплотнения. В данных уплотнениях рабочим элементом является кольцо с бортиком из коксонаполненного фторопласта с минимальным контактом с валом. Установив два зеркально расположенных уплотнения, удалось значительно снизить трение без существенной потери вакуума в системе ротора, что позволяет работать на установке при выпуске крупной серии продукции в автоматическом режиме без остановки на охлаждение.

В составе транспортного модуля использована оригинальная конструкция манипулятора. Манипулятор содержит вращающееся звено, приводимое в движение электродвигателем, и расположенное на нем звено линейного перемещения с кинематической связью с приводным двигателем посредством зубчатого ремня. Транспортный модуль-манипулятор состоит из опорной плиты, которая крепится непосредственно к каркасу установки. Под плитой на опоре установлен серводвигатель, который передает вращение манипулятору при помощи шестеренчатой передачи. На манипуляторе установлен рабочий орган – схват вилкообразной формы, удобный для транспортировки и позиционирования полупроводниковых пластин, который может горизонтально перемещаться с помощью второго серводвигателя через зубчатую ременную передачу. На схвате расположен закрытый канал, выходящий к трем отверстиям, через которые подается вакуум для удержания подложки. Снизу на плите установлены датчики и концевой выключатель, связанные с серводвигателем, отвечающим за поворот манипулятора и опреде-

ляющие начальную точку положения манипулятора со схватом в пространстве. Программное обеспечение позволяет поворачивать манипулятор на заданный угол, выдвигать схват на заданное расстояние, включать или выключать вакуум. Выбранная конструкция манипулятора обеспечивает механизму наработку на отказ не менее 10 000 ч.

В резистивных нагревателях с тепловой подачей от проволоки высокого сопротивления с миканитовой (или слюдяной) изоляцией обеспечена надежная электрическая изоляция при высоких рабочих температурах и, одновременно, высокоэффективная теплопередача, то есть гарантирован повышенный ресурс работы. В установке применена высокоточная система дозирования компании Nordson, которая включает в себя пневмоклапан и микроконтроллер.

Список литературы

1. Фавини, К. Выбор фоторезиста для различных технологий. – Текст : электронный / Ф. Карло, EIGA Europe // Контракт Электроника. – URL : <https://www.contractelectronica.ru/articles/12-pechatnye-platy/vybor-fotorezista-dlya-razlichnykh-tehnologij-proizvodstva-pechatnykh-plat> (дата обращения: 15.02.2022).
2. Зеленцов, С. В. Современная фотолитография / С. В. Зеленцов, Н. В. Зеленцова. – Н. Новгород : Изд-во Нижегородского гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского, 2006. – 56 с.
3. Установка нанесения фоторезиста автоматическая // Конструкторское бюро технологических машин (КБТМ). – URL : <http://vkbtm.ru/catalog/cpf150a> (дата обращения: 15.02.2022).
4. Tyona, M. D. A Comprehensive Study of Spin Coating as a thin Film Deposition Technique and Spin Coating Equipment / M. D. Tyona // *Advances in Materials Research*. – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 181 – 193. doi: 10.12989/amr.2013.2.4.181
5. Mammeri, F. Nanostructured Flexible PVDF and Fluoropolymer-Based Hybrid Films / F. Mammeri // *Frontiers of Nanoscience*. – 2019. – Vol. 14. – P. 67 – 101. doi: 10.1016/B978-0-08-102572-7.00003-9
6. Huerta, H. Spin-Coater Machine Control Via Passivity with Sliding Modes / H. Huerta, N. Vazquez // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 9760 – 9769. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2965188
7. Полуавтоматическая установка нанесения фоторезиста НФ-150П. Оборудование фотолитографии. – Текст : электронный // Сайт НИИПМ. – URL : <http://vniiipm.ru/ru/produkcija/product/view/3/4> (дата обращения: 15.02.2022).
8. Bearda, T. Overview of Wafer Contamination and Defectivity. Part I: Introduction and Overview / T. Bearda, P. W. Mertens, S. P. Beaudoin // *Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology Book*. – William Andrew, 2008. – P. 93 – 164. doi: 10.1016/B978-081551554-8.50005-7

Analysis of an Automated Installation for Applying Photoresist as a Control Object

A. N. Annenkov, O. V. Belousova

*Department of Electric Power Engineering, sova.ol@mail.ru;
International Institute of Computer Technology, Voronezh, Russia*

Keywords: automatic installation for applying photoresist; technological process parameters; design recommendations; functional technological modules.

Abstract: The production of micro- and radioelectronics products with qualitatively higher technological standards is possible through the development of automated installations made from a combination of a number of functional modules that completely cover each technological operation of photolithography, placed in a controlled gas environment; the analysis of the development of technology and equipment for photolithography was carried out, the requirements for parameters of the photoresist layer and technological modes for its formation were determined, the description of the basic technological process was given and the influence of various parameters on it was determined, the general layout of the automated installation for applying photoresist was developed, and practical recommendations for the design of this equipment were developed.

References

1. <https://www.contractelectronica.ru/articles/12-pechatnye-platy/vybor-fotorezista-dlya-razlichnykh-tehnologij-proizvodstva-pechatnykh-plat> (accessed 15 February 2022).
2. Zelentsov S.V., Zelentsova N.V. *Sovremennaya fotolitografiya* [Modern photolithography], Nizhny Novgorod: Izdatel'stvo Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo, 2006, 56 p. (In Russ.)
3. <http://vkbtm.ru/catalog/cpf150a> (accessed 15 February 2022).
4. Tyona M.D. A Comprehensive Study of Spin Coating as a thin Film Deposition Technique and Spin Coating Equipment, *Advances in Materials Research*, 2013, vol. 2, no. 4, pp. 181-193, doi: 10.12989/amr.2013.2.4.181
5. Mammeri F. Nanostructured Flexible PVDF and Fluoropolymer-Based Hybrid Films, *Frontiers of Nanoscience*, 2019, vol. 14, pp. 67-101, doi: 10.1016/B978-0-08-102572-7.00003-9
6. Huerta H., Vazquez N. Spin-Coater Machine Control Via Passivity with Sliding Modes, *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 9760-9769, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2965188
7. <http://vniipm.ru/ru/produkcija/product/view/3/4> (accessed 15 February 2022).
8. Bearda T., Mertens P.W., Beaudoin S.P. *Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology Book*, William Andrew, 2008, pp. 93-164, doi: 10.1016/B978-081551554-8.50005-7

Analyse der automatisierten Installation des Aufbringens des Fotolacks als Kontrollobjektes

Zusammenfassung: Es ist gezeigt, dass die Bereitstellung von Mikro- und Funkelektronik mit qualitativ höheren technologischen Standards durch die Entwicklung automatisierter Anlagen aufgrund der Ausführung aus einer Reihe von funktionellen Modulen, die jeden technologischen Vorgang der Fotolithographie vollständig abdecken und in einer kontrollierten Gasatmosphäre platziert sind, möglich ist. Es ist eine Analyse der Entwicklung von Technologie und Ausrüstung für die Fotolithografie durchgeführt, die Anforderungen an die Parameter der Fotolackschicht und die technologischen Modi für ihre Bildung sind bestimmt, die Beschreibung des grundlegenden technologischen Prozesses und des Einflusses verschiedener Parameter darauf ist gegeben und der Einfluss von verschiedenen Parametern auf ihn ist festgelegt, das allgemeine Layout der automatisierten Anlage zum Aufbringen von Fotolack ist entwickelt und praktische Empfehlungen für die Gestaltung dieser Ausrüstung sind gegeben.

Analyse de l'installation automatisée de l'application de photorésist en tant qu'objet de contrôle

Résumé: Est montré que l'assurance du lancement de la production de la micro-électronique et de la radio-électronique avec des normes technologiques qualitativement plus élevées est possible grâce à l'élaboration des installations automatisées réalisées à partir de l'ensemble des modules fonctionnels qui forment entièrement chaque technologie de l'opération de photolithographie, placés dans le milieu gazeux contrôlé; est effectuée l'analyse du développement de la technologie et de l'équipement de la photolithographie; sont définis les paramètres de la couche de résine photosensible et les régimes technologiques de la formation. Est donnée une description de base des processus; est définie l'influence de différents paramètres. Est élaborée la disposition générale d'une installation automatisée et sont également formulés des recommandations pratiques sur la conception de l'équipement.

Авторы: *Анненков Андрей Николаевич* – доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе; *Белусова Олеся Владимировна* – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика», АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий», Воронеж, Россия.