

Технологии сушки фоторезиста

Технологический процесс сушки фоторезиста на нагревательной плите получил широкое распространение в начале 1980-х годов. До этого основным способом сушки различных покрытий была сушка в конвекционных печах, в которых весьма сложно создать равномерное распределение температуры по внутреннему объему (рис. 1), что может оказывать отрицательное влияние на качество пленки после сушки и на повторяемость процесса.

Александр Сидоров

micro@ostec-group.ru

Процесс сушки на нагревательных плитах имеет несколько преимуществ по сравнению с процессом сушки в конвекционных печах. Во-первых, это существенное увеличение производительности. Во-вторых, увеличение воспроизводимости процесса. В-третьих, снижение уровня загрязнения поверхности частицами, благодаря существенному сокращению времени процесса.

Для выполнения процесса сушки на нагревательной плите необходимо положить подложку на нагреваемую до заданной температуры поверхность нагревательной плиты. Поверхность подложки очень быстро нагревается до температуры, чуть меньшей, чем температура поверхности нагревательной плиты, из-за тепловых потерь. Время типового процесса сушки фоторезиста на нагревательной плите составляет около 1 мин. Для сравнения: процесс сушки идентичной подложки с таким же слоем нанесенного материала в конвекционной печи занимает 30 мин и больше.

Параметры, влияющие на процесс сушки

Типовой процесс сушки на нагревательной плите состоит из нескольких этапов: предварительный прогрев поверхности плиты до заданной температуры, загрузка подложки на поверхность, выдержка (сушка) подложки в течение заданного времени и снятие под-

ложки с поверхности плиты сразу по истечении заданного времени.

Таким образом, основными параметрами процесса сушки на нагревательной плите являются температура нагревательной плиты и время сушки. От правильного подбора этих параметров зависит качество этого процесса.

Температура сушки

Выбор температуры нагревательной плиты в каждом конкретном случае зависит от большого количества факторов, ключевыми из которых являются:

- материал подложки;
- материал, нанесенный на подложку;
- желаемый результат.

В общем случае сушка фоторезиста проводится при температуре нагревательной плиты, которая выше, чем температура, применяемая для аналогичной подложки со слоем нанесенного материала при сушке в конвекционной печи. Нагрев материала, нанесенного на подложку, осуществляется до температуры, меньшей (порядка 10 °С), чем температура нагревательной плиты. Например, при температуре нагревательной плиты 115 °С слой фоторезиста, нанесенного на кремниевую подложку толщиной 0,5 мм, уже через несколько секунд нагреется до своей стационарной температуры, равной 105 °С. Понятно, что для нагрева до той же температуры подложек большей толщины и/или подложек с меньшим коэффициентом теплопроводности потребуются нагреть плиту до большей температуры.

Необходимость увеличения производительности линий также оказывает свое влияние на процесс сушки, так как при более высоких температурах процесс проходит быстрее. При использовании конвекционных печей очень часто просто невозможно увеличить температуру сушки, так как возникает проблема, называемая «поверхностный эффект» (рис. 2).

Это происходит из-за того, что поверхностный слой фоторезиста быстро высыхает и не дает растворителю испаряться из нижних слоев. При использовании конвекционных печей для борьбы с этим явлением необходимо уменьшать температуру сушки,



Рис. 1. Пример распределения температуры по внутреннему объему конвекционной печи



Рис. 2. «Поверхностный эффект» при сушке в конвекционных печах



Рис. 3. Отсутствие поверхностного эффекта при сушке на нагревательной плите

что ведет к увеличению времени сушки до часа и более. При использовании нагревательных плит нанесенный слой нагревается в направлении снизу вверх, что позволяет избежать образования такого высушенного поверхностного слоя (рис. 3), и, следовательно, происходит нормальное испарение растворителя из всего слоя фоторезиста. Благодаря этой особенности процесса сушки на нагревательной плите можно увеличить температуру, что сократит время сушки (до нескольких десятков секунд) без риска образования пузырей и трещин в слое фоторезиста.

Время сушки

Теплофизические свойства подложек и способ сушки оказывают существенное влияние на время выхода температуры подложки и нанесенной пленки на стационарный уровень. Для более толстых подложек (особенно при сушке с микрозазором) потребуется увеличить время, необходимое для нагрева пленки до стационарной температуры. Важным фактором, обеспечивающим качество сушки, является то, что основные процессы при сушке проходят именно после нагрева подложки и нанесенного материала до стационарной температуры (рис. 4). Например, стандартная кремниевая подложка толщиной 0,5 мм нагревается до ста-



Рис. 4. Типовой профиль температуры на поверхности подложки

ционарной температуры сушки за несколько секунд, а время сушки фоторезиста, нанесенного на такую кремниевую пластину, при правильно выбранной температуре обычно составляет 60–90 с.

При использовании более толстых подложек (фотошаблонов, керамических подложек) время, необходимое для нагрева подложки, увеличивается, а следовательно, и весь процесс сушки будет длиться около пяти минут. При сушке таких подложек можно увеличить температуру, тем самым сократив время процесса, но при этом есть риск ухудшения его воспроизводимости.



Рис. 5. Пример сложноповторяемого процесса сушки

Если время сушки очень мало, то большая часть процесса протекает при нагреве и охлаждении подложки (то есть при нестационарном процессе), что соответствует этапам загрузки и выгрузки подложки. Такой нестационарный процесс сложно воспроизвести, так как очень тяжело обеспечить воспроизводимость процессов загрузки и выгрузки подложек (рис. 5).

Таким образом, отношение температуры сушки и времени сушки можно считать «дозой» термического воздействия и обобщенно выразить следующей зависимостью: «температура сушки» × «время сушки». Увеличение температуры сушки влечет сокращение времени этого процесса. Предельными значениями этих параметров можно считать те значения, при которых процесс становится

невоспроизводимым, либо при достижении физического температурного предела материала резиста или подложки.

Методы сушки

Кроме температуры и времени сушки, есть еще один фактор, влияющий на процесс сушки — это метод. Существует три метода сушки фоторезиста на нагревательных плитах:

- сушка с жестким контактом;
- сушка с мягким контактом;
- сушка с микрозазором.

Сушка с жестким контактом

При сушке с жестким контактом осуществляется дополнительный прижим подложки к поверхности нагревательной плиты посредством вакуума, создаваемого через специальные отверстия в нагревательной плите, расположенные под подложкой (рис. 6). Такой метод сушки предпочтителен для сушки кремниевых пластин и других плоских подложек, для которых допустим контакт с обратной стороной подложки.

Сушка с мягким контактом

При сушке с мягким контактом подложка прижимается к поверхности нагревательной плиты только собственным весом, без дополнительного прижима (рис. 7). В общем случае этот метод не позволяет добиться столь высокой равномерности нагрева подложки, как при сушке с жестким контактом.

Сушка с микрозазором

Микрозазор между подложкой и поверхностью нагревательной плиты можно создавать двумя способами:

- подачей сжатого воздуха (или азота) через отверстия в нагревательной плите (обычно те же, что используются для создания вакуума) (рис. 8);
- использованием поднимающих штифтов с электроприводом на основе шагового двигателя.

Обычно при такой сушке необходимо обеспечить микрозазор 25–100 мкм. Использование этого метода сушки позволяет снизить скорость нагрева подложки по сравнению с контактными режимами сушки, что в ряде случаев предпочтительнее (особенно при сушке толстых слоев резистов, когда возникает риск образования пузырей, а также при работе с подложками из хрупких и чувствительных к быстрому перепаду температур материалов).

Кроме того, необходимо отметить, что сушка с микрозазором незаменима в тех случаях, когда нельзя дотрагиваться до обратной



Рис. 6. Жесткий контакт



Рис. 7. Мягкий контакт


Рис. 8. Сушка с микроззором

Рис. 9. Система нанесения/проявления фоторезиста с интегрированными нагревательными плитами

стороны подложки. Примером таких подложек являются стеклянные фотошаблоны.

Приведенные в таблице режимы сушки некоторых материалов показывают, что применение технологии сушки на нагревательных плитах предпочтительнее по сравнению с сушкой в конвекционных печах благодаря существенному (например, 30 с вместо 30 мин) сокращению времени процесса. Очевидно, что, если отечественные предприятия, все еще применяющие технологию сушки в конвекционных

печах, перейдут на технологию сушки на нагревательных плитах, то это существенно сократит производственный цикл изделий, а также во многих случаях решит ряд технологических проблем.

Компания ЗАО Предприятие Остек предлагает широкий спектр оборудования, которое позволит внедрить технологию сушки фоторезиста на нагревательных плитах в технологический процесс. Предприятие Остек предлагает, во-первых, системы нанесения/проявления

Таблица. Режимы сушки для различных материалов

Группа материалов	Сушка в печи	Сушка на нагревательной плите
Позитивный фоторезист	90 °С, 30 мин	115 °С, 30 с (жесткий контакт)
Полиамид Альфа	90 °С, 30 мин	150 °С, 15 с (с микроззором)
Полиамид Бета	135 °С, 30 мин	150 °С, 90 с (жесткий контакт)


Рис. 10. Настольная установка сушки фоторезиста: а) с одной плитой; б) с двумя плитами и независимым управлением

фоторезиста с интегрированными нагревательными плитами, например, системы EVG 150 производства компании EVGroup (рис. 9), применяемые в крупносерийном и массовом производстве, а во-вторых, отдельные установки сушки и дубления фоторезиста настольного типа, например, установки See 1300 производства компании Brewer Science (рис. 10), применяемые в мелкосерийном и даже экспериментальном производстве.