

УФ-НАНОИМПРИНТНАЯ ФОТОЛИТОГРАФИЯ

С МЯГКИМИ ШТАМПАМИ

В последние годы стандартная литография достигла пределов своих возможностей – влияние дифракционных эффектов, искажающих получаемые структуры, усложнение проекционной оптики, необходимость повышения точности изготовления масок для создания все более малых элементов и, как следствие, существенное удорожание и без того недешевого оборудования – все это препятствует дальнейшему развитию стандартных систем фотолитографии. На таком фоне все большее развитие получают сравнительно недорогие системы, использующие технологию получения микро- или нанооттисков.

Наноимпринтная литография (НИЛ) – недорогая технология получения технологического рисунка с высоким разрешением и на больших площадях.

Ключевые преимущества НИЛ-технологии – минимальный размер получаемых структур, высокая точность и воспроизводимость при переходе от пластины к пластине и повторяемость по всей их площади.

Наиболее широко распространены три метода НИЛ – термоконтатная литография, УФ-наноимпринтная фотолитография и микроконтатная печать (рис.1). Все эти три метода могут быть использованы для получения элемента размером менее 100 нм.

В технологии термоконтатной литографии полимер, из которого получается масочный рисунок, нагревается выше температуры стеклования, после чего при высоком контактом усилии взаимодействует со штампом.

УФ-наноимпринтная фотолитография протекает при комнатных температурах и низких контактных усилиях прижима штампа.

То же самое происходит при микроконтатной печати, однако технологический рисунок в этом случае формируется методом переноса вещества с мягкого штампа на пластину или подложку.

НИЛ-методы получили в настоящее время широкое применение в ряде областей производства электронных компонентов – в полупроводниковых технологиях, оптоэлектронике, биотехнологиях.

УФ-НИЛ – одна из наиболее известных технологий этой группы, используется для получения структур на всей поверхности пластин диаметром до 300 мм. Она сочетает в себе несколько важных особенностей – высокий уровень повторяемости и точность ориентации элементов на пластине, что обеспечивает одновременное нанесение микро- и наноструктур, а также длительный срок службы используемых штампов, поскольку в техпроцессе последние не подвергаются воздействию высоких температур и давления. Как следствие эта технология является наиболее предпочтительным и сравнительно дешевым решением для научно-исследовательских



Рис.1 Методы наноимпринтной литографии



Рис.2 Мягкий полидиметилсилоксановый штамп на стеклянной пластине-носителе

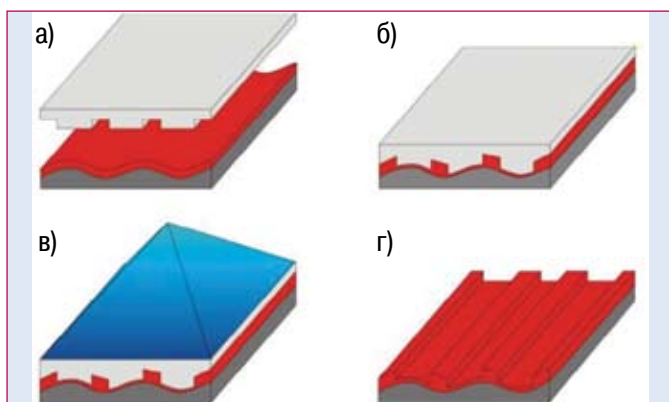


Рис.3 Технология УФ-НИЛ: а) центрифужное нанесение фоторезиста; б) получение функционального рисунка; в) экспонирование фоторезиста УФ-излучением сквозь прозрачный ПДМС-штамп; г) отвод штампа

центров и мелкосерийных производств при создании ими на пластинах структур в нанометровом диапазоне.

Для изготовления на пластине масочных структур из УФ-чувствительного фоторезиста в УФ-НИЛ могут применяться два вида штампов – жесткие из кварца и мягкие. Последние вследствие ряда особенностей привлекают сегодня серьезное внимание специалистов.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА

Любая полупроводниковая пластина не является идеально ровной, поэтому использование жестких штампов для получения отпечатка сразу по всей ее площади невозможно, и максимальный размер используемых в настоящее время кварцевых штампов составляет 25x25 мм. Как следствие для



Рис.4 Система EVG620 для УФ-наноимпринтной фотолитографии



Рис.5 Система EVG IQ Aligner

создания при их помощи рисунка на всей пластине применяется метод последовательного переноса изображения.

Мягкие штампы изготавливают из специального эластомера – полидиметилсилоксана (ПДМС), который способен принимать точную форму поверхности пластины, компенсируя любые ее неровности и, тем самым, позволяя наносить рисунок на всю поверхность пластины всего лишь за один отпечаток.

Такой метод предпочтительнее, чем метод УФ-НИЛ с жесткими штампами, когда необходимо получать непрерывный рисунок по всей площади пластины, исключая швы и возможные неточности совмещения двух соседних рисунков, возникающих при использовании метода переноса изображения. В оптоэлектронике, например, при производстве волноводов такие неточности недопустимы.

Для производства мягких ПДМС-штампов в отличие от сложных и дорогих жестких кварцевых штампов, производимых с использованием систем электронно-лучевой литографии и реактивного ионного травления, применяется силиконовый штамп-шаблон, который можно использовать много раз. На рис.2 представлен такой мягкий штамп.

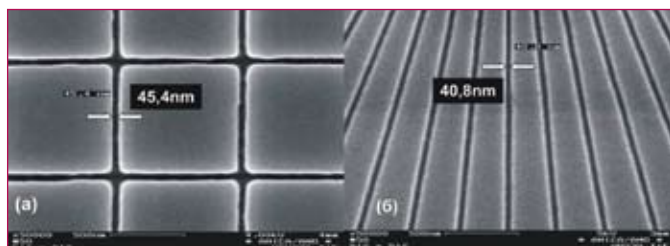


Рис.6 Структуры с высоким разрешением, полученные при использовании ПДМС-штампа: а) ячеистая структура со стенками толщиной 45 нм; б) радиально расходящиеся из общего центра линии толщиной 41 нм

Фоторезистивный материал, используемый в УФ-НИЛ, обычно состоит из органического/неорганического компаунда с низкой вязкостью, смешанного с фоточувствительным веществом и разбавленного в нужной пропорции органическим растворителем для достижения при центрифужном нанесении необходимой толщины фоторезистивного слоя. При этом важно, чтобы ни один из компонентов фоторезиста не вступал во взаимодействие с ПДМС-материалом штампа.

Стандартный УФ-НИЛ процесс состоит из следующих этапов (рис.3) – фоторезист наносится на поверхность пластины или подложки, на которой необходимо получить требуемую структуру (рис.3а). Структура формируется посредством мягкого ПДМС-штампа, легко изменяющего свою форму под неровности поверхности пластины даже при очень низких усилиях прижима (рис.3б). Далее проводится прямое экспонирование резиста УФ-излучением сквозь прозрачный штамп (рис.3в). После отвода штампа (рис.3г) на пластине остается готовая твердая структура.

Примеры УФ-НИЛ систем представлены на рис.4 и 5. Для мелкосерийного и опытно-конструкторского производства предназначена установка совмещения и экспонирования EVG620 производства австрийской компании EV Group, оснащенная специальным набором опций (рис.4).

Система полуавтоматическая, загрузка и выгрузка пластин и штампов осуществляется оператором вручную, а дальнейшие шаги технологического процесса – компенсация клиновидности подложки (непараллельность ее верхней и нижней сторон), совмещение штампа и подложки, получение отпечатка и отвод штампа – выполняются в автоматическом режиме. Эта система предназначена для работы с пластинами диаметром до 150 мм.

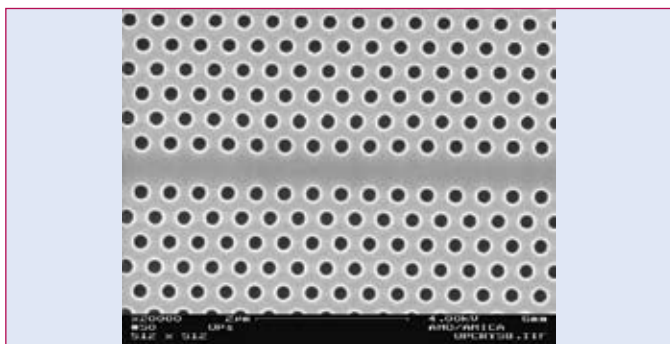


Рис.7 Волноводная структура фотонного кристалла, изготовленная при использовании мягкого штампа



Рис.8 Системы НИЛ компании EVGroup

На рис.5 представлена полностью автоматическая система EVG IQ Aligner, предназначенная для работы с пластинами диаметром до 300 мм.

Разрешение процесса напрямую зависит от материала используемого штампа. Так, на рис.6 показаны 50-нм структуры, полученные при использовании мягкого ПДМС-штампа.

Хотя максимальное разрешение процесса составляет менее 50 нм, в настоящее время УФ-НИЛ наиболее широко используется для получения структур с размерами от 20 мкм до 200 нм для создания микрооптических устройств, фотонных и микрожидкостных элементов, широкого спектра всевозможных сенсорных структур. На рис.7 представлена полученная методом УФ-НИЛ в слое фоторезиста толщиной 200 нм секция волноводной структуры фотонного кристалла с периодом 400 нм.

Подытоживая вышесказанное, следует отметить, что НИЛ – это многообещающая технология производства структур на пластинах как микрометрового, так и нанометрового диапазонов.

Достоинства УФ-НИЛ, начиная от протекания процесса при комнатных температурах и заканчивая низкими (менее 1 бара) усилиями прижима штампа, позволяют получать структуры с высочайшей точностью и увеличивать производительность используемых УФ-НИЛ-систем. Применяемые мягкие штампы компенсируют неровности и изгибы поверхности пластины и дают возможность наносить рисунок на всю ее поверхность за один технологический цикл, обеспечивая очень высокое разрешение (менее 50 нм) на всей площади пластины.

Подробнее с номенклатурой оборудования для нанопринтной фотолитографии компании EVG (рис.8), включающей системы как для опытного, так и для серийного производства, можно ознакомиться на сайте ЗАО Предприятие Остек: www.ostec-micro.ru.