

неполное удаление оксида кремния, островки оксида кремния, растрав технологического слоя, а также цвета побежалости на пластине. Выявлены причины их возникновения: нарушение состава травителя, неравномерность толщины оксида кремния, нарушение структуры SiO₂, а также человеческий фактор.

Результатом устранения данных дефектов можно назвать усиленный контроль за параметрами технологической операции жидкостного травления оксида кремния и факторами, которые влияют на её качество.

ЛИТЕРАТУРА

1 Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на кремнии. В 3 т.Т.2 / О. Ю. Наливайко [и др]. – Минск : Интеграл-полиграф, 2013. - 736 с.

2 Ануфриев, Л. П. Технология изделий интегральной электроники / Л. П. Ануфриев, С. В. Бордисов, А. П. Достанко. – Минск : Амалфея, 2010. - 535 с.

3 Готра, З. Ю. Технология микроэлектронных устройств / З. Ю. Готра. – М. : Радио и связь, 1991. - 528 с.

4 Камлюк, В. С. Технологическое оборудование для микроэлектроники / В. С. Камлюк, Д. В. Камлюк. – Минск : РИПО, 2014. - 391 с.

5 Малышева, И. А. Технология производства интегральных микросхем: / И. А. Малышева. - М. : Радио и связь, 1994. - 344 с.

6 Парфенов, О. Д. Технология микросхем / О. Д. Парфенов. – М. : Высшая школа, 1997. - 266 с.

УДК 621.382.049.77-027.3:763

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЯ ФОТОРЕЗИСТА ДЛЯ СБИС НА УСТАНОВКЕ DNS-80

*Учащийся группы 36В4б Боровский А.С.,
преподаватель Лаврова Л.К.*

Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»

Введение. В современной технологии изготовления микроэлектронных изделий немаловажную роль занимает фотолитография. Именно она чаще всего определяет возможность получения того или иного полупроводникового приборов и интегральных микросхем. Так же на долю фотолитографии приходится более половины производственных затрат.

Успешное развитие фотолитографии определяется темпом и прогрессией микроэлектронных технологий. Она во многом зависит от совершенства оборудования, а также от качества используемых материалов. Современная фотолитография идет по пути уменьшения размеров элементов, а также получения субмикронных размеров элементов. На это может влиять множество

факторов и один из главных - это качество сформированной пленки фоторезиста.

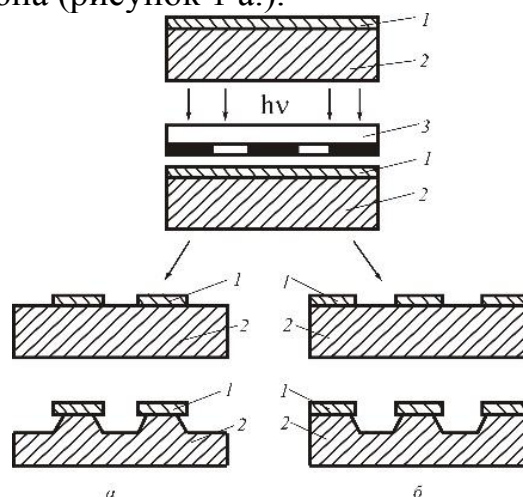
Для того, чтобы сформированный слой фоторезиста отвечал всем требованиям, необходимо соблюдать оптимальные режимы нанесения и сушки, так как от этого во многом зависит толщина и будет ли сформированный слой равномерно покрывать всю поверхность пластины.

В данной работе мы проанализируем, как изменение режимов нанесения и сушки фоторезиста влияют на конечное качество сформированного слоя.

Основная часть. Одной из основных операций для изготовления ИМС является фотолитография. Сущность фотолитографического процесса заключается в следующем: на поверхности подложки со сформированной на ней тонкой пленкой фоторезиста экспонируют, то есть воздействуют актинидным облучением через фотошаблон с изображением элементов схем, представленном на рисунке 1. В зависимости от характера изменения свойств при облучении фоторезисты подразделяются на негативные и позитивные.

Негативными называются фоторезисты, при экспонировании которых через фотошаблон в местах воздействия света пленка теряет растворимость. В результате последующей обработки соответствующим растворителем, этот процесс называется проявлением, с поверхности подложки удаляются только необлученные участки, и на подложке возникает негативное изображение фотошаблона: фоторезист остается на участках, соответствующих светлым полям фотошаблона, как показано на рисунке 1 б.

Позитивными называются фоторезисты, в которых под действием света облученные участки меняют свои свойства и при последующем проявлении удаляются, в следствие чего на подложке образуется позитивное изображение фотошаблона. Фоторезист остается на участках подложки, соответствующих темным полям фотошаблона (рисунок 1 а.).



- а – с позитивным фоторезистом;
- б – с негативным фоторезистом;
- 1 – фоторезист;
- 2 – подложка;
- 3 – фотошаблон.

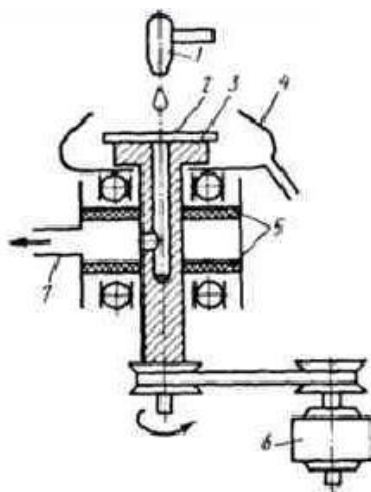
Рисунок 1 - Схема воспроизведения изображения методом фотолитографии

От качества фоторезистивной пленки во многом зависит успех проведения всех литографических операций. Поэтому к технологической операции нанесения фоторезиста предъявляют исключительно жесткие требования:

- чистота среды и отсутствие загрязнений в растворе фоторезиста;
- условия хорошей адгезии фоторезистивной пленки к подложке;
- высокая равномерность толщины пленки фоторезиста по всей поверхности подложки.

В серийном производстве одним из основных методов формирования тонкой фоторезистивной пленки является метод скоростного центрифугирования. Однако помимо центрифугирования существуют и другие методы такие, как пульверизация, напыление в электрическом поле, накатка сухого фоторезиста. Но данные технологии нанесения фоторезиста недостаточно хорошо отработаны для производственных условий.

Метод центрифугирования основан на том что фоторезист под действием центробежных сил растекается по поверхности пластины. Прилегающий к подложке граничный слой формируется в результате уравнивания центробежной силы, пропорциональной частоте вращения, и силы сопротивления, зависящей от прочности связей между молекулами фоторезиста. Схемы центрифуги представлена на рисунке 1.



- 1 – дозатор (капелька);
- 2 – подложка;
- 3 – столик;
- 4 – кожух для сбора фоторезиста;
- 5 – вакуумные уплотнители;
- 6 – электродвигатель;
- 7 – трубопровод к вакуумному насосу.

Рисунок 2 – Схема центрифуги;

Принцип нанесения фоторезиста с помощью центрифуги состоит в том, что подложку, установленную на столике центрифуги и удерживаемую на нем вакуумной присоской, подается определенное количество фоторезиста из дозатора. Далее центрифуга вместе с пластиной начинает вращаться, при этом

фоторезист под действием центробежных сил начинает растекаться по пластине. Такой метод позволяет формировать резистивный слой на подложке диаметром до 350 мм. Формирование слоя происходит от 20 до 30 с, а сама толщина пленки будет зависеть от вязкости фоторезиста и скорости вращения самой центрифуги. Длительное центрифугирование приводит к неравномерностям толщины слоя. Это связано с увеличением вязкости фоторезиста за счет испарения испарителя во время длительного центрифугирования. Помимо этого, равномерность слоя будет зависеть и от ускорения центрифуги. При более высоких ускорениях пленка получается тоньше и равномернее по всей поверхности подложки. Процесс формирования происходит в три этапа:

1) растекание фоторезиста по пластине. Под действием центробежных сил фоторезист, подаваемый в центр вращения пластины, растекается по ее поверхности. Подложка полностью покрывается уже на втором или третьем обороте вращения. В это же время начинается сбрасывание излишков фоторезиста.

2) Сбрасывание излишков фоторезиста. Из-за того, что доза (капля) смещена, еще до попадания на поверхность, относительно центра, сброс излишков фоторезиста начинается на краю пластины с небольшой дуги, которая постепенно увеличивается, но не замыкается в окружность. Сбрасывание излишков регулируется ускорением и частотой вращения.

3) Формирование профиля. Для сохранения полученного профиля в течении операции нанесения, необходимо не допускать появления «лучевого разбега» и образования краевого валика. Такой однородный профиль фоторезиста можно получить с помощью медленного или двухступенчатого изменения скоростей вращения центрифуги.

Окончательным этапом формирования слоя фоторезиста является его сушка. При сушке в фоторезисте происходят сложные релаксационные процессы, уплотняющие молекулярную структуру слоя, уменьшающие внутреннее напряжение и повышающие его адгезию к подложке.

Установки для нанесения и сушки фоторезиста могут быть как полуавтоматическими типа «Лада - 150», так и автоматическими типа DNS-80, DNS-60, где задача оператора заключается только в выборе нужной программы.

Установка DNS – 80 включает в себя несколько этапов фотолитографии, что отличает её от другого оборудования подобного типа. На данной установке применяются пластины диаметром 150 и 200 мм.

В установке используются следующие виды фоторезиста:

- SPR 700-1.2;
- SPR 700-1.8;
- S1813G2SP15.

Требования к фоторезисту:

- хорошее пленкообразование;
- светочувствительность;
- разрешающая способность;
- термостойкость;

- стойкость к определенным агрессивным средам;
- маскирующие свойства.

Главным отличием установки DNS-80 является более точная выдержка режимов в отличие от линии «Лада -150», что позволяет получать более качественные пленки фоторезиста. Так же не малым преимуществом является малая дефектность. Установка DNS-80 является многоскоростной. Центрифуга может вращаться со скоростью от 1400 до 5000 об/мин. Немаловажным так же является и технологичное программное обеспечение, которое позволяет более точно настроить режимы нанесения и сушки фоторезиста, а отсутствие программатора исключает субъективные ошибки оператора. И еще одним из преимуществ является наличие робота-манипулятора, который уменьшает вероятность уронить пластины в отличие от линии «Лада-150», где пластины переносятся от установки к установке вручную оператором.

В условиях производства ИМС главной задачей операции нанесения и сушки фоторезиста является получение пленок высокого качества, а также толщиной, не превышающей 1,3 мкм. На толщину пленки и ее качество влияют множество факторов, но основные из них это вязкость фоторезиста, скорость вращения центрифуги и доза подаваемого фоторезиста.

При длительном центрифугировании из фоторезиста испаряется растворитель тем самым увеличивается его вязкость, которая влияет как на толщину формируемой пленки, так и на равномерность толщины по пластине. В качестве примера возьмем партию пластин численностью 25 шт. проведем стандартный процесс нанесения и сушки фоторезиста. Далее на пластинах с уже сформированным слоем фоторезиста измерим толщину в 9 точках. Как показывает таблица 1 пластины под номером 7, 9, 15, 18, 23 будут отправлены на реставрацию, так как требуемая толщина пленки фоторезиста была не достигнута. Так же помимо несоответствия толщины на этих пластинах образовались следующие дефекты: радужные пятна, разрыв в фоторезисте и неравномерность слоя фоторезиста.

Таблица 1 – Текущие режимы нанесения и сушки фоторезиста

Номер пластины	Первая скорость центрифуги, об/мин	Вторая скорость центрифуги, об/мин	Вязкость, Ст	Длительность центрифугирования, с	Толщина, мкм	Дефект
7	2000	2900	18,5	23	1,4	Несоответствие толщины
9	2000	2500	19,2	25	1,5	Несоответствие толщины, радужные пятна
15	2000	2200	30,1	28	1,6	Несоответствие толщины, разрывы в фоторезисте
18	2000	1750	32,4	31	1,8	Несоответствие толщины, радужные пятна, неравномерность по толщине
23	2000	1400	34,8	35	2	Несоответствие толщины, неравномерность по толщине

Согласно данным из таблицы 1 можем заметить, что при уменьшении скорости вращения центрифуги будет увеличиваться толщина получаемого слоя.

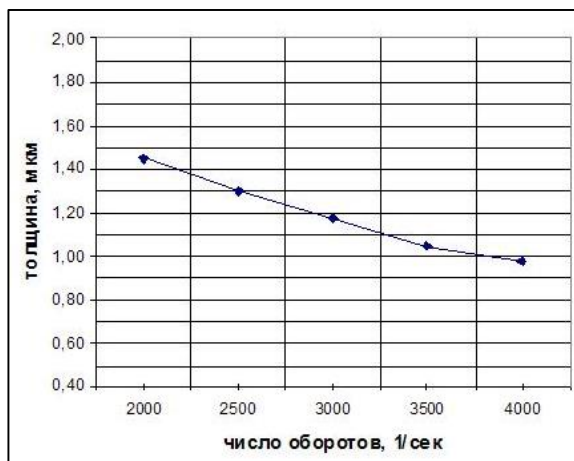


Рисунок 3 – График зависимости скорости центрифуги от толщины фоторезистивной пленки

На диаграмме ниже мы видим, что процент пластин, отправленных на реставрацию составил 21%, что не есть хорошо. Это свидетельствует о том, что при нанесении пластин под номером 7, 9, 15, 18, 23 по той или иной причине были не соблюдены правильные режимы, что и повлекло за собой брак.



Рисунок 4 – Круговая диаграмма показывающая количество брака в первой партии

Для сравнения возьмем аналогичную партию пластин, но теперь проконтролируем, чтобы для каждой пластины при нанесении и сушке фоторезиста соблюдались опытные режимы. Далее выберем 5 случайны пластин и измерим на них толщину. Результаты измерений показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Опытные режимы нанесения и сушки фоторезиста

Номер пластины	Первая скорость центрифуги, об/мин	Вторая скорость центрифуги, об/мин	Вязкость, Ст	Длительность центрифугирования, с	Толщина, мкм	Дефекты
2	2000	3300	25	23	1,30	—
3	2000	3290	25,3	25	1,28	—
11	2000	3310	25	28	1,31	—
17	2000	3350	25,1	30	1,33	Посторонние включения
25	2000	3295	25,4	27	1,	—

Исходя из данных таблицы 2 видим, что дефект появился только на пластине под номером 17 и то, данный дефект обусловлен не нарушением режимов нанесения и сушки фоторезиста, а попаданием на пластину частиц пыли.

На диаграмме, представленной ниже можно заметить, что процент пластин, которые отправили на реставрацию заметно сократился и составил всего 4%.



Рисунок 5 – Круговая диаграмма показывающая количество брака во второй партии

Заключение. Таким образом несоблюдение опытных режимов и даже незначительное отклонение от них ведет к увеличению брака и числу пластин, которые отправляют на реставрацию. Каждая последующая реставрация непосредственно влияет на качество готовых ИМС, что в свою очередь сильно сказывается на конечном выходе годных изделий. Эти режимы обеспечивает установка DNS-80 благодаря своей полной автоматизации процесса, а также более технологичной и точной настройке режимов. Данная установка позволяет получить толщину фоторезистивной пленки менее 1 мкм, что является сложной задачей для линии «Лада - 150». Уменьшение толщины фоторезиста позволяет получать элементы субмикронных размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1 Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на кремнии. В 3 т.Т.2 / О. Ю. Наливайко [и др.]. – Минск : Интеграл-полиграф, 2013. - 736 с.

2 Технология изделий интегральной электроники / С. В. Бордусов [и др.]. – Минск: «Амалфея», 2010. – 535 с.

3 Готра, З.Ю. Технология изделий интегральной электроники / З. Ю. Готра: справочник. – Минск: Радио и связь, 1991. – 528 с.

4 Камлюк, В. С. Технологическое оборудование для микроэлектроники / Д. В. Камлюк. – Минск: РИПО, 2014. – 391 с.

5 Родионов, Ю. А. Литография производства интегральных микросхем / Ю. А. Родионов – Минск: ДизайнПРО», 1998. – 95 с.