

Язев Владимир Романович, магистрант,
Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
г. Москва, г. Зеленоград

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ПОГРУЖЕНИЯ/ ОБЪЕМНОГО СПРЕЯ

Аннотация: В данной статье проведен анализ основных способов очистки поверхности кремниевых пластин. В результате сделан вывод о целесообразности применения химических методов очистки в сочетании с физическими. Приведена конструкция модуля для индивидуальной химической обработки пластин. При помощи САПР проведено моделирование течения потока нагретого азота в проточном нагревателе азота с целью подбора оптимальной мощности нагревательного элемента.

Ключевые слова: пластина, загрязнения, физическая очистка, химическая очистка, проточный нагреватель, мощность нагревателя.

Введение

Электрические характеристики полупроводниковых приборов и их показатели надежности во многом зависят от чистоты поверхности обрабатываемых полупроводниковых пластин и подложек. Следовательно, для получения качественных и надежных полупроводниковых структур необходимо, чтобы на поверхности пластин и подложек отсутствовали какие-либо загрязнения.

По мере уменьшения размеров элементов и соединений между ними в интегральных схемах загрязнения в виде частиц малых размеров могут оказывать все более негативное влияние на работоспособность готовых изделий. По мере увеличения плотности дефектов на кремниевой пластине уменьшается показатель выхода годных изделий.

В условиях производства практически невозможно осуществить в полной мере защиту поверхности полупроводниковых пластин и подложек от внешних воздействий. В то же время невозможно достичь идеальной чистоты поверхности пластин без использования посторонних примесей. Отсюда можно сделать вывод об относительном характере такого понятия, как «чистая поверхность».

Чистая поверхность – это поверхность, имеющая такую концентрацию примесей, которая не будет препятствовать получению полупроводниковых структур с заданными значениями параметров и стабильными электрическими характеристиками. Величина концентрации примесей зависит от функциональной сложности интегральной схемы и от способа формирования самой полупроводниковой структуры.

Загрязнения могут представлять собой молекулы, ионы и атомы. Загрязнения в виде атомов образуют на поверхности пластин или подложек пленки металлов или частиц металлов. В качестве примера можно привести пленки металлов, полученные путем электрохимического осаждения (Au, Ag, Cu), а также частицы металлов (Si, Fe, Ni). Ионными загрязнениями являются катионы или анионы из неорганических химических растворов, например, Na⁺, Cl⁻, SO₃²⁻ [1-3].

Из вышесказанного следует, что борьба с загрязнениями на поверхности полупроводниковых пластин является крайне важной задачей в технологии электроники, которая должна осуществляться на всех стадиях технологического цикла изготовления интегральных схем. Наиболее важным аспектом в данном случае является очистка пластин



перед выполнением ответственных технологических операций. Именно для данной задачи предназначен разрабатываемый модуль индивидуальной обработки пластин. Для того, чтобы определиться с тем, какой из способов очистки будет применен в разрабатываемом модуле, рассмотрим основные способы очистки поверхности пластин, выделим их достоинства и недостатки.

Обзор способов очистки поверхности полупроводниковых пластин

Способы очистки поверхности полупроводниковых пластин можно подразделить на две крупные группы: группа физических способов очистки и группа химических способов очистки.

Физические методы очистки поверхности полупроводниковых пластин основаны на удалении загрязнений без использования химических реакций. Можно выделить следующие основные физические методы очистки:

- Ультразвуковая очистка – основывается на эффекте кавитации (образования и схлопывания микропузырьков) в жидкой среде (деионизованная вода, изопропанол, ацетон);
- Плазменная очистка – низкотемпературная плазма (например, кислородная или аргоновая) воздействует на поверхность пластины;
- Ионная очистка – поверхность пластины бомбардируется ионами инертного газа (Ar^+);
- Лазерная очистка – используются короткие лазерные импульсы для испарения загрязнений без повреждения подложки;
- Механическая очистка (полировка);
- Термическая очистка (отжиг) – нагрев в вакууме или инертной среде.

Многие из этих методов пригодны только для очистки от органических загрязнений. Также, при неправильном выборе режима работы, возможно повреждение пластин.

Химическая очистка подразумевает процесс удаления загрязнений с поверхности кремниевых пластин с использованием химических реактивов. Основные химические реактивы, применяемые в процессах химической очистки:

- RCA-очистка;
- Очистка плавиковой кислотой;
- Очистка с использованием смеси Каро («пирианиевая» очистка);
- Очистка азотной кислотой;
- Очистка органическими растворителями.

Методы химической очистки, несмотря на их токсичность и агрессивность, играют ключевую роль в производстве изделий микроэлектроники, так как позволяют эффективно удалять органические, неорганические и металлические загрязнения [1, 4].

При разработке модуля индивидуальной обработки пластин наиболее целесообразным будет комбинировать химические методы очистки с физическими методами, что позволит достичь максимальной чистоты обрабатываемой поверхности.

Разработка модуля индивидуальной обработки пластин методом погружения/объемного спрея

Результатом разработки является модуль индивидуальной химической обработки пластин, представленный на рисунке 1. Данный модуль состоит из следующих частей:

- Модуль обработки – предназначен для непосредственной обработки полупроводниковых пластин. Модуль обработки включает в себя следующие составные части:
 - Механизм перемещения;
 - Ванна;
 - Центрифуга;
 - Плита.



- Модуль управления – осуществляет функционирование всей установки, контроль ее состояния при помощи датчиков и взаимодействие оператора с установкой;
- Силовой модуль – предназначен для получения вторичных силовых напряжений, необходимых для работы установки;
- Модуль слива отработанных растворов – предназначен для слива отработанных растворов из модуля обработки и подачи их в буферную емкость;

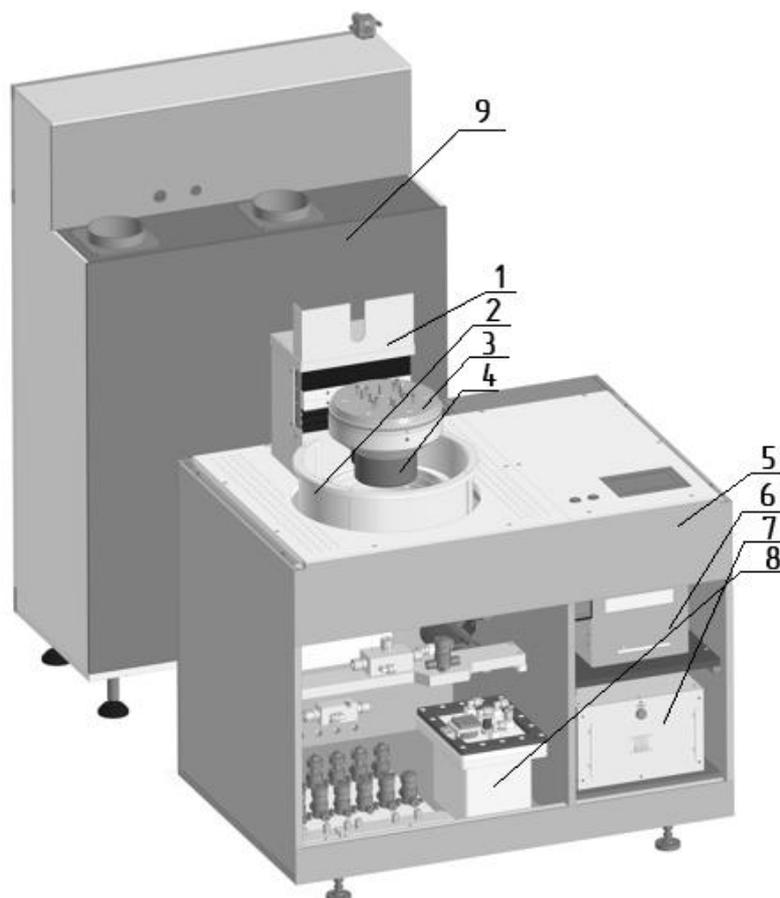


Рис. 1 – Модуль индивидуальной химической обработки пластин методом погружения/ объемного спрея

- 1 – механизм перемещения, 2 – ванна, 3 – плита, 4 – центрифуга,
5 – станина, 6 – модуль управления, 7 – модуль силовой, 8 – модуль слива отработанных растворов, 9 – блок подачи реагентов и нагрева азота.

- Блок подачи реагентов и нагретого азота – обеспечивает подготовку и подачу всех необходимых для проведения процесса обработки пластин технологических сред (воздух, азот, химические реагенты);
- Станина – представляет собой каркас, сваренный из листов полипропилена, на котором закрепляются все составные части установки.

Моделирование течения потока азота в проточном нагревателе азота

Для нагрева газообразного азота, применяемого в процессе сушки пластин, был применен проточный нагреватель азота. Располагается он в отдельном блоке подачи реагентов и нагретого азота. Внешний вид нагревателя представлен на рисунке 2.



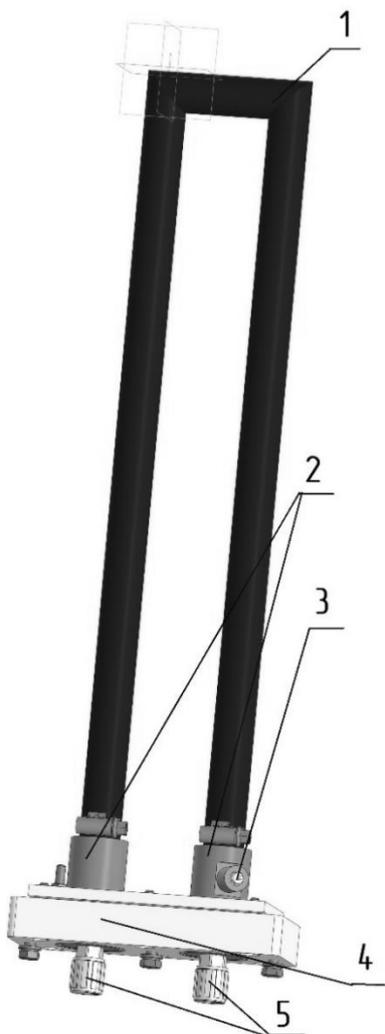


Рис. 2 – Проточный нагреватель азота
1 – сварной трубопровод, 2 – втулки, 3 – термопара,
4 – основание, 5 – резьбовое соединение

В основе проточного нагревателя азота лежит сварной трубопровод, изготовленный из стали марки 12Х18Н10Т. Нагревательный элемент располагается внутри данного трубопровода и изготовлен из нагревательной ленты марки ТНА ЭНГЛ-1. Каркас нагревателя крепится на втулках. Одна из втулок имеет отверстие для ввода термопары типа ТП.ХА (К). Данная термопара подключается к ПИД-регулятору, управляющему процессом нагрева азота. Исходя из требований безопасности, в качестве рабочего напряжения для нагревателя было выбрано напряжение 24 В. Каркас нагревателя закрепляется на основании. Подключается нагреватель к магистрали азота через резьбовое соединение LQ1H-1/4-MR-XHN01. При установке в модуль подачи реагентов нагреватель закрывается защитным кожухом, предохраняющим нагреватель от внешних воздействий (рисунок 3).





Рис. 3 – Кожух нагревателя

Необходимо подобрать оптимальную величину мощности нагревательного элемента, которой будет достаточно для нагрева азота до максимальной температуры, составляющей 70°C (343 К).

Для реализации заданной модели был выбран модуль Flow Simulation (FlowEFD) из состава САПР SolidWorks. Данный модуль позволяет моделировать потоки жидкости и газа для вычисления разных характеристик, таких как температура, скорость потока, давление и т.д.

Давление на входе в нагреватель P , согласно паспорту на установку, должно находиться в пределах 0,16-0,25 МПа. Для моделирования были выбраны три значения: 0,16; 0,2; 0,25 МПа. Мощность нагревателя N для начала задается равной 500 Вт и, по мере необходимости, будет постепенно увеличиваться еще на 500 Вт.

Полученные в результате моделирования максимальные значения температуры азота на выходе из нагревателя представлены в таблице 1.

Таблица 1

Давление азота, МПа	Мощность нагревателя, Вт		
	500	1000	1500
0,16	325 К	358 К	375 К
0,2	320 К	338 К	357 К
0,25	317 К	330 К	345 К

Из данных результатов можно сделать вывод, что мощность нагревателя 500 Вт является недостаточной для нагрева азота до заданной температуры (343 К). При мощности нагревателя 1000 Вт данная температура была достигнута только при давлении азота 0,16 Мпа,



следовательно, данное значение мощности также является недостаточным. При мощности нагревателя 1500 Вт удалось достичь заданной температуры азота во всем диапазоне давлений азота на входе в нагреватель. Подбор более точного значения мощности является нецелесообразным ввиду высокой сложности изготовления такого нагревательного элемента, поэтому мощность нагревательного элемента 1500 Вт является наиболее оптимальной для изготовления проточного нагревателя азота (рисунок 4).

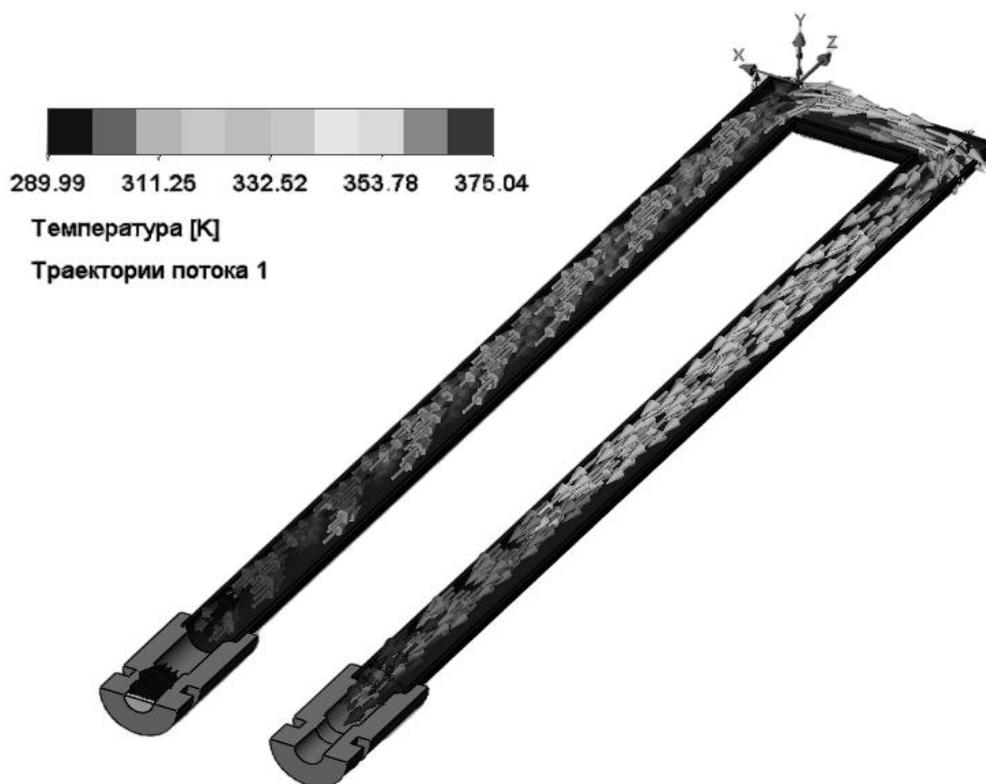


Рис. 4 – Температурный режим нагревателя при протекании азота при $P = 0,16$ МПа; $N = 1500$ Вт

Заключение

На основании проведенного анализа был сделан вывод о целесообразности сочетания физических и химических методов очистки поверхности кремниевых пластин в разрабатываемом модуле индивидуальной химической обработки пластин. Было произведено моделирование течения нагретого азота в проточном нагревателе азота, в результате которого была подобрана оптимальная мощность нагревательного элемента.

Список литературы:

1. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
2. Курносов А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие – М.: Высш. шк., 1986 – 368 с.
3. Панфилов Ю.В. и др. Энциклопедия машиностроения. Т. 8: Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. – М.: Машиностроение, 2000. – 743 с.
4. Шмаков М., Паршин В. Школа производства ГПИС. Очистка поверхности пластин и подложек // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 5 – С. 76-80.

