

В ходе работы над проектом изучена платформа Arduino, протокол Modbus, реализовано дистанционное управление нагрузкой, собрана схема проекта. Были использованы современные технологии промышленной автоматизации [1] и программирование на языке C++ [2].

Список использованных источников:

1. Шишов, О. *Современные технологии промышленной автоматизации*/ О. Шишов// Москва|Берлин. – 2015, 359с.
2. Павловская, Т. *C/C++. Программирование на языке высокого уровня: учеб. для вузов* / Т. А. Павловская. – СПб: Питер, 2021. – 461 с.: ил.

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАРАЩИВАНИЯ ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ НА ПОДЛОЖКУ

Демидов Е.Д., студент

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь*

Скудняков Ю.А. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ

В работе проведена оценка параметров эпитаксиального технологического процесса наращивания монокристаллических кремниевых пластин для повышения его качества.

Своими уникальными физическими свойствами полупроводниковые гетероструктуры обязаны современному развитию технологических методов их изготовления и, прежде всего – технологии молекулярной пучковой эпитаксии (МПЭ) [1]. Особенностью этой технологии является возможность создавать материалы с заранее заданными параметрами, такими как химический состав, толщины гетерослоев, концентрация свободных носителей и пр.

При этом любой физик, занимающийся исследованием эпитаксиальных гетероструктур, должен хорошо знать технологию их изготовления, чтобы представлять, в каких пределах и какой ценой можно эти параметры менять [2].

Целью данной работы является обеспечение качества изготавливаемых полупроводниковых приборов через оценку параметров эпитаксиального наращивания пластин.

называют процесс наращивания тонких монокристаллических слоев на подложку, при котором кристаллографическая ориентация наращиваемого слоя повторяет кристаллографическую ориентацию подложки.

Для получения микросхем эпитаксиальный слой n – типа наращивается на исходной кремниевой пластине – подложке p – типа.

В принципе можно получать эпитаксиальный слой любого типа проводимости на подложке с любым типом проводимости. Однако в силу ряда причин чаще используется эпитаксиальный слой n – типа на подложке p – типа. В общих чертах типовой (хлоридный) процесс происходит в такой последовательности [3].

Готовые монокристаллические кремниевые пластины – подложки p – типа помещают в кварцевую трубу. Через кварцевую трубу протекает поток водорода, содержащий небольшую концентрацию примеси тетраоксида кремния SiCl_4 . При высокой температуре (около 1200 0С) на поверхности кремниевых пластин происходит реакция, в результате которой на пластине – подложке постепенно осаждается слой чистого кремния, а пары HCl уносятся потоком водорода. Осажденный (эпитаксиальный) слой монокристаллический и имеет ту же кристаллографическую ориентацию, что и подложка. Для получения проводимости слоя n – типа к парам тетраоксида кремния добавляют пары соединений бора. Границы между эпитаксиальным слоем и подложкой не получаются идеально резкой.

Поэтому очень трудно получить сверхтонкие пленки толщиной менее 1 мкм. Обычно получают эпитаксиальный слой толщиной $1 \div 10$ мкм.

Наиболее распространенным процессом является эпитаксия в газовой фазе, при которой газ носитель, содержащий компоненты эпитаксиального слоя в виде газообразных соединений, взаимодействует с подложкой.

Процесс эпитаксии в данном случае включает в себя следующие этапы: доставка объёмной транспортировки реагентов к поверхности подложки; диффузия газообразных реагентов к поверхности подложки; адсорбция реагентов на поверхности подложки.

Поверхностные реакции: поверхностные реакции (либо реакции, протекающие в объёме газа над поверхностью); поверхностная диффузия; встраивание диффундирующих элементов в кристаллическую решётку.

Удаление продуктов реакции: десорбция продуктов реакции; диффузия газообразных продуктов реакции в направлении от поверхности; объёмная транспортировка продуктов реакции от зоны взаимодействия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема реакций, иллюстрирующих этапы процесса эпитаксиального роста

На рисунке: 1 – объёмная транспортировка реагентов к зоне реакции; 2 – диффузия реагентов к поверхности подложки; 3 – адсорбция реагентов на поверхности подложки; 4 – реакции на поверхности подложки; 5 – поверхностная диффузия; 6 – встраивание диффундирующих элементов в кристаллическую решётку; 7 – десорбция продуктов реакции; 8 – диффузия продуктов реакции в направлении от поверхности; 9 – объёмная транспортировка продуктов от зоны взаимодействия.

Необходимым условием для роста на поверхности подложки новой фазы является пресыщение реагирующей фазы осаждаемым компонентом. На начальной стадии роста эпитаксиального слоя, на поверхности подложки формируется система зародышей. Активными центрами образования зародышей являются вакансии, инородные адсорбированные атомы, дислокации, моноатомные ступени. С наибольшей вероятностью устойчивые конфигурации атомов осаждаемого вещества формируются у изломов ступеней (рисунок 2). Далее атомы, молекулы или кластеры реагирующей фазы, осаждаясь на поверхность подложки, мигрируют по ней, закрепляются у зародышей, увеличивают их размер и образуют островковую структуру. Затем островки сливаются в сплошной слой, который растёт даже при незначительном пресыщении реагирующей фазы.

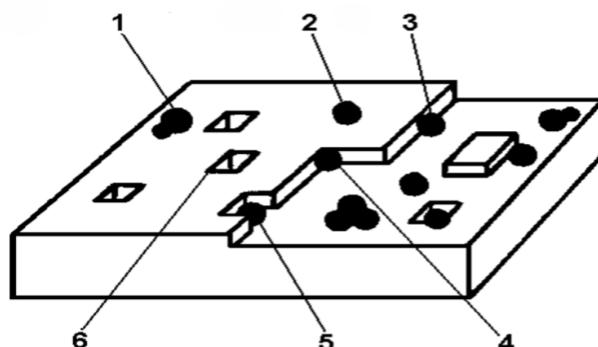


Рисунок 2 – Центры образования зародышей на поверхности подложки

На рисунке: 1 – адсорбированные атомы двухатомного соединения; 2 – адсорбированный атом на поверхности; 3,4,5 - адсорбированные атомы на элементах ступеней; 6 – дефект поверхности.

Скорость эпитаксиального роста лимитируется скоростью самой медленной стадии. Если скорость роста ограничивается процессами массопереноса диффузии реагентов к подложке, то

эпитаксия происходит с диффузионным контролем. Если же скорость роста ограничивается кинетикой поверхностных процессов (адсорбции, поверхностных реакций, десорбции), то эпитаксиальный рост будет проходить с кинетическим контролем. Лимитирующая стадия будет полностью определяться режимами технологического процесса, поэтому существует вероятность, что процесс будет протекать в переходной области, как с диффузионным, так и с кинетическим контролем. Детальное описание процесса эпитаксиального роста включает рассмотрение термодинамики, кинетики химических реакций и механизма течения газового потока в реакторе.

При подаче в реактор потока парогазовой смеси над подложкодержателем и стенками на входе в реактор образуется пограничный слой, толщина которого увеличивается по мере продвижения вдоль реактора (рисунок 3).



Рисунок 3 – Образование пограничного слоя в эпитаксиальном реакторе

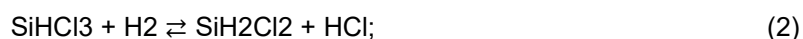
На рисунке: С – распределение концентрации; V – распределение скорости потока; Т – распределение температуры.

Через пограничный слой исходные реагенты переносятся из газового потока к поверхности подложки, а продукты реакции диффундируют в направлении от поверхности и удаляются основным потоком газа. Таким образом, потоки реагентов, направленные к поверхности подложки и от нее, являются сложной функцией нескольких переменных: температуры, давления в системе, концентрации реагентов, и толщины пограничного слоя.

Совершенство структуры эпитаксиального слоя, а также морфология его поверхности зависят от типа лимитирующей стадии. Наиболее совершенные эпитаксиальные слои с гладкой однородной поверхностью получают в процессах с диффузионным контролем. Слои, полученные в таком процессе, характеризуются сильно развитой поверхностью и, зачастую, мозаичной структурой.

Автоэпитаксиальные слои кремния нашли широкое применение в различных изделиях интегральной электроники, включая интегральные микросхемы и различные дискретные полупроводниковые приборы. Структуры данного типа формируют, как правило, осаждением кремния из газовой фазы в реакторе, изготовленном из стеклообразного кварца на расположенном внутри его пьедестале (подложкодержателе). Для автоэпитаксиального наращивания кремния могут использоваться четыре кремнийсодержащих компонента: тетрахлорид кремния (SiCl_4), трихлорсилан (SiHCl_3), дихлорсилан (SiH_2Cl_2) и силан (SiH_4).

Наиболее широкое применение в производстве получил процесс автоэпитаксиального выращивания кремния восстановлением водородом тетрахлорида кремния (хлоридный процесс). Основные реакции, протекающие в реакторе при реализации хлоридного процесса, описываются следующими уравнениями:



Все указанные реакции являются обратимыми, поэтому скорость роста сильно зависит от температуры. При высоких и низких температурах скорость роста становится отрицательной, т.е. наблюдается процесс газового травления.

Для проведения контроля качества изготовления полупроводниковых приборов осуществляется оценка параметров, определяющих пригодность эпитаксиального слоя.

К основным параметрам можно отнести: 1) концентрация носителей заряда; 2) плотность дефектов структуры; 3) толщина эпитаксиального слоя [4].

В данной работе для уменьшения изменчивости параметров технологического процесса изготовления изделий, его оптимизации по критериям качества и затрат, обеспечения повышенного качества изделий на стадии их изготовления, в конечном счете с целью повышения эффективности технологического процесса, в том числе и экономической, предложено использовать статистическое регулирование процесса.

Задачами статистического регулирования технологического процесса является регулярное и непрерывное обобщение статистической информации о состоянии параметров структур (элементов) создаваемых изделий, принятие своевременных решений о необходимости регулировки условий их проведения, способствующих выявлению не случайных причин вариаций параметров, совершенствованию технологического процесса.

Для реализации такого подхода разработано на языке C++ программное обеспечение с построением диаграммы Парето, иллюстрирующей, что значительное число несоответствий и дефектов возникает из-за ограниченного числа причин, т.е. в количественном выражении: 80 процентов дефектов возникает из-за 20 процентов причин.

В работе произведен расчет коэффициентов воспроизводимости и стабильности по двум параметрам – удельному сопротивлению и толщине эпитаксиального слоя [4]. Данные получены после проведения технологического процесса эпитаксии в течении 5 дней по одной пластине с последующими замерами. Для получения данных были использованы пластины одного изделия (СФНК – 475).

На рисунке 4 показана динамика изменения удельного сопротивления пластин по дням.

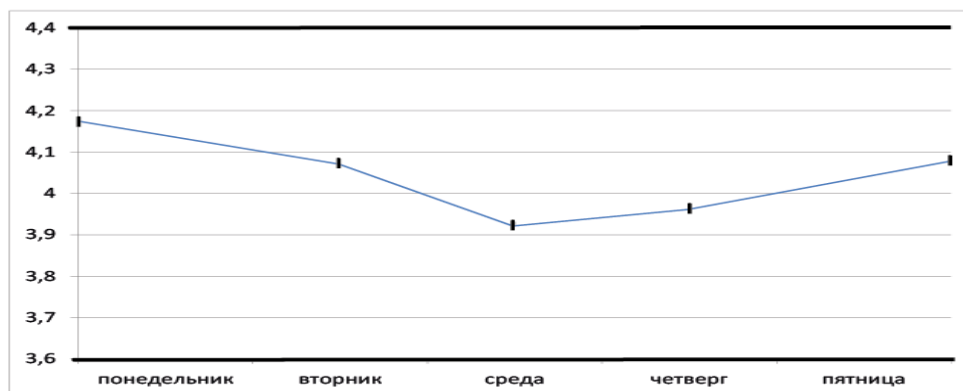


Рисунок 4 – Динамика изменения удельного сопротивления пластин по дням

Полученный результат показывает удовлетворительную воспроизводимость параметра и необходимость строгого контроля за технологическим процессом. На рисунке 5 показана динамика изменения толщины эпитаксиального слоя пластин по дням.

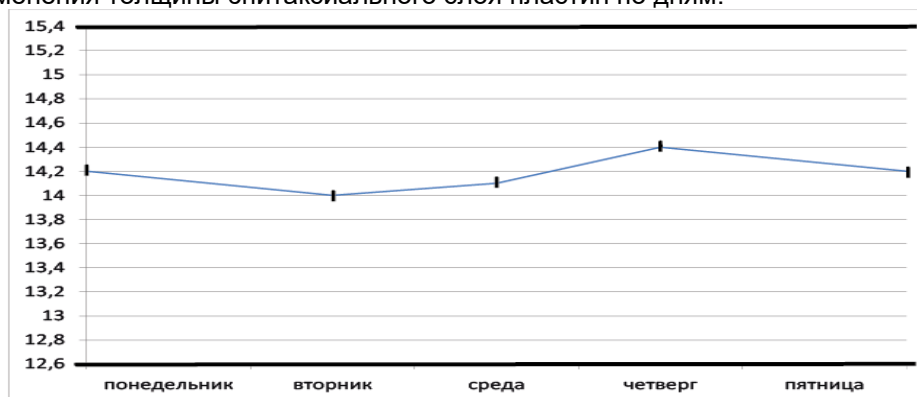


Рисунок 5 – Динамика изменения толщины эпитаксиального слоя пластин по дням

Исходя из проведенных расчетов можно заключить, что воспроизводимость и стабильность параметра “толщина” являются более чем достаточными.

В заключение следует отметить, что в процессе выполнения данной работы:

- внесены предложения по повышению процента выхода годных изделий;
- за счет достигнутой оптимизации воспроизводимости процесса снизилась дефектность изготавливаемых изделий;
- повысилось качество изделий за счёт увеличения степени статистической управляемости процесса.

Список использованных источников:

1. Ченг, Л. Молекулярно – лучевая эпитаксия / Л. Ченг, К. Плог – М.: Мир, 1989. – 352 с.
2. Маслов, А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов / А.А. Маслов. – М.: Энергия, 1970. – 296 с.
3. Зверев, А.В. Моделирование процессов эпитаксии, сублимации и отжига в трехмерном приповерхностном слое кремния / А.В. Зверев, И.Г. Неизвестный, Н.Л. Шварц, З. Ш. Яновицкая // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т.35, Вып. 9. – С.1067 – 1074.
4. Павлов, А.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов / А.П. Павлов М.: Высшая школа, 1987.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ С ГРУЗОПЕРЕВОЗЧИКАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Денисевич Д.В., студент

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Матвеев А.В. – ст. препод. каф. ИСиТ

В данной статье рассмотрена актуальность веб-приложения для обмена информацией с грузоперевозчиками предприятия. Рассмотрены основные проблемы, а также предложены пути упрощения их решения. Определены основные концепции создания подобного приложения, а также представлены основные результаты использования такого инструмента.

Использование различных программных средств в коммерческой деятельности – это одна из важнейших особенностей работы в современное время. Сейчас тяжело представить предприятия без различных программных средств. Разного рода программы нашли свое незаменимое место на предприятиях. Одни из программ, которые упростили логистические функции и заняли свое место на, различного рода предприятиях, это программы для организации процесса грузоперевозок.

При организации перевозок грузов важно правильно выбрать вид транспорта. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками.

Автомобильный тип транспорта популярнее всего используется для организации грузоперевозок на территории Республики Беларусь [1]. Решать вопросы, связанные с этим типом транспорта призвано приложение для организации грузоперевозок. Это весьма удобный и не затратный инструмент, позволяющий предприятиям успешно вести бизнес. Такое приложение сочетает в себе невысокую стоимость и высокую заметную эффективность для предприятия.

Иными словами, создание программного средства такого типа приносит владельцам реальную прибыль. Именно поэтому в настоящее время все большее количество компаний приходит к решению о создании такого типа приложений. Для реализации пользовательского интерфейса предлагается использование языка HTML [3] – системы верстки, которая определяет, как элементы располагаются на странице, CSS – набор параметров форматирования, применяемый к элементам документа [4].

Популярность программ процесса организации грузоперевозок растёт с каждым днём. Уже ни для кого не секрет, что хорошее приложение приносит хорошую прибыль. Оно на порядок выгодней - нет затрат на зарплату для рабочих, которые бы занимались данными вещами. Такого рода программа очень выгодна в нынешнее время, так как практически у каждого человека имеется свой личный планшет, смартфон, ноутбук или персональный компьютер.

Одним из преимуществ предлагаемой разработки является простой запуск, высокая скорость обработки информации и отсутствие ошибок, которые может допустить сотрудник при работе с большим количеством данных.

Так как основная цель создания программного средства организации процесса грузоперевозок является вовлечение потенциальных клиентов, который в идеале решает перейти к использованию данного приложения, визуальная концепция приложения обязана быть