

**Изучение образования скрытых слоев  $\text{CoSi}_2$  при высокоэнергетической имплантации ионов  $\text{Co}^+$  в  $\text{Si}$**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА I. КРАТКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</b> .....	7
1.1. Эпитаксия .....	7
1.2. Газофазная эпитаксия .....	8
1.3. Методы жидкофазной и твердофазной эпитаксии .....	10
1.4. Молекулярно-лучевая эпитаксия .....	13
1.5. Выводы из обзора и постановка задачи исследования .....	18
<b>ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИБОР</b> .....	20
2.1. Оборудование для ионной имплантации .....	20
<b>ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. СКРЫТЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ СЛОИ <math>\text{CoSi}_2</math> в Si</b> .....	24
3.1. Расчет профилей распределения Co в Si .....	24
3.2. Образование и рост зародышей дисилицида кобальта в процессе имплантации .....	32
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	45
<b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> .....	46
<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	61
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	69

## ВВЕДЕНИЕ

Для создания слоев силицидов применяют самые разнообразные технологии, связанные в основном с непосредственным наращиванием пленки материала на подложку:

- молекулярно-лучевую эпитаксию (МЛЭ);
- хемозэпитаксию или химическое осаждение силицидов из парогазовой фазы (ХОГФ) при атмосферном, пониженном давлении с термической или плазменной обработкой или в сверхвысоком вакууме;
- ионно-плазменное распыление силицидных мишеней;
- ионно-лучевой синтез (ИЛС).

Наиболее применимые из них – это технология осаждения металлов на поверхность кремния с последующей твердофазной эпитаксией, хемозэпитаксия и МЛЭ. Необходимо пояснить, что процесс роста силицидов на ориентирующей подложке с участием ее атомов называют процессом хемозэпитаксии (за рубежом ХОГФ, CVD), в отличие от гетерозэпитаксии, где силицид нарастает без участия материала подложки при конденсации соединения стехиометрического состава из внешней среды. В результате этого процесса образующаяся новая фаза закономерно продолжает кристаллическую решетку подложки, а сам процесс роста сопровождается реакционной диффузией, способствующей образованию силицида.

Весьма перспективными способами получения слоев силицидов с высокими и стабильными электрическими характеристиками являются ионно-лучевые методы обработки материалов, которые лишены многих перечисленных выше недостатков и обладают рядом уникальных преимуществ, обуславливающих их возрастающее использование в области полупроводниковой микроэлектроники. Для дальнейшего совершенствования СБИС путем перехода к их двух-, а в перспективе и к многоуровневому построению на рубеже 90-х годов XX в. были разработаны принципиально новые методы ионно-лучевой обработки, одним из которых

является ИЛС скрытых диэлектрических и проводящих слоев в кремнии, т.е. формирование этих слоев методом ионной имплантации с последующим высокотемпературным отжигом.

Поэтому основной целью данной выпускной квалификационной работы является изучение процессов формирования слоев  $\text{CoSi}_2$  в приповерхностной области Si при имплантации ионов  $\text{Co}^+$  с высокой энергией.

# ГЛАВА I. КРАТКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Эпитаксия

**ЭПИТАКСИЯ** (от греческого *epi* – на, над, при и *taxis* – расположение, порядок) – процесс наращивания монокристаллических слоев вещества на подложку (кристалл), при котором кристаллографическая ориентация наращиваемого слоя повторяет кристаллографическую ориентацию подложки. Эпитаксия позволяет получать такие тонкие (1 нм – 10 мкм) однородные монокристаллические слои – т.н. эпитаксиальные слои (ЭС) – любого типа проводимости и любого удельного электрического сопротивления, какие невозможно создать иным способом. Различают *гетероэпитаксию*, когда вещества подложки и наращиваемого слоя различны по химическому составу и кристаллической структуре, и *гомоэпитаксию (автоэпитаксию)*, когда подложка и наращиваемый слой одинаковы по химическому составу или отличаются только примесным составом. Эпитаксия используется в технологии производства широкого класса электронных приборов и устройств для получения (в виде плёнок и многослойных структур) эпитаксиальных слоев элементарных полупроводников, соединений типа  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ , гранатов, ортоферритов и др. материалов [1 – 3].

Свойства ЭС во многом определяются условиями сопряжения кристаллических решёток наращиваемого слоя и подложки, причём существенно их структурно-геометрическое соответствие; легче всего сопрягаются вещества, кристаллические структуры которых одинаковы или близки (например, вещества с кристаллической структурой сфалерита и алмаза). Эпитаксия легко осуществляется, если разность постоянных решёток не превышает 10%; в этом случае тонкий выросший ЭС продолжает атомные плоскости подложки (возникает псевдоморфный слой). При больших расхождениях сопрягаются наиболее плотно упакованные плоскости. При

различиях в решётках сопрягаемых веществ в ЭС возникают дислокации несоответствия. Плотностью дислокаций несоответствия можно управлять, меняя параметры решётки растущего кристалла (например, введением примесей) и получая таким образом бездислокационные ЭС с высокой подвижностью и малой плотностью носителей заряда. Помимо структурно-геометрического соответствия сопряжение пар веществ зависит от температуры процесса (температурой эпитаксии называют предельно низкую температуру, при которой ещё возможно ориентированное нарастание вещества), степени пересыщения осаждаемого вещества, совершенства подложки и чистоты её поверхности. Поэтому подложку перед эпитаксией обычно подвергают механической, химической или радиационной обработке. ЭС растёт за счёт атомов и молекул, составляющих адсорбционный слой, и скорость роста зависит от пересыщения в этом слое [4].

Эпитаксия возможна из любой фазы: газовой (газофазная эпитаксия – ГФЭ), жидкой (жидкостная или жидкофазная эпитаксия – ЖФЭ) и твёрдой (твердофазная эпитаксия – ТФЭ). Преимущественное развитие получили ГФЭ и ЖФЭ.

## 1.2. Газофазная эпитаксия

Методы ГФЭ делятся на химические и физические. Химические методы ГФЭ основаны на осаждении из газовой фазы вещества, полученных в результате следующих химических реакций: восстановления хлоридов Si и Ge водородом (например,  $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 4\text{HCl}$  – т.н. хлоридный процесс); пиролизное разложение моносилана ( $\text{SiH}_4 = \text{Si} + 2\text{H}_2$ ); диспропорционирования диодидов и дихлоридов Si и Ge (например,  $2\text{SiCl}_2 \rightleftharpoons \text{Si} + \text{SiCl}_4$ ) и др. Процессы осуществляются в реакторах (рис. 1.1); газовая система обеспечивает подачу в реакторную камеру газовой смеси требуемого состава. Добавляя к газовой смеси соединения легирующих элементов

(например,  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$ ), выращивают ЭС  $n$ - или  $p$ -типа соответственно. Температура процесса определяется кинетикой химической реакции и обычно находится в пределах 800 – 1300 °С.

К физическим методам относят методы термического осаждения из молекулярных пучков в вакууме, мгновенного испарения, "горячей стенки", а также методы катодного распыления и осаждения. По методу термического осаждения из молекулярных пучков испаряемое вещество нагревается до требуемой температуры (выше или ниже температуры плавления испаряемого вещества в зависимости от упругости пара в точке плавления) в сверхвысоком вакууме ( $P \leq 1,3 \cdot 10^{-8}$  Па), при этом его атомы и молекулы попадают на подложку, где и происходит их конденсация. Наиболее совершенным является электронно-лучевой способ нагрева, отчего такой метод получил название *молекулярно-лучевой эпитаксии* (МЛЭ). Этот метод позволяет в процессе осаждения контролировать структуру и состояние поверхности подложек, регулировать плотность молекулярного потока, т.е. скорость роста кристаллов, обеспечивать возможность при помощи маски выполнять локальную кристаллизацию, получать резкие межслойные границы, выращивать сверхтонкие (1 – 100 нм) эпитаксиальные слои (плёнки) полупроводников, диэлектриков и металлов, создавать сверхрешётки (последовательность большого числа чередующихся слоев разного состава толщиной 5 – 10 нм), осуществлять многослойную застройку решётки. На основе плёнок, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, создают оптоэлектронные интегральные схемы, сверхбыстродействующие большие интегральные схемы, фотоприёмники и лазеры на гетероструктурах, фотокатоды с отрицательным электронным сродством, др. приборы и устройства [5, 6].

Метод мгновенного испарения близок к методу осаждения из молекулярных пучков и заключается в том, что исходное вещество непрерывно и равномерно поступает в испаритель, между ним и составом газовой фазы поддерживается термодинамическое равновесие. Обычно этот

метод используют для получения ЭС материалов, компоненты которых обладают различными упругостями пара (например, GaP, GaAlAs, GaAsP).

Метод катодного распыления отличается от термических методов тем, что исходным веществом служит вещество нагреваемого твёрдого тела. В основном применяют катодное распыление с помощью тлеющего разряда (рис. 1.2). Процесс идёт в среде инертного газа при давлениях 0,133 – 13,3 Па, при более низкой, чем в методах термического испарения, эпитаксиальной температуре.

Метод катодного осаждения сочетает методы катодного распыления и осаждения из молекулярных пучков. Вещество (рис. 1.3) испаряется термическим путём, подложка служит отрицательным электродом и располагается в зоне плазмы, поддерживаемой постоянным током или ВЧ-разрядом. Испарившиеся атомы ионизируются в плазменном пространстве и осаждаются на катоде подложки. С середины 1980-х гг. развивается метод осаждения веществ из ионизируемых пучков, позволяющий получить ЭС, легированные летучими примесями при сравнительно низких температурах.

### **1.3. Методы жидкофазной и твердофазной эпитаксии**

Методы ЖФЭ основаны на кристаллизации из раствора в расплаве и различаются в зависимости от способа удаления раствора с поверхности плёнки (простым сливом (рис. 1.4, а), принудительным удалением (рис. 1.4, б) и без удаления). ЖФЭ можно проводить при относительно невысоких температурах (400 – 500 °С). ЖФЭ позволяет получить многослойные эпитаксиальные структуры и плёнки определённой конфигурации (с помощью маски из SiO<sub>2</sub>).

Методы ТФЭ основаны на процессах ориентированного роста ЭС в двух-, трёхслойных системах при изотермическом отжиге. Один из слоев – монокристаллическая подложка, другие – аморфные и поликристаллические

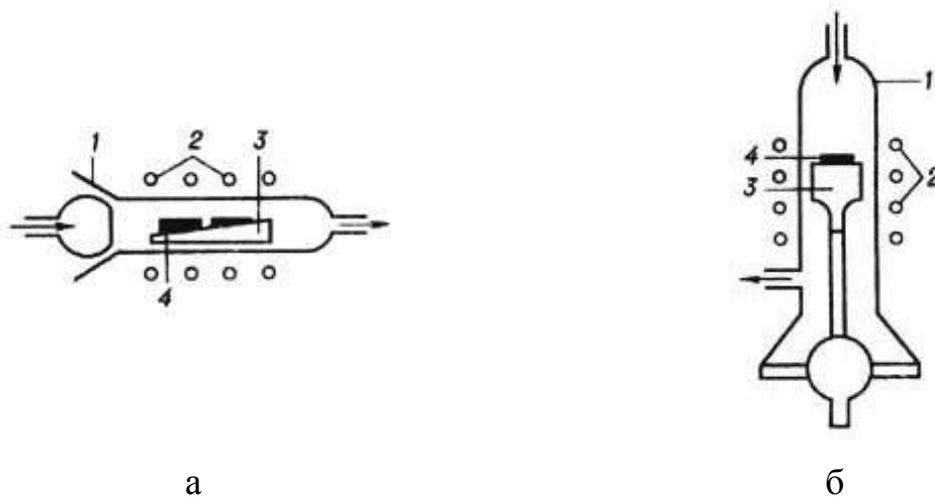


Рис. 1.1. Схемы горизонтальной (а) и вертикальной (б) реакторных камер для эпитаксии из газовой фазы хлоридным методом: 1 – реакторная камера; 2 – нагреватель; 3 – подставка для подложек; 4 – подложка.

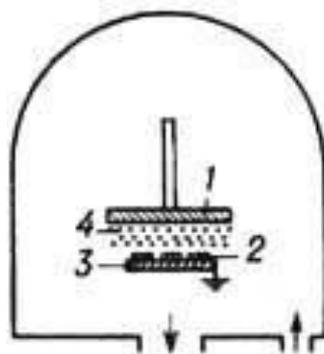


Рис. 1.2. Схема камеры для катодного распыления: 1 – катод; 2 – подложка; 3 – анод; 4 – плазма  $Ag^+$ .

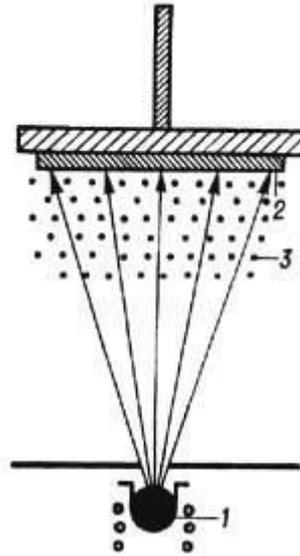


Рис. 1.3. Схема метода катодного осаждения: 1 – источник; 2 – подложка; 3 – плазма.

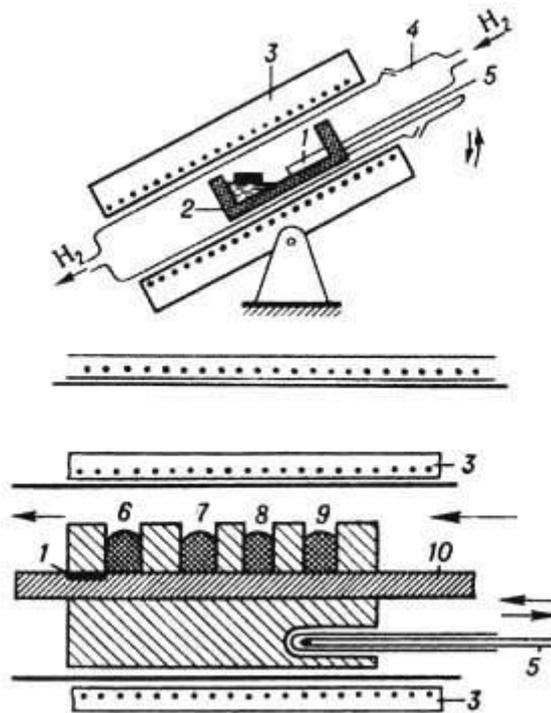


Рис. 1.4. Схема устройства для жидкофазной эпитаксии со сливом раствора с поверхности плёнки (вверху) и принудительным удалением раствора (внизу): 1 – подложка; 2 – контейнер; 3 – печь сопротивления; 4 – кварцевая ампула; 5 – термопара; 6-9 – растворы; 10 – ползунок; 11 – кассета.

слои полупроводников и металлов. Для сохранения расположенных в подложке приборных структур применяют импульсную термическую обработку [7].

За последние годы получили широкое распространение различные методы газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОС). Метод МОС-гидридной эпитаксии при пониженном давлении в реакторе является наиболее универсальным для синтеза большинства соединений  $A^{III}B^V$  и по основным параметрам не уступает МЛЭ, а по производительности, степени совершенства поверхности эпитаксиальных плёнок, относительно более простому аппаратному оформлению выгодно отличается от последнего. Данный метод используется для новейших разработок и производства полупроводниковых СВЧ- и оптоэлектронных приборов, например транзисторов с высокой подвижностью электронов, где реализуется эффект двумерного электронного газа на гетерограницах GaAlAs/GaAs, InGaAs/InP, лазеров на основе гетероструктур GaAlAs/GaAs, InGaAs/InP с квантовыми ямами, приборов на основе четверных соединений типа InGaAsP с напряжёнными слоями, различных наноразмерных гетероструктур с чередующимися слоями и др. Освоение различных модификаций методов МОС-гидридной эпитаксии и МЛЭ в сочетании с химической пучковой эпитаксией и атомно-слоевой эпитаксией позволяет охватить практически все новые задачи полупроводникового материаловедения.

#### **1.4. Молекулярно-лучевая эпитаксия**

Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) проводится в вакууме и основана на взаимодействии нескольких молекулярных пучков с нагретой монокристаллической подложкой [8 – 11].

*Преимущества метода:*

1. Низкая температура процесса. Снижение температуры процесса уменьшает диффузию примеси из подложки и автолегирование. Это позволяет получать качественные тонкие слои.
2. Высокая точность управления уровнем легирования. Легирование при использовании данного метода является безинерционным (в отличие от эпитаксии из газовой фазы), что позволяет получать сложные профили легирования.

*Описание процесса МЛЭ:*

МЛЭ заключается в осаждении испаренных элементарных компонентов на подогретую монокристаллическую подложку. Этот процесс иллюстрируется с помощью рис. 1.5, на котором приведены основные элементы для получения соединения (GaAs).

Каждый нагреватель содержит тигель, являющийся источником одного из составных элементов пленки. Температура нагревателей подбирается таким образом, чтобы давление паров испаряемых материалов было достаточным для формирования соответствующих молекулярных пучков. Испаряемое вещество с относительно высокой скоростью переносится на подложку в условиях вакуума. Нагреватели располагаются так, чтобы максимумы распределений интенсивности пучков пересекались на подложке.

Подбором температуры нагревателей и подложки получают пленки со сложным химическим составом. Дополнительное управление процессом наращивания осуществляется с помощью заслонок, расположенных между нагревателем и подложкой. Использование этих заслонок позволяет резко прерывать или возобновлять попадание любого из молекулярных пучков на подложку.

Аналогичным образом осуществляется МЛЭ кремния (рис. 1.6). Сущность процесса состоит в испарении кремния и одной или нескольких легирующих примесей. Низкое давление паров кремния и легирующих примесей гарантирует их конденсацию на относительно холодной подложке. Обычно МЛЭ проводят в сверхвысоком вакууме при давлении  $10^{-6} - 10^{-8}$  Па.

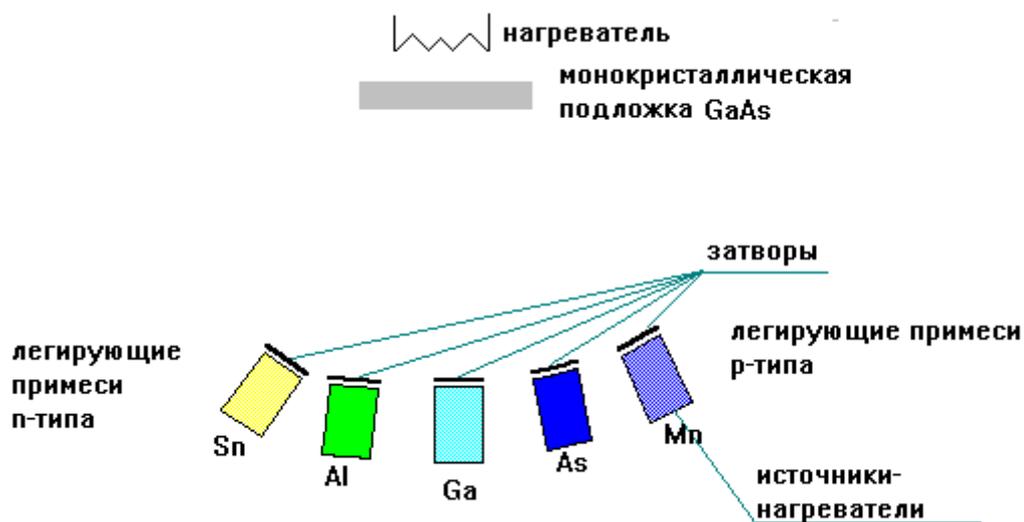


Рис. 1.5. Основные элементы для получения соединения  $Al_xGa_{1-x}As$ .

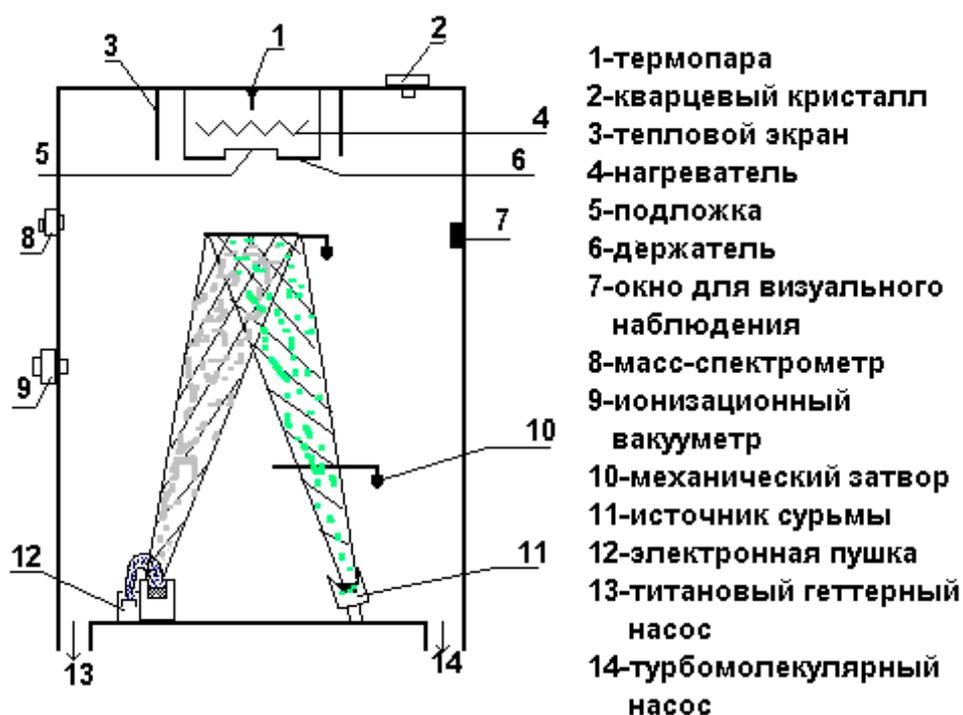


Рис. 1.6. Установка для МЛЭ кремния.

Температурный диапазон составляет 400 – 800 °С. Технически возможно применение и более высоких температур, но это приводит к увеличению автолегирования и диффузии примеси из подложки.

*Предэпитаксиальная обработка подложки:*

Предэпитаксиальная обработка подложки при использовании метода МЛЭ осуществляется двумя способами:

1) Высокотемпературный отжиг при температуре 1000 – 1250 °С длительностью до 10 минут. При этом за счет испарения или диффузии внутрь подложки удаляется естественный окисел и адсорбированные примеси.

2) Очистка поверхности с помощью пучка низкоэнергетичных ионов инертного газа. Этот способ дает лучшие результаты. Для устранения радиационных дефектов проводится кратковременный отжиг при температуре 800 – 900 °С.

*Особенности легирования при МЛЭ:*

Одной из отличительных особенностей МЛЭ является низкая скорость роста пленки: приблизительно 1 монослой/с или 1 мкм/час, что позволяет легко модулировать молекулярные пучки, попадающие на подложку, если время управления движением заслонки менее 1 секунды.

Легирование при МЛЭ имеет несколько особенностей. По сравнению с эпитаксией из газовой фазы расширен выбор легирующих соединений, возможно управление профилем легирования. Легирующая примесь может быть как р-, так и n-типа. Возможны два способа легирования:

После испарения примесные атомы достигают поверхности и встраиваются в кристаллическую решетку. Наиболее часто применяемые примеси (As, H, В) испаряются или слишком быстро или слишком медленно для эффективного управления. В результате чаще прибегают к употреблению Sb, Ga или Al.

В другом способе легирования используется ионная имплантация. В этом случае применяются слаботочные (1 мкА) ионные пучки с малой

энергией. Низкая энергия этого процесса позволяет внедрять примесь на небольшую глубину под поверхность растущего слоя, где она встраивается в кристаллическую решетку. Этот способ позволяет использовать такие примеси как В, Р и As.

*Система, используемая для МЛЭ:*

Система, используемая для МЛЭ кремния, изображена на рис. 1.6. Основной установкой является вакуумная система. Так как в процессе МЛЭ требуется поддерживать высокий вакуум, установки снабжаются вакуумными шлюзами для смены образцов, что обеспечивает высокую пропускную способность при смене пластин и исключает возможность проникновения атмосферного воздуха. Для десорбции атмосферных газов со стенок системы требуется длительный отжиг в вакууме. Для обеспечения высокого качества и чистоты растущего слоя необходимо низкое давление. Этого добиваются, используя безмасляные средства откачки (например, титановый геттерный насос).

Метод МЛЭ позволяет проводить всесторонний анализ некоторых параметров непосредственно во время процесса выращивания пленки. Большинство промышленных установок МЛЭ содержит оборудование для анализа дифракции отраженных электронов, масс-спектрометр, оже-спектрометр с возможностью исследования оже-спектров распыленных ионов.

Испарение кремния осуществляется не путем нагрева тигля, как для легирующих элементов, а за счет нагрева электронным лучом, т.к. температура плавления кремния относительно высока. Постоянная интенсивность потока атомов обеспечивается строгим контролем температуры. Для контроля температуры применяются термопары, ИК-датчики и оптический пирометр. Управление потоками атомов легирующей примеси осуществляется с помощью заслонок. Это позволяет достичь хорошей воспроизводимости процесса и высокой однородности скорости роста и уровня легирования.

*Перспективы развития. Приборы, получаемые с использованием МЛЭ:*

МЛЭ используется для изготовления пленок и слоистых структур при создании приборов на (GaAs) и ( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ). К таким приборам относятся лавиннопролетные диоды, переключающие СВЧ-диоды, полевые транзисторы с барьером Шоттки, интегральные оптические структуры.

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии перспективен для твердотельной электроники создания СВЧ-приборов и оптических твердотельных приборов и схем, в которых существенную роль играют слоистые структуры субмикронных размеров. При этом особое значение придается возможности выращивания слоев с различным химическим составом.

### **1.5. Выводы из обзора и постановка задачи исследования**

Из обзора следует, что в настоящее время с использованием методов ТФЭ, МЛЭ и низкоэнергетической ионной имплантации получены наноэпитаксиальные пленки  $\text{CoSi}_2$  и изучены их физико-химические свойства [12 – 14]. Для получения скрытых слоев  $\text{CoSi}_2$  в настоящее время используются методы МЛЭ и ТФЭ которые позволяют последовательно выращивать пленки  $\text{Si}/\text{CoSi}_2/\text{Si}$ . При этом эпитаксиальный рост должен осуществляться в условиях сверхвысокого вакуума, поверхность подложки и напыляемые вещества должны обладать высокой чистотой. Кроме жестких требований, предъявляемых к чистоте поверхности пластин и вакууму, существуют определенные сложности, связанные с выращиванием эпитаксиальных пленок силицидов переходных металлов этими методами. В частности, для кремниевых пластин ориентации (111) возможно получение только двойниковой структуры силицида кобальта *B*-типа, развернутой на  $180^\circ$  вокруг нормали к поверхности исходной подложки ориентации *A*-типа. Поэтому при последующем выращивании слоя эпитаксиального кремния для

создания гетероструктуры  $\text{Si}/\text{CoSi}_2/\text{Si}$  возможно получение структур типа  $B/B/A$  или  $A/B/A$ . На кремнии ориентации (100) эпитаксиальное наращивание монокристаллических пленок дисилицида кобальта затруднено вследствие конкуренции различных ориентации: происходит рост кристаллитов фазы различной ориентации, получаемые слои содержат разориентированные зерна, микроотверстия, а во многих случаях дислокации несоответствия.

В последние годы для получения скрытых слоев в приповерхностной области полупроводников и диэлектрических пленок часто применяется метод высокоэнергетической ионной имплантации в нагретую подложку. С учетом этого основными задачами данной работы являлись:

1. Подготовить литературный обзор по теме квалификационной работы.
2. Изучение принципа работы установки высокоэнергетической ионной имплантации.
3. Изучение расчетных и экспериментальных профилей распределения кобальта в кремнии.
4. Изучение процессов формирования зародышей и сплошных проводящих скрытых слоев  $\text{CoSi}_2$  в  $\text{Si}$ .

## ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПРИБОР

### 2.1. Оборудование для ионной имплантации

В этом разделе лишь кратко рассматриваются оборудование для ионной имплантации и правила его эксплуатации. Известны подробные описания получения ионных пучков и управления ими при ионной имплантации [15], а также обзорные работы, рассматривающие схемы различных систем для ионной имплантации, их преимущества и недостатки [16].

Типичный образец исследовательской установки для ионной имплантации показан на рис. 2.1. Она состоит из ионного источника, способного производить ионные пучки практически любого стабильного элемента. Ионы экстрагируются из ионного источника электродом, имеющим высокий потенциал, затем ускоряются в ускоряющей колонне под действием разности потенциалов между Землей и источником, имеющим высокий потенциал относительно Земли. Ионный источник производит ионы различных видов, в том числе и такие, которые не нужны для ионной имплантации, поэтому массосепаратор ионов является неотъемлемой частью любой установки, благодаря ему мишени достигают только ионы необходимого сорта. После массосепаратора пучок фокусируется, направляется в камеру с мишенью и через диафрагму попадает на мишень. Сканирование пучка по поверхности мишени гарантирует равномерное распределение примесей. При прохождении ионами определяющей диафрагмы их ток интегрируется. Концентрация примеси определяется числом ионов на единицу площади и может быть переведена в объемную концентрацию, если известны соотношения: область распространения – энергия связи для каждой отдельной комбинации внедряемый ион – исходный материал.

До 70-х гг. для имплантации применялись либо видоизмененные типы исследовательских ускорителей, дающие микроамперные пучки ионов с энергией в несколько сотен килоэлектронвольт, либо сепараторы изотопов, способные производить миллиамперные пучки ионов с энергией порядка нескольких десятков килоэлектронвольт. Эти системы были вполне приемлемы для исследования возможности применения имплантации к полупроводникам, но требования к имплантации как к методу производства полупроводников привели к созданию оборудования, обеспечивающего более высокую производительность. За последние годы сфера применения имплантации к полупроводникам значительно расширилась. Кроме промышленных, существуют исследовательские установки несколько сотен типов.

На рис. 2.2 показана схема промышленной установки для ионной имплантации, используемой в производстве полупроводников. Установки этого типа отличаются высокой степенью автоматизации, высокой производительностью, в них можно получать значительно более интенсивные и плотные пучки, чем на установке, представленной на рис. 2.1 [16]. На рассмотренной установке можно обработать ~ 50 трехдюймовых подложек за 1 ч. с неоднородностью по подложке  $\leq 1\%$  и воспроизводимостью  $> 0,5\%$ . При имплантации металлов, например для повышения сопротивления коррозии или износу, приведенные показатели по дозам и пучкам могут быть менее строгими, что делает установки более "гибкими" в эксплуатации и в конечном итоге более простыми.

Понятно, что для имплантации металлов большое значение будет иметь разработка новых ионных источников и специальных камер для мишеней, которые позволят обрабатывать детали с поверхностью, отличающейся от плоскости (например, шарики для подшипников) с однородной выдержкой под ионным пучком. Установки, созданные для применения вне полупроводниковой сферы, будут стоить столько же. В качестве примера совершенствования установок для имплантации полупроводников [17]

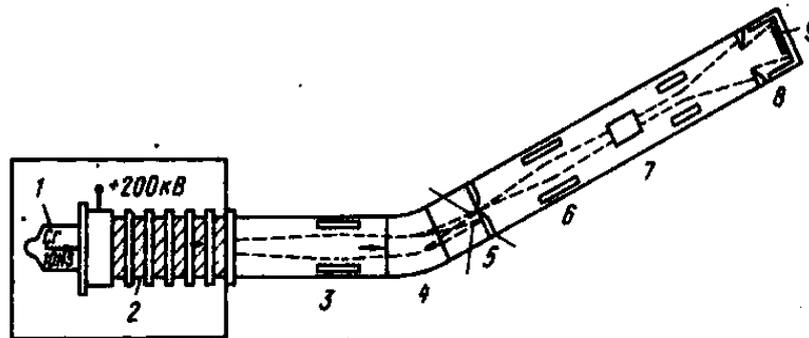


Рис. 2.1. Схема типовой исследовательской установки для ионной имплантации: 1 – ионный источник; 2 – ускоряющая система; 3 – фокусирующие элементы; 4 – массосепаратор; 5 – диафрагма для разделения изотопов; 6 – фокусирующие элементы; 7 – пластины для электростатического сканирования; 8 – определяющая апертура; 9 – мишень в цилиндре Фарадея.

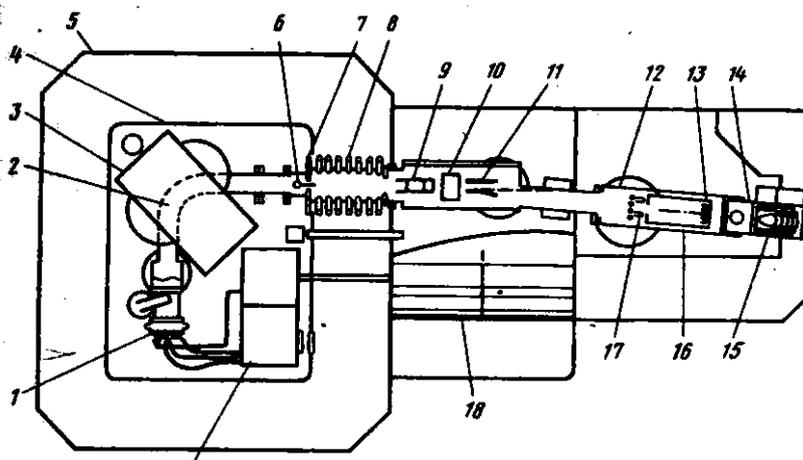


Рис. 2.2. Схема промышленной установки для ионной имплантации полупроводников: 1 – источник ионов AD-250; 2 – ионный пучок; 3 – массосепаратор; 4 – ограждение высокого напряжения; 5 – защитное ограждение; 6 – регулировочная щель; 7 – разделяющая апертура; 8 – ускоряющая трубка; 9 – квадрупольная линза; 10 – пластины сканирования по оси  $x$ ; 11 – пластины сканирования по оси  $y$ ; 12 – приемная камера; 13 – подложка (положение мишени); 14 – вход вакуумного шлюза; 15 – внутренняя кассета с подложками; 16 – главный цилиндр Фарадея; 17 – угловые цилиндры Фарадея; 18 – контрольная панель; 19 – блок питания ионного источника.

описывается установка, позволяющая обрабатывать  $180 \text{ м}^2$  солнечных ячеек в час при дозе  $10^{15}$  ион/ $\text{см}^2$ . Харвеллом создана небывало большая экспериментальная установка, позволяющая обрабатывать детали длиной до  $\sim 250$  см. Большие токи в таких системах неизбежно вызывают необходимость иметь устройство для расфокусировки пучка на большую площадь, а также для устранения чрезмерного нагрева образцов, что вряд ли станет существенным ограничением в применении этого метода.

Для исследований обычно используются образцы с небольшой площадью поверхности и существующие установки вполне удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Однако любые возможные применения ионной имплантации к изделиям с большой площадью обрабатываемой поверхности неизбежно повлекут специализацию установок с модификацией существующих или созданием совершенно новых систем.

Существующие ионные источники [17, 18] дают возможность получить силу тока  $\sim 1$  мА для многих видов ионов, требуемых для обработки полупроводниковых материалов. Этот ток соответствует производительности  $\sim 10 \text{ см}^2/\text{с}$  и дозе  $10^{17}$  ион/ $\text{см}^2$  при использовании имплантации для повышения сопротивления металлов к коррозии и износу. Дальнейшее развитие ионных источников значительно увеличит ионные токи и снизит стоимость обработки. Еще 30 лет назад было известно, что, используя сепараторы ионов, которые сейчас составляют неотъемлемую часть установок для ионной имплантации, можно получать пучки ионов силой тока от 10 до 300 мА [19]. С учетом этого, а также значительных усовершенствований за последние годы в технологии получения ионных пучков, можно сделать вывод, что в конструкциях установок для ионной имплантации металлов будут сочетаться возможность использования их для различных исследований и высокая экономичность в любой сфере применения.

## ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. СКРЫТЫЕ ПРОВОДЯЩИЕ СЛОИ $\text{CoSi}_2$ в Si

Дисилицид кобальта представляет наибольший интерес благодаря его очень низкому электросопротивлению ( $\sim 15$  мкОм·см). Он имеет высокую термостабильность, хорошие адгезионные свойства по отношению к кремнию и оксиду кремния, обладает стойкостью к электромиграции, коррозии и распаду, а также возможностью его эпитаксиального выращивания на кремнии из-за небольшой разницы в параметрах решетки. Эпитаксиальные гетероструктуры Si/CoSi<sub>2</sub>/Si являются перспективными для производства трехмерных ИС, а также диодов Шоттки, транзисторов повышенного быстродействия на «горячих электронах», электродов затворов для структур «металл – оксид – полупроводник» (МОП).

### 3.1. Расчет профилей распределения Co в Si

Профиль распределения имплантированных атомов  $C(x)$  в подложке при отсутствии ее кристаллографической ориентации приблизительно задается гауссовым распределением:

$$C(x) = C_{max} \exp \left[ -(x - R_p)^2 / (2\Delta R_p^2) \right] \quad (3.1)$$

где  $R_p$  – проекционная длина пробега ионов;  $\Delta R_p$  – стандартная дисперсия. Максимальная концентрация распределения  $C_{max}$  равна

$$C_{max} = D / [(2\pi)^{1/2} 2\Delta R_p] \quad (3.2)$$

где  $D$  – доза имплантации. В зависимости от условий имплантации профиль распределения имплантированных ионов по глубине имеет различный вид.

На положение и форму профиля влияют такие параметры, как энергия, доза и масса имплантируемых ионов, масса атомов мишени.

Для расчета профиля распределения имплантированных ионов по глубине целесообразно использовать компьютерное моделирование процесса ионной бомбардировки. За основу для расчета взята программа TRIM (Transport of Ions in Matter) [20], разработанная для исследования легирования полупроводников. При этом моделировали процесс имплантации легких ионов, таких как бор и фосфор, в кремний. В этом случае вводимые дозы ионов невелики и концентрация имплантированных ионов на несколько порядков меньше концентрации атомов мишени.

Актуальной проблемой на сегодняшний день является синтез материалов ( $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ ) с помощью высокодозовой имплантации, когда дозы имплантированных ионов составляют  $10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . При таких высоких дозах концентрация введенных ионов будет сравнима по порядку величины с концентрацией атомов материала мишени (кремния), и, следовательно, необходимо учитывать увеличение плотности мишени в процессе имплантации, а также эффект распыления поверхности, особенно при имплантации тяжелых ионов. Программа TRIM описывает только влияние энергии и массы ионов на профиль распределения независимо от количества вводимых ионов, но в ней не были учтены изменение плотности матрицы во время имплантации и распыления поверхности.

С целью моделирования процесса имплантации ионов кобальта в кремний при создании скрытых проводящих слоев  $\text{CoSi}_2$  разработана модифицированная программа TRIM с учетом эффекта торможения ионов кобальта из-за увеличения его концентрации в кремнии во время имплантации [21]. Учет этого эффекта состоит в следующем. Для набора необходимой статистики при расчете профиля распределения число вводимых ионов было принято равным  $10^4$ , что обеспечивает вполне удовлетворительную точность расчета. Разброс значений среднего пробега, обусловленный статистическими флуктуациями, присущими методу Монте-

Карло, при расчете для  $10^4$  ионов по программе TRIM составляет величину порядка 1 нм. Количество ионов приравнивали к дозе имплантации, которую задавали как входной параметр программы. Толщину слоя мишени, в котором проводили расчет профиля распределения ионов кобальта, принимали равной 400 нм. Это значение было выбрано исходя из того, что образование слоя дисилицида кобальта при имплантации с дозой до  $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  происходит на глубине, не превышающей 400 нм от поверхности мишени [22 – 25]. Этот слой мишени был разделен на 20 равных частей. Через каждые 2000 частиц количество ионов кобальта, попавших в каждый слой, пересчитывается в концентрацию ионов (в  $\text{см}^{-3}$ ) в этом слое. Далее рассчитывали доли кремния и кобальта по отношению ко всем частицам в рассматриваемом слое. Вычисления проводили для каждого слоя. При следующем цикле моделируются столкновения с учетом вероятности взаимодействия как кобальт – кремний, так и кобальт – кобальт.

С помощью модифицированной программы TRIM рассчитаны профили распределения кобальта в кремнии для энергии первичных ионов  $\text{Co}^+ E = 180 \text{ кэВ}$  при дозах  $(1, 2 \text{ и } 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Именно при таких высоких дозах имплантации и энергиях образуется фаза дисилицида кобальта, и проводящий слой располагается на достаточной глубине. Полученные профили распределения приведены на рис. 3.1. С увеличением дозы имплантации профиль распределения ионов кобальта становится уже, и его максимум смещается к поверхности. Это также отображено в изменении значений среднего пробега ионов  $R_p$  и дисперсии  $\Delta R_p$  (по данным расчетов программы), представленных в таблице 3.1.

Обе величины ( $R_p$  и  $\Delta R_p$ ) уменьшаются с ростом дозы, так как масса мишени увеличивается за счет имплантированных ионов кобальта.

**Учет травления поверхности мишени во время имплантации.** Для изучения влияния травления поверхности мишени во время имплантации в зависимости от дозы имплантации исследовали образцы с различными D:  $(1, 2 \text{ и } 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ .

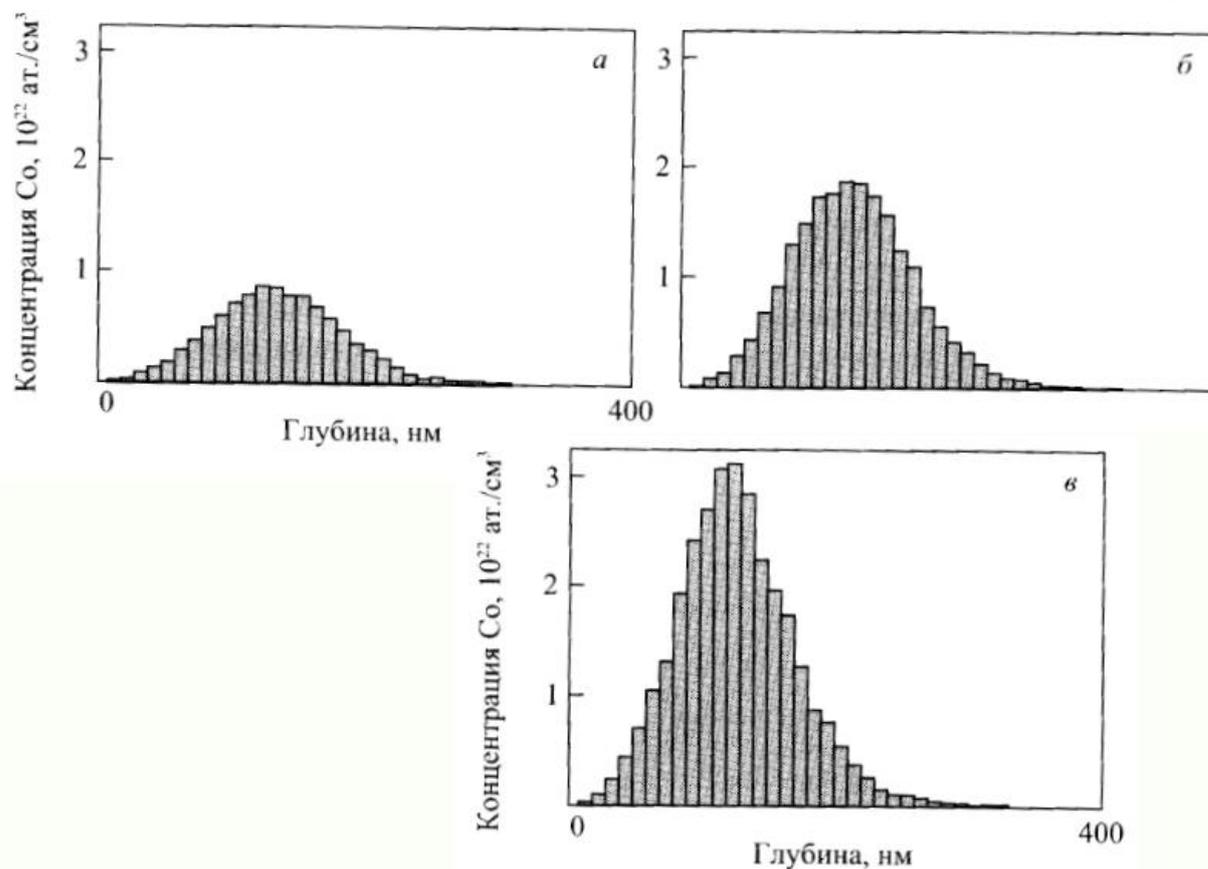


Рис. 3.1. Профили распределения кобальта в кремнии (результаты расчета модифицированной программы TRIM) для разных доз имплантации  $D$ ,  $10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ :  $a$  – 1 ( $R_p = 136,9$  нм);  $b$  – 2 (130,2 нм);  $v$  – 3 (126,5 нм). Распыленный слой – 0; энергия первичных ионов  $\text{Co}^+$  180 кэВ.

Таблица 3.1.

Средний пробег ионов Co и дисперсия с учетом эффекта их торможения

Доза имплантации, $10^{17} \text{ см}^{-2}$	Средний пробег ионов, нм	Дисперсия, нм
1	137	120
2	130	110
3	126	96

Все остальные параметры имплантации оставались постоянными ( $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ,  $\alpha = 7^\circ$ ,  $T = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Профили распределения кобальта по глубине, полученные методом ВИМС, приведены на рис. 3.2.

Изменение положения и формы профиля распределения ионов по глубине обусловлено не только эффектом торможения ионов из-за увеличения массы мишени за счет повышения концентрации имплантируемых ионов в подложке, но и травлением поверхности, особенно при имплантации тяжелых ионов. Так как в программе учитывается уменьшение пробега при росте концентрации кобальта, сравнивая полученные расчетные профили с результатами ВИМС, можно оценить толщину распыленного слоя и скорость травления при выбранных условиях имплантации. В таблице 3.2 указаны толщина распыленного слоя и скорость распыления в зависимости от дозы имплантируемых ионов ( $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ).

Из полученных результатов следует, что скорость распыления практически не меняется при увеличении дозы от  $1 \cdot 10^{17}$  до  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  и находится в пределах  $0,3 - 0,5 \text{ нм/мин}$ . Увеличение скорости травления до  $0,9 - 1,1 \text{ нм/мин}$  при дозе  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  может быть связано с тем, что с ростом времени имплантации происходит аморфизация приповерхностной области мишени. При очень больших дозах может оказывать влияние процесс травления не только кремния, но и уже имплантированного кобальта, что

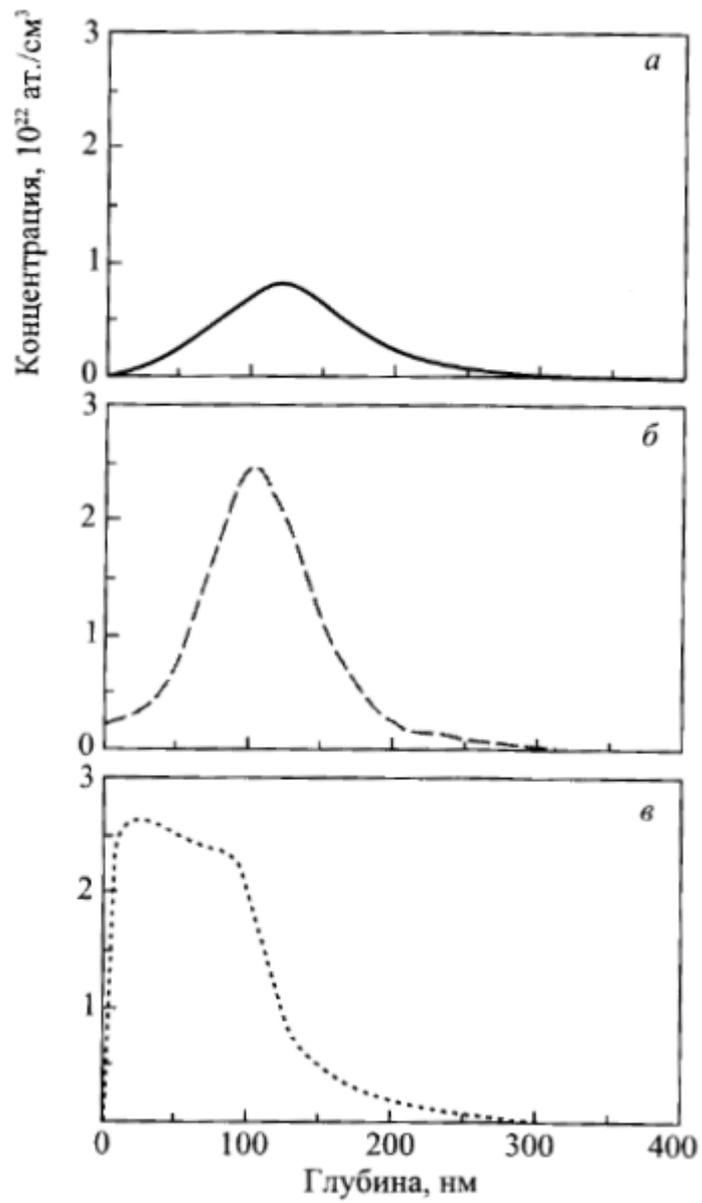


Рис. 3.2. Экспериментальные профили распределения (полученные методом ВИС) кобальта в кремнии для разных доз имплантации  $D$ ,  $10^{17} \text{ см}^{-2}$ :  $a - 1$ ;  $б - 2$ ;  $в - 3$ .

Зависимость толщины распыленного слоя и скорости травления от дозы имплантации ионов Со

Доза имплантации, $10^{17} \text{ см}^{-2}$	Толщина распыленного слоя, нм	Скорость распыления, нм/мин
1	7,5 – 12,5	0,3 – 0,5
2	15,0 – 20,0	0,3 – 0,4
3	70,0 – 80,0	0,9 – 1,1

связано с другим коэффициентом распыления и, следовательно, с другой скоростью распыления.

В рассматриваемой программе предусмотрена возможность учета эффекта травления поверхности во время имплантации. Скорость травления принята постоянной во время всего процесса имплантации (в начальной и конечной стадии процесса имплантации). В качестве входного параметра программы задавали толщину распыленного слоя, которую можно вычислить, если известна скорость травления при данных условиях имплантации. Начальная координата каждой следующей частицы изменялась с учетом травления поверхности по формуле

$$x_{0i} = \frac{i}{N} h \quad (3.3)$$

где  $i$  – номер частицы;  $N$  – общее число частиц ( $N = 10^4$ );  $h$  – толщина распыленного слоя.

Для доз (1, 2 и 3) ·  $10^{17} \text{ см}^{-2}$  при энергии имплантируемых ионов 180 кэВ были рассчитаны профили распределения ионов с учетом эффекта распыления поверхности. Толщина распыленного слоя, исходя из экспериментальных результатов (см. табл. 3.2), была выбрана равной 10, 18 и 75 нм для доз (1, 2 и 3) ·  $10^{17} \text{ см}^{-2}$  соответственно. Профили распределения ионов с учетом эффекта распыления поверхности представлены на рис. 3.3,

значения среднего пробега ионов и дисперсии с учетом эффекта распыления – в таблице 3.3.

Из рис. 3.3 видно, что распыление поверхности приводит к изменению положения профиля распределения (максимум профиля распределения сдвигается ближе к поверхности), не сильно изменяя его форму.

***Сравнение расчетных профилей распределения ионов кобальта в кремнии по глубине с экспериментальными результатами, полученными методом ВИМС.*** Для оценки толщины распыленного слоя во время имплантации разработана модифицированная версия программы TRIM [21], позволяющую моделировать процесс имплантации для любых значений дозы, при этом в программу ввели учет эффекта торможения ионов из-за увеличения плотности решетки. Рассчитаны значения  $R_p$  и  $\Delta R_p$ . Из сопоставления расчетных профилей с экспериментальными результатами, полученными методом ВИМС, оценены толщина распыленного слоя и скорость травления. В программе предусмотрена возможность учета эффекта распыления поверхности во время имплантации.

Для доз  $(1 \text{ и } 2) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  сравнение экспериментальных профилей распределения примеси с результатами расчета вполне удовлетворительно, учитывая статистические флуктуации, присущие методу Монте-Карло. Так, для дозы  $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  распределение кобальта имеет гауссианоподобный вид, максимум соответствует 8 % (ат.) содержания кобальта и находится на глубине приблизительно 120 нм.

Таблица 3.3.

Средний пробег ионов Co и дисперсия с учетом распыления поверхности

Доза имплантации, $10^{17} \text{ см}^{-2}$	Средний пробег ионов, нм	Дисперсия, нм
1	124	120
2	118	114
3	78	96

Расчетный профиль существенно отличается от экспериментального для дозы  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Это связано с тем, что в программе не учитываются такие эффекты, как фазообразование и диффузия во время имплантации. При дозе имплантации  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  на экспериментальном профиле максимум распределения кобальта уширяется, смещается к поверхности образца, его границы становятся резкими, а максимум – П-образным. Концентрация кобальта возрастает до 33 % (ат.), что соответствует стехиометрическому составу  $\text{CoSi}_2$ . Слой  $\text{CoSi}_2$  лежит у поверхности и имеет толщину 90 нм.

### **3.2. Образование и рост зародышей дисилицида кобальта в процессе имплантации**

**Образование фазы  $\text{CoSi}_2$ .** Для дозы имплантации ионов  $^{59}\text{Co}^+$   $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  профиль распределения в Si непосредственно после имплантации имеет гауссианоподобный вид с интенсивностью пика  $\sim 11$  % (ат.) Co на глубине  $\sim 130$  нм. При увеличении дозы имплантации до  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  пик остается гауссианоподобным, но концентрация в пике возрастает до 27 % (ат.) на глубине 85 нм. Ширина пика на полувысоте уменьшается со 120 до 100 нм. Это связано с обратной диффузией атомов Co с хвостов профиля распределения к центру в процессе имплантации. Для дозы имплантации  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  профиль распределения кобальта имеет П-образную форму с высотой пика 35 % (ат.), ширина профиля на полувысоте уменьшается до 90 нм (рис. 3.4).

При имплантации ионов  $^{59}\text{Co}^+$  в нагретые до 450 °С подложки Si (100) образуется дефектный слой в результате каскадных соударений имплантируемых ионов с атомами мишени. Радиационные дефекты представляют собой пары Френкеля – вакансии и межузельные атомы кремния и их комплексы.

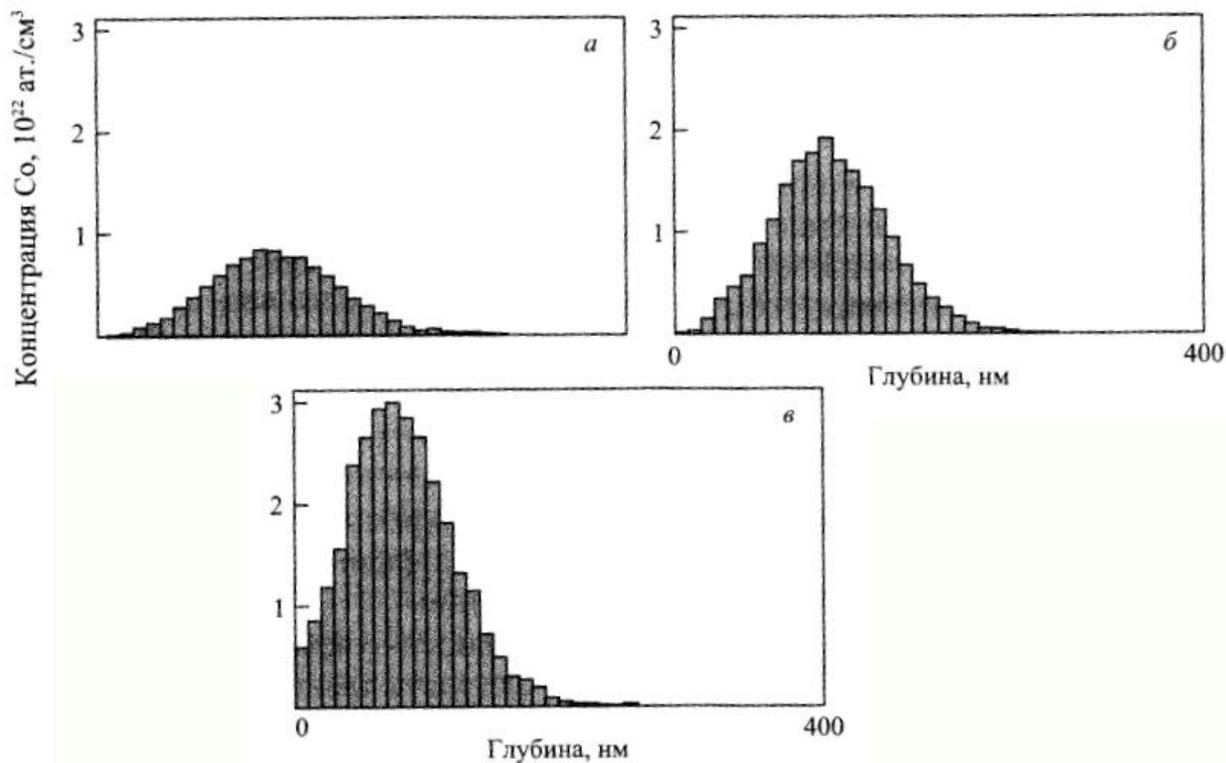


Рис. 3.3. Профили распределения кобальта в кремнии (результаты расчета модифицированной программы TRIM с учетом травления) для разных доз имплантации ( $E = 180$  кэВ): *а* –  $D = 1 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ ,  $h = 0$ ,  $R_p = 136,9$  нм; *б* –  $2 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ ,  $20,0$  нм,  $118,1$  нм; *в* –  $3 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ ,  $80,0$  нм,  $78,1$  нм.

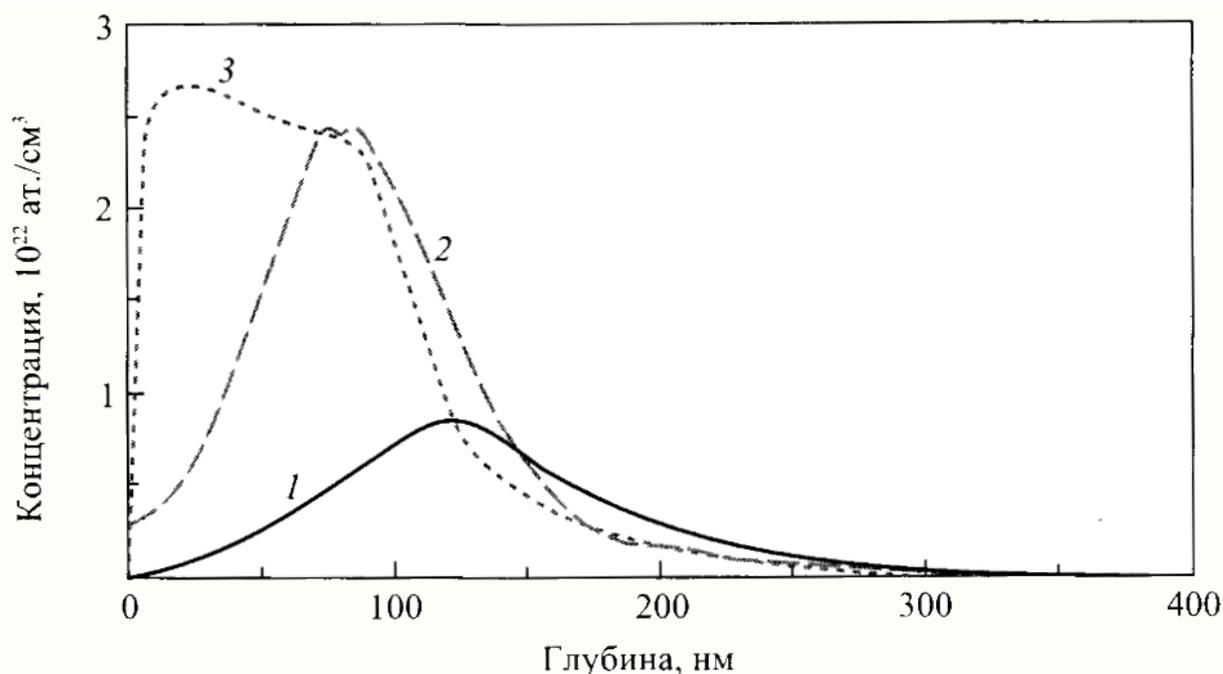


Рис. 3.4. Профили распределения кобальта в кремнии после имплантации ( $E = 180$  кэВ,  $j = 15$   $\text{мкА}/\text{см}^2$ ) для разных доз имплантации  $D$ ,  $10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ : 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3.

К условиям образования новой фазы непосредственно во время имплантации можно отнести:

- достаточную концентрацию Co;
- нагрев подложек, необходимый для предотвращения аморфизации и достаточный для формирования и роста зародышей новой фазы, в рассматриваемом случае 450 °С;
- большое количество дефектов в имплантированном слое (ненасыщенных связей Si – Si).

Показано, что непосредственно во время имплантации в неравновесных условиях формируется фаза дисилицида кобальта.

Данные РФЭС (рис. 3.5) показали, что энергетическое положение пика Si<sub>2s</sub> – 150,0 эВ смещено на 0,2 эВ относительно положения, соответствующего связям Si – Si, что характерно для связей Si в CoSi<sub>2</sub>.

Для всех образцов методом рентгеновской дифрактометрии показано наличие только одной фазы – CoSi<sub>2</sub>. Других соединений (CoSi, Co<sub>2</sub>Si), соответствующих диаграмме состояния Co – Si, обнаружено не было (рис. 3.6).

При термическом формировании слоев CoSi<sub>2</sub> температура, необходимая для получения CoSi<sub>2</sub>, должна быть не ниже 550 °С. При ионной имплантации (в неравновесных условиях) фазу CoSi<sub>2</sub> обнаружили при более низкой температуре 450 °С.

Появление именно фазы дисилицида кобальта непосредственно во время имплантации, по-видимому, обусловлено рядом факторов.

1. CoSi<sub>2</sub> вносит меньшие искажения, так как CoSi<sub>2</sub> имеет решетку с кубической сингонией (рис. 3.7) с параметром 0,5365 нм, близким к параметру решетки Si (несоответствие решеток – 1,2 %). CoSi имеет решетку с кубической сингонией с сильно отличающимся параметром решетки (18,2%, 0,4426 нм), а Co<sub>2</sub>Si – с орторомбической сингонией (PbCl<sub>2</sub> – 0,4918/0,3737/0,7109 нм).

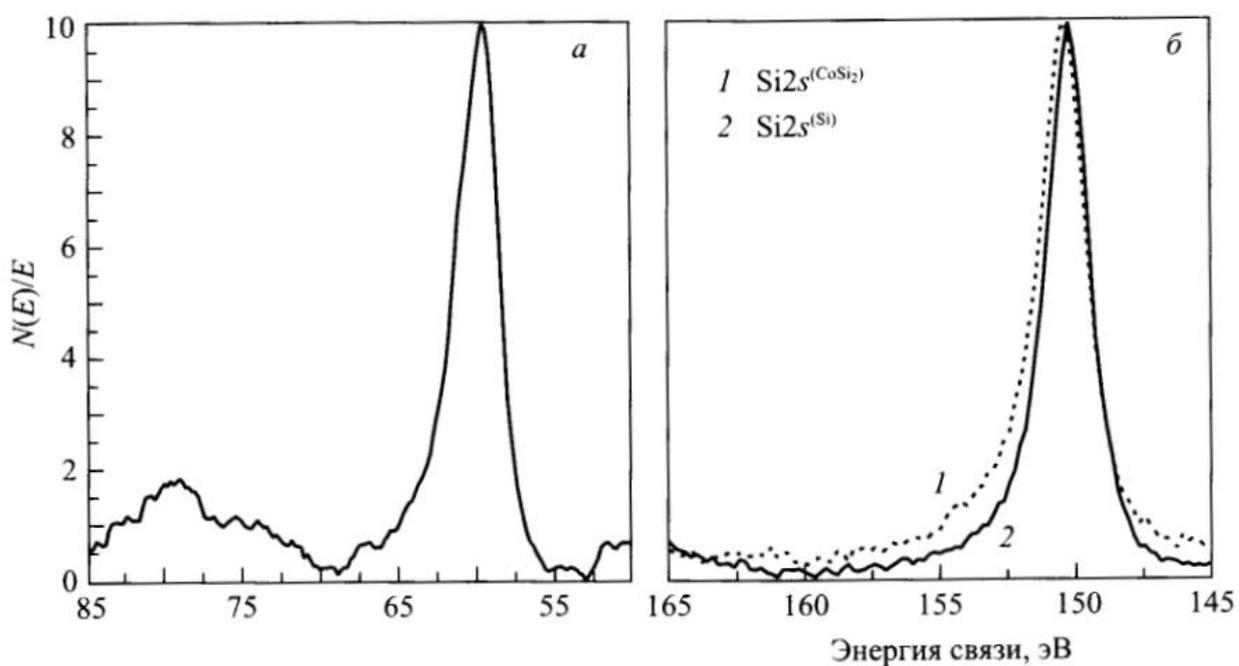


Рис. 3.5. РФЭС-спектры  $Co3p$  (а) и  $Si2s$  (б).

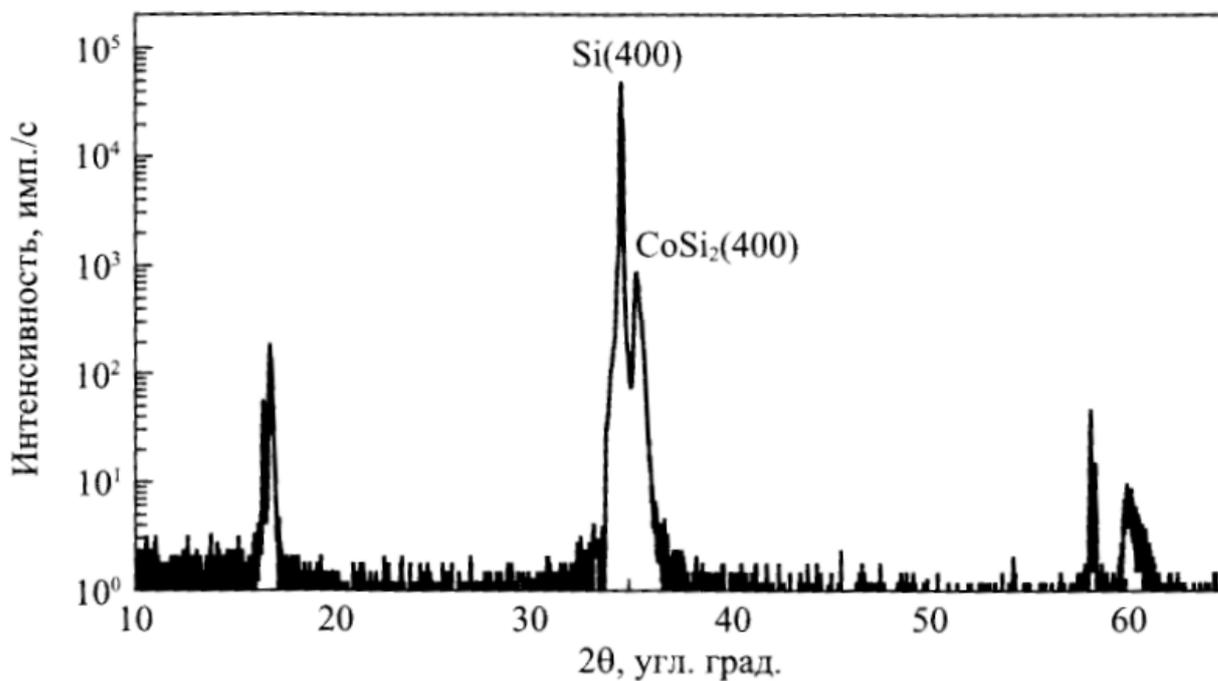


Рис. 3.6. Дифрактограмма структуры  $Si/CoSi_2/Si$  ( $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^{-2}$ ).

2. Недостаточная концентрация кобальта приводит к образованию фазы с наименьшим содержанием Co, а именно  $\text{CoSi}_2$  (33 % (ат.) Co в этом соединении).

Во время ионной имплантации существенное влияние оказывает тот фактор, что формирование новой фазы происходит внутри матрицы кремния в неравновесных условиях, а не на поверхности пластины.

Образование зародышей является началом фазового превращения, изменяющего кристаллическую структуру, химический состав и приводящего к возникновению упругих напряжений из-за несоответствия решеток растущей фазы и матрицы. Движущей силой любого фазового превращения является стремление системы к уменьшению свободной энергии или изобарно-изотермического потенциала  $G$ . Для протекания фазового превращения свободная энергия единицы объема новой фазы должна быть меньше свободной энергии такого же объема системы. В общем виде суммарное изменение свободной энергии системы при фазовом превращении выглядит так:

$$\Delta G = \Delta G_v + \Delta G_s + \Delta G_\varepsilon \quad (3.4)$$

где  $\Delta G_v$ ,  $\Delta G_s$ ,  $\Delta G_\varepsilon$  – изменения свободной энергии, обусловленные объемной, поверхностной и упругой составляющими соответственно.

В процессе роста зародыши укрупняются до размеров толщины скрытого слоя, форма зародышей  $\text{CoSi}_2$  становится додекаэдрической с гранями  $\{111\}$ , а верхняя и нижняя границы ограничены плоскостями  $\{100\}$ , параллельными поверхности (рис. 3.8). Все зародыши имеют схожую с матрицей ориентацию ( $A$ -тип), зародышей  $\text{CoSi}_2$   $B$ -типа не наблюдалось.

Преимущественный рост зародышей  $A$ -типа на более поздних стадиях фазообразования слоев  $\text{CoSi}_2$  также подтверждается исследованием дифракционных картин (рис. 3.9) для образцов после имплантации и высокотемпературного отжига.

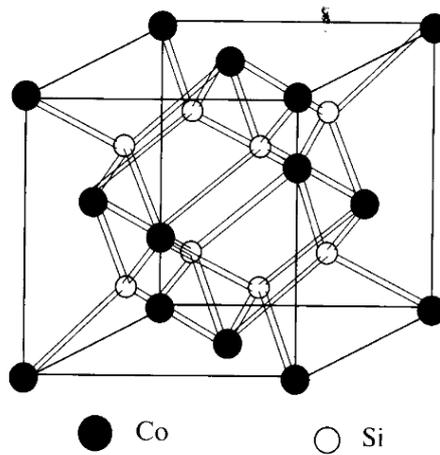


Рис. 3.7. Кристаллическая структура  $\text{CoSi}_2$ .

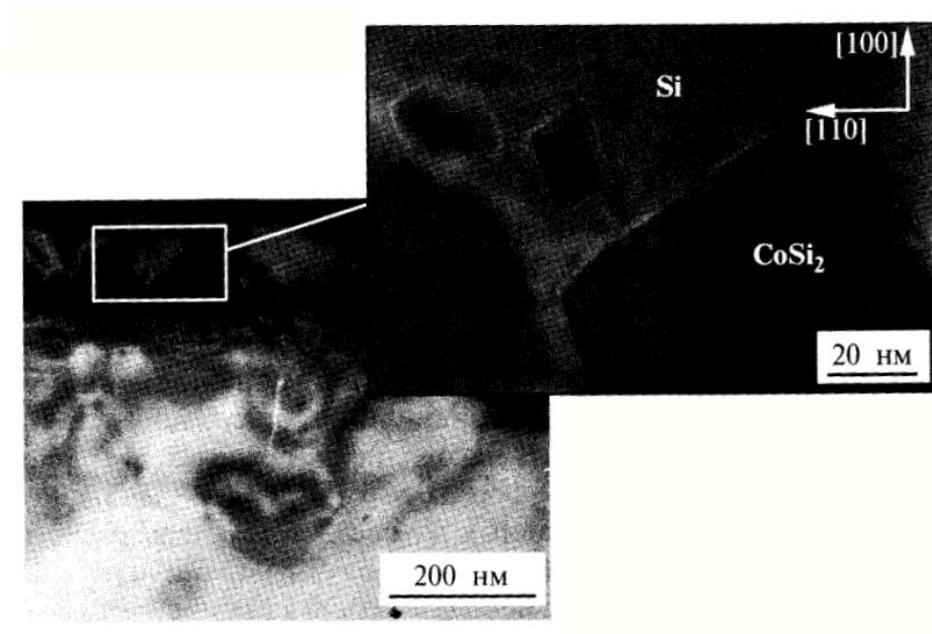


Рис. 3.8. ПЭМ-изображение образца кремния после имплантации кобальта ( $D=1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ) и отжига ( $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 ч +  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , 30 мин).

На дифракционных картинах после имплантации наблюдаются отражения от узлов обратной решетки  $\text{CoSi}_2$ , соответствующие двойниковому типу ориентации зародышей (на рис. 3.9 показано стрелками), в то время как после отжига эти отражения отсутствуют.

По данным ВИМС для образцов с плотностью тока  $15 \text{ мкА/см}^2$  и дозой имплантации  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , максимум профиля распределения Co в Si непосредственно после имплантации (см. рис. 3.10) имеет близкое значение к атомной концентрации Co в соединении  $\text{CoSi}_2$  (33 % (ат.)), что свидетельствует о формировании сплошного слоя во время имплантации. Это подтверждается картинками ПЭМ. Таким образом, формирование сплошного слоя при  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ,  $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$  связано с достижением оптимальных условий имплантации.

Для формирования непрерывных скрытых слоев  $\text{CoSi}_2$  и устранения радиационных дефектов решетки применяли два типа термической обработки:

- двухступенчатый отжиг, включающий в себя низкотемпературный, а затем высокотемпературный;
- только высокотемпературный отжиг.

Низкотемпературный отжиг при  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  проводили для формирования большого количества зародышей и роста фазы  $\text{CoSi}_2$  с наибольшим пересыщением по Co. При образовании силицидов кобальта, получаемых вжиганием тонкой пленки Co на Si (100), при температуре выше  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  выявлена только фаза  $\text{CoSi}_2$ , других силицидов кобальта не обнаружено. При температуре ниже  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  слой состоял из раствора силицидов ( $\text{Co}_2\text{Si}$ ,  $\text{CoSi}$ ,  $\text{CoSi}_2$ ). Температуру  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  выбирали для получения максимального пересыщения.

После низкотемпературного отжига ( $600 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 60 мин) распределение Co в Si близко к распределению после имплантации (рис. 3.11, а). Профиль распределения для образца с дозой  $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  остался гауссианоподобным, его максимум возрос до 15 % (ат.), а ширина на

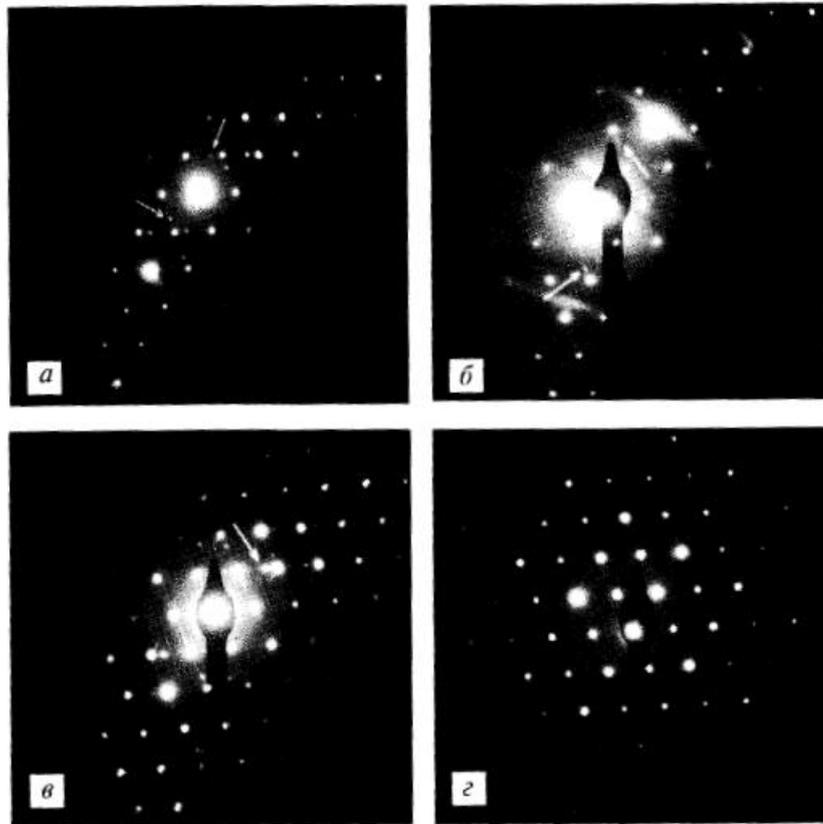


Рис. 3.9. Электронограммы «на просвет» после ионной имплантации Co в Si ( $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ) при различных плотностях ионного тока  $j$ ,  $\text{мкА/см}^2$ : а – 5; б – 15; в – 30; г – 15 (после отжига при  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

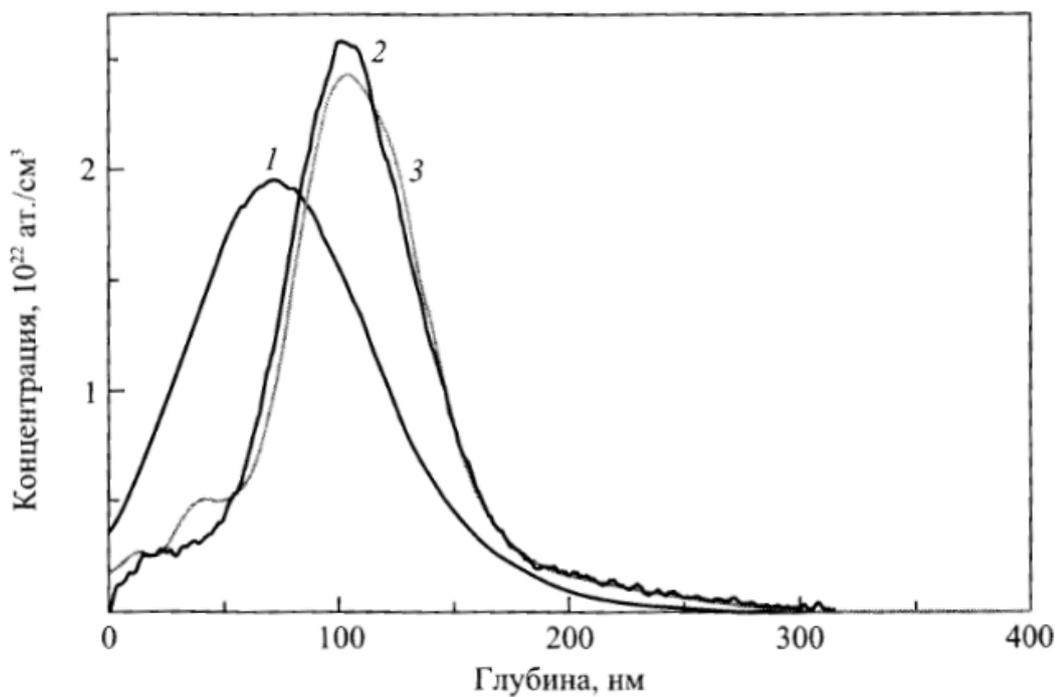


Рис. 3.10. Профили распределения кобальта в кремнии после имплантации ( $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$ ) с разной плотностью ионного тока  $j$ ,  $\text{мкА/см}^2$ : 1 – 5; 2 – 15, 3 – 30.

полувысоте уменьшилась до 110 нм. Для образца с дозой  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (рис. 3.11, б) пик становится более П-образным, видна площадка пика при концентрации, соответствующей стехиометрическому составу  $\text{CoSi}_2$  33 % (ат.).

Для формирования сплошного слоя  $\text{CoSi}_2$  с резкими межфазными границами и отжига радиационных дефектов в имплантированных слоях осуществляли высокотемпературный отжиг. Радиационные дефекты, как правило, аннигилируют при высоких температурах, близких к температуре плавления соединения  $\text{CoSi}_2$ .

Картина распределения Co в Si по глубине при высокотемпературном отжиге ( $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 30 мин) для образцов кремния, имплантированных с дозами  $1 \cdot 10^{17}$  и  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , практически не изменилась (см. рис. 3.11).

Для образцов с дозой имплантации  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  профиль распределения Co остается П-образным с максимумом, соответствующим 33 % (ат.). Профиль распределения имеет резкие границы, что подтверждено данными ПЭМ (рис. 3.12).

Для образца с дозой  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (рис. 3.13) профиль распределения из гауссианоподобного становится П-образным с величиной максимума распределения Co, соответствующей стехиометрическому составу  $\text{CoSi}_2$  33 % (ат.), что говорит о формировании скрытого сплошного слоя  $\text{CoSi}_2$  с резкой межфазной границей.

На ПЭМ-изображениях (рис. 3.14, 3.15) для образцов, имплантированных с дозами  $(1, 2 \text{ и } 3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , видно, что после имплантации под слоем  $\text{CoSi}_2$  наблюдается нарушенный слой Si. После высокотемпературного отжига слой  $\text{CoSi}_2$  становится монокристаллическим. В слое наблюдаются так называемые rod-like дефекты (эти дефекты связаны с образованием дополнительной экстраплоскости в плоскости  $\{311\}$  за счет стока межузельных атомов) и краевые дислокации, но их концентрация невелика. Слои имеют схожую с подложкой ориентацию.

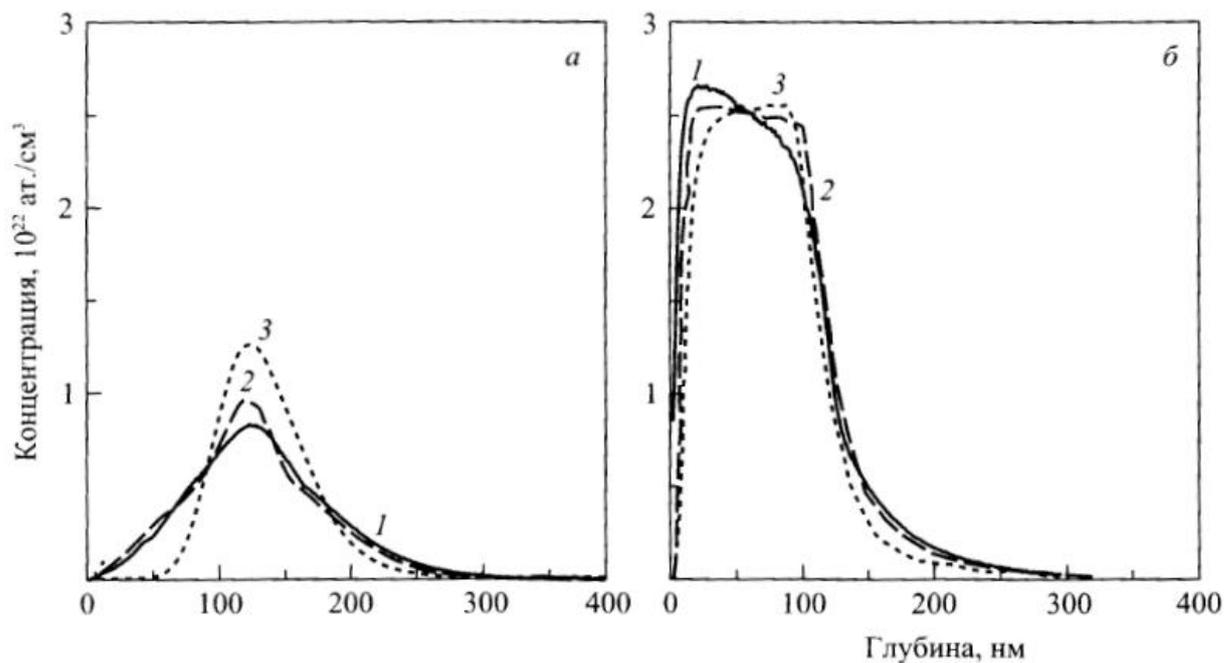


Рис. 3.11. Профили распределения кобальта в кремнии ( $E = 180$  кэВ,  $j = 15$  мкА/см<sup>2</sup>) при дозе имплантации  $1 \cdot 10^{17}$  (а) и  $3 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup> (б): 1 – после имплантации; 2 – после отжига (600 °С, 60 мин); 3 – после отжига (600 °С, 60 мин + 1000 °С, 30 мин).

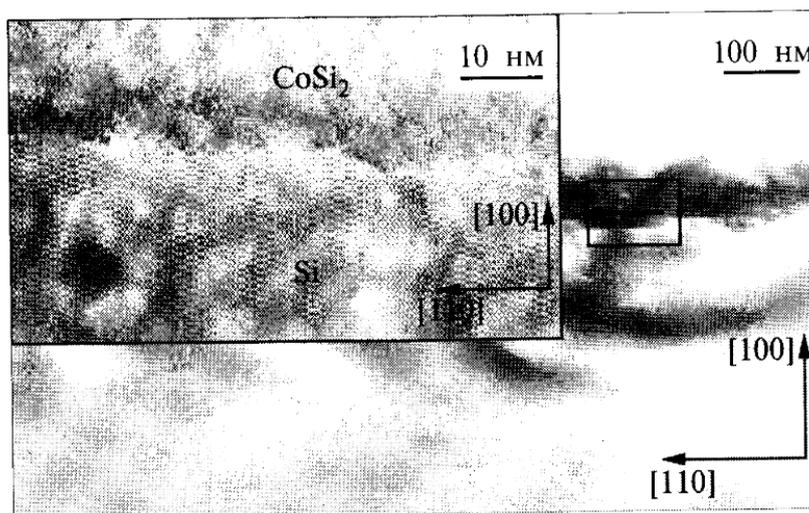


Рис. 3.12. ПЭМ-изображение в «поперечном сечении» образца после отжига при 1000 °С, 30 мин ( $D = 3 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>,  $j = 15$  мкА/см<sup>2</sup>,  $E = 180$  кэВ).

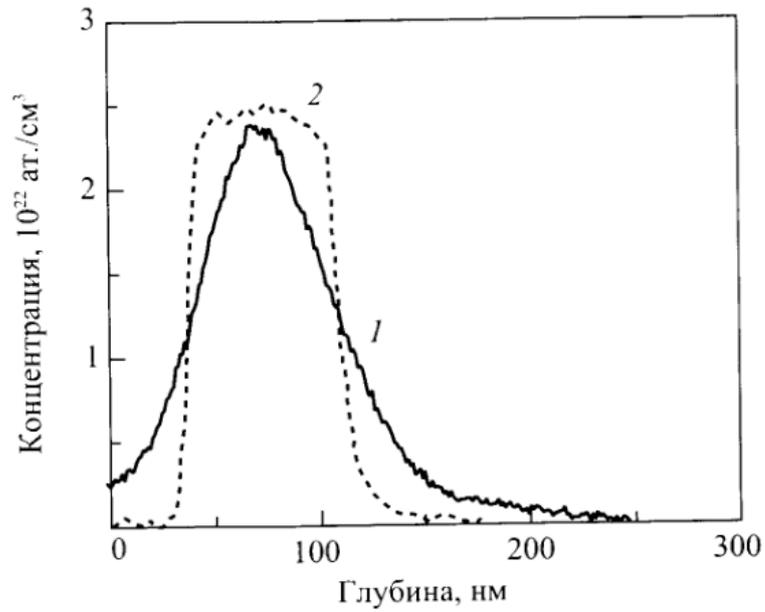


Рис. 3.13. Профили распределения кобальта в кремнии ( $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ): 1 – после имплантации; 2 – после высокотемпературного отжига ( $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , 30 мин).

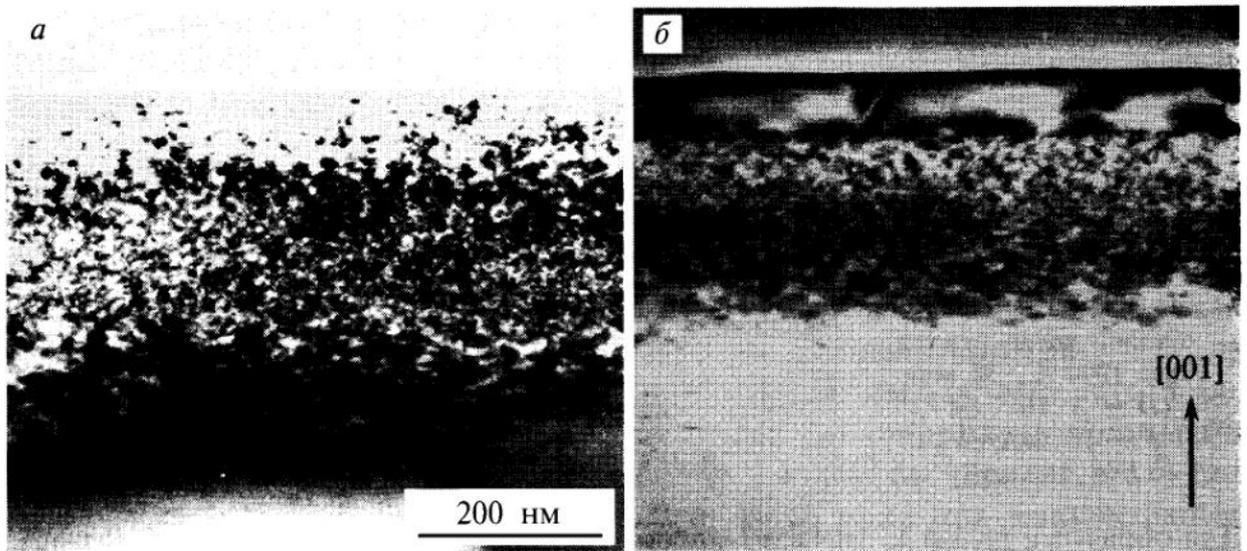


Рис. 3.14. ПЭМ-изображение в «поперечном сечении» для образцов с дозой  $1 \cdot 10^{17} \text{ (a)}$  и  $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2} \text{ (б)}$  после имплантации ( $E = 180 \text{ кэВ}$ ,  $j = 15 \text{ мкА/см}^2$ ).

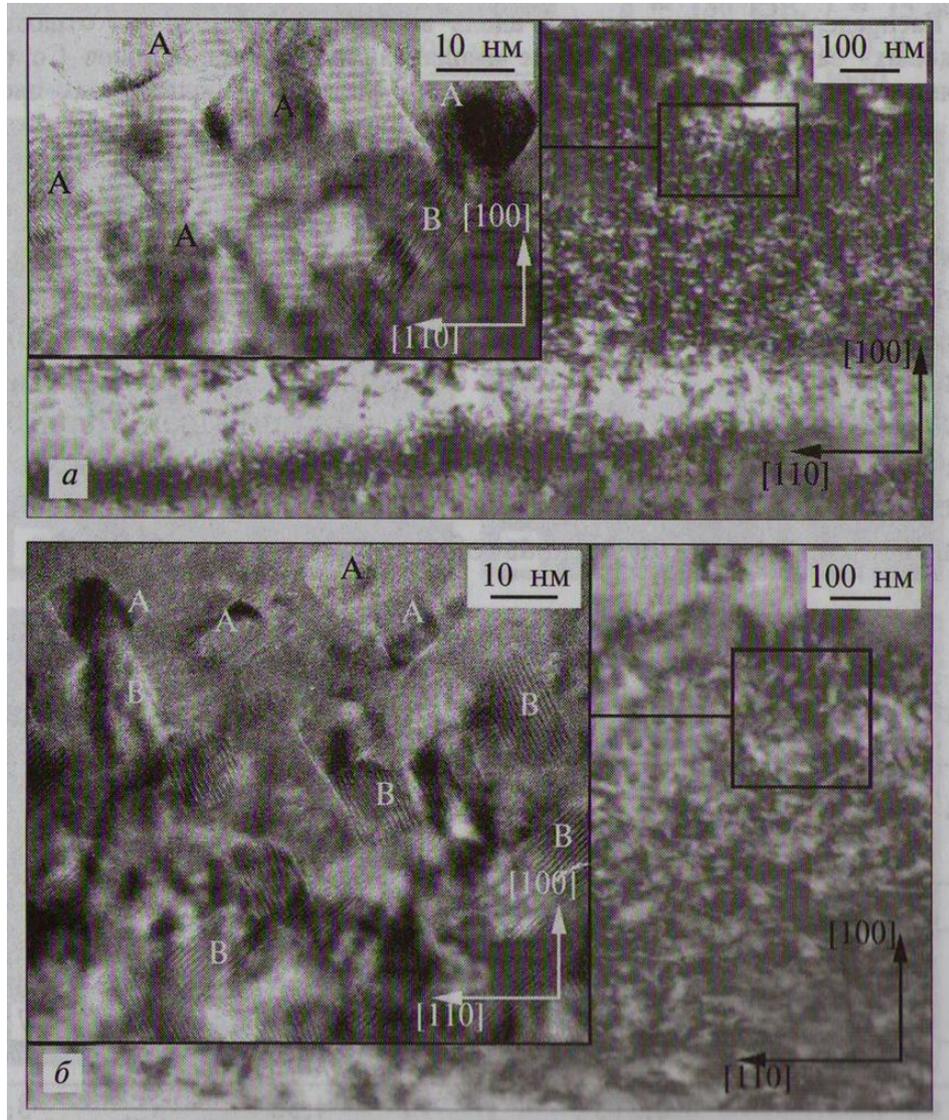


Рис. 3.15. ПЭМ-изображение образцов Si, имплантированных ионами  $\text{Co}^+$  ( $D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ,  $E = 180 \text{ кэВ}$ ) с плотностью тока 5 (а) и 30  $\text{мкА/см}^2$  (б).

Помимо формирования скрытых слоев, целью окончательного высокотемпературного отжига является устранение повреждений решетки. Поскольку отжиг дефектов наиболее эффективен при высоких температурах, его следует проводить при наибольшей допустимой температуре, при которой слой остается стабильным.  $\text{CoSi}_2$  остается стабильным при отжиге  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  в течение нескольких минут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подготовлен литературный обзор по созданию и изучению свойств скрытых слоев с использованием методов эпитаксии.
2. Изучены профили распределения Co в Si после имплантации ионов  $\text{Co}^+$  с  $E_0 = 180$  кэВ с разными дозами. Показано, что зависимость C от d проходит через максимум. С ростом дозы положение максимума сдвигается в сторону поверхности.
3. Установлено, что после прогрева ионно-имплантированного Si в приповерхностном слое Si образуются пленки  $\text{CoSi}_2$ .
4. Изучены электронограммы на просвет системы Si/ $\text{CoSi}_2$ /Si.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека в значительной степени зависит от правильной оценки опасных, вредных производственных факторов. Одинаковые по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами. Это могут быть какие-либо факторы производственной среды, чрезмерная физическая и умственная нагрузка, нервно-эмоциональное напряжение, а также разное сочетание этих причин. Анализ опасных и вредных факторов, воздействующих на работника при разработке данной системы.

Опасные и вредные производственные факторы по природе возникновения делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

В помещении лаборатории могут негативно действовать следующие физические факторы:

- повышенная и пониженная температура воздуха;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- превышающий допустимые нормы шум;
- повышенный уровень ионизирующего излучения;
- повышенный уровень электромагнитных полей;
- повышенный уровень статического электричества;
- опасность поражения электрическим током;
- блеклость экрана дисплея.

К химически опасным факторам, постоянно действующим на работника относятся следующие:

-возникновение, в результате ионизации воздуха при работе компьютера, активных частиц.

Биологические вредные производственные факторы в данном помещении отсутствуют.

К психологически вредным факторам, воздействующим на человека в течение его рабочей смены можно отнести следующие:

- нервно-эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- перенапряжение зрительного анализатора.
- микроклимат рабочей зоны

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха

Лаборатория является помещением I категории (выполняются легкие физические работы), поэтому должны соблюдаться следующие требования:

- оптимальная температура воздуха - 22° С (допустимая – 20 -24° С), оптимальная относительная влажность - 40 - 60% (допустимая - не более 75%), скорость движения воздуха не более 0.1м/с.

Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Воздействие шума. Защита от шума.

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является лаборатория где работает оператор, источниками шумовых помех могут стать, вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное

оборудование для ПК (плоттеры, принтеры и д.р.). Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003-76 ССБТ эквивалентный уровень шума не должен превышать 50 дБА. Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дб);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональная планировка помещения.

Поэтому для уменьшения шума в лаборатории использовать вместо матричного принтера, который производит много шума, более тихий - лазерный принтер.

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.1.003-76, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям главы СНиП 11-12-77 «Защита от шума. Нормы проектирования».

Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля.

Электромагнитные поля характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека.

Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), особенно дисплеи с электронно-лучевыми трубками. Они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье программиста.

ПК являются источниками таких излучений как:

- мягкого рентгеновского;
- ультрафиолетового 200-400 нм;
- видимого 400-700 нм,
- ближнего инфракрасного 700-1050 нм;
- радиочастотного 3 кГц – 30 МГц;
- электростатических полей;

Ультрафиолетовое излучение полезно в небольших количествах, но в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах. Инфракрасное излучение приводит к перегреву тканей человека (особенно хрусталика глаза), повышению температуры тела. Уровни напряженности электростатических полей должны составлять не более 20 кВ/м. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы к течению полутора часов работы и, конечно же, применять защитные экраны. Защитный экран, изготовляемый из мелкой сетки или стекла, собирает на себе электростатический заряд. Для снятия заряда экран монитора заземляют.

Может возникнуть опасность по уровням напряженности электромагнитного поля. На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической допустимые значения СанПиН 2.2.2.542-96. Предельно допустимые значения характеристик ЭМП указана в таблице.

## Предельно допустимые значения характеристик ЭМП

Наименование параметров	Допустимое Значение
Напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность электромагнитного поля по магнитной составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должно превышать: - для взрослых пользователей	20 кВ/м
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: - в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц; - в диапазоне частот 2 - 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц; - в диапазоне частот 2 - 400 кГц	250нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

Для предупреждения внедрения опасной техники все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности (например международные стандарты MRP 2, TCO 99).

Так как работа оператора по виду трудовой деятельности относится к группе В - творческая работа в режиме диалога с ПК, а по напряженности работы ко II категории тяжести (СанПиН 2.2.2.542-96), я предлагаю

сократить время работы за компьютером, делать перерывы суммарное время которых должно составлять 50 минут при 8-ми часовой смене.

Электробезопасность. Статическое электричество.

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности (сухое, бес пыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов).

На рабочем месте оператора из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, но здесь используются системные блоки, отвечающие стандарту фирмы IBM, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Таким образом, оборудование обменного пункта выполнено по классу 1 (ПУЭ).

Электробезопасность помещения обеспечивается в соответствии с ПУЭ.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- Рода и величины напряжения и тока
- Частоты электрического тока
- Пути тока через тело человека
- Продолжительности воздействия на организм человека

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а так же организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим токм на рабочем месте:

- Прикосновение к металлическим не токоведущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

- Нерегламентированное использование электрических приборов.

Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

В течении работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность электростатической поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряженности применять применение увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытия пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера корпус может оказаться подтоком, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого я предлагаю обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле. Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ 12.1. 030. - 81. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электробезопасность в лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а так же организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения разработчика электрическим током на рабочем месте:

1. Прикосновение к металлическим не токоведущим частям системного блока ПЭВМ, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

2. Запрещенное использование электрических приборов, таких как электрические плиты, чайники, обогреватели.

Обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами

Так как все токоведущие части ПК изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим не токоведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, я рекомендую применять защитное заземление.

Заземление корпуса ПК обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно (Г1УЭ) для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а так же проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

При проведении незапланированного и планового ремонта вычислительной техники выполняются следующие действия:

- Отключение компьютера от сети
- Проверка отсутствия напряжения

После выполнения этих действий проводится ремонт неисправного оборудования.

Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозщитных средств.

Оценка условий труда.

Гигиенические критерии оценки и классификаций условий труда основаны на принципе дифференциации условий труда по степени отклонения параметров производственной среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов в соответствии с выявленным

влиянием этих отклонений на функциональное состояние и здоровье работающих.

Ниже приведены таблицы с оценкой классов условий труда программиста по факторам производственной среды.

Таблица 2.

Фактическое состояние условий труда на рабочем месте  
(физические факторы)

№ п/п	Код Фактора	Наименование, ед. измерения	ПДУ, ПД, нормативное значение	Дата измерения	Факт. Уровень фактора	Отклонение	Класс условий	Время действия фактора
1	4.62	Температура, °С	21-25	10.04.	22	0	1	100%
2	4.63	Влажность, %	не более 75	-II-	60	0	1	100%
3	4.64	Скорость воздуха, м/с	не более 0,2	-II-	0,1	0	1	100%
4	4.67	Естественное освещение КЕО, %	2	-II-	1,5	0,5	3.1	100%
5	4.68	Освещенность, лк	300	-II-	250	50	3.1	100%
6	4.70	Отраженная слепящая блескость	Отсутствие	-II-	Присутствует		3.1	75%
7	4.50	Шум (эквивалентный уровень шума), дБА	50	-II-	60	10	3.1	75%
8	4.57	Электростатическое поле, кВ/м	500	-II-	600	100	3.1	75%
9	4.58	Электромагнитные поля, В/м						
		5 - 2000 Гц	25		30	5	3.1	75%
		2 - 400 кГц	2,5		3	0,5	3.1	75%

Таблица 3.

Фактическое состояние условий труда на рабочем месте  
(психофизиологические факторы)

№ п/п	Наименование	Содержание работы	Класс условий труда
1	Рабочая поза	Поза сидя до 50% времени	3.1
2	Содержание работ	Эвристическая (творческая) деятельность, пробуемая решения сложных задач при отсутствии алгоритма.	3.2
3	Восприятие сигналов	Восприятие сигналов с последующим сопоставлением фактических значений параметров с их номинальными значениями. Заключительная оценка фактических значений параметров.	3.1
4	Степень сложности задания	Обработка, проверка и контроль за выполнением задания.	3.1
5	Характер выполняемой работы	Работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности.	2
6	Размер объекта различения	1 - 0,5 мм, более 50% времени	3.1
7	Наблюдение за экраном видеомонитора	Более 4 часов	3.2
8	Значимость ошибки	Несет ответственность за функциональное качество окончательной (конечной) продукции, работы (задания). Влечет за собой повреждения оборудования, остановку технологического процесса и возможность опасности для жизни.	3.2
9	Фактическая продолжительность рабочего дня	8 - 9 часов	2
10	Сменность работ	Односменная работа (без ночной смены)	1

## Общая оценка условий труда

Фактор	1 оптимальный	2 допустимый	3 вредный	4 опасный
Микроклимат	*			
Освещенность			*	
Шум			*	
Электростатическое поле			*	
Электромагнитные поля			*	

Таким образом, можно сказать, что общая оценка условий труда равна 3.2 - т.е. вредные условия труда второй степени. Это вредные условия труда, характеризующиеся наличием вредных производственных факторов, приводящих к в большинстве случаев к росту заболеваемости с временной утратой трудоспособности, повышением частоты заболеваемости, проявлением начальных признаков профессиональной патологии.

## Организация рабочего места оператора

Производственная деятельность оператора, заставляет его продолжительное время находиться в сидячем положении, которое является вынужденной позой, поэтому организм постоянно испытывает недостаток в подвижности и активной физической деятельности. При выполнении работы, сидя большую роль, играет плечевой пояс. Перемещение рук в пространстве влияет не только на работу мышц плечевого пояса и спины, но и на положение позвоночника, таза и даже ног.

Чтобы исключить возникновение заболеваний необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми "отвлекающими" мышечными нагрузками на звенья опорно - двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Антропологические характеристики человека определяют габаритные и компоновочные параметры его рабочего места, а также свободные параметры отдельных его элементов.

По условиям работы рабочее место программиста относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя.

Рабочее место оператора должно занимать площадь не менее  $6 \text{ м}^2$ , высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее  $20 \text{ м}^3$  на одного человека. После проведения анализа рабочего места оператора в лаборатории было выяснено, что площадь данного рабочего места составляет  $4 \text{ м}^2$ , а объем  $12 \text{ м}^3$ , что не соответствует приведенным требованиям. Также в результате анализа были выявлены нарушения в организации непосредственно самого рабочего места оператора. В связи с этим я предлагаю организовать рабочее место оператора, следующим образом. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Желательно, чтобы рабочий стол оператора при необходимости можно было регулировать по высоте в пределах 680 - 780 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол оператора Должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом  $15^\circ$  к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит оператору удобную опору для предплечий Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см,

Рабочий стул оператора должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах 400 - 500 мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах 90 – 110.

## Пожаробезопасность

Степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека. Здание, в котором находится лаборатория по пожарной опасности строительных конструкций относится к категории К1 (малопожароопасное), поскольку здесь присутствуют горючие (книги, документы, мебель, оргтехника и т.д.) и трудносгораемые вещества (сейфы, различное оборудование и т.д.), которые при взаимодействии с огнем могут гореть без взрыва.

По конструктивным характеристикам здание можно отнести к зданиям с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, где для перекрытий допускается использование деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими листовыми, а также плитными материалами.

Следовательно, степень огнестойкости здания можно определить как третью (III)

Помещение лаборатории по функциональной пожарной опасности относится к классу Ф 4.2 – высшие учебные заведения, учреждения повышения квалификации.

### Причины возникновения пожара

Пожар в лаборатории, может привести к очень неблагоприятным последствиям (потеря ценной информации, порча имущества, гибель людей и т.д.), поэтому необходимо: выявить и устранить все причины возникновения пожара; разработать план мер по ликвидации пожара в здании; план эвакуации людей из здания. Причиной возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;

- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;

- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

#### Профилактика пожара

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасное - ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть:

-неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности; неисправные электроприборы.

-Необходимые меры для исключения пожара включают в себя своевременный ремонт электроприборов, качественное исправление поломок, не использование неисправных электроприборов;

-обогревание помещения электронагревательными приборами с открытыми нагревательными элементами. Открытые нагревательные поверхности могут привести к пожару, так как в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага - легковоспламеняющийся предмет В целях профилактики пожара

предлагаю не использовать открытые обогревательные приборы в помещении лаборатории;

-короткое замыкание в электропроводке. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.

-попадание в здание молнии. В летний период во время грозы возможно попадание молнии вследствие чего возможен пожар. Во избежание этого я рекомендую установить на крыше здания молниеотвод;

-несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Для устранения возгорания в результате курения в помещении лаборатории предлагаю категорически запретить курение, а разрешить только в строго отведенном для этого месте.

В целях предотвращения пожара предлагаю проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж, на котором ознакомить работников с правилами противопожарной безопасности, а также обучить использованию первичных средств пожаротушения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

I. Техника - экономические обоснование проекта

II. Определить объем инвестиции

- Стоимость основных фондов
- Объем инвестиции на покупку материально-производственных запасов
- Объем Инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов
- Расчет заработной платы производственных рабочих

III. Определить экономическую эффективность, годовой доход

IV. Определить срок окупаемости инвестиции

1. Техника - экономические обоснование проекта

- Цель, сущность и задачи проекта и его актуальность
- Экономическая эффективность проекта

2. Определить объем инвестиции

Нижеследующим таблице дано приведенные затраты на ВКР

Таблица 1.

Объем инвестиции на покупку материально - производственных запасов

№	Наименование материалов	Количество	Цена материала за единицы	НДС 20%	Стоимость материала с учетом НДС
1	Образцы	4	25000	20000	120000
2	Материалы для резки и шлифования	2	25000	10000	60000
3	Термопары	2	25000	10000	60000
	Итого				240000

Таблица 2.

Объем инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов

№	Наименование	Количество	Цена за единицы	НДС 20%	Общая Стоимость с учетом НДС
1	Экспериментальная установка для имплантации ионов	1	2000000	400000	2400000
2	ОЖЕ – электронный спектрометр	1	2000000	400000	2400000
3	Чувствительные измерительные приборы	2	50000	10000	60000
	Итого				4860000

Таблица 3.

Стоимость основных фондов

№	Наименование основных фондов	Количество	Стоимость основных фондов
1	Лаборатория	1	1000000
2	Оборудования		4860000
	Итого		5860000

Амортизационные отчисления составляет 20 % от стоимости основных фондов (ОФ)

$$A_{\text{отч}} = 20 \% \times \text{ОФ}/12$$

$$A_{\text{отч}} = 0,2 \times 5860000/12$$

$$A_{\text{отч}} = 97666,6667$$

Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание 12% от стоимости основных фондов (ОФ)

$$P_T = 12 \% \times \text{ОФ}/12$$

$$P_T = 0,12 \times 5860000/12$$

$$P_T = 58600$$

Таблица 4.

Расчет заработной платы производственных рабочих

№	Наименование операции	Исполнитель и	Продолжительность	Среднедневная ставка	Стоимость выполненных работ
1	Выбор темы на разработку	СНС	1	17000	17000
2	Изучение и анализ литератур	МНС	2	9000	18000
3	Работа и конструкции эксперимента	МНС	1	9000	9000
4	Ознакомление информационной обеспечение	МНС	1	9000	9000
5	Определение актуальность работ	МНС	1	9000	9000
6	Получение олических контактов	МНС	1	9000	9000
7	Сборка измерительной схемы	МНС	1	9000	9000

8	Подготовка к основному измерению	МНС	1	9000	9000
9	Основное измерение	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
10	Анализ полученных результатов	МНС	1	9000	9000
11	Провести исследование	МНС	1	9000	9000
12	Приготовит заключение по проведенному исследованию	МНС	2	9000	18000
		СНС	1	17000	17000
13	Просчитать на прочность	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
14	Экономическая часть	МНС	1	9000	9000
		СНС		17000	17000
15	БЖД	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
16	Рецензирование	СНС	1	17000	17000
17	Подготовка пояснительной записки и защита	МНС	1	9000	9000
	Итого		24		272000

Основная заработная плата определяется как сумма оплаты труда всех рабочих и премии в размере 40 %

$$Z_{\text{осн}} = \text{СОТ} \times 0,4 + \text{СОТ}$$

$$Z_{\text{осн}} = 272000 \times 1,4$$

$$Z_{\text{осн}} = 380800$$

Дополнительной заработной платы производственных рабочих берется 10 % от основного З/п

$$Z_{\text{д}} = K_{\text{д}} \times Z_{\text{осн}}$$

$$Z_{\text{д}} = 0,1 \times 380800$$

$$Z_{\text{д}} = 38080$$

Фонд оплаты труда определяется как сумму основной и дополнительной заработной платы

$$\text{ФОТ} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{д}}$$

$$\text{ФОТ} = 380800 + 38080$$

$$\text{ФОТ} = 418880$$

Затраты на социальной страхование рассчитывается 25% от ФОТ

$$O_{\text{фсс}} = 25\% \times \text{ФОТ}$$

$$O_{\text{фсс}} = 0,25 \times 418880$$

$$O_{\text{фсс}} = 104720$$

Транспортные расходы рассчитывается 20% от  $Z_{\text{осн}}$

$$P_{\text{тр}} = 0,2 \times Z_{\text{осн}}$$

$$P_{\text{тр}} = 0,2 \times 380800$$

$$P_{\text{тр}} = 76160$$

Расход пара на производственные нужды

Длина – 7 м

Ширина – 5 м

$V = \text{длина} \times \text{ширина}$

$$V = 7 \times 5 = 35 \text{ м}^2$$

$$V = 35 \times 663,05 = 23206,75$$

Расходы на электроэнергию определяются по формуле

$$W = N \times T \times S$$

N - установленная мощность, кВт

T - время работы

S - стоимость электроэнергии за кВт

$$W = 1 \times 144 \times 112,2$$

$$W = 16156,8$$

Объем инвестиции определяется по формуле

$$K = \text{МПЗ} + \text{ФОТ} + A_{\text{оф}} + \Sigma P$$

$$K = 240000 + 418880 + 97666,66 + 174123,55 = 930670,21$$

Таблица 5.

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	1265656,01
2	Затраты на производство	973581,543
3	Производственная себестоимость	931693,543
4	Расходы периода	41888
5	Материальные затраты	279363,55
6	Сырьё	240000
7	Электроэнергия + отопления	39363,55

8	ФОТ	418880
9	Социальное страхование	104720
10	Амортизация	97666,66
11	Прочие затраты	31063,33
12	Основная заработная плата	272000

Таблица 6.

Расчет экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Ед. изменения	Сумма	Примечания
1	Стоимость выполненных работ	Сум	1265656,01	Таблица
2	Затраты на производство	Сум	973581,543	Таблица
3	Инвестиции	Сум	930670,21	Формула
4	Экономическая эффективность	Сум	304359,46	Формула
5	Срок окупаемость	Месяц	3,18	Формула
6	Рентабельность	%	31,3	Формула

Экономическую эффективность определим по формуле

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) \times Q \quad C_1 = C_2 \times 1,3$$

$C_1$  и  $C_2$  - себестоимость до и после

$Q$  - объём производство

$$\mathcal{E} = (1265656,01 - 973581,543) \times 1$$

$$\mathcal{E} = 292074,467$$

Рентабельность определим по формуле

$$R = \frac{\mathcal{E} \times 100\%}{K}$$

$$R = \frac{292074,467 \times 100\%}{993070,21}$$

$$R = 31.6$$

Определяем срок окупаемости

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}}$$

$\mathcal{E}$  - экономическая эффективность

K - капитал

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{993070,21}{292074,467}$$

$$T_{\text{ок}} = 3.18$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_2/4765.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/4765.html)
2. Ершов А.В., Чучмай И.А, Хохлов А.Ф., Машин А.И. Электронный транспорт в многослойных наноструктурах  $\alpha$ -Si/SiO<sub>2</sub>. //Известия вузов. Электроника. 2001. №4. с. 57 – 59.
3. <http://silicon3.narod.ru/Epit/epitmol.htm>
4. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Boltaev E.U., Dzhurakhalov A.A. Obtaining of epitaxial films of metal silicides by ion implantation and molecular beam epitaxy. Materials Science and Engineering B101. 2003. Holland. P. 124 - 127.
5. [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE-%D0%BF%D1%83%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE-%D0%BF%D1%83%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D1%8F)
6. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П., Физико-химические основы технологии микроэлектроники, М., 1979.
7. Современная кристаллография, т. 3, М., 1980.
8. Денисов А. Г., Кузнецов Н. А., Макаренко В. А., Оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии, "Обзоры по электронной технике", сер. 7, в. 17, М., 1981.
9. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 1989. 240 с.
10. Умирзаков Б.Е., Нормурадов М.Т., Ташмухамедова Д.А., Ташатов А.К. Нанозэпитаксиальные пленки и гетероструктуры на основе Si. Ташкент: MERIYUS. 2012. 184 ст.
11. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. /Под ред. Л. Ченга и К. Плога (пер. с англ. под ред. Алферова Ж.И., Шмарцева Ю.В.). М.: Мир. 1989. 582 с.
12. Жирнов В.В., Житковский В.Д., Алтухов А.А. Эпитаксиальные

- комбинации Si, CaF<sub>2</sub> и CoSi<sub>2</sub> // Тонкие пленки в электронике: Материалы 2-го межрегионального совещания. – Москва-Йошкар-Ола, 1992. – С.6-13.
13. Tashmukhamedova D.A. Study of composition and electronic structure of CoSi<sub>2</sub>/Si interface // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. – Moscow, 2006. – V. 70. – № 8. – P. 1409-1411.
14. Безногов М.В., Сурис Р.А. Теория баллистических токов, ограниченных объемным зарядом, в наноструктурах разной размерности // Физика и техника полупроводников, 2013, том 47, вып. 4. С. 493 – 502. <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/>
15. Dearnaley G., Freeman J.H., Nelson R.S. and Stephen J. Ion Implantation. North-Holland Publ., Amsterdam. 1973.
16. Ryding G., Wittkower A.B., Rose P.H. J. Vac. Sci. Technol. 13 (1976) 1030.
17. Kirkpatrick A.R. Ryding G. Proc. Conf. Electron Ion Beam Sci. Technol. 1978.
18. Freeman H. Nucl. Instrum. Methods 22 (1963) 306.
19. Koch J. (ed.), Dawton R.H.V.M., Smith M.L., Walcher W. Electromagnetic isotope separators and applications of electromagnetically enriched isotopes. North-Holland Publ., Amsterdam. 1958.
20. Zigler J.F., Biersack J.P., Littmark O. The stopping and range of ion in solid. – Oxford: Pergamon Press, 1985. – V.1.
21. Кожитов Л.В., Косушкин В.Г., Крапухин В.В., Пархоменко Ю.Н. Технология материалов микро- и наноэлектроники. – М.: «МИСИС», 2007. – 544 с.
22. Meekison C.D., Booker G.R., Reeson K.J. et al. // J. Appl. Phys. 1993. V.74. № 12. P. 7129 – 7133. <http://jap.aip.org/>
23. Валиев К.А., Евгеньев С.Б., Орликовский А.А. и др. // Тр. ФТИАН. 1993. Т. 6. С. 70 – 79.
24. Дворина Л.А. // Перспективы развития исследований в области силицидов. – Киев: ИМП, 1991. – С. 33 – 35.

25. Galaev A.A., Parkhomenko Yu.N., Chtcherbatchev K.D. et al. // J. Crust. Growth. 1998. V. 187. P. 435 – 443.