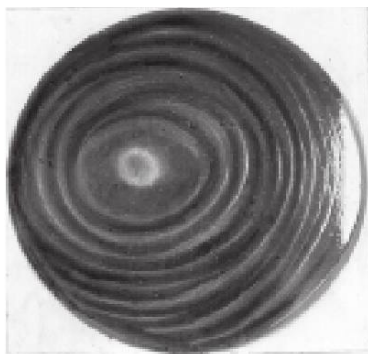


ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 3 - 4  
по дисциплине «Технология материалов  
электронной техники»  
для студентов направления  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
(направленность «Микроэлектроника  
и твердотельная электроника»)  
очной формы обучения



Воронеж 2017

Составители: ассистент А.А. Винокуров,  
канд. техн. наук Е.Ю. Плотникова

УДК 621.382(075)  
ББК 31.233я7

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3 - 4 по дисциплине «Технология материалов электронной техники» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (направленность «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.Ю. Плотникова, А.А. Винокуров. Воронеж, 2017. 22 с.

В методических указаниях описываются процесс геттерирования точечных дефектов в кремнии, рассматриваются контрольные операции по определению количественных параметров дефектов в монокристаллах.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «МУ ТМЭТ\_3\_4.pdf».

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.В. Строгонов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению учебно-методического совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### **Изучение геттерирования точечных дефектов в малодислокационном кремнии**

#### **Задание на лабораторную работу**

1. Изучить металлографическим методом влияние геттерирования на плотность структурных дефектов в малодислокационном кремнии.

#### **Теоретические сведения**

##### **1. Точечные дефекты**

Одной из важнейших задач полупроводниковой электроники является обеспечение высокой степени чистоты и совершенства кристаллической структуры полупроводниковых материалов, используемых для производства приборов и интегральных микросхем.

Современная технология обеспечивает получение бездислокационных монокристаллов полупроводников. Однако опыт использования таких материалов показал, что при этом резко возрастает роль точечных дефектов. Наличие таких дефектов приводит к ухудшению характеристик полупроводникового материала и деградации параметров приборов.

##### **1.1. Типы точечных дефектов**

Точечные дефекты – нарушения периодичности в изолированных друг от друга точках кристаллической решётки. К ним относятся вакансии (дефекты по Шоттки), дефекты типа «атом в междоузлии» (дефекты по Френкелю), примесные атомы (внедрения и замещения), радиационные дефекты и термодефекты (акцепторного и донорного типов). Все виды точечных дефектов принадлежат к равновесным дефектам, так

как они находятся в тепловом равновесии с решёткой кристалла.

Вакансии – это пустые узлы решётки. Вакансии в кремнии имеют акцепторный характер. Тесно связаны с вакансиями другие точечные дефекты – междоузельные атомы, которые являются донорными центрами. Как вакансии, так и атомы в междоузлии обладают довольно высокой подвижностью в монокристаллическом кремнии. В результате этого становится возможным их аннигиляция за счёт миграции к дислокациям и поверхностям, которые играют роль стоков для точечных дефектов; реализуется возможность образования комплексов вакансия – примесь, а также более крупных скоплений точечных дефектов – кластеров.

## **1.2. Кластеры точечных дефектов**

При росте кристаллов кремния с очень низкой плотностью дислокаций возникает новый тип дефектов, которые, вероятно, характерны исключительно для полупроводниковых кристаллов и в настоящее время интенсивно исследуются. Эти дефекты можно наблюдать, например, с помощью избирательного травления; из-за малого размера их называют микродефектами. Картина распределения микродефектов в поперечном сечении кристалла обычно имеет вид спирали, поэтому её обычно называют свирл-картиной. Спиралевидное распределение микродефектов наблюдается на продольных и поперечных сечениях кристаллов, полученных как методом Чохральского, так и методом зонной плавки.

Впервые такие дефекты наблюдались при избирательном травлении пластин бездислокационного кремния. В них обнаружены дефекты, отличающиеся от дислокаций, дефектов упаковки, двойников, преципитатов и межзеренных границ; в результате травления выявлялись «некристаллографические ямки травления». Ямки не имеют определенной ориентации относительно кристалла или друг друга. Плоское дно

ямок указывает на вытравливание локализованных, приблизительно сферических дефектов.

Идентифицированы два типа микродефектов, отличающихся по размеру и концентрации. Микродефекты большего размера, названные А-дефектами, располагаются главным образом в областях, удалённых от поверхности кристалла и от краёв пластин. Микродефекты меньшего размера (В-дефекты) наблюдаются во всём объёме кристалла вплоть до его боковой поверхности.

Экспериментально (методами электронной микроскопии) установлено, что большинство кристаллографических дефектов в кремнии относится к дефектам типа внедрения, или междоузельного типа. В частности, А-дефекты представляют собой дислокационные петли междоузельного типа размером 1 – 3 мкм. Эти петли имеют различную, часто сложную форму. «Чистые» дефекты В-типа не удается наблюдать в просвечивающем электронном микроскопе, хотя декорированные примесями В-дефекты представляют собой очень маленькие петли размером 60 – 80 нм.

Межузельная природа дислокационных петель показывает, что формирование микродефектов связано с наличием избыточных собственных межузельных атомов кремния, или примесных атомов, а не вакансий. Избыточные собственные межузельные атомы могут объединяться в кластеры, образуя «элементарные» дефекты (В-дефекты), представляющие собой рыхлые трёхмерные группировки из межузельных атомов кремния и характеризующиеся очень маленьким полем напряжений.

Установлено, что распределение В-дефектов аналогично распределению примесей с малым коэффициентом сегрегации. В кремнии основными примесями, которые имеют коэффициент распределения меньше единицы и присутствуют в достаточно высокой концентрации, являются кислород и углерод. Таким образом, гетерогенное объединение собственных межузельных атомов кремния происходит с участием уг-

лерода и кислорода. А-дефекты, которые больше В-дефектов и являются, как установлено прямым наблюдением в электронном микроскопе, дислокационными петлями, образуются при более низких температурах, чем В-дефекты, и рассматриваются как продукт превращения В-дефектов. Это превращение может происходить в результате увеличения размера В-дефекта в процессе охлаждения кристалла до температуры 1050 °С, при которой самые большие В-дефекты становятся нестабильными, и происходит их перестройка. В результате этого составляющие В-дефекты собственные межузельные атомы кремния располагаются между соседними плотноупакованными плоскостями в виде диска таким образом, что дают дефекты упаковки типа внедрения.

Механизм, который объясняет различные явления, связанные с микродефектами, основывается на допущении, что при высоких температурах в кремнии основными дефектами являются собственные межузельные атомы и что условия захвата точечных дефектов на фронте кристаллизации являются равновесными. В этом случае концентрация собственных межузельных атомов должна быть одинаковой при всех скоростях роста. По мере охлаждения кристалла от температуры плавления в отсутствие гетерогенных центров зарождения, таких как углерод, концентрация собственных межузельных атомов будет принимать равновесное значение при всех температурах. Однако, наличие примесей может способствовать локальному объединению собственных межузельных атомов и примесей. Такое объединение может происходить в результате формирования капель жидкого кремния в затвердевающем кристалле у фронта кристаллизации за счёт того, что углерод или примеси некоторых переходных металлов, неоднородно распределяясь в затвердевающем кристалле, приводят к локальному увеличению поглощения инфракрасного излучения печи. Капли будут образовывать свирл-картину в соответствии с распределением примеси.

Вероятный механизм образования нарушенных областей при затвердевании капель заключается в следующем. В области, занимаемой каплей, будет содержаться порядка 10% избыточных (межузельных) атомов кремния вследствие более высокой (примерно на 10 %) плотности жидкого кремния по сравнению с кристаллическим. Эти избыточные межузельные атомы либо конденсируются, образуя В-дефекты, либо при достаточном размере капли могут превратиться в дислокационную петлю (А-дефект). Если в окрестности капли имеется примесь, она будет при этом диффундировать к жидкой капле и растворится в ней вследствие более высокой растворимости в жидкой фазе по сравнению с твёрдой. После застывания капли образуются ограниченная область с повышенной концентрацией собственных межузельных и примесных атомов.

При высоких скоростях охлаждения указанное распределение замораживается, при низких – возникшее напряжение частично снимается путём образования дислокационных петель. Последние легко обнаруживаются в электронном микроскопе как А-дефекты. В случае капель малого размера возникающие вокруг них напряжения оказываются недостаточными для создания заметной диффузии межузельных атомов кремния к центру капли. Поэтому после её застывания образуется лишь небольшая область с повышенной концентрацией примесных атомов, которая не обнаруживается в электронном микроскопе без декорирования. Образованные таким образом микропреципитаты примеси (например, углерода) являются В-дефектами. Генерация микродефектов при очень низких скоростях охлаждения начинает подавляться за счет аннигиляции межузельных атомов и вакансий.

### **1.3. Перестройка точечных дефектов**

Если в растущем кристалле концентрация собственных точечных дефектов превышает равновесную, то при охлаждении слитка избыточные точечные дефекты будут объединять-

ся, образуя кластеры. Когда это энергетически выгодно, происходит перестройка с образованием дислокационных петель, которые могут расти или уменьшаться в зависимости от концентрации точечных дефектов в кристалле, размеров первоначальной петли, температуры, скорости охлаждения слитка и наличия других стоков для точечных дефектов.

В процессе окисления кремния в нем часто образуются двумерные дефекты – дефекты упаковки. Дефекты упаковки в кремнии лежат в плоскостях  $\{111\}$  и пересекают поверхность пластины вдоль направлений  $\langle 110 \rangle$ .

Дефекты упаковки в кремнии имеют межузельную природу, то есть представляют собой кусок «лишней» атомной плоскости, ограниченной частичными дислокациями.

Образование дефектов упаковки на поверхности пластины происходит по двум различным причинам. Первая причина – это механические повреждения поверхности пластин при резке или шлифовке образцов. Вторая причина образования окислительных дефектов упаковки (в отсутствие механических повреждений на поверхности) связана с наличием в пластинах свирл-дефектов. Обнаружено, что комплексы точечных дефектов, имеющие свирл-распределение, являются зародышами для дефектов упаковки при окислении кремния.

Поскольку дефекты, образующиеся при окислении, имеют межузельную природу и, следовательно, связаны с аккумуляцией избыточных межузельных атомов, для возникновения этих дефектов требуется выполнение двух условий:

- во время окисления должны возникать избыточные атомы примеси или избыточные межузельные атомы кремния;
- образующиеся избыточные атомы должны конденсироваться в виде локализованных экстраплоскостей между плотноупакованными плоскостями решетки.



## **2. Методы геттерирования точечных дефектов**

Процесс удаления и дезактивации дефектов принято называть геттерированием. В настоящее время геттерирование дефектов представляет важную проблему в промышленной технологии изготовления полупроводниковых приборов, особенно актуальную в связи с увеличением функциональной сложности и размеров кристалла современных интегральных схем.

Существующие методы геттерирования можно классифицировать по различным признакам: расположению геттера относительно пластин, геттерирующей фазе и способу создания геттера.

### **2.1. Геттерирование механической обработкой**

Один из наиболее распространенных способов геттерирования в производстве кремниевых ИС связан с механической обработкой обратной стороны пластин и с последующей термообработкой при повышенной температуре. Напряжения, возникающие в результате механической обработки кремния, создают необходимую движущую силу для диффузии точечных дефектов и неконтролируемых примесей из рабочей области пластин.

### **2.2. Диффузионное легирование нерабочей поверхности подложек**

Диффузионное легирование (в основном фосфором) проводят при температурах от 1073 до 1473 К в течение времени от 15 мин до нескольких часов. Данный метод создания нарушенного слоя основан на формировании сетки дислокаций несоответствия в подложке при его диффузионном легировании до уровней, близких к предельной растворимости легирующего элемента. При этом возможно создание напряже-

ний, превышающих предел прочности кремния и приводящих к образованию дислокаций. Диффузионное легирование фосфором позволяет полностью подавлять образование как объемных, так и поверхностных окислительных дефектов упаковки.

### **2.3. Ионная имплантация примесей**

Геттерирующими свойствами обладают ионно-имплантированные нарушенные слои в кремнии. Относительная эффективность геттерирования возрастает с увеличением массы иона примеси. Для геттерирования используются ионы с энергией от 30 до 500 кэВ. При низких энергиях ионов можно получать мелкие (0,1 – 0,2 мкм) нарушенные слои. Высокие энергии ионов обеспечивают значительную глубину нарушенного слоя. Диапазон используемых для геттерирования доз имплантации варьируется в пределах от  $10^{13}$  до  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>.

### **2.4. Геттерирование с помощью наносимых слоев**

Геттерирование с помощью наносимых слоев осуществляется посредством нанесения:

- металлических слоев (никель, галлий, алюминий, цинк, сплавы олова со свинцом);
- слоев примесно-силикатных стекол (обычно используется на завершающих стадиях изготовления полупроводниковых приборов и ИС для пассивации поверхности и стабилизации параметров приборов);
- слоев поликристаллического кремния (на обратную сторону подложек);
- слоев нитрида кремния (на обратную сторону подложек).

В случае нанесения слоев на рабочую сторону подложек (металлы, примесно-силикатные стекла) эффект геттерирования достигается за счет повышенной растворимости не-

контролируемых примесей в наносимых слоях или их химическим взаимодействием с материалом геттера. При нанесении геттера на нерабочую поверхность подложек движущей силой для диффузии точечных дефектов и примесей являются напряжения, возникающие на границе подложка – нанесенный слой.

## **2.5. Лазерное геттерирование**

В настоящее время наиболее перспективным и разработанным способом создания геттеров является лазерная обработка подложек. При воздействии лазерного излучения нарушения поверхности могут иметь вид дорожек или отдельных лунок. Для этого используется лазерное излучение непрерывное и импульсное.

Сфокусированный луч лазера сканирует по нерабочей стороне пластины, образуя лунки или дорожки с измененной морфологией поверхности, что обусловлено плавлением материала и его кристаллизацией в неравновесных условиях. Степень нарушения структуры регулируется путем изменения размеров лунок или дорожек.

Эффект геттерирования усиливается при обработке кремния на воздухе, что обусловлено образованием  $\text{SiO}_2$  на глубине, соответствующей толщине расплавленного поля. При последующей термообработке области выпадения  $\text{SiO}_2$  декорируются примесями металлов, в частности медью.

## **2.6. Термообработка в специальной среде**

Широкое распространение получили методы геттерирования путем термообработки пластин в специальных средах:

- термическое окисление кремния в хлорсодержащей среде;
- отжиг пластин в «активных» газовых средах;

- послеокислительный отжиг в нейтральной среде;
- создание внутренних геттеров путем термообработки пластин в неокислительной среде.

Последний метод в настоящее время все чаще применяется в производстве и заключается в следующем. В результате, термообработки пластин образуется приповерхностный слой с пониженной концентрацией  $O_2$ , имеющий совершенную кристаллическую структуру, а на удалении от поверхности создается повышенная плотность микродефектов.

Межузельный кислород, растворенный в кремнии, выделяется в объеме пластины в виде преципитатов состава  $SiO_2$ . При этом кристаллическая решетка кремния вокруг этих преципитатов искажается; образуются дислокации и другие дефекты. Таким образом, формируется внутренний нарушенный слой, находящийся внутри пластины, который и является стоком для точечных дефектов и неконтролируемых примесей из рабочей области пластин.

## **Методические указания к выполнению работы**

### **3.1. Выявление дефектов**

Для выявления дефектов и их последующего изучения пластины подвергают обработке в травителе Сиртла состава: 1 часть 33 %-ного водного раствора  $Cr_2O_3$  + 2 части HF (49 %). Затем пластины промывают в деионизованной воде и подвергают сушке. При исследовании протравленных пластин в металлографическом микроскопе наблюдаются плоскодонные ямки травления – А-дефекты и канавки травления определенной кристаллографической ориентации – дефекты упаковки. Плотность выявленных дефектов различна для геттерированной и негеттерированной частей пластины. При определении плотности дефектов ( $N$ ,  $см^{-2}$ ) необходимо установить площадь ( $S$ ) какого-либо элемента схемы, например, конденсаторов

(квадрат) или  $p$ - $n$ -перехода (гребешки) и визуально подсчитать число дефектов ( $n$ ), приходящихся на эту площадь.

### 3.2. Порядок измерений и обработка результатов

1. Ознакомиться с устройством и работой металлографического микроскопа.

2. Определить цену деления окуляра микроскопа. Для этого:

– на предметный столик микроскопа установить объект-микрометр;

– получить изображение штрихов объект-микрометра (параллельно делениям окуляра);

– определить цену деления окуляра по формуле

$$E = \frac{T \cdot Z}{A} \quad (3.1)$$

где  $E$  – цена деления окуляра;

$T$  – число делений объект-микрометра;

$Z$  – цена деления объект-микрометра, равная 0,01 мм;

$A$  – число делений окуляра.

3. Поместить на предметный столик микроскопа образец с выявленными структурными дефектами.

4. Сравнить визуально геттерированную и негеттерированную области образца.

5. Определить площадь какого-либо элемента схемы и подсчитать количество дефектов.

6. Повторить измерения на нескольких элементах схемы и результаты занести в таблице 3.1.

Таблица 3.1

$n$	$S, \text{см}^2$	$N, \text{см}^{-2}$

7. Рассчитать погрешность измерений.

### **Контрольные вопросы**

1. Структурные дефекты в малодислокационном кремнии.
2. Кластеры точечных дефектов и механизм их образования.
3. Методы геттерирования точечных дефектов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Контроль наличия свирлевых дефектов в бездислокационных слитках монокристаллического кремния

#### Задание на лабораторную работу

1. Изучить порядок подготовки образцов монокристаллического кремния к проведению контроля дефектов.
2. При помощи металлографического микроскопа провести оценку плотности микродефектов в образце кремния.

#### Теоретические сведения

Свирлевый дефект (свирлевая картина) – спиралеобразное распределение микродефектов относительно оси роста, обнаруживаемое после избирательного травления на торце монокристаллического слитка (рис. 4.1) с плотностью микродефектов более  $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ .

Микродефект – локальная область слитка, отличающаяся по свойствам от окружающей матрицы, ограниченная размером  $10^{-2} - 10^2 \text{ мкм}$ .

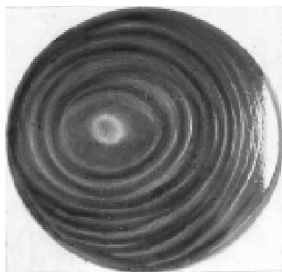


Рис. 4.1. Свирлевая картина на торце монокристаллического кремния

## Методические указания к выполнению работы

Методика предназначена для выявления и контроля наличия свирлевых дефектов в бездислокационных слитках монокристаллического кремния электронного и дырочного типов электропроводности с удельным электрическим сопротивлением более 0,3 Ом·см с ориентацией (111), (100), (013). Методика применима для слитков в кремнии с плотностью микродефектов от  $1 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^7$  см<sup>-2</sup>.

### 1. Сущность метода

Методика выявления свирлевых дефектов (свирлевой картины) основана на различии скорости травления областей монокристаллического слитка, содержащего микродефекты, по сравнению с кристаллографически совершенными областями. В местах расположения микродефектов скорость травления изменяется, благодаря чему область микродефекта выявляется в виде плоскодонной ямки, геометрия которой определяется ориентацией исследуемой плоскости и типом микродефекта (рис. 4.2).

Контроль наличия свирлевых дефектов (свирлевой картины) проводят путем визуального просмотра контролируемой поверхности и подсчета числа микродефектов в поле зрения микроскопа.



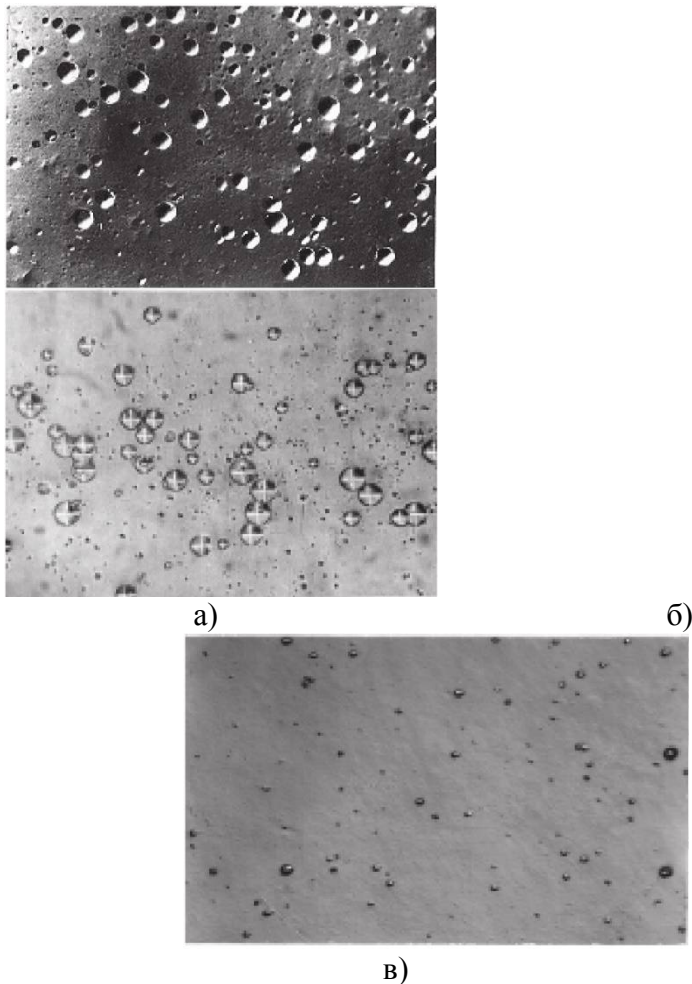


Рис. 4.2. Ямки травления, образующие свирлевую картину (увеличение 100): а – на плоскости (111); б – на плоскости (100); в – на плоскости (013)

## 2. Аппаратура, материалы, реактивы

Микроскоп металлографический ММР-4.

Люминесцентная лампа мощностью не менее 15 Вт.  
Весы ВЛТК или ВНЦ-2 по ГОСТ 29329.

Ванны из винипласта.

Колба мерная по ГОСТ 1770.

Инструменты с применением алмазных порошков по ГОСТ 9206 с зернистостью не более 100/80 мкм.

Ткани хлопчатобумажные бязевой и миткалевой группы по ГОСТ 29298.

Бумага промокательная.

Бумага фильтровальная по ГОСТ 12026.

Кислота фтористоводородная ос. ч. по ТУ 6–09–3401 и ТУ 6–09–4015, техническая по ГОСТ 2567, х. ч., ч., ч. д. а. по ГОСТ 10484.

Кислота азотная ос. ч. по ГОСТ 11125, ч., ч. д. а., х. ч. по ГОСТ 4461, концентрированная техническая по ГОСТ 701.

Кислота уксусная ос. ч. по ГОСТ 18270, ч., х. ч., ч. д. а. по ГОСТ 61.

Ангидрид хромовый ч. д. а. по ГОСТ 3776, технический по ГОСТ 2548.

Вода питьевая по ГОСТ Р 51232–98.

Допускается использование оснастки средств измерения и материалов, аналогичных по назначению и не уступающих по показателям качества.

### **3. Подготовка образцов**

3.1. Контроль наличия свирлевых дефектов осуществляют на торцах монокристаллических слитков либо на поверхности, непосредственно примыкающих к торцам слитка.

3.2. Контролируемые поверхности обрабатывают с помощью инструмента (резка или шлифовка), указанного в разд. 2. На контролируемой поверхности не должно быть сколов, выступов, трещин.

3.3. Обрабатываемые поверхности промывают в проточной воде и сушат фильтровальной бумагой или другим обтирочным материалом, указанным в п. 3.

3.4. Химическая полировка.

3.4.1. Используют полирующий раствор состава: кислота фтористоводородная – кислота азотная в соотношении 1:(2–4).

3.4.2. Монокристаллические слитки или пластины погружают в ванну с полирующим раствором. В процессе травления раствор разогревается.

Объем полирующего раствора составляет 5–10 см<sup>3</sup> на 1 г обрабатываемого материала или 5–10 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>2</sup> поверхности. При этом вся подлежащая контролю поверхность должна быть покрыта полирующим раствором.

При полировке необходимо постоянное перемешивание раствора.

3.4.3. Продолжительность химической полировки составляет 2–10 мин.

3.4.4. По окончании полировки слитки или пластины быстро выгружаются из раствора, промывают в проточной воде и сушат фильтровальной бумагой или другим обтирочным материалом.

3.4.5. Допускается многократно использовать полирующий раствор. Полирующий раствор становится непригодным, если при травлении в нем в течение 10 мин полировка не происходит.

3.4.6. Допускается для химической полировки использовать раствор состава: кислота фтористоводородная – кислота азотная – кислота уксусная в соотношении (3:6:2).

3.5. Выявление свирлевых дефектов.

3.5.1. Плоскость (111).

3.5.1.1. Используют раствор состава: кислота фтористоводородная – водный раствор хромового ангидрида (250–300 г/л) в соотношении (3:4).

3.5.1.2. Объем травителя составляет 1,0–1,5 см<sup>3</sup> на 1 г обрабатываемого материала или 1,8–2,2 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>2</sup> поверхности.

При травлении ванну с раствором закрывают крышкой.

3.5.1.3. Продолжительность травления составляет 20–30 мин.

3.5.1.4. Способ загрузки проводят как указано в п. 3.4.2. Выгрузку образцов проводят после разбавления водного раствора хромового ангидрида большим количеством воды до полного обесцвечивания раствора.

3.5.1.5. Рекомендуется однократное использование раствора для всех контролируемых плоскостей (см. пп. 3.5.1–3.5.3).

3.5.2. Плоскость (100).

3.5.2.1. Используют раствор состава: кислота фтористоводородная — водный раствор хромового ангидрида (1200 г/л) в соотношении (1:4).

3.5.2.2. Объем травления составляет 1,6–2,2 см<sup>3</sup> на 1 г обрабатываемого материала или 5,5–5,7 см<sup>3</sup> и более на 1 см<sup>2</sup> поверхности.

3.5.2.3. Продолжительность травления составляет 30–40 мин.

3.5.3. Плоскость (013).

3.5.3.1. Используют раствор состава: кислота фтористоводородная – водный раствор хромового ангидрида (300 г/л) – вода в соотношении (3:2:3).

3.5.3.2. Объем травителя составляет 0,8–1,3 см<sup>3</sup> на 1 г обрабатываемого материала или 1,6–1,9 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>2</sup> поверхности.

3.5.3.3. Продолжительность травления составляет 25–30 мин.

## 4. Проведение контроля

4.1. При контроле свирлевых дефектов осматривают контролируемую поверхность невооруженным глазом, изменяя ее положение относительно источника света. Отмечают место на витке свирлевых дефектов с предположительно наиболее высокой плотностью микродефектов. При этом периферийная область шириной 5 мм не учитывается.

4.2. Плотность микродефектов определяют на металлографическом микроскопе. Рекомендуется иметь в поле зрения не более 200 ямок травления. При работе с микроскопом ММР-4 рекомендуемые увеличения приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1  
Соответствие увеличения микроскопа и плотности дефектов

Плотность микродефектов, см <sup>-3</sup>	Увеличение
До $5 \cdot 10^3$	100
От $5 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$	100–200
От $2 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^7$	200–300

Допускается плотность ямок травления подсчитать по части поля зрения.

Число микродефектов подсчитывают в пяти полях зрения, расположенных вдоль витка свирлевых дефектов с максимальной плотностью микродефектов, пропуская после каждого замера два поля зрения.

Плотность микродефектов в поле зрения (N) вычисляют по формуле

$$N = \frac{\sum_{i=1}^5 n_i}{5}, \quad (4.1)$$

где n – число микродефектов в поле зрения.

При плотности микродефектов не более  $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$  для слитков ориентацией (100) и (013) и не более  $3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$  для слитков ориентацией (111) слитки считаются не содержащими свирлевых дефектов.

4.3. При подсчете плотности микродефектов на исследуемой поверхности под микроскопом следует отличать ямки травления, связанные с ростовыми микродефектами, от фигур травления, возникающих в результате окисления или механических нарушений поверхности (рис. 4.3, 4.4).

Плотности микродефектов подсчитывают в витке свирлевых дефектов, свободном от указанных выше фигур травления.



а)



б)

Рис. 4.3. Ямки травления, возникающие вследствие окисления поверхности образца. Увеличение 225

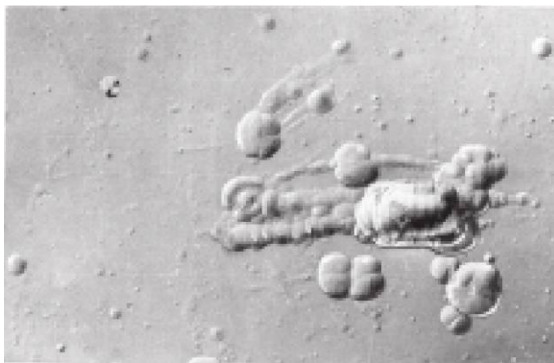


Рис. 4.4. Ямки травления, возникающие вследствие механических нарушений поверхности образцов.  
Увеличение 225

4.4. Окисная пленка выглядит в виде мазков, островков или сплошного матового фона. Когда окисная пленка затрудняет наблюдение свирлевых дефектов, контролируемая поверхность подлежит повторной механической и химической обработке.

4.5. При визуальном осмотре может быть обнаружен рельеф травления, связанный с примесной неоднородностью. Этот рельеф под микроскопом выглядит как система канавок.

4.6. Для приготовления полирующего раствора используют кислоты любой чистоты, для селективного раствора (выявления свирлевых дефектов) используют только кислоты особой чистоты.

4.7. Погрешность измерения, рассчитанная по формуле (4.1), не превышает 30 % с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

## **Контрольные вопросы**

1. Физическая природа свирлевых дефектов.
2. Порядок подготовки образцов для проведения контроля свирлевых дефектов.
3. Порядок проведения контроля микродефектов.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 16153-80. Германий монокристаллический в слитках. Технические условия. – М.: Госстандарт: Издательство стандартов, 1981. – 50 с.

2. ГОСТ Р 19658-81. Цветные металлы. Кремний, магний, кадмий, титан. Технические условия. Марки. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 50 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 3	1
Лабораторная работа № 4	13
Библиографический список	23

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 3 - 4  
по дисциплине «Технология материалов электронной техники»  
для студентов направления  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
(направленность «Микроэлектроника  
и твердотельная электроника»)  
очной формы обучения

Составители:

Винокуров Александр Александрович  
Плотникова Екатерина Юрьевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 18.09.2017.  
Уч.-изд. л. 1,1.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14