

**Изучение рельефа и физических свойств поверхности
нанополированных материалов**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1. Методы обработки поверхности: резка, шлифовка полировка	7
1.2. Развитие технологии обработки поверхности материалов	18
1.3. Постановка задачи исследования	26
ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	27
2.1. Особенности жидкофазного химического нанополирования	27
2.2. Структурные и электрофизические свойства нанополированных материалов	29
2.3. Изменение состава и структуры поверхности Si при химико-термической очистке	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	45
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	61
ЛИТЕРАТУРА	69

ВВЕДЕНИЕ

По оценкам Ж.И. Алфорова, в отличие от технологии кремниевых сверхбольших интегральных схем (СБИС) – основы в системах обработки информации – наногетероструктурная электроника становится доминирующей в системах передачи информации. Эта новейшая наукоемкая технология определяет стремительный прогресс современных средств связи, а также современных электронных средств вооружений (бортовых и наземных радиолокаторов, средств радиоэлектронной борьбы и т.д.). Она базируется на высокопрецизионных наногетероструктурах и обеспечивает наивысшие скорости пролета электронов в приборах и минимальные диссипативные потери, делает возможным управлять шириной запрещенных зон в наногетероструктурах. Именно наногетероструктурная технология позволяет создавать самые высокоскоростные и высокочастотные твердотельные приборы, с рекордным усилением, с минимальными шумами (для приемных устройств) и максимальной выходной мощностью и КПД (для передающих устройств). Ширина затвора у современных гетероструктурных транзисторов достигает 20 – 30 нм, что меньше де-бройлевской длины волны электрона. Это позволяет называть такие приборы первыми продуктами промышленной наноэлектроники.

Переход от микро- к нанометровым размерам топологических элементов в кремниевой электронике и оптоэлектронике связан с использованием слоев материалов толщиной 5 – 15 нм и с геометрическим рельефом от долей до единиц нанометров. При этом для формирования приборных структур необходимо иметь поверхность с высокой геометрической, структурной и химической однородностью на площадях в десятки и сотни квадратных сантиметров. Поэтому механическая обработка поверхности и в особенности ее окончательная стадия – химико-механическое полирование (ХМП) являются важным звеном в цепочке

современных «высоких» технологий создания приборов электроники: нанополирование, нанозпитаксия, нанолитография, наноструктуры.

Основной целью данной выпускной квалификационной работы является определение структуры и электрофизических свойств поверхности нанополированных материалов на основе анализа картин АСМ, просвечивающей электронной микроскопии, Резерфордского обратного рассеяния протонов.

ГЛАВА I. КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Методы обработки поверхности: резка, шлифовка полировка

РЕЗКА (CUTTING)

Первым шагом в подготовке образца для металлографического или микроструктурного анализа надо определить зону интереса. Сечение или резка является наиболее простым методом получения этой зоны интереса. Правильный срез гарантирует минимальное повреждение микроструктуры. Следует избегать избыточного повреждения подслоя и вторичных фаз (например, пластин графита, включений или вытягивания зерна).

Сечение можно подразделить на две области: абразивная резка и прецизионная резка тонкими дисками. Абразивная резка, в основном, применяется для металлических образцов и выполняется абразивными дисками из карбида кремния или оксида алюминия на связующем из смолы или резины. Требуется правильный выбор отрезного диска для минимизации прижогов и выделения тепла при резке, которые разрушают как поверхность образца, так и эффективность отрезного диска. Прецизионная резка выполняется тонкими алмазными дисками. Такая резка особенно подходит для резки керамики и минералов, а также для некоторых металлических материалов [1 – 3].

Абразивная резка

Пробо подготовка начинается с резки, а хорошая резка означает хороший старт. Абразивная резка в основном используется для пластичных материалов. Пример включает металлы, пластики, полимерные матричные композиты, металлические матричные композиты и т.п. Для правильного выбора абразивных дисков необходимо понимание взаимодействия между абразивными частицами, абразивным связующим и свойствами образца.

Выбор правильного отрезного диска гарантирует отсутствие пережогов и искажений, и является лучшим способом сохранения времени и расходных материалов. При правильной резке получаются образцы, которые готовы для дальнейших шагов подготовки. Наиболее часто используемыми абразивами для резки различных материалов являются SiC и Al₂O₃. Карбид кремния подходит для цветных металлов, тогда как оксид алюминия предпочтителен для черных металлов. Твердые диски используются для резки мягких материалов, а мягкие диски рекомендуются для резки более твердых материалов.

- Выберите подходящий отрезной диск
- Закрепите образец – неправильный зажим может привести к повреждению диска и образца
- Проверьте уровень хладагента и замените его, если уровень низкий или он чрезмерно грязный. Так как абразивные диски стачиваются во время резки, они производят значительное количество отходов.
- Дайте отрезному диску достичь оптимальной скорости до начала резки.
- Стационарная сила или легкое пульсирующее действие произведет лучшие срезы и минимизирует износ дисков и сохранит целостность образца (без пережогов).

Смачивание во время абразивной резки необходимо для уменьшения отходов резки или стружки. Хладагент должен иметь относительно высокую температуру вспышки, т.к. во время абразивной резки образуются искры.

Прецизионная резка

Прецизионная резка чаще всего выполняется алмазными отрезными кругами, однако для некоторых материалов более эффективными являются круги из кубического нитрида бора (CBN). Кроме того, оптимальная резка тонкими дисками получается при максимализации концентрации абразива и его размера выбором необходимой скорости резки и нагрузки.

Резка алмазными отрезными кругами наиболее часто используются для резки хрупких материалов, требующих прецизионной резки. Важными параметрами при резании тонкими дисками являются скорость, нагрузка, концентрация алмазов и их размер. Скорость резки и применяемая нагрузка являются функцией разрезаемого материала. Чаще всего скорость вращения алмазного отрезного круга между 50 и 4000 об/мин с нагрузками, варьируемыми от 10 до 1000 грамм. Обычно более твердые образцы режутся при высоких нагрузках и скоростях (например, керамика и минералы), а более хрупкие образцы – при более низких нагрузках и скоростях (например, электронные кремниевые подложки).

Несколько факторов важны при выборе подходящего отрезного круга. Это – концентрация алмазов (низкая и высокая), подложка для алмазов (металлическая пластина), размер алмазов (мелкий или средний), диаметр круга и его толщина. Концентрация алмазов важна, т.к. она влияет на нагрузку, прилагаемую во время резки. Например, хрупкие материалы типа керамики требуют более высокой нагрузки при резке, тогда как пластичные материалы типа металлов требуют больше режущей части круга. Поэтому круги с более низкой концентрацией рекомендуются для резки твердых хрупких материалов типа керамики, а круги с высокой концентрацией рекомендуются для пластичных материалов, содержащих большую фракцию металла или пластика.

Правка алмазного отрезного круга соответствующим правочным бруском нужна для удаления предыдущей мелкой металлической стружки и размазанного металла с отрезного круга. Правильно правленный отрезной круг будет резать быстрее, и служить дольше. Рекомендуется механически закрепить правочный брусок во избежание коробления и обдирки отрезного круга. Нужно правильно закреплять образец, чтобы он не двигался во время резки. Для хрупких материалов закрепляйте образец при помощи резиновых вкладышей, чтобы погасить вибрацию при работе. Начинайте резку с самой низкой нагрузки на отрезной круг. Ориентируйте образец так, чтобы рез

прошел по наименьшему поперечному сечению. Используйте самые большие подходящие фланцы для предотвращения повреждения отрезного круга. Уменьшайте нагрузку к концу резки для хрупких образцов (уменьшает растрескивание в конце резки) [4, 5].

Для алмазной тонкой резки металлов необходимо использовать жидкость для резки на масляной основе для предотвращения размазывания металла по отрезному кругу. Жидкость для резки на масляной основе продлевает срок службы и эффективность реза алмазного отрезного круга при резке образцов, требующих высокого уровня смачивания. Для керамики, минералов и композитов рекомендуется жидкость для резки на основе воды. Образцы легче чистить при работе с водными жидкостями для резки, особенно если образцы пористые.

ЗАПРЕССОВКА

Следом за резкой или сегментированием образец обычно запрессовывается. Запрессовка имеет следующие преимущества:

- Удобный способ держать образец
- Обеспечивает стандартную возможность запрессовать несколько образцов
- Защищает края
- Обеспечивает правильную ориентацию образца
- Дает возможность подписывать и хранить образцы.

Горячая запрессовка

Горячая запрессовка – это быстрый и простой способ сделать образцы, требующий несколько минут при подходящей температуре. Больше всего времени в процессе горячего прессования уходит на нагрев и охлаждение. Смолы для горячей запрессовки включают:

- Фенольные смолы

- Акриловые смолы
- Эпоксидные смолы (со стеклянным наполнителем)
- Диаллилфталатные смолы
- Токопроводящие смолы

Наиболее важными свойствами смол для горячей запрессовки являются твердость, усадка и вязкость.

Твердость компаунда подбирается в соответствии с твердостью образца, чтобы избежать неравномерного истирания во время шлифовки. Если усадка во время отверждения большая, может появиться зазор между образцом и заливкой, и край будет плохо защищен. Вязкость важна для проникновения во все области.

Холодная заливка

Холодная заливка предпочтительнее для образцов, чувствительных к теплу и давлению (таких как покрытия, печатные платы и т.п.). Смолы для холодной заливки – это поперечно-связанные полимеры, легкие в использовании, которые требуют смешения порошка и жидкости. Смесь затем заливают в форму и дают отвердеть.

ШЛИФОВКА

Цель шлифования – снять повреждения после резки, выровнять образец и удалить материал, приблизив зону интереса.

Самый употребляемый металлографический абразив – карбид кремния SiC. Это идеальный абразив для шлифовки из-за своей твердости и остроты краев. Для металлографической пробоподготовки SiC абразивы используются в виде покрытой абразивом шлифовальной бумаги от очень грубой с размером зерна 60 grit до очень тонкой 1200 grit. Некоторые примеры применения приведены ниже [6, 7].

- Мягкие цветные металлы – первичная шлифовка рекомендуется на 320 grit SiC шлифовальной бумаге, затем на 600, 800 и 1200 grit SiC шлифовальной бумаге. Так как эти материалы относительно мягкие, они не очень сильно портят SiC бумагу. Таким образом, первичная шлифовка на 320 grit в основном эффективна для минимизации первичной деформации, но в то же время достигает адекватной скорости снятия материала. Для очень мягких материалов типа олова, свинца и цинка рекомендуют слегка покрыть абразивную бумагу парафиновым воском. Воск уменьшает тенденцию SiC абразива внедряться в мягкий образец.
- Мягкие черные металлы – относительно легко шлифуются при обращении основного внимания на глубину деформации. 240 grit SiC абразивы обеспечивают хорошее начало с последующим использованием 320, 400, 600, 800 и 1200 grit SiC.
- Твердые черные металлы требуют более агрессивных абразивов для достижения адекватного снятия материала. Так, грубые абразивы (120 или 180 grit) рекомендованы по требованиям снятия припуска. Если надо достигнуть плоскостности и зоны интереса, рекомендуется стандартная серия 240, 320, 400 и 600 grit.
- Суперсплавы – обычно умеренной твердости, но имеют чрезвычайно стабильные характеристики при повышенной температуре и коррозионной стойкости. Процесс подготовки суперсплавов очень похож на шлифовку большинства цветных металлов.
- Керамика – очень твердый, коррозионностойкий и хрупкий материал. Она трескается, производя как поверхностные, так и подповерхностные повреждения. Правильная шлифовка минимизирует обе формы повреждений. Для этого требуется применение полуфиксированного абразива, который жестко закреплен во время шлифования, но смещается под давлением для минимизации подповерхностных повреждений. Размер абразива также важен, поскольку грубый абразив

быстро снимает материал, но может серьезно повредить образец. Для керамики необходимо обращать внимание на повреждения на каждой стадии подготовки, чтобы свести к минимуму всю последовательность пробоподготовки.

- Композиты – вероятно, самые трудные образцы для подготовки, т.к. в них используются широкий диапазон свойств. Например, композит с металлической матрицей (ММК) типа кремний-карбидной керамики в алюминии с металлической матрицей – трудный образец для пробоподготовки. Такой композит содержит чрезвычайно твердые/хрупкие керамические частицы, распределенные в относительно мягкой/пластичной металлической матрице. По опыту, первичная шлифовка должна фокусироваться на выведении плоскостности металла и шлифовании до зоны интереса. На втором этапе необходимо сфокусироваться на керамических частицах, что обычно требует использования алмазного абразива.

Параметры шлифовки: Параметры станка, которые влияют на подготовку металлографических образцов следующие: давление при шлифовке/полировке, распределение относительной скорости и направление шлифовки/полировки.

Давление при шлифовке: Давление при шлифовке/полировке зависит от прилагаемого усилия (в Ньютонах) и площади образца с запрессовочным материалом. Давление определяется, как Усилие/Площадь (Н/м^2). Для образцов с твердостью существенно выше, чем запрессовочный компаунд, давление лучше рассчитывать как усилие, деленное на площадь поверхности образца. Таким образом, для больших твердых образцов более высокое давление при шлифовке/полировке увеличивает скорость снимаемого припуска, однако большее давление увеличивает также количество поверхностных и подповерхностных повреждений. Более высокое давление при шлифовке/полировке может также вырабатывать теплоту трения, которая на самом деле может быть полезна при химически-механическом

полировании (ХМП) керамики, минералов и композитов. Более того, для очень растрескивающихся образцов типа чугуна с шаровидным графитом более высокое давление и более низкое распределение относительной скорости может способствовать удержанию включений и вторичных фаз.

Скорость вращения и направление: Скорость диска шлифовально-полировального станка (базы) и скорость держателя образцов Автоматической головки (головы) играют важную роль. Это относительное вращение позволяет получить изменяемое распределение скорости, в зависимости от отношения скорости головы к скорости базы (таблица 1.1).

Для высокого съема припуска более низкая скорость головы относительно более высокой скорости базы производит наиболее агрессивную шлифовку/полировку. Недостатком высокой скорости распределения является то, что абразив (особенно SiC бумага) может входить из строя неравномерно, что приводит к неравномерному снятию поверхности образца. Еще один недостаток то, что высокая скорость распределения может создать гораздо больше повреждения, особенно в фазах охрупчивания. В любом случае, не рекомендуется, чтобы направления вращения головы и базы не совпадали, потому что происходит неравномерное снятие материала образца и износ абразива.

Минимальное распределение относительной скорости можно получить вращением головы с таким же количеством оборотов в минуту и в том же направлении, что и приводной диск базы. Это условие самое лучшее для удержания включений и фаз охрупчивания, а также для получения равномерной окончательной обработки всего образца. Недостатком минимального распределения относительной скорости является достаточно низкая величина съема припуска.

На практике, комбинация высокой скорости распределения (150 об/мин скорость головы, 300 – 600 об/мин скорость базы) для первичного шага выведения плоскости или съема припуска, за которым следует шаг средней скорости и низкого распределения скорости (120 – 150 об/мин скорость

головы, 150 об/мин скорость базы) рекомендуется для получения относительно плоских образцов.

Таблица 1.1.

Скорость головы (об/мин)	Скорость базы (об/мин)	Распределение относительной скорости	Характеристики	Применение
150	300 до 600	Высокое	Агрессивный съём припуска. Избирательная шлифовка в поперечном направлении к поверхности образца.	Полезно для грубого снятия материала твердых образцов
150	150	Минимальное	Соответствие скоростей головы и базы в одном направлении уменьшает распределение относительной скорости. Равномерный и низкий съём припуска. Производит минимальные повреждения.	Обеспечивает исключительную плоскостность образца. Полезно для удержания включений и фаз охрупчивания

Для окончательной полировки при химически-механическом полировании (ХМП), когда теплота трения может усилить химический процесс, высокая скорость и высокое распределение относительной скорости могут быть

полезны, пока не присутствуют фазы охрупчивания (например, монокристаллическая керамика типа нитрида кремния и оксида алюминия).

ПОЛИРОВКА

Полировка – наиболее важный шаг в пробоподготовке для микроструктурного анализа. Этот шаг требуется, чтобы полностью убрать предыдущие повреждения. В идеальном случае, количество повреждений необходимо свести к минимуму за счет правильного выбора отрезного круга и шлифовального абразива, чтобы минимизировать процесс полировки [8].

Чтобы удалить деформацию от тонкой шлифовки и получить высокоотражающую поверхность, образцы необходимо отполировать перед исследованием под микроскопом. Полировка – это комплексный процесс, в котором надо брать в расчет такие факторы, как качество и пригодность ткани, абразива, давления при полировке, скорости и времени полирования. Качество поверхности, полученное после окончательной полировки, зависит от всех этих факторов, а окончательная обработка поверхности – от завершения каждой из предыдущих стадий.

Полировальные ткани

Существует три типа полировальных тканей: тканые, нетканые и с ворсом.

- Тканые материалы предлагают полировальные свойства «твердой поверхности» и гарантируют плоскую предварительную полировку без изнашивания краев.
- Нетканые ткани используются для очень твердых материалов для высокоточной окончательной полировки поверхности, например, стекла, кварца, сапфира, и полупроводников.
- Тканые с ворсом гарантируют конечную суперполировку. Время полировки должно быть сведено к минимуму, чтобы избежать возможного извлечения включений.

Алмазная продукция

Алмаз, благодаря исключительной твердости и режущей способности, стал абразивом номер один в металлографической полировке. Алмазы для металлографического шлифования и полирования доступны в двух различных кристаллических формах: поликристаллической (Р) и монокристаллической (М). Поликристаллические алмазы имеют несчетное количество небольших режущих кромок. В процессе металлографической подготовки эти кромки способствуют высокому уровню снятия материала, при этом создавая только неглубокие царапины.

Монокристаллические алмазы – более пластиноподобные и имеют несколько режущих кромок. Эти алмазы дают высокий уровень снятия материала с более разнообразной картиной царапин. Для высоких требований выбираются алмазы (Р)-типа. Алмазы (М)-типа лучше подходит для многоцелевого полирования. Алмазная продукция обычно выпускается в трех формах: алмазная паста, алмазная суспензия и алмазный спрей.

Поликристаллические алмазы по сравнению с монокристаллическими алмазами обеспечивают лучшую окончательную обработку поверхности и более высокую эффективность снятия материала. Особенности и преимущества поликристаллических алмазов включают следующее:

- Более высокая эффективность к эффекту резания
- Очень равномерная окончательная поверхность
- Более равномерное распределение по размеру частиц
- Более высокая скорость снятия материала (самозатачивающийся абразив)
- Тверже/прочнее частицы
- Глыбовая форма
- Гексагональные микрокристаллиты (одинаково твердые по всем направлениям)
- Чрезвычайно шероховатая поверхность (больше режущих точек)

- Площадь поверхности на 300% больше чем монокристаллических алмазов
- Нет направленности стойкости к истиранию (истирание не зависит от ориентации частиц)

Абразивы для окончательной полировки

Абразивы для окончательной полировки выбираются, исходя из твердости и химической активности образца. Чаще всего в качестве абразива для полировки используют оксид алюминия. Оксид алюминия в основном используется как механический абразив из-за высокой твердости и долговечности. Он существует либо в более мягкой гамма (по Моосу 8), либо в более твердой альфа (по Моосу 9) фазе.

1.2. Развитие технологии обработки поверхности материалов

Материалы для электроники получают различными методами в виде моно- и поликристаллических, аморфных и композиционных твердых тел. Они отличаются размерами и геометрическими формами, электрическими (проводники, полупроводники и диэлектрики) и механическими свойствами (упругостью, пластичностью, твердостью, прочностью, износостойкостью). Физические свойства (электрические, оптические, магнитные) определяют область применения материала и характеристики конкретного прибора.

На пути превращения материала в прибор необходим целый ряд технологических операций механической обработки для изготовления промежуточных изделий в виде плоских круглых, прямоугольных, квадратных пластин, параллелепипедов, кубов, линз, призм, цилиндров и др. Выбор метода механической обработки диктуется свойствами материалов и их назначением.

Основные операции механической обработки – резка, шлифование и полирование [9]. Они сложны по конструктивным и технологическим решениям, многоступенчаты и сопряжены с рядом вспомогательных операций (подготовительных, технологических, контрольно-измерительных).

Первоначальная операция – резка [10]. В арсенале технологов имеется несколько способов резки материалов на заготовки для дальнейшей обработки:

- резка металлическими кругами с внутренней алмазной режущей кромкой (полупроводники – Si, Ge, $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ и др., пьезо- и сегнетокристаллы – α -SiO₂, LiNbO₃, LiTaO₃ и др., гранаты – Gd₃Ga₅O₁₂, Y₃Al₅O₁₂ и др.);

- резка кругами с внешней режущей алмазной кромкой (керамика, заготовки из стекла, разделение Si-пластин на кристаллы);

- резка полотнами с применением абразивов (α -SiO₂, $A^{III}B^V$, ZrO₂:Y₂O₃, стекла и др.);

- резка алмазно-импрегнированной проволокой или проволокой с применением абразивных суспензий (α -Al₂O₃, SiC, Si диаметром больше 150 мм и др.);

- резка нитью, смоченной раствором (кристаллы KDP, DKDP, ADP, NaCl и другие водорастворимые);

- электроэрозионная резка для формирования не только плоских, но и конфигуративных изделий (например для термоэлементов из BiTe – BiSe и др.).

В кремниевой микроэлектронике для разрезания слитков диаметром 200 и 300 мм применяют установки проволочной резки. Сущность этого способа состоит в одновременном образовании множества пазов и шлифовании поверхности пластин, причем процесс протекает практически без сколов. Замена алмазных кругов на проволочную резку при переходе к диаметрам кремниевых слитков 300 мм и более является вынужденной еще и потому, что при 20%-ной доле контакта режущей кромки круг, согласно

расчетам, должен иметь внутренний диаметр ~ 515 мм и внешний ~ 1200 мм. Это вызывает увеличение ширины реза, расхода материала, размеров шпинделя станка, его габаритов, а также усложняет процесс натяжения круга и устранение вибраций.

Такой способ полезен также для механообработки высокотвердых и химически инертных при комнатной температуре материалов: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiC}\cdot 6\text{H}$, $\text{ZrO}_2\text{:Y}_2\text{O}_3$, LiNbO_3 , а также GaAs и др., для которых сформировалась тенденция роста диаметров слитков.

Сокращение или исключение операций шлифования после проволочной резки становится близкой реальностью вследствие минимизации толщины поверхностного нарушенного слоя [11]. Финишная обработка Si, GaAs и других полупроводников практически повсеместно реализуется с помощью ХМП.

Термин «химико-механическое полирование» («chemical-mechanical polishing»), насколько известно, впервые ввел Э. Мендель (основатель «Geosc. Instrum. Corp.», впоследствии перешедший в IBM), который опубликовал в 1967 г. статью [12] о полировании Si. Под этим понятием он описал три различных процесса, отличающихся механизмом удаления материала с одновременным выравниванием рельефа, а именно:

- полирование, основанное на окислении Si в присутствии F-иона растворами солей металлов (например Cu), стоящими в ряду напряжений правее H_2 , с последующим их восстановлением на поверхности и удалением вместе с продуктами растворения трением о полировальник;

- использование химически активных микрогетерогенных (диаметром $d = 0,1 \div 0,5$ мкм) суспензий, когда эффект полирования достигается одновременно элементарными актами микропластической деформации и химическим растворением тонкой поверхностной области (составы на основе оксидов ZrO_2 , CeO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 и их смесей);

- применение суспензий коллоидного кремнезема (colloidal silica) в щелочной среде.

Начало развития технологии ХМП относится ко второй половине 60-х годов XX века, когда методы механического полирования (МП) кремния подошли к предельным возможностям как в формировании поверхностных свойств (кристаллическое совершенство, химическая чистота), так и в производительности. Это во многом стало очевидным после всесторонних исследований МП кремния и германия и структуры нарушенных поверхностных слоев в 1962 – 1967 гг. И. Идом с сотрудниками, Т.П. Капустиной, Р. Стиклером и Р. Букером, которые практически одновременно с А.С. Артемовым и В.П. Алехиным [13] различными методами установили, что абразивное полирование частицами размером 0,25 мкм не приводит к хрупкому разрушению поверхности кремния, а вызывает в основном образование и движение дислокаций при комнатной температуре, т.е. пластическую деформацию.

Повышение структурного совершенства и уменьшение шероховатости поверхности, достигаемые постепенным уменьшением размера абразивных частиц, обуславливают также переход массопереноса в поверхностной области от хрупкого разрушения к хрупкопластическому, преимущественно пластическому, далее к упругопластическому, и в предельном случае к упругому. При использовании микрометровых и субмикрометровых коллоидных частиц в присутствии химической среды процесс полирования может быть механохимическим, химико-механическим или химическим в зависимости от соотношения и особенностей проявления химических и механических факторов [14].

Второй причиной появления и развития процесса ХМП явились многолетние исследования в эти же годы химического (ХП) и электрохимического (ЭХП) полирования и травления полупроводников (в основном Ge, Si, GaAs, GaSb, InSb и др.).

Параллельно начались интенсивные исследования роста кристаллов кремния, формирования ростовых и поверхностных дефектов полупроводников, анизотропии их механических и химических свойств,

границ раздела фаз с развитием физических методов рентгенодифракционной топографии, просвечивающей электронной микроскопии и др.

Но главным катализатором применения одновременно механических и химических факторов для выравнивания поверхности кремния стали разработка и начало изготовления кремниевых интегральных схем (ИС). К этому времени технология ХМП была также объективно востребована развитием электронной техники и обеспечена исследованиями процессов полирования в смежных областях: оптике и высокопрецизионной металлообработке. Попытки реализации ХМП в электронике были предприняты в двух направлениях:

- применение научно-технологических результатов в области полирования стекла суспензиями редкоземельных оксидов;

- использование добавок травителей и поверхностно-активных веществ к микрогетерогенным суспензиям с размером частиц 0,1 – 0,5 мкм новых или апробированных абразивных ультрадисперсных порошков (УДП), например Cr_2O_3 .

Такие процессы можно считать химико-механическими, поскольку они протекают с преобладанием механического воздействия с образованием микроцарапин и дислокаций обработки над одновременным химическим растворением.

Технология ХМП на основе коллоидного кремнезема в это же время развивалась двумя путями:

1. Использование промышленных золь-гелей кремниевой кислоты («Monsanto Comp.», «Dupoint», «Nalco Ch.» и др.).

2. Применение композиций на основе УДП SiO_2 типа аэросила («Siemens», «Degussa»), Al_2O_3 («Union Carbide Corp.»).

Такие же тенденции сформировались и в электронной промышленности России (например ВНИИМЭТ, «Платан» – золь-гели SiO_2 [14]) одновременно со значительной долей использования

микрорегетерогенных суспензий («Пульсар» – алюмосиликатный наполнитель, «Элма» – элплаз-к (ц)).

Большая заслуга в развитии ХМП с помощью коллоидного золь-геля SiO₂ принадлежит Р. Уолшу («Monsanto Comp.») – автору патента [15], а также авторам других патентов и публикаций (вплоть до начала 80-х годов XX века), чьи работы во многом способствовали утверждению этого метода в микроэлектронике.

Следует отметить, что преимущество и большие перспективы ХМП кремния и других кристаллов коллоидными композициями перед другими методами полирования были очевидны, еще когда диаметр пластин кремния составлял 25 – 40 мм [16].

Необходимость развития технологии ХМП определили быстрое увеличение размера пластин наряду с уменьшением топологических размеров элементов ИС (таблица 1.2) [17, 18].

Таблица 1.2.

Год	Диаметр пластин кремния, мм
1960	12 – 25
1965	25 – 50
1970	50 – 75
1975	75 – 100
1980	125
1985	150
1990	200
1995	250 – 300
2000 – 2005	350 – 400

Востребованность и особая роль ХМП возникла также при создании квантоворазмерных приборов опто- и акустоэлектроники, а также приборов на основе высокотемпературных сверхпроводников [19 – 22].

Интенсивность развития ХМП очевидна из увеличения потребности в специальном оборудовании.

В конце 60-х годов XX века фирма «Speed-Fam Corp.» одной из первых стала производить станки специально для ХМП, она остается лидером и сегодня, наряду с фирмами «Peter Wolters», «Presi», «Siltec», «Spitfire», «Strasbaugh».

В 1995 г. мировой годовой рынок установок для ХМП оценивался в 158 млн долл., а в следующем 1996 г. оборот вырос на 58,1 % и достиг значения в 240 млн долл. Следующие пять лет происходил непрерывный рост рынка, что привело в 2002 г. (по данным информационного бизнес-агентства DATAQUEST) к величине 1,5 млрд долл. (рис. 1.1).

Наряду с обработкой поверхности твердых тел ХМП используется для планаризации металлических межсоединений и диэлектриков в производстве сверхбольших интегральных схем (СБИС) с топологическими нормами менее 150 нм.

«При работе с топологией в 90 нм, использование ХМП будет являться необходимой и неотъемлемой частью производства ИС», – это слова Майкла Лоука, одного из ведущих инженеров корпорации INTEL.

«Производительность и качество – основные тенденции в полировании Si-пластин», – так называлась статья 1967 г. Дж. Фарлея из «Speed-Fam Corp» [17].

Это можно повторить и сейчас, так как цель далеко не достигнута и в наше время, хотя число фирм, занимающихся ХМП, и количество исследователей неизмеримо выросли, а сами разработки в области ХМП стали глобальными. Появилось новое применение ХМП: для микроэлектромеханических систем (МЭМС), мультичипных модулей, плоских панельных дисплеев и др.

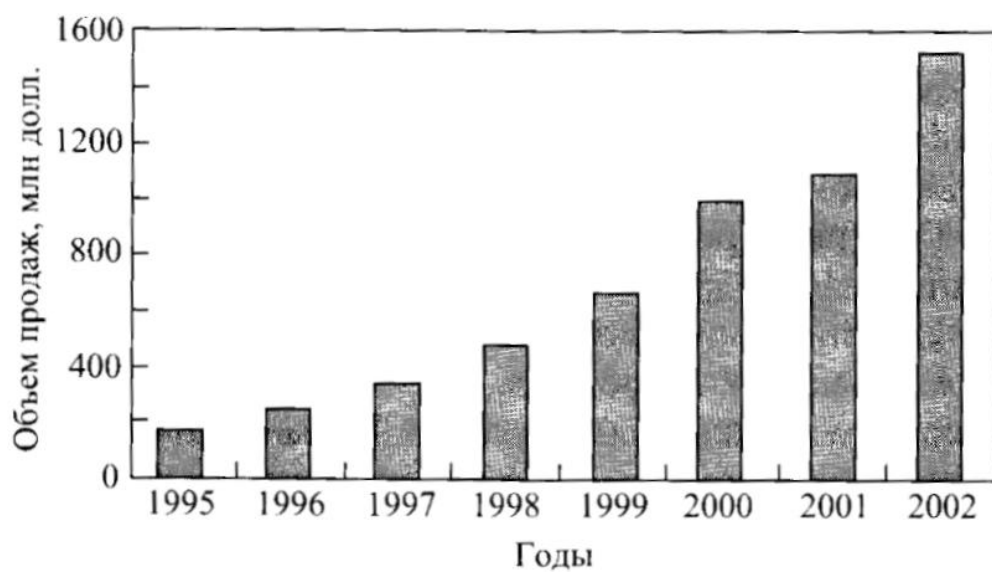


Рис. 1.1. Динамика мирового рынка оборудования для ХМП.

Согласно обзору [18], «несмотря на свой рост, ХМП все еще находится в младенчестве», «ограниченная изученность ХМП является препятствием к ее рыночному росту», и «ощущается очень большая нехватка исследовательских кадров для ХМП» и т.п.

1.3. Постановка задачи исследования

1. Изучение особенностей жидкофазного химического травления.
2. Определение состояния поверхности химически нанополированных материалов на основе анализа данных просвечивающей электронной микроскопии, туннельной и атомно-силовой микроскопии, Резерфордского обратного рассеяния протонов.
3. Электрофизические свойства нанополированных материалов.
4. Изучение изменения состава поверхности нанополированного кремния при отжиге в условиях сверхвысокого вакуума.

ГЛАВА II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Особенности жидкофазного химического полирования

Рассмотрение двух базисных по отношению к ХМП технологий (ХП и МП) показывает, что определяющую роль в ХП играют химические факторы, свойства твердых тел (ТТ) и условия протекания процессов, которые тесно взаимосвязаны.

Жидкофазное ХП определяется следующими химическими факторами: химическим составом и концентрацией компонентов в травителе; их химической чистотой, температурой процесса, вязкостью раствора и пр.

На ХП также влияют основные физико-химические свойства ТТ: тип химической связи, класс химического соединения, кристаллохимические особенности, реакционная способность, температура плавления, плотность, объемные и поверхностные дефекты, электропроводность, тип проводимости (для полупроводников), структура (кристаллическая, аморфная, композиционная) и др.

К основным условиям ХП относятся постоянство состава и концентрации травителя в процессе, образование растворимых продуктов реакции, учет всех параллельных реакций, температура и время процесса, а также гидродинамические условия и конструктивные особенности установок.

Недостатки ХП заключаются в следующем. Для каждого материала имеется один или несколько полирующих травителей, применяемых в различных условиях. В большинстве случаев требуется повышенная температура, а некоторых необходимо освещение. Скорости полирования разных материалов в одном травителе неодинаковы. Необходимо учитывать и разные свойства полируемых граней одного кристалла, к тому же невозможно обеспечить высокие геометрические свойства плоских поверхностей большой площади различных материалов. К сожалению, применяемые травители не совершенны: они содержат соли тяжелых

металлов (Fe, Cd, Al и другие примеси), некоторые эффективные травители применимы только в лабораторных условиях и не пригодны для производственного использования, травители содержат агрессивные токсичные компоненты (HF, HNO₃, Br₂, CH₃OH и др.), большинство травителей не универсальны. И наконец, химическая инертность некоторых материалов (α -Al₂O₃, SiC, LiNbO₃, AlN и др.), сложность обеспечения диффузионных процессов в растворах и ряд других факторов не позволяют использовать ХП.

МП в основном также определяют три группы факторов: механические свойства твердого тела (микротвердость, прочность, хрупкость, пластичность, упругость и т.д.), свойства абразивов (твердость, размер, форма и концентрация твердых частиц), технологические факторы – режимы (удельная нагрузка, скорость вращения стола с образцами, скорость подачи суспензии, время процесса, тип полировальника). Кроме того, на МП оказывают влияние конструктивные особенности оборудования и пр.

Главный недостаток МП состоит в невозможности получения структурно совершенных тонких (доли микрометра) осажденных слоев материалов, особенно на больших площадях. Однако шероховатость поверхности при этом может достигать наноразмерных значений, что позволяет с высокой точностью придавать изделиям геометрическую форму. Поэтому задачей ХМП является объединение достоинств и устранение недостатков процессов ХП и МП в двух направлениях.

1. Необходимо максимальное снижение влияния на процесс полирования большинства химических и механических факторов: температуры (проведение процессов при комнатной температуре или близко к ней), вязкости композиций, химического состава полируемых материалов, кристаллографической ориентации кристаллов, типа химической связи и проводимости, химической природы и концентрации легирующих примесей, ширины запрещенной зоны (для полупроводников), концентрации и твердости твердофазных компонентов, твердости полируемых материалов.

Этого можно добиться путем объединения конструктивно-технологических факторов ХП и МП, эффективного использования гидродинамических факторов с разработкой специальных полировальников и установок, исследования основных закономерностей ХМП и целенаправленной реализации оптимального и стационарного диапазона их протекания для различных классов материалов.

2. Для получения атомно-гладкой поверхности должны быть использованы частицы нанометровых размеров, тогда и продукты износа, и толщина аморфизованных поверхностных слоев будут с ними соизмеримы. Для достижения этого надо осуществить принцип максимальной локализации воздействия химических и механических факторов в поверхностном слое глубиной в единицы нанометров (или несколько постоянных кристаллической решетки). Таким образом, решающее звено – это синтез нанометровых твердых частиц коллоидного диапазона дисперсности (4 – 100 нм) кристаллического или аморфного фазового состояния, разработка композиций и технологии полирования.

2.2. Структурные и электрофизические свойства нанополированных материалов

В данном разделе приводим некоторые физические свойства поверхности различных материалов подвергнутых химико-механическому полированию (таблица 2.1).

Морфология поверхности материалов после ХМП оцениваются по погрешности формы, задаваемым размерам, шероховатости рельефа, плоскостности (общей и локальной), плоскопараллельности сторон и др. (рис. 2.1 – 2.6).

Так, среднеквадратичное отклонение высоты неровностей σ для полупроводников – Si, SiC (см. рис. 2.2 и 2.3, *a*), проводников – Mo (см. рис.

Классификация материалов, подвергнутых ХМП, по химическому составу, способам получения, электрическим свойствам и областям применения

Химический состав	Способы получения	Электрические свойства	Области применения
<p>Элементарные: Si, Ge, W, Mo, Nb, Cu и др.</p> <p>Оксиды: α-Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂: Y₂O₃ и др.</p> <p>Кислородсодержащие: Gd₃Ga₅O₁₂ (GGG), Y₃Al₅O₁₂ (YAG), LiNbO₃ (LNO), MgO:Al₂O₃ (MgAl₂O₄), SrTiO₃ и др.</p> <p>Фториды: LiF, MgF₂, CaF₂, BaF₂</p> <p>Карбиды: SiC·6H</p> <p>Нитриды: AlN, Si₃N₄</p>	<p>По Чохральскому: Si, Ge, Nb, LiNbO₃, GGG, A^{III}B^V</p> <p>По Вернейлю: MgAl₂O₄, SrTiO₃</p> <p>Метод Бриджмена: PbSe</p> <p>Модифицированный метод Киропулоса: α-Al₂O₃</p> <p>Направленная кристаллизация: YAG</p> <p>Плавление в холодном контейнере: ZrO₂</p> <p>Электронно-лучевая бестигельная зонная плавка: W, Mo</p> <p>Сублимация из газовой фазы: CdS, ZnSe</p>	<p>Проводники: W, Mo, Nb, Cu и др.</p> <p>Полупроводники: Si, Ge, типа A^{II}B^{VI}, A^{III}B^V, SiC и др.</p> <p>Диэлектрики: SiO₂, Si₃N₄, CaF₂, α-Al₂O₃ и др.</p>	<p>Полупроводниковая электроника</p> <p>Оптоэлектроника</p> <p>Акустоэлектроника</p> <p>ВТСП – электроника</p> <p>Диэлектрическая электроника</p> <p>Магнитоэлектроника</p> <p>Криоэлектроника</p> <p>СВЧ-электроника</p> <p>Оптика</p> <p>Электрооптика</p> <p>Магнитооптика</p> <p>Акустооптика</p> <p>Электротехника</p>

<p>Сульфиды: PbS, CdS, ZnS, Cu₂S</p> <p>Сульфаты: Mg₂SO₄, TGS</p> <p>Селениды: PbSe, CdSe, ZnSe, Cu₂Se</p> <p>Теллуриды: PbTe, CdTe, ZnTe, Cu₂Te</p> <p>Фосфиды: InP, GaP, ZnP₂</p> <p>Фосфаты: KDP, DKDP, KTP и др.</p> <p>Твердые растворы: группы A^{II}B^{VI}, A^{III}B^V и др.</p>	<p>Метод Стокбаргера: CaF₂, BaF₂</p> <p>Гидротермальный метод: ZnO</p> <p>Из пара по методу «горячей стенки»: PbS, PbSnTe</p> <p>Из водных растворов: KDP, DKDP, ADP</p> <p>CVD: ZnSe_{поли}</p> <p>Полусухое прессование с последующим спеканием: AlN</p> <p>Другие способы</p>		<p>Пьезотехника</p> <p>ИК-техника</p> <p>Лазерная техника</p> <p>Высокоточное машиностроение и др.</p>
---	--	--	--

Примечание. Материалы имеют различный тип химической связи: металлическая, ковалентная, ионная и молекулярная.

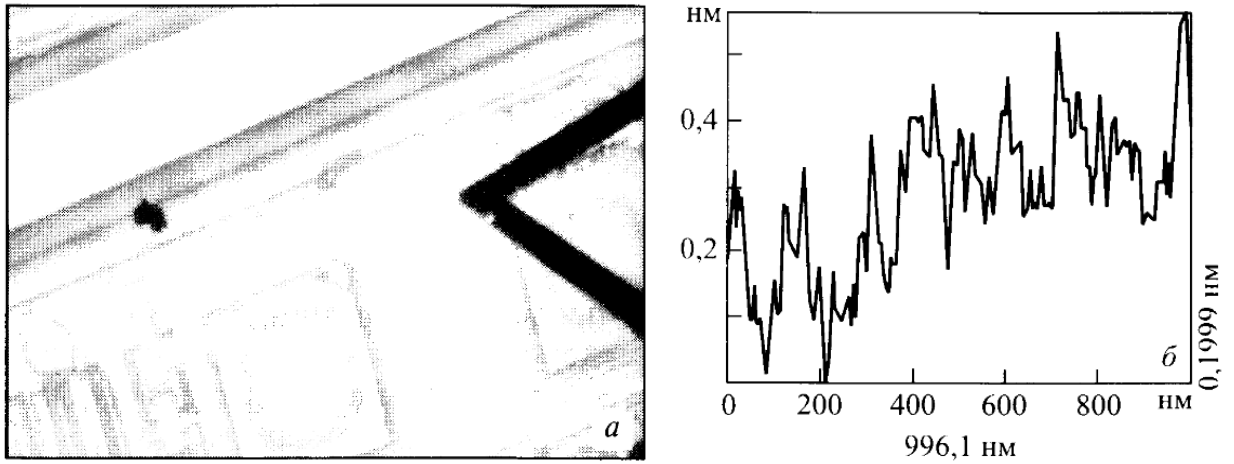


Рис. 2.1. Оптическое изображение поверхности кремниевых СВИС после ХМП слоя Si_3N_4 толщиной 0,6 мкм (а) и сечение рельефа в АСМ (б) ($\sigma = 0,19$ нм на длине 0,99 мкм, где σ – среднеквадратичное отклонение неровностей). Здесь и далее: АСМ – атомно-силовой микроскоп.

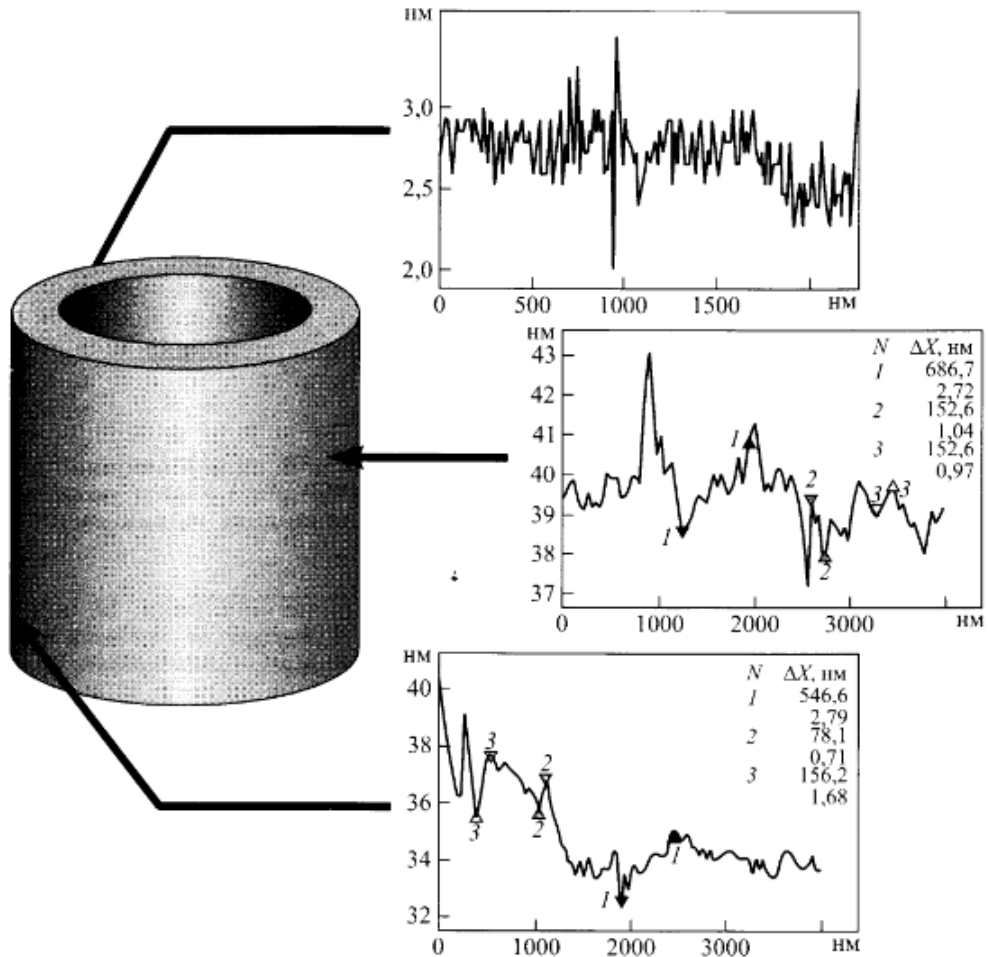


Рис. 2.2. Шероховатость поверхности цилиндрического образца КЭФ-0,01 после ХМП в зависимости от кристаллографических ориентаций выходящих на нее плоскостей.

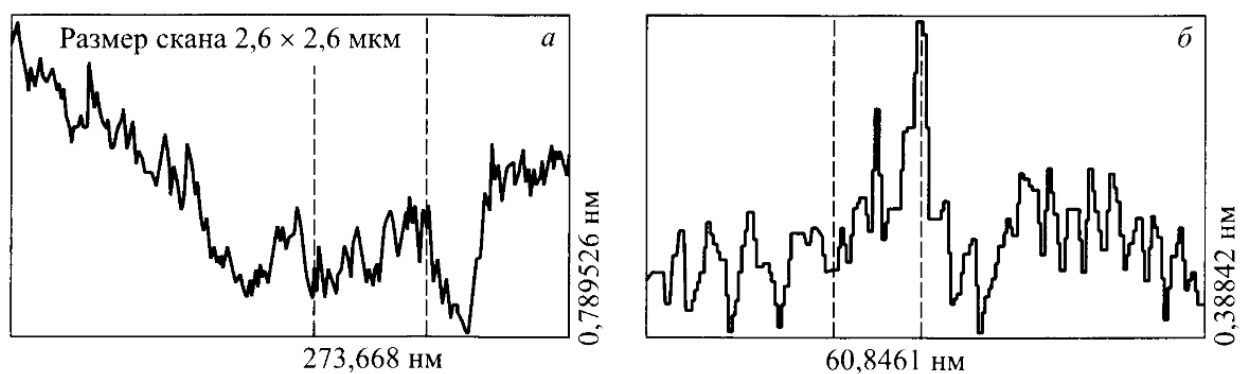


Рис. 2.3. Сечение рельефа поверхности SiC·6H (0001) (*a*) и α -Al₂O₃ (*б*) в АСМ после ХМП.

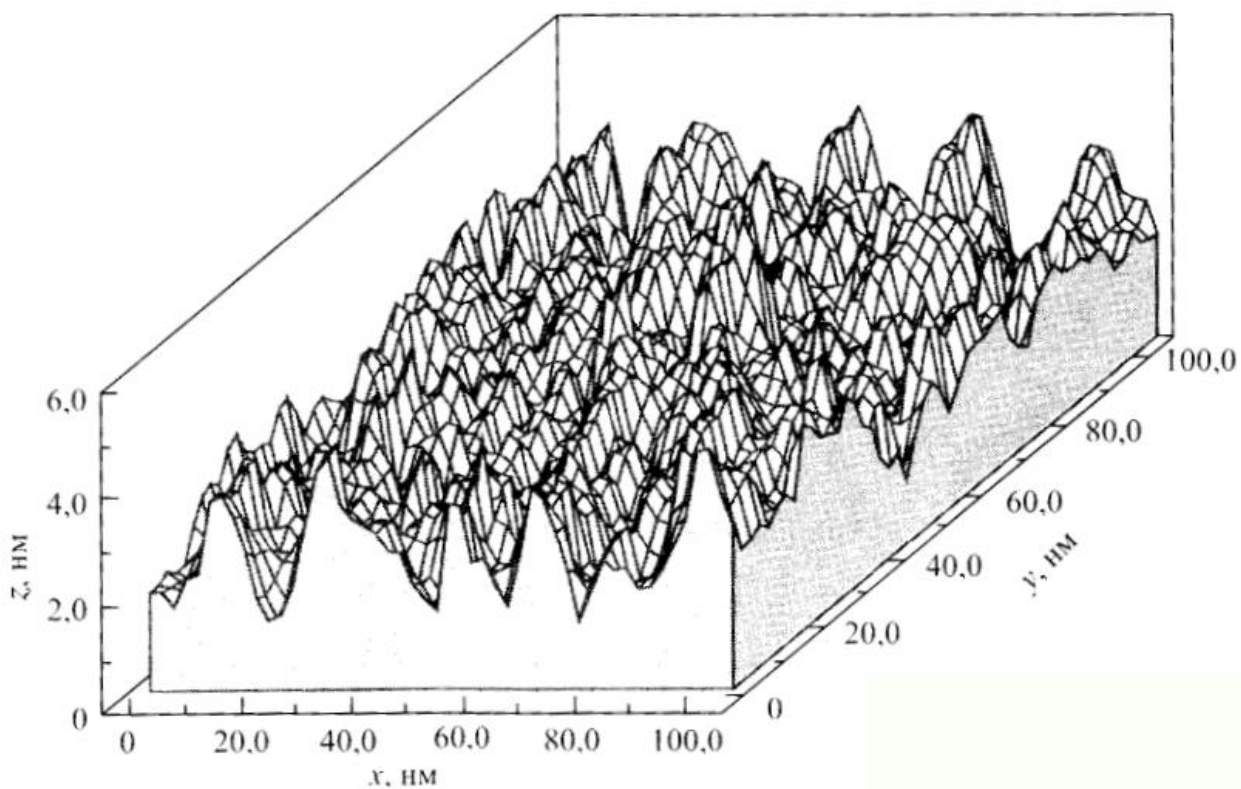


Рис. 2.4. Рельеф поверхности Mo (010) после ХМП (туннельная электронная микроскопия).

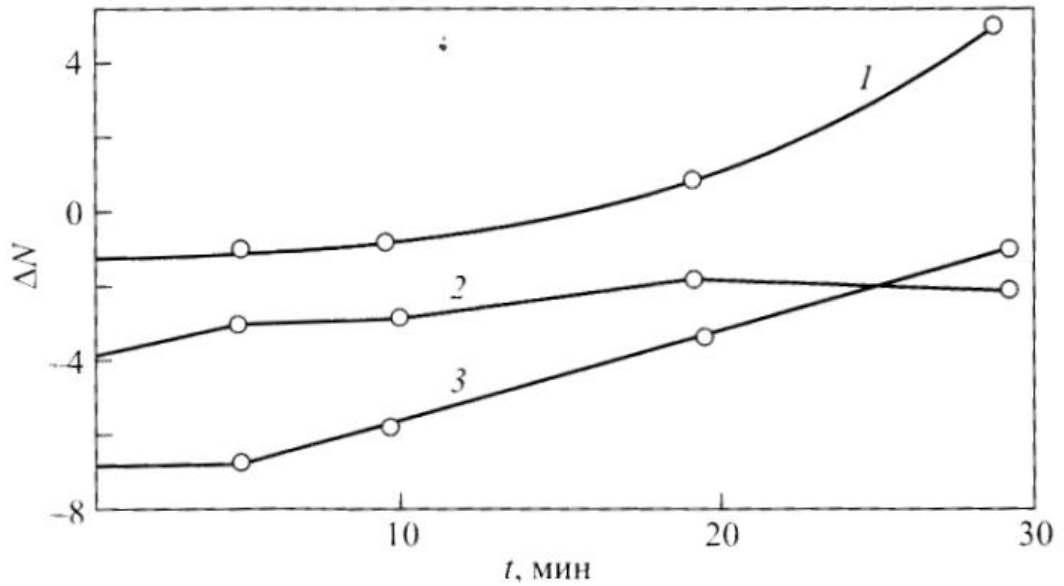


Рис. 2.5. Изменение плоскостности пластин $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (100) (1, 2) и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (3) в зависимости от времени ХМП и исходной плоскостности.

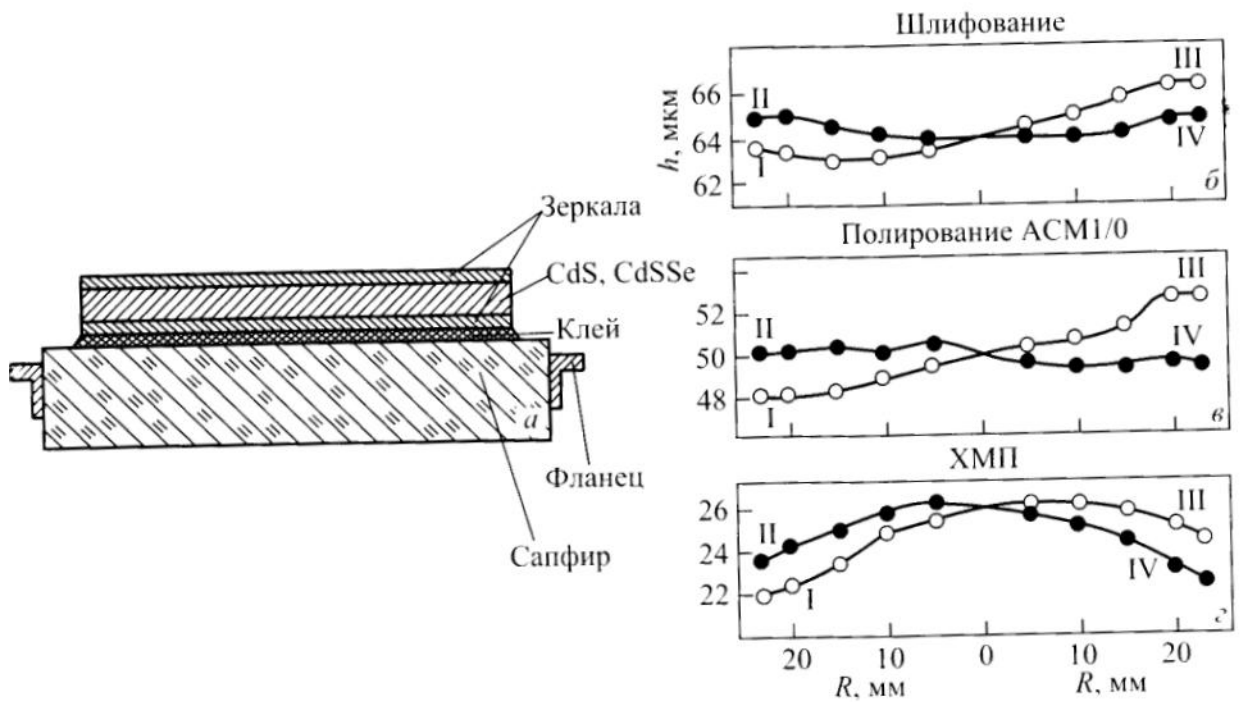


Рис. 2.6. Схема строения лазерных мишеней из CdS , CdSe , CdSSe и ZnCdS (а) и изменение их толщины в двух перпендикулярных диаметрах (I – III и II – IV) при механообработке – шлифовании (б) и полировании алмазной пастой АСМ 1/0 (в) – и ХМП (г).

2.4) и диэлектриков – Si_3N_4 , $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (см. рис. 2.1 и 2.3, б), меньше 1 нм, причем для Si она не зависит от кристаллографической ориентации (см. рис. 2.2). Поверхность всех материалов после ХМП не имеет субмикронных царапин («рисок», «ласин»), участков травления, сколов, и других макродефектов. Локальная шероховатость на участках $2 \times 2 \text{ мкм}^2$ ($1 \times 1 \text{ мкм}^2$) находится в интервале 0,1 – 0,3 нм и меньше. Финишное ХМП формирует плоские поверхности различных кристаллов с учетом глубины поверхностных повреждений, внесенных предыдущими обработками (см. рис. 2.5). Только применение двухстороннего ХМП на окончательной стадии изготовления лазерных мишеней для излучения в зеленой (CdS), красной (CdSSe) и синей (ZnCdS) областях спектра позволило получить их толщину от 5 до 20 мкм на диаметре 50 мм (см. рис. 2.6).

Структурные свойства поверхности материалов после ХМП, изученные различными методами (рис. 2.7, 2.9, 2.10), не имеют макродефектов и линейных дефектов – дислокаций обработки (см. рис. 2.7).

В отличие от ХМП, полирование кремния алмазными пастами АСМ 1/0 приводит к образованию субмикрочастиц, и последующий отжиг (см. рис. 2.8) обуславливает разбег дислокаций от царапины. УЗ-облучение активизирует рост трещин вдоль направления царапин до макроскопических размеров (см. рис. 2.9). Из рис. 2.10 следует, что полирование коллоидным кремнеземом, т.е. ХМП, в отличие от механического полирования (АСМ 1/0, АСМ 3/2), образует наиболее совершенную поверхность с минимальным количеством рассеивающих центров в виде точечных дефектов, расположенных в приповерхностной области на глубине порядка одного или нескольких межплоскостных расстояний. Существенные различия в процессах поверхностного дефектообразования химического, механического и ХМП подтверждают эксперименты по термостимулированной экзоэлектронной эмиссии (ТСЭЭ) кристаллов CdS (рис. 2.11), а также изменения поверхностного состава CdS от времени (глубины удаления материала) бомбардировки ионами Ag^+ (см. рис. 2.12).



Рис. 2.7. ПЭМ-изображение поверхности Si (100) КДБ, полированной композицией коллоидного кремнезема, ($\times 17500$), дислокации обработки отсутствуют.

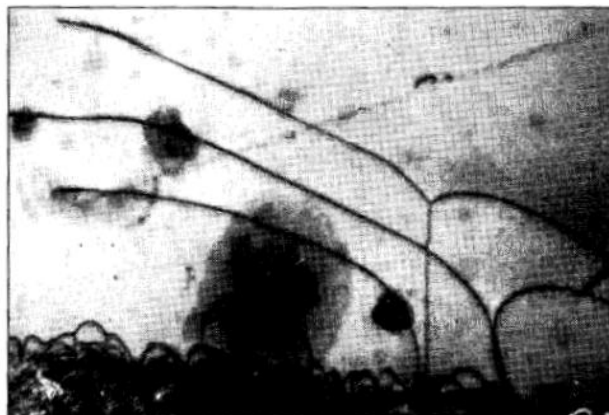


Рис. 2.8. ПЭМ-изображение разбега дислокаций от царапины в Si после отжига при 600 °C ($\times 17500$).



Рис. 2.9. Рост трещин в Si до макроскопических размеров после воздействия интенсивных УЗ-колебаний при 20 °C; первичными зародышами трещин являются субмикротрещины, образовавшиеся на дислокационных рядах – макроцарапинах ($\times 250$).

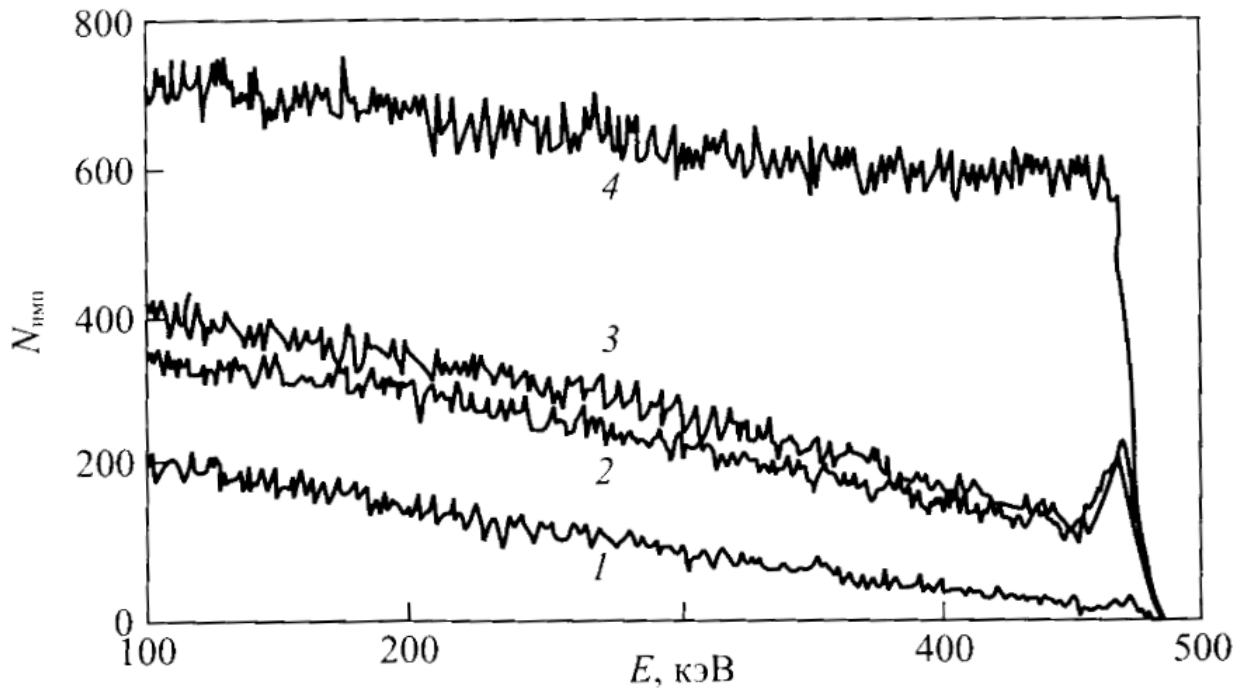


Рис. 2.10. Нормированные энергетические спектры обратно рассеянных протонов (450 кэВ Н, разрешение 10 кэВ, 100 нм) на Ge (110), полированном различными способами: 1 – коллоидным кремнеземом; 2 – алмазной пастой АСМ 1/0; 3 – алмазным порошком АСМ 3/2; 4 – выход протонов из поликристалла Ge (3° от оси).

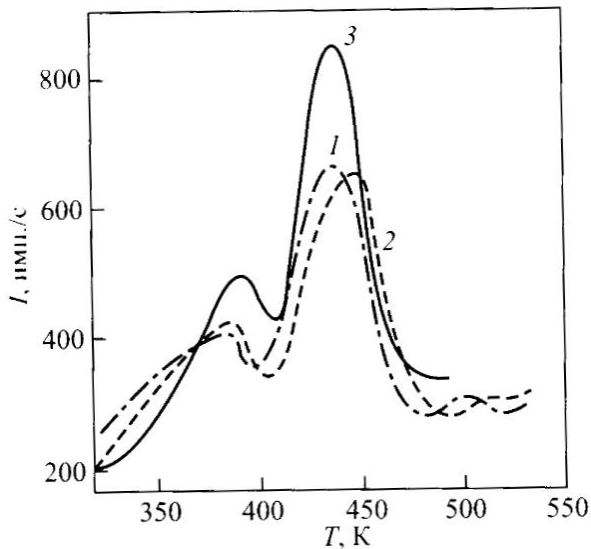


Рис. 2.11. Кинетика ТСЭЭ образцов CdS после различных способов обработки поверхности: 1 – ХМП; 2 – обработка в полирующем травителе; 3 – полирование алмазной пастой АСМ 3/2.

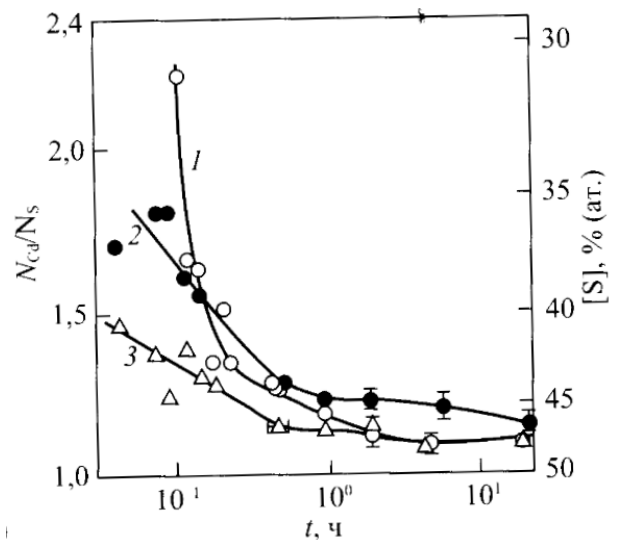


Рис. 2.12. Кинетические изменения состава поверхности CdS (0001) после ХМП и бомбардировки ионами Ag^+ с энергией 2,5 кэВ под углом 45° в течение различного времени t , мин (и величины съема поверхности, мкм): 1 – 2 мин (0,2 мкм); 2 – 6 (0,75); 3 – 90 (11,0).

Электрофизические свойства полированных поверхностей представлены на рис. 2.10 – 2.12. После ХМП кристаллов композициями, содержащими твердые компоненты различного размера и фазового состава, интенсивность фотолюминесценции CdS (рис. 2.13) и CdSSe (рис. 2.14), распределение скорости поверхностной рекомбинации (рис. 2.15) и пробивное напряжение GaAs (рис. 2.16), а также другие электрофизические характеристики значительно выше у тех кристаллов, которые полировали составами, содержащими аморфные нанометрические компоненты. На рис. 2.17 показана пленка $\text{YBa}_3\text{Cu}_5\text{O}$ выращенная на подложке SrTiO_3 (100) после ХМП.

2.3. Изменение состава и структуры поверхности Si при химико-термической очистке

В последующих исследованиях данный метод был усовершенствован [23, 24] и была разработана более эффективная технология, которая заключается в следующем. Подложки кремния типа КЭФ–4.5, КДБ–7.5, КДБ–10, КДБ–12 с ориентацией (100), (111) и углом разориентации $\pm 0.5^\circ$, обрабатывались по разработанному нами методу, включающему комбинированную 2х-стадийную обработку, где на первом этапе подложки предварительно несколько раз отмывались в пластин в аммиачном и буферном травителе, а затем в травителе состава $3\text{HCl}:1\text{H}_2\text{O}_2:1\text{H}_2\text{O}$, что обеспечивало выращивание тонкого (~10 нм) защитного окисла на поверхности кремния. Затем окисел удалялся в 2,5% растворе плавиковой кислоты (HF) и проводилась финишная УФ-обработка (2 мин.) в специальном подготовительном реакторе. Метод УФ облучения помимо формирования более тонкого защитного окисла, дополнительно уменьшал неконтролируемое содержание углеродных и органических загрязнений из воздушной и жидкостной среды, переводя их в летучее состояние и, таким

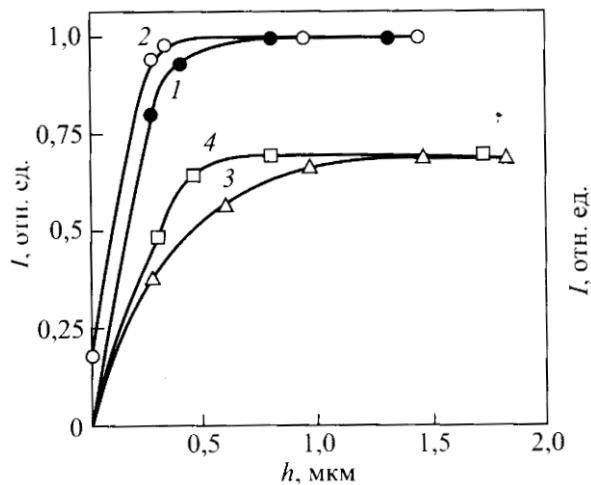


Рис. 2.13. Зависимости интенсивности фотolumинесценции кристаллов CdS, полированных различными композициями, от глубины стравленного слоя:

1 – (0001), композиция на основе элплаз-к; 2 – (0001), композиция на основе коллоидного кремнезема SiO₂; 3 – (000 $\bar{1}$), композиция на основе элплаз-к; 4 – (000 $\bar{1}$), композиция на основе коллоидного SiO₂.

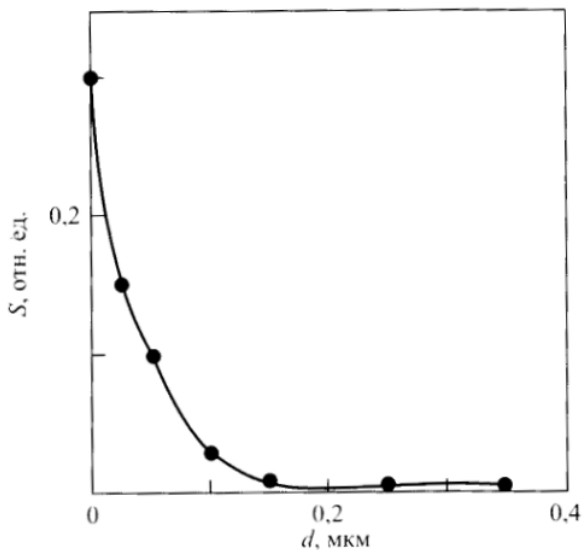


Рис. 2.15. Распределение скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда по глубине поверхностного слоя GaAs (100).

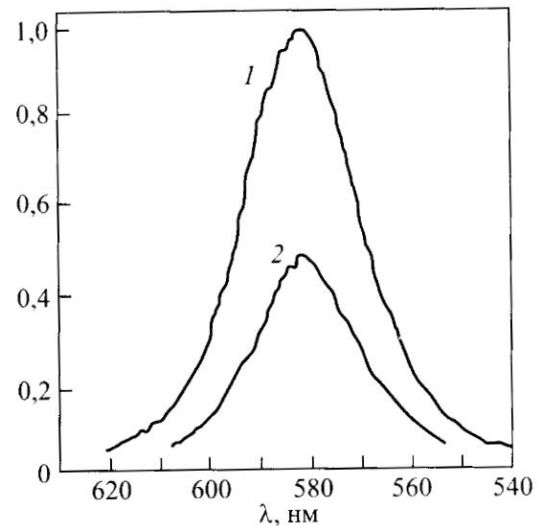


Рис. 2.14. Зависимости интенсивности фотolumинесценции кристаллов

CdS_{0.92}Se_{0.08} от состава композиции при ХМП: 1 – композиции на основе коллоидного кремнезема; 2 – композиции на основе элплаз-к.

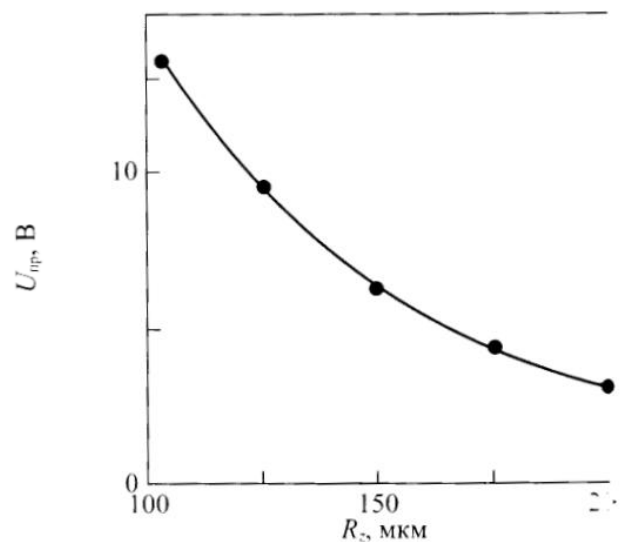


Рис. 2.16. Зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ Шотки на GaAs (001) от шероховатости R_z .

образом, дополнительно пассивируя поверхность Si защитным окисным слоем. По оценкам из данных эллипсометрии (Auto-El-III), толщина составляла примерно 10 – 15 Å. Затем, подготовительная камера откачивалась магниторазрядным насосом до $1 \cdot 10^{-8}$ мм рт.ст., после чего подложка с защитным окисным слоем переводилась в камеру анализа ($\sim 2 \cdot 10^{-9}$ мм рт.ст.) для снятия Оже-спектра поверхности. Затем, в ростовой камере, образованный на поверхности кремния защитный слой окисла толщиной менее 50 Å удалялся с нагретой до высокой температуры подложки в слабом потоке пара кремния. Температура при этом составляла ≥ 800 °С, а в отдельных экспериментах и при использовании дополнительных внешних ИК ламп, температура достигала 1200 – 1250 °С. В этих условиях налетающий кремний реагирует с SiO₂, образуя летучую моноокись кремния, которая испаряется с подложки. Осаждение кремния не происходит, пока окисел не удалится полностью. Травление окисла идет со скоростью несколько Å в минуту. Готовность поверхности подложки определяется по ДБЭ-электронограммам, получаемым *in situ*. Сразу по завершении процесса травления окисла в потоке кремния интенсивность испарения Si увеличивали, и осаждали на подложку несколько моноатомных слоев со скоростью 1 Å/сек. Оже спектры, снимаемые при последовательных анализах поверхности подложки и ДБЭ электронограмма полученной в результате поверхности представлены на рис. 2.18 (а, б, в) и рис. 2.19. Видно, что прошла реконструкция поверхности с образованием сверхструктуры типа (2x1). ДБЭ от очищенной поверхности Si (100) содержит тонкие стрелки и Кикучи-линии, это указывает на высокое структурное совершенство поверхности образцов.

По другому методу в загрузочной камере с подготовленными вышеописанным методом пластинами проводилось травление подложки ионами аргона при различных давлениях (10^{-3} – 10^{-6} мм рт.ст.) и энергиях (200 – 600 эВ) ионов. Обработанная подложка переводилась в аналитическую камеру и вновь снимался Оже-спектр поверхности.

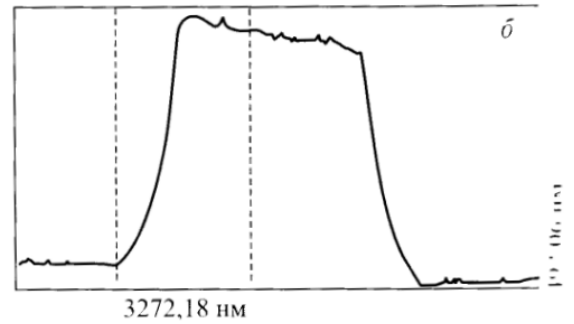
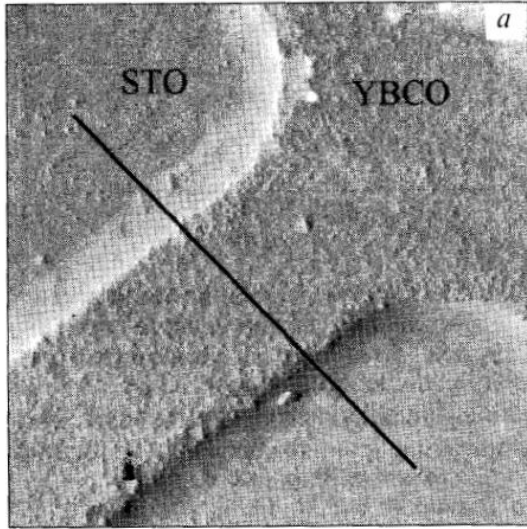


Рис. 2.17. АСМ-изображение границы YBCO/SrTiO₃ после ХМП (а) и сечение границы перехода пленка – подложка (б).

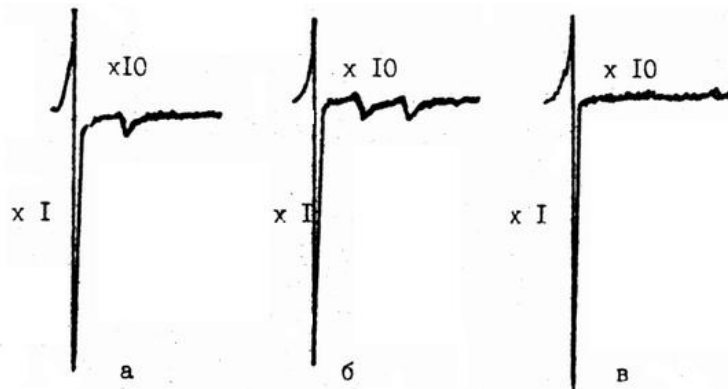


Рис. 2.18 Оже-спектры при очистке поверхности Si, соответствующих углеродным и окисным загрязнениям.

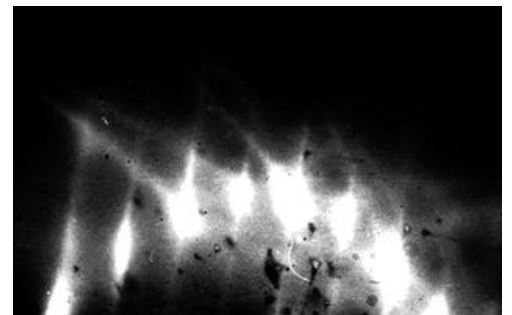


Рис. 2.19 ДБЭ после проведения очистки поверхности Si (100) с образованием сверхструктуры типа (2x1).

Результаты исследований двух способов очистки приведены на рис. 2.20, где видно, что в Оже-спектре подложки с защитным окислом после обработки в аргоновой плазме присутствует незначительный пик углерода.

После отжига подложки в вакууме при 800 °С в течение нескольких часов интенсивность и форма пика кислорода почти не изменились. Удалить кислород с поверхности при 800 °С не удалось, по-видимому, из-за того, что сформированный защитный окисел был недостаточно тонок, а возможности оборудования (подготовительный модуль) не позволяли поднять температуру отжига выше 800 °С без применения специальных методов дополнительного нагрева. При использовании в экспериментах дополнительных внешних ИК ламп, для импульсного нагрева поверхности, температура подложки могла достигать 1200 – 1250 °С, что полностью обеспечивало удаление загрязнений и защитного окисла. По окончании очистки пластину перегружали в ростовую камеру, где проводили реконструкцию поверхности при 800 °С. Контроль за состоянием поверхности осуществлялся методом ДБЭ (рис. 2.21).

Таким образом установлено, что УФ облучение кремниевых подложек в присутствии озона является эффективным средством очистки поверхности кремния от углеродосодержащих соединений, а также является средством пассивации поверхности.

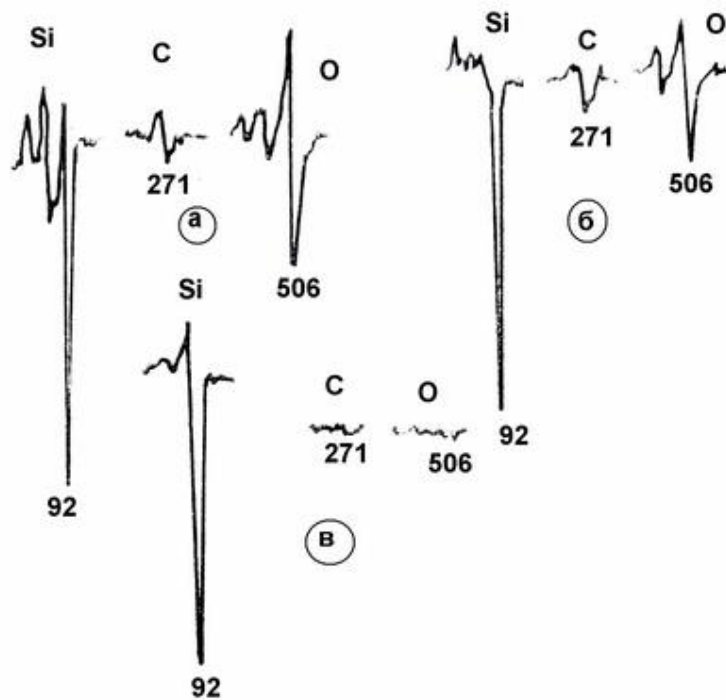


Рис. 2.20. Оже-спектры при различных вариантах очистки: с защитным окислом (а) после отжига 800°С 30 мин; б) подложка без окисла после ионного травления Ar^+ , $E = 300$ эВ, 30 мин; (в) то же, при 500 эВ.

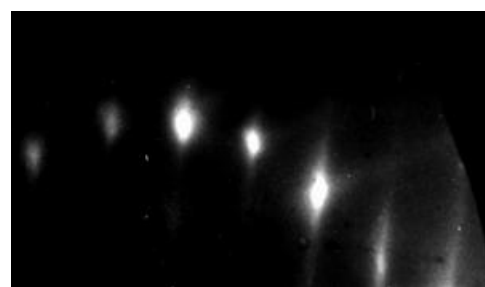


Рис. 2.21 Картина ДФЭ Si после проведения очистки поверхности (100)Si.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на основе анализа данных АСМ, СТМ, Резерфордского обратного рассеяния протонов и электронной микроскопии изучены структурные свойства поверхности отдельных материалов, подвергнутых химическому нанополированию. Изучены также электрофизические свойства некоторых двухкомпонентных полупроводниковых материалов. В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Химическое нанополирование в некоторых случаях позволяет уменьшить шероховатость поверхности до 0,5 – 1 нм.
2. Степень шероховатости монокристаллов зависит от кристаллографической ориентации, выходящей на нее плоскости.
3. Показано, что электрофизические свойства двух компонентных полупроводниковых материалов зависят от способа полирования, состава и шероховатости поверхности.
4. Показано, что химико-термическая очистка в условиях высокого вакуума позволяет получить атомарно-чистые и гладкие поверхности Si.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

БЖД - это область знаний, изучающая опасности, угрожающие человеку в среде обитания (природной, производственной, бытовой), и способы защиты от них. В основу теории безопасности человека положена концепция деятельности, одним из наиболее существенных моментов, которой является аксиома о потенциальной опасности в любом из видов деятельности. В таком случае, безопасность можно определить как такое состояние жизнедеятельности, при котором с определенной вероятностью исключается принесение ущерба здоровью человека. Такое состояние достигается с помощью определенного механизма управляющих воздействий на те факторы, от которых зависят условия БЖД.

Опасным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению работоспособности, то его считают вредным. Опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим опасным и вредным производственным факторам в нефтегазодобывающей промышленности можно отнести: подвижные части производственного оборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенный уровень ионизирующих излучений, повышенную напряженность электрического, магнитного полей и другие.

К химическим опасным и вредным производственным факторам относятся химические вещества, которые по характеру воздействия на организм человека подразделяются на токсические, раздражающие, sensibiliziruyushchie, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию. По путям проникновения в организм человека

они делятся на проникающие через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

К биологическим опасным и вредным производственным факторам относятся патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, а также макроорганизмы.

К психофизиологическим опасным и вредным производственным факторам относятся физические и нервно-психические перегрузки.

Основными результатами воздействия опасных и вредных производственных факторов на работников являются соответственно травмы и профессиональные заболевания. Частным случаем профессионального заболевания является профессиональное отравление.

Целью анализа травматизма является разработка мероприятий по предупреждению несчастных случаев. Анализ травматизма включает два этапа. Первый из них - тщательное всестороннее расследование обстоятельств и причин несчастного случая на месте его происшествя, второй - систематический анализ и обобщение причин несчастных случаев. Среди методов анализа травматизма можно выделить следующие:

- монографический;
- экономический;
- эргономический;
- психофизиологический;
- статистический.

В настоящее время около 99% всей полезной физической работы, необходимой для общества осуществляется машинами, управляемыми человеком. Все больше функций человека на производстве сводится к управлению, контролю, программированию. Труд рабочего становится трудом оператора.

Для того чтобы управлять технологическим процессом, наблюдать и контролировать работу машин оператору необходимы данные, которые характеризуют как ход процесса, так и отдельных его звеньев. Человек

создал современные машины, выполняющие мощнейшие операции. Однако, в ряде случаев дальнейшее совершенствование машин не только не увеличивает производительность труда, но и оставляет ее на прежнем месте, а иногда и уменьшает.

Дорог в пустынно-песчаной местности, как правило, мало, а для имеющихся естественных характерны участки солончаковые и с незакрепленными песками, а также отсутствие на них ориентиров. Существующие в пустынях дороги в большинстве своем не имеют специальных сооружений. Высокая температура воздуха и низкая влажность способствуют образованию густых облаков пыли. Пыль засасывается в двигатель и узлы автомобиля, вызывая повышенный износ деталей, приборов, агрегатов, нарушает их нормальную работу.

Водителю при движении в пустынно-песчаной местности приходится преодолевать сложные участки пути (барханы, барханные цепи, песчаные гряды), которые затрудняют движение.

Трудные участки пути также встречаются обычно на дорогах, которые не обслуживаются дорожной службой, на грунтовых проселочных и лесных дорогах, а также в условиях бездорожья.

Безаварийное вождение в сложных дорожных и климатических условиях будет успешным при выполнении таких условий, как знание водителем особенностей

Основные виды уменьшения опасности поражения электрическим током в производстве

Малое напряжение – это номинальное напряжение не более 42 В между фазами; и по отношению к земле, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током. Малое напряженно обеспечивает безопасность по другим причинам: при малом напряжении через сопротивление протекает соответственно и «малый» ток и при малом

напряжении сопротивление тела человека велико, что способствует еще большему уменьшению тока через человека.

В производственных условиях применяют два малых напряжения – 12 и 36 (42) В. Напряжение до 36 В включительно применяется в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и вне помещений для питания следующих электроприемников: ручных электрифицированных инструментов (дрель, гайковерт, паяльник, пила, рубанок и др.), переносных ручных ламп, светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания, светильников общего освещения обычной конструкции с лампами накаливания, размещенных над полом на высоте менее 2,5 м.

Напряжение не выше 12 В включительно должно применяться для питания ручных переносных ламп в особо опасных помещениях при особо неблагоприятных условиях работы: в стесненных условиях, при соприкосновении работающего с большими металлическими заземленными поверхностями (работа в металлической емкости сидя или лежа на токопроводящем полу, в кабельном колодце, в смотровой яме и др.).

Источниками малого напряжения служат батареи гальванических элементов, аккумуляторы, выпрямительные установки, преобразователи частоты, трансформаторы. Применение автотрансформаторов или реостатов запрещается, так как в этом случае сеть малого напряжения электрически связана с сетью высшего напряжения. Наиболее часто применяют трансформаторы. Единственный недостаток трансформаторов для получения малого напряжения – возможность перехода высшего напряжения на корпус или на сторону малого напряжения. Для исключения этой опасности корпус трансформатора и один из выводов (нейтрал или среднюю точку обмотки малого напряжения) заземляют или зануляют, а между обмотками высшего и малого напряжений помещают заземленный экран.

Широкому внедрению малых напряжений препятствует сложность создания протяженной или разветвленной сети. Обычно потребителей группируют по территориальному признаку (в пределах участка, цеха) и

устанавливают один источник питания. В производственных условиях малым напряжением питаются ручные электрифицированные инструменты, ручные светильники и светильники местного освещения (станочные) в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных.

Защитное замыкание – это искусственное замыкание на землю фазы сети с изолированной нейтралью, в которой возникла утечка, с целью шунтирования цепи однофазного прикосновения человека. В настоящее время предложено несколько схем устройств защитного замыкания для сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В. В Японии предложено аналогичное устройство на напряжение до 6,6 кВ. При сопротивлении шунтирования, обеспечивающем при однофазном прикосновении ток через человека менее порогового отпускаящего, защитное замыкание рассматривается как резервная мера защиты, снижающая вероятность поражения людей электрическим током.

Выравнивание потенциалов – это методы снижения напряжений прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек. Достигается выравнивание потенциалов путем искусственного повышения потенциала опорной поверхности ног до уровня потенциала токоведущей части (металлическое соединение токоведущей части и опорной поверхности).

Выравнивание потенциалов применяется при пофазном ремонте ВЛ электропередачи под напряжением. Для выполнения работ человек вынимается с помощью телескопической изоляционной вышки до уровня провода. Затем с помощью изолирующей штанги накладывают перемычку между металлической люлькой, изолированной от земли, и фазным проводом линии. После этого работы выполняются без электрозщитных средств. Ток утечки протекает через перемычку и изоляцию вышки в землю. Человек не попадает под напряжение, так как разность потенциалов провода, которого он касается, и опорной поверхностью ног равна нулю. После окончания

работ перемычка снимается с помощью изолирующей штанги, и человек опускается на землю. Выравнивание потенциалов, обеспечивающее снижение напряжения прикосновения и шага, применяется также при контурном защитном заземлении.

Изолирующая площадка – это площадка, пол и ограждение которой изолированы от земли. Изоляция площадки ограничивает ток через человека при прикосновении к частям электрооборудования под напряжением. Изолирующие площадки используют для обслуживания электрооборудования, в котором по технологическим или другим соображениям не выполнено защитное заземление или зануление корпусов. Устраивают изолирующие площадки с таким расчетом, чтобы человек, стоя на площадке, не мог одновременно прикоснуться к незаземленному корпусу оборудования и конструктивным элементам здания или заземленным частям другого технологического оборудования. Изоляцию площадки от земли выполняют с таким сопротивлением, чтобы напряжение, максимально возможное на незаземленном корпусе по отношению к земле, обуславливало через человека ток не более порогового ощутимого. Для входа или подъема на изолирующую площадку устраивают изолирующие дорожки или лестницы или соответствующей длины изолирующие вставки дорожек или лестниц.

Если пол изолирующей площадки металлический, применяют выравнивание потенциалов: пол постоянно или на время выполнения работы соединяют металлическим предметом с незаземленным корпусом.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Защитное заземление является эффективной мерой защиты для электрооборудования, питающегося от электрических сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и напряжением выше 1000 В с любым режимом нейтрали источника питания. Защитное действие заземления основано на снижении напряжения

прикосновения, что достигается путем уменьшения потенциала на корпусе оборудования относительно поверхности земли или за счет малого сопротивления заземления (в установках напряжением до 1000 В и выше при малых токах замыкания на землю, напряжением 6 – 35 кВ), или за счет повышения потенциала примыкающей к оборудованию поверхности земли (выравнивание потенциалов в электроустановках напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью, с большими токами замыкания на землю источника, напряжением 110 кВ и выше). При выравнивании потенциалов, кроме того, уменьшается и напряжение шага. В электроустановках напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю пробой фазы на корпус и последующее замыкание на землю является однофазным коротким замыканием, от тока которого срабатывает максимальная токовая защита, отключая поврежденный участок.

Согласно ПУЭ, защитное заземление выполняют в следующих случаях: при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В в электроустановках, размещаемых в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных, а также в наружных установках; при любом напряжении переменного и постоянного тока во взрывоопасных установках.

Защитному заземлению подлежат: корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников; приводы электрических аппаратов (выключателей, разъединителей, отделителей и т. п.); вторичные обмотки измерительных трансформаторов; каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части их, если на этих участках установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или более 110 В постоянного тока; металлические конструкции РУ, металлические кабельные конструкции и соединительные муфты, металлические оболочки и броня кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и

трубы электропроводки, кожуха и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме конструкций, на которых укреплены кабели с заземленной металлической оболочкой или броней), а также металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование; металлические оболочки и броня кабелей и проводов напряжением до 42 В переменного тока и ПО В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях (в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т.п.) вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению; металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников; электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов; строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути в тех помещениях и наружных установках, в электроустановках которых применяется заземление; а также металлические конструктивные элементы ВЛ (опоры, арматура и др)

Заземлению не подлежат: корпуса электрооборудования, аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных металлических конструкциях, РУ, на щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными основаниями; арматура изоляторов, оттяжек, кронштейнов и осветительная арматура на деревянных опорах ВЛ или деревянных конструкциях открытых подстанций; съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер РУ, шкафов, ограждений, если на этих частях не установлено электрооборудование или если напряжение установленного электрооборудования не превышает 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока; корпуса электроприемников с двойной изоляцией; металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и

перекрытия и другие детали (в том числе протяжные и ответвительные коробки размером до 100 см²) электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений.

Конструкция заземляющих устройств. Заземляющим устройством называется: совокупность заземлителя (металлического проводника или группы металлических соединенных между собой проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные (или сосредоточенные) и контурные (или распределенные)

Электрозащитные средства (ЭЗС) – это переносимые и перевозимые изделия служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля. По характеру применения средства защиты подразделяются на две категории: средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты. По степени защиты ЭЗС подразделяются на основные и дополнительные. Основные ЭЗС – это средства защиты изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Дополнительные ЭЗС – это средства защиты, дополняющие основные, а также служащие для защиты от напряжений прикосновения и шага, которые сами по себе не мог при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током, а применяются совместно с основными ЭЗС.

К основным ЭЗС для работы в электроустановках напряжением выше 1000 относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения; изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным

прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяди, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.). К дополнительным ЭЗС, применяемым в электроустановках напряжением выше 1000 В, относятся: диэлектрические перчатки, боты, ковры; изолирующие подставки и накладки; диэлектрические колпаки; переносные заземления; оградительные устройства; плакаты, безопасности.

К основным ЭЗС, применяемым в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся: изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками. К дополнительным ЭЗС в электроустановках напряжением до 1000 В относятся: диэлектрические галоши и ковры, переносные заземления, изолирующие подставки и накладки, оградительные устройства, плакаты безопасности

Кроме перечисленных ЭЗС, в электроустановках применяют также такие средств индивидуальной защиты, как очки, каски, противогазы, рукавицы, предохранительные монтерские пояса и страховочные канаты.

Поражение электрическим током

Поражения возникают в результате действия технического или атмосферного электрического тока. Неумелое использование электрических приборов, как в технике, так и в быту, а также неисправность этих приборов приводят к электротравмам. Смертность от поражения электрическим током составляет 9-10% всех случаев, что в 10-15 раз превышает смертность от других травм.

Электротравмы случаются чаще в весенне-летнее и осеннее время, когда повышается потливость кожных покровов, а также возникает возможность поражения молнией во время грозы, когда отмечается значительное

скопление электрических зарядов в атмосфере. При этом путь молнии к земле может быть как бы “ориентирован” стоящим в поледеревом, более высоким деревом в лесу или любой металлической конструкцией. Поэтому находиться под ними в грозу небезопасно. Чтобы избежать повреждающего воздействия молнии в помещении, нужно закрывать окна, форточки, отключать из сети все электрические приборы.

С целью классификации, нужно провести границу приблизительно на цифре 1000 вольт, разделяя низковольтные высоковольтные повреждения. Низковольтные повреждения - ожоги с ограниченной поверхностью поражения, причиняемые вольтовой дугой или вспышкой. Повреждения, производимые высоким напряжением (больше чем 1000 вольт), также возникают дугой или вспышкой, но, кроме того, причиняют большие разрушающие повреждения проводящего типа, которые могут привести к гибели ткани далеко от места контакта.

Электрические повреждения лучше всего объяснять через превращение электрической энергии в теплоту, которая затем приводит к прямому разрушению тканей. Кроме того, ток высокого напряжения оказывает прямой разрушающий эффект на клетки. Соотношение между напряжением, сопротивляемостью и током описывается в известном законе Ома:

$$I = E/R, \text{ где}$$

I - равняется току в амперах,

E - напряжение в вольтах,

R - сопротивляемость в омах.

При высоком напряжении ток проходит через ткани тела и от источника (рана на входе) к земле (рана на выходе). Организм является проводником объема тока при наиболее выраженном повреждении ткани в местах большой плотности и высокого значения в амперах. Отсюда, больше всего страдают от повреждения конечности, чем туловище места входа и выхода напряжения тока. Рана на входе имеет кожаную поверхность, ткани напряжены из-за коагуляции и некроза. Рана на выходе обычно обширнее, потому что ток

должен вырваться из организма, оставляя большое отверстие. Есть вероятность нескольких электрических каналов внутри тела, что приводит к множественным выходам, подвергая, таким образом, любой орган или структуру риску электрического поражения.

Дугообразные повреждения обычно сопровождаются высокочастотными повреждениями. Дугообразные повреждения лучше всего понять, если представить разрушение тканей от выделения ионизированных частиц между полюсами различных электрических зарядов. Дуги возникают, когда ток проходит от тела к земле или из одной части тела другую, например, от руки к грудной стенке. Когда образовалась дуга, происходит резкое падение в напряжении, но если источник тока действует, дуга продолжается между двумя полюсами. Расстояние, за которое дуга может проходить, увеличивается на 2-3 см на каждые 10000 вольт. Температура дуги может подниматься на 20000 С и обычно приводит к небольшому, скрытому поражению, которое является глубоко разрушающим. Самое большое повреждение происходит обычно глубоко в конечностях и считается, что это происходит из-за близкого расположения к кости, которая обладает самой высокой сопротивляемостью.

Электрическое повреждение осложняется феноменом “не освобождения” из-за титанической сократимости мышц в контакте с изменяющимся током. При соприкосновении с высоковольтным проводом, мышцы-сгибатели предплечья подвергаются усиленной контрактуре, что делает невозможным оторваться с источником отсюда, название “не освобождение”. Такие контрактуры приводят к потоку низкочастотного тока величиной над болезненным стимулом, но ниже требуется причинить тетанию дыхательных мышц. Больной избегает трудной ситуации, если только он находится без сознания и падает в стороне от источника тока.

Глубокие проводящие электрические повреждения характеризуются глубоким массивным разрушением мышц и глубоким отеком под здоровой кожей. Кроме того, глубокие проводящие повреждения могут воздействовать

на удаленные участки ЦНС и на полости грудной клетки и живота. Раны входа и выхода тока являются отличительными признаками глубоких проводящих повреждений.

Дугообразные повреждения производят локальные, очень глубокие области коагуляционного повреждения, такие как запястье, локоть, промежность и подмышечная область.

Поверхностные термические ожоги случаются при электрических повреждениях из-за вспышки или возгорания одежды, захватывая обширные участки тела и тем самым, усложняя метаболическую травму больного. Такие ожоги могут действовать на проксимальные участки конечностей, требуя в последующем ампутации, образуя нестабильные рубцы на месте будущих протезов.

Сопутствующие повреждения случаются в тех случаях, когда человека отбрасывает от источника тока или он падает с высоты. Возможные сопутствующие повреждения: интра-кранеальная травма, спинные повреждения, перелом длинных костей, грудные и интра-абдоминальные паренхиматозные повреждения. Общий эффект тканей от электрических воздействий в каждой системе органа переводится в специфическое, клиническое повреждение: некоторые из них считаются острыми и угрожающими жизни, другие могут оказывать постепенное действие через месяцы и годы после несчастного случая. Ниже пригодится список как острых, так и поздних эффектов высоковольтных повреждений.

Различают четыре степени электротравм:

1. Степень - у пострадавшего отмечается судорожное сокращение мышц без потери сознания;
2. Степень - судорожное сокращение мышц у больного сопровождается потерей сознания;
3. Степень - у пострадавшего наблюдается не только потеря сознания, но и нарушение сердечной деятельности и дыхания;
4. Степень - больной находится в состоянии клинической смерти.

Клиническая картина поражения электрическим током складывается из общих и местных признаков. Субъективные ощущения пострадавшего при прохождении через него электрического тока разнообразны: легкий толчок, жгучая боль, судорожные сокращения мышц, дрожь и др. Признаки: бледность кожных покровов, синюшность, повышенное отделение слюны, может быть рвота; боли в области сердца и мышцы разной силы, непостоянны. После устранения воздействия тока пострадавший ощущает усталость, разбитость, тяжесть во всем теле, угнетение или возбуждение. Потеря сознания наблюдается у 80% пострадавших. Больные в бессознательном состоянии резко возбуждены, беспокойны. У них учащен пульс, возможно непроизвольное мочеиспускание.

При электротравме, вызвавшей судорожные сокращения мышц или падение с высоты, могут наступить различные переломы костей и вывихи суставов. При электротравме с обширными ожогами поражение внутренних органов, как правило, выражено значительно меньше. Это объясняется тем, что обуглившиеся и обожженные ткани создают как бы препятствие для проникновения тока за пределы ожога. Электрические ожоги небольшой площади сразу же после воздействия тока имеют четкие границы, вокруг омертвевших тканей черного цвета имеется более светлый ободок. Отек окружающих тканей развивается очень быстро. Боль в области электроожога, как правило, отсутствует.

Первая помощь при поражении электрическим током

Первая помощь во всех случаях должна начинаться с немедленного освобождения пострадавшего от дальнейшего контакта с цепью электрического тока. Самым простым способом является отключение цепи выключателем или рубильником, вывинчиванием “пробки” и т.д. Но если они находятся далеко или по каким-то другим причинам отключить их невозможно, то следует оборвать или перерубить токонесущий провод,

отвести провод в сторону от пострадавшего. Нужно быть осторожным, чтобы спасатель не стал частью электрической цепи – перерубая провод, нужно обернуть сухой шерстяной, шелковой или прорезиненной материей ручку инструмента, если она сделана не из сухого изолятора. Рубить провода во избежание короткого замыкания следует по отдельности. Обесточивая пострадавшего, оказывающий помощь должен стоять на каком-либо сухом резиновом, деревянном, стеклянном или другом предмете, сделанном из диэлектрика (изолятора). Также спасатель должен иметь в виду, что его может поразить электрическая дуга, поскольку ток высокого напряжения создает эту дугу вокруг пострадавшего на расстоянии 10 футов (1 фут равняется 33 метра). Отсюда следует, что к пострадавшему нельзя прикасаться до тех пор, пока источник тока не будет обезврежен или убран от больного при помощи непроводящего тока предмета, например, куском сухого дерева. Когда пострадавшего освободили, его нужно сразу осмотреть, проверить дыхание и сердечную деятельность и измерить жизненно важные показатели, обеспечить доступ свежего воздуха: расстегнуть воротник и пояс брюк или юбки, другие стягивающие предметы одежды, уложить на ровное место. Если сердцебиение и дыхание, даже слабое, сохранены, можно давать вдыхать нашатырный спирт, следует обрызгать лицо холодной водой, растереть тело одеколоном, тепло укутать пострадавшего, немедленно вызвать врача. При сохраненном сознании можно дать болеутоляющие лекарства, успокаивающие и сердечные средства. На пораженную электроожогом кожу накладывают повязку, желательно из стерильного бинта, смоченного разведенным спиртом.

Основные мероприятия по электробезопасности, охране ОС, предупреждению аварий и пожаров в здании. Где установлены ЭУ и ликвидации последствий ЧС

Организационные и технические мероприятия по электробезопасности при эксплуатации и ремонте ЭУ

К работе с ЭУ допускают лиц не моложе 18 лет и прошедших инструктаж и обучение по безопасным методам труда, проверку знаний ПТБ и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответственной группы по электробезопасности.

ПТБ установлено пять групп с последующей проверкой знаний ПТБ.

Эксплуатацию электросетей и ЭУ может осуществлять только ЭТП с группой не ниже II.

При выполнении работ в ЭУ должны строго соблюдаться мероприятия, устанавливаемые ГОСТ 12.1.019-79 и ПТБ.

Первым является назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производственных работ; организация надзора за проведением работ; осуществление допуска к производственным работам; оформление окончания работы, перерывов в работе.

При выполнении работ в ЭУ со снятием напряжения мероприятиями являются: отключение ЭУ от источника питания; проверка отсутствия напряжения; заземления фаз; механическое запираание приборов коммутационных приборов и аппаратов; снятие предохранителей; отсоединение концов питающих линий и др. мероприятия.

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	4	25000	20000	120000
	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	1	2000000	400000	2400000
2	ОЖЕ – электронный спектрометр	1	2000000	400000	2400000
3	Фотоэлектронный спектрометр	1	2000000	400000	2400000
	Итого				7200000

Таблица 3.

Стоимость основных фондов

№	Наименование основных фондов	Количество	Стоимость основных фондов
1	Лаборатория	1	1000000
2	Оборудования		7200000
	Итого		8200000

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

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

$$A_{\text{отч}} = 0,2 \times 8200000 / 12$$

$$A_{\text{отч}} = 136666,66$$

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

$$P_T = 12 \% \times \text{ОФ}/12$$

$$P_T = 0,12 \times 8200000/12$$

$$P_T = 82000$$

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

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

$$K = 240000 + 418880 + 136666,66 + 197523,55 = 993070,21$$

Таблица 5.

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	1318891
2	Затраты на производство	1014531,54
3	Производственная себестоимость	972643,543
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	136666,66
11	Прочие затраты	33013,33
12	Основная заработная плата	272000

Таблица 6.

Расчет экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Ед. изменения	Сумма	Примечания
1	Стоимость выполненных работ	Сум	1318891	Таблица
2	Затраты на производство	Сум	1014531,54	Таблица
3	Инвестиции	Сум	993070,21	Формула
4	Экономическая эффективность	Сум	304359,46	Формула
5	Срок окупаемость	Месяц	3,2	Формула
6	Рентабельность	%	30,6	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

$$\mathcal{E} = (1318891 - 1014531,54) \times 1$$

$$\mathcal{E} = 304359,46$$

Рентабельность определим по формуле

$$R = \frac{\mathcal{E} \times 100\%}{K}$$
$$R = \frac{304359,46 \times 100\%}{993070,21}$$
$$R = 30.6$$

Определяем срок окупаемости

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

\mathcal{E} - экономическая эффективность

K - капитал

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}}$$
$$T_{\text{ок}} = \frac{993070,21}{304359,46}$$
$$T_{\text{ок}} = 30.6$$

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.metkon.org/metallography/hardness/>
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд.; перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с.
3. <http://www.finka.ru/article/1.htm>
4. http://people.overclockers.ru/RussOver/13984/Tehnologicheskie_processy_poluprovodnikovogo_proizvodstva_processorov
5. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. М.: МИСИС, 2003. 480 с.
6. Денисов В.М., Истомина С.А., Подкопаев О.И. и др. Кремний и его сплавы. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 467 с.
7. Литовченко С.В., Кириченко В.Г., Доценко Е.А., Кочетова С.Ю. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры. Учебное пособие. – Х.: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2012. – 18 с.
8. Буткарев А.И. Полировка. «АБ Универсал». Технологии, материалы, оборудование, инструменты, 2002 г.
9. Карбань В.И., Борзаков Ю.И. Обработка монокристаллов в микроэлектронике. – М.: Радио и связь, 1988. – 104 с.
10. Рогов В.В. Механическая обработка полупроводниковых материалов: Ч.1. Резка монокристаллов на пластины / ГУП НПП «Пульсар». – М., 2003. – 80 с.
11. Новые материалы / Под ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСиС, 2002. – С. 60-68.
12. Mendel E. // S. P. and Solid State Technology. 1967. V.10. № 8. P. 27-39.
13. Алехин В.П., Артемов А.С., Гусев О.В., Мазур А.И. // Материалы I Всесоюз. совещ. по дефектам структуры в полупроводниках. – Новосибирск, 1969. – Ч. I. С.294-300.

14. Artjomov A. SEMI cis executive mission and exhibit: Program Directory and Product Guide. – Zelenograd (Russia), 1998. – P. 41-43.
15. Пат. 3.170.273 США CL. 51-281 Process for polishing semiconductor materials / Walsh R.K., Herzog A.H. 01.10.163 – 02.23.1965.
16. А. с. 334852 СССР Ц 09д 1/02 Композиция для полирования поверхности полупроводниковых материалов / Артемов А.С. Заявл. 23.04.1970, Бюл. 1979. № 7.
17. Farley D. // Package and Product. 1967. V.7. № 10. P.12 – 14.
18. Martines M.A. // Solid State Technol. 1995. V. 9. P.44 – 48.
19. Артемов А.С. // Третья междунар. конф. «Микроэлектроника и информатика»: Тез. докл. – М.: Зеленоград, 1997. – С. 161f.
20. Козловский В.И., Трубенко П.А., Артемов А.С. и др. // ФТП. 1997. Т.31. № 6. С.641 – 647.
21. <http://technomag.edu.ru/doc/240810.html>
22. <http://u-sonic.ru/taxonomy/term/360/0?page=2>
23. Алтухов А.А., Жирнов В.В., Иванов В.В., Раббимов Э.А. Применение УФ-излучения для подготовки поверхности кремния перед молекулярно-лучевой эпитаксией. VII Симпозиум по вторичной электронной, фотоэлектронным эмиссиям и спектроскопии поверхности твердого тела; тезисы докладов, г. Ташкент, 1990, с. 151 – 152.
24. Алтухов А.А., Эгамбердиев Б.Э. Применение МЛЭ для создания структур диэлектрик-кремний и кремний-диэлектрик-кремний. Тезисы докладов Международной конференции, Новосибирск, 1992, т. 4, с. 137 – 140.