

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

Факультет: «Электроника и Автоматика»

Кафедра: «Электроника и Микроэлектроника»

## ***МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ***

Ли Александра Викторовича

на тему:

«Разработка и создание анимационного мультимедийного фильма по промышленным способам получения технического, поликристаллического и монокристаллического кремния»

по направлению 5A521706 "Промышленная электроника"  
для получения степени магистра

Заведующий кафедры:

проф. Бахадирханов М. К.

Руководитель:

проф. Зикриллаев Н. Ф.

Ташкент 2012 г.

# Содержание

<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>Глава I. Теоретическая часть.....</b>	<b>7</b>
1.1. Общие сведения .....	8
1.2. Производство кремния .....	17
1.3. Современные технологии производства кремния .....	33
<b>Глава II. Практическая часть.....</b>	<b>38</b>
2.1. Современные инструменты создания анимации.....	39
2.2. Видеомонтаж и звукозапись.....	61
<b>Заключение .....</b>	<b>65</b>
<b>Приложения:.....</b>	<b>67</b>
<b>Литература .....</b>	<b>71</b>

# **Введение**

Полупроводниковая технология начала свое становление с 1946 года, когда Бардин и Шокли изобрели биполярный транзистор. На первом этапе развития микроэлектронного производства в качестве исходного материала использовался германий. В настоящее время 98% от общего числа интегральных схем изготавливаются на основе кремния.

Кремниевые полупроводниковые приборы по сравнению с германиевыми имеют ряд преимуществ:

- Si p-n переходы обладают низкими токами утечки, что определяет более высокие пробивные напряжения кремниевых выпрямителей;
- у кремния более высокая, чем у Ge область рабочих температур (до 150 и 70 градусов Цельсия соответственно);
- кремний является технологически удобным материалом: его легко обрабатывать, на нем легко получать диэлектрические пленки SiO<sub>2</sub>, которые затем успешно используются в технологических циклах;
- кремниевая технология является менее затратной. Получение химически чистого Si в 10 раз дешевле, чем Ge.

Вышеперечисленные преимущества кремниевой технологии имеют место в связи со следующими его особенностями:

- большое содержание кремния в виде минералов в земной коре (25 % от ее массы);
- простота его добычи (содержится в обычном речном песке) и переработки;
- существование "родного" не растворимого в воде окисного слоя SiO<sub>2</sub> хорошего качества;
- большая, чем у германия ширина запрещенной зоны ( $E_g = 1.12$  эВ и  $E_g = 0.66$  эВ соответственно).

Металлический кремний и его соединения (в виде силикатов, алюмосиликатов и др.) нашли применение в различных областях техники. В частности металлический кремний широко применяется в виде легирующих добавок в производствах различных марок сталей и цветных металлов.

Кремний является одним из основных полупроводниковых материалов электронной техники. Наиболее важными областями его применения являются:

- микроэлектроника: процессоры и навигационные системы, Интернет и цифровое телевидение, мобильные телефоны и т.п.;
- электротехника: вентили, управляемые тиристоры, мощные транзисторы, солнечная энергетика; в - ИК - техника: детекторы ионизирующих излучений.

Рынок полупроводниковых приборов определяет требования к качеству и параметрам материала. Увеличение степени интеграции, уменьшение размера чипа и, как следствие, увеличение кремниевых слитков и пластин вызвало и поддерживает в настоящее время дефицит поликристаллического кремния.

Для кремниевых технологий известна так называемая "бизнес-пирамида": полная выручка от продажи электронных систем на основе кремния на два порядка больше стоимости пластин.

Эффективность использования поликристаллического кремния в первичных поколениях пластин диаметром 100-150 мм составляла 30% (т.е. на каждые 100 г. поликристаллического кремния приходится только 30 г., реализованных в конечной пластине). Для пластин диаметром 200 мм этот параметр снижается до 17%, а экстраполяция на пластины диаметром 300мм предполагает величину в 5-10%. Этот пример показывает образование дефицита поликристаллического кремния при увеличении диаметра слитка.

Начиная с 1996 года ощущается дефицит поликристаллического кремния. По прогнозам роста рынка видно, что в будущем не только нужды электроники будут определять рыночный спрос на поликристаллический кремний, но и спрос, сформированный солнечной энергетикой.

В XXI веке доля "солнечного" вклада в добываемую энергию стремительно возрастет, прежде всего из-за ограниченно количества природных источников энергии (нефть и газ), а также из-за экологических проблем(захоронения отходов атомной энергетики, парниковый эффект).

Электроника будет нуждаться в более, чем 25 тысячах тонн поликристаллического кремния в год к 2000 году без учета требований стран СНГ и третьего мира. При учете стран СНГ эта цифра возрастет до 35 тысяч тонн в год. Существующие сегодня мощности по производству поликристаллического кремния не в состоянии выполнить эти требования. Если учитывать будущие требования рынка кремния для солнечной энергетики, то эти цифры возрастут до значения в 60 тысяч тонн в год к 2000 году и до 90 тысяч тонн в год к 2003 году.

# **Глава I.**

# **Теоретическая**

# **часть**

## 1.1. Общие сведения

Содержание кремния в земной коре составляет по разным данным 27,6—29,5 % по массе. Таким образом по распространённости в земной коре кремний занимает второе место после кислорода. Концентрация в морской воде 3 мг/л.

Чаще всего в природе кремний встречается в виде кремнезёма — соединений на основе диоксида кремния (IV)  $\text{SiO}_2$  (около 12 % массы земной коры). Основные минералы и горные породы, образуемые диоксидом кремния — это песок (речной и кварцевый), кварц и кварциты, кремень, полевые шпаты. Вторую по распространённости в природе группу соединений кремния составляют силикаты и алюмосиликаты.

Отмечены единичные факты нахождения чистого кремния в самородном виде/

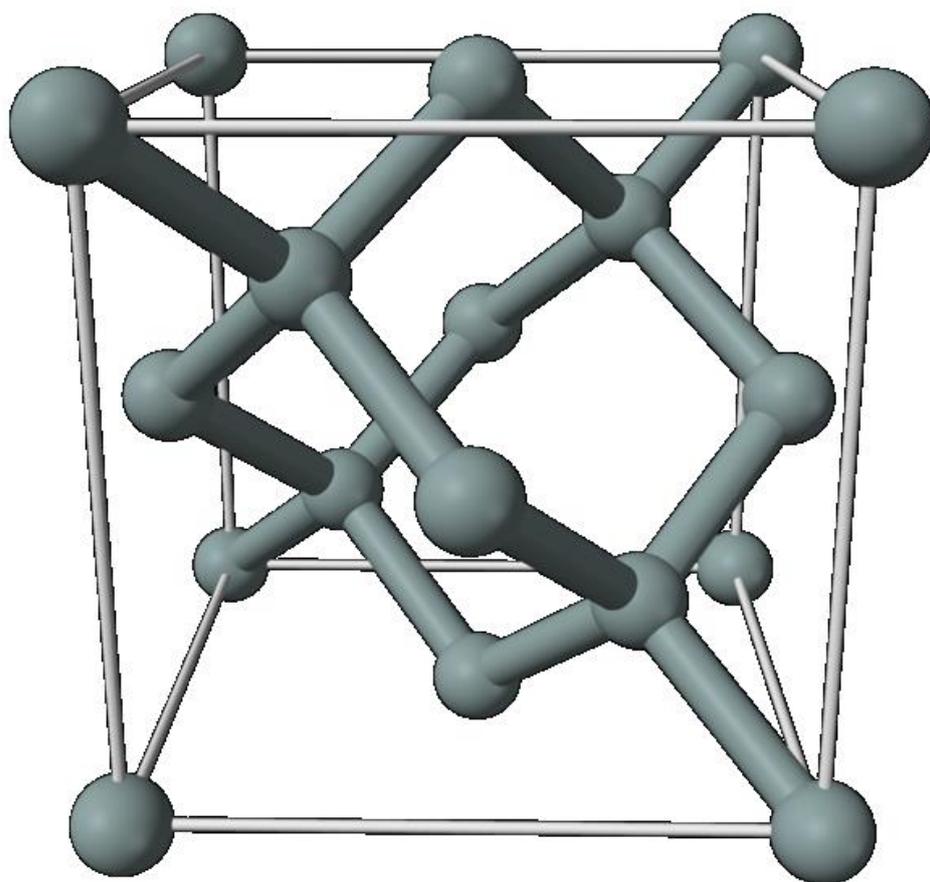


Рис. 1. Кристаллическая решетка кремния

Кристаллическая решётка кремния кубическая гранцентрированная типа алмаза, параметр  $a = 0,54307$  нм (при высоких давлениях получены и другие полиморфные модификации кремния), но из-за большей длины связи между атомами Si—Si по сравнению с длиной связи C—C твёрдость кремния значительно меньше, чем алмаза. Кремний хрупок, только при нагревании выше  $800\text{ }^\circ\text{C}$  он становится пластичным веществом. Интересно, что кремний прозрачен для инфракрасного излучения начиная с длины волны  $1,1$  мкм. Собственная концентрация носителей заряда —  $5,81 \cdot 10^{15}\text{ м}^{-3}$  (для температуры  $300\text{ K}$ ).

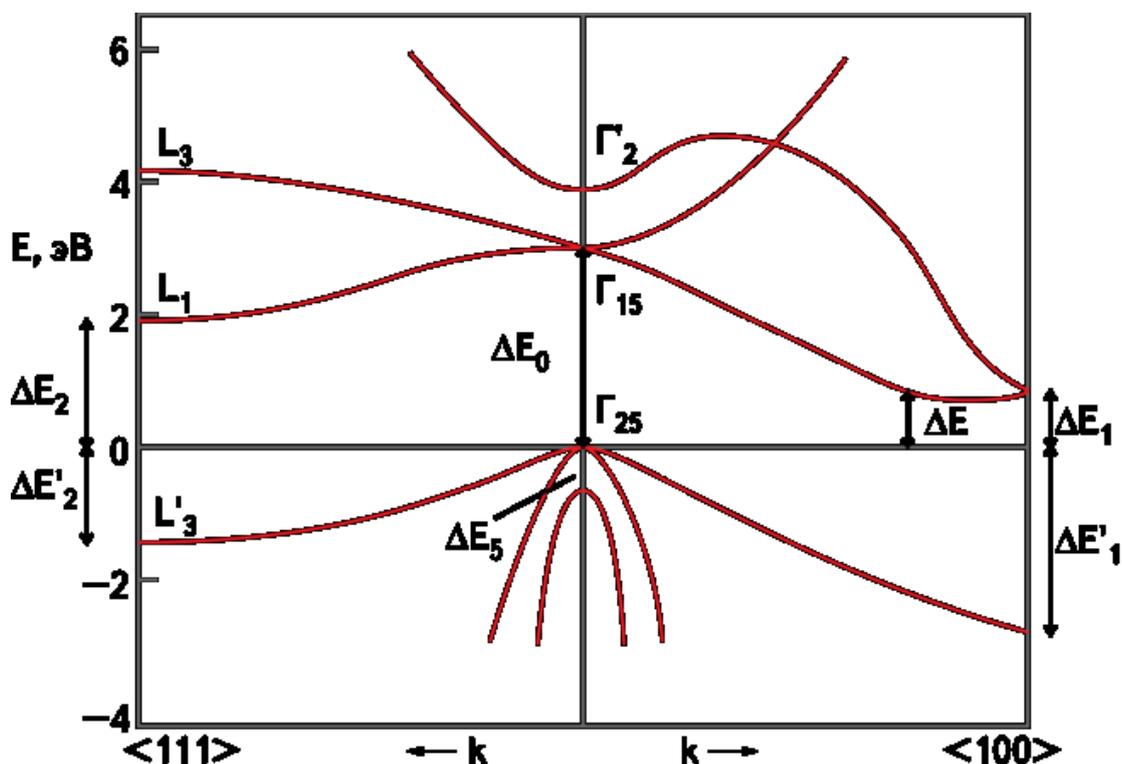
Элементарный кремний в монокристаллической форме является непрямозонным полупроводником. Ширина запрещённой зоны при комнатной температуре составляет  $1,12$  эВ, а при  $T = 0\text{ K}$  составляет  $1,21$  эВ[6]. Концентрация собственных носителей заряда в кремнии при нормальных условиях составляет порядка  $1,5 \cdot 10^{10}\text{ см}^{-3}$ .

На электрофизические свойства кристаллического кремния большое влияние оказывают содержащиеся в нём примеси. Для получения кристаллов кремния с дырочной проводимостью в кремний вводят атомы элементов III-й группы, таких, как бор, алюминий, галлий, индий. Для получения кристаллов кремния с электронной проводимостью в кремний вводят атомы элементов V-й группы, таких, как фосфор, мышьяк, сурьма.

При создании электронных приборов на основе кремния задействуется преимущественно приповерхностный слой материала (до десятков микрон), поэтому качество поверхности кристалла может оказывать существенное влияние на электрофизические свойства кремния и, соответственно, на свойства готового прибора. При создании некоторых приборов используются приёмы, связанные с модификацией поверхности, например, обработка поверхности кремния различными химическими агентами.

1. Диэлектрическая проницаемость:  $12$
2. Подвижность электронов:  $1200\text{—}1450\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ .
3. Подвижность дырок:  $500\text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ .
4. Ширина запрещённой зоны  $1,205\text{--}2,84 \cdot 10^{-4} \cdot T$
5. Продолжительность жизни электрона:  $5\text{ нс} \text{—} 10\text{ мс}$
6. Длина свободного пробега электрона: порядка  $0,1\text{ см}$
7. Длина свободного пробега дырки: порядка  $0,02 \text{—} 0,06\text{ см}$

Все значения приведены для нормальных условий.



**Схематическое изображение зонной структуры Si.**

**Ширины запрещенных зон равны:**

$$\Delta E = 1,12 \text{ эВ}, \Delta E_0 = 3,4 \text{ эВ}, \Delta E_5 = 0,035 \text{ эВ},$$

$$\Delta E_1 = 1,2 \text{ эВ}, \Delta E'_1 = 3,1 \text{ эВ},$$

$$\Delta E_2 = 1,9 \text{ эВ}, \Delta E'_2 = 2,2 \text{ эВ}.$$

**Рис. 2. Схематическое изображение зонной структуры кремния**

Подобно атомам углерода, для атомов кремния является характерным состояние  $sp^3$ -гибридизации орбиталей. В связи с гибридизацией чистый кристаллический кремний образует алмазоподобную решётку, в которой кремний четырёхвалентен. В соединениях кремний обычно также проявляет себя как четырёхвалентный элемент со степенью окисления +4 или -4. Встречаются двухвалентные соединения кремния, например, оксид кремния (II)  $SiO$ .

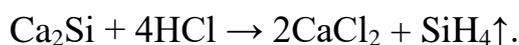
При нормальных условиях кремний химически малоактивен и активно реагирует только с газообразным фтором, при этом образуется летучий тетрафторид кремния  $SiF_4$ . Такая «неактивность» кремния связана с пассивацией поверхности наноразмерным слоем диоксида кремния, немедленно образующегося в присутствии кислорода, воздуха или воды (водяных паров).

При нагревании до температуры свыше 400—500 °C кремний реагирует с кислородом с образованием диоксида  $SiO_2$ , процесс сопровождается увеличением толщины слоя диоксида на поверхности,

скорость процесса окисления лимитируется диффузией атомарного кислорода сквозь плёнку диоксида.

При нагревании до температуры свыше 400—500 °С кремний реагирует с хлором, бромом и иодом — с образованием соответствующих легко летучих тетрагалогенидов  $\text{SiHalogen}_4$  и, возможно, галогенидов более сложного состава.

С водородом кремний непосредственно не реагирует, соединения кремния с водородом — силаны с общей формулой  $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$  — получают косвенным путем. Моносилан  $\text{SiH}_4$  (его часто называют просто силаном) выделяется при взаимодействии силицидов металлов с растворами кислот, например:



Образующийся в этой реакции силан  $\text{SiH}_4$  содержит примесь и других силанов, в частности, дисилана  $\text{Si}_2\text{H}_6$  и трисилана  $\text{Si}_3\text{H}_8$ , в которых имеется цепочка из атомов кремния, связанных между собой одинарными связями (— $\text{Si—Si—Si—}$ ).

С азотом кремний при температуре около 1000 °С образует нитрид  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , с бором — термически и химически стойкие бориды  $\text{SiB}_3$ ,  $\text{SiB}_6$  и  $\text{SiB}_{12}$ .

При температурах свыше 1000 °С можно получить соединение кремния и его ближайшего аналога по таблице Менделеева — углерода — карбид кремния  $\text{SiC}$  (карборунд), который характеризуется высокой твёрдостью и низкой химической активностью. Карборунд широко используется как абразивный материал. При этом, что интересно, расплав кремния (1415 °С) может длительное время контактировать с углеродом в виде крупных кусков плотноспечённого мелкозернистого графита изостатического прессования, практически не растворяя и никак не взаимодействуя с последним.

Нижележащие элементы 4-й группы (Ge, Sn, Pb) неограниченно растворимы в кремнии, как и большинство других металлов. При нагревании кремния с металлами могут образовываться силициды. Силициды можно подразделить на две группы: ионно-ковалентные (силициды щелочных, щелочноземельных металлов и магния типа  $\text{Ca}_2\text{Si}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$  и др.) и металлоподобные (силициды переходных металлов). Силициды активных металлов разлагаются под действием кислот, силициды переходных металлов химически стойки и под действием кислот не разлагаются. Металлоподобные силициды имеют высокие температуры плавления (до 2000 °С). Наиболее часто образуются металлоподобные силициды составов  $\text{MeSi}$ ,  $\text{Me}_3\text{Si}_2$ ,

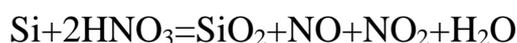
$\text{Me}_2\text{Si}_3$ ,  $\text{Me}_5\text{Si}_3$  и  $\text{MeSi}_2$ . Металлоподобные силициды химически инертны, устойчивы к действию кислорода даже при высоких температурах.

Особо следует отметить, что с железом кремний образует эвтектическую смесь, что позволяет спекать (сплавлять) эти материалы для образования ферросилициевой керамики при температурах заметно меньших, чем температуры плавления железа и кремния.

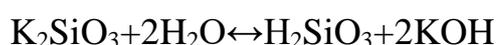
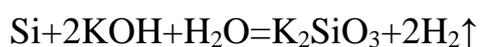
При восстановлении  $\text{SiO}_2$  кремнием при температурах свыше  $1200^\circ\text{C}$  образуется оксид кремния (II) —  $\text{SiO}$ . Этот процесс постоянно наблюдается при производстве кристаллов кремния методами Чохральского, направленной кристаллизации, потому что в них используются контейнеры из диоксида кремния, как наименее загрязняющего кремний материала.

Для кремния характерно образование кремнийорганических соединений, в которых атомы кремния соединены в длинные цепочки за счет мостиковых атомов кислорода — $\text{O}$ —, а к каждому атому кремния, кроме двух атомов  $\text{O}$ , присоединены ещё два органических радикала  $\text{R}_1$  и  $\text{R}_2 = \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{C}_6\text{H}_5, \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$  и др.

Для травления кремния наиболее широко используют смесь плавиковой и азотной кислот. Некоторые специальные травители предусматривают добавку хромового ангидрида и иных веществ. При травлении кислотный травильный раствор быстро разогревается до температуры кипения, при этом скорость травления многократно возрастает.



Для травления кремния могут использоваться водные растворы щелочей. Травление кремния в щелочных растворах начинается при температуре раствора более  $60^\circ\text{C}$ .



Технический кремний находит следующие применения:

- сырьё для металлургических производств: компонент сплава (бронзы, силумин); раскислитель (при выплавке чугуна); модификатор свойств металлов или легирующий элемент (например, добавка определённого количества кремния при производстве трансформаторных сталей уменьшает коэрцитивную силу готового продукта) и т. п.;
- сырьё для производства более чистого поликристаллического кремния и очищенного металлургического кремния (в литературе «umg-Si»);
- сырьё для производства кремнийорганических материалов, силанов;
- иногда кремний технической чистоты и его сплав с железом (ферросилиций) используется для производства водорода в полевых условиях;
- для производства солнечных батарей.

Сверхчистый кремний преимущественно используется для производства одиночных электронных приборов (нелинейные пассивные элементы электрических схем) и однокристалльных микросхем. Чистый кремний, отходы сверхчистого кремния, очищенный металлургический кремний в виде кристаллического кремния являются основным сырьевым материалом для солнечной энергетики.

Монокристаллический кремний — помимо электроники и солнечной энергетики используется для изготовления зеркал газовых лазеров.

Соединения металлов с кремнием — силициды — являются широкоупотребляемыми в промышленности (например, электронной и атомной) материалами с широким спектром полезных химических, электрических и ядерных свойств (устойчивость к окислению, нейтронам и др.). Силициды ряда элементов являются важными термоэлектрическими материалами.

Соединения кремния служат основой для производства стекла и цемента. Производством стекла и цемента занимается силикатная промышленность. Она также выпускает силикатную керамику — кирпич, фарфор, фаянс и изделия из них.

Широко известен силикатный клей, применяемый в строительстве как сиккатив, а в пиротехнике и в быту для склеивания бумаги.

Получили широкое распространение силиконовые масла и силиконы — материалы на основе кремнийорганических соединений.

Кристаллический кремний — это основная форма, в которой используется кремний при производстве фотоэлектрических преобразователей и твердотельных электронных приборов методами планарной технологии. Активно развивается использование кремния в виде тонких плёнок (эпитаксиальных слоёв) кристаллической и аморфной структуры на различных подложках.

В зависимости от предназначения различают:

1. Кремний электронного качества (т. н. «электронный кремний») — наиболее качественный кремний с содержанием кремния свыше 99,999 % по весу, более высокими показателями по времени жизни (свыше 25 мкс), используемый для производства твердотельных электронных приборов, микросхем и т. п. Удельное электрическое сопротивление кремния электронного качества может находиться в интервале примерно от 0,001 до 150 Ом·см, но при этом величина сопротивления должна быть обеспечена исключительно заданной примесью т. е. попадание в кристалл других примесей, хотя бы и обеспечивающих заданное удельное электрическое сопротивление, как правило, недопустимо. Основная масса кристаллов кремния электронного качества является т.н. "бездислокационными кристаллами", т. е. плотность дислокаций в них не превышает  $10\text{ см}^{-2}$ , однако, в некоторых случаях, для изготовления электронных приборов также применяются слитки с двойниковой или даже поликристаллической структурой.

2. Кремний солнечного качества (т. н. «солнечный кремний») — кремний с содержанием кремния свыше 99,99 % по весу, со средними значениями времени жизни неравновесных носителей и удельного электросопротивления (до 25 мкс и до 10 Ом.см), используемый для производства фотоэлектрических преобразователей (солнечных батарей);

3. Технический кремний — блоки кремния поликристаллической структуры, полученного методом карботермического восстановления из чистого кварцевого песка; содержит 98 % кремния, основная примесь — углерод, отличается высоким содержанием легирующих элементов — бора, фосфора, алюминия; в основном используется для получения поликристаллического кремния; в 2006—2009 гг. в связи с дефицитом кремниевого сырья солнечного качества предпринимались попытки использования этого материала для производства кристаллического кремния солнечного качества: для этого производилась доочистка технического кремния путём дробления по межкристаллитным границам и стравливания примесей, концентрирующихся на границах, затем производилась перекристаллизация одним из вышеупомянутых способов).

В зависимости от способа перекристаллизации различают:

1. кремний монокристаллический — цилиндрические слитки кремния моно- и поликристаллической структуры с диаметром до 400 мм, полученные методом Чохральского;

2. кремний монокристаллический бестигельный — цилиндрические слитки кремния монокристаллической структуры с диаметром до 150 мм, полученные методом бестигельной зонной плавки;

3. мультикремний — прямоугольные блоки кремния поликристаллической структуры с размерами до 1000x1000x600мм (?), полученные методом направленной кристаллизации в контейнере;

4. профилированные кремниевые кристаллы поликристаллической структуры в виде полых труб (ОАО "Подольский химико-металлургический завод", РФ) или полых многогранных призм ("Wacker Schott Solar", ФРГ), кремниевые ленты дендритной (поликристаллической) структуры с шириной до 30 мм, полученные методом Чохральского (без применения фильер) или методом Степанова (с применением профилирующих фильер);

5. кремниевый скрап — обрезки, обломки и другие чистые отходы производства кремния описанными выше методами без следов окисления, вплавленных частей тигля либо футеровки — в свою очередь может быть разделён на подгруппы в зависимости от происхождения — используется в качестве оборотного сырья при производстве кристаллического кремния;

6. umg-скрап - металлургически очищенный технический кремний - это технический кремний подвергнутый доочистке путём взаимодействия кремниевого расплава с другими веществами (для экстракции примесей либо перевода их в нерастворимую или газообразную фазу и т.п.) и последующей направленной кристаллизации и последующим удалением зоны концентрирования загрязнений;

7. Pot-скрап — осколки, обрезки и другие отходы производства кристаллического кремния описанными выше способами с остатками тиглей либо футеровки, следами окисления, шлака — как правило это также та область, куда при кристаллизации отеснялись примеси — наиболее грязный кремний — в свою очередь может быть разделён на подгруппы в зависимости от происхождения — после очистки от вкраплений посторонних веществ может использоваться как добавка к оборотному сырью при получении марок кремния с пониженными требованиями к качеству.

Кремний монокристаллический бестигельный производится только электронного качества. Мультикремний производится только солнечного качества. Монокристаллический кремний, трубы и ленты получаемые методом Чохральского могут быть как электронного, так и солнечного качества.

К монокристаллическому кремнию относятся цилиндрические слитки кремния выращенные методом Чохральского. Слитки могут иметь монокристаллическую бездислокационную структуру (число дислокаций не

более 10шт/кв.см); монокристаллическую структуру с линиями скольжения, двойниковую структуру (двух и трёхзеренные кристаллы), поликристаллическую структуру с мелким и крупным зерном.

В зависимости от условий выращивания слитки, имеющие в верхней (призатравочной) области бездислокационную структуру, могут прекращать бездислокационный рост образуя сначала в структуру с линиями скольжения (в ходе роста развивающиеся линии скольжения прорастают в бездислокационную часть слитка на длину порядка диаметра слитка) а затем поликристаллическую структуру образуемую постепенно уменьшающимся до 2-3 мм в поперечном сечении кристаллитами.

Двойниковые кристаллы, выращиваемые от двойниковых затравок, изначально имеют на междвойниковой границе источники дислокаций. Поэтому в двойниковых кристаллах постепенно (на расстоянии порядка 2-3 диаметров слитка) развиваются существенные включения поликристаллических областей, постепенно поглощающих кристаллиты изначальной двойниковой структуры.

Выращенные кристаллы монокристаллического кремния подвергаются механической обработке.

Как правило, механическая обработка слитков кремния ведётся с использованием алмазного инструмента: ленточных пил, пильных дисков, шлифовальных профилированных и непрофилированных дисков, чаш. На текущий момент (2009 год) в оборудовании для первоначального раскроя и квадратирования слитков наблюдается постепенный переход с ленточных пил на проволочную резку алмазно-импрегнированной проволокой, а также проволочную резку стальной проволокой в карбид-кремниевой суспензии.

При механической обработке сначала из слитка вырезают части пригодные (по своим структурным, геометрическим и электрофизическим свойствам) для изготовления приборов. Затем монокристаллический кремний, предназначенный для изготовления электронных приборов (электронный кремний), подвергается калибровке под заданный диаметр(1). В некоторых случаях на образующей полученного цилиндра выполняется базовый срез, параллельный одной из кристаллографических плоскостей. Монокристаллический кремний, предназначенный для изготовления фотоэлектрических преобразователей калибровке не подвергают, но выполняют так называемое квадратирование. При квадратировании обрезаются сегменты с образующей цилиндра до образования полного квадрата или неполного квадрата (псевдоквадрата), который образован симметрично расположенными неполными сторонами квадрата с диагональю большей, чем диаметр слитка, соединёнными по дуге оставшейся образующей цилиндра. За счет квадратирования обеспечивается более рациональное использование площади куда устанавливаются псевдоквадратные кремниевые пластины.

## 1.2. Производство кремния

В промышленности кремний технической чистоты получают, восстанавливая расплав  $\text{SiO}_2$  коксом при температуре около  $1800\text{ }^\circ\text{C}$  в руднотермических печах шахтного типа. Чистота полученного таким образом кремния может достигать  $99,9\%$  (основные примеси — углерод, металлы).

Возможна дальнейшая очистка кремния от примесей.

Очистка в лабораторных условиях может быть проведена путём предварительного получения силицида магния  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Далее из силицида магния с помощью соляной или уксусной кислот получают газообразный моносилан  $\text{SiH}_4$ . Моносилан очищают ректификацией, сорбционными и др. методами, а затем разлагают на кремний и водород при температуре около  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ .

Очистка кремния в промышленных масштабах осуществляется путём непосредственного хлорирования кремния. При этом образуются соединения состава  $\text{SiCl}_4$  и  $\text{SiCl}_3\text{H}$ . Эти хлориды различными способами очищают от примесей (как правило перегонкой и диспропорционированием) и на заключительном этапе восстанавливают чистым водородом при температурах от  $900$  до  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ .

Разрабатываются более дешёвые, чистые и эффективные промышленные технологии очистки кремния. На  $2010$  г. к таковым можно отнести технологии очистки кремния с использованием фтора (вместо хлора); технологии предусматривающие дистилляцию монооксида кремния; технологии, основанные на вытравливании примесей, концентрирующихся на межкристаллитных границах.

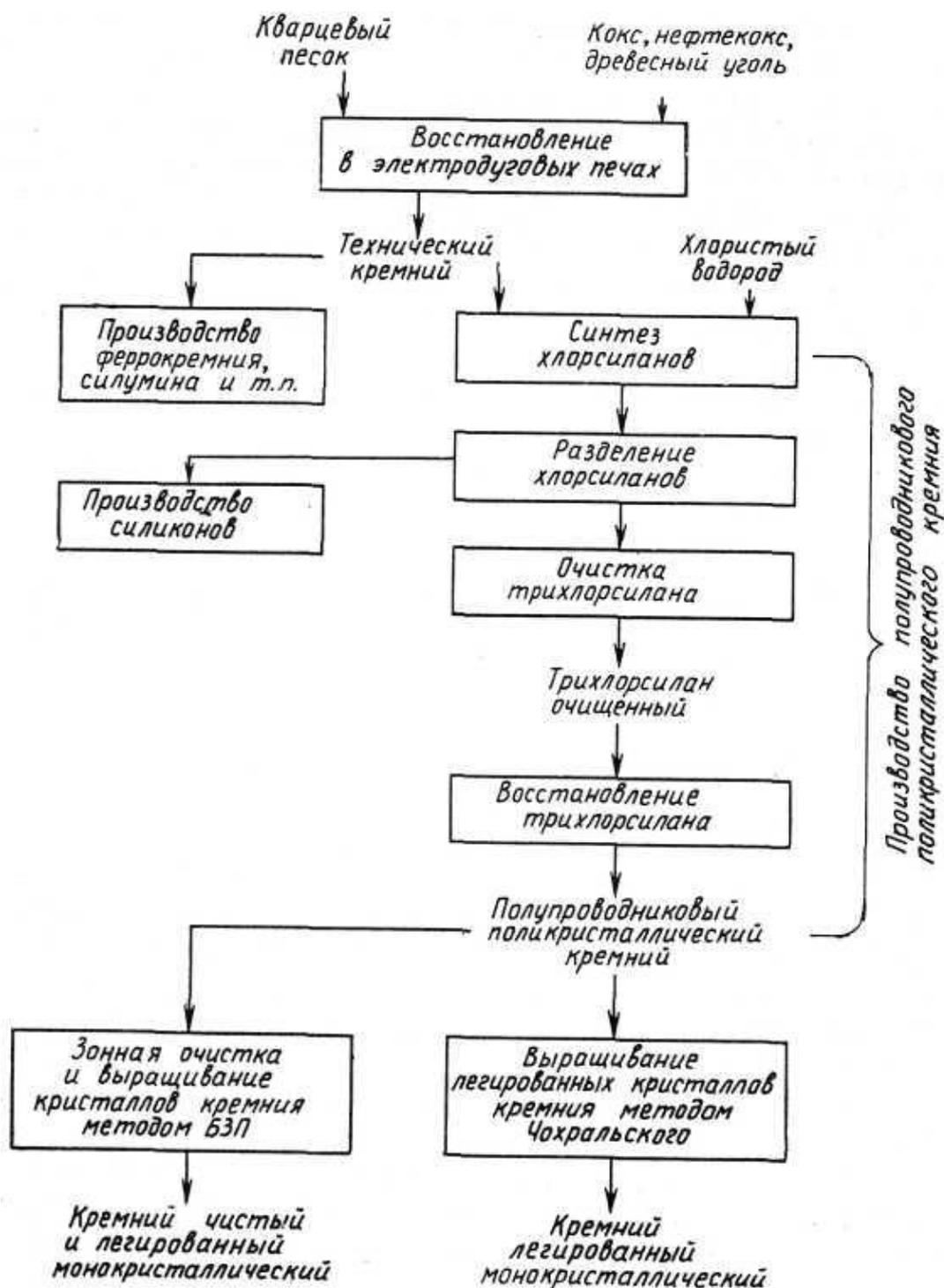
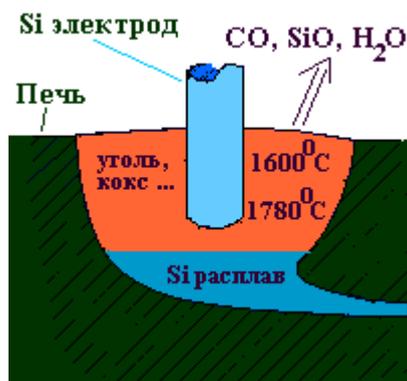


Рис. 3. Технология производства кремния

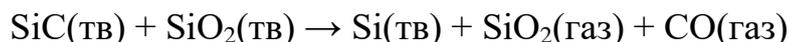
#### Получение технического кремния

Исходным сырьем для большинства изделий микроэлектронной промышленности служит электронный кремний. Первым этапом его получения является изготовление сырья, называемого техническим (металлургическим) кремнием.



**Рис. 4. Получение технического кремния**

Этот технологический этап реализуется с помощью дуговой печи с погруженным в нее электродом. Печь загружается кварцитом SiO<sub>2</sub> и углеродом в виде угля, щепок и кокса. Температура реакции  $T = 1800$  °C, энергоемкость  $W = 13$  кВт/час. В печи происходит ряд промежуточных реакций. Результирующая реакция может быть представлена в виде:



Получаемый таким образом технический кремний содержит 98 —99 % Si, 1 —2 % Fe, Au, В, Р, Са, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Ti, V, Zn и др.

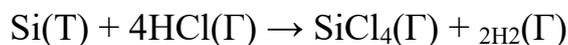
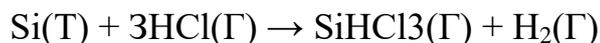
#### Получения трихлорсилана (ТХС)

Современная технология поликристаллического кремния основана на процессе водородного восстановления трихлорсилана, восстановления тетраоксида кремния цинком и пиролиза моносилана, Большую часть кремния (около 80 %) получают путем водородного восстановления трихлорсилана (ТХС). Достоинства этого процесса — легкость и экономичность получения ТХС, эффективность очистки ТХС, высокое извлечение и большая скорость осаждения кремния (извлечение кремния при использовании тетраоксида кремния составляет 15 %, а при использовании ТХС — не менее 30 %), меньшая себестоимость продукции.

Трихлорсилан обычно получают путем гидрохлорирования кремния: взаимодействием технического кремния с хлористым водородом или со смесью газов, содержащих хлористый водород, при температуре 260—400 °C.

Процесс синтеза трихлорсилана сопровождается побочными реакциями образования тетраоксида кремния и других хлорсиланов, а

также галогенидов металлов, например  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  и т.д. Реакции получения хлорсиланов кремния являются обратимыми и экзотермическими:



При температуре выше  $300\text{ }^\circ\text{C}$  ТХС в продуктах реакций почти полностью отсутствует. Для повышения выхода ТХС температуру процесса снижают, что приводит к значительному замедлению скорости реакции (3). Для увеличения скорости реакции (2) используют катализаторы (медь, железо, алюминий и др.). Так, например, при введении в исходный кремний до 5 % меди содержание ТХС в смеси продуктов реакции при температуре  $265\text{ }^\circ\text{C}$  доходит до 95 %.

Синтез ТХС ведут в реакторе «кипящего» слоя, в который сверху непрерывно подают порошок технического кремния с размером частиц  $0,01\text{ — }1\text{ мм}$ . Псевдооживленный слой частиц толщиной  $200\text{ — }600\text{ мм}$  создают встречным потоком хлористого водорода, который поступает в нижнюю часть реактора со скоростью  $1\text{ — }8\text{ см/с}$ . Этим самым обеспечивается перевод гетерогенного химико-технологического процесса из диффузионной в кинетическую область. Так как процесс является экзотермическим, то для стабилизации режима в заданном интервале температур осуществляют интенсивный отвод теплоты и тщательный контроль температуры на разных уровнях псевдооживленного слоя. Кроме температуры контролируют расход хлористого водорода и давление в реакторе.

Значительное влияние на выход ТХС оказывает присутствие примесей воды и кислорода в исходных компонентах. Эти примеси, окисляя порошок кремния, приводят к образованию на его поверхности плотных слоев  $\text{SiO}_2$ , препятствующих взаимодействию кремния с хлористым водородом и соответственно снижающих выход ТХС. Так, например, при увеличении содержания  $\text{H}_2\text{O}$  в  $\text{HCl}$  с 0,3 до 0,4 % выход ТХС уменьшается с 90 до 65 %. В связи с этим хлористый водород, а также порошок кремния перед синтезом ТХС проходят тщательную осушку и очистку от кислорода.

Образующаяся в процессе синтеза ТХС парогазовая смесь поступает в зону охлаждения, где ее быстро охлаждают до  $40\text{ — }130\text{ }^\circ\text{C}$ , в результате чего выделяются в виде пыли твердые частицы примеси (хлориды железа, алюминия и др.), которые вместе с частицами непрореагировавшего кремния и полихлоридов ( $\text{Si}_n\text{Cl}_{2n+2}$ ) затем отделяются с помощью фильтров. После очистки от пыли (являющейся взрывоопасным продуктом) парогазовая смесь поступает на конденсацию при температуре  $\text{—}70\text{ }^\circ\text{C}$ . Происходит отделение

$\text{SiHCl}_3$  и  $\text{SiCl}_4$  (температуры кипения 31,8 и 57,2 °С соответственно) от водорода и  $\text{HCl}$  (температура кипения 84 °С). Полученная в результате конденсации смесь состоит в основном из ТХС (до 90—95 %), остальное — тетрахлорид кремния, который отделяют затем ректификацией. Выделяемый в результате разделения тетрахлорид кремния в дальнейшем используют для производства силиконов, кварцевого стекла, а также для получения трихлорсилана путем дополнительного гидрирования в присутствии катализатора.

### Очистка ТХС

Получаемый ТХС содержит большое количество примесей, очистка от которых представляет сложную задачу. Наиболее эффективным методом очистки является ректификация, однако осуществить полную и глубокую очистку от примесей, имеющих различную физико-химическую природу, применяя только ректификацию, сложно. В связи с этим для увеличения глубины очистки по ряду примесей применяются дополнительные меры.

Так, например, для примесей, трудно очищаемых кристаллизационными методами (бор, фосфор, углерод), необходима наиболее глубокая очистка ТХС. Поэтому для повышения эффективности очистки эти микропримеси переводят в нелетучие или комплексные соединения. Для очистки от бора, например, пары ТХС пропускают через алюминиевую стружку при 120 °С. Поверхность стружки, поглощая бор, приводит к почти полной очистке от него ТХС. Побочно образующийся хлорид алюминия далее возгоняют при температуре 220—250 °С, а затем отделяют фракционной конденсацией.

Кроме алюминия могут быть использованы серебро, медь или сурьма. Добавка меди к алюминию позволяет одновременно очищать ТХС от мышьяка и сурьмы. Повысить эффективность очистки от бора позволяет также введение в ТХС пента- или оксихлоридов фосфора. При этом образуются нелетучие комплексные соединения фосфора с бором состава  $\text{PCl}_5 \cdot \text{BCl}_3$  или  $\text{POCl}_3 \cdot \text{BCl}_3$ , которые затем отделяют ректификацией. Перевод бора в нелетучие соединения может быть также осуществлен путем добавления в ТХС трифенилхлорметана (или триметиламина, ацетонитрила, аминокислоты, кетона и т. д.), приводящего к образованию с бором комплекса типа  $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{C} \cdot \text{BCl}_3$ , который затем удаляют ректификацией. Очистку от борсодержащих примесей осуществляют также адсорбцией в реакторах, заполненных алюмогелем или другими гелями ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) с последующей ректификацией ТХС.

Для очистки от фосфора ТХС насыщают хлором с переводом трихлорида фосфора в пентахлорид. При добавлении в раствор хлорида алюминия образуется нелетучее соединение  $\text{PCl}_5 \cdot \text{AlCl}_3$ , которое затем удаляется ректификацией.

Контроль чистоты получаемого после очистки ТХС осуществляют методами ИК-спектроскопии, хроматографии, а также измерением типа и величины проводимости тестовых образцов кремния, получаемых из проб ТХС. Тестовый метод существует в двух модификациях. В соответствии с первой на лабораторной установке осаждением из газовой фазы получают поликристаллический стержень кремния диаметром 10—20 мм. Далее из него бестигельной зонной плавкой выращивают контрольный монокристалл, по типу проводимости и удельному сопротивлению которого судят о чистоте ТХС. Для определения концентрации доноров проводят один проход зоны в аргоне или вакууме и получают монокристалл n-типа, по удельному сопротивлению которого судят о чистоте по донорам (удельное сопротивление по донорам); для определения концентрации бора приводят 5—15 проходов зоны в вакууме, в результате чего получают монокристалл p-типа, по удельному сопротивлению которого судят о чистоте по бору (удельное сопротивление по бору).

По второй модификации тестового метода монокристалл кремния выращивают непосредственно из газовой фазы на монокристаллический стержень в миниатюрном кварцевом реакторе и далее измеряют его удельное сопротивление.

Остаточное содержание микропримесей в ТХС после очистки не должно превышать, % мас: бора —  $3 \cdot 10^{-8}$ , фосфора —  $1 \cdot 10^{-7}$ , мышьяка —  $5 \cdot 10^{-10}$ , углерода (в виде углеводородов) —  $5 \cdot 10^{-7}$ .

По электрическим измерениям тестовых образцов остаточное содержание доноров должно обеспечивать удельное сопротивление кремния n-типа не менее 5000 Ом·см, а по акцепторам у кристаллов p-типа — не менее 8000 Ом·см.

#### Другие методы получения газовых соединений Si

Технически и экономически конкурентоспособным по сравнению с рассмотренным является также метод получения поликристаллического кремния путем разложения силана  $\text{SiH}_4$  высокой чистоты. процесс получения которого сводится к следующему.

Путем сплавления технического кремния и магния в водороде при  $550^\circ\text{C}$  получают силицид магния  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , который затем разлагают хлоридом аммония по реакции



в среде жидкого аммиака при температуре  $-30^\circ\text{C}$ . Отделяемый моносилан далее поступает на ректификационную очистку, в результате которой содержание примесей снижается до уровня менее  $10^{-8}$  —  $10^{-7}\%$ .

Известны и другие методы получения летучих соединений кремния — хлорирование или иодирование технического кремния, продуктами которых являются тетрахлорид  $\text{SiCl}_4$  или тетраиодид кремния  $\text{SiI}_4$ .

#### Восстановление очищенного трихлорсилана

Восстановление очищенного трихлорсилана и в результате этого получение поликристаллического кремния проводят в атмосфере водорода на поверхности разогретых кремниевых стержней — основах диаметром 4—8 мм (иногда до 30 мм), получаемых методом выращивания с пьедестала.

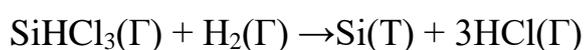


Рис. 5. Сименс-процесс

В некоторых технологиях вместо цилиндрических стержней используются пластинчатые (толщиной 1—5 мм и шириной 30—100 мм) с большей площадью осаждения. Материалом для выращивания стержней служит высококачественный поликристаллический кремний. Поверхность стержней — основ подвергают ультразвуковой очистке, травлению в смеси кислот (например,  $\text{HF} + \text{HNO}_3$ ), отмывке и сушке. К стержням — основам для получения высококачественного поликристаллического кремния предъявляются высокие требования по чистоте: они должны иметь удельное сопротивление по донорам  $>700 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  и по бору  $>5000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

Из стержней изготавливают электронагреватели (например, П-образной формы) и их нагрев осуществляют пропусканием электрического тока. По мере роста диаметра стержней силу тока постепенно увеличивают.

Выбор условий водородного восстановления ТХС осуществляют на основе оптимальной взаимосвязи следующих параметров процесса:

- равновесной степени превращения  $\text{SiHCl}_3$  в  $\text{Si}$ , кристаллической структуры получаемых стержней,
- температуры процесса,
- энергозатрат,
- мольного отношения  $\text{H}_2$ :  $\text{SiHCl}_3$ ,
- скорости осаждения кремния.

Оптимальными условиями процесса восстановления считают температуру 1100—1150 °С, мольное отношение  $\text{H}_2$  :  $\text{SiHCl}_3$  в пределах 5 — 15, плотность подачи ТХС 0,004 моль/(ч · см<sup>2</sup>). При температуре стержней ниже оптимальной повышается степень превращения ТХС в тетрахлорид кремния и уменьшается выход кремния. Увеличение температуры приводит к существенному возрастанию энергозатрат. При оптимальном мольном отношении  $\text{H}_2$  :  $\text{SiHCl}_3 = 5 — 15$  стержни имеют плотную мелкокристаллическую структуру и относительно ровную поверхность. За пределами этих отношений образуется неровная поверхность, структура стержней становится крупнокристаллической с включениями газовых пор, которые при последующем плавлении поликремния в процессе выращивания кристаллов приводят к бурлению и разбрызгиванию расплава.

Количество стержней, устанавливаемых в различных промышленных реакторах, колеблется от 2 до 16, длина каждого стержня составляет до 2 м, конечный диаметр 150—250 мм. За счет взаимного нагрева стержней скорость осаждения кремния в многостержневых аппаратах выше, чем в двухстержневых; скорость роста диаметра стержней достигает 0,5 мм/ч, энергозатраты составляют 3000 кВт · ч/кг.

Для повышения чистоты получаемого кремния производят тщательную очистку водорода, реакторы делают из специальных сталей, а также защищают их поверхность от взаимодействия с газовой средой путем введения дополнительных кварцевых (кремниевых) колпаков, отделяющих реакционный объем от стенок реактора. Хорошей защитой стенок реактора является покрытие их защитными пленками, например полихлорсиланом.

## Получение поликристаллических кремния из моносилана SiH<sub>4</sub>

Получение поликристаллических стержней кремния путем термического разложения моносилана SiH<sub>4</sub> производится по аналогичной методике при температурах 1000 °С. Образующийся при разложении водород SiH<sub>4</sub>(Г)->Si(Т) + 2H<sub>2</sub>(Г) обладает высокой степенью чистоты и используется в сопутствующем производстве. Получаемый по этой технологии поликремний обладает более высокой степенью чистоты, чем кремний, получаемый восстановлением ТХС.

Извлечение кремния из SiCl<sub>4</sub> и SiJ<sub>4</sub> осуществляют восстановлением тетрахлорида кремния цинком либо термической диссоциацией тетраиодида.

Получаемые поликристаллические стержни перед использованием в процессах выращивания монокристаллов методом Чохральского разламывают на удобные для загрузки в тигель куски или нарезают на мерные заготовки. Для процесса бестигельной зонной плавки стержни обрабатывают под нужный диаметр шлифовкой. Удаление поверхностных слоев, обогащенных примесями и газами, кроме того, предотвращает разбрызгивание кремния из расплавленной зоны.

Современные технологические схемы получения поликристаллического кремния включают в себя регенерацию и повторное использование всех компонентов и продуктов реакций восстановления (пиролиза), что улучшает технико-экономические показатели процесса, снижает себестоимость получаемого кремния, делает процесс экологически более чистым.

Рассмотренный процесс осаждения поликристаллического кремния используется также для получения на его основе поликристаллических труб на углеродных оправках. Вследствие высокой чистоты и прочности эти трубы применяются вместо кварцевых в печах высокотемпературных процессов (свыше 1200 °С) в технологии полупроводниковых и микроэлектронных приборов. Кремниевые трубы не подвержены просаживанию или другой деформации в течение нескольких лет эксплуатации, несмотря на постоянное температурное циклирование между 900 и 1250 °С, тогда как кварцевые трубы имеют ограниченный срок службы при тех же процессах.

Потребление поликристаллического кремния электронной промышленностью составляет несколько тысяч тонн в год.

Для получения кремния высокой чистоты поликристаллические стержни подвергают кристаллизационной очистке методом зонной плавки в вакууме. При этом помимо кристаллизационной очистки кремния от нелетучих примесей (преимущественно акцепторов) происходит существенная очистка его от летучих доноров за счет испарения их из расплавленной зоны. Так, после 15 проходов расплавленной зоны со скоростью 3 мм/мин, получают монокристаллы кремния р-типа

электропроводности с остаточной концентрацией примеси менее  $10^{13}$  см<sup>-3</sup> и удельным сопротивлением (по бору) более  $10^4$  Ом\*см.

### Производство монокристаллов кремния

Производство монокристаллов кремния в основном осуществляют методом Чохральского (до 80—90 % потребляемого электроннопромышленностью) и в меньшей степени методом бестигельной зонной плавки.

### Метод Чохральского

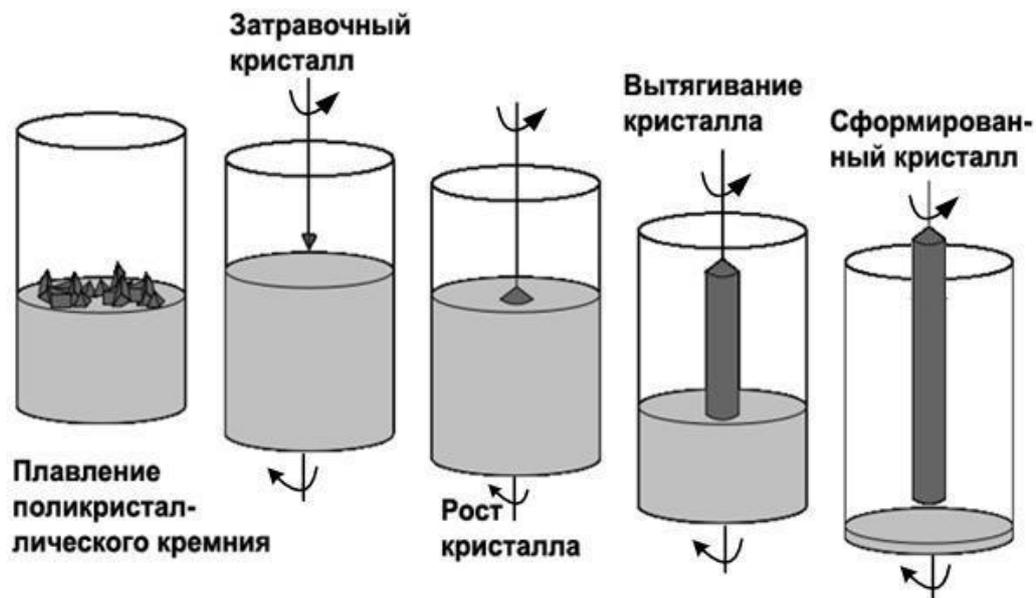
Идея метода получения кристаллов по Чохральскому заключается в росте монокристалла за счет перехода атомов из жидкой или газообразной фазы вещества в твердую фазу на их границе раздела.

Метод Чохральского — метод выращивания кристаллов путём вытягивания их вверх от свободной поверхности большого объёма расплава с инициацией начала кристаллизации путём приведения затравочного кристалла (или нескольких кристаллов) заданной структуры и кристаллографической ориентации в контакт со свободной поверхностью расплава.

Может использоваться для выращивания кристаллов элементов и химических соединений, устойчивых при температурах плавления-кристаллизации. Метод наиболее известен применительно к выращиванию монокристаллического кремния.

За время промышленного использования (с 1950-х годов) были разработаны различные модификации метода Чохральского. Так, для выращивания профилированных кристаллов используется модификация метода Чохральского, называемая методом Степанова. Модификация наиболее известна применительно к выращиванию сапфира и кремния.

В иностранной литературе для обозначения материалов, полученных методом Чохральского, а также для самого технологического процесса и оборудования, используемого для выращивания слитков этим методом, используется аббревиатура «CZ» (от англ. CZochralski Zone - ср. с FZ - Float Zone). Например: англ. «CZ-puller» или нем. «Die Ofen fuer CZ-Kristallzuechtung» установка для выращивания материала методом Чохральского), «CZ-ingot» (кристалл, выращенный методом Чохральского) и т.д.



**Рис. 6. Этапы метода Чохральского**

Метод был разработан польским химиком Яном Чохральским и первоначально использовался им для измерения степени кристаллизации металлов (олово, цинк, свинец).

По некоторым сведениям, Чохральский открыл свой знаменитый метод в 1916 году, когда случайно уронил свою ручку в тигель с расплавленным оловом. Вытягивая ручку из тигля, он обнаружил, что вслед за металлическим пером тянется тонкая нить застывшего олова. Заменяя перо ручки микроскопическим кусочком металла, Чохральский убедился, что образующаяся таким образом металлическая нить имеет монокристаллическую структуру. В экспериментах, проведённых Чохральским, были получены монокристаллы размером около одного миллиметра в диаметре и до 150 см длиной. Чохральский изложил суть своего открытия в статье «Новый метод измерения степени кристаллизации металлов», опубликованной в немецком журнале «Zeitschrift für Physikalische Chemie» (1918).

В 1950 сотрудники американской корпорации Bell Labs Тил (Gordon K. Teal) и Литтл (J.V. Little) использовали метод Чохральского для выращивания монокристаллов германия высокой чистоты, положив тем самым начало использованию метода Чохральского для промышленного производства полупроводниковых кристаллов, который в то время использовался главным образом для производства транзисторов.

#### Характеристики метода

Метод относят к тигельным, поскольку при выращивании используются контейнеры из материалов устойчивых к расплаву и

атмосфере установки. При выращивании кристаллов из тигля происходит загрязнение расплава материалом тигля (так для кремния, выращиваемого из кварцевого тигля, главными загрязняющими элементами являются содержащиеся в кварце кислород, бор, Фосфор, Алюминий, Железо).

Метод характеризуется наличием большой открытой площади расплава, поэтому летучие компоненты и примеси активно испаряются с поверхности расплава. Соответственно содержанием летучих легирующих компонентов управляют, изменяя давление и/или состав атмосферы в ростовой установке. Так, к примеру, с поверхности расплава кремния, выращиваемого из кварцевого тигля, активно испаряется монооксид кремния —  $\text{SiO}$ , образующийся при растворении материала тигля. Концентрация кислорода и равномерность её распределения в готовом слитке являются важными параметрами, поэтому давление и скорость потока над расплавом аргоновой атмосферы, в которой слитки кремния выращивают с 70-х годов XX-ого века, обычно подбирают экспериментально и регулируют в течение всего процесса.

Для обеспечения более равномерного распределения температуры и примесей по объёму расплава затравочный кристалл и тигель с расплавом вращают, причём обычно в противоположных направлениях. Несмотря на это, вращения в заведомо неоднородном тепловом поле всегда приводят к появлению на поверхности слитка мелкой винтовой нарезки. Более того, в случае неблагоприятных условий роста помимо винтовой нарезки на поверхности сам слиток может расти в форме штопора (коленвала). Аналогичная картина и с распределением примесей: несмотря на вращения, вдоль фронта кристаллизации всегда остаётся неподвижная область расплава переменной толщины, в которой транспорт компонентов расплава (например примесей) осуществляется медленно, исключительно за счёт диффузии. Это обуславливает неравномерность распределения компонентов расплава по диаметру слитка (по сечению). Дополнительным фактором оказывающим влияние на распределение примесей по сечению являются устойчивые и не устойчивые турбулентные вихри в расплаве при выращивании слитков большого диаметра.

Метод отличается наличием большого объёма расплава, который по мере роста слитка постепенно уменьшается за счёт формирования тела кристалла. При росте кристалла на фронте кристаллизации постоянно происходит отеснение части компонентов в расплав. Расплав постепенно обедняется компонентами, более интенсивно встраивающимися в кристалл, и обогащается компонентами, отесняемыми при росте кристалла. По мере роста концентрации компонента в расплаве его концентрация повышается и в кристалле, поэтому распределение компонентов по длине слитка неравномерно (для кристаллов кремния характерно повышение концентраций углерода и легирующих примесей к концу слитка). Кроме того, при уменьшении объёма расплава уменьшается площадь контакта расплава с материалом тигля, что уменьшает поступление загрязнений из

тигля в расплав (в случае кремния кислород из тигля непрерывно поступает в расплав и затем испаряется с поверхности в виде монооксида кремния; в результате из-за уменьшения площади контакта расплава и тигля концентрация кислорода в слитке уменьшается от начала слитка к его концу).

Выращивание кристалла идёт со свободной поверхности расплава, не ограничивается стенками контейнера (тигля), поэтому кристаллы, полученные методом Чохральского, менее напряжены, чем кристаллы, полученные другими тигельными методами. Форма кристалла близка к цилиндрической, но при этом проявляются искажения, определяемые тепловыми условиями выращивания, скоростью вытягивания, кристаллической структурой и кристаллографической ориентацией выращиваемого слитка. Так, бездислокационные слитки кремния, выращиваемые в ориентации, всегда имеют выраженную огранку, т.е. на цилиндре как правило формируется одна чёткая грань, как если бы с цилиндра срезали сегмент высотой до  $1/6$  диаметра слитка, и две нечётких грани, как если бы с цилиндра срезали сегмент высотой в несколько миллиметров. Бездислокационные слитки кремния, выращиваемые в направлении при значительном переохлаждении стремятся приобрести выраженную квадратную огранку, причём снижение скорости вытягивания способствует проявлению огранки. Чрезмерное повышение скорости вытягивания и/или переохлаждение расплава нередко приводят к тому, что слиток приобретает более или менее винтообразную форму (твистинг).

Инициация процесса выращивания производится путём введения в расплав затравочного кристалла необходимой структуры и кристаллографической ориентации. При смачивании затравки расплавом из-за поверхностного натяжения в жидкости на поверхности затравочного кристалла сначала образуется тонкий слой неподвижного расплава. Атомы в этом слое выстраиваются в упорядоченную квазикристаллическую решётку, продолжающую кристаллическую решётку затравочного кристалла. Таким образом, выращиваемый слиток получает ту же кристаллическую структуру, что и исходный затравочный кристалл.

#### Этапы метода

- Приготавливается навеска шихты и помещается в контейнер (тигель). В случае больших навесок (десятки и сотни килограмм) навеску стараются формировать из небольших кусочков (от 10 до 50мм), чтобы исключить разрушение контейнера и выплёскивание части расплава: при плавлении твёрдые куски, остающиеся в верхней части навески в какой-то момент начинают проседать и падать в расплав. Формирование навески из более мелких фракций навески нецелесообразно, поскольку не достигая температуры плавления частицы могут спекаться, образуя массивное тело. Особенно небезопасным может быть

плавление мелкоизмельчённых многокомпонентных навесок, поскольку в зонах контакта частиц могут образовываться спайки.

- При необходимости в установке создаётся атмосфера с необходимыми параметрами (для монокристаллического кремния — это нейтральная аргоновая атмосфера с давлением не более 30 Торр).
- Навеска шихты расплавляется, при этом подвод энергии ведётся преимущественно снизу и с боков контейнера. Это связано с тем, что при оплавлении навески сверху вниз расплавленный материал будет стекать вниз и кристаллизоваться на более холодной шихте с риском разрушения стенок контейнера.
- Выставляется такое положение уровня расплава относительно нагревателя при котором создаются необходимые условия для начала кристаллизации исключительно в центре расплава вблизи от его поверхности. Строго говоря, классический метод Чохральского, применительно к выращиванию слитков кремния диаметром свыше 50 мм, имеет ещё одну зону локального переохлаждения вблизи зоны контакта трёх фаз (расплав-тигель-атмосфера), однако, в отсутствие затравочных центров, кристаллизация в этой области не начинается. При этом в ростовой установке возникают (определяемые конструкцией теплового узла) квазистационарные условия с определённым градиентом температурного поля, обеспечивающим возникновение и поддержание устойчивых ламинарных потоков расплава. Отмечено, что на кристаллах больших диаметров, помимо ламинарных перемешивающих потоков в объёме расплава, вблизи фронта кристаллизации дополнительно формируется некоторое нечётное количество турбулентных вихрей, отвечающих за неравномерность распределения примесей в зоне формирования. В дальнейшем необходимые условия обеспечиваются, в основном, поддержанием постоянства положения уровня расплава относительно нагревателя.
- Система выдерживается в таком состоянии для стабилизации потоков и распределения температуры в системе. Для кремния по разным данным время выдержки может составлять от 15 минут до нескольких часов. Выдержка может проводиться как пассивно (собственно выдержка), так и активно — сопровождаясь активным изменением режимных параметров процесса.
- Жёсткая или гибкая подвеска (зависит от производителя оборудования) с закреплённым на ней затравочным кристаллом необходимой структуры и ориентации опускается вниз, затравочный кристалл приводится в контакт с поверхностью расплава и выдерживается там для прогрева и оплавления зоны

контакта. Если зона контакта не была полностью оплавлена до начала роста, то, во первых, возможно получение кристалла ненадлежащей структуры или ориентации, а также в дальнейшем может произойти разлом по недоплавленному месту и падение слитка в расплав.

- Начинается вытягивание затравочного кристалла вверх в холодную зону. В ходе вытягивания сначала формируется цилиндр диаметром в несколько миллиметров — продолжение затравочного кристалла, особенно важное при выращивании бездислокационных кристаллов. Диаметр оттяжки может быть неизменен по длине, хотя некоторые производители делают его ступенчатым. Диаметр финальной части призатравочного цилиндра стараются сделать минимальным (с учётом её прочности на разрыв и имеющихся возможностей по коррекции малого диаметра). Длина цилиндра для кристаллов из различных материалов, при различных требованиях по структуре и ориентации смогут колебаться от нескольких миллиметров до нескольких сотен миллиметров.
- Затем за счёт снижения температуры и скорости вытягивания диаметр призатравочного цилиндра увеличивают до необходимой величины, после чего вытягивают цилиндр максимально возможной длины. При этом предусматривается оставление некоторого запаса расплава для финишных операций процесса роста. В случае вытягивания кристаллов большого веса некоторые производители формируют утолщения в верхней части кристалла, предназначенные для работы поддерживающих устройств. Такие устройства обычно устанавливаются на ростовые установки с жёсткой подвеской затравочного кристалла.
- Перед завершением процесса за счёт увеличения температуры расплава и за счёт некоторого увеличения скорости вытягивания диаметр кристалла постепенно уменьшают (длина формируемого конуса для слитков кремния диаметром более 300 мм и более может достигать 2-х диаметров).
- После завершения конуса и исчерпания остатков расплава производится отрыв слитка от расплава и постепенное охлаждение слитка до заданной температуры при некоторых условиях.

Все режимные параметры каждого из этапов процесса являются, как правило, ноу-хау конкретного производителя.



**Рис. 7. Круглый затравочный кристалл кремния с фрагментом начала оттяжки**

Кристаллы некоторых материалов, производимых с помощью метода Чохральского, не могут быть получены методом бестигельной зонной плавки, и наоборот. Некоторые материалы могут быть получены обоими способами.

В случае кремния слиток, полученный методом зонной плавки, по чистоте обычно существенно превосходит аналогичный, полученный методом Чохральского, но кристаллы, получаемые зонной плавкой, имеют меньшие диаметры, более высокую себестоимость в изготовлении, другое распределение и содержание легирующих и иных примесей, существенных для последующих технологических циклов.

## 1.3. Современные технологии производства кремния

Деймос-2М – установка для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского. Максимальный диаметр выращиваемого монокристалла, 203 мм, загрузка, 60, 100 кг.

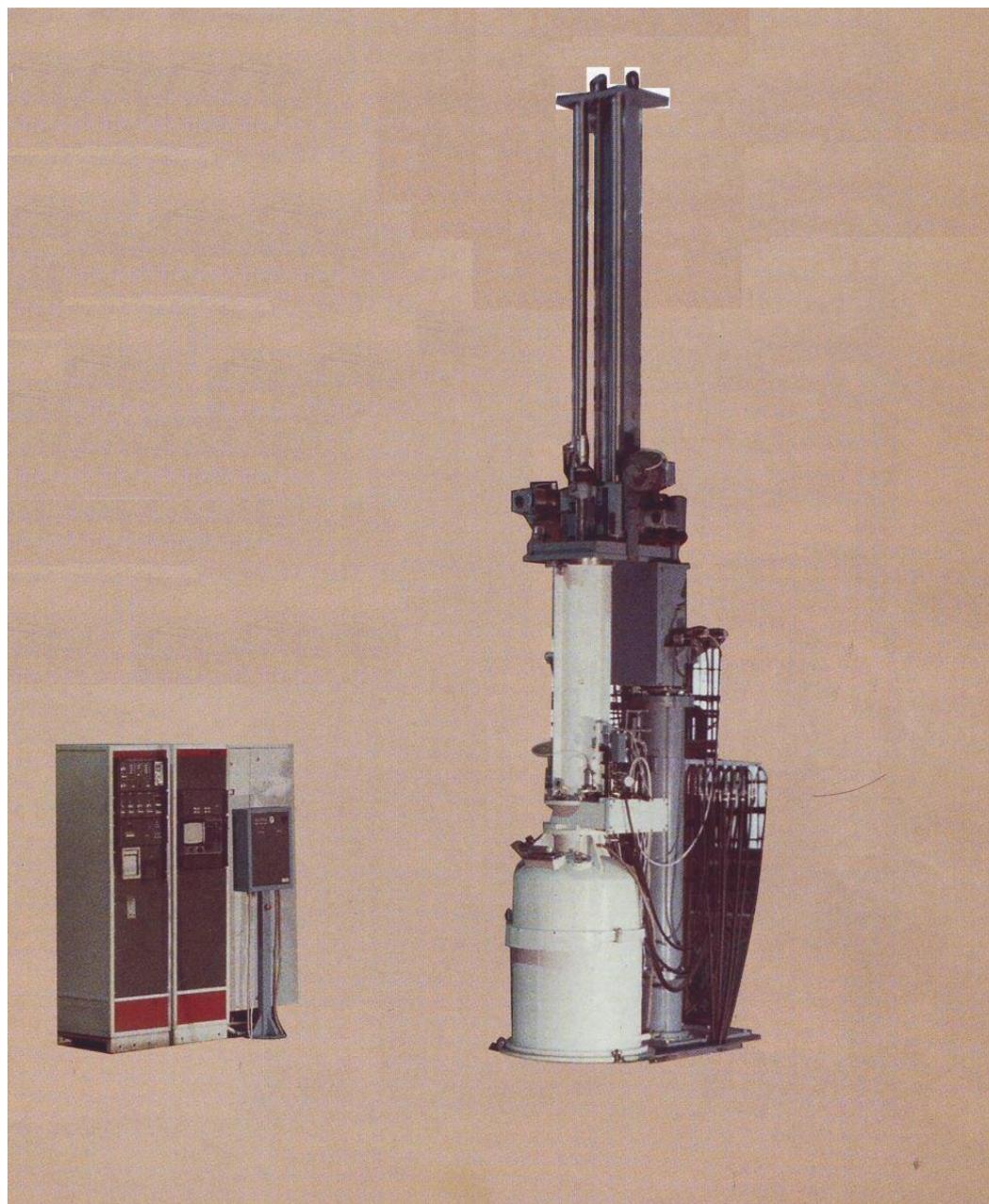


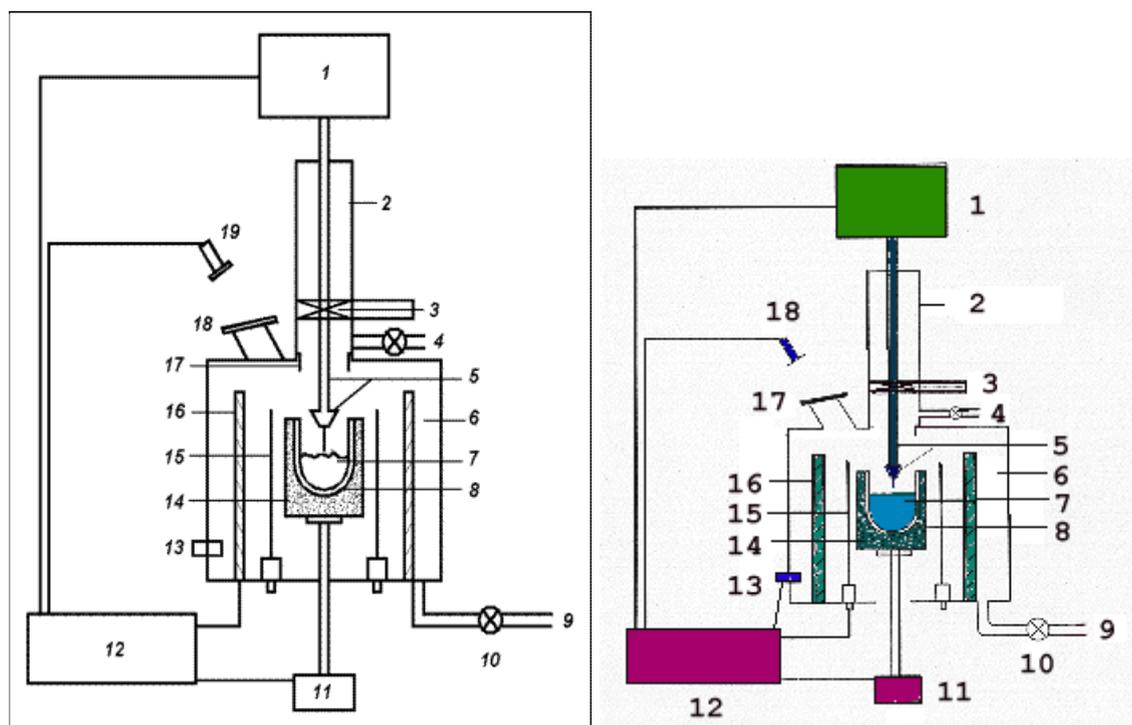
Рис. 8. Деймос-2М

### Особенности конструкции:

- система управления (кроме затравливания) в автоматическом режиме,
- безвибрационный привод, верхний привод с жестким штоком,
- шлюз и шлюзовая камера позволяют сьем кристалл а при поддержании рабочей температуры горячей зоны,
- датчик контроля пролива расплава и тепловой защиты повышает надежность и безопасность работы установки.

### Технические характеристики

- нестабильность поддержания диаметра выращиваемого монокристалла,  $\pm 1$  мм,
- максимальная потребляемая мощность, 150 кВт,
- управление микро-ЭВМ,
- масса - 15 000 кг.



**Рис. 9. Схема установки для выращивания кристаллов по методу Чохральского.**

### Описание элементов:

1—затравочный шток, устройство подъема и вращения; 2—верхний кожух; 3—изолирующий клапан; 4—газовый вход; 5—держатель затравки и затравка; 6—камера высокотемпературной зоны; 7—расплав; 8—тигель; 9—

выхлоп; 10—вакуумный насос; 11—устройство вращения и подъема тигля; 12—система контроля и источник энергии; 13—датчик температуры; 14—пьедестал; 15—нагреватель; 16—изоляция; 17—труба для продувки; 18—смотровое окно; 19—датчик для контроля диаметра растущего слитка.



**Рис. 10. Установка "Редмет 90М"**

Установка "Редмет 90М" для выращивания монокристаллов кремния диаметром 300 мм и длиной до 3000 мм методом Чохральского.

Установка «Редмет-90М» предназначена для выращивания бездислокационных монокристаллов кремния методом Чохральского.

Установка «Редмет-90М» является развитием серии установок «Редмет» и базируется на конструктивных решениях, прошедших многолетнюю отработку в серийном производстве. Ее отличают:

- простота конструкции обеспечит меньшие затраты на изготовление оборудования, лучшую герметичность, надежность, простоту и удобство обслуживания; значительно облегчит труд и улучшит условия труда обслуживающего персонала;
- снижение материалоемкости конструкции печного агрегата установки;
- наличие специального устройства, позволяющего совместить по времени охлаждение кристалла с догрузкой тигля, обеспечит повышение производительности (~20).

Технические характеристики: Величина загрузки тигля до 210 кг

- Максимальный диаметр монокристалла 300 мм
- Осевое перемещение затравки до 3000 мм
- Диаметр тигля 508 мм, 610 мм
- Установленная мощность 250 кВт
- Скорость перемещения затравки
- рабочая (0,25... 7,6) мм/мин
- маршевая (14...720) мм/мин
- Частота вращения затравки (1...36) об/мин
- Скорость перемещения тигля
- рабочая (0,03...0,77) мм/мин
- маршевая 46 мм/мин
- Частота вращения тигля (1...28) об/мин
- Величина хода штока тигля 450 мм
- Вакуум предельный  $5 \cdot 10^{-2}$  торр
- Давление инертного газа
- на входе 2,0 ати
- в камере (5...20) торр
- Расход инертного газа (1000...4000) л/ч
- Давление воды
- на входе (2...4) ати
- на выходе свободный слив

- Расход воды до 10 м<sup>3</sup> /ч
- Электропитание установки трехфазное, 380/220В, 50Гц
- Система управления компьютеризированная
- Габариты печного агрегата
- ширина 1900 мм
- глубина 2350 мм
- высота 7400 мм
- высота при поднятой камере 8200 мм
- Масса печного агрегата 4500 кг

Установка «Редмет-90М» включает в себя:

1. Печной агрегат;
2. Блок силового электропитания;
3. Систему индикации, контроля и управления.

**Глава II.**  
**Практическая**  
**часть**

## 2.1. Современные инструменты создания анимации

### Adobe Flash

Adobe Flash (ранее Macromedia Flash), или просто Flash (/flæʃ/, по-русски часто пишут флеш или флэш) — мультимедийная платформа компании Adobe для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций. Широко используется для создания рекламных баннеров, анимации, игр, а также воспроизведения на веб-страницах видео- и аудиозаписей.

Платформа включает в себя ряд средств разработки, прежде всего Adobe Flash Professional и Adobe Flash Builder (ранее Adobe Flex Builder); а также программу для воспроизведения flash-контента — Adobe Flash Player, хотя flash-контент умеют воспроизводить и многие плееры сторонних производителей. Например, SWF-файлы можно просматривать с помощью свободных плееров Gnash или swfdec, а FLV-файлы воспроизводятся через мультимедийный проигрыватель Quicktime, и различные проигрыватели в UNIX-подобных системах при наличии соответствующих плагинов.

Adobe Flash позволяет работать с векторной, растровой и ограниченно с трёхмерной графикой, а также поддерживает двунаправленную потоковую трансляцию аудио и видео. Для КПК и других мобильных устройств выпущена специальная «облегчённая» версия платформы Flash Lite, функциональность которой ограничена в расчёте на возможности мобильных устройств и их операционных систем.

Стандартным расширением для скомпилированных flash-файлов (анимации, игр и интерактивных приложений) является .SWF[1] (Shockwave Flash или Small Web Format). Видеоролики в формате Flash представляют собой файлы с расширением FLV или F4V (при этом Flash в данном случае используется только как контейнер для видеозаписи). Расширение FLA соответствует формату рабочих файлов в среде разработки.

### Технологии

Flash Player представляет собой виртуальную машину, на которой выполняется загруженный из Интернета код flash-программы.

В основе анимации во Flash лежит векторный морфинг, то есть плавное «перетекание» одного ключевого кадра в другой. Это позволяет делать сложные мультипликационные сцены, задавая лишь несколько ключевых

кадров. Производительность Flash Player при воспроизведении анимации в несколько раз превышает производительность виртуальной машины Javascript в браузерах, поддерживающих предварительный стандарт HTML5 [3], хотя во много раз уступает приложениям, работающим вообще без использования виртуальных машин.

Flash использует язык программирования ActionScript, основанный на ECMAScript.

1 мая 2008 г. компания Adobe объявила о начале проекта Open Screen Project ([2]). Цель проекта — создание общего программного интерфейса для персонального компьютера, мобильных устройств и бытовой электроники, что означает одинаковое функционирование одного приложения под всеми перечисленными видами устройств. В рамках проекта:

Снимаются ограничения на использование спецификаций SWF и FLV/F4V.

Публикуются API для портирования Adobe Flash Player на различные устройства.

Упраздняются платные лицензии для Adobe Flash Player и Adobe AIR на устройствах. Ближайший их релиз будет бесплатным.

В поддержку проекта и распространение платформы Flash на мобильных устройствах на данный момент выступило 58 компаний, среди которых AMD, ARM, Google, HTC, Intel, Motorola, Nokia, NVIDIA, QNX, Sony Ericsson и др.[источник не указан 371 день]

Flash Player портирован на мобильную платформу Android, выпущены мобильные устройства с аппаратным ускорением flash-приложений (включая AIR-приложения).

Некоторые производители ПО для мобильных устройств пытаются заменить или ограничить распространение Flash на свои новые мобильные платформы:

Apple на HTML5 для iPhone, iPod touch и iPad

Microsoft на Silverlight для Windows Phone 7

Oracle на JavaFX

Технология векторного морфинга применялась задолго до Flash. В 1986 году была выпущена программа Fantavision, которая использовала эту технологию. В 1991 году на этой технологии была выпущена игра Another World, а двумя годами позже — Flashback.

Разработка Flash была начата компанией FutureWave, создавшей пакет анимации FutureSplash Animator. В 1996 году FutureWave была приобретена компанией Macromedia, которая переименовала FutureSplash Animator в Flash. Под этим наименованием платформа продолжает развиваться и поныне

(хотя после того, как в 2005 году компания Macromedia была поглощена Adobe, Macromedia Flash стал официально называться Adobe Flash).

### 3D-движки

Существуют 3D движки, использующие в качестве основы Flash:

Papervision3D (англ.) Самый известный Open Source движок. Векторная прорисовка по треугольникам.

Away3D (англ.) — Создан Александром Задорожным из Киева на основе проекта Papervision3D. В данный момент — ведущий Open Source движок. Также векторная прорисовка.

Sandy (англ.) — В использовании ещё проще, чем Papervision3D. Open Source. Также векторная прорисовка.

FFilmation AS3 Flash Isometric Engine (англ.) — Изометрический движок. Open Source.

Infinity 3D Engine — движок с динамическим BSP [4]. Разрабатывается энтузиастом из Санкт-Петербурга Алексеем Романовым.

Alternativa Platform — Платформа для трёхмерных игр, разрабатываемая группой из Перми. За флеш отвечает Антон Волков. Векторная прорисовка по треугольникам. На данной платформе создана игра Танки Онлайн. Включает графический движок Alternativa3D 8 с поддержкой 3D API Molehill.

ZenBullets Flash Isometric 3D Game Engine — изометрическая игровая платформа.

KEDR ENGINE — 3DFlash движок. Разрабатывается энтузиастом из Москвы Андреем Кузнецовым.

До 2011 года производительность flash была недостаточной для отрисовки сложных 3D-сцен в реальном времени. Сцены выглядели значительно менее детальными и правдоподобными, в сравнении со сценами, отображаемыми с помощью современных 3D-движков, основанных на другой технологической платформе (как например "Unreal Engine"). Это было связано с тем, что прежние версии flash не позволяли задействовать 3D-возможности современной видеокарты. Ситуация изменилась в конце 2011 года, когда Adobe выпустила flash 11 с поддержкой аппаратного графического ускорения. Это даёт возможность отрисовывать сцены с гораздо большим количеством деталей и отображать высококачественные графические эффекты, ранее недоступные из-за своей ресурсоёмкости. При этом следует отметить, что многие возможности, реализованные в наиболее современных видеокартах, по-прежнему остаются недоступными для флеша.[источник не указан 38 дней]

### Недостатки

Основной недостаток flash-приложений — чрезмерная нагрузка на центральный процессор, связанная с неэффективностью виртуальной машины Flash Player. Хотя следует отметить, что в некоторых случаях имеет место и недостаточная оптимизация flash-приложений их разработчиками, использование так называемых «генераторов» flash-приложений.

Второй важный недостаток flash-приложений заключается в недостаточном контроле ошибок, что приводит к частым отказам как самих приложений, так, в некоторых случаях, и всего браузера. Возможность flash-приложений нарушать работу всего браузера неоднократно вызывала критику со стороны разработчиков браузеров.

Ещё один недостаток, характерный для всех виртуальных машин, заключается в том, что не всегда есть возможность запустить flash-приложение, либо это связано с некоторыми трудностями. Например, некоторые пользователи или администраторы отключают в настройках браузеров flash-контент, что связано с экономией системных ресурсов, избавлением от надоевшей рекламы и информационной безопасностью (например, была обнаружена угроза перехвата flash-приложением содержимого буфера обмена[5]). Этот недостаток делает технологию Flash менее универсальной и ограничивает её применение в веб-приложениях критической важности.

Четвёртый важный недостаток заключается в том, что использование Flash для размещения текстовой информации затрудняет её индексирование поисковыми системами. И хотя в принципе определённая система индексирования текста внутри swf-файлов была создана и внедрена Google и Yahoo ещё в 2008 году, но доля сайтов, целиком созданных на Flash, остаётся небольшой.

Приложения Flash также не могут использовать правую кнопку мыши, зарезервированную для настроек самого Flash.

Как редактор, Adobe Flash CS5 не может конвертировать созданные в нём векторные изображения в форматы другого типа: .ai или .cdr, что было бы крайне полезным.

### Закрытость

Спецификация SWF версии 4 была открыта, но описания последующих версий продавались только с подпиской о неразглашении, и их было запрещено использовать для создания проигрывателей Flash.

В мае 2008 года Adobe Systems объявила об открытии спецификаций[уточнить] SWF и видео контейнера FLV для использования на значительно более мягких условиях, как часть проекта «Open Screen Project», ориентированного на создание общей среды Flash на всех устройствах.

Рэй Вальдес (Ray Valdes) из Gartner, Inc. считает одной из причин открытия спецификаций конкуренцию со стороны Microsoft Silverlight, однако представитель Adobe Дэйв МакАллистер (Dave McAllister) заявил, что это не так.

Однако запатентованные кодеки, используемые в FLV, принадлежат не Adobe,[6] а скачанную спецификацию, в которой нет, например, описания протокола RTMP (20 января 2009 Adobe объявила, что опубликует его в первой половине 2009),[7][8] нельзя распространять и переводить.[1] Flash Player остаётся проприетарным, хотя Adobe обещала сделать использование его на мобильных платформах бесплатным. Осенью 2011 года, компания Adobe заявила о прекращении поддержки мобильных платформ.

Разработчик свободного декодера Swfdec Бенджамин Отте (Benjamin Otte) написал, что в открытой спецификации нет ничего, чего бы ещё не было известно[9] благодаря реверс-инжинирингу, хотя официальная спецификация может быть понятнее для новичков и полезна при возникновении вопросов о легальности библиотеки.[10] О том же говорят и разработчики Gnash.[11] Они также считают возможной причиной этого частичного открытия спецификаций успехи свободных декодеров SWF и конкурирующего проприетарного формата Silverlight.[12]

В феврале 2009 компания Adobe в рамках проекта Open Screen Project опубликовала информацию о снятии ограничений на использование форматов SWF и FLV/F4V, а также протоколов AMF и Mobile Content Delivery Protocol.

#### Уязвимости

В реализациях Adobe Flash время от времени находят «дыры», позволяющие злоумышленникам производить разнообразные действия с системой. Так, например, в октябре 2008 года была найдена уязвимость, позволяющая удалённо контролировать веб-камеру и микрофон.

#### Альтернативы

Прямым конкурентом Flash является технология Silverlight от Microsoft. Технология Java-апплетов также является альтернативой Flash в веб-приложениях, но значительно уступает в надёжности и простоте создания графики и анимации.

В браузерах отдельные части Flash могут быть заменены посредством HTML 5, JavaScript (и AJAX), SVG.

Классическая анимация — это старый способ создания анимации в Flash Professional. Эти анимации похожи на новые анимации движения, однако иногда их сложнее создавать и они менее гибкие. Однако классическая анимация предоставляет некоторые возможности управления, недоступные для анимации движения. Большинство пользователей

предпочтет работу с новой анимацией движения, но некоторые пользователи по-прежнему будут использовать классическую анимацию. Дополнительные сведения о различиях см. в разделе Различия между анимацией движения и классической анимацией.

Дополнительные сведения о миграции классических анимаций движения в анимации движения см. в статье «Руководство по миграции движения для Flash Professional» в центре разработчика Adobe Flash.

Перед началом работы с классической анимацией движения следует учитывать следующее:

- Классическая анимация — это старый способ создания анимации движения в Flash. Новый более простой способ заключается в использовании анимации движения. См. раздел Анимация движения.
- В некоторых ситуациях, например при синхронизации губ, классическая анимация по-прежнему является наилучшим решением. Список этих ситуаций см. в В каких случаях использовать классическую анимацию движения и Видеоруководство по анимации движения Flash.
- С помощью классической анимации нельзя анимировать 3D-свойства.

Полное руководство по переходу с технологического процесса классической анимации движения на технологический процесс анимации движения см. в «Руководство по переходу на новую технологию движения в Flash».

Создание и редактирование ключевых кадров для классической анимации движения

Изменения в классической анимации описаны в ключевой кадр. В tween-анимации ключевые кадры задаются в основных моментах анимации, а Flash Professional создает содержимое кадров между ключевыми кадрами. Промежуточные кадры tween-анимации выделяются светло-синим или светло-зеленым со стрелкой, нарисованной между кадрами. Поскольку в документах Flash Professional фигуры сохраняются в каждом ключевом кадре, ключевые кадры следует создавать только в тех точках анимации, в которых что-то изменяется.

Ключевые кадры обозначаются на временной шкале следующим образом: сплошной круг представляет собой ключевой кадр с содержимым, пустой круг перед кадром представляет собой пустой ключевой кадр. Последующие кадры, добавленные в один слой, имеют то же содержимое, что и ключевой кадр.

В классической анимации можно редактировать только ключевые кадры. Tween-кадры можно просмотреть, но их невозможно редактировать напрямую. Чтобы отредактировать tween-кадры, измените один из определяющих ключевых кадров или добавьте новый ключевой кадр между начальным и завершающим кадром. Чтобы добавить элементы в текущий ключевой кадр, перетащите элементы из панели «Библиотека» в рабочую область.

Отображение и редактирование одновременно более одного кадра см. в разделе Использование режима калькирования..

#### Создание ключевых кадров

Выполните одно из следующих действий.

Выберите кадр на временной шкале и выберите команду «Вставка» > «Временная шкала» > «Ключевой кадр».

Щелкните кадр на временной шкале правой кнопкой мыши (Windows) или при нажатой клавише «Control» (Macintosh) и выберите команду «Вставить ключевой кадр».

#### Вставка кадров во временную шкалу

Чтобы добавить новый кадр, выберите команду «Вставка» > «Временная шкала» > «Кадр».

Чтобы добавить новый ключевой кадр, выберите «Вставка» > «Временная шкала» > «Ключевой кадр», щелкнув правой кнопкой мыши (Windows) или удерживая нажатой клавишу «Control» (Macintosh), кадр, в который помещается ключевой кадр, и выберите команду «Вставить ключевой кадр».

Чтобы добавить новый пустой ключевой кадр, выберите «Вставка» > «Временная шкала» > «Ключевой кадр», щелкните правой кнопкой мыши (Windows) или удерживая нажатой клавишу «Control» (Macintosh), кадр, в который помещается ключевой кадр, и выберите команду «Пустой ключевой кадр».

#### Удаление или изменение кадра или ключевого кадра

Чтобы удалить кадр, ключевой кадр или последовательность кадров, выберите их, щелкнув правой кнопкой мыши (Windows) или удерживая нажатой клавишу «Control» (Macintosh), и выберите команду «Удалить кадры». Соседние кадры остаются без изменений.

Чтобы переместить кадр или последовательность кадров вместе с содержимым, выберите их и перетащите в нужное положение.

Чтобы увеличить продолжительность ключевого кадра, перетащите его, удерживая нажатой клавишу «Alt» или «Option», к конечному кадру новой последовательности.

Чтобы скопировать и вставить кадр или последовательность кадров, выберите их и выберите команду «Правка» > «Временная шкала» > «Копировать кадры». Выберите кадр или последовательность кадров для замены и выберите команду «Правка» > «Временная шкала» > «Вставить кадры».

Чтобы преобразовать ключевой кадр в простой кадр, выберите ключевой кадр и выберите команду «Модификация» > «Временная шкала» > «Очистить ключевой кадр» или щелкните ключевой кадр правой кнопкой мыши (Windows) или при нажатой клавише «Control» (Macintosh) и выберите команду «Очистить ключевой кадр». Очищенный ключевой кадр и все кадры, вплоть до следующего ключевого кадра, будут замещены содержимым кадра, предшествующего очищенному кадру.

Чтобы скопировать ключевой кадр или последовательность кадров с помощью перетаскивания, выберите их и перетащите в новое место, удерживая нажатой клавишу «Alt» (Windows) или «Option» (Macintosh).

Чтобы изменить длину последовательности tween-кадров, перетащите влево или вправо начальный или конечный кадр.

Чтобы добавить элемент из библиотеки в текущий ключевой кадр, перетащите элемент из панели «Библиотека» в рабочую область.

Чтобы инвертировать последовательность анимации, выберите нужные кадры в одном или нескольких слоях и выберите команду «Модификация» > «Временная шкала» > «Обратить кадры». В начале и в конце последовательности должны быть ключевые кадры.

Добавление классической анимации движения в экземпляр, группу или текст

Примечание. Этот раздел посвящен созданию старой классической анимации. Справочные сведения о создании новых анимаций движения см. в разделе Создание анимации движения.

Чтобы анимировать изменения свойств экземпляров, групп и типов, можно использовать классическую анимацию движения. Flash Professional может создать промежуточную позицию, размер, поворот и наклон экземпляров, групп и шрифта. Кроме того, Flash Professional может создать промежуточные цвета экземпляров и шрифта, создавая постепенные сдвиги цвета или заставляя экземпляр постепенно исчезать или появляться.

Прежде чем создавать промежуточные кадры цвета групп или шрифта, превратите их в символы. Прежде чем анимировать отдельные символы в блоке текста, поместите каждый символ в отдельный текстовый блок.

Если применить классическую анимацию, а затем изменить число кадров между двумя ключевыми кадрами либо переместить группу или символ в другой ключевой кадр, Flash Professional снова автоматически создает промежуточные кадры.

Щелкните имя слоя, чтобы сделать его активным, и выберите пустой ключевой кадр слоя, с которого должна начинаться анимация. Это будет первый кадр классической анимации.

Чтобы добавить содержимое в первый кадр классической анимации, выполните одно из следующих действий.

Создайте графический объект с помощью инструментов «Перо», «Овал», «Прямоугольник», «Карандаш» или «Кисть», а затем преобразуйте его в символ.

Создайте экземпляр, группу или текстовый блок в рабочей области.

Перетащите экземпляр символа с панели «Библиотека».

Примечание. Для создания анимации движения необходимо, чтобы на слое находился только один элемент.

Создайте второй ключевой кадр, на котором должна заканчиваться анимация, и оставьте новый ключевой кадр выбранным.

Чтобы изменить элемент в конечном кадре, выполните одно из следующих действий:

Переместите элемент в новую позицию.

Измените размер, поворот и наклон элемента.

Измените цвет элемента (только экземпляра или текстового блока). Чтобы создать промежуточные кадры для цвета элементов, которые не являются экземплярами или текстовыми блоками, используйте анимацию формы.

Чтобы создать классическую анимацию, выполните одно из следующих действий.

Щелкните любой кадр в диапазоне кадров анимации и выберите «Вставка» > «Классическая анимация движения».

В диапазоне кадров анимации щелкните любой кадр правой кнопкой мыши (Windows) или удерживая клавишу Control (Macintosh) и в контекстном меню выберите «Создать классическую анимацию движения».

Если на шаге 2 был создан графический объект, Flash Professional автоматически преобразует объект в символ и присвоит ему имя tween1.

Если на шаге 4 был изменен размер элемента, выберите «Масштаб» и разделе «Анимация» инспектора свойств, чтобы анимировать изменение размера выделенного элемента.

Чтобы обеспечить более реалистичное ощущение движения, примените замедление/ускорение к классической анимации движения. Чтобы применить замедление к классической анимации, используйте поле «Замедление» в разделе «Анимация» инспектора свойств, чтобы указать значение замедления для каждого экземпляра классической анимации движения. В диалоговом окне «Пользовательское замедление и ускорение» можно более точно контролировать скорость классической анимации движения.

Перетащите значение в поле «Замедление» или введите значение, чтобы настроить скорость изменений между промежуточными кадрами.

Чтобы начать классическую анимацию движения медленно и ускорить по направлению к конечному кадру анимации, введите отрицательное значение между -1 и -100.

Чтобы начать классическую анимацию движения быстро и замедлить по направлению к конечному кадру анимации, введите положительное значение между 1 и 100.

Чтобы выполнить более сложное изменение скорости в пределах диапазона кадров анимации, щелкните кнопку «Редактировать» рядом с полем «Замедление», чтобы открыть диалоговое окно «Пользовательское замедление и ускорение».

По умолчанию скорость изменений между промежуточными кадрами постоянна. Ускорение дает более естественный вид ускорения или замедления за счет постепенного изменения скорости изменений.

Чтобы повернуть выделенный элемент в процессе анимации, выберите нужный вариант в меню «Вращение» инспектора свойств.

Чтобы запретить поворот, выберите «Нет» (параметр по умолчанию).

Чтобы повернуть объект один раз в направлении, требующем наименьшего движения, выберите «Авто».

Чтобы повернуть объект как указано, а затем ввести число поворотов, выберите «По часовой стрелке» или «Против часовой стрелки».

Примечание. Поворот на шаге 8 добавляется к любому повороту, который был применен к конечному кадру на шаге 4.

При использовании траектории движения выберите параметр «Ориентация по контуру» в инспекторе свойств, чтобы сориентировать базовую линию анимируемого элемента по отношению к траектории движения.

Чтобы синхронизировать анимацию экземпляров графических символов с основной временной шкалой, выберите параметр «Синхр.» в инспекторе свойств.

Примечание. Как команда «Модификация» > «Временная шкала» > «Синхронизировать символы», так и параметр «Синхр.» заново вычисляют число кадров в анимации движения, чтобы число соответствовало числу кадров, выделенных на временной шкале. Используйте команду «Синхронизировать», если число кадров в последовательности анимации внутри символа не кратно числу кадров, которое занимает в документе графический экземпляр.

При использовании контура движения выберите «Привязать», чтобы прикрепить анимируемый элемент к контуру движения по точке регистрации.

#### Создание направляющего слоя движения

Для управления движением объектов при классической анимации движения создайте направляющий слой.

Нельзя перетащить слой с анимацией движения или слой с позами обратной кинематики на направляющий слой.

Перетащите обычный слой на направляющий слой. В результате направляющий слой превратится в направляющий слой движения и свяжет обычный слой с новым направляющим слоем движения.

Примечание. Чтобы избежать случайного преобразования направляющего слоя, все направляющие слои лучше поместить в нижней части списка слоев.

#### Создание классической анимации движения вдоль траектории

Примечание. Этот раздел посвящен работе со старой классической анимацией движения. Справочные сведения об использовании новых анимаций движения с траекториями движения см. в разделе Изменение траектории движения анимации движения.

Ведущие слои позволяют рисовать контуры, вдоль которых можно анимировать экземпляры, группы и текстовые блоки. Чтобы несколько объектов следовали по одному контуру, можно привязать несколько слоев к ведущему слою. Обычный слой, привязанный к ведущему слою, становится ведомым слоем.

В этом примере два объекта на отдельных слоях прикрепляются к одному и тому же контуру движения.

#### Создание траектории движения для классической анимации движения

#### Создание последовательности классической анимации движения.

При выборе параметра «Ориентировать по контуру» в инспекторе свойств базовая линия промежуточных элементов ориентируется по траектории движения. При выборе параметра «Привязать» точка регистрации промежуточного элемента привязывается к траектории движения.

Щелкните имя слоя, содержащего классическую анимацию движения, правой кнопкой мыши (Windows) или удерживая клавишу Control (Macintosh) и выберите команду «Добавить направляющую классической анимации».

Flash Professional добавляет слой направляющей движения над слоем классической анимации движения и делает отступ перед именем слоя классической анимации движения, чтобы показать, что он привязан к слою направляющей движения.

Примечание. Если на временной шкале уже есть слой направляющей, можно перетащить слой с классической анимацией движения под слой направляющей, чтобы превратить его в направляющую движения и привязать к нему классическую анимацию движения.

Слой направляющей движения над слоем, содержащий классическую анимацию движения.

Чтобы добавить в слой направляющей движения траекторию для классической анимации движения, выделите слой направляющей движения и нарисуйте нужную траекторию с помощью инструмента «Перо», «Карандаш», «Линия», «Круг», «Прямоугольник» или «Кисть».

Также в слой направляющей движения можно вставить контур.

Перетащите анимируемый объект, чтобы привязать его к началу линии в первом кадре и к концу линии в последнем кадре.

Изображение автомобиля, привязанное к началу направляющего контура.

Примечание. Для достижения лучших результатов привязки перетащите символ к его точке преобразования.

Чтобы скрыть слой направляющей и траекторию так, чтобы во время работы было видно только перемещение объекта, щелкните столбец со значком глаза на ведущем слое.

При воспроизведении анимации группа или символ следует вдоль контура движения.

Привязка слоев к ведущему слою

Выполните одно из следующих действий.

Перетащите существующий слой под ведущий слой. Слой под ведущим слоем располагается с отступом. Все объекты на этом слое автоматически привязываются к контуру движения.

Создайте новый слой под ведущим слоем. Объекты на этом слое, для которых применяется tween-анимация, автоматически двигаются вдоль контура движения.

Выберите слой под ведущим слоем. Выберите «Модификация» > «Временная шкала» > «Свойства слоя» и выберите «Направляющая».

Отсоединение слоев от ведущего слоя

Выделите слой для отмены связи и выполните одно из следующих действий.

Перетащите слой в положение над ведущим слоем.

Выберите «Модификация» > «Временная шкала» > «Параметры слоя» и выберите «Обычный» для типа слоя.

Вставка свойств классической анимации движения

Примечание. Этот раздел посвящен вставке свойств старой классической анимации. Справочные сведения о вставке свойств новых анимаций движения см. в разделе Копирование и вставка свойств анимации движения.

Команда «Вставить движение» позволяет копировать классическую анимацию движения и вставлять только определенные свойства, применяемые к другому объекту.

На временной шкале выделите кадры, содержащие копируемую классическую анимацию. Выделенные кадры должны располагаться на одном слое, однако они не обязательно должны охватывать одну классическую анимацию. Выбранная область может охватывать tween-анимацию, пустые кадры либо две или несколько tween-анимаций.

Выберите меню «Правка» > «Временная шкала» > «Копировать движение».

Выберите экземпляр символа, который получает копируемую классическую анимацию движения.

Выберите меню «Правка» > «Временная шкала» > «Вставить специальное движение». Выберите особые свойства классической анимации движения, которые следует добавить к экземпляру символа. Существуют следующие свойства классической анимации движения.

Положение по оси X Смещение объекта по оси X.

Положение по оси Y Смещение объекта по оси Y.

Масштаб по горизонтали Отношение между текущим размером объекта и его фактическим размером по горизонтали (X).

Масштаб по вертикали Указывает отношение между текущим размером объекта и его фактическим размером по вертикали (Y).

Поворот и наклон Поворот и наклон объекта Эти свойства должны быть применены к объекту одновременно. Наклон — это мера поворота в градусах, поэтому при одновременном повороте и наклоне каждое из этих свойств влияет на другое.

Color К объекту применяются все значения цвета, такие как тон, яркость и альфа-канал.

### Фильтры

Все значения и изменения фильтра для выбранного диапазона. Если к объекту применяются фильтры, то фильтр добавляется с неизменными значениями и его состояние (включен или выключен) тоже применяется к новому объекту.

### Режим наложения.

Изменить конечные свойства масштаба Если свойство не установлено, то оно указывает, что все свойства добавляются относительно целевого объекта. Если установлено, то этот параметр перезаписывает свойства масштаба целевого объекта.

Изменить конечные свойства поворота и наклона Если свойство не установлено, то оно указывает, что все свойства добавляются относительно целевого объекта. Если установлено, то добавляемые свойства перезаписывают существующие свойства поворота и наклона объекта.

Необходимые кадры, tween-анимация и сведения о символах добавляются так, чтобы соответствовать исходной копируемой tween-анимации.

Чтобы скопировать классическую анимацию движения символа на панель «Действия» или использовать ее в другом проекте в качестве ActionScript, используйте команду «Копировать движение как ActionScript 3.0».

Применение пользовательского ускорения/замедления к классической анимации движения

Примечание. Этот раздел посвящен добавлению замедления к старой классической анимации. Справочные сведения о добавлении замедления в новые анимации движения см. в разделе Замедление анимации движения.

Диалоговое окно «Заказное замедление/ускорение» выводит диаграмму, в которой дается графическое представление о скорости

движения во времени. На горизонтальной оси показаны кадры, а на вертикальной — процент изменений. Первый ключевой кадр представлен как 0%, а последний ключевой кадр — как 100%.

Наклон кривой диаграммы показывает скорость изменений объекта. Если кривая горизонтальна (без наклона), то скорость равна нулю; если кривая вертикальна, то изменение происходит мгновенно.

Диаграмма «Заказное замедление/ускорение», на которой отображена постоянная скорость. Откройте это диалоговое окно, выбрав кадр в классической анимации движения и нажав кнопку «Изменить» в разделе «Замедление» в инспекторе свойств.

Дополнительные элементы управления для диалогового окна «Заказное замедление/ускорение»

- Использование флажка «Одна настройка для всех свойств» По умолчанию установлен; отображаемая кривая используется для всех свойств, а всплывающее меню выключено. Если флажок снят, то всплывающее меню включено и каждое свойство имеет отдельную кривую, которая задает скорость изменения этого свойства.
- Всплывающее меню «Свойства» Включено только в том случае, если флажок «Использовать один параметр для всех свойств» не установлен. Если включено, то для каждого из пяти свойств, появляющихся в меню, имеется отдельная кривая. При выборе свойства в меню отображается кривая для этого свойства. Существуют следующие свойства.
- Позиция Указывает заказные настройки замедления для положения анимированного объекта в рабочей области.
- Поворот Задает заказные настройки замедления для поворота анимированного объекта. Например, можно настроить, насколько быстро или медленно анимированный символ вращается в рабочей области, прежде чем повернется к пользователю.
- Масштаб Задает заказные настройки замедления для масштаба анимированного объекта. Например, можно намного проще настроить масштаб объекта, чтобы он выглядел так, как будто он уходит от наблюдателя, затем приближается к наблюдателю, а затем снова уходит от наблюдателя.
- Цвет Задает заказные настройки замедления скорости изменения цвета, применяемых к анимированному объекту.
- Фильтры Задает заказные настройки замедления скорости изменения фильтров, применяемых к анимированному объекту. Например, можно управлять параметром замедления

отбрасываемой тени, которая имитирует изменение направления источника света.

- Кнопки воспроизведения и остановки Позволяют выполнить предварительный просмотр анимации в рабочей области с помощью всех текущих кривых скорости, определенных в диалоговом окне «Заказное замедление/ускорение».
- Кнопка сброса Позволяет сбросить кривую скорости к линейному состоянию, которое является состоянием по умолчанию.
- Положение выбранной опорной точки Числовое значение в нижнем правом углу диалогового окна отображает ключевой кадр и положение выбранной опорной точки. Если опорная точка не выбрана, значение не появляется.

Чтобы добавить к линии опорную точку, щелкните мышью один раз диагональную линию. Чтобы более точно управлять движением объекта, перетащите позиции опорных точек.

Используя индикаторы кадра (представленных квадратными маркерами), нажмите область, где перемещение объекта должно быть замедлено или ускорено. При щелчке квадратного маркера управляющей точки эта опорная точка выделяется и отображаются точки касательных по обе стороны от нее. Точки касательных представлены полыми окружностями. Чтобы переместить опорную точку или точки ее касательных, перетащите их с помощью мыши или используйте клавиши со стрелками на клавиатуре.

По умолчанию опорная точка привязана к сетке. Привязку можно отключить, нажав клавишу X во время перетаскивания опорной точки.

Если щелкнуть мышью область кривой в месте, свободном от опорных точек, то в этом месте кривой будет добавлена новая управляющая точка, при этом форма кривой останется неизменной. Если щелкнуть мышью область вне кривой и управляющих точек, то с текущей выделенной опорной точки будет снято выделение.

#### Добавление пользовательского замедления

Выберите слой на временной шкале, к которому применена классическая анимация движения.

В инспекторе свойств нажмите кнопку «Изменить» рядом с ползунком «Замедление».

(При необходимости) Чтобы отобразить кривую для отдельного свойства анимации движения, снимите флажок «Использовать один параметр для всех свойств» и выберите свойство в меню.

Чтобы добавить опорную точку, щелкните мышью диагональную линию, удерживая нажатой клавишу «Ctrl» (Windows) или «Command» (Macintosh).

Чтобы увеличить скорость объекта, перетащите опорную точку вверх, чтобы уменьшить скорость объекта, перетащите управляющую точку вниз.

Для дальнейшей настройки кривой замедления и настройки значения ускорения tween-анимации перетащите маркеры вершин.

Чтобы просмотреть анимацию в рабочей области, нажмите кнопку воспроизведения в левом нижнем углу.

Выполняйте настройку до тех пор, пока не будет достигнут нужный эффект.

Примечание. Если для пользовательского ускорения в кадре используется диалоговое окно «Пользовательское замедление/ускорение», то в окне редактирования, где отображаются значения ускорения, показывается '--'. Если для пользовательского замедления в кадре используется поле редактирования или всплывающий ползунок, то в диаграмме «Пользовательское замедление» устанавливается эквивалентная кривая и устанавливается флажок «Использовать один параметр для всех свойств».

#### Копирование и вставка кривой замедления

Чтобы скопировать текущую кривую замедления, нажмите клавиши «Ctrl» + «C» (Windows) или «Command» + «C» (Macintosh).

Чтобы вставить скопированную кривую замедления в другую кривую ускорения, нажмите клавиши «Ctrl» + «V» (Windows) или «Command» + «V» (Macintosh).

Кривую замедления можно копировать и вставлять. Скопированная кривая остается доступной до выхода из приложения Flash Professional.

#### Неподдерживаемые кривые ускорения

Некоторые типы кривых ускорения не поддерживаются. Никакая часть диаграммы не может представлять нелинейную кривую (такую как окружность).

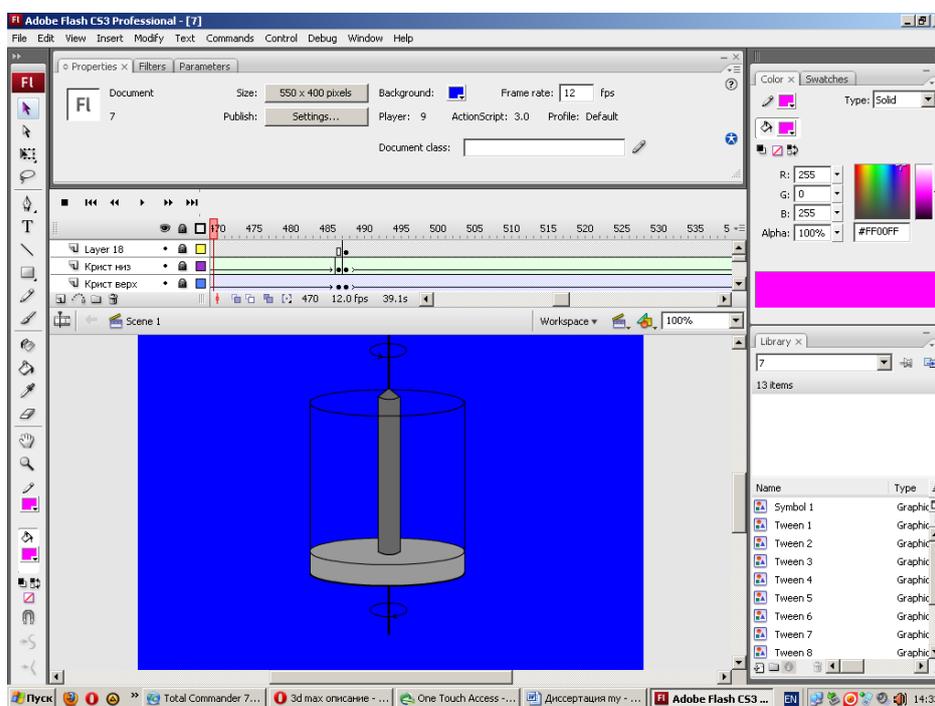
Диалоговое окно «Заказное замедление» автоматически блокирует перемещение опорной точки или маркера касательной в положение, в котором кривая становится недопустимой.

Все точки должны существовать на диаграмме. Опорные точки нельзя переместить за границы диаграммы.

Все сегменты кривой должны существовать внутри диаграммы. Форма кривой уплощенная, что предотвращает выход кривой за границы диаграммы.

При анимации формы в отдельном кадре на временной шкале рисуется векторная форма, а в другом кадре эта форма изменяется, либо рисуется новая форма. Flash Professional затем интерполирует фигуры для промежуточных кадров, создавая анимацию одной фигуры, перетекающей в другую.

Анимация формы лучше всего подходит для простых форм. Не используйте фигуры с пустыми или отрицательными областями. Поупражняйтесь с нужными фигурами, чтобы увидеть, что получается. Можно использовать хинты кривых, чтобы указать Flash Professional, какие точки начальной фигуры должны соответствовать конкретным точкам конечной фигуры.



**Рис. 11. Работа в Adobe Flash Professional**

## **Autodesk 3ds Max**

Autodesk 3ds Max (ранее 3D Studio MAX) — полнофункциональная профессиональная программная система для создания и редактирования трёхмерной графики и анимации, разработанная компанией Autodesk. Содержит самые современные средства для художников и специалистов в области мультимедиа. Работает в операционных системах Microsoft Windows и Windows NT (как в 32-битных, так и в 64-битных). Весной 2012 года

выпущена пятнадцатая версия этого продукта под названием «Autodesk 3ds Max 2013».

## Моделирование

3ds Max располагает обширными средствами для создания разнообразных по форме и сложности трёхмерных компьютерных моделей, реальных или фантастических объектов окружающего мира, с использованием разнообразных техник и механизмов, включающих следующие:

- полигональное моделирование, в которое входят Editable mesh (редактируемая поверхность) и Editable poly (редактируемый полигон) — это самый распространённый метод моделирования, используется для создания сложных моделей и низкополигональных моделей для игр.

Как правило, моделирование сложных объектов с последующим преобразованием в Editable poly начинается с построения параметрического объекта «Box», и поэтому способ моделирования общепринято называется «Box modeling»;

- моделирование на основе неоднородных рациональных B-сплайнов (NURBS) (следует отметить, что NURBS-моделирование в 3ds Max-е настолько примитивное что никто этим методом практически не пользуется);
- моделирование на основе т. н. «сеток кусков» или поверхностей Безье (Editable patch) — подходит для моделирования тел вращения;
- моделирование с использованием встроенных библиотек стандартных параметрических объектов (примитивов) и модификаторов.

Методы моделирования могут сочетаться друг с другом.

Моделирование на основе стандартных объектов, как правило, является основным методом моделирования и служит отправной точкой для создания объектов сложной структуры, что связано с использованием примитивов в сочетании друг с другом как элементарных частей составных объектов.

Стандартный объект «Чайник» (Teapot) входит в этот набор в силу исторических причин: он используется для тестов материалов и освещения в сцене, и, кроме того, давно стал своеобразным символом трёхмерной графики.

Particle Systems (Система частиц) — это совокупность малоразмерных объектов, управляемых по целому ряду параметров. Примерами ситуаций, в которых бывают необходимы системы частиц, могут служить сцены, где требуется смоделировать дождь, снег, дым, огонь, звёздное небо, струи фонтана, искры и т. п. Начиная с 8 версии имеется 7 основных источников частиц, демонстрирующих различное поведение:

PF Source (Источник потока частиц) — поток «умных» частиц, способных реагировать на запрограммированные события. Такой поток частиц может имитировать что угодно — от брызг фонтана до дымового шлейфа реактивного двигателя самонаводящейся ракеты;

Spray (Брызги) — создаёт упрощённый вариант эффекта водяных брызг, наподобие капель дождя, и имеет много параметров для настройки формы частиц, их размера и характера падения;

Super Spray (Супер брызги) — существенно усовершенствованная по сравнению со стандартной система брызг, позволяющая смоделировать почти все эффекты, основанные на системах частиц. Частицам можно придавать форму различных объектов;

Snow (Снег) — создаёт простой эффект падающего снега и имеет много параметров для настройки формы частиц, их размера и характера падения;

Blizzard (Метель) — существенно усовершенствованная версия частиц Snow (Снег). Частицам можно придавать форму различных объектов;

PArray или Particle Array (Массив частиц) — подходит для моделирования частиц любого типа, а также для усовершенствованных эффектов имитации взрыва. Частицам можно придавать форму различных объектов;

PCloud или Particle Cloud (Облако частиц) — создаёт статичное облако частиц и может применяться для имитации трёхмерных звёздных полей, косяка рыб или стаи птиц. Частицам можно придавать форму различных объектов;

3ds Max включает механизм расчёта физики Reactor, разработанный компанией Navok. Reactor позволяет моделировать поведение твёрдых тел, мягких тел, ткани с учётом силы тяжести и других воздействий. Так же как и в других программах имитации динамики в reactor'e используются упрощённые выпуклые оболочки объектов, которые могут быть настроены на использование всех вершин объекта, ценою времени обработки. В версии 2012 Reactor отсутствует.

### Hair&Fur

Начиная с версии 8, в 3ds Max встроен модуль Hair&Fur (волосы и шерсть), позволяющий моделировать волосы, шерсть, траву, прутья и др.

## Визуализация

Визуализация является заключительным этапом работы над моделируемой сценой. Только после визуализации становятся видны все свойства материалов объектов и проявляются эффекты внешней среды, применённые в составе сцены. Для вывода конечного изображения на экран выбирают необходимый модуль визуализации (МВ). Большинство МВ являются отдельными программами, встраиваемыми как дополнение в 3ds Max.

### Список модулей визуализации

#### Scanline

Визуализатор по умолчанию в 3ds Max. Исходным методом визуализации в 3DS Max является сканирующий построчный алгоритм. Некоторые расширенные возможности были добавлены в Scanline спустя годы, такие как расчёт Global Illumination, Ray Tracing и Radiosity, однако большинство функций перешло к нему от других визуализаторов (например — RadioRay).

#### Mental Ray

Mental Ray является пригодной для производственного применения высококачественной системой визуализации, разработанной компанией Mental Images. Mental Ray встроен в последние версии 3DS Max, это мощный инструмент визуализации, поддерживающий сегментную визуализацию (подобно механизму сопровождающей визуализации, реализованному в Maya), а также технологию распределённой визуализации, позволяющую рационально разделять вычислительную нагрузку между несколькими компьютерами. Включаемая в 3ds Max версия mental ray поставляется с набором инструментария, позволяющим относительно просто создавать множество различных эффектов.

#### V-Ray

Высококачественный, фотореалистичный визуализатор, спроектированный в качестве плагина для 3ds Max. Популярнейший в русскоязычном пространстве внешний визуализатор компании Chaos Group. Очень часто используется профессионалами, часто заменяя стандартный Scanline и Mental Ray. Даже при стандартных настройках достигается высокое качество визуализации. Совместим с более старыми версиями 3ds Max.

#### RenderMan

Стороннее средство подключения к конвейеру RenderMan, также полезно в тех случаях, когда требуется интеграция 3DS Max с системой визуализации Renderman. Конект с 3DS Max происходит с помощью DoberMan.

#### FinalRender

Внешний визуализатор компании Sebas. Является наиболее полным фотон-основанным визуализатором, уступая по своим возможностям только MentalRay. Преимущество заключается в плотной интеграции с другими решениями Sebas, обеспечивающими широкий спектр разнообразных атмосферных, линзовых эффектов и пр., чего нет у других визуализаторов.

#### Brazil R/S

Высококачественная, фотореалистичная система визуализации изображения, разработанная компанией SplutterFish Llc. В этом визуализаторе присутствует несколько алгоритмов просчёта глобального освещения Global Illumination: QMC и Photon Mapping. Brazil хорошо зарекомендовал себя среди архитекторов, дизайнеров и художников компьютерной графики, благодаря простоте настроек, стабильности и качественному результату визуализации.

#### Fryrender

Фотореалистичный, основанный на законах физики, спектральный визуализатор. Создан компанией RandomControl. Предоставляет возможность получать изображения высочайшего качества и достигать естественного реализма.

#### Indigo Renderer

Физически корректный рендер. Основная особенность его в том, что все расчеты света, энергии, каустики и т. д. происходят взаимозависимо, что и отличает его от других рендеров, где всё раздельно и определяется самим пользователем.

#### Maxwell Render

Является первой системой визуализации, в которой принята «физическая парадигма». В основу всей системы положены математические уравнения, описывающие поведение света. Вводя в обращение реальные физические законы, Maxwell Render позволяет избежать длительного и тонкого процесса настройки параметров визуализации, который имеет место в случае большинства визуализаторов, работающих по иным алгоритмам.

#### LuxRender

Система физически корректной визуализации трехмерных сцен, имеющая открытый исходный код. Для использования системы LuxRender, необходимо экспортировать сцены и модели из редакторов графики с помощью специальных плагинов или скриптов.

#### Kerkythea

Система визуализации, позволяющая создавать фотореалистичные изображения. Использует физически точные материалы и освещение. Kerkythea 2008 Echo имеет свой собственный редактор сцены и материалов, обладает простым и удобным интерфейсом.

### Arion Render

Гибридный, интерактивный рендер GPU+CPU, разработанный компанией RandomControl, на базе NVIDIA CUDA.

### BIGrender

Рендер, способный визуализировать большие изображения. В процессе визуализации разбивает изображение на части и каждую часть сохраняет в отдельном файле.

### Sunflow

Система визуализации, позволяющая создавать фотореалистичные изображения, имеющая открытый исходный код. Система Sunflow написана на языке программирования Java. Ориентирован на визуализацию в сфере дизайна.

## 2.2. Видеомонтаж и звукозапись

Монтаж (фр. montage) видео- или аудиоматериала (в кинематографе, на телевидении, на радио, на звукозаписывающих студиях) — процесс переработки или реструктурирования изначального материала, в результате чего получается иной целевой материал. Считается, что монтажно-тонировочный период в кинопроизводстве не менее важен, чем съемочный: монтаж способен придать фильму нужный ритм и атмосферу. Различают вnutрикадровый и межкадровый монтаж.

### Линейный монтаж и нелинейный монтаж

Линейный монтаж происходит чаще в реальном времени. Видео из нескольких источников (видеомагнитофонов, камер т. д.) поступает через коммутатор на приёмник (эфирный транслятор, записывающее устройство). В этом случае переключением источников сигнала занимается режиссёр линейного монтажа. О линейном монтаже также говорят в случае процесса урезания сцен в видеоматериале без нарушения их последовательности.

При нелинейном монтаже видео или киноплёнка (которая может быть отсканирована и переведена в цифровой вариант) разделяется на фрагменты, после чего фрагменты записываются в нужной последовательности, в нужном формате на выбранный видеоноситель. При этом фрагменты могут

быть урезаны, то есть не весь исходный материал попадает в целевую последовательность; подчас сокращения бывают очень масштабными.

В случае киноплёнки процесс нелинейного монтажа происходит вручную: монтажёр с применением монтажного стола под руководством кинорежиссёра режет плёнку в нужных местах, а затем склеивает фрагменты в выбранной режиссёром последовательности.

Гибридный видеомонтаж имеет достоинства первых двух (нелинейная видеомонтажная система играет роль видеоисточника). Недостаток — более высокая цена.

В 1917 году Лев Кулешов написал о монтаже: «Для того, чтобы сделать картину, режиссёр должен скомпоновать отдельные снятые куски, беспорядочные и несвязные, в одно целое и сопоставить отдельные моменты в наиболее выгодной, цельной и ритмической последовательности, также, как ребенок составляет из отдельных, разбросанных кубиков с буквами целое слово или фразу».

Adobe Premiere Pro — профессиональная программа нелинейного видеомонтажа компании Adobe Systems. Является наследником программы Adobe Premiere (последняя вышедшая версия которой носила номер 6.5). Первая версия программы (она же «Adobe Premiere» 7) вышла 21 августа 2003 года для систем на базе ОС Windows. Начиная с третьей версии программа стала доступной и для операционных систем Mac OS X. Первые две версии выходили отдельными продуктами, третья версия вышла в составе пакета Adobe Creative Suite 3. Пятая версия, включенная в пакет Adobe Creative Suite 5, поддерживает только 64-битные операционные системы, тогда как четвёртая версия предполагала использование и в 64-битных, и в 32-битных. Premiere Pro используется такими компаниями как BBC, The Tonight Show. В ней проводился монтаж многих фильмов в частности таких «Социальная сеть», «Через пыль к победе», «Капитан Абу Раед» и «Возвращение Супермена» (для захвата видео). Формат файлов сохранения рабочих проектов .prproj.

Adobe Premiere 6.5 стала самой массовой программой на рынке профессиональной работы с видео. Компания Adobe долго не выпускала обновление, однако затем появился принципиально новый продукт, на новом движке: Adobe Premiere Pro.



**Рис. 12. Adobe Premiere Pro**

Premiere Pro поддерживает высококачественное редактирование видео разрешения 4К x 4К и выше, с 32-битовым цветом, как в RGB, так и YUV цветовом пространстве. Редактирование аудиосемплов, поддержка VST аудиоплагинов (plug-in) и звуковых дорожек 5.1 surround. Архитектура Premiere Pro плагинов позволяет импортировать и экспортировать материалы контейнеров QuickTime или DirectShow, а также даёт поддержку огромного количества видео- и аудиоформатов от MacOS и Windows.

### Adobe Audition

Adobe Audition (бывш. Cool Edit Pro) — аудиоредактор, производства фирмы Adobe. Поддерживает практически все звуковые форматы файлов. Входит в пакет Adobe Creative Suite CS6.

Syntrillium Software была основана в начале 1990-х Робертом Эллисоном и Дэвидом Джонсоном, бывшими сотрудниками Microsoft. Первоначально разработанная Syntrillium Software как Cool Edit, программа распространялась как crippleware (в случае с Cool Edit одновременно можно было использовать только два эффекта, которые можно было выбрать при запуске). Полная версия была полезной и гибкой, особенно для того времени. Позже Syntrillium выпускает Cool Edit Pro, где уже была возможность работать с несколькими треками, а также некоторые другие возможности. Обработка аудио, тем не менее, производилась разрушающим способом (на то время у компьютеров ещё не хватало мощностей, чтоб обрабатывать аудио неразрушающим способом в режиме реального времени). Cool Edit Pro v2 добавила поддержку неразрушающей обработки в режиме реального времени (real-time), а в версии 2.1 появилась возможность сводить звук в surround и мультитрековое микширование неограниченного количества аудиодорожек.

Adobe приобрела последнюю, не-shareware версию (Cool Edit Pro v2.1) у Syntrillium Software в мае 2003 года за 16,5 миллионов долларов. Позже она была переименована в Adobe Audition.

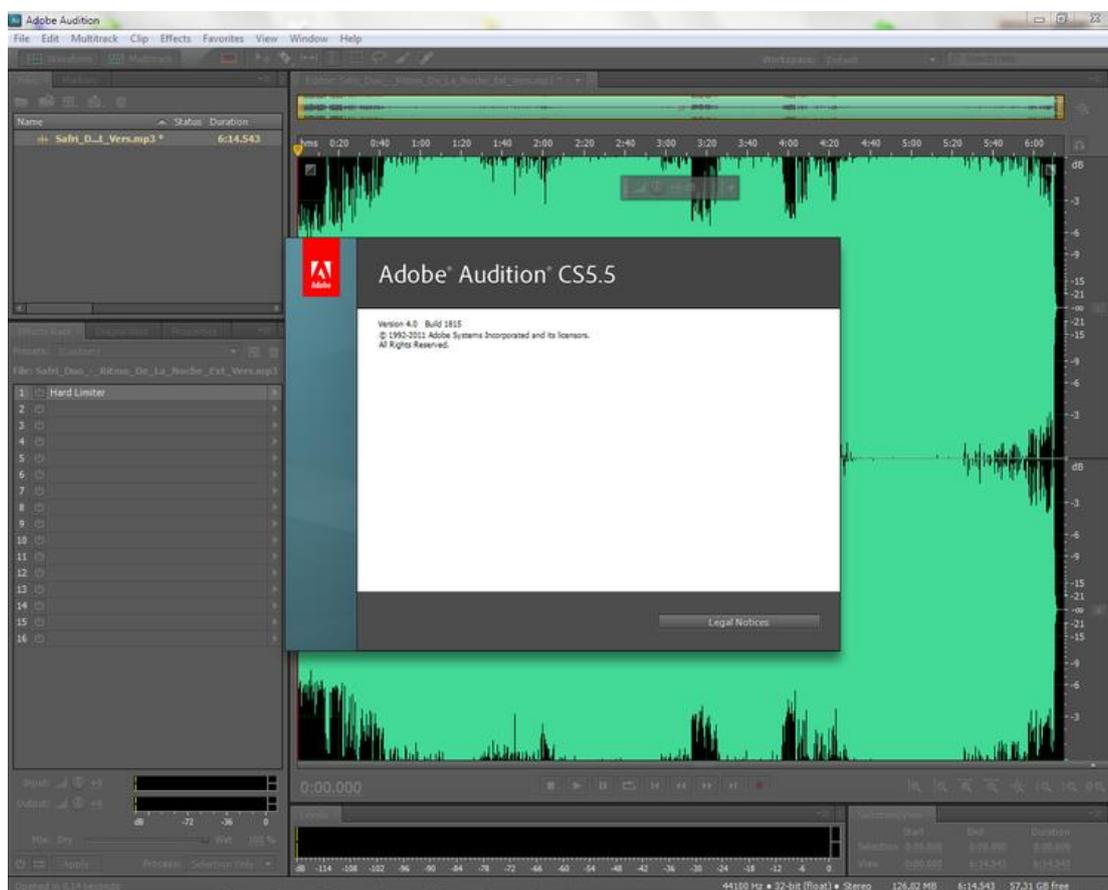


Рис. 13. Adobe Audition

# **Заключение**

### **По магистерской диссертации можно отметить следующее:**

1. Рассмотрены основные этапы и методы производства кремния.
2. Разработан и смонтирован мультимедийный анимационный фильм на тему промышленных способов получения технического, поликристаллического и монокристаллического кремния

Так как развитие современных мультимедиа систем во все сферы жизни увеличивается с каждым днем, то разработка подобных анимационных пособий становится актуальна. При разработке нужно учитывать возможные факторы как внешние (индивид, который будет просматривать), так и внутренние (содержание анимации). Также современные средства разработки мультимедиа имеют дружественный интерфейс, что облегчает задачу разработчика и позволяет варьировать различными методами. При создании мультимедиа необходимо принимать во внимание область, для которой оно предназначено.

# Приложения:

Схема 1

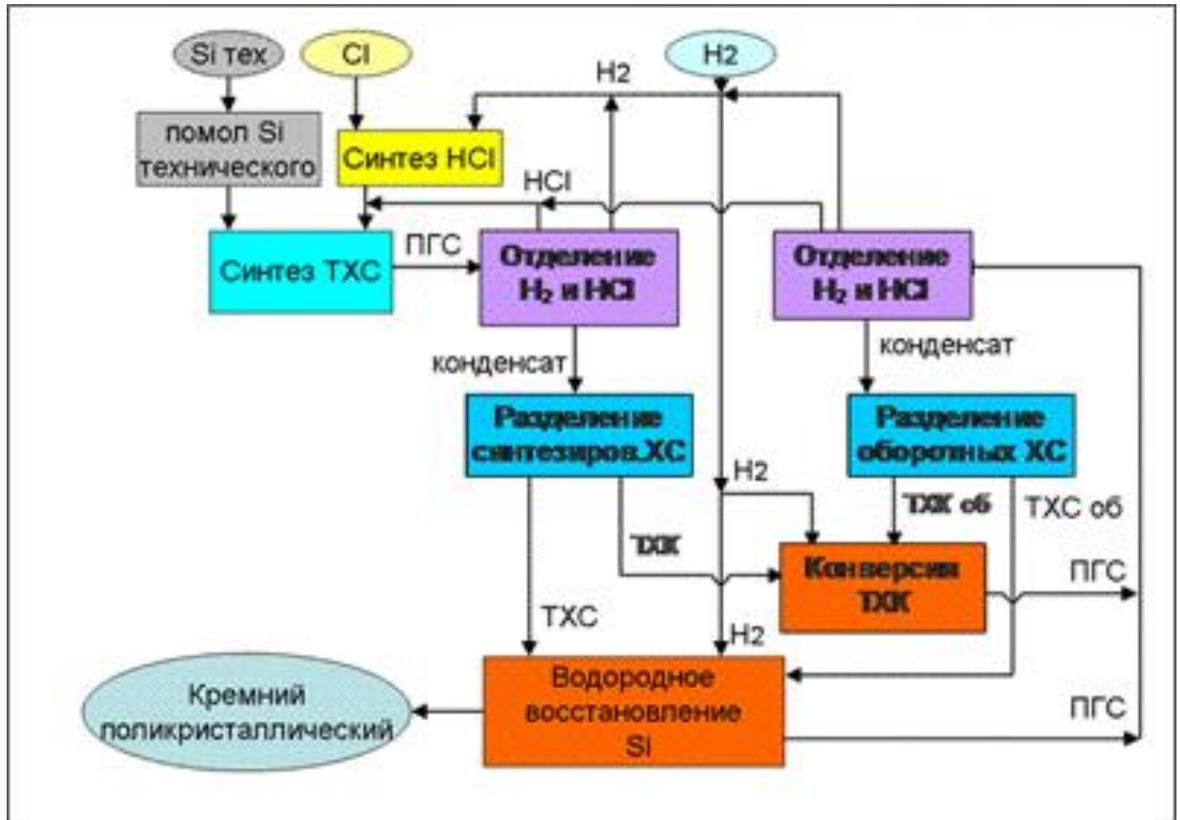
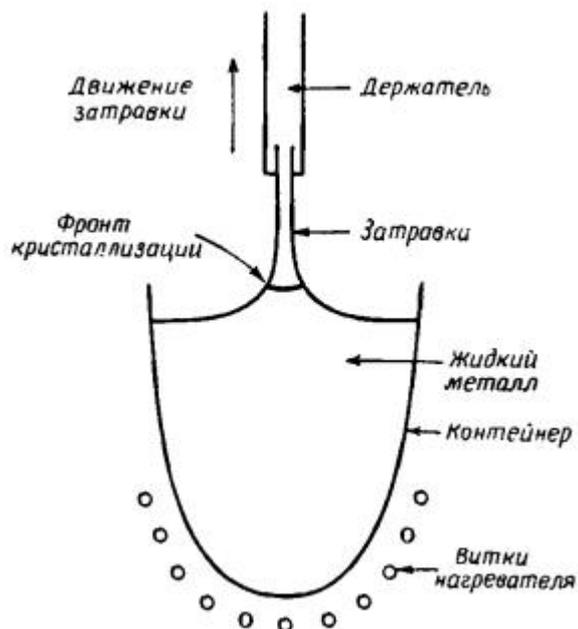
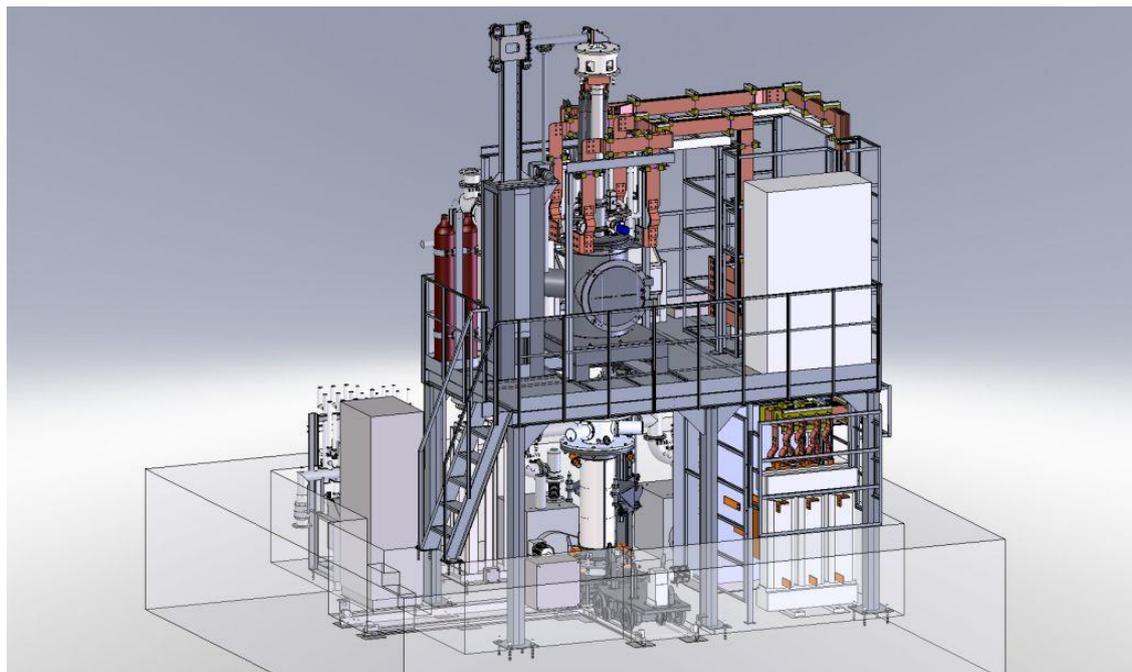


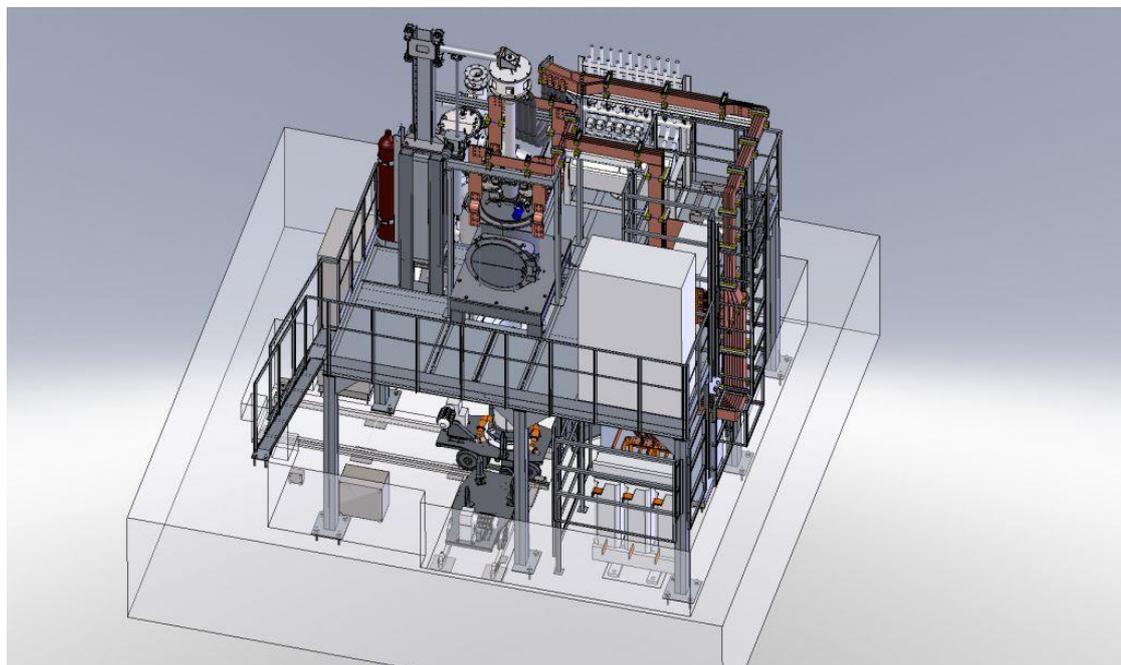
Схема 2



**Схема 3**



**Схема 4**



**Современный уровень получения монокристаллического кремния  
методом Чохральского и зонной плавки**

<b>Параметры</b>	<b>Метод Чохральского</b>	<b>Метод зонной плавки</b>
Максимальный диаметр пластины, мм	150÷400	200
Удельное сопротивление р-тип, Ом*см	$5 \cdot 10^{-3} \div 50$	0,1÷3000
Удельное сопротивление n-тип, Ом*см	$5 \cdot 10^{-3} \div 50$	0,1÷800
Ориентация	[111], [110], [100]	[111], [100]
Время жизни неосновных носителей, мкс	10÷50	100÷300
Содержание кислорода, атом/см <sup>2</sup>	$10^{16}(10 \div 200)$	$< 10^{16}$
Содержание углерода, атом/см <sup>2</sup>	10	$< 10^{16}$
Общий объем	90%	10%

**Основные марки технического кремния**

<b>Марка кремния</b>	<b>Si</b>	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Ca</b>	<b>Ti</b>	<b>P</b>	<b>Сумма определяемых примесей</b>
КРП Основа	0,5	0,3	0,6	0,3	0,003	0,006	-
КРОО 99,0	0,4	0,4	0,4	-	-	-	1,0
КРО 98,8	0,5	0,4	0,4	-	-	-	1,2
КР1 98,0	0,7	0,7	0,6	-	-	-	2,0
КР2 97,0	1,0	1,2	0,8	-	-	-	3,0
КР3 96,0	1,5	1,5	1,5	-	-	-	4,0

# Литература

1. Малый энциклопедический справочник по полупроводниковым материалам. Бахадырханов М. К., Ортиков И. Б. Ташкент - 2006
2. Технология производства технического кремния. Бахадырханов М. К., Тачилин С. А., Газизов Т. О. Ташкент - 2011
3. Silicon for the Chemical Industry IV, Geiranger, Norway, June 3-5, 1998, 240 с.
4. Технология полупроводникового кремния. / Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червонный И.Ф. и др. - М.: Металлургия, 1992. - 408с.
5. Реньян В.Р. Технология полупроводникового кремния. Прев. с англ. Изд-во "Металлургия", 1969, с.336.
6. Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов. - М.: Металлургия, 1987.336с.
7. Лapidус И.И., Кочан Б.А., Перепелкин В.В. и др.; Металлургия поликристаллического кремния высокой чистоты. - М.: Металлургия, 1971. - 143 с.
8. Лapidус И.И., Нисельсон Л.А. Тетрахлорсилан и трихлорсилан. - М.: Химия. 1970. - 128с.
9. Шашков Ю.М. Металлургия полупроводников. - М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1960. - 121 с.
10. Таиров М.Ю. Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов.: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. - М.: Высш. Шк., 1990. - 423 с.,: ил.
11. Крапухин В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов.: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1982. - 352 с.
12. Бендер Б. – «3D вокруг нас» 2003 г.
13. Зойберг К. - «Работа в 3D Studio Max» 2007 г.

14. Тэд Б. – «3D моделирование» 2007 г.
15. "Информатика и ИКТ. 10-11", Н.Д. Угринович, Москва, 2006 г.
16. [www.informic.narod.ru](http://www.informic.narod.ru)
17. [www.infoschool.narod.ru](http://www.infoschool.narod.ru)
18. [www.klyaksa.ru](http://www.klyaksa.ru)
19. [www.problems.ru](http://www.problems.ru)
20. [www.it-n.ru](http://www.it-n.ru)
21. [www.allbest.ru](http://www.allbest.ru)
22. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
23. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов  
Ю.М. Таиров В.Ф.Цветков Москва «Высшая школа» 1990г
24. Оборудование полупроводникового производства Блинов, Кожитов,  
"МАШИНОСТРОЕНИЕ" 1986г
25. Методы определения основных параметров полупроводниковых  
материалов. Л.П.Павлов. Москва. «Высшая школа». 1975г
26. И.Вано (И. П. Иванов-Вано). Рисованный фильм. — М.:  
Госкиноиздат, 1950 г.
27. Harold Whitaker; John Halas. Timing for animation. — London: Focal  
Press, 1990. — ISBN 0-240-51310-X
28. Гарольд Уайтэкер, Джонс Халас. Тайминг в анимации. — М.:  
Магазин искусств, 2001
29. Креативная педагогика: методология, теория, практика (2002)./ Под  
ред. Ю. Г. Круглова. — М.: МГОПУ им. М. А. Шолохова, изд. центр  
«Альфа»
30. Морозов А. В. Чернилевский Д. В. (2004). Креативная педагогика и  
психология, Академический проект