

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

# **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

**Методические указания к выполнению курсовой работы  
по одноименному курсу для студентов специальности  
1-48 01 01 «Химическая технология неорганических  
веществ, материалов и изделий» специализации  
1-48 01 01 13 «Химическая технология материалов  
квантовой и твердотельной электроники»**

Минск 2007

УДК 541.1:621.382(075.8)

ББК 24.5:32.852я7

Т 38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

Н. В. Богомазова, И. М. Жарский

Рецензент

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой технологии неорганических веществ  
и общей химической технологии БГТУ

*О. Б. Дормешкин*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 год. Поз. 74.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 13 «Химическая технология материалов квантовой и твердотельной электроники».

© Учреждение образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет», 2007

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Технология полупроводников» выполняется студентами четвертого курса. Она является первой индивидуальной работой значительного объема для студентов специальности 1-48 00 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 00 01 13 «Химическая технология квантовой и твердотельной электроники» по технологическому спецкурсу. Данное издание содержит достаточно подробные методические указания для студентов с учетом современных требований и тенденций развития производства полупроводниковых материалов и структур, специфики подготовки студентов в течение предыдущего цикла обучения, а также опыта руководства выполнением данной курсовой работы преподавателями кафедры и возникающих у студентов наиболее типичных затруднений.

Выполнение указанной курсовой работы преследует цели:

- закрепление лекционного материала и расширение знаний по свойствам и методам (предпочтительно производственным) получения полупроводниковых материалов и структур;

- совершенствование навыка поиска, анализа и представления сведений из литературных, патентных, периодических, электронных и других источников по заданной тематике в области материаловедения и современных технологий полупроводниковых объектов;

- развитие умений выработки комплекса инженерных решений, связанных с созданием технологических маршрутов получения объекта с заданными свойствами;

- формирование навыков проведения технологических расчетов, необходимых при разработке технологической схемы и включающих определение времени цикла обработки (или отдельных этапов полного цикла), расчет материальных балансов и выхода годного материала, подбор типа и количества основных аппаратов, определение норм расхода основных (и вспомогательных) компонентов для обеспечения заданной программы выпуска готового продукта;

- выработка и совершенствование умения устно представлять подготовленный материал на соответствующем литературном и научно-техническом уровне.

Курсовая работа является *творческим инженерно-технологическим* продуктом деятельности студента. При ее выполне-

нии он должен руководствоваться требованиями СТП БГТУ 002-2007.

## **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

### **1.1. Тематика курсовых работ**

Темой данной курсовой работы является технология получения конкретного полупроводникового *объемного* или *пленочного* материала с заданными *электрофизическими свойствами* и *геометрическими параметрами*. Поскольку на пятом году обучения студентов данной специализации объектами их инженерно-технологических разработок чаще являются изделия на основе наиболее распространенного в микроэлектронике полупроводника – кремния, то в данной курсовой работе в качестве объектов технологии в основном предлагаются сложные полупроводниковые материалы таких классов, как, например,  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ , а также твердые растворы на их основе. При этом возможно указание области применения данного материала в виде конкретного электронного устройства, что накладывает определенные ограничения на величину ряда параметров полупроводника (например, удельное сопротивление, дефектность (в частности, плотность дислокаций), чистота, геометрические размеры получаемого продукта и другие).

Тема курсовой работы предлагается руководителем либо может быть выбрана самим студентом из полупроводниковых объектов, имеющих актуальное значение для развития электронной техники.

### **1.2. Содержание и структура курсовой работы**

Курсовая работа включает пояснительную записку и графическую часть.

*Пояснительная записка* имеет следующую структуру:

- 1) титульный лист;
- 2) задание;
- 3) реферат (приложение 1);
- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) аналитический обзор литературы (приложение 2);
- 7) инженерные решения;

- 8) технологический раздел (приложение 3);
- 9) мероприятия по охране труда и окружающей среды;
- 10) заключение;
- 11) список использованных источников (приложение 4);
- 12) приложения (при наличии).

Из указанных частей нумеруемыми составными частями являются позиции 6–9. Объем пояснительной записки должен составлять не более 30 страниц (в печатном варианте).

*Графическая часть* курсовой работы представляет собой аппаратурно-технологическую схему разработанного маршрута производства заданного материала или структуры, выполненную на листе формата А1.

### **1.3. Порядок выполнения и защиты курсовой работы**

Первоначальным этапом выполнения курсовой работы является выдача задания студенту руководителем. В *задании* указывается:

- тема проекта;
- исходные данные для работы в виде основных литературных источников, качественных и количественных характеристик объекта технологии, программы выпуска продукции;
- структура работы с перечислением основных вопросов, обязательных для освещения в соответствующих разделах пояснительной записки;
- перечень графического материала;
- консультант и руководитель работы;
- календарный график выполнения работы с указанием этапов промежуточного контроля;
- сроки сдачи законченной курсовой работы.

После выдачи задания на протяжении семестра проводятся коллективные и индивидуальные консультации студентов руководителем (и консультантом при необходимости) с целью оказания методической помощи при выполнении работы и обеспечения выполнения установленного календарного графика. Коллективные консультации проводятся в виде аудиторных занятий, обязательных для посещения. При невыполнении требований промежуточного контроля курсовая работа не допускается к защите.

Студент должен представить выполненную и оформленную в

соответствии с требованиями СТП БГТУ 002-2007 курсовую работу к защите в сроки, указанные в задании, но не позднее двух недель до начала экзаменационной сессии. Работа, представленная в установленный срок, прошедшая проверку и подписанная руководителем, допускается к защите. Защита предусматривает изложение сообщения по работе в устной форме на 7–10 мин и последующее обсуждение в рамках пояснительной записки и лекционного материала по соответствующим теоретическим разделам.

При выставлении *итоговой оценки* по курсовой работе на основании проверок и защиты учитываются следующие качества подготовленной работы и исполнителя:

- объем и уровень проработки информационных источников по заданной тематике;
- качество представления и структурирования излагаемого материала;
- использование графических изображений, таблиц для иллюстрирования и пояснения текстового изложения;
- обоснованность и целесообразность принятых инженерных решений;
- правильность проведения технологических расчетов, логичность их представления в записке;
- качество оформления пояснительной записки и графического материала;
- уровень владения на защите подготовленным материалом.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Предлагаемые методические указания являются рекомендациями для выполнения работы. В большей части они не носят обязательного характера и преследуют цель конкретизировать задачи по отдельным частям работы и инициировать творческий подход к проработке и представлению материала, а также проведению инженерно-технологических расчетов. Однако рекомендательный характер данного издания не отрицает необходимости выполнения требований СТП БГТУ 002-2007 и задания, проведения консультаций с преподавателем, а также несения ответственности за правильность принятых решения и проведенных расчетов.

### **2.1. Титульный лист**

Титульный лист является первой страницей пояснительной записки и представляется согласно СТП БГТУ 002-2007. При оформлении титульного листа следует продумывать наиболее оптимальное использование шрифтов с целью выделения дисциплины, по которой выполнена работа, темы, а также фамилий исполнителя и руководителя (с указанием соответствующих данных).

### **2.2. Задание**

Бланк задания выдается руководителем (или оформляется студентом) и аккуратно в полном объеме заполняется (допустимо вручную) на первой коллективной консультации согласно расписанию занятий в начале семестра. Заполненный бланк задания, содержащий данные согласно подразделу 1.3 настоящих указаний, подписывается руководителем и студентом при отсутствии замечаний у сторон. В установившейся практике консультантом и нормоконтролером по курсовой работе является руководитель. При нумерации страниц записки задание считается одной страницей.

### **2.3. Реферат**

Реферат включает три основные части (приложение 1):

- характеристику состава и объема работы (с указанием числа страниц записки, таблиц, рисунков, использованных источников и приложений);

- перечень ключевых слов (представляется в виде 5–15 существительных в именительном падеже или несложных словосочетаний, отражающих тематику работы, ее последовательное содержание, а также направления информационного поиска;

- текст реферата (краткое изложение цели работы, основных инженерно-технологических решений, предложенных автором для ее достижения, и расчетных результатов). Объем текста реферата составляет около 500–800 знаков. Составные части реферата отделяю друг от друга пропуском одной строки.

## **2.4. Содержание**

Содержание должно отражать *полную* структуру пояснительной записки. В нем отражается постраничное расположение в записке всех частей работы (нумеруемых и ненумеруемых) с указанием их полного названия в соответствии с запиской. Все заголовки в содержании оформляются строчными буквами кроме первой прописной. После последнего слова каждого заголовка ставится отточие (точки через 1–2 пробела) и соответствующий номер страницы, на которой расположен заголовок. Номер страницы проставляют справа в виде колонки арабских цифр по вертикали. Если заголовок не вмещается в одной строке, он частично переносится на следующую строку без переносов. Отточие проставляется в последней строке заголовка. Расстояние между последним словом заголовка и номером страницы должно составлять не менее 3 отточий, а между последней точкой отточия и номером страницы – 2-4 пробела.

При подготовке записки полезно помнить, что содержание оформляется на заключительном этапе выполнения курсовой работы и перед сдачей этой работы руководителю следует внимательно проверить его соответствие окончательной структуре записки.

## **2.5. Введение**

Введение должно содержать краткую характеристику электрофизических, физико-химических и, возможно, иных свойств соответствующего заданию материала в сравнении с другими полупроводниками. Эта характеристика должна логично обосновывать последующее изложение во введении сведений о традиционных и новых областях



использования данного материала в электронных устройствах и перспективных направлениях его научных исследований. Кроме того, во введении возможно представление сведений о физико-химических особенностях и проблемах получения материала в виде заданного продукта (слитка, пластин или пленки для конкретного изделия, например лазера, светодиода и т. д.). Примерный объем введения составляет 1–2 страницы.

## 2.6. Аналитический обзор литературы

Эта часть курсовой работы является наиболее *объемной* и *трудоемкой*, поскольку не просто предполагает проведение аналитического обзора ряда монографий из предложенного списка литературы, но в большей мере отражает поиск и анализ дополнительных книжных и периодических изданий, а также электронных источников информации о свойствах, методах получения и технологических особенностях производства заданной полупроводниковой продукции.

Перечень вопросов, которые отражаются в литературном обзоре, приводится в задании. Объем обзора должен составлять 15–20 страниц (на основе анализа *не менее 25* источников информации различных видов). Основная часть этого раздела включает *технологическую* информацию (*не менее 50%* от объема литобзора) в соответствии с содержанием соответствующего курса и курсовой работы. В заключительной части технологического подраздела литобзора обязательно представляется *итоговая сравнительная таблица* по обозреваемым методам получения заданного полупроводникового объекта с указанием особенностей свойств и технологии получаемого таким способом продукта.

Неверным является излишнее расширение сведений о *свойствах* заданного полупроводника, которые представлены в литературе обычно более подробно. Эти данные должны составлять *не более 25–30%* от объема литобзора. В то же время информация о *способах управления* наиболее важными *свойствами* полупроводника (такими, как тип проводимости, концентрация и подвижность носителей заряда и, следовательно, удельное сопротивление материала, оптические показатели и ряд других в зависимости от области использования полупроводника) должна быть представлена в объеме, достаточном для корректной разработки технологии и проведения материальных расчетов.

Именно скудность физико-химической и инженерно-технологической информации (как качественной, так и количественной) о свойствах материалов, а также параметрах реализации конкретных технологических процессов очень затрудняет проведение технологических расчетов и защиту курсовой работы.

**2.6.1. Поиск литературных сведений.** Поиск литературы начинается в библиотеке университета и обязательно предусматривает работу в республиканских библиотеках, таких, как Национальная библиотека Республики Беларусь (пр. Независимости, 116, ст. м. «Восток»), Центральная научная библиотека им. Я.Коласа при Национальной Академии наук Республики Беларусь (ул. Сурганова, 15, ст. м. «Академия наук»), Республиканская научно-техническая библиотека (пр. Победителей 7, ст. м. «Немига») и других, которые обладают расширенным фондом литературы различных видов издания по заданной тематике.

При поиске *книжных изданий* следует на начальном этапе пользоваться *алфавитно-предметным* и *систематическим* указателем, опираясь на ключевые слова, соответствующие теме, содержанию работы. В последующем, когда круг источников расширится за счет библиографических списков обнаруженных тематических изданий, можно использовать *алфавитный* указатель для нахождения изданий с известными выходными данными (автор, название, место и год издания).

При поиске *периодических изданий* (научных статей, тезисов докладов) можно воспользоваться реферативными журналами (общими: например журналом «Химия», «Физика», или тематическими: например журналом 23 Г «Материалы для электроники»). Последний доступен для работы в научном читальном зале библиотеки БГТУ. Удобство работы с реферативными журналами обусловлено наличием в них предметных, авторских, формульных и других указателей, которые значительно экономят время поиска. Кроме того, эти издания реферируют сообщения, выходящие в наиболее значительных научных изданиях всего мира, что позволяет отследить новейшие тенденции развития науки и техники по заданной проблеме. При работе с рефератами не следует ограничиваться знакомством только с краткой реферативной информацией, которая, как правило, не содержит необходимых количественных научных и технологических сведений. Целесообразно изучать доступные материалы статей и тезисов докладов на

конференциях в полном объеме (в оригинале). Для этого следует обратиться к соответствующим источникам (периодическим тематическим журналам, материалам конференций и другим видам изданий). Необходимо сразу (то есть при первом обращении) внимательно пометать все сведения об источнике найденного реферативного сообщения (авторы, название статьи и журнала, год издания, том, номер, диапазон страниц (для статьи) или авторы, название сообщения и тематика конференции, место, время проведения, диапазон страниц (для тезисов)), чтобы правильно оформить соответствующие ссылки в списке использованных источников. Отсутствие необходимых сведений значительно увеличивает время для завершения курсовой работы на этапе составления списка использованных источников.

При поиске *патентных* данных наиболее эффективным является использование предметных указателей в соответствующих разделах науки, техники и производства. Ключевая информация в патентах и авторских свидетельствах приводится в формуле изобретения, где суть новшества излагается после слов «... *отличающийся тем, что* ...». Вместе с тем следует помнить, что патентное сообщение может содержать достаточно развернутую информацию не только о предлагаемом новшестве, но и о состоянии соответствующей проблемы в целом. То есть по возможности полезно изучать более полные описания патентов, а не только краткие сообщения.

При поиске данных в электронных средствах информации (*интернет-сообщения*) можно использовать поисковые системы предметного доступа (по ключевым словам). При этом следует учесть, что *Интернет* является мировой информационной системой и эффективность поиска необходимых сведений можно значительно повысить, если запрашиваемые ключевые слова указывать не только на русском, но и на английском языках. Среди возможных адресов интернет-поиска можно указать *google.com* (или *.ru* и другие), *rambler.ru*, *tut.by*.

**2.6.2. Структурирование литературного материала.** Способность грамотного структурирования излагаемых данных в значительной степени отражает уровень анализа автором собранной информации и владения ею. Достаточно разветвленная структура изложения (рис. 1.2) позволяет более свободно ориентироваться в записке, что помогает не только руководителю при проверке материала, но и исполнителю при подготовке к защите курсовой работы. Кроме того, предложенная структура записки без особых затрат времени и сил

может быть оценена читателем самого широкого диапазона естественнонаучной и инженерно-технической подготовки, что позволяет только по содержанию работы быстро проверить ее наполнение и соответствие заданию.

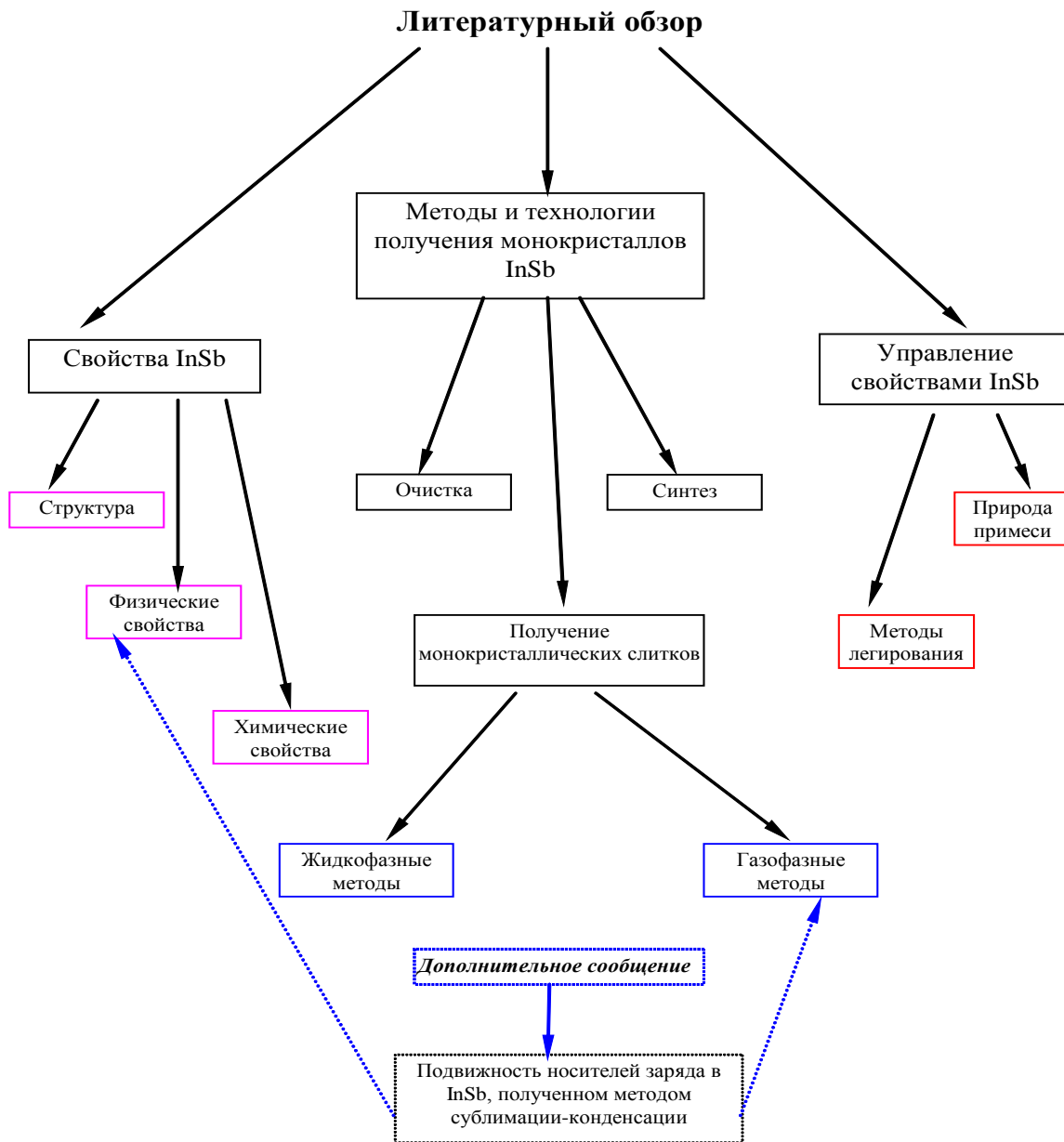


Рис. 2.1. Пример схемы литературного обзора

Структурирование предлагаемого материала призвано выделить отличительные части изложения, поэтому наименование отдельных

разделов и подразделов не должно содержать большого числа общих терминов и характеристик. Необходимо, чтобы информация, представленная в разделе или подразделе, полностью соответствовала их названию и в достаточной мере раскрывала содержание информации, обозначенной в этом названии.

Первоначальную информацию о структуре обзора студент получает из задания. Однако не следует воспринимать перечень вопросов, необходимых для освещения, как жестко заданную цепочку их изложения. Сведения, указанные в задании, обязательно должны быть представлены в записке (они позволяют принять обоснованные инженерные решения), но порядок их изложения и объединения в отдельные разделы и подразделы может свободно варьироваться по усмотрению исполнителя курсовой работы в рамках *основательно продуманной* им схемы (последовательности) представления материала. Напомним, что структура записки в целом (раздел 1.3) достаточно жестко определяется заданием по курсовой работе.

Наиболее распространенной ошибкой студентов при составлении и структурировании литературного обзора является ориентация на определенные источники сведений (например, наиболее содержательные учебники и монографии), а не на обоснованную схему раздела или подраздела. Таким исполнителям редко удается избежать повторов информации (в том числе аналогичных иллюстраций), непоследовательного изложения и пробелов в сведениях (например, сведения о выращивании кристалла приведены подробно, а информация об условиях синтеза соединения отсутствует).

Особенно внимательно следует вносить дополнения по тексту, которые обычно появляются при отыскании новых источников информации. На этапе выполнения литературного поиска и составления обзора полезно использовать рабочую графическую схему данного раздела (с указанием всех подразделов и пунктов), что позволяет быстро и уместно включать дополнительные сообщения в соответствующие подразделы подготовленной основы обзора (рис. 2.1).

**2.6.3. Стиль изложения.** При выполнении работы очень важными являются выработка и совершенствование *научно-технического стиля* представления материала, что составляет неотъемлемую часть подготовки инженерно-технических кадров. Изложение собранной информации должно быть четким, логичным, с использованием общепринятой научно-технической терминологии. В аналитическом обзоре

не допускается *дословное цитирование* использованных источников в значительных объемах (особенно многократное преимущественное цитирование ограниченного числа изданий). Все сведения, содержащие количественные характеристики материала и технологических процессов, отличительные особенности, оригинальные методики и технологические приемы, схемы реализации процессов, должны приводиться со ссылками на использованный источник. Отсутствие ссылок присваивает исполнителю представленного обзора авторство указанных данных и влечет за собой соответствующую ответственность за достоверность таких сведений.

Значительные затруднения у студентов вызывает сопряжение новых оригинальных исследовательских данных и сведений из книжных изданий, поскольку зачастую стиль, научный уровень изложения и терминология в учебных инженерно-технологических и научных источниках несколько отличается. В связи с этим уместно напомнить, что курсовая работа призвана отразить достигнутый уровень развития исследуемой проблемы в интерпретации студента согласно его способностям и навыкам на текущем этапе обучения. Системно-аналитический подход к работе с литературой, начиная с самого первого этапа выполнения задания, позволяет подготовить обзор, выдержанный в едином научно-техническом стиле.

В данном издании предлагается ряд конкретных рекомендаций по изложению собранного материала в пояснительной записке. При отработке стиля желательно принять во внимание, что использование более простых синтаксических оборотов и предложений является предпочтительным, то есть фразы должны иметь точное, законченное и наиболее простое построение. Следует учитывать, что в научно-технической литературе приняты неопределенно-личностная и безличностная формы изложения информации, которые подчеркивают объективный характер явлений, процессов и действий. В связи с этим в тексте, как правило, не употребляется изложение от первого лица (пример 1, табл. 2.1).

При описании процессов, происходящих в материалах, устройствах или установках, а также при пояснении производимых расчетов не следует смешивать в одной фразе глагольную форму настоящего времени с формой прошедшего или будущего времени, а также форму совершенного вида с несовершенным (пример 2, табл. 2.1). Также не следует злоупотреблять страдательным залогом, так как он утяжеляет

речь (пример 3, табл. 2.1). Эта форма изложения уместна в предложениях, где нет указания на действующее лицо (пример 4, табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Примеры рекомендаций по стилю изложения материала**

№ примера	Не рекомендуемый оборот	Рекомендуемый оборот
1.	<i>Приводим</i> примеры ...	<u>Приведены</u> примеры...
	<i>Рассмотрел</i> процессы ...	<u>Рассмотрены</u> процессы ...
2.	Материал <i>является</i> широкозонным, и поэтому его <i>используют</i> в коротковолновой области спектра.	Материал <u>является</u> широкозонным и поэтому <u>используется</u> в коротковолновой области спектра.
3.	Исследованиями <i>было подтверждено</i> ...	Исследования <u>подтвердили</u> ...
4.	<i>Технологию усовершенствовали</i> с помощью ...	<u>Технология</u> <u>была усовершенствована</u> с помощью ...
5.	Затравка <i>обрабатывается</i> на шлифовальном станке ...	Затравку <u>обрабатывают</u> на шлифовальном станке ...
6.	<i>Увеличение скорости</i> выращивания кристалла <i>осуществляется</i> за счет ... В разделе <i>осуществляется обоснование</i> инженерных решений.	<u>Скорость</u> выращивания кристалла <u>увеличивают</u> за счет ... В разделе <u>обосновываются</u> инженерные решения.
7.	В кристаллической решетке <i>имеются</i> примеси. Примеси <i>бывают</i> донорные и акцепторные.	В кристаллическую решетку <u>встраиваются</u> примеси. Примеси <u>делятся</u> на донорные и акцепторные.
8.	Реальная программа выпуска <i>определяется по формуле</i> $P_p = P_3 \cdot K_{бр} \cdot K_p$ . Расплавленный галлий взаимодействует с кварцем <i>по реакции</i> $4Ga + SiO_2 = Si + 2Ga_2O$ .	Реальная программа выпуска $P_p = P_3 \cdot K_{бр} \cdot K_p$ . Расплавленный галлий взаимодействует с кварцем. $4Ga + SiO_2 = Si + 2Ga_2O$ .
9.	Возможно одновременное нанесение пленок толщиной <i>пять мкм</i> на <i>3 подложках</i> . Технологический цикл включает <i>двадцать</i> операций.	Возможно одновременное нанесение пленок толщиной <u>5 мкм</u> на <u>трех</u> подложках. Технологический цикл включает <u>12</u> операций.
10.	Подвижность носителей может составлять $12 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , $14 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ , $15 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Скорость выращивания изменяется от $0,5 \text{ мм/мин}$ до $2 \text{ мм/мин}$ .	Подвижность носителей может составлять $12, 14, 15 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Скорость выращивания изменяется от $0,5$ до $2 \text{ мм/мин}$ .
11.	В [7] установлено, что получение твер-	Установлено [7], что получение

дого раствора  $Pb_xSn_{1-x}Te$  ...

Пленки GaAs могут быть получены методом, изложенным в [10].

твердого раствора  $Pb_xSn_{1-x}Te$  ...

Пленки GaAs могут быть получены методом жидкофазной эпитаксии [10].

При описании технологических процессов и операций нужно аккуратно пользоваться возвратными глаголами, которые в общем случае указывают на самопроизвольность происходящего, что зачастую не соответствует действительности (пример 5, табл. 2.1). Не рекомендуется применять вместо одного глагола сложное сочетание отглагольного существительного с глаголами вида «осуществлять», «производить», «оказывать» и т. д. (пример 6, табл. 2.1). Следует стараться избегать частого употребления словосочетаний и глаголов, имеющих неконкретный смысл таких, как «имеет место», «имеется», «предусмотрены», «бывают» и т.д. Вместо них предпочтительно использовать слова и обороты с более конкретным значением по контексту (пример 7, табл. 2.1).

Достаточно часто в обзоре и последующих частях записки приводятся формулы и уравнения химических реакций. Предложения с такой информацией следует строить так, чтобы слова, символы, знаки формулы или уравнения составляли грамматически правильную конструкцию с законченным смыслом, иными словами, знак «=», например, должен являться членом предложения (пример 8, табл. 2.1).

**2.6.4. Подбор иллюстраций.** Неотъемлемой частью хорошего литературного обзора являются правильно подобранные и оформленные иллюстрации. При анализе обрабатываемой литературы рекомендуется обращать внимание на графические зависимости, диаграммы, схемы объектов, процессов и аппаратов, то есть иллюстративные данные, которые в значительной степени упрощают систематическое восприятие информации, позволяют экономить объем и просто украшают записку. В рамках курсовой работы по курсу «Технология полупроводников» в качестве иллюстративного материала желательно использование данные о:

- зонной и кристаллической структуре полупроводника;
- диаграмме плавкости соответствующей системы;
- зависимости основных физико-химических свойств от внешних (температуры, давления, излучения и других) и внутренних (примесной и собственной дефектности, кристаллографической ориентации, химического состава (например, для твердых растворов) и других) факторов;



- схемах реализации рассматриваемых методов подготовки исходных компонентов и получения заданных материалов;
- устройстве основных аппаратов для приводимых процессов.

Указанные данные позволяют определиться при выборе конкретных параметров разрабатываемой технологии получения заданного полупроводника в зависимости от лимитирующих факторов. Среди таких параметров – температуры плавления соответствующих компонентов, давления насыщенных паров определенных веществ в заданных условиях, технологические параметры отдельных операций (температура, продолжительность, составы рабочих сред и атмосфер) и другие сведения.

## 2.7. Инженерные решения

Данный раздел содержит краткое, но подробно обоснованное описание принятых инженерно-технологических решений, составивших базис для разработки технологического маршрута получения полупроводника в соответствии с требованиями задания.

Среди таких основных решений следует указать причины выбора и охарактеризовать следующие позиции:

- 1) блок-схему технологии (например, цикл «очистка – синтез – выращивание» или «синтез – очистка – выращивание»);
- 2) исходные вещества и их очистку;
- 3) метод и условия синтеза полупроводника;
- 4) метод и условия выращивания монокристалла (с обязательным указанием соответствующей группы методов (учитывая заданную программу, свойства и геометрию полупроводникового продукта), скорости роста, максимальной температуры, рабочего давления и состава атмосферы, времени цикла, тигельного или контейнерного материала и других параметров);
- 5) природу легирующей примеси и лигатуры, метод легирования или обеспечения заданного уровня и типа проводимости полупроводника.

Данный раздел отражает суть и творческий уровень проделанной технологической работы. Поэтому он тщательно проверяется и практически полностью используется в докладе при защите курсовой работы. Раздел имеет небольшой объем (1–3 страницы). Тем не менее при его выполнении очень важно не допустить ухудшения стиля из-

ложения до уровня разрозненных обрывочных фраз. Этот раздел в большей мере, чем другие, позволяет судить о самостоятельности работы, сделанной и представленной студентом.

## 2.8. Технологический раздел

Данный раздел состоит из трех основных частей:

- 1) **описания технологической схемы** производства заданного материала или структур;
- 2) **технологических расчетов**, необходимых для определения *норм расхода* исходных компонентов и *количества единиц* соответствующего *оборудования*, обеспечивающих выполнение заданной программы выпуска продукции;
- 3) **подбора и описания основного аппарата** (и других приспособлений, например тигля, подложкодержателя и т. д.).

Напомним, что данная курсовая работа в качестве объекта технологии предусматривает получение монокристаллического полупроводника заданных свойств и состава либо в виде *слитка*, либо в виде *пленки* определенной геометрии. При выполнении предыдущих разделов и частей записки специфика конкретного объекта мало влияла на характер проводимой работы. Заметные различия характерны именно для технологического раздела.

**2.8.1. Разработка и описание технологической схемы.** Отличительной трудностью данной технологической работы в сравнении с курсовой работой, выполняемой на V курсе в рамках дисциплины «Химическая технология материалов электронной техники», является то, что при разработке технологической схемы получения заданного полупроводникового материала студент в большинстве случаев не имеет возможности ориентироваться на какие-либо типовые маршруты или производственные данные, поскольку в литературе крайне редко приводятся такие сведения в полном объеме, а промышленные производства объемных монокристаллических полупроводников в Республике Беларусь отсутствуют. Поэтому разработка единой технологической схемы на основании принятых инженерных решений составляет серьезную творческую инженерно-технологическую задачу. Примерный маршрут получения материала можно разбить на ряд операционных блоков (рис. 2.2) в зависимости от типа конечного продукта технологии (слиток или пленка). Информация об отдельных этапах

или блоках производства полупроводников достаточно широко представлена в учебной и научно-технической литературе. Определившись по основным процессам, не следует забывать о важных промежуточных операциях, таких, как промывка, сушка, взвешивание, контроль и тому подобные.



Рис. 2. 2. Блок-схемы маршрутов производства полупроводников

Описание разработанной технологической схемы представляется в виде пооперационного маршрута (приложение 3), отражающего последовательность и основные параметры осуществляемых операций

(среди которых продолжительность, температура, состав рабочих сред и атмосфер, давление, соответствующие скорости и т. д.). Удобно при изложении маршрута сохранять объединение ряда операций в блоки. Это не является обязательным, но широко используется, в том числе в производственных технологических картах многооперационных маршрутов.

При описании технологической схемы номер присваивается каждой операции, которая осуществляется в отдельном аппарате. Если ряд операций проводится в одном аппарате (например, травление и промывка), то под одним номером указываются все необходимые параметры (для каждой операции с отдельной строки). Название операций дается в форме существительных, а не глагольных инфинитивов. Нумерация операций в записке должна соответствовать аппаратурно-технологической схеме, представляемой в качестве графического материала на формате А4.

**2.8.2. Технологические и материальные расчеты основного аппарата.** Структура данного подраздела отличается для вариантов получения слитка или пленки (рис. 2.3). Аналогичные для двух вариантов работы пункты расчета на схеме приведены по центру строки. Из рисунка 2.3 видно, что расчет по слиткам включает большее число этапов. Однако уместно заметить, что эти расчеты осуществляются по типовым методикам, достаточно подробно представленным в учебной литературе. Расчеты же по пленкам в целом являются не многим менее объемными, но вместе с тем зачастую проводятся по оригинальным методикам, которые требуют творческого подхода и со стороны руководителя, и со стороны студента. При выполнении расчетов студент может руководствоваться схемой (рис. 2.3), приведенными ниже методическими рекомендациями (с учетом варианта курсовой работы и наличием в конкретной работе соответствующих этапов расчета), а также литературными данными соответствующего профиля, в том числе из списка рекомендуемой литературы.

**2.8.2.1. Исходные данные.** Исходные данные принимаются на основе сведений, представленных в литературном обзоре, и обязательно приводятся в начале подраздела, включающего технологические расчеты. При этом следует указывать источники используемых сведений, если ссылки не были приведены в предыдущих разделах записки.

В исходных данных указываются:

- программа выпуска продукции (для слитков – масса продукта (кг), для пленок – число пластин (шт));
- удельное сопротивление и тип проводимости для получаемого (годного) полупроводника;

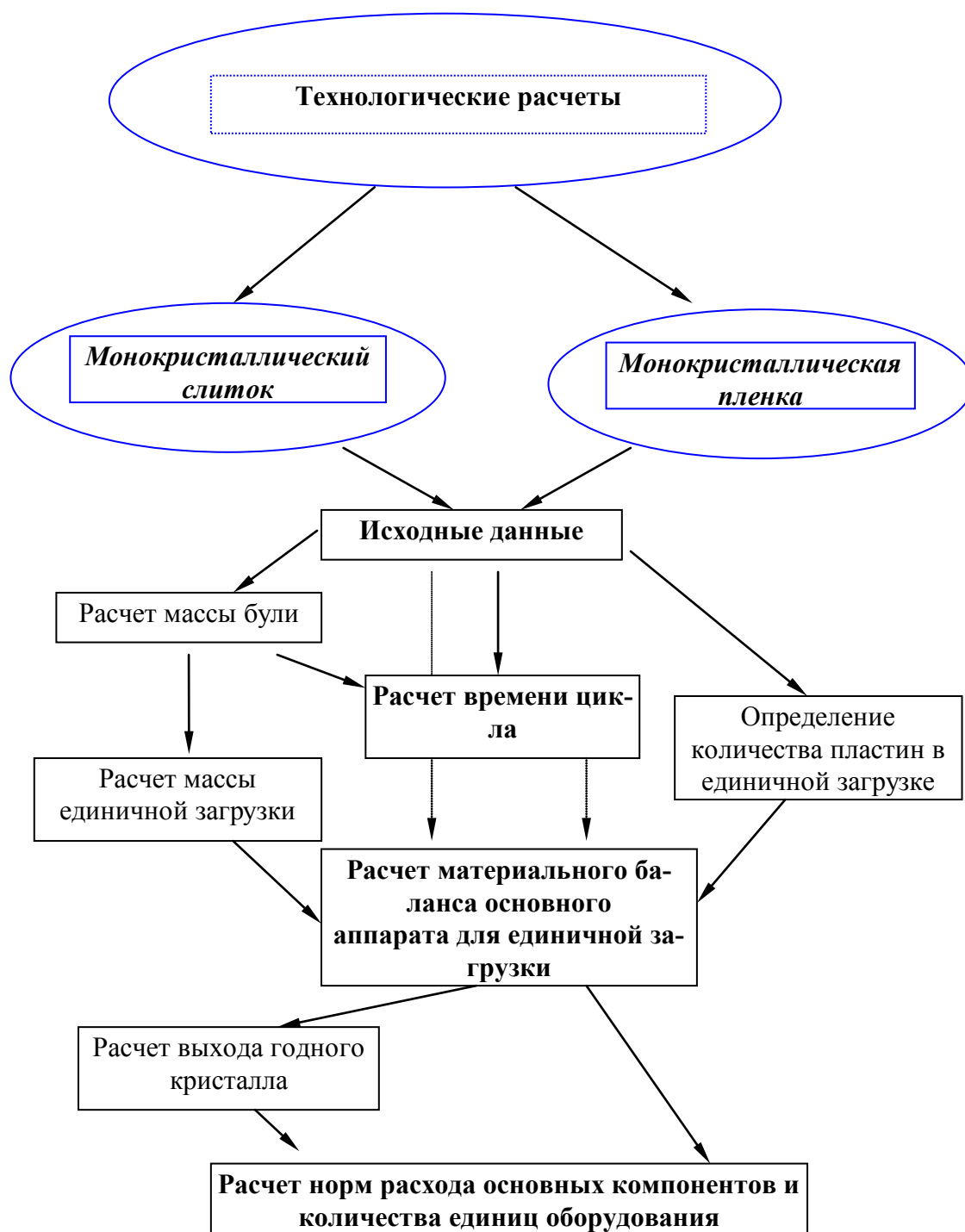


Рис. 2.3. Блок-схема технологических расчетов для слитка или пленки

- геометрические размеры монокристаллического продукта;
- температура плавления полупроводника;

- плотность полупроводника в твердом (и расплавленном (для жидкофазных методов)) состоянии;
- тип проводимости и концентрацию носителей заряда в полупроводнике, поступающем на выращивание монокристалла или в легированном полупроводнике;
- подвижность носителей заряда (принятая для расчетов);
- природа и коэффициент распределения активной примеси (при ее введении в ходе выращивания кристалла);
- природа основных исходных веществ и класс их чистоты;
- природа лигатуры (в соответствующих случаях концентрация примеси в ней);
- природа и параметры вспомогательных материалов (например, природа флюса, растворителя или газа-носителя, высота расплавленного слоя флюса и др.);
- условия роста полупроводникового кристалла (скорость, рабочие температура, атмосфера, давление и другие технологические параметры).

**2.8.2.2. Расчет массы були.** В этой части расчетов изначально следует учитывать метод выращивания монокристаллического полупроводника. Крупные слитки получают, как известно, из *жидкой фазы* методами *нормальной направленной кристаллизации, вытягивания из расплава* и *зонной плавки* (в редких случаях). Слитки менее крупные, достаточно чистые, можно формировать из *газовой фазы* наиболее простым методом *сублимации-конденсации*.

В методах нормальной направленной кристаллизации (*метод Бриджмена – Стокбаргера*) масса закристаллизовавшегося расплава совпадает с массой исходного расплава. Буля в этом случае включает основную часть, которая определяется заданными геометрическими размерами монокристалла, и начальную заостренную часть, обеспечивающую рост единственного кристалла при охлаждении расплава. Поскольку метод тигельный, то геометрия кристалла повторяет геометрию тигля.

В методах вытягивания из расплава (*метод Чохральского*) при расчете массы були необходимо учесть наличие таких частей, как шейка, конус разращивания, кристалл номинального диаметра, конус отрыва. Для расчетов необходимо задаться размерами затравки (обычно она представляет собой куб со стороной 5–20 мм) и оценить объем основных частей були исходя из принятых углов разращивания

и отрыва, значений длины шейки и цилиндрической части слитка. Найденные величины сводятся в таблицу, аналогичную табл. 2.2.

В методах зонной плавки (*метод Пфанна*) масса були равна массе исходного твердофазного полупроводника (в виде поликристаллического стержня или порошка).

Таблица 2.2

**Состав и параметры були**

Часть монокристалла	Длина, см	Масса, г	Содержание, %
1. Заправка			
2. Шейка			
3. Конус разращивания			
4. Кристалл номинального диаметра			
5. Конус отрыва			
<i>Итого</i>			
<i>г0</i>			

**2.8.2.3. Расчет времени цикла выращивания монокристалла.**

Продолжительность основной технологической операции включает ряд составляющих, которые отличаются для выращивания слитка и формирования пленки.

Время цикла выращивания монокристаллического слитка из жидкой фазы приведено на примере наиболее распространенного в производственных технологиях метода Чохральского. Это время складывается из следующих составляющих:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{з}} + \tau_{\text{от}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{оп}} + \tau_{\text{ш}} + \tau_{\text{кр}} + \tau_{\text{ц}} + \tau_{\text{ко}} + \tau_{\text{ох}} + \tau_{\text{в}}, \quad (2.1)$$

где  $\tau_{\text{з}}$  – время, необходимое для загрузки оборудования (от 10-30 мин с собранным тепловым узлом до 2-3 часов при сборке узла);

$\tau_{\text{от}}$  – время, необходимое для откачки установки выращивания монокристалла и создания рабочей атмосферы (для откачки 1–3 часа в зависимости от объема установки и степени откачки и 15–30 мин для наполнения рабочим газом (возможно увеличение времени заполнения при работе в режиме высокого давления));

$\tau_{\text{н}}$  – время, необходимое для нагревания и расплавления исходной загрузки. В расчетах следует учесть, что нагревание и расплавление исходной загрузки проводят в три-пять этапов, постоянно уменьшая скорость нагрева от 10–5°C/мин до 5–1°C/мин. Аналогично проводится охлаждение кристалла и расплава при соответствующем увеличении скорости охлаждения от 5–3°C/мин до 2–0,5°C/мин. Количество



этапов и скорость изменения температуры определяются температурой плавления полупроводника, техническими возможностями конкретной установки, жесткостью требований по дефектности кристалла. Максимальная температура нагрева определяется величиной перегрева, которая составляет 20–50°C. Результаты расчетов представляются в виде таблицы, аналогичной табл. 2.3;

$\tau_{оп}$  – время, необходимое для оплавления затравки и затравливания кристалла (оплавление требует 15–30 мин в зависимости от размеров затравки, затравливание может происходить от 10–15 минут до 1–1,5 ч в зависимости от особенностей процесса);

$\tau_{ш}$  – время, затрачиваемое на выращивание шейки (линейная скорость выращивания шейки в 2–5 раз превышает скорость роста кристалла номинального диаметра. На практике такую скорость обеспечивают регулированием теплообмена на фронте кристаллизации, а не режима механического перемещения кристаллодержателя);

$\tau_{кр}$  – время, затрачиваемое на выращивание конуса разращивания (скорость разращивания уменьшается от скорости вытягивания шейки до скорости роста номинального кристалла);

$\tau_{ц}$  – время, затрачиваемое на выращивание цилиндрической части кристалла номинального диаметра;

$\tau_{ко}$  – время, затрачиваемое на выращивание конуса отрыва (средняя скорость имеет промежуточное значение между скоростью вытягивания шейки и средней скоростью разращивания);

$\tau_{ох}$  – время, необходимое для охлаждения кристалла и расплава;

$\tau_{в}$  – время, затрачиваемое на выгрузку продукта.

Таблица 2.3

**Режим нагрева (охлаждения) загрузки**

Этап	Диапазон температур, °С	Скорость нагрева (охлаждения), °С/мин	Время на нагрев (охлаждение), ч
1			
2			
и т. д.			

Данные расчета времени цикла выращивания монокристалла сводятся в таблицу, аналогичную табл. 2.4. На основании проведенных расчетов представляется температурная кривая в виде зависимости  $T=f(\tau)$ , которая отражает изменение температуры кристаллизации

онной системы в ходе выращивания монокристалла.

Таблица 2.4

**Этапы цикла выращивания монокристаллического слитка**

Операция цикла выращивания	Продолжительность, ч	% от $\tau_{ц}$
1. Загрузка оборудования	0,25	0,47
2. Откачка и заполнение рабочим газом установки	3	5,68
3. Нагревание и расплавление исходной загрузки	9,8	18,54
4. Оплавление затравки и затравливание кристалла	0,5	0,95
5. Выращивание шейки	0,23	0,44
6. Выращивание конуса выращивания	0,23	0,44
7. Выращивание кристалла номинального диаметра	16,67	31,54
8. Выращивание конуса отрыва	0,09	0,17
9. Охлаждение кристалла и расплава	20,25	38,31
10. Выгрузка	1,83	3,46
<i>Итого</i>	<b>52,85</b>	<b>100</b>

Таблица 2.5

**Этапы цикла выращивания монокристаллической пленки**

Операция цикла эпитаксиального наращивания	Продолжительность, мин	% от $\tau_{ц}$
1. Загрузка пластин	5	8,26
2. Герметизация установки	1	1,65
3. Откачка рабочего объема	1	1,65
4. Продувка $N_2$	1,5	2,48
5. Продувка $H_2$	2	3,31
6. Нагрев	11	18,18
7. Травление пластин HCl	0,5	0,83
8. Отжиг пластин	1	1,65
9. Наращивание	15	24,79
10. Отжиг пластин	1	1,65
11. Охлаждение	15	24,79
12. Продувка $N_2$	0,5	0,83
13. Разгерметизация установки	1	1,65
14. Выгрузка пластин	5	8,26
<i>Итого</i>	<b>60,5</b>	<b>100</b>

Для процессов получения *пленок* технологический цикл выращивания монокристаллического слоя складывается из ряда специфических этапов. В качестве примера (табл. 2.5) нами приведена итоговая таблица расчета времени цикла получения эпитаксиальной пленки кремния с помощью газофазного хлоридного метода.

**2.8.2.4. Расчет единичной загрузки.** В этой части необходимо определиться с единичной загрузкой в основном аппарате получения заданного материала.

В технологии *пленок* загрузка фактически представляет число пластин, одновременно обрабатываемых в основном аппарате, и определяется возможностями используемого оборудования.

При получении *слитков* на данном этапе производится расчет массы всех компонентов, загружаемых в аппарат (или конкретнее, например, в тигель). Расчет проводится по следующим позициям:

а) расчет *массы полупроводника* (или простых компонентов, если синтез соединения и выращивание монокристалла совмещается в одном аппарате). При этом учитывается масса булы, избыток расплава, покрывающий потери компонентов за счет возможного испарения, химического взаимодействия, технологических потерь, а также избыток, необходимый для обеспечения заданного распределения концентрации активной примеси в кристалле. Этот избыток обычно составляет от 10–20 до 100%. При заданном уровне отклонений удельного сопротивления по длине кристалла на уровне  $\pm 20$ –25% рекомендуемый избыток загрузки в сравнении с булей составляет 20–60% в зависимости от величины эффективного коэффициента распределения  $K$  (чем дальше значение  $K$  от единицы, тем больше избыток расплава). Фактический выход годного кристалла оценивается в заключительной части работы (см. пункт 2.8.2.6);

б) расчет *массы лигатуры*. Концентрация носителей заряда в кристалле определяется исходя из заданного удельного сопротивления. При расчете концентрации и природы вводимой активной примеси следует исходить из концентрации носителей заряда в материале, поступающем на выращивание кристалла, или из концентрации носителей заряда в нелегированном кристалле, получаемом данным способом. Далее проводят расчеты долегирирования кристалла или компенсации соответствующих примесей. Для расчета содержания примеси в кристалле используется или эффективный, или обобщенный (для летучей примеси при выращивании без герметизации расплава) коэффи-

коэффициент распределения вводимой примеси. Расчеты количества лигатуры проводят с учетом содержания примеси в ней (на уровне 0,001–0,0001 %) или из стехиометрических соотношений (при использовании в качестве лигатуры химических соединений);

в) расчет *вспомогательных компонентов*. Включается расчет массы флюса или других дополнительных компонентов, загружаемых в тигель. При расчете массы флюса исходят из высоты герметизирующего слоя расплава флюса в тигле.

**2.8.2.5. Расчет материального баланса процесса кристаллизации по основным компонентам.** При выполнении этой очень важной части записки следует четко понимать особенности расчетов для различных вариантов конечного продукта (*слиток* или *пленка*) и метода выращивания кристалла (*газофазный* или *жидкофазный*). В любом случае в результате расчетов необходимо свести материальный баланс по всем элементам кристаллизационной системы, что требует достаточно глубокого понимания происходящих физико-химических процессов и наличия навыков проведения материально-технологических расчетов. Теоретические сведения и методика проведения необходимых расчетов подробно изучаются на лекционных и практических занятиях по дисциплине «Технология полупроводников», а также дополнительно обсуждаются на аудиторных и индивидуальных консультациях. Данные проведенных расчетов представляют в виде таблицы, аналогичной табл. 1–3 (приложение 4), в зависимости от варианта работы. Все материальные расчеты, необходимые для заполнения соответствующей таблицы, подробно поясняются по тексту и приводятся перед таблицей.

В качестве примеров итоговых таблиц материального баланса в приложении 4 приведены результаты расчетов для трех вариантов:

1) получение слитка полупроводника на основе бинарного соединения (GaSb) с использованием лигатуры в виде высоколегированного заданной примесью (Te с коэффициентом распределения 0,4) полупроводника той же природы (табл. 2.6);

2) получение нелегированного монокристаллического слитка полупроводника на основе твердого раствора системы  $Pb_xSn_{1-x}Te$  из твердого раствора отличного состава (табл. 2.7);

3) получение эпитаксиальной пленки Si, легированной P, из дихлорсилана (источник Si) и фосфина (источник P) (табл. 2.8).

**2.8.2.6. Расчет выхода годного продукта.** В данной части определяется выход годного продукта на основании литературных (например, процент брака по операции) или расчетных (например, распределение примеси по длине кристалла) сведений.

Для случая получения *слитков из жидкой фазы* проводится расчет и представляется график распределения вводимой активной примеси и удельного сопротивления по длине цилиндрической части монокристалла (минимально для 10 точек). При этом используются зависимости изменения концентрации примеси в расплаве при кристаллизации в следующем виде:

для метода Бриджмена или Чохральского

$$C_{\text{ж}} = C_{\text{ж}}^0 (1 - g)^{K-1}, \quad (2.2)$$

где  $C_{\text{ж}}$  – текущая концентрация примеси в расплаве, шт/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{ж}}^0$  – исходная концентрация примеси в расплаве, шт/м<sup>3</sup>;

$g$  – доля закристаллизовавшегося расплава;

$K$  – эффективный (или обобщенный) коэффициент распределения примеси;

для метода зонной плавки

$$C_{\text{ж}} = C_{\text{т}}^0 \cdot \frac{1 - K - e^{-\frac{Kx}{l}}}{K} \quad (2.3)$$

где  $C_{\text{т}}^0$  – исходная концентрация примеси в источнике, шт/м<sup>3</sup>;

$x$  – текущая координата расплавленной зоны, м;

$l$  – длина расплавленной зоны, м.

Возможное испарение летучей примеси учитывается использованием обобщенного коэффициента распределения в вышеприведенных формулах. Выход годной части кристалла по буле  $P_6$  и по цилиндрической части  $P_{\text{ц}}$  определяется графически (рис. 2.4) или аналитически по формулам (2.2) или (2.3).

Для пленок или твердых растворов количественные расчеты по оценке распределения примеси или изменения состава твердого раствора по длине продукта вызывают затруднения из-за отсутствия единообразных теоретических моделей. Поэтому выход годного продукта для таких систем либо принимается по литературным сведениям, либо оценивается по найденным в литературе эмпирическим зависимостям изменения состава кристалла по его длине.

**2.8.2.7. Расчет скорости производства и коэффициента загрузки оборудования.** В данном разделе определяется *количество ап-*

паратов, необходимых для обеспечения заданной программы выпуска продукта и коэффициент загрузки этих аппаратов, который в ритмичном производстве должен составлять не менее 80%.

Необходимо рассчитать две скорости производства: программную и технологическую.

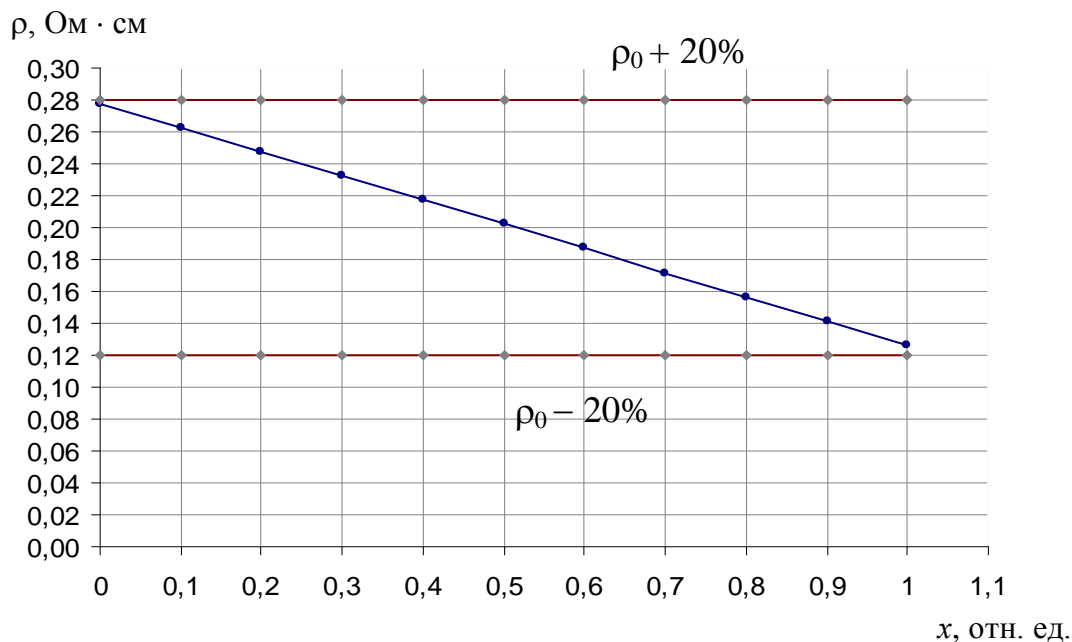


Рис. 2.4. Графическое определение выхода годного монокристалла для случая  $\rho_0 = 0,2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Программная скорость в любом варианте работы

$$V_{\text{пр}} = \Pi_{\text{р}} / T_{\text{эф}}, \quad (2.4)$$

где  $\Pi_{\text{р}}$  – реальная программа выпуска, кг или шт/год;

$T_{\text{эф}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования (с учетом сменности, простоев на текущий и плановый ремонт, выходных и праздничных дней (для периодического режима)).

Для слитков

$$\Pi_{\text{р}} = \Pi_{\text{з}} \cdot K_{\text{бр}} \cdot K_{\text{пот}} \cdot P_{\text{б}}, \quad (2.5)$$

где  $\Pi_{\text{з}}$  – заданная программа выпуска, кг или шт/год;

$K_{\text{бр}}$  – коэффициент брака (учитывается брак, не связанный с распределением примеси, и может быть принят около 5–15%);

$K_{\text{пот}}$  – коэффициент технологических потерь (потери могут быть приняты на уровне 5–10%).

Для пленок для  $\Pi_{\text{р}}$  используется выражение, аналогичное 2.5, без

множителя  $P_6$  и с возможными корректировками брака и потерь.

Технологическая скорость

$$V_{\text{тех}} = N_{\text{тех}} / \tau_{\text{ц}}, \quad (2.6)$$

где  $N_{\text{тех}}$  – объем продукции в одном цикле, то есть масса були для слитков или количество обработанных пластин для пленок.

Если оказалось, что  $V_{\text{пр}} < V_{\text{тех}}$ , значит, для выполнения программы достаточно одной установки. Тогда коэффициент загрузки оборудования  $K_3$  равен отношению этих скоростей.

Если  $V_{\text{пр}} > V_{\text{тех}}$ , то число установок определяется отношением  $V_{\text{пр}}/V_{\text{тех}}$  при округлении до большего целого числа. В этом случае  $K_3$  численно совпадает с отношением точного числа установок к принятому их целочисленному количеству.

Количество циклов, необходимых за год,

$$Z = \Pi_p / N_{\text{тех}} \quad (2.7)$$

**2.8.2.8. Расчет расхода основных исходных компонентов на заданную программу выпуска.** Здесь определяется количество исходных компонентов (простых веществ, соединений – источников монокристаллического полупроводника, лигатуры, затравочного материала, флюса и других), необходимых для обеспечения заданного выпуска материала.

В данных расчетах следует учитывать возможность возврата негодной части продукции в технологический цикл. Так, например, в приближении полного использования оборотов (негодные части слитка, лепешки), брака по операции выращивания *слитков из жидкой фазы*, а также с учетом потерь на предшествовавших операциях  $K_{\text{пот}}^*$  при расчетах в качестве объема выпуска продукции можно принять величину

$$\Pi_p^* = \Pi_3 \cdot K_{\text{пот}} \cdot K_{\text{пот}}^*. \quad (2.8)$$

Количество лигатуры и затравочного материала определяется исходя из общего числа выращиваемых слитков. Для легирующих примесей учитывается коэффициент использования лигатуры

$$K_{\text{лиг}} = \frac{m_{\text{ост}}}{m_3}, \quad (2.9)$$

где  $m_{\text{ост}}$  – масса примеси в остатке расплава;

$m_3$  – масса примеси в исходной загрузке.

Этот коэффициент учитывает возможность использования лепешки в последующих технологических циклах в качестве источника легирующей примеси.

По результатам расчетов составляется таблица, аналогичная табл. 2.9, представляющая потребности в основных исходных компонентах для выполнения заданной программы выпуска продукции, а также нормы расхода исходных компонентов на единицу продукции, то есть на 1 кг годного кристалла или на 1 пластину.

Таблица 2.9

**Расход основных исходных компонентов для производства слитков фосфида галлия**

Исходный материал	Масса поставок на 400 кг годного продукта, кг	Норма расхода, кг/кг
1. Ga	334,83	0,837
2. P	148,84	0,372
3. GaP+0.001 % Те (лигатура)	0,435	0,001088
4. В <sub>2</sub> О <sub>3</sub> (флюс)	97,345	0,2434
5. GaP (затравочный кристалл)	3,277	0,0082

**2.8.3. Подбор и описание основного аппарата.** В этой части необходимо обоснованно выбрать аппарат, необходимый для получения монокристаллического полупроводникового продукта, привести его рисунок и описание устройства и принципа работы данного оборудования. Кроме того, приводятся сведения о материалах и конструкциях вспомогательных приспособлений.

В частности, при получении слитков из жидкой фазы необходимо не только подобрать материал, форму тигля, но и оценить его размеры. Объем тигля обычно на 20–40% превышает объем помещаемого в него расплава. Необходимо подобрать тигель с оптимальным диаметром и высотой. Расстояние от растущего монокристалла до стенок тигля выбирается по инженерно-техническим соображениям с тем, чтобы обеспечить необходимый тепловой режим в кристаллизационной системе. Это расстояние должно составлять около половины диаметра растущего кристалла. После подсчета высоты тигля определяется отношение диаметра тигля к высоте, которое должно максимально приближаться к 1.

**2.9. Мероприятия по охране труда и окружающей среды**



Этот раздел должен включать общую экологическую характеристику выбранного вида производств с учетом принятых инженерных решений. Эти решения, кроме выполнения технологических задач по производству заданного материала, призваны способствовать снижению вредных воздействий разработанной технологии на работающих и окружающую среду.

При изложении вопросов охраны труда следует обратить внимание на токсичность и опасность конкретных физико-химических факторов, характерных для выбранного метода получения заданного материала. Мероприятия по охране окружающей среды, как правило, разрабатываются в направлениях защиты трех сред обитания живых существ: воды, воздуха и почвы.

## **2.10. Заключение**

Заключение содержит основные выводы по курсовой работе с указанием характеристики проделанной аналитической, инженерно-технологической и расчетной работы в виде конкретных сведений по предложенной технологии, а также в виде количественных характеристик реализации этой технологии, таких, как выход годной продукции, число единиц оборудования, нормы расхода исходных компонентов и другие.

## **2.11. Список использованных источников**

Список фактически представляет перечень цитируемой и анализируемой литературы, который оформляется в соответствии с требованиями СТП БГТУ 002-2007 (приложение 5). Требования к содержанию списка литературных источников и рекомендации для поиска этих источников обсуждены в подразделе 2.6, посвященном литературному обзору. Следует принимать во внимание, что составление списка использованных источников является достаточно длительной и кропотливой работой, которую трудно выполнить за короткий срок. Список собирается в течение всей работы над заданием. Оформление списка возможно при наличии всех необходимых выходных данных цитируемых изданий.

## **2.12. Приложения**

Приложения обычно содержат вспомогательный материал (таблицы данных, схемы, программы, экспликации и т. д.), который при размещении по тексту записки усложняет восприятие основного материала и оформление записки. В тексте записки обязательно приводят ссылки на все приложения.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

При оформлении курсовой работы следует строго руководствоваться требованиями СТП БГТУ 002-2007 и настоящими указаниями.

#### **3.1. Оформление текста пояснительной записки**

Перед оформлением текста записки следует внимательно изучить СТП 002-2007. Требования данного стандарта необходимо соблюдать на каждом этапе выполнения курсовой работы. Кроме того, полезно учитывать приведенные ниже наиболее распространенные нарушения правил оформления, которые студенты допускают в своих работах.

С *нового листа* выполняется только каждый раздел (но не подраздел и не пункт) курсовой работы, а также нумеруемые части пояснительной записки (реферат, содержание, введение, заключение, список использованных источников). Названия всех составных частей записки оформляются не прописными, а строчными (кроме первой прописной) буквами. Полужирным шрифтом выделяют только названия разделов и подразделов. При этом отличие при оформлении состоит в интервале между названием раздела или подраздела и текстом. Названия нельзя отрывать от текста. Пункты и подпункты от текста не отделяются. Все разделы, подразделы, пункты, подпункты должны быть пронумерованы.

Рамка и заполненная основная надпись приводятся только для *первых* страниц каждого раздела. Рамка заполняется *чертежным шрифтом*. Последующие страницы допускается приводить без надписи и рамки.

В текстах записки авторы часто используют аббревиатуры. Они должны быть введены при первом упоминании и далее использоваться

без расшифровки. Например, «... используются в производстве интегральных схем (ИС). Повышение степени интеграции ИС ...». Поэтому на заключительном этапе оформления записки следует тщательно проверить правильность употребления аббревиатурных слов в пределах всего текста.

Особое внимание следует обратить на *представление количественных данных* в тексте пояснительной записки. Численные значения приводят с применением стандартизованных единиц измерения физических величин, их наименования и обозначения – в соответствии с ГОСТ 8.417. При необходимости, наряду с единицами системы СИ в скобках указываются значения в других системах. Числовые значения величин с обозначением единиц измерения или единиц счета в тексте следует приводить цифрами, а числовые значения без обозначения единиц измерения и единиц счета от единицы до девяти – словами (пример 9, табл. 2.1). Если в тексте приводится ряд или диапазон числовых значений некоторой физической величины, то единицы измерения этой величины указываются после последнего значения (пример 10, табл. 2.1). Не допускается отделение единиц измерения от числового значения физической величины (перенос на другую строку или страницу).

При расстановке нумерации страниц (внизу страницы по центру) следует использовать шрифт 12 пт.

*Иллюстрации* (графики, схемы, диаграммы, фотографии и другие изображения) располагают непосредственно после первого упоминания в тексте записки (после соответствующего абзаца) или на следующей странице, если рисунок не помещается после абзаца на текущей странице. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в тексте работы.

Иллюстрации выполняются в виде качественных, хорошо различимых изображений либо в компьютерном исполнении, либо выполненные от руки черными чернилами. Размер рисунка следует разумно регулировать таким образом, чтобы, с одной стороны, искусственно не увеличивать объем записки, а с другой стороны, не затруднять восприятие представленного материала. При оформлении небольших рисунков целесообразно располагать их по краю текстового поля и использовать функцию обрамления изображения текстом. Номер рисунка и его название располагается *по центру* относительно рисунка после поясняющие надписи (приложение 2). Допускается использовать

12 размер шрифта для подрисуночных пояснительных надписей. Более удобной является нумерация иллюстраций в пределах соответствующего раздела. Следует помнить, что при оформлении графиков и диаграмм в соответствии с СТП БГТУ 0 0 22007 необходимо выполнять некоторые специальные требования.

Представление *таблиц* включает указание номера таблицы, ее названия (приводится обязательно) и содержания (приложение 4). Допускается вертикальное выполнение заголовков граф (колонок) и использование шрифта пониженного размера в сравнении с основным текстом при оформлении объемных таблиц. Необходимо указывать единицы измерения приводимых величин после их названия через запятую. Таблицы размещаются в тексте таким образом, чтобы их можно было читать без поворота записки или с поворотом по часовой стрелке (для широких таблиц, располагаемых вертикально). Частичный перенос таблицы на другую страницу допускается без отделения названия и заголовков граф и применяется в случае, если она не помещается на одной странице. Только в этом случае графы таблицы нумеруются. На следующей странице приводятся слова «Продолжение, например, таблицы 2.3» и графы с соответствующей нумерацией и содержанием. Таблицы большого объема удобнее располагать в приложениях. Таблицы нумеруются аналогично рисункам.

*Формулы и уравнения* являются частью текстового изложения (пример 10, табл. 2.1). Однако при оформлении они выделяются из текста в отдельную строку с межстрочным интервалом, равным одной строке. Размер шрифта формул должен соответствовать тексту записки, что следует учитывать при оформлении формул с компьютерного редактора формул, где по умолчанию часто установлен в качестве основного размер шрифта 12 пт. Написание символов в текстовом и формульном редакторе отличается, поэтому необходимо использовать во всем тексте записки либо одно, либо другое. Все уравнения и формулы нумеруются арабскими цифрами в пределах разделов в той же или последней строке формулы. Уже упомянутые формулы и поясненные величины повторно не приводятся, а используются со ссылками. Расчетные формулы не нумеруются. Они отражают подстановку конкретных численных значений строго в соответствии с приведенным общим видом формульного выражения и содержат конечный результат вычислений.

*Ссылки на литературные источники* по тексту должны в полной

мере отражать степень и характер использования сведений определенных авторов при выполнении курсовой работы. Поэтому ссылки представляются непосредственно по тексту, где цитируется или анализируется соответствующая информация, в виде порядкового номера источника (в пределах всей записки) в *квадратных скобках*. Не рекомендуется использовать номерные ссылки на литературные источники как слова для построения фраз (пример 11, табл. 2.1). Используемые источники нумеруются по порядку их упоминания в записке. Эта работа окончательно проводится тогда, когда текст записки полностью готов, т. е. подготовлен студентом и прошел проверку руководителем. Следует помнить, что ссылки на интернет-сайты и *оригиналы* изданий, публикаций, приводятся на языке, соответствующем этому оригиналу, с указанием полной библиографической информации. Реферативные журналы не относятся к цитируемым источникам. Некоторые примеры оформления литературных источников представлены в приложении 5.

*Приложения* нумеруются заглавными буквами русского алфавита с последующим обязательным указанием его названия строчными (кроме первой прописной) буквами полужирным шрифтом симметрично по тексту, в содержании работы приводятся также с названиями. Таблицы, иллюстрации и формулы нумеруются в пределах каждого приложения (приложение 4). Если спецификации потоков и/или аппаратов приводятся в приложениях, то они размещаются на последних страницах и указываются в содержании. Нумерация страниц приложений входит в общую нумерацию страниц записки.

Текстовая часть курсовой работы в полном объеме должна быть переплетена или сброшюрована в папке.

### **3.2. Оформление аппаратурно-технологической схемы**

Аппаратурно-технологическая схема представляет графическую часть работы и оформляется вручную или с использованием компьютерных средств на листах формата А1. При оформлении схемы следует руководствоваться требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД) и СТП БГТУ 002-2007, а также принципами оптимальной наглядности представляемого технологического материала.

Технологическая схема отражает *последовательность операций*, изложенную в соответствующем подразделе технологического раздела

курсовой работы, а также *перечень* используемых *аппаратов* и сопряженных *материальных потоков*, необходимых для реализации данного маршрута изготовления продукции. Общая степень заполнения поля чертежа должна составлять не менее 75%.

*Аппараты и установки* на схемах изображают основной линией в виде упрощенных контурных очертаний по принципу внешнего подобия (что чаще используется в студенческих работах), либо по требованиям соответствующих ГОСТов на отдельные группы аппаратов. Возможно использование аксонометрических изображений, но не допускается совмещение в одной схеме плоских и пространственных рисунков. При изображении оборудования не требуется соблюдения точного масштаба, но вместе с тем относительные размеры аппаратов должны учитываться и отражаться на схеме. Кроме того, изображение аппаратов должно передавать не только очертания конкретного оборудования, но и размещение в нем технологических сред и обрабатываемых объектов (пластин, порошко в слитко в и т. д.). Нумерация оборудования на схеме осуществляется арабскими цифрами (на выносных полках) слева направо и сверху вниз (с допустимыми отклонениями для упрощения схемы). Напомним, что нумерация оборудования на схеме должна соответствовать описанию технологии в записке.

Условный пример изображения аппаратов приведен в приложении 5, однако он не является обязательными при выполнении графической части работы. Более жесткими являются требования к оформлению *материальных потоков*. Потоки изображаются основными линиями со *стрелками* (5×5 мм), отражающими *агрегатное состояние* потоков, и *цифрами*, соответствующими потоку определенного состава.

Обязательной частью графического материала курсовой работы являются экспликации оборудования и материальных потоков, которые размещаются непосредственно над основной надписью (приложение 5) или в приложениях записки. Надписи и экспликации выполняются согласно СТП БГТУ 002-2007.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – 3-е изд., перераб. – Т. 3. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1998. – 728 с.
2. Стрельченко, С. С. Соединения  $A_3B_5$  : справочник / С. С. Стрельченко, В. В. Лебедев. – М. : Металлургия, 1984. – 144 с.
3. Абрикосов, Н. Х. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н. Х. Абрикосов. – М. : Наука, 1975. – 220 с.
4. Лодиз, Р. Рост монокристаллов / Р. Лодиз, Р. Паркер. – М.: Мир, 1974. – 540 с.
5. Нашельский, А. Я. Производство полупроводниковых материалов / А. Я. Нашельский. – М. : Металлургия, 1972. – 432 с.
6. Нашельский, А. Я. Технология спецматериалов электронной техники / А. Я. Нашельский. – М. : Металлургия, 1993. – 368 с.
7. Таиров, Ю. М. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов / Ю. М. Таиров, В. Ф. Цветков. – М : Высшая школа, 1991. – 422 с.
8. Фрицше, К. Получение полупроводников / К. Фрицше. – М. : Мир, 1964. – 205 с.
9. Металлургия и технология полупроводниковых материалов / Под ред. Б. А. Сахарова. – М. : Металлургия, 1972. – 544 с.
10. Мильвидский, М. Г. Физики-химические основы получения разлагающихся полупроводниковых соединений / М. Г. Мильвидский, О. В. Пелевин, Б. А. Сахаров. – М. : Металлургия, 1974. – 391 с.
11. Готра, З. Ю. Технология микроэлектронных устройств : справочник / З. Ю. Готра. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.
12. Окисление, диффузия, эпитаксия / По д ред. Р. Бургера и Р. Донована. – М. : Мир, 1969. – 452 с.
13. Киреев, В. Ю. Технология микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы / И. Ю. Киреев, А. А. Столяров. – М. : Техносфера, 2006. – 192 с.
14. Андреев, В. М. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов / В. М. Андреев, Л. М. Долгинов, Д. Н. Третьяков – М. : Советское радио, 1975. – 328 с.
15. Мурашкевич, А. Н. Оборудование производств материалов и изделий электронной техники : учеб. пособие для студентов вузов / А. Н. Мурашкевич, И. М. Жарский. – Мн. : БГТУ, 2005 – 242 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
. . . . .	4
1. Общие указания по выполнению курсовой работы . . . . .	4
1.1. Тематика курсовых работ . . . . .	5
. . . . .	5
1.2. Содержание и структура курсовой работы . . . . .	
1.3. Порядок выполнения и защиты курсовой работы . . . . .	7
2. Методические указания к выполнению разделов курсовой работы . . . . .	7
. . . . .	7
2.1. Титульный лист . . . . .	8
. . . . .	8
2.2. Задание . . . . .	9
. . . . .	10
2.3. Реферат . . . . .	11
. . . . .	13
2.4. Содержание . . . . .	16
. . . . .	17
2.5. Введение . . . . .	18
. . . . .	18
2.6. Аналитический обзор литературы . . . . .	
. . . . .	20
2.6.1. Поиск литературных сведений . . . . .	20
. . . . .	22
2.6.2. Структурирование литературного материала . . . . .	
2.6.3. Стиль изложения . . . . .	23
. . . . .	26
2.6.4. Подбор иллюстраций . . . . .	
. . . . .	27
2.7. Инженерные решения . . . . .	27
. . . . .	
2.8. Технологический раздел . . . . .	28
. . . . .	
2.8.1. Разработка и описание технологической схемы . . . . .	30
2.8.2. Технологические и материальные расчеты основного аппарата . . . . .	31
. . . . .	31
. . . . .	32
2.8.2.1. Исходные данные . . . . .	32
. . . . .	33
2.8.2.2. Расчет массы були . . . . .	33



2.8.2.3. Расчет времени цикла выращивания монокристалла . . . . .	33 36 38 41
2.8.2.4. Расчет единичной загрузки . . . . .	42
2.8.2.5. Расчет материального баланса процесса кристаллизации по основным компонентам . . . . .	43
2.8.2.6. Расчет выхода годного продукта . . . . .	44
2.8.2.7. Расчет скорости производства и коэффициента загрузки оборудования . . . . .	46
2.8.2.8. Расчет расхода основных исходных компонентов на заданную программу выпуска . . . . .	47
2.8.3. Подбор и описание основного аппарата . . . . .	
2.9. Мероприятия по охране труда и окружающей среды . . . . .	47
2.10. Заключение . . . . .	
2.11. Список использованных источников . . . . .	
2.12. Приложения . . . . .	
3. Методические указания к оформлению курсовой работы . . . . .	
3.1. Оформление текста пояснительной записки . . . . .	
3.2. Оформление аппаратурно-технологической схемы . . . . .	
Рекомендуемая литература . . . . .	
Приложение 1. Пример оформления реферата . . . . .	
Приложение 2. Пример оформления иллюстраций . . . . .	
Приложение 3. Пример оформления технологической схемы (фрагменты) . . . . .	
Приложение 4. Примеры заполнения и оформления итоговых таблиц материального баланса . . . . .	
Приложение 5. Примеры оформления списка использованных источников . . . . .	
Приложение 6. Примеры изображения аппаратов (а), экспликации оборудования (б) и потоков (в) на технологической схеме . . . . .	

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Пример оформления реферата

### Реферат

Пояснительная записка 68 с., 23 рис., 21 табл., 32 источника, 3 прил.

ДИОД ГАННА, АРСЕНИД ГАЛЛИЯ, ПЛЕНКИ  
МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ, ЭПИТАКСИЯ ЖИДКОФАЗНАЯ,  
ЛЕГИРОВАНИЕ, ТЕЛЛУР, СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ,  
БАЛАНС МАТЕРИАЛЬНЫЙ

Целью выполнения курсовой работы является разработка технологии эпитаксиального наращивания пленок арсенида галлия  $n$ -типа для производства диодов Ганна.

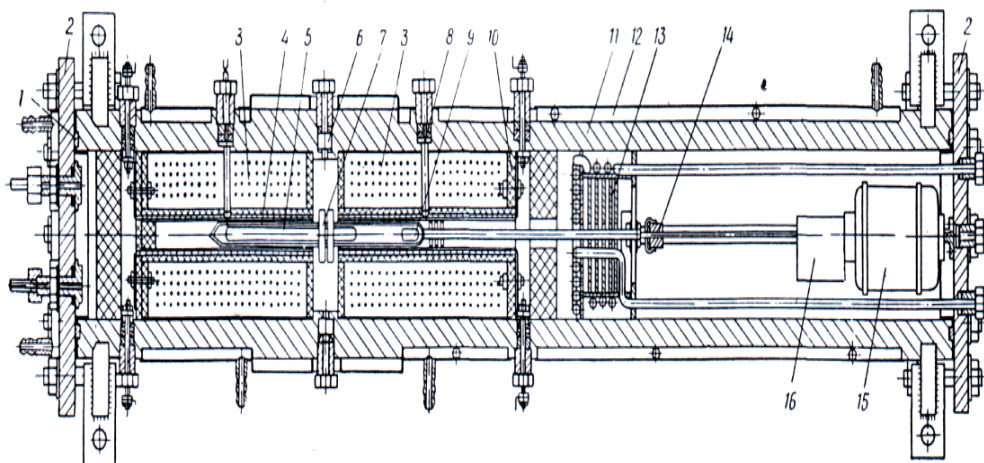
Предложено использование вертикального варианта жидкостной эпитаксии из галлиевых растворов для получения двухслойной структуры  $n$  (6 мкм) –  $n^+$  (3 мкм) GaAs на низкоомной подложке GaAs. Формирование пленок проводится из галлиевого раствора без примесей (пленка  $n$ -типа) или раствора, содержащего Te в качестве легирующей примеси (пленка  $n^+$ -типа).

Разработана технологическая схема получения подложек для диодных структур, выполнены технологические и материальные расчеты, необходимые для обеспечения выпуска 30 000 подложек в год. Произведен подбор двух установок эпитаксиального выращивания пленок из жидкой фазы вертикального типа. Рассмотрены вопросы охраны труда и окружающей среды в производстве эпитаксиальных структур арсенида галлия.

Графическая часть представляет аппаратурно-технологическую схему на одном листе формата A1.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Пример оформления иллюстраций



1 – прокладка; 2 – крышка автоклава; 3 – электропечь сопротивления; 4 – запаянная кварцевая ампула; 5 – лодочка с галлием; 6 – кварцевое смотровое стекло; 7 – высокочастотный индуктор; 8 – термопарный вывод; 9 – кварцевая чашечка с красным фосфором; 10 – токопровод к электропечи сопротивления; 11 – корпус камеры высокого давления; 12 – водяная рубашка; 13 – водоохлаждаемый змеевик; 14 – винтовая передача; 15 – электромотор; 16 – редуктор.

Рисунок 1.8 – Печной блок установки высокого давления для синтеза и зонной плавки фосфида галлия

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Пример оформления технологической схемы (фрагменты)

**3.1 Описание технологической схемы получения монокристаллического слитка GaP p-типа ( $d = 25$  мм,  $l = 30$  см,  $\rho = 0,2$  Ом · см)**

#### **1– 8. Подготовка исходных материалов**

1. Очистка Ga методом вакуумной фильтрации на фильтре Шотта (диаметр отверстий 30–60 мкм),  $t = 44^\circ\text{C}$ ,  $\leq 1,33$ кПа.

2. Травление Ga в смеси  $\text{HNO}_3 : \text{HCl} = 1 : 1$ ,  $\tau = 1$  мин,  $t = 15\text{--}20^\circ\text{C}$ .

3. Проточная промывка галлия деионизованной водой при комнатной температуре,  $\tau = 2\text{--}5$  мин.

4. Вакуумная термообработка галлия в атмосфере аргона при  $t = 650\text{--}800^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 5\text{--}6$  ч и т. д.

**9. Синтез и очистка поликристаллического GaP** методом горизонтальной зонной плавки в печном блоке высокого давления, температура расплавленной зоны  $1500^\circ\text{C}$ , давление паров фосфора 30 атм,  $V_{\text{кр}} = 6$  см/ч; число проходов расплавленной зоны – 1–2 (при синтезе) и 2–3 (при очистке), ширина расплавленной зоны – 30–40 мм.

#### **10–13. Подготовка лигатуры**

10. Травление лигатуры (Zn) в 15% HCl,  $t = 35^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 1$  мин.

11. Проточная промывка Zn деионизованной водой при комнатной температуре,  $\tau = 2\text{--}5$  мин.

12. Сушка Zn в вакуумном шкафу при  $t = 200^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 20\text{--}30$  мин и т.д.

**25. Выращивание монокристалла GaP** методом жидкостной герметизации (метод Чохральского из-под флюса),  $V_{\text{кр}} = 0,3$  мм/мин, атмосфера – аргон,  $P_{\text{раб}} = 60$  атм, высота флюса – 15 мм.

#### **26–35. Финишная обработка слитка GaP**

...

29. Полировка годного монокристалла, абразив – 1 мкм,  $\tau = 20\text{--}30$  мин.

30. Промывка годного монокристалла в проточной деионизованной воде при комнатной температуре,  $\tau = 2\text{--}5$  мин и т. д.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4**  
**Примеры заполнения и оформления итоговых таблиц**  
**материального баланса**

Таблица А.1 – Материальный баланс выращивания из жидкой фазы слитка GaSb, легированного Te ( $K = 0,4$ )

Приход		Расход	
Компонент	Масса, г	Компонент	Масса, г
1. <b>GaSb</b> (поликр.)	<b>3553,1</b>	1. <b>GaSb</b> (монокр. слиток),	<b>1802,9</b>
В т. ч. Ga	1293,3	В т. ч. Ga	656,25
Sb	2259,8	Sb	1146,64
2. <b>GaSb + Te</b> (лигатура)	<b>46,9</b>	Te	0,01134
В т. ч. Ga	17,054	2. <b>GaSb</b> (поликр. «лепешка»)	<b>1797,1</b>
Sb	29,799	В т. ч. Ga	654,132
Te	0,0469	Sb	1142,932
		Te	0,03556
<i>Итого:</i>	<i>3600</i>		<i>3600</i>

Таблица А.2 – Материальный баланс выращивания из жидкой фазы слитка нелегированного твердого раствора  $Pb_{0,87}Sn_{0,13}Te$

Приход		Расход	
Компонент	Масса, г	Компонент	Масса, г
1. <b>Pb<sub>0,78</sub>Sn<sub>0,22</sub>Te</b> (поликр.)	<b>2637,18</b>	1. <b>Pb<sub>0,87</sub>Sn<sub>0,13</sub>Te</b> (монокр. слиток)	<b>2028,60</b>
В т. ч. Sn	218,38	В т. ч. Sn	96,80
Pb	1351,64	Pb	1131,12
Te	1067,16	Te	800,68
		2. <b>Pb<sub>0,51</sub>Sn<sub>0,49</sub>Te</b> (поликр. «лепешка»)	<b>608,53</b>
		В т. ч. Sn	121,58
		Pb	220,47
		Te	266,48
		3. <b>Pb</b> (избыт.)	<b>0,047</b>
<i>Итого:</i>	<i>2637,18</i>		<i>2637,18</i>



### Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ 4

Таблица А.3 – Материальный баланс эпитаксиального наращивания из газовой фазы пленки Si, легированной Р

Приход		Расход	
Компонент	Масса, г	Компонент	Масса, г
1. <b>SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>	<b>233,435</b>	1. <b>Si</b>	<b>48,024</b>
2. <b>H<sub>2</sub></b>	<b>457,933</b>	В т.ч.:	
В т.ч.:		монокр. пленка	6,576
с потоком		поликр. слой на стенках	41,448
источника Si	457,665	2. <b>P</b>	<b>1,661 · 10<sup>-6</sup></b>
с легирующим		В т.ч.:	
потоком	0,268	в монокр. пленку	1,683 · 10 <sup>-7</sup>
		остаток	1,493 · 10 <sup>-6</sup>
3. <b>PH<sub>3</sub></b>	<b>1,822 · 10<sup>-6</sup></b>	3. <b>H<sub>2</sub></b>	<b>457,980</b>
		В т.ч.:	
		с потоком источника Si	457,665
		с легирующим потоком	0,268
		при разложении PH <sub>3</sub>	8,044 · 10 <sup>-8</sup>
		по побочному процессу	0,047
		4. <b>HCl</b>	<b>124,693</b>
		В т.ч.:	
		по целевой реакции	17,070
		по реакции образования	
		поликр. Si	107,623
		5. <b>SiCl<sub>2</sub></b> (побоч. продукт)	<b>2,318</b>
		6. <b>SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b> (остаток)	<b>58,383</b>
<i>Ито-</i>	<i>691,368</i>		<i>691,368</i>

20

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### Примеры оформления списка использованных источников

1 Djurisc, A. B. Modeling the optical constants of GaP, InP and InAs / A. B. Djurisc, A. D. Rakic, P. Kwok, M. L. Majevski // J. Appl. Phys. – 1999. – V. 85, No 7. – P. 3638–3642.

2 Каблуков, А.Л. Оптимизация температурного поля поверхности осаждения в процессах газовой эпитаксии Si / А. Л. Каблуков, В. К. Самойликов, П. Е. Кандыба // Электроника и информатика: тезисы докл. – Москва, 19 – 21 нояб. 2002г. – Ч. 1.– М.: МИЭТ, 2002. – С. 217 – 218.

3 Takahashi H., Fujilka H., Ohta J. etc. Structural characterization of group III nitrides grown by pulsed laser deposition // 16 Symposium on Plasma Science for Materials, Tokyo, 4–5 June, 2003 / Thin Solid Films. – 2004. – V. 457, No 1. – P. 114–117.

4 Vertical hydride vapour phase epytaxy deposition using a homogenizing diaphragm: пат. 2415707 Великобритания, МПК7 С23 С 16/44, С 30 В 25/02 / W.N. Wang, S.I. Stepanov – № 0414607.2; заявл. 30.06.2004; опубл. 04.01.2006.

5 <http://semiconductors.report.ru>

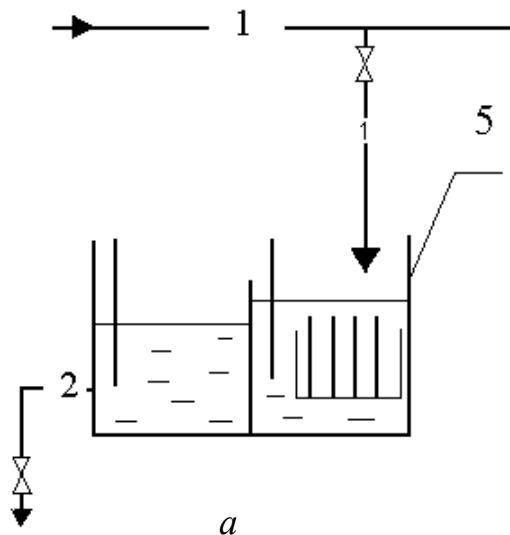
6 [www.mitsubishi-electric.ru](http://www.mitsubishi-electric.ru)

7 [www/nauka.us](http://www.nauka.us)



## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

**Пример изображения аппаратов (а), экспликации оборудования (б) и потоков (в) на технологической схеме**



### Экспликация оборудования

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
<b>1</b>	Установка зонной плавки	<b>1</b>	
<b>5, 9, 12, 24</b>	Ванна каскадной промывки	<b>4</b>	$Q = 45 \text{ л}^3/\text{ч}$
20	110	10	45
185			

б

### Экспликация потоков

Обозначение	Наименование
— 1 — 1 —	Деионизованная вода
— 7 — 7 —	Высокочистый аргон

— 9 — 9 —	Пластины GaAs
--------------	---------------

6

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

Составители: **Богомазова** Наталья Валентиновна  
**Жарский** Иван Михайлович

Редактор Р. М. Рябая

Подписано в печать . 0 . 2007. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 2,8.

Тираж 75 экз. Заказ

Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет». 220050. Минск, Свердлова, 13а.

ЛП № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».

220050. Минск, Свердлова, 13.

ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.