

УДК 621.315.592

**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ  
TECHNOLOGY OF CREATING SEMICONDUCTORS**

П.А. Герасимович

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Gerasimovich

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье затрагиваются тема создания полупроводников для микропроцессоров. В статье изложены основные методы получения кристаллов полупроводников.

**Abstract:** The article touches on the topic of creating semiconductors for microprocessors. The article describes the main methods for obtaining semiconductor crystals.

**Ключевые слова:** монокристалл, метод Чохральского, тигель, затравочный кристалл, микропроцессор.

**Keywords:** monocrystal, Chokhralsky method, crucible, seed crystal, microprocessor.

**Введение**

В настоящий момент человеческую жизнь невозможно представить без электронных помощников, таких как смартфон, смарт-часы, персональный компьютер и другие. Все они состоят из огромного количества микропроцессоров, микрочипов, которые работают на явлениях полупроводников.

**Основная часть**

Производство любого микропроцессора начинается с выращивания монокристаллов. Для выращивания монокристаллов Si и Ge существует 2 метода: метод Чохральского и метод зонной плавки. Метод зонной плавки представляет собой очистку материала от примесей основанном на разности растворимости примесей в твердой и жидкой фазе. С помощью данного метода можно получать кристаллы, превосходящие по чистоте, чем кристаллы, созданные по технологии Чохральского. Минусами же данной технологии являются: низкая производительность, высокая себестоимость выращиваемого кристалла и менее благоприятное распределение, и состав легирующих элементов, влияющих на последующие технологические процессы. Схема устройства для зонной плавки представлена на рисунке 1.

Метод Чохральского заключается в свободном вытягивании кристалла от поверхности расплавленного материала в кварцевом сосуде – тигле, в среде инертных газов. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 2. Для соблюдения параметров, предъявляемых к конечному кристаллу разработаны модификации метода Чохральского.

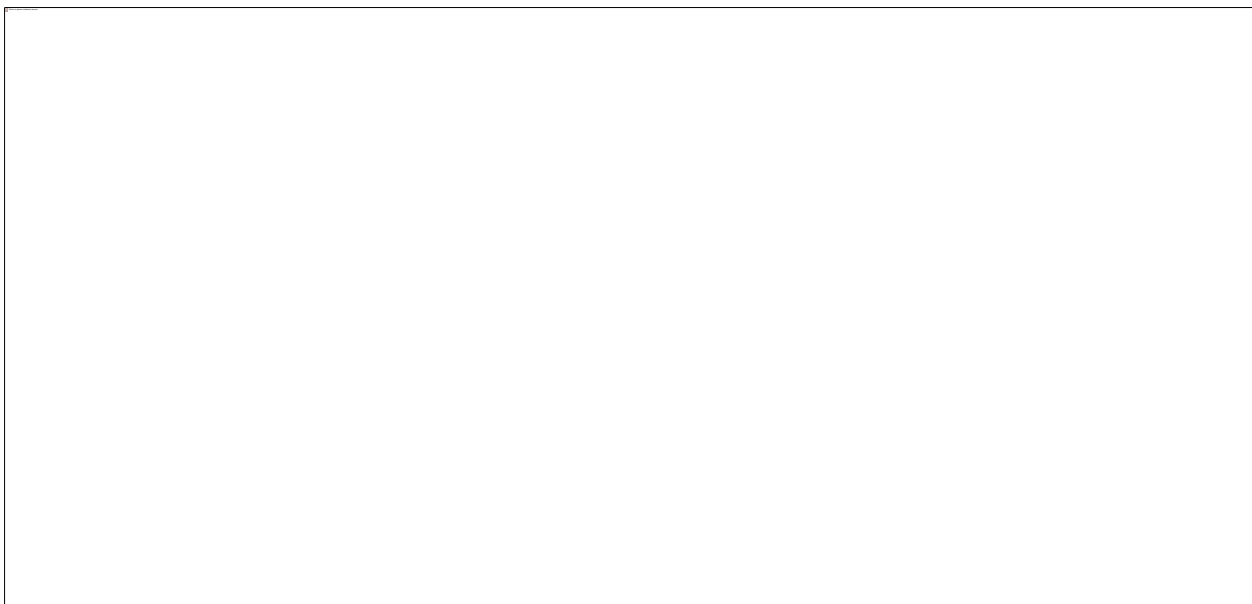


Рисунок 1 – Схема устройства для зонной плавки. 1 – индукционные катушки, 2 – расплавленная зона, 3 – зона с очищенным материалом, 4 – зона с чистым материалом, 5 – зона материала с повышенным содержанием примесей 6 – «лодочка» из тугоплавкого материала

Метод Чохральского с использованием плавающего тигля. Целью метода является получение более равномерного распределения примесей по длине и сечению кристалла за счёт контролируемого поступления примесей из внешней части расплава. Существует множество размеров и конструкций плавающих тиглей, в том числе, защищённых патентами. Конструктивно метод реализуется путём введения в основной тигель с расплавом тигля меньшего размера, выделяющего малый объём расплава, из которого и производится выращивание целевого кристалла. Малый объём расплава сообщается с основным объёмом расплава таким образом, чтобы обеспечить приток дополнительных порций расплава извне взамен пошедших на формирование целевого кристалла, при этом смешивание обоих объёмов и, соответственно, изменение стабилизировавшихся концентраций примесей в малом объёме должно быть исключено.

Метод Чохральского с подпиткой. Цель метода заключается в увеличении производительности установок выращивания за счёт непрерывного пополнения объёма расплава, расходуемого на формирование тела целевого кристалла. Возможны 2 основных аппаратных реализации метода: подпитка постепенным расплавлением вне плавающего тигля поликристаллического стержня; подпитка подачей вне плавающего тигля гранулированного или дроблёного поликристаллического кремния. Попутно метод позволяет достичь более равномерного распределения примесей по длине кристалла.

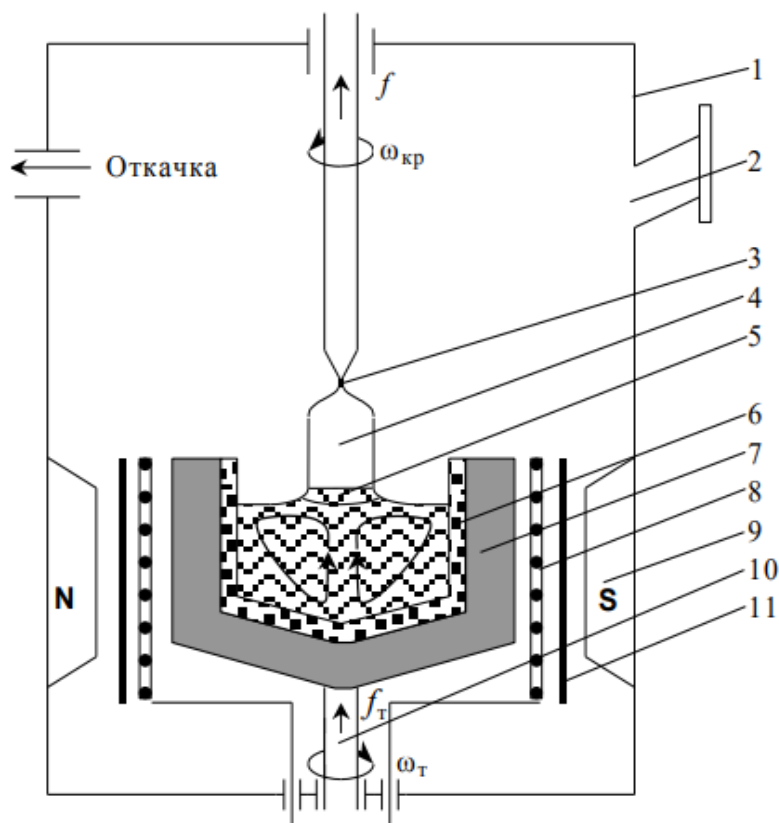


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки по выращиванию монокристаллов.

1 – ростовая камера, 2 – смотровое окно, 3 – затравочный кристалл, 4 – кристалл, 5 – охлажденный столбик расплава, 6 – тигель, 7 – графитовый стакан, 8 – резистивный нагреватель, 9 – источник магнитного поля, 10 – устройство движения тигля, 11 – тепловые экраны

Метод Чохральского с промежуточными дозагрузками. Цель метода заключается в увеличении производительности установок выращивания и снижении издержек за счёт повторного использования тиглей и за счёт сокращения времени на обслуживание между процессами, герметизацию и создание защитной атмосферы. Суть метода: готовые кристаллы выводятся из установки с использованием шлюзовых устройств, а вместо них в тигель досыпается следующая порция шихты для расплавления и выращивания следующего слитка.

Метод Чохральского с использованием пьедестала. Суть метода: в расплав в соответствующей футеровке вводится плоский нагревательный элемент, снабжённый температурными датчиками, распределёнными по площади элемента. Элемент вводится в расплав на глубину 15-30 мм в зону, где будет выращиваться слиток. В ходе роста контролируется распределение температуры по площади элемента и подаётся питание на соответствующие зоны нагревательного элемента для обеспечения «правильного» распределения температур вблизи фронта кристаллизации. Метод позволяет снизить вероятность возникновения нарушений роста кристалла, но дополнительно загрязняет кристалл материалом футеровки, выравнивает распределение примесей по сечению кристалла.

Процесс выращивания кристаллов состоит из нескольких этапов. Первым является этап подготовки шихты с необходимой навеской и размещение её в тигле. В случае, если навеска составляет от десятков до сотен килограмм, то шихту формируют из кусков от 10 до 50 мм для исключения возможности переплавки материала в куски больших размеров. Изображение заполненного тигля представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Тигель, заполненный шихтой

Затем, навеска шихты расплавляется в тигле. Подвод тепла осуществляется к дну и боковым стенкам сосуда. Расплав прогревают в таком состоянии от 15 минут до нескольких часов. После, в расплавленный материал вводят затравочный кристалл, который выдерживают на поверхности расплава для полной оплавки в зоне контакта. Это производят для компенсации рисков возможного получения неправильной структуры кристалла или преждевременного обрыва слитка. Изображение формообразования кристалла представлено на рисунке 4.

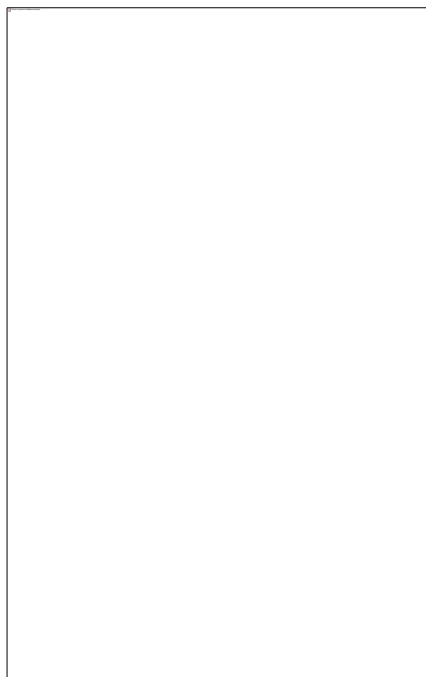


Рисунок 4 – Процесс формообразования слитка кристалла

Затем, начинается процесс вытягивания кристалла. Во время данного процесса слитку придается цилиндрическая форма диаметром до 300 мм. Для завершения процесса в хвосте слитка формируют конус за счет изменения температуры расплава и увеличения скорости вытягивания. После производят обрыв слитка и его охлаждение. Изображение слитка монокристалла представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Слиток кристалла Si

Следующим этапом создания полупроводников является обработка и подготовка слитка к фотолитографии. Слиток, полученный в результате вытягивания, нарезают на пластины длиной до 75 мм и тщательно полируются. Затем, на поверхности пластины наращивают слой оксида и очищают поверхность от вредных примесей и загрязнений. После на поверхность пластины наносится фоторезист. Позже, пластину с фоторезистом кладут в печь при температуре 100-120°C на несколько минут для испарения растворителей, содержащихся в фоторезисте и повышения адгезии. Данный процесс называют задублированием.

После задублирования на фоторезисте просвечивают через фотошаблон требуемый рисунок микросхемы светом видимого или ультрафиолетового спектра в области ионизированного газа. Данный процесс называют экспонированием и после него предполагается вторичное задублирование для минимизации брака пластины. Для получения конечного продукта полупроводник проходит данные этапы порядка 50 раз.

### **Заключение**

В век повсеместной цифровизации и информатизации жизнедеятельности человека создание полупроводников является важнейшей отраслью приборостроения. Без них не могут существовать все гаджеты и устройства в нашем мире. Поэтому стоит уделить особое внимание развитию данной сферы в Республике Беларусь.

### Литература

1. Технологии полупроводников. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ferra.ru/review/techlife/semiconductor-technology-part-1.htm>. – Дата доступа: 05.10.2021.
2. Официальный портал РАО-ХИМЕН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.powerwaywafer.com/ru/gallium-oxide-semiconductor-material.html>. – Дата доступа: 05.10.2021.