

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

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

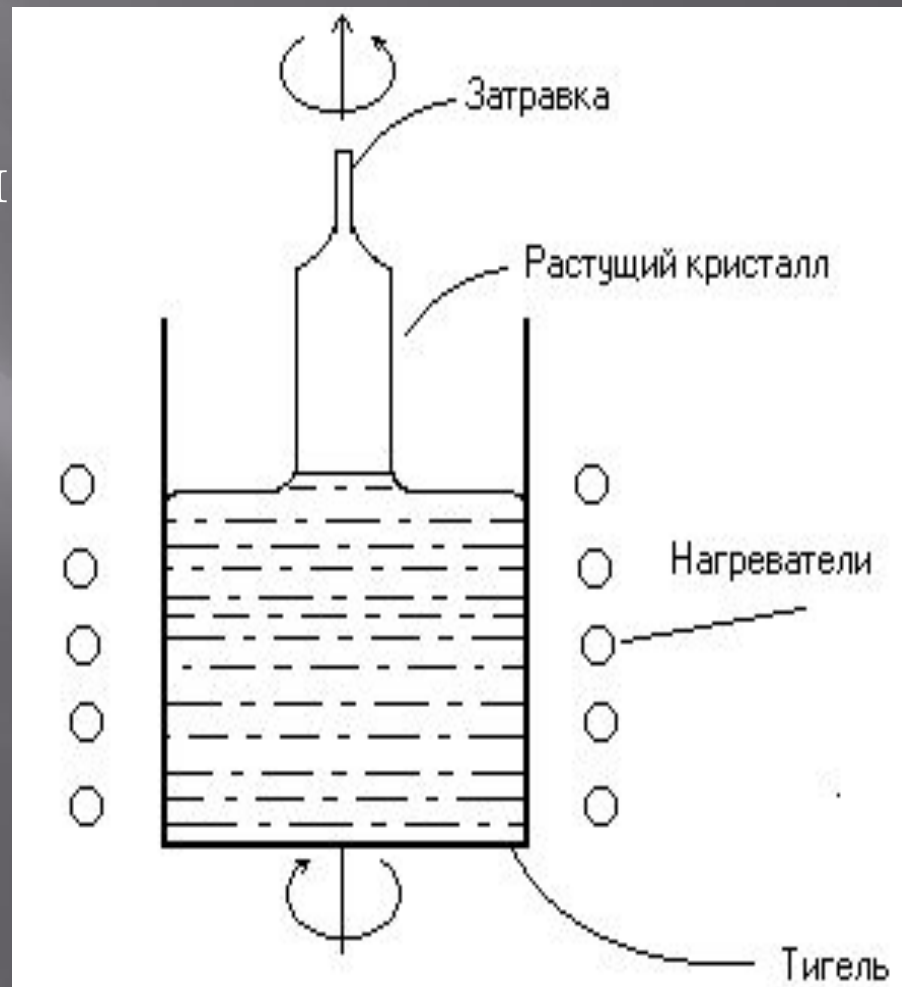
По некоторым сведениям, Чохральский открыл свой знаменитый метод в 1916 году, когда случайно уронил свою ручку в тигель с расплавленным оловом. Вытягивая ручку из тигля, он обнаружил, что вслед за металлическим пером тянется тонкая нить застывшего олова.

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.



Метод Чохральского

Метод Чохральского относится к методам с неограниченным объемом расплава, поскольку перед кристаллизацией исходный материал в тигле целиком расплавляется. При этом температура расплава поддерживается постоянной, а выращивание осуществляется за счет вытягивания монокристалла из расплава.



Преимущества метода Чохральского

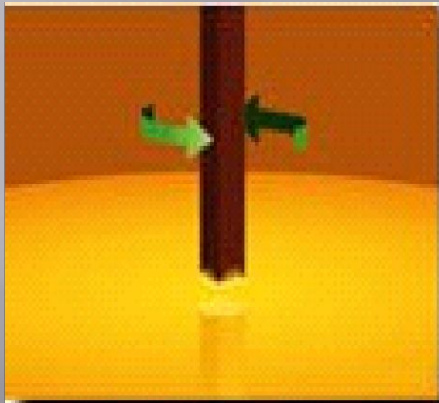
- Отсутствие прямого контакта между стенками тигля и растущим монокристаллом, позволяющее избежать критических по величине остаточных напряжений;
- Возможность извлечения кристалла из расплава на любом этапе выращивания (метод декантации), что очень важно при определении условий выращивания монокристаллов

- Возможность заведомо задавать геометрическую форму растущего монокристалла путем варьирования температуры расплава и скорости вытягивания. Это преимущество позволяет избавиться от большей части дислокаций, которые выходят на боковую поверхность, а не углубляются в растущий монокристалл

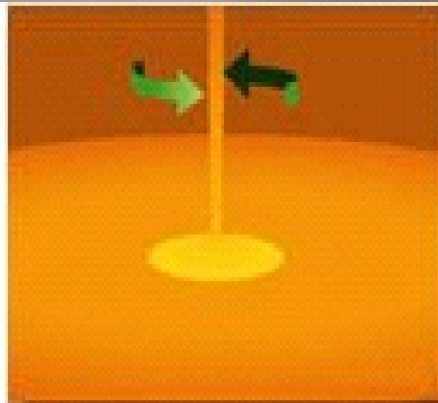
Недостатки метода Чохральского

- Для реализации процесса роста необходим тигель, который может оказаться источником примесей.
- Сравнительно большой объем расплава, характерный для метода Чохральского, способствует возникновению сложных гидродинамических потоков, которые, в свою очередь, снижают условия стабильности процесса кристаллизации и приводят к неоднородному распределению примесей в монокристаллах.

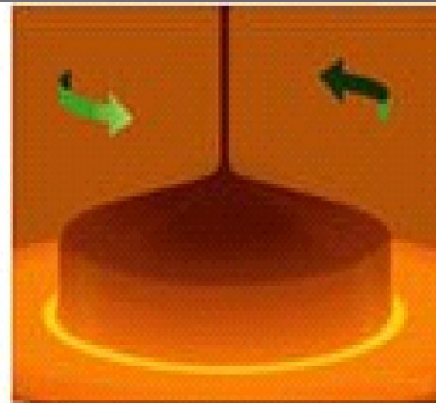
Основные стадии технологического процесса выращивания монокристалла



а)



б)



в)

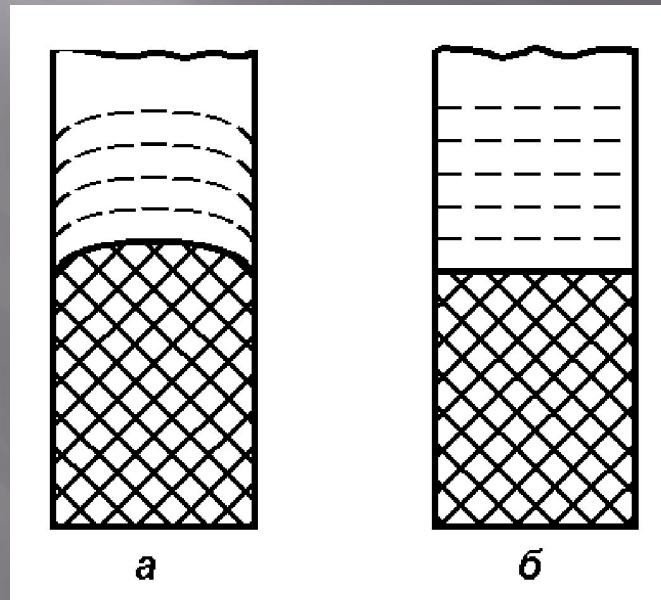


г)

Основные шаги при выращивании кристалла методом вытягивания из расплава:

а) затравление, б) разращивание, в) выход на заданный диаметр, г) рост

Величины и соотношение радиального и осевого градиентов температуры обуславливают форму фронта кристаллизации вытягиваемого кристалла, который может быть выпуклым в расплав, плоским и вогнутым в сторону кристалла.



Изотермические поверхности в растущем кристалле при вогнутом в кристалл (а) и плоском (б) фронте кристаллизации.

- Наиболее неблагоприятным для выращивания монокристаллов с низкой плотностью дефектов является вогнутый фронт кристаллизации, а благоприятным - плоский фронт кристаллизации. Поскольку на практике обеспечить его зачастую бывает очень трудно, вытягивание кристаллов проводят при слегка выпуклом фронте кристаллизации.



Тепловой узел установки с выращенным монокристаллом германия (диаметром 65 мм).



Ростовая камера с тепловым узлом из графита

- Тепловой узел включает в себя подставку для тигля, нагреватель, систему экранов. Конструкция теплового узла практически во многом определяет особенности кристаллизации, макро- и микроструктуру выращиваемого монокристалла, распределение в нем легирующих примесей.
- Тепловой узел как технологическая система содержит взаимозависимые элементы, т.е. варьируя конструкцию нескольких элементов, можно получать практически идентичные условия выращивания монокристаллов.

Источники нагрева

- Среди многообразия источников нагрева можно выделить две группы:
 - нелучевые (газопламенный, омический, высокочастотный, плазменный),
 - лучевые источники нагрева (электронно-лучевой, оптический, лазерный).
- Важное различие их заключается в том, что нелучевые источники нагрева практически трудно, а зачастую невозможно вынести за пределы кристаллизационной камеры.

Материалы нагревательных элементов

Материал	Максимально допустимая температура, °C	Среда кристаллизации
Графит	3000	Вакуум, инертная, восстановительная
Вольфрам	2700	Тоже
Вольфрам - молибденовый сплав	2500	-"-
Молибден	2500	-"-
Иридий	2250	Вакуум, инертная, восстановительная, слабоокислительная
Платинородиевый сплав	1600	Окислительная
Оксид циркония	2400	-"-

Тигли

Сосуды, заключающие расплав, называются тиглями,. В ряде случаев выращиваемый из расплава монокристалл принимает форму заключающего его сосуда.

Материал тигля должен отвечать ряду требований:

- 1) кристаллизуемое вещество не должно при соприкосновении с материалом тигля давать химической реакции;
- 2) вещество не должно смачивать и прилипать к стенкам сосуда;

- 3) материал тигля не должен размягчаться при температуре, превышающей примерно на 100°C температуру плавления кристаллизуемого вещества;
- 4) теплопроводность тигля желательна по возможности большая, но она не должна превышать теплопроводность кристаллизуемого вещества;
- 5) упругость паров материала тигля должна быть в условиях кристаллизации не очень высокой, в противном случае срок службы его будет исчисляться немногими часами;
- 6) чистота тигля не должна уступать чистоте кристаллизуемого вещества.



Графитовый тигель для выращивания
монокристаллов германия методом Чохральского.
Диаметр тигля 210 мм.