

показатели металлургического производства за счёт сокращения на 10–20% продолжительности плавки, уменьшения до 30% расхода раскислителей и легирующих добавок, увеличения выхода годной стали и повышения её качества. Кроме того, срок службы изделий, изготовленных из вакуумированной стали, повышается. В мире в 1970 насчитывалось около 400 работающих установок по внепечному вакуумированию стали.

УДК 621.365

Логвинов Р.Д.

ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ

БНТУ, Минск

Научный руководитель: Комаровская В.М.

В промышленности и исследовательских лабораториях кристаллы выращивают из паров, растворов, расплавов, из твердой фазы; синтезируют путем химических реакций, при высоких давлениях; осуществляют электролитическую кристаллизацию; кристаллизацию из гелей и др. Основными методами получения совершенных кристаллов большого диаметра являются методы выращивания из расплава, из растворов и из паровой (газовой) фазы.

Веществами, наиболее подходящими для выращивания из расплава, являются те, которые плавятся без разложения, не имеют полиморфных переходов и характеризуются низкой химической активностью.

Один из наиболее широко используемых промышленных методов получения полупроводниковых и других монокристаллов это метод Чохральского. Разработан в 1918 году. Исходный материал (шихту) загружают в тугоплавкий тигель и нагревают до расплавленного состояния. Затем затравочный кристалл в виде тонкого стержня диаметром в несколько миллиметров устанавливают в охлаждаемый кристаллодержатель

и погружают в расплав. Столбик расплава, осуществляющий связь растущего кристалла с расплавом, поддерживается силой поверхностного натяжения и формирует мениск между поверхностью расплава и растущим кристаллом. При этом граница расплав-кристалл, то есть фронт кристаллизации, оказывается расположенной над поверхностью расплава. Высота расположения границы раздела зависит от степени перегрева расплава и условий теплоотвода от затравки. После частичного оплавления торца затравки ее вместе с растущим на ней кристаллом вытягивают из расплава. В результате теплоотвода через затравку на ней начинается ориентировочная кристаллизация. Диаметр растущего кристалла регулируется путем подбора скорости вытягивания и температуры расплава. В процессе вытягивания кристалл вращают с целью перемешивания расплава и выравнивания температуры на фронте кристаллизации.

Преимущество метода вытягивания из расплава по сравнению с другими методами заключается в том, что кристалл растет в свободном пространстве без контакта со стенками тигля, при этом достаточно легко можно менять диаметр растущего кристалла и визуально контролировать рост. Методами вытягивания из расплава в настоящее время выращивают большинство полупроводниковых (кремний, арсенид галлия, фосфид, арсенид индия и др.) и диэлектрических материалов, синтетических кристаллов драгоценных камней. Технологические особенности проведения процесса определяются свойствами выращиваемого материала и требованиями, как по геометрическим параметрам, так и по физико-химическим свойствам, предъявляемыми к монокристаллу.

Наиболее существенным недостатком метода Чохральского является значительная химическая неоднородность выращиваемых кристаллов, выражающаяся в монотонном изменении состава последовательных слоев кристалла вдоль направления роста.

Метод вертикальной направленной кристаллизации (ВНК) создан в 1924 И.В. Обреимовым и Л.В. Шубниковым. Выращивание монокристаллов данным методом осуществляется в вертикальном неподвижном трубчатом контейнере цилиндрической формы, охлаждаемом снизу струей сжатого воздуха. Для обеспечения монокристаллического роста дно контейнера выполняется в виде конуса с острой вершиной, что создает условия для конкурентного роста, когда из множества зарождающихся в самом начале процесса кристалликов «выживает» лишь один, наиболее быстро растущий кристалл. Именно его кристаллографическая ориентировка определяет ориентировку выращиваемого монокристалла. Скорость перемещения вверх границы раздела фаз регулируется интенсивностью охлаждения нижней части контейнера, цилиндрическая форма которого обеспечивает постоянство поперечного сечения растущего кристалла.

Существенными недостатками данного метода являются: невозможность непосредственного наблюдения за формой и положением фронта кристаллизации, наличие произвольной кристаллографической ориентировки выращиваемых монокристаллов, непосредственный контакт кристалла со стенками контейнера (при практически неизбежном различии коэффициентов термического расширения материалов кристалла и контейнера в кристалле могут возникать значительные внутренние напряжения).

Под кристаллизацией из растворов подразумевается рост кристалла соединения, химический состав которого заметно отличается от химического состава исходной жидкой фазы. Растворителями могут быть вода, многокомпонентные водные и неводные растворы, расплавы каких-либо химических соединений. В зависимости от температуры процесса и химической природы растворителя различают процессы выращивания из низкотемпературных водных растворов (при температурах

не выше 80-90°C), перегретых водных растворов (гидротермальный метод, температуры до 800°C), солевых расплавов (методы кристаллизации из раствора в расплаве, температуры кристаллизации до 1500°C).

При выращивании кристаллов из низкотемпературных водных растворов проводят кристаллизацию путем изменения температуры раствора, пересыщение создается за счет снижения температуры в зоне растущего кристалла. Достигнуть этого можно либо постепенно понижая температуру во всем объеме кристаллизатора, либо создав в кристаллизаторе две зоны с различными температурами. Методом снижения температуры раствора было выращено большое число кристаллов, в том числе сегнетова соль, триглицинсульфат, квасцы и т.д. При использовании методов температурного перепада в кристаллизаторе создают две области с разными температурами. В одной из них происходит растворение вещества, которое всегда находится в избытке в виде твердой фазы, в другой – рост кристалла. Простейшим вариантом является высокий сосуд, в нижней части которого помещается исходное вещество, а в верхней подвешивается затравка. В результате возникает конвекция раствора, обеспечивающая постоянный перенос вещества снизу вверх, в зону роста. Скорость роста кристаллов в таких условиях составляет около 1 мм/сут. Кристаллы весом 400 г растут в течение 1,5-2 месяцев.

В методе кристаллизации при испарении растворителя пересыщение создается за счет увеличения концентрации растворенного вещества при испарении растворителя до значений, превышающих равновесное. Процесс осуществляется при постоянной температуре в строго изотермических условиях. В присутствии затравочных кристаллов процесс нарастания пересыщения регулируется растущим кристаллом. Скорости кристаллизации очень малы. Процесс выращивания кристаллов таким способом может достигать несколько недель.

Кристаллизация при электрохимической реакции может рассматриваться как частный случай кристаллизации путем химической реакции, в которой участвуют электроны. Типичным примером является выделение металлов в электролитической ванне. Электрокристаллизация в основном используется для осаждения металлов. Этот метод получил развитие при совмещении способа вытягивания кристалла из расплава при одновременном его электролизе (электрохимический способ Чохральского). В этом случае растущий кристалл является одним из электродов, и должен обладать достаточно высокой электропроводностью при температуре выращивания. Этим способом можно выращивать кубические кристаллы натрий-вольфрамовых бронз из расплава.

Вывод: существует большое количество методов выращивания кристаллов и у каждого есть свои преимущества и недостатки. Дальнейшее развитие в этой области связано с ростом потребности в выращивании и улучшении качества кристаллов.

УДК 621.793

Макаров Я.Е.

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С МНОГОСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ

БНТУ, Минск

Научный руководитель: Латушкина С.В.

Разрушение покрытия на контактных площадках инструмента при непрерывном резании, например, при токарной обработке, происходит в результате образования в них трещин. На участке пластического контакта трещины имеют большие размеры и причиной их образования является упругопластическая деформация режущего клина инструмента в процессе резания. Нанесение одноэлементных покрытий, например TiN, ведет