

ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО В КВАЗИСТАЦИОНАРНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

А.О. Гусев

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.Москва

aogus@mail.ru

В работе рассмотрен процесс выращивания объемных монокристаллов методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава. Квазистационарная математическая модель процесса [1] учитывает теплоперенос в кристалле, расплаве и флюсе, теплообмен излучением между нагревателем и содержимым тигля, формирование фронта кристаллизации и выделение теплоты на нем, образование мениска на границе расплав/флюс. В рамках квазистационарного приближения процесс кристаллизации рассмотрен как серия стационарных состояний, однозначно определяющихся внешним температурным режимом, скоростью протяжки и объемом расплава. Для решения задачи с внутренними подвижными границами применен метод выпрямления фронта, в расчетах использована разностная схема, обеспечивающая выполнение закона сохранения внутренней энергии [2]. Численно изучено влияние скорости протяжки и температуры нагревателя на радиус выращенного монокристалла [3]. Показано, что с увеличением скорости протяжки количество кристаллизующегося материала и, как следствие, радиус кристалла уменьшаются. При этом уменьшение температуры нагревателя приводит к увеличению радиуса кристалла: в таком случае количество теплоты, отводящееся через боковую стенку кристалла, увеличивается, что компенсирует возросшее выделение тепловой энергии на фронте кристаллизации. Несмотря на то, что рассмотренная математическая модель не учитывает ряд важных особенностей технологического процесса, полученные результаты расчетов на качественном уровне согласуются с существующими численными и экспериментальными данными.

Список литературы:

1. Derby J., Brown R., Geyling F. et al. Finite element analysis of a thermal-capillary model for liquid encapsulated Czochralski growth // J. Electrochem. Soc. 1985. Vol. 132. No. 2. Pp. 470 – 482.
2. Gusev A.O., Shcheritsa O.V., Mazhorova O.S. Conservative finite volume strategy for investigation of solution crystal growth techniques // Computers & Fluids. 2020. Vol. 202. P. 104501.
3. Гусев А.О., Мажорова О.С. Численное моделирование процесса выращивания монокристаллов методом Чохральского в квазистационарном приближении // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2023. № 59. 20 с.