

УДК 662.642: 621.926.7

О.В.Смирнова (6 курс, каф. гидроаэродинамики),
В.В.Калаев, н.с. (ООО “Софт-Импакт”)

РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ТРЕХМЕРНОМ ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО РАСПЛАВА КРЕМНИЯ В УСТАНОВКАХ МЕТОДА ЧОХРАЛЬСКОГО

При выращивании кристаллов кремния по методу Чохральского внутренняя поверхность кварцевого тигля разрушается при взаимодействии с высокотемпературным расплавом кремния [1, 2]. Частицы, которые при этом отделяются от поверхности тигля, переносятся турбулентным течением расплава, они могут попасть на фронт кристаллизации и встроиться в кристалл. Встраивание частиц в кристалл приводит к значительному ухудшению его свойств, а встраивание крупной частицы может вызвать появление макродислокации. Таким образом, важно уметь предсказывать поведение дисперсной фазы при разных ростовых параметрах, определяющих структуру течения и турбулентные характеристики расплава.

Цель данной работы — оценить вероятность встраивания частиц в кристалл кремния для различных скоростей вращения кристалла и тигля, содержащего расплав.

Расчет транспорта частиц проводился в рамках подхода Лагранжа с учетом силы Стокса и силы плавучести. Рассматриваемое течение нестационарное, поэтому расчет проводился следующим образом: сначала на каждом временном шаге рассчитывалось мгновенное поле скоростей жидкости, а в конце шага проводился расчет движения частиц. Частицы выпускались в течение небольшого временного интервала, а затем отсчитывалось время, соответствующее характерному гидродинамическому времени задачи (около 300 секунд).

Проведено исследование влияния скорости вращения кристалла на движение частиц. При быстром вращении кристалла образуется интенсивное течение, направленное от кристалла, которое препятствует попаданию частиц в подкристалльную область. Таким образом, в случае быстрого вращения кристалла количество попаданий частиц на фронт кристаллизации меньше, чем при медленном вращении, следовательно, и вероятность встраивания частиц в кристалл меньше.

Для оценки влияния вращения тигля на поведение частиц в расплаве произведены расчеты с различными значениями скорости вращения тигля. При быстром вращении тигля турбулентные пульсации на периферии тигля подавляются вращением, в результате образуется зона, где частицы, при отсутствии действия силы плавучести, движутся преимущественно по окружным траекториям. Структура течения расплава такова, что частицы, попадающие в центральную область тигля с интенсивным турбулентным движением расплава, выносятся течением на периферию, где дисперсная фаза включается во вращательное движение и вероятность попадания таких частиц на фронт кристаллизации мала. При учете действия силы плавучести частицы всплывают, и вероятность достижения ими поверхности раздела между кристаллом и расплавом увеличивается.

В некоторых расчетах с учетом действия силы плавучести на свободной поверхности расплава наблюдаются образованные частицами кольцевые структуры. Это явление связано с тем, что частицы всплывают и на свободной поверхности движутся под действием двух противоположно направленных течений: одно течение возникает из-за вращения кристалла и

направленно от кристалла, второе течение — свободно-конвективное течение около поверхности нагретого тигля, направленное от тигля к кристаллу. В режиме выращивания с высокой скоростью вращения кристалла и низкой скоростью вращения тигля кольцевые структуры не наблюдаются, т.к. в области взаимодействия двух выше упомянутых течений существует активное направленное от свободной поверхности движение жидкости, которое уносит частицы вглубь расплава.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Muhe A., Mueller G. Quantitative optical in-situ measurement of the dissolution rate of the silica crucible in the silicon Czochralski process // *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2000, vol. 3, pp.185-189.
2. Abe K., Matsumoto T., Maeda S., Nakanishi H., Hoshikawa K., Terashima K. Oxygen solubility in Si melts: influence of boron addition // *Journal of Crystal Growth*, 1997, vol.181, p.41.