

УДК 662.642: 621.926.7

М.А.Луканина (6 курс, каф. гидроаэродинамики),

В.В.Калаев, н.с. (ООО “Софт-Импакт”)

РАСЧЕТ ФОРМЫ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕЖДУ РАСПЛАВОМ И КРИСТАЛЛОМ КРЕМНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКЕ

В настоящее время кристаллы кремния широко применяются в полупроводниковой промышленности. Распространенным способом получения объемных монокристаллов является метод Чохральского (вытягивание из расплава, [1]). Этот метод требует задания большого количества технологических параметров (скорость вращения тигля и кристалла, мощность нагревателей, скорость вытягивания и т.д.). Для подбора оптимальных значений этих величин необходимо проводить серии экспериментов. Поэтому целесообразно применять математическое моделирование, позволяющее быстро подбирать параметры без трудоемкой экспериментальной настройки.

Расчет теплообмена и течений в устройствах Чохральского может осуществляться при известных граничных условиях, геометрии и физических свойств внутренних областей. Однако геометрия границы, лежащей между кристаллом и расплавом, заранее неизвестна. Её характеристикой является только постоянная температура, равная температуре кристаллизации кремния. Предсказание формы фронта кристаллизации важно еще и потому, что это позволит подобрать такие параметры роста, при которых полученный кристалл будет иметь требуемые электрофизические свойства.

Цель данной работы — произвести численное моделирование физических процессов в промышленной установке Чохральского, направленное на предсказание геометрии границы раздела расплава и кристалла.

Расчет в осесимметричной постановке состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляется моделирование глобального теплообмена и теплопереноса излучением во всей установке, а также ламинарного течения аргона [2]. Конвекция в расплаве не рассчитывается, однако теплоперенос через расплав учитывается с помощью введения эффективной теплопроводности. По полученным температурным полям определяется падающий тепловой поток вдоль границ: тигель-аргон, кристалл-аргон, свободная поверхность расплава. Рассчитанное поле скорости аргона используется для определения сдвиговых напряжений на свободной поверхности. Эти результаты используются на втором этапе в качестве тепловых и динамических граничных условий.

Второй этап включает в себя моделирование турбулентного течения расплава и теплопереноса в кристалле, а также коррекцию формы границы расплав-кристалл. На каждом шаге вычисляется скорость кристаллизации в сеточных узлах, лежащих на границе раздела. Полученное значение используется для вычисления локального смещения этих узлов в новое положение. Перемещение граничных узлов требует перестройки расчетной сетки во внутренних блоках. Для этого в программе предусмотрена процедура построения новых узлов методом трансфинитной интерполяции.

В ходе настоящей работы составлена программа (с использованием кода общего назначения CFD-ACE) реализующая предложенный алгоритм вычисления формы границы между расплавом и кристаллом. Сравнение результатов вычислений с имеющимися эксперимен-

тальными данными (распределением температуры внутри расплава и геометрией границы раздела) показало, что разработанная модель удовлетворительно описывает ростовой процесс.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Mueller G. Melt Growth of Semiconductors // Theoretical and Technological Aspects of Crystal Growth.- by Trans Tech Publications Ltd., Switzerland,- 1998, pp 87-108.
2. Kalaev V.V., Evstratov I.Yu., Makarov Yu.N., Smirnov E.M., Zhmakin A.I., ECCOMAS-2000, September 11-14, 2000, Barcelona, Spain, CD-ROM Proceeding.