

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ КРЕМНИЕВОЙ ПЛАСТИНЫ ПОТОКОМ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Барахоев А. Л., Тубольцев В. В., Тихон О. И.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Бордусов С. В. – профессор, доктор техн. наук

Для анализа результатов экспериментов по удалению с поверхности кремниевых пластин фоторезистивных маскирующих покрытий в потоке озono-воздушной смеси, а именно для оценки её влияния на температуру поверхности обрабатываемой кремниевой пластины, произведено моделирование эффекта охлаждения нагретой пластины в программном пакете ANSYS Fluent. Получены данные моделирования по распределению температуры на поверхности пластины в потоке газа и при отсутствии направленного потока газовой смеси. Настроена математическая модель, позволяющая исследовать процессы теплопереноса и охлаждения.

Область моделирования разбита на три части, а именно на пластину, нагреватель и воздушный объём экспериментальной камеры. Материалом газового промежутка является воздух, пластины – монокристаллический кремний, нагревателя – керамика из оксида алюминия Al_2O_3 с чистотой 95%.

Характеристики используемых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические характеристики используемых в моделировании материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Теплопроводность, В/(м·К)
Оксид алюминиевая керамика 95%	3650	780	27
Кремний	2719	871	202,4
Воздух	1,2041*	1006,43	0,0242

* - при моделировании охлаждения кремниевой пластины при отсутствии потока газа значение плотности воздуха определялось с помощью уравнения несжимаемого идеального газа

Моделирование проводилось применительно к цилиндрической области диаметром 160 мм и высотой 100 мм. Диаметр сопла для потока газовой смеси – 10 мм, длина – 20 мм. Цилиндрический нагреватель диаметром 80 мм и толщиной 10 мм располагался на подставке диаметром 60 мм высотой 40 мм от дна экспериментальной камеры. На нагревателе находилась кремниевая пластина диаметром 76 мм и толщиной 1 мм. Расстояние между поверхностью пластины и соплом – 29 мм. Выпускное отверстие представляло собой круглое отверстие высотой 12 мм начинающееся от подставки для нагревателя. Выбор размеров и форм тел и поверхностей обуславливался необходимостью упрощения построения расчётной сетки для объёмов, участвующих в моделировании, при относительном сохранении их формы. Построенная расчётная сетка состоит из 48994 вершин и 42195 элементов, при этом среднее значение ортогональности сетки близко к единице, а среднее значение показателя «skewness», определяющего отклонение формы элементов сетки от равностороннего элемента с таким же объёмом, меньше 0,05. Вид тел, участвующих в моделировании и их расчётная сетка показаны на рисунке 1.

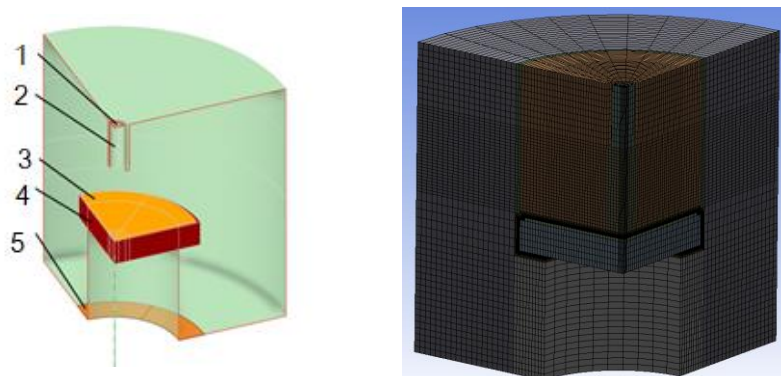
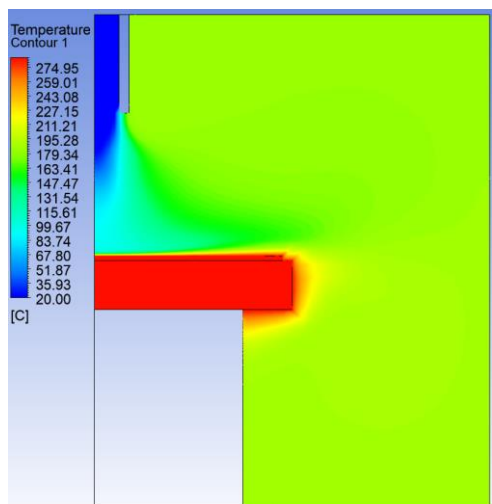


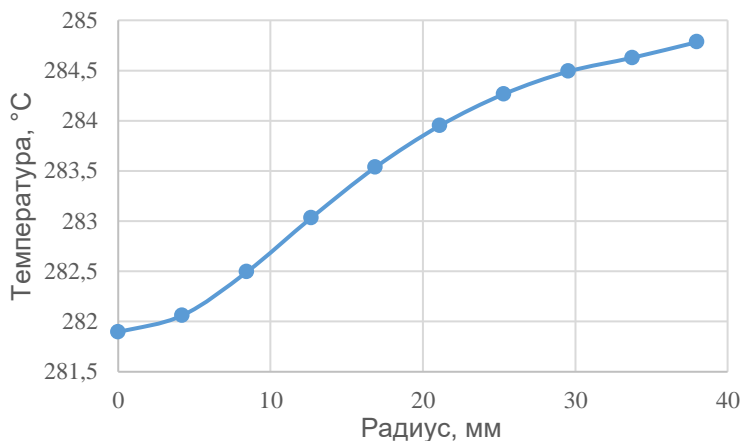
Рисунок 1 – Формы моделируемых тел и расчётная сетка:
1 – впускное отверстие, 2 – сопло, 3 – пластина, 4 – нагреватель, 5 – выпускное отверстие

Внутреннее тепловыделение нагревателя принято равным $1,5 \text{ МВт/м}^3$. Продолжительность моделируемых процессов $t_{\text{мод}} = 600$ секунд с шагом в 10 секунд. Температура потока газовой смеси – 20°C .

Температура газовой смеси и распределение температуры вдоль радиуса пластины в конечный момент времени в присутствии потока газовой смеси со скоростью 1 м/с показаны на рисунке 2.



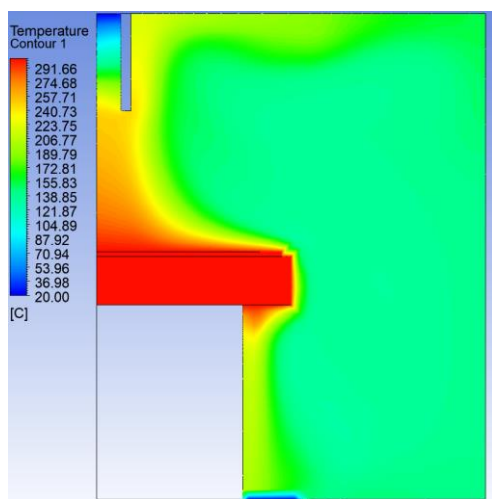
а)



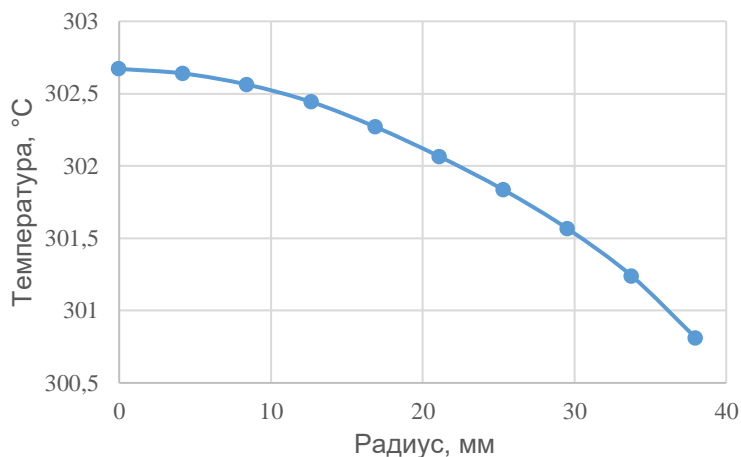
б)

Рисунок 2 – Температура газовой смеси (а) и распределение температуры вдоль радиуса пластины (б) в присутствии потока газовой смеси

Температура газовой смеси и распределение температуры вдоль радиуса пластины в конечный момент времени при отсутствии потока газовой смеси показаны на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Температура газовой смеси (а) и распределение температуры вдоль радиуса пластины (б) при отсутствии потока газовой смеси

Характер поведения значений температуры на поверхности кремниевой пластины, полученный при моделировании процессов её охлаждения в случае наличия газового потока и при его отсутствии, позволяет сделать заключение о соответствии полученных результатов физическим эффектам, наблюдаемым на поверхности пластины.