

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Лапко А. И., Воротницкая М. В., Ярмолик В. И.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: lappo@gmail.com

В данной статье рассматривается проблема формирования переходных отверстий в кремниевой пластине с использованием лазерного нагрева. Выполнено моделирование лазерного нагрева для выбора оптимальных параметров для получения отверстия в кремниевой пластине необходимой для формирования контактных соединений между компонентами 3D-модуля.

ВВЕДЕНИЕ

Применение лазерного излучения в технологических процессах кроме отсутствия непосредственного контакта с материалом имеет ряд других преимуществ. Среди которых является возможность точно следовать технологическим режимам и контролировать количество подводимой энергии, благодаря высокой плотности энергии лазерного излучения можно быстро достичь высоких температур, включая температуру испарения обрабатываемых материалов, что позволяет использовать одно и то же оборудование для различных операций по обработке изделий.

В процессе создания переходных отверстий в кремниевой подложке возникает проблема выбора параметров работы лазера. Технология формирования точечного отверстия не идеальна, поэтому получаемые отверстия имеют конусообразную форму. Отношение разности диаметров отверстий к толщине подложки определяет степень конусообразности. Для качественного отверстия этот показатель не должен превышать 0,1.

I. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Моделирование осуществлялась в программном пакете Comsol Multiphysics 5.3.

Физические свойства кремниевой пластины:

- Диаметр пластины – 25.4 мм,
- Толщина пластины – 200 мкм,
- Излучательная способность поверхности – 0.8,
- Плотность – 2329 кг/м³,
- Теплоемкость – 700 Дж/(кг*К),
- Температура плавления – 1623 К.

Для исследования зависимости температуры в зоне нагрева кремниевой пластины от радиуса лазерного луча при различной мощности, проведено моделирование температуры в двух точках: в точке нагрева и в 5 мм от точки нагрева пластины (рис. 1).

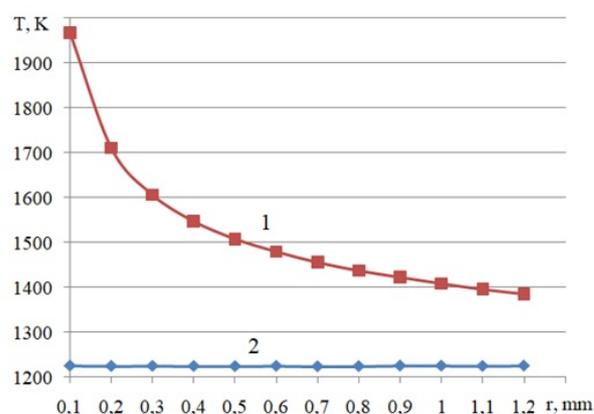


Рис. 1 – Зависимости температуры от радиуса луча лазера В точке нагрева (1) и в 5 мм от точки нагрева (2)

Температура в 5 мм от точки нагрева пластины не зависит от радиуса луча (рис. 1 кривая 2). В точке нагрева (рис. 1 кривая 1) снижение температуры имеет экспоненциальный характер, зависящий от радиуса луча лазера. Данная зависимость обусловлена тем, чем меньше радиус луча, тем больше энергии поглощается на единицу площади и соответственно нагрев больше.

Моделирование формирования отверстия радиусом 0.1мм лазерным нагревом в зависимости от мощности источника в точке нагрева (рис. 2), на расстоянии 5мм от точки нагрева (рис.3).

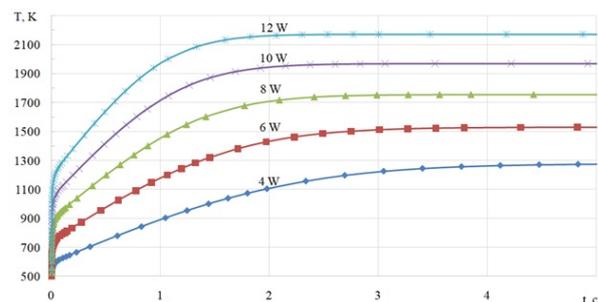


Рис. 2 – Зависимости температуры в точке нагрева пластины

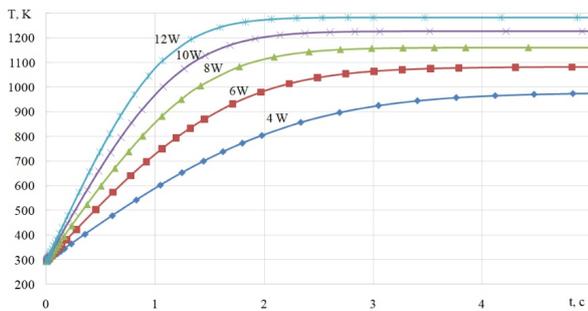


Рис. 3 – Зависимости температуры на расстоянии 5 мм от точки нагрева

Из температурновременных зависимостей получено что для мощности 4 Вт температура в точке нагрева перестает расти после 3.8 секунды после начала и составила 1300К, на расстоянии 5мм от точки нагрева рост температуры прекратился после 4.5 секунды и составил 980К. Для мощности 6 Вт температура в точке нагрева достигает максимального значения через 3,5 секунды после начала нагрева и составляет 1520К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 3,7 секунды и достигает значения 1080К. Для мощности 8 Вт температура в точке нагрева перестает расти после 2.7 секунды после начала и составила 1755К, на расстоянии 5мм от точки нагрева рост температуры прекратился после 3 секунды и составил 1160К. Для мощности 10 Вт температура в точке нагрева достигает максимального значения через 2,5 секунды после начала нагрева и составляет 1968К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 2,7 секунды и достигает значения 1225К. При мощности 12 Вт температура в точке нагрева достигает своего максимума через 2,2 секунды после начала нагрева и составляет 2171К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 2,5 секунды и достигает 1281К.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

Распределение тепловых полей в зоне нагрева на срезе пластины при различных мощностях (рис. 4).

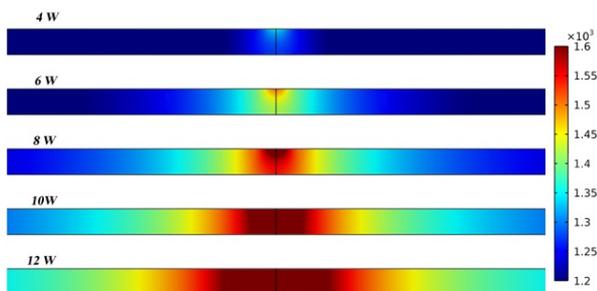


Рис. 4 – Тепловые поля в зоне нагрева на срезе пластины

Рассмотрим распределение тепловых полей в зависимости от мощности лазерного луча, при сохранении других параметров моделирования. Для мощности лазера 4 Вт недостаточно энергии для нагрева материала до температуры плавления кремниевой пластины и максимальная температура составила 1300К. При использовании лазера мощностью 6 Вт максимальная температура на поверхности составила 1520К и не достигает искомой температуры. При мощности лазера 8 Вт получен результат, при котором образовался кратер расплавленного материала, но сквозного отверстия не получено, значит не смотря на получения температуры выше точки плавления данной мощности недостаточно для проведения процесса прошивки кремниевой пластины. При мощности 10 Вт получено сквозное отверстие в кремниевой пластине, отношение полученного отверстия к диаметру луча составила 241%, конусность оставила 0.1, что является соответствует параметрам качества. При мощности 12 Вт получено отверстие больше диаметра луча на 461%, также видно значительное увеличение области конвекционного нагрева вокруг получаемого отверстия. Из этого можно сделать вывод о чрезмерности данной мощности для применения операции прошивки отверстия в кремниевой пластине.

III. ВЫВОДЫ

Моделирование показало, что применение лазера радиусом 0.1мм мощностью менее 10 ватт не позволяет получить отверстие. Применение энергии более 12 ватт приводит к значительному перегреву зоны обработки. Температура в точке нагреве при 8 ватт – 1755К, 10 ватт – 1968К, 12 ватт – 2171К. Температура в 5и мм от точки нагреве при 8 ватт – 1160К, 10 ватт – 1225К, 12 ватт – 1281К. Анализ тепловых полей среза пластины показал наличие конусности на значениях мощности в 10 ватт и составила 0,1. При значениях мощности 12 ватт и более конусность не обнаружена. Отношения диаметра луча лазера к полученным отверстиям составляет для 10 ватт – 241%, 12 ватт – 461%. Из этого делаем вывод, что оптимальным значение энергии будет в диапазоне 10 ватт. Дальнейшее увеличение мощности может приводить к перегреву кремниевой пластины.

1. Лаппо, А. И. Моделирование процесса лазерной прошивки отверстий в кремнии при формировании 3D структур / А. И. Лаппо, Т. С. Боброва, О. В. Кузнецова / Материалы международной научной конференции «ITS-2019» Минск: БГУИР, 2019. – С. 232–233
2. Ланин, В. Л. Формирование отверстий в кремниевой подложке 3D электронного модуля лазерным излучением / В. Л. Ланин, В. Т. Фам, А. И. Лаппо // Доклады БГУИР, 2021, № 3. – С. 58–65.