

УДК 621.3.049.77 : 621.373.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛАЗЕРА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ



А.И. Лапко

Старший преподаватель кафедры ИТАС
lapko@bsuir.by



В.Л. Ланин

Профессор кафедры электронной техники и технологии БГУИР, доктор технических наук

А.И. Лапко

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с исследованием технологических направлений реализации многокристальных модулей.

В.Л. Ланин

Окончил Минский радиотехнический институт. Профессор кафедры электронной техники и технологии. Автор 10 монографий, имеет 45 летний опыт работы в области технологии сборки электронной аппаратуры.

Аннотация. Выполнено моделирование перемещения сфокусированного лазерного луча по двум вариантам траектории схемы для получения отверстия в кремниевой пластине, необходимой для формирования контактных соединений между компонентами 3D-модуля. Произведен выбор оптимальной траектории движения, обеспечивающий минимальную затрату времени и исключающий перегрев изделия

Ключевые слова: моделирование, лазерный луч, траектория движения.

Введение.

Среди перспективных технологических направлений реализации многокристальных модулей является сборка 3D-модулей. Особенностью данной технологии является расположение компонентов сборки не только на одной плоскости, но и по вертикали. Формирование контактных соединений между компонентами 3D-модуля может осуществляться с помощью проволочного монтажа, а также по технологии поверхностного монтажа. Для технологии поверхностного монтажа необходимо формирование переходных отверстий в кремниевой пластине.

Технология формирования отверстий в кремниевой подложке является сравнительно новой, но быстроразвивающейся и эффективной. Применение лазерного излучения для формирования таких отверстий дает возможность уменьшения диаметра до десятков микрометров, что повышает плотность элементов в 3D электрических модулях [1]. Преимуществами использования лазерного нагрева является возможность точного контроля технологических режимов и объема подводимой энергии, бесконтактное воздействие. Высокая плотность энергии лазерного излучения позволяет за небольшие промежутки времени достигать высоких температур нагрева, в частности температуры плавления различных материалов, что потенциально позволяет на одном технологическом оборудовании выполнять широкий спектр технологических операций.

Основной проблемой формирования отверстий лазерным излучением является их конусообразность, которая зависит как от длины лазерного луча, так и от режимов обработки.

Моделирование лазерного нагрева при сверлении отверстий.

Для сверления микроотверстий используется способ перемещения сфокусированного лазерного луча по заданной траектории при точным перемещении стола с пластиной на низкой скорости относительно неподвижного лазерного луча. Для моделирования траектории движения лазера предложено два варианта.

Вариант 1 согласно формуле 1.1 с движением луча по гипотрохоиде, визуализация которого представлена на рисунке 1а,

$$\begin{cases} x=(r-m \times r) \times \cos(m \times t)+h \times \cos(t-m \times t) \\ y=(r-m \times r) \times \sin(m \times t)-h \times \sin(t-m \times t), \end{cases} \quad (1.1)$$

где: t – время; x, y – координаты; r, m – коэффициенты.

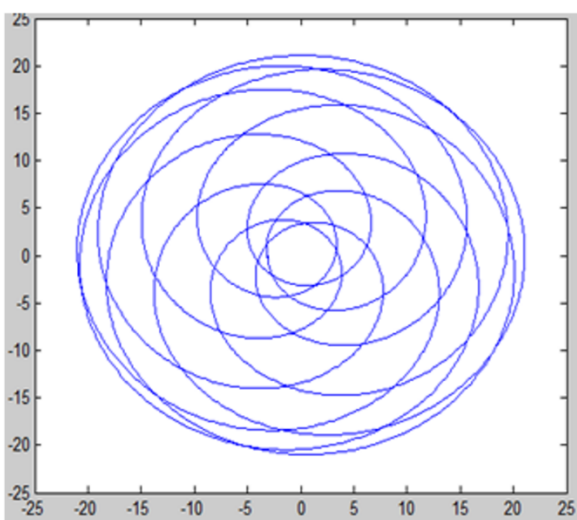
Вариант 2 согласно формуле 1.2 с движением по спирали, визуализация движения представлена на рисунке 1.1, б,

$$\begin{cases} x=c+a \times 2t+\pi \\ y=v+a \times t \times \sin(t+q), \end{cases} \quad (1.2)$$

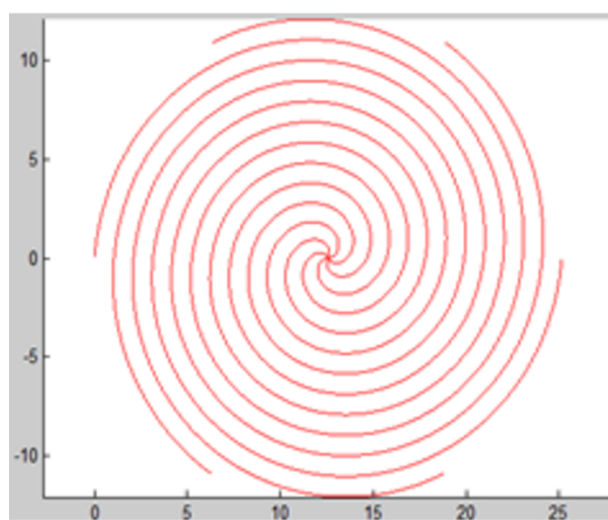
где: c, v, q – коэффициенты.

Коэффициенты c и v задаются уравнением:

$$c=4 \pi \times \cos \theta., \quad v=4 \pi \times \sin \theta. \quad (1.3)$$



а



б

Рисунок 1. Визуализация движения лазера при формировании отверстия (а – вариант 1 с движением луча по гипотрохоиде; б – вариант 2 с движением по спирали)

Для моделирования процесса лазерного нагрева применялся программный комплекс COMSOL Multiphysics 53а. Перед началом моделирования необходимо задать глобальные переменные, которые будут участвовать в расчетах. Использовалась кремниевая пластина диаметром 40 мм и толщиной 275 мкм. Лазер мощностью 10 Вт, длительность импульса – 1,2 нс, частота – 10–300 кГц. Коэффициент излучения поверхности пластины составляет примерно 0,8. Для действующей длины волны лазера предполагается, что поглощающая способность равна излучающей способности. Следовательно, все лазерное излучение будет уходить на нагрев пластины. Диаметр формируемого отверстия 0,1 мм. Расчет лазерного излучения при формировании микроотверстий приведен в источнике [2].

В результате моделирования получены температурно-временные зависимости (рисунок 2) и тепловые поля на поверхности кремниевой пластины (рисунок 3).

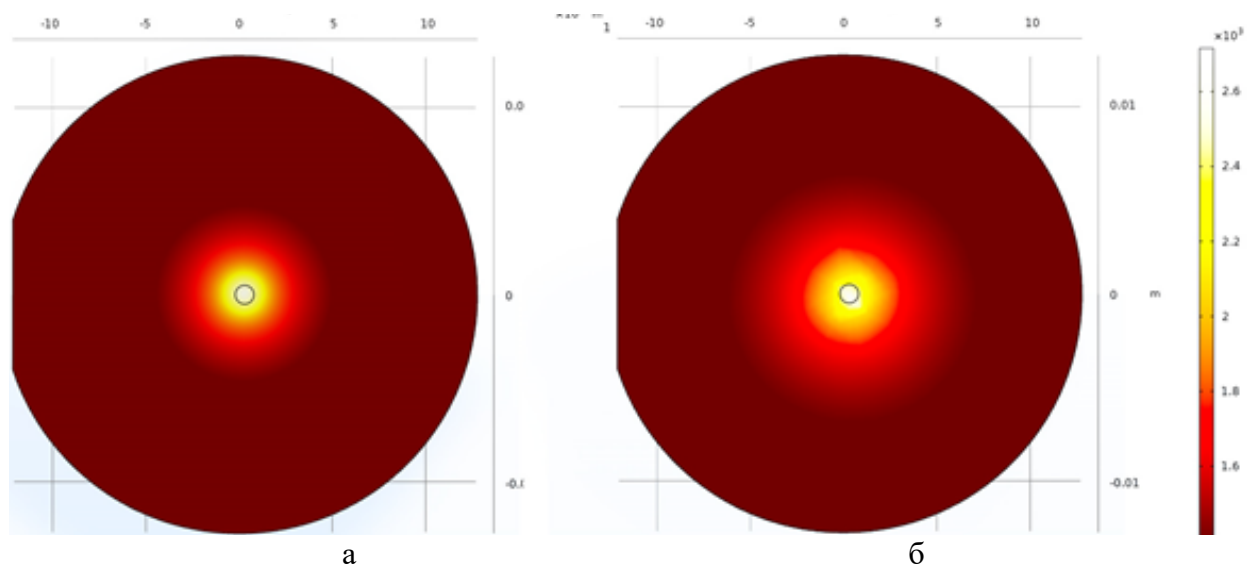


Рисунок 2. Распределение тепловых полей при формировании отверстий (а – вариант 1 с движением луча по гипотрохоиде; б – вариант 2 с движением по спирали)

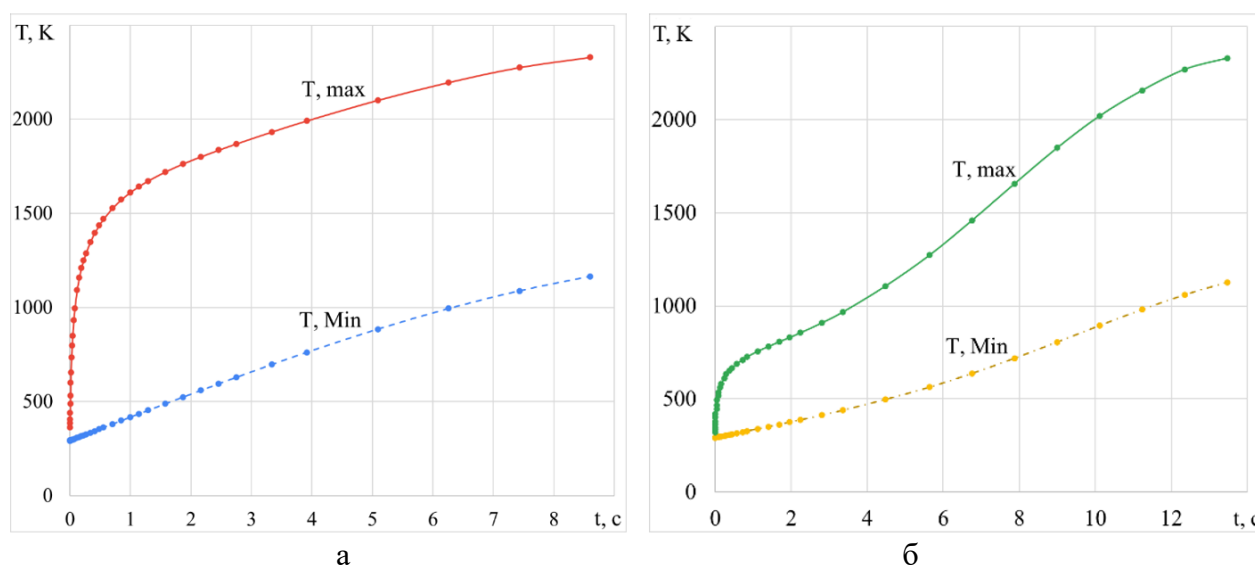


Рисунок 3. Зависимости температуры от времени при формировании отверстий (а – вариант 1 с движением луча по гипотрохоиде; б – вариант 2 с движением по спирали)

В результате моделирования лазерного нагрева при формировании отверстий получены следующие результаты: при движении луча по гипотрохоиде (вариант 1) продолжительность операции составила 8,6 с, для движения по спирали (вариант 2) – 13,5 с. Минимальная температура нагрева пластины для обоих вариантов составила 1200°C.

По распределению тепловых полей при формировании отверстий проведена оценка площади локального перегрева пластины. В случае с движением луча лазера по спирали площадь перегрева пластины получилась в 1,8 раза больше, чем для варианта движения по гипотрохоиде.

Исходя из сравнения форм графиков зависимости температуры от времени при формировании отверстий в исследуемых вариантах движения можно судить о сравнительно низкой эффективности использования траектории движения луча по спирали.

Заключение.

Применение перемещения сфокусированного лазерного луча по траектории вызывает проблему выбора оптимального пути, который обеспечит получение отверстий оптимального качества с минимальной затратой времени и исключением перегрева изделия. На данный момент лучшие показатели достигнуты при движении луча по гипотрохоиде (вариант 1), что не исключает необходимости дальнейших исследований в этой области, уточнении моделей и экспериментов для практического подтверждения.

Список литературы

[1]. 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.

[2]. 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.

QUALITY EVALUATION OF INFORMATION TRANSFER IN A DISPATCHING SYSTEM BASED ON MQTT ARCHITECTURE

A.I. Lappo

Assistant Professor of ITAS Department

V.L. Lanin

Professor, Department of Computer Design of BSUIR, Doctor of Technical Sciences

Belarusian State University of computer science and Radio Electronics, Republic of Belarus

E-mail: lappo@bsuir.by

Abstract. The simulation of the movement of a focused laser beam along two variants of the circuit trajectory to obtain a hole in a silicon wafer necessary for the formation of contact connections between the components of a 3D module is performed. The choice of the optimal trajectory of movement was made, which ensures the minimum time consumption and excludes overheating of the product.

Keywords: modeling, laser beam, motion trajectory.