

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЛАЗЕРА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Лаппо А. И., Ярмолик В. И., Муравьев А. С.

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 луча движущегося по заданной траектории

ВВЕДЕНИЕ

Использование лазерного излучения для технологических операций без контактного воздействия на материал обладает рядом преимуществ, таких как точность следования технологическим режимам и контроль объема подводимой энергии.

Для создания переходных отверстий между слоями многокристального модуля можно применять энергию сфокусированного лазерного луча. Так как диаметр отверстий может быть больше диаметра лазерного луча, приходится использовать способы перемещения луча по заданной траектории. Перемещение луча по траектории может осуществляться способом перемещения предметно-стола относительно неподвижного лазерного луча, так и способом отклонения луча с помощью системы зеркал.

В данном случае, в технологической операции создания переходных отверстий в кремниевой подложке можно выделить две проблемы: первая – выбор технологических режимов работы лазера (мощность, частота импульсов, скорость перемещения лазерного пучка), вторая – выбор оптимальной траектории перемещения луча. Технология формирования точечного отверстия несовершенна, поэтому получаемые точечные отверстия имеют конусообразность, которая определяется как отношение разности диаметров отверстий к толщине подложки. Для качественного отверстия конусообразность не должна превышать 0,1. Учитывая данный факт, формирование отверстий с применением траектории движения лазерного луча по контуру окружности является нецелесообразным, и встает задача проектирования траектории движения с заполнением площади ограниченной окружностью.

I. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Для операции создания переходных отверстий в кремниевой подложке планируется использовать лазерное оборудование со следующими характеристиками:

- лазер мощностью 10 Вт,
- длительность импульса – 1,2 нс,
- частота – 150 Гц,
- скважность импульса – 0,67,

– скорость луча – 0,5 или 5 мм/с.

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 переходных отверстий приведен в источнике [1,2].

II. ВЫБОР ВАРИАНТОВ ДВИЖЕНИЯ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Так как лазерное излучение является импульсным, следовательно, по ходу движения луча будут образовываться области, на которых не будет происходить воздействие на материал. Для моделирования траектории движения лазера предложено несколько вариантов, один из них – это движение луча по гипотрохоиде (рис. 1), второй – движение по спирали (рис. 2).

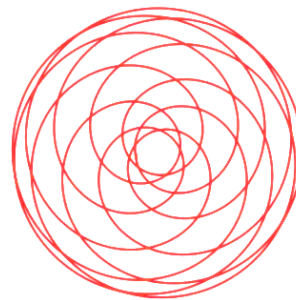


Рис. 1 – Визуализация движения лазера при формировании отверстия по гипотрохоидной траектории

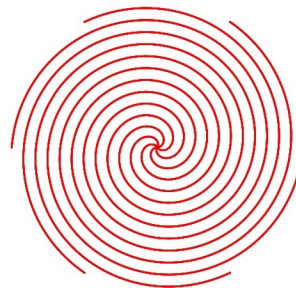


Рис. 2 – Визуализация движения лазера при формировании отверстия по спиральной траектории

Формула движение луча по гипотрохоиде выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} x = (r - mr) \cos(mt) + \cos(t - mt) \\ y = (r - mr) \sin(mt) + \sin(t - mt) \end{cases}$$

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

Формула движение луча по спирали приведена ниже:

$$\begin{cases} x = \pi \cos(\theta) + at \cos(t + q) \\ y = \pi \sin(\theta) + at \sin(t + q) \end{cases}$$

Для каждого контура получено два варианта траектории движения, в зависимости от скорости движения луча 0,5 или 5 мм/с. (рис. 3 – 6).

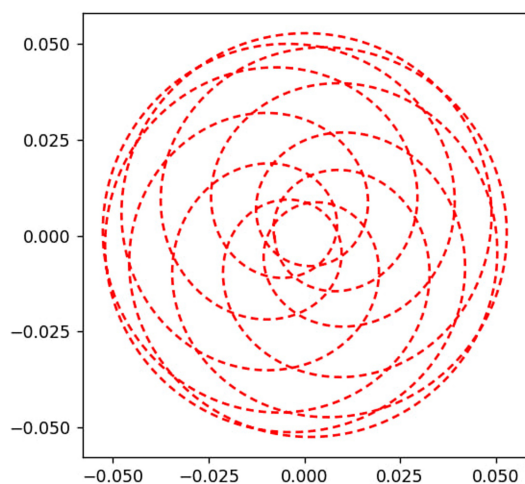


Рис. 3 – Визуализация движения лазера по гипотрохоидной траектории скорости движения луча 0,5 мм/с.

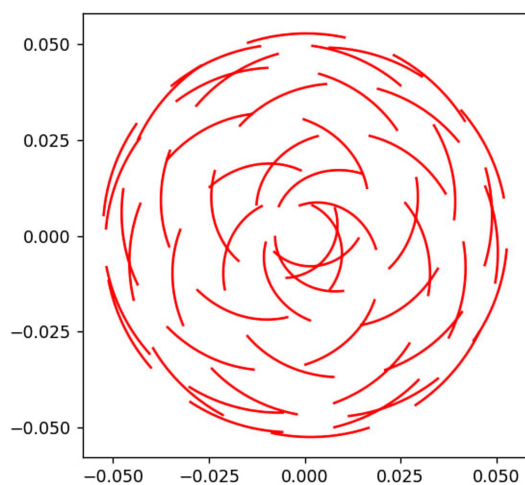


Рис. 4 – Визуализация движения лазера по гипотрохоидной траектории скорости движения луча 5 мм/с.

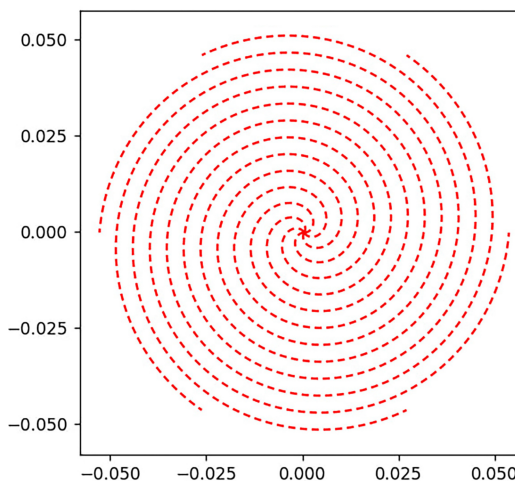


Рис. 5 – Визуализация движения лазера по спиральной траектории скорости движения луча 0,5 мм/с.

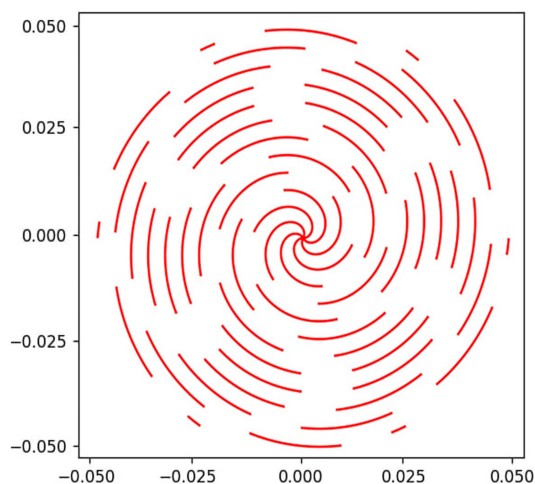


Рис. 6 – Визуализация движения лазера по спиральной траектории скорости движения луча 5 мм/с.

III. Выводы

Таким образом, при формировании отверстий с использованием траектории движения луча по гипотрохоиде со скоростью 0,5 мм/с потребовалось совершить минимум 4 прохода. При использовании движения луча со скоростью 5 мм/с оказалось достаточно 2 проходов по траектории. При спиральном движении луча не получилось создать замкнутый контур.

Стоит отметить равномерное распределение лучей по всему участку обработки материала при использовании движения со скоростью 0,5 мм/с.

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.