

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ В КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ ПОСРЕДСТВОМ ЛАЗЕРНОГО И ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА

*Ланно А.И.*

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

*Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук, профессор*

**Аннотация.** Автоматизированный контроль процесса формирования переходных отверстий в кремниевых подложках 3D структур по технологии TSV посредством лазерного излучения и инфракрасного нагрева в средневолновом диапазоне при помощи микроконтроллерного устройства позволяет повысить точность проводимых опытов, упростить сбор данных необходимых для последующего анализа и ля установления оптимальных параметров технологического процесса.

**Ключевые слова.** Автоматизированный, контроль, микроконтроллер, 3D структура, TSV, лазер, ИК нагрев, методика, эксперимент.

**Введение.** 3D электронные модули, которые способны интегрировать множество микросхем на основе различных технологий в один единый корпус, позволяют создать устройства малых размеров, с широким набором функций и доступных по стоимости. Одно из современных направлений реализации 3D-модулей является технология TSV (Through Silicon Vias – сквозные отверстия в кремнии) [1]. Структурная схема процесса представлена на рисунке 1. Высокая плотность энергии лазерного излучения позволяет за небольшие промежутки времени достигать высоких температур нагрева, в частности температуры плавления, а затем испарения, что делает возможным применение лазерного излучения с целью формирования монтажных переходных отверстий в кремниевых подложках.

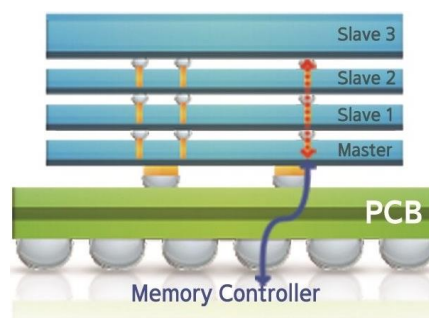


Рисунок 1 – Реализация 3D-модуля по технологии TSV

Для определения оптимальных параметров операции прошивки отверстий необходимо провести ряд экспериментов для автоматизации сбора информации и повышения точности собираемой информации и разработать микроконтроллерное устройства, которое будет собирать и записывать данные в ходе экспериментальных опытов.

**Основная часть.** Первым этапом при создании 3D-модуля по технологии TSV является формирование сквозного отверстия для реализации контактного соединения между слоями модуля и подложкой. Основные технологические параметры формируемых отверстий – диаметр отверстия, отклонение от формы (конусность, наплыва и др.). Контролируемые параметры технологического процесса: мощность и продолжительность импульса лазера (контролируется с пульта управления лазерной установки), продолжительность операции (кон-

тролируется вручную), температура кремневой пластины. Лабораторные исследования проведены на лазерной установке Yueming CMA0604-B-A [2]. Общий вид установки представлен на рисунке 2. Основные характеристики лазерной установки приведены в таблице 1.



Рисунок 2 – Общий вид лазерной установки Yueming CMA0604-B-A

Таблица 1 – Основные характеристики лазерной установки Yueming CMA0604-B-A

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Тип лазера:                      | CO2                                      |
| Мощность:                        | 65–75 Вт                                 |
| Размер рабочего стола:           | 600×400 мм                               |
| Модель лазерного излучателя:     | Yongli 1200-G2                           |
| Длина волны лазерного излучения: | 10 640 нм                                |
| Точность позиционирования:       | 0.01 мм                                  |
| Регулировка мощности лазера:     | Аппаратная и программная                 |
| Электропитание:                  | 220±10% Вольт / 50–60 Герц               |
| Потребляемая мощность:           | 1 — 3.2 кВт                              |
| Фокусирующая линза:              | ZnSe $\varnothing 20$ f-63.5 II-VI (США) |
| Фокусное расстояние:             | 63.5 мм                                  |
| Зеркала:                         | Кремневые Si — 30 мм WAVELENGTH          |
| Страна производства:             | КНР                                      |
| Производитель:                   | Yueming                                  |
| Размеры машины:                  | 1530×1070×1070 мм                        |
| Масса машины:                    | 260 кг                                   |

Для получения экспериментальных данных разработана методика (рисунок 3). Лазерная установка Yueming CMA0604-B-A генерирует лазерный луч, который попадает на кремневую пластину 4 и формирует отверстие 2, световое излучение 7 проходящее через формируемое отверстие попадает на фоторезистор 8. В эксперименте с инфракрасным нагревом 6 кремневой пластины 4 перед началом формирования отверстия 3 производится нагрев пластины нагревателем 5 до заданной температуры. Контроль температуры на поверхности кремневой пластины осуществляется термопарой 3.

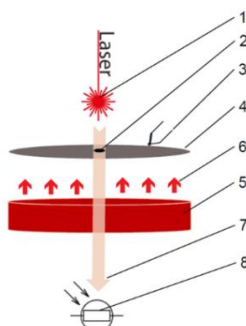


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Для контроля хода эксперимента разработано устройство на базе микроконтроллера, функциональная схема представлена на рисунке 4. Микроконтроллер на чипе ATmega328P считывает показания с фоторезистора и с термопары (подключается через преобразователь сигнала термопары МАХ6675), состояние системы отображается на ЖКИ экране, запись результатов производится на карту памяти, управление микроконтроллеров производится через клавиатуру.

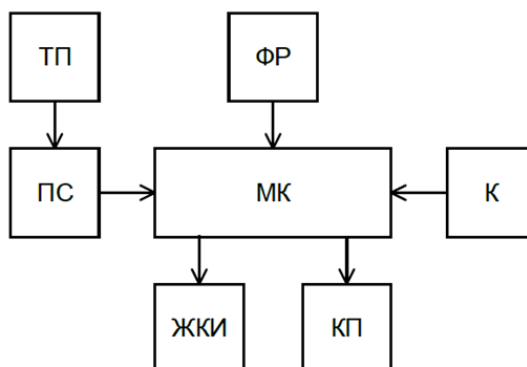


Рисунок 4 – Структурная схема микроконтроллерного устройства

Принцип работы автоматизированного контроля процесса формирования переходных отверстий в кремневые подложки представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема алгоритма работы автоматизированного контроля

На дисплей выводится информация о текущем режиме работы микроконтроллерного устройства, температура с поверхности кремниевой пластины  $T$  уровень яркости  $R$  в процентах от максимально возможного измеряемой яркости (рисунок 6). На карту памяти записывается та же информация с интервалом 10 ms. На рисунке 7 представлен пример журнала событий, записанных на карту памяти.



Рисунок 6 – Вывод информации на дисплей

| Time | Light% | t.C |
|------|--------|-----|
| 10   | 15     | 150 |
| 20   | 16     | 145 |
| 30   | 15     | 156 |
| 40   | 17     | 147 |
| 50   | 16     | 152 |
| 60   | 17     | 152 |

Рисунок 7 – Журнал событий, записанных на карту памяти

**Заключение.** Применение автоматизированный контроля процесса формирования переходных отверстий в кремниевых подложках посредством лазерного и инфракрасного нагрева при помощи микроконтроллера позволяет повысить точность проводимых опытов, упростить сбор данных, необходимых последующего для анализа и установления оптимальных параметров технологического процесса.

#### Список литературы

1. Through Silicon Via - TSV Technology // Micralyne [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа <https://www.micralyne.com/technology-platforms/through-silicon-via>
2. Лазерный станок Yueming CMA0604-B-A 65-75 ватт, характеристики // Gipertec [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа <https://gipertec.ru/products/lazernii-stanok-yueming-cma0604ba>

УДК 621.373.826

## AUTOMATED CONTROL OF THE PROCESS FORMATION OF TRANSITION HOLES IN SILICON SUBSTRATES THROUGH LASER AND INFRARED HEATING

Lappo A. I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus (style T-institution)

Lanin V.L. – DSc. professor

**Annotation.** Automated control of the process of forming vias into silicon substrates for the formation of 3D structures using TSV technology by means of laser radiation and infrared heating in the medium wavelength range, using a microcontroller device, makes it possible to increase the accuracy of the experiments, simplify the collection of data necessary for the subsequent analysis necessary to establish the optimal parameters of the technological process.

**Keywords.** Automated, control, microcontroller, 3D structure, TSV, laser, IR heating, technique, experiment.