

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
УДК 621.373.826

Чан
Ньян Дат

**Лазерная прошивка отверстий в керамических и кремниевых подложках
при формировании 3D электронных модулей**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель
Ланин Владимир Леонидович
профессор кафедры ЭТТ
профессор; доктор технических наук

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций в микроэлектронике является уменьшение габаритов изделий при одновременном повышении их производительности и функциональности. Для решения этой задачи успешно применяются методики трехмерной компоновки составных элементов интегральных схем. Наиболее интенсивно развиваются методы 3D-интеграции, которая заключается в сборке изделий, начиная с полупроводниковых пластин 3D-WLSiP (система в корпусе на уровне пластины) до стадии упаковки кристаллов в корпус. Современные технологии позволяют монтировать кристаллы на пластину и пластины между собой, получая готовое изделие даже до разделения пластин на отдельные кристаллы. Максимально возможный на сегодня уровень интеграции ИС обеспечивает использование технологии TSV, которая позволяет убрать операцию разварки из технологической цепочки.

Кремниевая технология осваивает изготовление микросхем с минимальными размерами элементов в диапазоне нанометров, в связи с чем нарастает беспокойство о возможности сохранения существующих темпов развития полупроводниковой промышленности из-за постоянно возрастающей сложности формирования наноразмерных структур и в результате ростом стоимости производства. Для поддержки развития микроэлектроники до топологических норм менее 10 нм сейчас возможно лишь с помощью трехмерной (3D) технологии.

Лазерное формирование отверстий (получение отверстий значительной глубины, диаметром до 1 мм) реализует следующие преимущества:

- возможность фокусировки в пятно очень малого диаметра;
- бесконтактная обработка и отсутствие изнашивающихся инструментов;
- возможность подбора параметров, позволяющих обеспечить нужную геометрию отверстий;
- управление пространственным положением отверстия;
- небольшая зона прогрева.

Основным фактором, обеспечивающий качество отверстий при лазерной прошивке, является правильный выбор параметров процесса. Применение компьютерного моделирования позволяет осуществить предварительный расчет параметров нагрева, вычислить диапазон приемлемых параметров, откуда процесс лазерной прошивки отверстий оптимизировался.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Электронной техники и технологии» в рамках следующей научной программы:

ГБ № 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства электронно-оптических систем, электронных средств, биомедицинской и интегральной электроники».

Актуальность темы исследования

Электронная промышленность заинтересована в создании устройств малых размеров с высокой степенью интеграции, широким набором функций и доступных по стоимости. Эффективное решение этой задачи возможно с использованием 3D электронных модулей. 3D-модуль представляет собой систему, состоящую из двух или более микросхем, расположенных вертикально в стек на одной подложке, каждая из которых предназначена для выполнения своей функции. Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания отверстий необходимого диаметра с соответствующим технологическим требованиям уровнем качества. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала.

Цель и задачи исследования

Целью данного магистерской диссертации является изучение особенностей конструкций 3D структур электронных модулей, построение физико-кинетической модели формирования отверстия с помощью лазерного излучения и исследование процесса лазерной прошивки отверстий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ технологий и оборудования лазерной прошивки отверстий в керамических и кремниевых подложках.
2. Построение математической модели, анализ результатов моделирования и оптимизация технологических режимов лазерной прошивки отверстий в керамических и кремниевых подложках при формировании 3D электронных модулей.

3. Разработка методики и экспериментальное исследование технологических режимов процесса лазерной прошивки отверстий при формировании 3D электронных модулей.

4. Разработка практических рекомендаций по использованию результатов исследований.

Объектом исследования является 3D электронные модули, кремниевые и керамические подложки.

Предметом исследования являются процессы прошивки отверстий в керамических и кремниевых подложках лазерным излучением при формировании 3D электронных модулях.

Область исследования содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна полученных результатов обусловлена моделированием импульсного лазерного нагрева и диаметра и глубины при лазерной прошивке отверстий на COMSOL Multiphysics, исследованием лазерной прошивки отверстий, определением размеров отверстий в кремниевых и керамических подложках и закономерностью процесса лазерной прошивки отверстий (зависимости времени нагрева и скорости сверления отверстий от интенсивности лазерного луча, диаметра и глубины отверстий от энергии импульсного излучения).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Модели тепловых полей в кремниевых подложках, полученные в среде COMSOL Multiphysics при воздействии импульсного лазерного излучения.

2. Методика лазерной прошивки отверстий импульсным лазерным излучением и результаты моделирования глубины и диаметра отверстий при

лазерной прошивке и зависимости продолжительности этапа нагрева и скорости сверления отверстий от интенсивности лазерных импульсов.

3. Экспериментально установленные оптимальные параметры лазерного излучения для получения качественных отверстий в кремниевых подложках 3D электронных модулей.

Теоретическая значимость работы заключается в моделировании и оптимизации технологических режимов процесса лазерной прошивки отверстий в кремниевых и керамических подложках 3D электронных модулей, установление зависимостей характеристик отверстий (глубина, диаметра), времени нагрева и скорости сверления отверстий от параметров лазерного излучения.

Практическая значимость – экспериментально подтверждена возможностью получения отверстий при различных длинах волны.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 55-й и 56-й научных конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР, 5-й, 6-й международных конференциях «BIGDATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» 2019–2020 и международной конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» Могилев 2020 г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 5 доклада в материалах научных конференций, 1 статья в периодическом научном журнале.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение, списка цитируемой литературы из 51 наименований. Общий объем диссертации 95 страницы, в том числе 37 иллюстрации и 14 таблиц.

Во Введении приводится обоснование актуальности работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся тенденции создания 3D сборок, изготовление микросхем с минимальными размерами элементов с помощью 2,5D и 3D технологий, технология сквозных отверстий в кремнии и особенно технология лазерной обработки. Дается обзор современных технологических лазерных установок.

Вторая глава посвящена разработке методики моделирования, создание математических и физических моделей в программном комплексе COMSOL Multiphysics. Проведено математическое моделирование лазерной прошивки отверстий в кремниевых подложках. Определены зависимости температуры на поверхности кремния от времени нагрева, глубины и диаметра отверстий от энергии импульсного излучения и половинного угла раствора конуса. Определены оптимальные параметры лазерного нагрева.

Третья глава содержит методики лазерной прошивки отверстий, исследование тепловые поля в кремниевых пластинах с помощью инструментов (термопары, пирометры и тепловизор), а также методику оптимизации режимов лазерной импульсной обработки при формировании отверстий в кремнии и керамике.

В четвертой главе диссертации представлены:

- зависимости времени лазерного формирования отверстий от мощности излучения для установок с длинами волн 532 нм и 1064 нм;
- зависимости отношения диаметров входного отверстия к выходному от мощности излучения для установок с длинами волн 532 нм и 1064 нм.
- зависимость температуры плавления от мощности излучения для установок с диаметрами 0,8 мм и 1,6 мм.

Пятая глава даёт практические рекомендации по использованию результатов исследования. Даны рекомендации, касающиеся используемого оборудования для исследования лазерной прошивки отверстий и измерения входных и выходных отверстий.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных источников и используя поиск материалов по данной теме в сети интернета, определена перспективность процессов лазерной прошивки отверстий при формировании 3Д электронных модулей. Создать отверстия необходимого диаметра с соответствующим уровнем качества традиционными методами крайне затруднительно, а порой и невозможно. Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания отверстий. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала.

2. Результаты моделирования показывают, при уменьшении радиуса лазерного излучения растет температура нагрева в зоне обработки ввиду большей концентрации источника тепла и зависимости глубины h и диаметра отверстия D от энергии импульсного излучения при ее небольшом значении являются близкими к линейным. Из результатов моделирования, оптимальные значения для лазерной прошивки отверстий определяются (диаметр лазерного излучения 1 мм, энергия излучения 2 Дж).

3. Выбор технологических режимов при формировании отверстий лазерным лучом основывается на учете свойств обрабатываемого материала: коэффициенте поглощения и отражательной способности при данной длине волны лазерного излучения, определяющих процесс поглощения энергии; удельной теплопроводности и температуропроводности, тепловой поток в материале; плотности, удельной теплоемкости, скрытой теплоты и температуры фазового перехода, энергоемкость процесса перехода материала в жидкое состояние. При выборе режимов необходимо учитывать влияние энергетических и временных характеристик лазерного излучения.

4. Зависимости времени нагрева и скорости сверления отверстий от интенсивности лазерных импульсов рассмотрены. Время нагрева и лазерного сверления уменьшается при увеличении интенсивности лазерных импульсов, особенно при воздействии импульсов пикосекундной и наносекундной длительности. Скорость процесса сверления растет при увеличении интенсивности лазерных импульсов и это увеличение значительно при воздействии импульсов пикосекундной длительности. При воздействии импульсов нано- и микросекундной длительности различие меньше. Это различие, которое возникает в параметрах процесса лазерного сверления, обусловлено разной длины волны импульса и длительности, и соответственно разной энергией, которая играет главную роль при обработке неметаллических материалов подложек

5. Результаты исследования показывает, что с увеличением мощности лазерного излучения соотношение диаметров входного к выходному отверстию для длины волны 532 нм растет, для 1064 нм – падает. Лазерная прошивка отверстий при длине волны 10,6 мкм и 532 нм не эффективна, потому что значение конусообразности отверстий большое и время прошивки длительное. В этом отношении целесообразно применением твердотельного лазера с длиной волны 1,06 мкм.

Библиотека БГУИР

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Ланин, В. Л. Лазерное формирование отверстий в неметаллических подложках / В.Л. Ланин, В.Т. Фам, Н.Д. Чан // Электронная обработка материалов, 2020, (56), №1. – с. 76-83.

2. Ланин, В. Л. Моделирование лазерной размерной обработки кремниевых подложек / В.Л. Ланин, Н.Д. Чан // 5-ой Международной научно-технической конференции «BIGDATA and Advanced Analytics Conference and EXPO», 13-14 марта 2019, Минск, – с. 157-161.

3. Ланин, В. Л. Оптимизация режимов лазерной импульсной обработки при формировании отверстий в кремнии и керамике / В.Л. Ланин, Н.Д. Чан // 6-ой Международной научно-технической конференции «BIGDATA and Advanced Analytics Conference and EXPO», 20-21 мая 2020, Минск, – с. 173-177.

4. Чан, Н.Д. Тепловые поля в кремниевых подложках при лазерной прошивке отверстий // 55-я Юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования БГУИР : материалы, Минск, 22–26 апреля 2019 г. / БГУИР – Минск, 2019. – с. 394-395.

5. Чан, Н.Д. Формирование переходных отверстий в кремниевых подложках 3D электронных модулей импульсным лазерным излучением // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования БГУИР : материалы, Минск, 18–20 мая 2020 г. / БГУИР – Минск, 2020. – с. 411-412.

6. Ланин, В.Л. Исследование процесса лазерной прошивки отверстий в кремниевой подложке при формировании 3D структур / В.Л. Ланин, А. И. Лаппо, Н.Д. Чан // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии / Материалы Междунар. науч. – техн. конф. 23–24 апреля 2020– Могилев: Беларус.–Рос. ун-т, 2020. – С. 122–123.