



Ю.Н. Антонов

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ПОДГОНКИ

(Ульяновский государственный технический университет)

Воздействие лазерным лучом (лазерная подгонка) на материал пленок является одним из методов повышения точности сопротивления пленочных резистивных элементов (РЭ). Данный метод позволяет получать результаты по точности сопротивления РЭ в соответствии с проектной документацией.

Включение компьютеров в процессы исследования, проектирования и производства пленочных РЭ, как пассивных компонентов микроэлектроники, привело к появлению форм деятельности, одной из которых является построение моделей предметной области и проведение вычислительных экспериментов с помощью этих моделей, поскольку натурные эксперименты на реальном оборудовании не всегда возможны.

Для исследования моделей предметной области по лазерной подгонке с помощью вычислительного эксперимента необходимо обосновать научность проблемы по повышению точности сопротивления и минимизации повреждений при разрезе материала РЭ.

1. Лазерная подгонка представляет интерес для науки, производства и широко применяется странами, производящими высококачественную электронику.

2. Проблема применения лазерной подгонки для повышения точности сопротивления РЭ далека от окончательного решения, что дает возможность постановки новых научно-технологических задач.

3. Проблема имеет комплексный характер и лежит на стыке нескольких областей знаний.

4. Сложность проблемы предполагает ее декомпозицию на конкретные задачи, относящиеся к определенной области научного знания.

Характер проблемы подгонки предусматривает исследование, основными этапами которого являются:

- анализ экспериментальных данных лазерной подгонки;
- декомпозиция общей проблемы на отдельные частные задачи, допускающие различные подходы к их решению;
- разработка моделей на основе законов физики, фигурирующих в рамках указанной комплексной проблемы;
- разработка математической модели всей проблемы;
- проведение вычислительного эксперимента на основе математических моделей.

Применительно к проблеме подгонки создание ее модели приводит к выявлению задач:



- 1) изучения взаимодействия лазерного излучения с резистивными материалами;
- 2) анализа физического повреждения пленок лазерным излучением;
- 3) применения технологических решений, учитывающих влияние лазерных разрезов на эффективность подгонки;

Все приведенные задачи требуют исследования конкретных явлений, учитывающих физическую компоненту.

Общей чертой всех рассматриваемых задач является описание качественной картины происходящих явлений, которая дополняется учетом количественных соотношений.

Разрезы, с помощью которых осуществляется лазерная подгонка, представляют собой перекрывающиеся отверстия, получающиеся в результате воздействия лазерных импульсов (см. рис. 1).

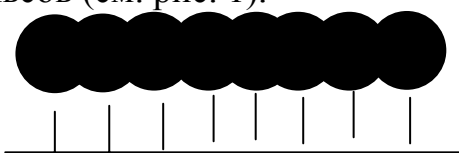


Рис. 1. Форма лазерного реза

Высокая частота повторения импульсов позволяет быстро обрабатывать большие участки пленок, а независимость каналов лазерного воздействия на материал и измерения - применять средства автоматизации для повышения эффективности подгонки [1]. Для определения базового процесса в качестве основы математического моделирования подгонки рассмотрены физические процессы и явления [2].

Тепловое воздействие. Физические явления, сопровождающие взаимодействие лазерной энергии с резистивным материалом, включают: нагрев поверхности, поверхностное плавление, глубокое проплавление, поверхностное испарение.

При испарении резистивного материала под действием сил поверхностного натяжения осуществляется расплавление и скатывание расплава на край обрабатываемого участка. При этом часть материала в капельной или мелкодисперсной фракциях удаляется за счет разбрызгивания. При большой зоне облучения и малой толщине материала превалирует испарительный механизм.

Разрез пленок. Испаряющееся вещество пленки начинает поглощать лазерное излучение и, нагреваясь, ионизируется. Вблизи облучаемой поверхности образуется поглощающая плазма, которая начинает распространяться вдоль пучка навстречу излучению.

При малой зоне облучения и большой толщине материала возрастает роль разрушения вытеснением жидкой фазы. Геометрия обработки такова, что крылья этого профиля воздействуют на пленку в непосредственной близости от прожигаемого места. Энергия, содержащаяся в этой части пучка, достаточна для быстрого нагрева пленки до высокой температуры. Этот быстрый нагрев, последующее охлаждение пленки и разрушение материала, находящегося в не-



посредственной близости от траектории следа лазерного пучка, приводят к неустойчивости сопротивления во времени (дрейфу).

Так как точную геометрию поврежденной нагревом зоны невозможно прогнозировать, то при разработке подгонки РЭ параметры дрейфа могут учитываться только на основе экспериментальных данных.

Изменение сопротивления. При подгонке базовой характеристикой изменения внутреннего электрического поля пленочного РЭ в условиях воздействия внешнего поля является изменение сопротивления или подгоночная характеристика. Учет влияния воздействия лазерного излучения на этапе проектирования топологии гибридных интегральных схем (ИС) осуществляется разработкой специальных конфигураций пленочных РЭ, позволяющих, с одной стороны, уменьшить влияние “поврежденной нагревом зоны” на электрофизические свойства, с другой - обеспечивающих достижение по точности нормативного значения сопротивления. Изменение сопротивления РЭ осуществляется двумя способами:

- 1) удалением части материала для уменьшения токоведущей части односекционных и многосекционных РЭ при непрерывной подгонке;
- 2) разрезом проводящих и резистивных перемычек многосекционных РЭ при дискретной подгонке.

Непрерывная подгонка РЭ. Подгонка осуществляется применением типовых приемов (резов) [3] к конфигурациям РЭ, которые представлены на рис. 2.

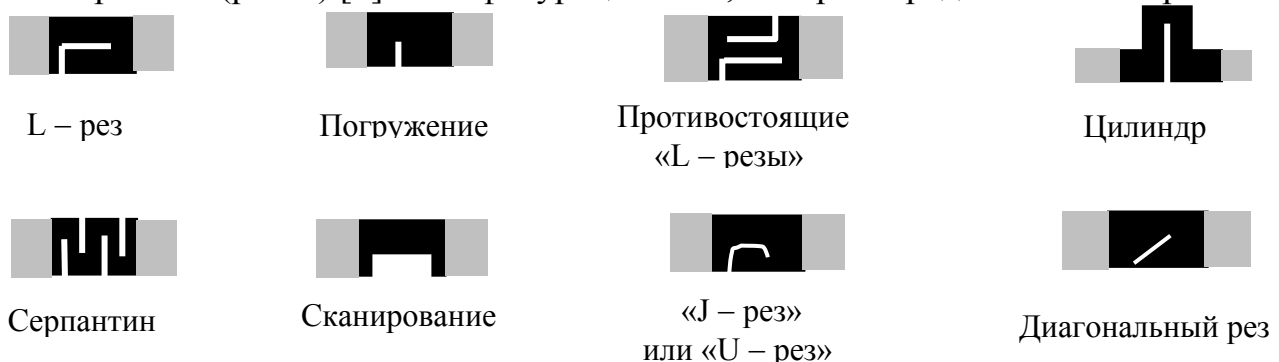


Рис. 2. Типовые приемы непрерывной лазерной подгонки

Дискретная подгонка РЭ. Конфигурации пленочных РЭ для дискретной подгонки сопротивления с удалением проводящих и резистивных перемычек представлены на рис. 3 [4].

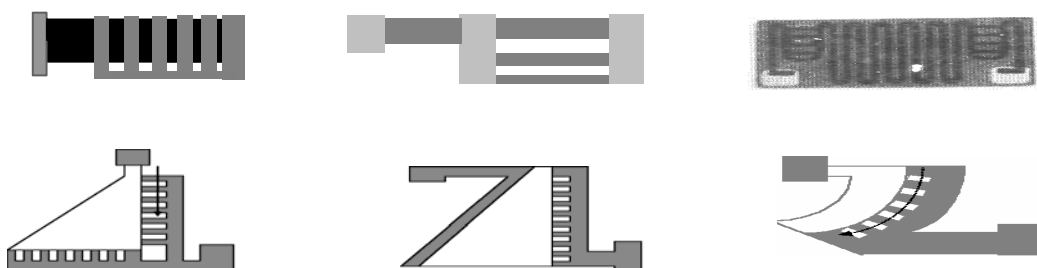


Рис. 3. Конфигурации РЭ для дискретной подгонки



Выбор формы лазерных резов и координат начала лазерной резки для конкретной конфигурации пленочного резистора составляет сущность проектирования подгонки, как механизма регулирования технологии изготовления пленочных РЭ и плат гибридных ИС.

Обоснование решения по применению наилучшего варианта подгонки требует натурных экспериментов на установках лазерной подгонки, что не всегда возможно, или математического моделирования.

Общий подход для разработки моделей подгонки основан на определении величин потенциалов в условиях изменения параметров конфигурации РЭ (ширины, длины, числа секций) и базируется на уравнениях Лапласа и Пуассона. Для решения этих уравнений в частных производных не существует универсального алгоритма, и применяются особые индивидуальные методы: аналитический, квадратов, сеточный.

Математическая модель подгонки включает компонентные модели, модель качества, изменения конфигурации. Класс компонентных моделей реализуется выделением конечного числа схемных компонентов. Решение системы компонентных уравнений позволяет оценить значения сопротивления РЭ и всей гибридной ИС при пассивной или функциональной подгонке. Модели качества предусматривают оценку годности пленочных РЭ, плат гибридных ИС с использованием фазовых переменных одного типа [5]. Имитация изменения конфигурации пленочного резистора лазерным лучом реализуется при пассивной подгонке применением моделей расчета сопротивления для каждого отдельного пленочного резистора.

Формулирование концепции моделирования лазерной подгонки основывается на формировании подгоночной характеристики из множества измеренных или вычисленных значений сопротивления и оценке формы ее изменения для конкретной конфигурации пленочного резистора.

Форма подгоночной характеристики позволяет выбирать стратегию подгонки как по эвристическим, так и специально проектируемым траекториям.

Литература

1. Антонов, Ю. Н. Программное обеспечение автоматизированной установки лазерной подгонки резисторов / Ю.Н. Антонов, К. И. Вершинин, В.М. Николаев // Приборы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1991. – № 8. – С. 17.
2. Банас, К. Лазерная обработка материалов / К. Банас, Р. Уэбб // ТИИЭР. 1982. – Том. 70, – № 6. – С. 35-39.
3. PM Industries Manufacturing Services.
[Http://www.pmindustriesinc.com/index.cfm](http://www.pmindustriesinc.com/index.cfm).
4. Готра, З. Ю. Подгонка пленочных резисторов микросхем / З. Ю. Готра, И. Я. Хромяк, Л. Н. Войтеков // Зарубежная электронная техника. – М.: ЦНИИ «Электроника», 1985, вып. 1(254). – С. 30–74.



5. Антонов Ю.Н., Применение информационных технологий для повышения эффективности лазерной подгонки пленочных резисторов / Перспективные информационные технологии (ПИТ 2013). Труды МНТК / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2013. – 488 с.

П.Г. Антропов, О.Н. Долинина, А.Ю. Шварц

СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

(ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им.
Гагарина Ю.А.»)

Одной из важнейших задач систем транспорта и хранения природного газа ОАО «Газпром» является бесперебойность и высокая эффективность поставки природного газа на потребительский рынок в нашей стране и за рубежом. Выполнение этой задачи невозможно без реализации системы мер направленных на обеспечение эффективной и долгосрочной работы основного оборудования компрессорных станций – газоперекачивающих агрегатов (ГПА), которых по стране насчитывается несколько тысяч. Эта реализуемая система мер должна предусматривать комплексы взаимосвязанных мероприятий направленных , в том числе, на мониторинг технического состояния оборудования как первооснову безопасной и эффективной эксплуатации.

Отечественный парк ГПА характеризуется широким диапазоном эффективных мощностей (2,5...25 МВт), наработок (до 100 тысяч часов и более), условиями эксплуатации и сервисного обслуживания и т.п.. В силу этой неоднородности показатели надежности и эффективности работы, даже однотипных агрегатов в различных дочерних обществах и на разных промплощадках могут существенно различаться. Кроме того, необходимо отметить, что и сама газотранспортная система страны была в целом сформирована к середине 80-х годов 20-го века, но изменение политической и экономической конъюнктуры за этот период приводили к существенному перераспределению нагрузки по существующим направлениям, соответственно изменялась и загруженность, и степень изношенности основного оборудования. Учитывая его непрерывное старение в условиях наметившейся диверсификации потоков поставок природного газа в Европу, основными направлениями повышения эффективности и надежности работы действующих ГПА могли бы быть поддержание их экономичности, оптимизация режимов эксплуатации, качества ремонта и обслуживания, а так же учет экологической приемлемости. Принципиальные возможности достижения этих целей базируются на качественном и своевременном техническом обслуживании и ремонте ГПА, продлении ресурса его эксплуатации без ущерба для показателей эффективности, а также, по возможности, обоснован-