УДК 62-5; 004.942; 004.932.2 DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.631.633

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ПОДГОНКИ ПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММЕ ResModel КАК ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

LASER TRIMMING SIMULATION OF FILM RESISTORS IN ResModel AS A BASIS FOR DEVELOPING AN OPTIMAL CONTROL SYSTEM

КОНДРАШОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ[1]
К.т.н., заместитель начальника комплекса микроэлектроники
Kondrashov.tula@gmail.com

KONDRASHOV VLADIMIR V.[1]
Ph.D, deputy head of microelectronics department
Kondrashov.tula@gmail.com

ЧАПКИН ВЯЧЕСЛАВ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ[1]
Генеральный директор
Chapkins@mail.ru

CHAPKIN VYACHESLAV V. [1]
General manager
Chapkins@mail.ru

ЛУКАШЕНКОВ АНАТОЛИЙ ВИКТОРОВИЧ[2]
Д.т.н., профессор
LuAV50@mail.ru

LUKASHENKOV ANATOLY V.[2]
Sc.D, professor
LuAV50@mail.ru

[1] *ПАО «НПО «СТРЕЛА»*
[2] *ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»*

[1] *"Strela" Scientific and Production Association" PJSC*
[2] *Tula State University*

В работе описано построение системы имитационного моделирования процесса лазерной подгонки резистивных элементов на основе сеточных схемных моделей. Рассмотрены подходы к решению задач, возникающих при разработке процесса подгонки.

Ключевые слова: лазерная подгонка резисторов; синтез алгоритмов управления процессом подгонки; расчет электрофизических параметров резисторов.

The paper considers the construction of a simulation system for the process of laser trimming of film resistors based on mesh circuit models. The approaches to the solution of problems arising during the trimming process development are offered.

Keywords: laser trimming of resistors; development of trimming control algorithms; resistor's electrophysical parameters calculation.

Внесение изменений в технологическое оборудование или технологический процесс требует проведения последующих испытаний как самого процесса, так и конечных изделий, изготовленных в изменившихся условиях. По результатам испытаний при необходимости корректируются параметры устройств, механизмов, моделей и алгоритмов, после чего испытания повторяются. Таким образом отрабатывается технологический процесс.

В зависимости от степени влияния произведенных изменений нередко процедура отработки оказывается весьма сложной, вызывая ряд проблем. Отработка может оказаться затратной с точки зрения трудоемкости (изготовление тестовых деталей, проведение контрольного технологического процесса, получение и анализ результатов) и себестоимости входящих в изделие невозобновляемых материалов. Также зачастую бывает

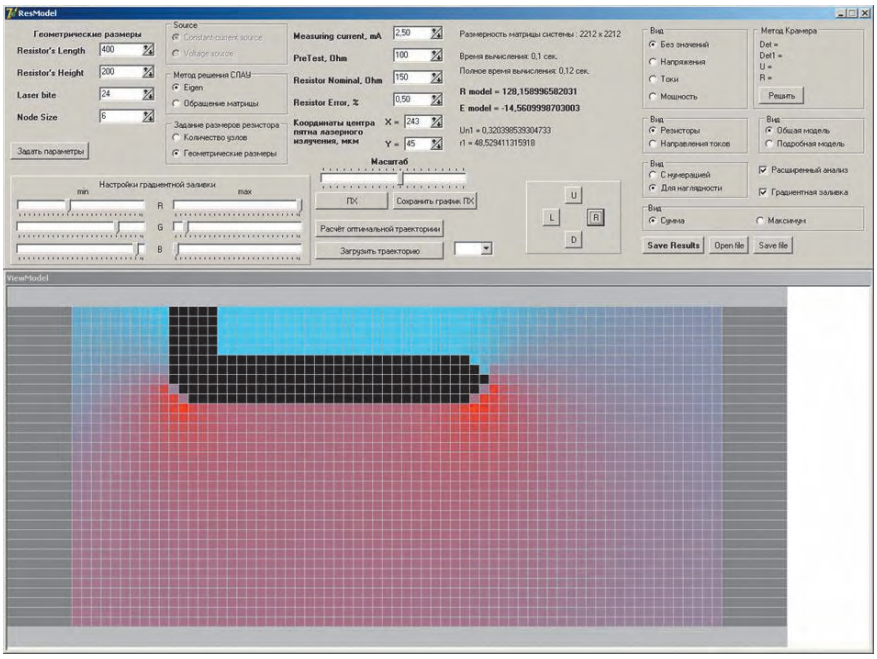

Рис. 1. Общий вид разработанной программы имитационного моделирования процесса подгонки ResModel

технологически затруднительно сделать корректный однозначный вывод относительно того, какой из параметров или механизмов повлиял на изменение конечного результата.

В связи с вышесказанным внедрению разработанной схемной модели токопроводящей среды пленочного резистивного элемента (РЭ) при лазерной подгонке сопротивления [1] в механизмы управления реальными лазерными машинами предшествует создание системы имитационного моделирования, общий вид которой приведен на рис. 1, позволяющей не только оценить адекватность модели и настроить параметры алгоритмов, но и более подробно изучить электрофизические процессы распределения токов по пленочному РЭ [2].

Сопротивление пленочного РЭ до одного и того же номинального значения возможно довести с использованием различных типов подгоночных резов, варьируя такие их параметры, как длины плеч траектории и координаты точки начала выполнения подгонки, что продемонстрировано на рис. 2.

Часто допускается в рамках подгонки одного резистора применять не один, а несколько резов одного типа либо их комбинацию. Во всех случаях применения подгоночных резов ResModel позволяет вычислять величины сопротивления, напряжений, токов и мощностей на произвольных участках схемной модели токопроводящей среды, как это продемонстрировано на рис. 3, а также строить подгоночные характеристики (ПХ) исследуемых резисторов и диаграммы распределения мощностей и токов по ветвям.

Исходными данными для моделирования являются геометрические размеры РЭ, диаметр пятна лазерного излучения, начальное значение сопротивления резистора и величина измерительного тока, а также значение размера узла, определяющего шаг дискретизации модели. На рис. 4 приведен пример работы программы при моделировании подгоночного L-реза с построением ПХ (слева) и распределение токов в виде градиентной заливки (справа).

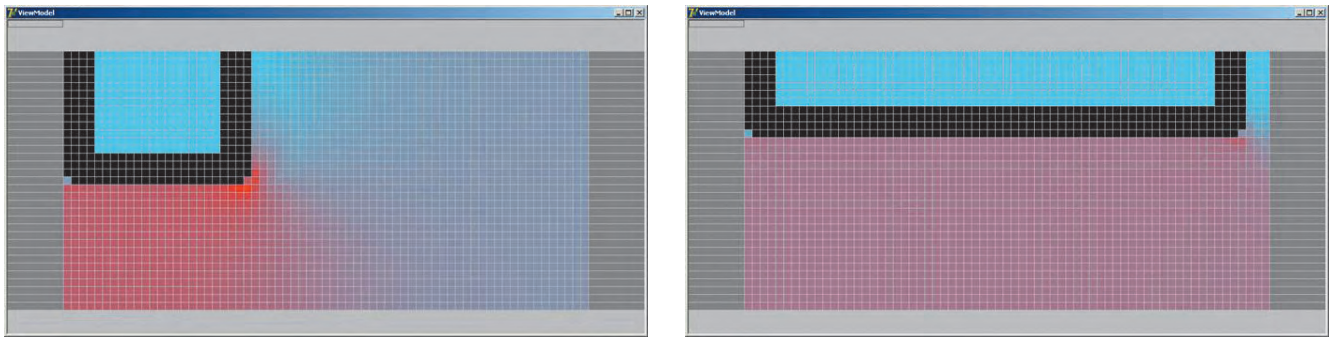

Рис. 2. Распределение токов при произвольных и оптимальных геометрических параметрах реза при одинаковом результирующем сопротивлении

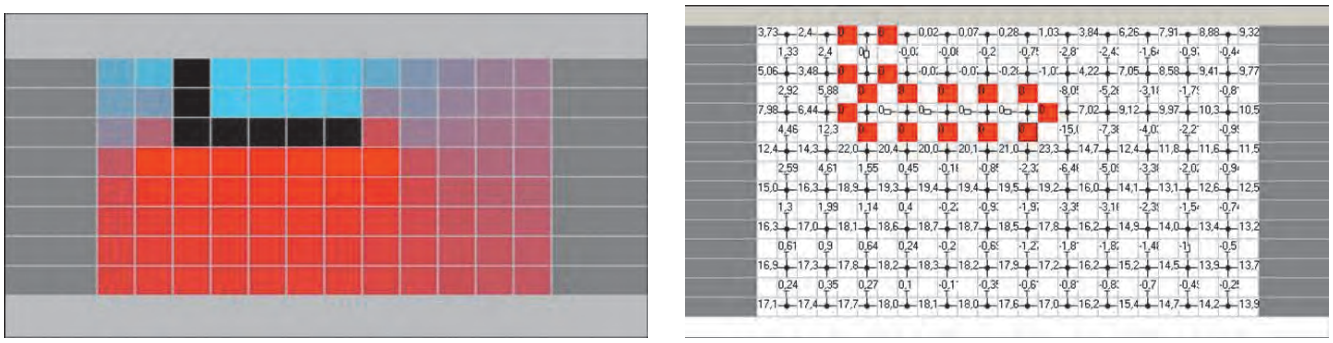

Рис. 3. Демонстрация распределения токовой нагрузки на участках резистивной пленки в виде градиентной заливки (слева) и вычисленные величины тока между узлами сеточной схемной модели (справа)

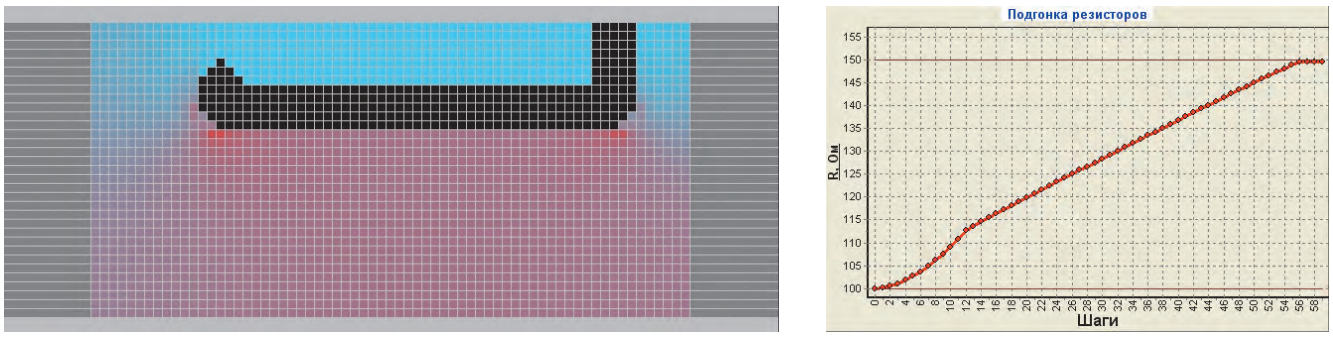

Рис. 4. Распределение токов по РЭ (слева) и соответствующая подгоночная характеристика L-реза (справа)

Очевидно, что в условиях многообразия различных по назначению пленочных РЭ, применяемых типов реза и конструкторско-технологических требований необходим синтез алгоритмов управления на основе принципов адаптации. Действительно, применение такого подхода позволяет разработать систему управления процессом лазерной подгонки, обеспечивающую изготовление РЭ с требуемыми показателями путем изменения алгоритмов управления в зависимости от исходной и получаемой в режиме реального времени информации. Подобные системы управления являются адаптивными. По способу управления данная система относится к системам с косвенным адаптивным управлением: сначала производится оценка параметров объекта, после чего на основании полученных оценок определяются требуемые значения параметров регулятора и при необходимости производится их подстройка.

Новизной работы авторы считают то, что результаты моделирования позволяют существенно уточнить и скорректировать существующие в данный момент на предприятиях требования к проектированию и изготовлению пленочных резисторов, что дает возможность повысить характеристики РЭ — точность и стабильность сопротивления, допустимую рассеиваемую на РЭ мощность. Разработанные алгоритмы управления процессом подгонки в зависимости от различных исходных данных позволяют моделировать подгонку резисторов с получением итогового значения сопротивления с заданной точностью. В зависимости от критериев оптимизации выполняется поиск оптимальной траектории подгонки.

Выполненные исследования и разработанные алгоритмы позволяют построить систему лазерной подгонки, способную обеспечить современный уровень микроэлектронных технологий производства пленочных резисторов, при этом совершенствуя и подход к конструированию самих машин лазерной подгонки, и методы анализа процесса нормирования РЭ. Результаты работы в виде библиотек программных модулей были внедрены в состав серийных машин лазерной подгонки резисторов и микрообработки, подтвердив при практическом применении повышение скорости и точности подгонки резисторов и существенное снижение нагрузки на технологов и операторов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашов В. В. Схемные модели токопроводящей среды пленочного резистивного элемента при лазерной подгонке сопротивления / В. В. Кондрашов, А. В. Лукашенков // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева, 2015. — № 4. — С. 121–128.
2. Антонов Ю. Н. Моделирование процесса лазерной подгонки резисторов гибридных интегральных схем // Компьютерное моделирование, 2004. — С. 106–109.
3. Кондрашов В. В. Управление процессом лазерной подгонки пленочных резистивных элементов на основе сеточной схемной модели токопроводящей среды: дисс. ...канд. техн. наук: 05.13.01 / Владимир Владимирович Кондрашов. — Тула, 2016. — 207 с.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"

Цена 920 руб.

ОСНОВЫ ФОТОТЕРМИЧЕСКОЙ РАДИОМЕТРИИ И ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Л. А. Скворцов

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 220 с.
ISBN 978-5-94836-493-3

В книге содержится последовательное изложение принципов фототермической радиометрии/спектроскопии и лазерной термографии – перспективного направления в спектроскопии и тепловидении. В основе нового метода исследований лежит радиометрическая регистрация поглощенной энергии в исследуемых средах при воздействии на них лазерного излучения. Подробно излагается современное состояние и перспективы развития нового направления, его преимущества и границы применимости по сравнению с другими фототермическими методами. Рассмотрены теоретические основы метода модуляционной и импульсной фототермической радиометрии, ее различные модификации, включая резонансную и pump-probe фототермическую радиометрию и термографию. Приводятся многочисленные примеры практической реализации фототермической радиометрии и лазерной термографии в различных областях науки и техники, в частности для дистанционного измерения температуры объектов, исследования слабопоглощающих сред, дистанционного обнаружения и идентификации следовых количеств вещества, неразрушающего контроля материалов и покрытий, измерения их теплофизических параметров. Обсуждаются вопросы, связанные с особенностями применения метода для контроля качества полупроводниковых материалов, например в части обнаружения подповерхностных дефектов и примесей, измерения их концентрации и энергии активации. Особое внимание в книге уделяется возможностям метода применительно к таким практически значимым областям, как медицина и биология.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, работающих в области спектроскопии, лазерной физики, химии, биологии, и также может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?
✉ 125319, Москва, а/я 91; ✆ +7 (495) 234-0110; 🖷 +7 (495) 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru