

УДК 537.39

И. Н. Чебурахин

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАКЕТНОЙ ИМПУЛЬСНО-ТОКОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ

I. N. Cheburakhin

EQUIPMENT FOR PACKET PULSE CURRENT PROCESSING OF THIN FILM TENSORESISTORS

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Импульсная обработка повышенными электрическими нагрузками позволяет проводить структурирование (стабилизацию) резистивного слоя, осуществлять юстировку (подгонку) величины сопротивлений резисторов до требуемого номинального значения. Разработка специализированного оборудования, позволяющего проводить пакетную импульсно-токовую обработку тонкопленочных тензорезисторов (ТР), является актуальной задачей. **Материалы и методы.** Оборудование разработано на основе следующих принципов: обработка тонкопленочных ТР пакетом электрических импульсов; выбор параметров стабилизирующих электрических импульсов так, чтобы нагрев тонкопленочных ТР за время импульса не достигал температуры интенсивного окисления; выбор параметров электрических импульсов подгонки так, чтобы нагрев тонкопленочных ТР за время импульса не достигал температуры диффузии резистивного и диэлектрического изолирующих тонкопленочных слоев; необходимость завершения всех происходящих в ТР процессов за время паузы между импульсами; контроль параметров ТР в паузах между пакетами импульсов; проведение обработки на воздухе при нормальных климатических условиях. **Результаты.** Описана структурная схема и работа устройства. Рассмотрена последовательность операций при стабилизации и подгонке сопротивления тензорезисторов. **Выводы.** Использование разработанной системы упрощает настройку датчиков и повышает их температурную стабильность.

A b s t r a c t. Background. Pulse processing advanced electrical loads allows the structure (stabilization) of the resistive layer, to carry out the adjustment (trimming) of the value of the resistor to the desired nominal value. Development of specialized equipment allowing for a batch pulsed current processing of thin-film strain gauges, is an urgent task. **Materials and methods.** Equipment developed on the basis of the following principles: processing of thin-film TR package electrical pulses; choice of parameters of the stabilizing electric pulses to heat the thin film of TR over the time the impulse has reached the temperature of intensive oxidation; choice of electric pulse parameters fit so that heating of the thin-film TR for the pulse time not reached temperature the diffusion of resistive and dielectric insulating thin-film layers; the need to complete all the events in TR processes during the pause between pulses; control parameters TR in the pauses between pulse packets; carrying out treatment on air under normal climatic conditions. **Results.** Describes the block diagram and the operation of the device. The sequence of operations for stabilizing and adjusting the resistance of the strain gages. **Conclusions.** The use of the developed system simplifies the adjustment of sensors and increases their thermal stability.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тензорезистор, стабилизация, подгонка, пакетная импульсно-токовая обработка.

К e y w o r d s: tensoresistor, stabilization, trimming, batch pulse-current handling.

Важной задачей при создании тензорезисторных датчиков физических величин является обеспечение долговременной стабильности их выходных параметров. Стабильность выходных параметров датчиков определяется стабильностью тонкопленочных тензорезисторов, образующих измерительный мост. Основной причиной нестабильности сопротивлений тонкопленочных тензорезисторов (ТР) являются скрытые дефекты в изолирующем и резистивном слое тонкопленочной структуры интегрального чувствительного элемента датчика давления. Причинами возникновения скрытых дефектов в тонких изолирующем и резистивном слоях являются как исходное состояние рабочей поверхности металлических упругих элементов (УЭ) (риски, царапины исчезающего и неисходящего характера на рабочей поверхности после полировки, структурные дефекты самого материала УЭ), так и отклонения самого технологического процесса напыления диэлектрического и тензорезистивного материалов (давление и состав остаточных газов в рабочем объеме вакуумной камеры, скорость напыления материалов, температура подложек в процессе напыления), приводящие к различным размерам зерен этих слоев и к появлению в них пор при взаимодействии с остаточными газами [1].

Другой важной причиной нестабильности сопротивлений является незавершенность процессов формирования структуры ТР. Непосредственно проводимая после напыления резистивного слоя термостабилизация в вакууме при температуре подложкодержателя 360 °С в течение одного часа позволяет в определенных пределах изменить и величину зазора между отдельными зернами структуры, и размер самих зерен, тем самым обеспечить в приближении термодинамически устойчивую структуру резистивного слоя [2]. Застабилизировать структуру тонкой пленки выбранными режимами стабилизации в вакууме с гарантированной надежностью не удастся из-за неизбежного присутствия в ней скрытых дефектов, обусловленных исходным состоянием самой рабочей поверхности УЭ, а также привносимых и самим процессом напыления резистивного слоя [3].

Импульсная обработка повышенными электрическими нагрузками позволяет проводить структурирование (стабилизацию) резистивного слоя (отжигать скрытые дефекты в пленке, упорядочивать структуру пленки, образуя мостики проводимости между отдельными зернами, в том числе и в зонах расположения отжигаемых скрытых дефектов), осуществлять юстировку (подгонку) величины сопротивлений резисторов до требуемого номинального значения без изменения их геометрии, а также отбраковывать потенциально ненадежные резисторы с «критичными» дефектами резистивного слоя. При этом выбором режимов обработки можно разделить этап структурирования (стабилизации) или этап юстировки сопротивления ТР [4–7]. Разработка специализированного оборудования, позволяющего проводить пакетную импульсно-токовую обработку тонкопленочных тензорезисторов, является темой настоящей статьи.

Основными принципами создания оборудования для импульсно-токовой обработки являются:

- обработка тонкопленочных ТР пакетом электрических импульсов;
- выбор параметров стабилизирующих электрических импульсов так, чтобы нагрев тонкопленочных ТР за время импульса не достигал температуры интенсивного окисления;
- выбор параметров электрических импульсов подгонки так, чтобы нагрев тонкопленочных ТР за время импульса не достигал температуры диффузии тензорезистивного и диэлектрического изолирующего тонкопленочных слоев;
- необходимость завершения всех происходящих в ТР процессов за время паузы между импульсами;
- контроль параметров ТР в паузах между пакетами импульсов;
- проведение обработки на воздухе при нормальных климатических условиях.

В соответствии с изложенными принципами разработана система стабилизации и подгонки тонкопленочных ТР, структурная схема которой представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема системы стабилизации и подгонки тензорезисторов

Система содержит формирователь импульсов управления, с которого управляющие импульсы поступают на таймер времени измерения и индикации и программируемый счетчик импульсов стабилизации и подгонки. Таймер измерения управляет переключателем, который подключает обрабатываемый ТР к измерителю сопротивления или управляемому ключу. Со счетчика импульсов пакет импульсов поступает на управляемый ключ, через который усиленные импульсы от источника постоянного тока поступают на обрабатываемый резистор. Пульт управления управляет режимами стабилизации и подгонки, задавая длительность и количество импульсов.

В качестве источника постоянного тока используется источник питания постоянного тока Б5-8, в качестве измерителя сопротивления – ампервольтметр цифровой Ф-30. Обрабатываемые ТР модулей измерительных датчиков давления подключаются к системе посредством пульта. Остальные узлы системы смонтированы в кожухе АМУ 5.683.042, на передней панели которого расположены переключатели пульта управления и клеммы для подключения приборов и пульта. В качестве переключателя применено электромеханическое реле, в качестве управляемого ключа – высоковольтный транзистор. Формирователь импульсов управления, таймер измерения, счетчик импульсов выполнены на цифровых интегральных микросхемах. Циклограмма работы устройства представлена на рис. 2.

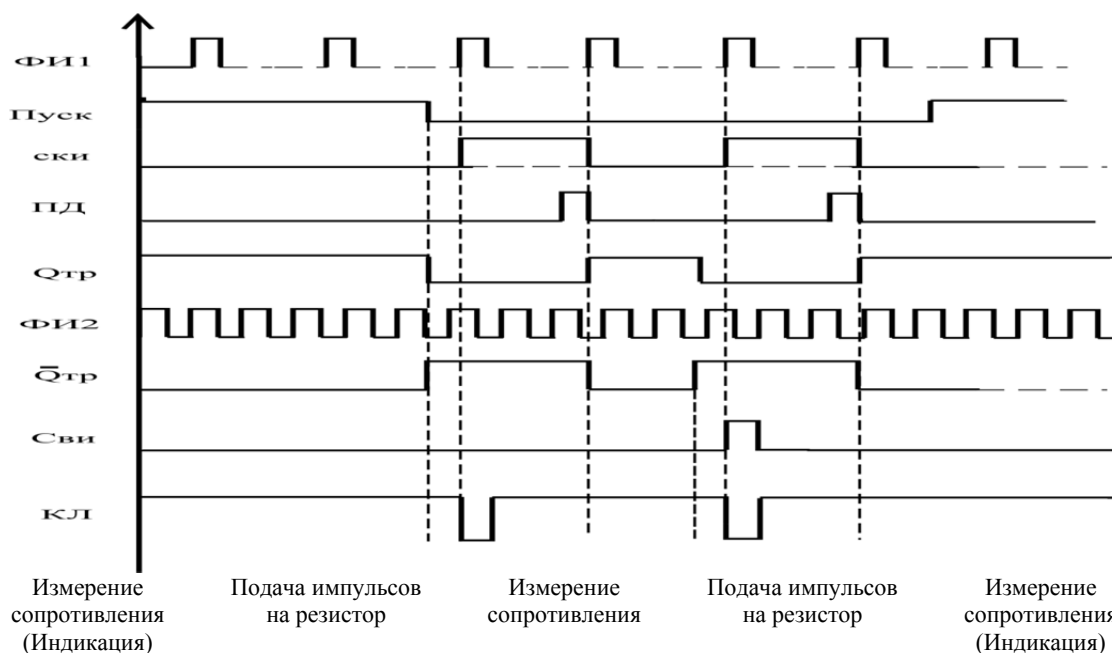


Рис. 2. Циклограмма работы системы пакетно-импульсной стабилизации и подгонки

Оператор подключает обрабатываемый резистор к системе, выбирает режим работы «стабилизация» и проводит замер сопротивления $R_{исх}$. Затем по формуле $U = \sqrt{50R_{исх}}$ рассчитывает напряжение и задает соответствующую величину на источнике питания Б5-8. Затем включает тумблер «пуск» на передней панели системы и контролирует уменьшение значения сопротивления по индикатору Ф-30. Когда уменьшение сопротивления прекратится, завершится этап стабилизации. Сопротивление обрабатываемого ТР станет равно $R_{ст}$. Оператор включает тумблер «пуск», рассчитывает по формуле $U_{имп} = \sqrt{60R}$ напряжение импульсов подгонки. Задав соответствующее значение на источнике питания, Б5-8 переводит систему в режим «подгонка» и рассчитывает значение сопротивления $R_{расч} = 1,015 R_{ст}$. Затем включает тумблер «пуск» на передней панели системы и контролирует увеличение значения сопротивления по индикатору Ф-30. При достижении значения сопротивления равного $R_{расч}$, подгонку прекращают, отключив тумблер «пуск».

При обработке тонкопленочного ТР на этапе стабилизации происходит его нагрев, причем более интенсивно нагреваются участки, имеющие скрытые дефекты структуры, характеризующиеся большим сопротивлением, чем бездефектные участки, а также промежутки между зернами структуры. При достижении определенной температуры дефекты отжигаются, а зерна структуры соединяются. Это приводит к снижению сопротивления обрабатываемого ТР. На этапе подгонки нагрев ТР происходит до температуры, при которой происходит окисление резистивного слоя кислородом воздуха.

Использование разработанной системы пакетной импульсно-токовой обработки обеспечивает проведение стабилизации и подгонки сопротивления тонкопленочных ТР.

В результате упрощается настройка измерительной схемы датчиков при балансировке за счет возможности обеспечения идентичных значений сопротивлений ТР и повышается температурная стабильность начального разбаланса за счет существенного уменьшения разброса температурного коэффициента сопротивления внутри мостовой схемы.

Библиографический список

1. Волохов, И. В. Опыт разработки технологии тонкопленочных тензорезисторных датчиков давления / И. В. Волохов, Ю. А. Зеленцов // Приборы и системы управления. – 1990. – № 10. – С. 41–42.
2. Волохов, И. В. Технологические приемы достижения долговременной стабильности чувствительных элементов металлопленочных датчиков силы НВ-005 / И. В. Волохов, Д. В. Попченков // Датчики и детекторы для АЭС «ДДАЭС-2004 : сб. докладов науч.-техн. конф. – Пенза, 2004. – С. 244–247.
3. Волохов, И. В. Импульсная токовая обработка тензосхемы / И. В. Волохов, Е. В. Песков, В. В. Корнев // Искусственный интеллект. – 2001. – № 3. – С. 607–612.
4. Фоменко, П. А. Импульсная отбраковка резисторов со скрытыми дефектами резистивного слоя / П. А. Фоменко // Электронная техника. Сер. III, Микроэлектроника. – 1973. – Вып. 2 (42). – С. 58–60.
5. Чебурахин, И. Н. Способ повышения стабильности тонкопленочных тензорезисторов / И. Н. Чебурахин, П. А. Колосов // Датчики и системы. – 2012. – № 10. – С. 23–25.
6. Волохов, И. В. Опыт применения новых технологических методик для повышения стабильности параметров тонкопленочных тензорезисторных датчиков давления, используемых в РКТ / И. В. Волохов, П. А. Колосов, И. Н. Чебурахин // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2011. – Т. 2. – С. 414–418.
7. Кандыба, П. Е. Импульсная юстировка величины сопротивления тонкопленочных резисторов / П. Е. Кандыба, П. А. Фоменко // Электронная техника. Сер. III, Микроэлектроника. – 1972. – Вып. 6 (40). – С. 56–61.

Чебурахин Игорь Николаевич

начальник цеха микроэлектроники,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: niifi@sura.ru

Cheburakhin Igor Nikolaevich

head of the microelectronics department,
Scientific-research Institute
of physical measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

УДК 537.39

Чебурахин, И. Н.

Оборудование для пакетной импульсно-токовой стабилизации тонкопленочных тензорезисторов / И. Н. Чебурахин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 2 (20). – С. 14–18.