

УДК 621.316.9

И.В. Волохов, Е.В. Песков, В.В. Корнев
ФГУП НИИ физических измерений

Импульсная токовая обработка тензосхемы

Представлен способ обработки импульсным электрическим током тонкопленочных тензорезисторов и мостовой тензосхемы металлопленочных датчиков с целью выявления скрытых дефектов и проведения термостабилизации тензорезисторов.

В настоящее время при производстве тонкопленочных тензорезисторных датчиков давления приходится сталкиваться с таким их дефектом, как нестабильность величины выходного сигнала.

Анализ причин нестабильности величины выходного сигнала металлопленочных тензорезисторных датчиков давления показывает, что временная и температурная нестабильность мостовой тензосхемы вызвана различной скоростью изменения номиналов тензорезисторов сжатия и растяжения в процессе хранения и эксплуатации датчиков.

В качестве материала для тензорезисторов в металлопленочных модулях измерительных (МИ) и чувствительных элементах (ЧЭ) датчиков применяется резистивный сплав Х20Н75Ю. Исследования структуры тонких резистивных пленок (толщиной около 50 нм) из сложного многокомпонентного сплава типа Х20Н75Ю показали, что эти пленки имеют мелкодисперсную, близкую к аморфной структуру. Электропроводность таких пленок и ее зависимость от температуры определяется границами зерен и величиной зазора между отдельными зернами. Изменение этих параметров позволяет в определенных пределах регулировать удельное поверхностное сопротивление ρ_s и температурный коэффициент сопротивления (ТКС) тонких резистивных пленок.

Известно несколько способов регулировки структуры тонких пленок:

- термический отжиг;
- химическое или электрохимическое окисление;
- плазмохимическое окисление.

По управляемости процесса наилучшим является термический отжиг. Разновидностями термического отжига являются:

- термический отжиг с общим косвенным нагревом ЧЭ в печи;
- отжиг непосредственно тензорезисторов с помощью расфокусированного лазерного луча;
- применение повышенных импульсных электрических нагрузок для разогрева только резистивной пленки.

Применение первого варианта осложнено побочными негативными явлениями, такими как нежелательная взаимодиффузия соседних слоев и, как следствие этого, ухудшение адгезии тонких пленок, неконтролируемость процесса изменения номиналов тензорезисторов.

Применение второго варианта сопряжено с необходимостью использовать сложное и очень дорогое лазерное оборудование.

Применение третьего варианта не требует использования сложного оборудования, и действие этого метода направлено непосредственно на тензорезисторы.

Импульсные токовые нагрузки, действующие на тонкопленочные тензорезисторы разогревают ЧЭ до температуры около 150°C (рис. 1) и кратковременно разогревают обрабатываемую пленку до очень больших температур (порядка $+(1300-1500)^{\circ}\text{C}$), что значительно выше, чем температура при разогреве постоянным электрическим током. При этом можно получить эффект высокотемпературного отжига конкретных тензорезисторов или тензомоста в целом. Высокотемпературный отжиг приводит к изменению структуры тонкой пленки в первую очередь в местах наибольшей дефектности пленки и таким образом выявляются потенциально нестабильные тензорезисторы.

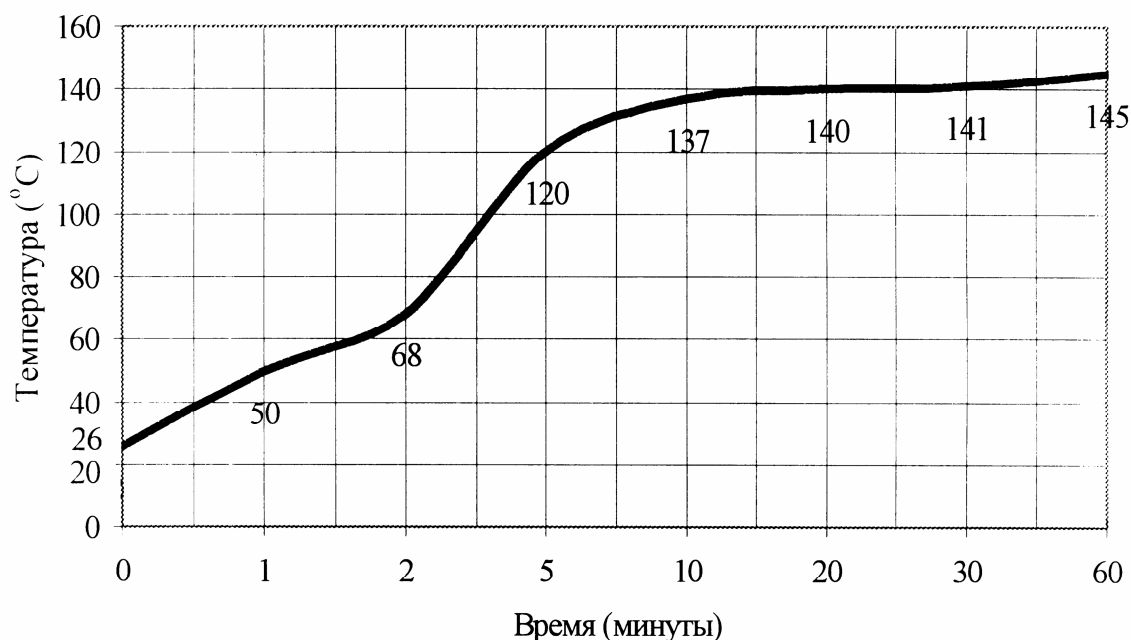


Рис. 1. Изменение температуры мембраны ЧЭ в процессе проведения импульсной токовой обработки одного тензорезистора

Схема подключения приборов к тензорезистору при токовой импульсной обработке представлена на рис. 2.

Контроль величины номиналов тензорезисторов проводился с помощью комбинированного цифрового прибора Ц300.

Применение способа импульсных нагрузок позволяет достигать контролируемого упорядочения структуры пленки и образования мостиков проводимости между отдельными зернами. Несложное оборудование и простота управления процессом являются несомненным преимуществом данного метода перед двумя другими.

Для определения эффективности проведенной работы результаты изготовления датчиков с применением ИТО тензосхемы сравнивались с результатами изготовления датчиков по действующей КД и ТД.

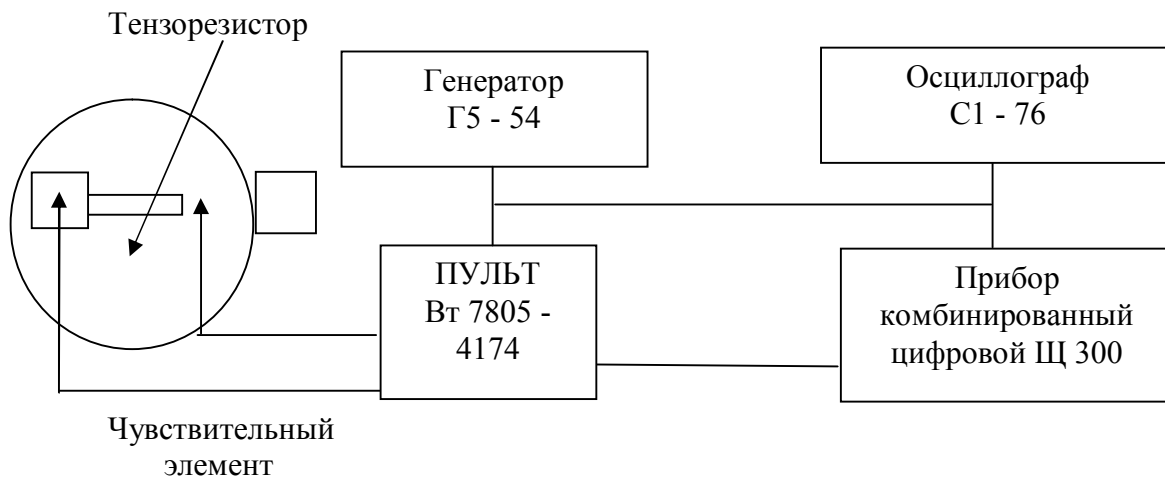


Рис. 2. Контроль формы импульса проводился по осциллографу С1-76

Было изготовлено более 100 шт. датчиков. Для сравнения были использованы данные по изготовлению 80 шт. датчиков, выполненных по существующей КД и ТД.

При изготовлении МИ и ЧЭ была проведена дополнительная операция «Импульсная токовая обработка тензосхемы». После нее для выявления потенциально нестабильных МИ и ЧЭ проводились:

- термообработка ЧЭ и МИ при температуре $(+80 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ с подачей на тензосхему повышенного напряжения питания 9В в течение 5 часов;
- замеры начального выходного сигнала U_0 в нормальных условиях до термообработки, через каждый час во время термообработки и после термообработки;
- расчет скорости изменения величины U_0 за период времени между замерами U_0 .

Проводилась статистическая обработка и сравнение данных по изготовлению датчиков с импульсной токовой обработкой (ИТО) тензосхемы и данных по изготовлению датчиков по действующей КД и ТД (без обработки).

Оценка эффективности предложенной методики импульсной токовой обработки тензосхемы и эффективности выбранной методики отбраковки потенциально нестабильных МИ и ЧЭ проводилась посредством сравнения скорости изменения начального выходного сигнала на различных этапах испытаний (1 и 2 этапы в н.у. после настройки ЧЭ и модуля и 3-18 этапы при температуре $+80^{\circ}\text{C}$ через каждые 10 часов). Скорость изменения начального выходного сигнала 0,1 мкВ/час была выбрана за отбраковочный уровень (рис. 3).

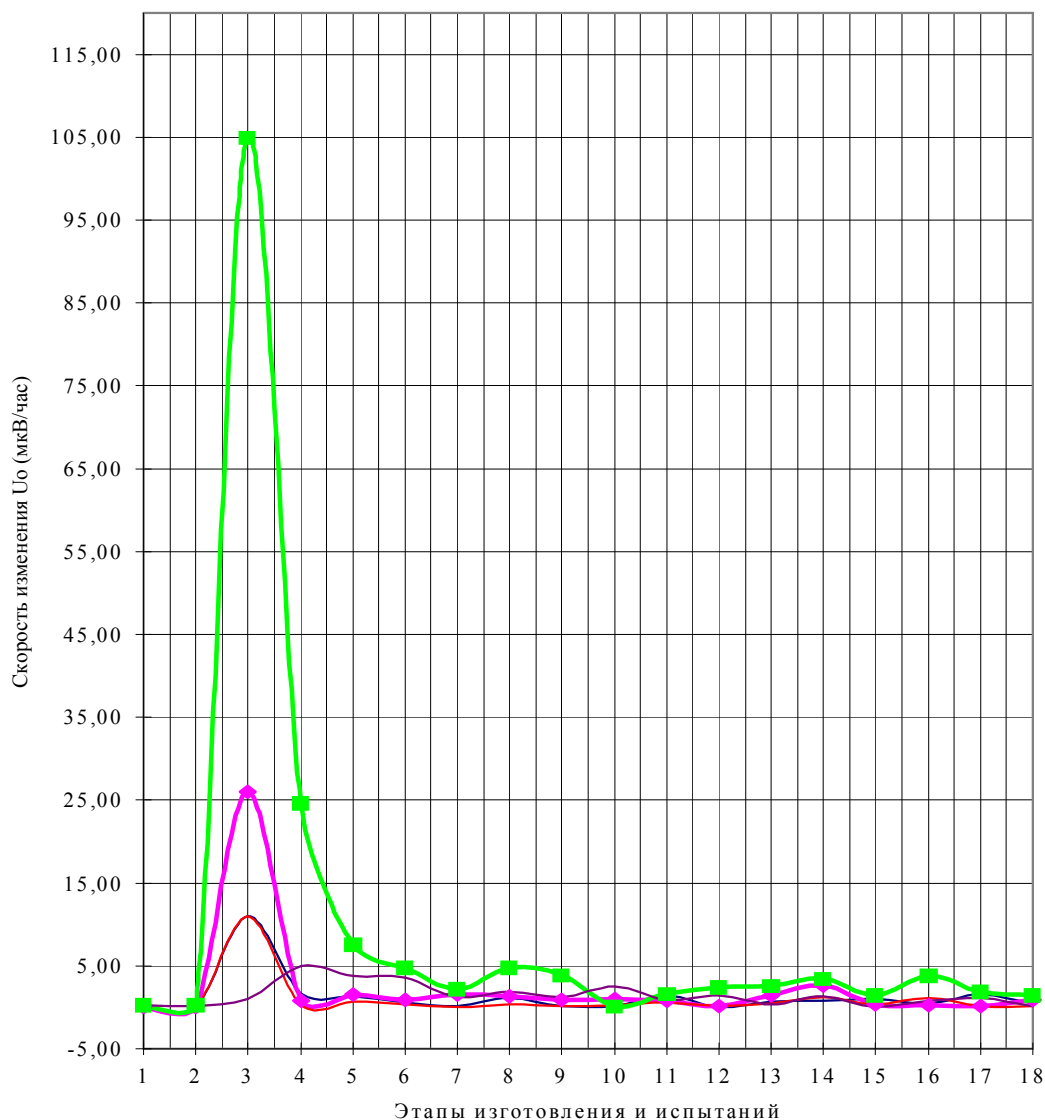


Рис. 3. Колебание скорости изменения величины выходного сигнала в процессе изготовления и испытания ЧЭ Вт 6.036.104 с импульсной обработкой тензосхемы (испытания при $+80^{\circ}\text{C}$ без подачи питания)

Расчет значений статистических показателей (дисперсия распределения значения начального выходного сигнала U_o , среднеквадратичное отклонение (СКО) значения начального выходного сигнала (U_o)) показывает резкое изменение дисперсии и СКО U_o у датчиков, изготавливаемых по КД, на стадиях 1, 2, 3 и 4 (1 стадия – ЧЭ в приспособлении, 2-я – сборка, 3-я – после сварки, 4-я – после настройки ЧЭ, 5-я – до сварки, 6-я – после сварки, 7-я – настройка модуля). Тогда как у датчиков, изготовленных с применением ИТО, резких изменений дисперсии U_o на протяжении всех стадий сборки и настройки не происходит, что говорит о стабилизации этого параметра на ранней стадии сборки (рис. 4 и 5).

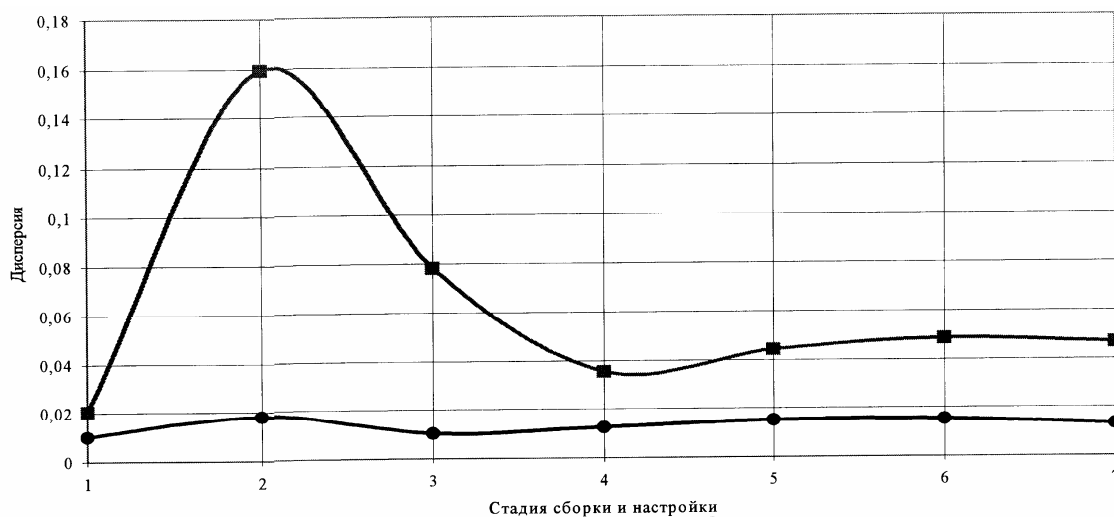


Рис. 4. Дисперсия распределения случайной величины U_o по стадиям сборки и настройки датчика

 – дисперсия величины U_o (с ИТО)
 – дисперсия величины U_o (без обработки)

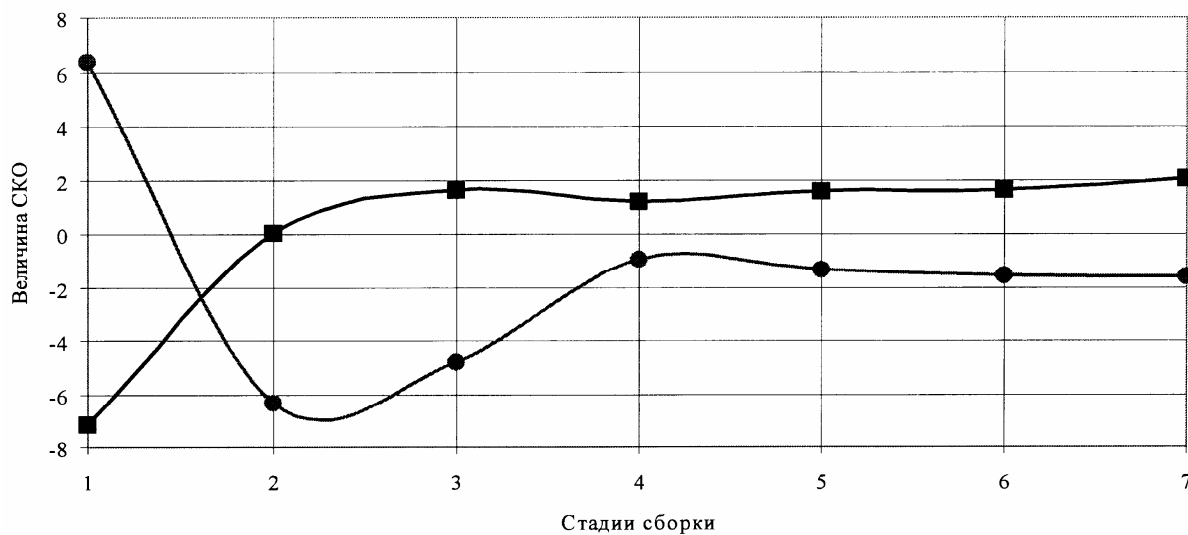


Рис. 5. Среднеквадратичное отклонение величины U_o по стадиям сборки датчика

 – СКО величины U_o (с ИТО)
 – СКО величины U_o (без обработки)

Анализ статистической обработки результатов изменения величины начального выходного сигнала U_o по стадиям настройки и сборки датчика (с ИТО) и без обработки (по КД) показывает эффективность импульсной токовой обработки тензосхемы на ранней стадии изготовления ЧЭ датчиков.

Выводы

1. Сравнительный анализ результатов сборки и настройки датчиков с ИТО и по КД подтвердил эффективность выбранной методики отбраковки потенциально нестабильных ЧЭ металлопленочных тензорезисторных датчиков давления.
2. Определен критерий отбраковки потенциально нестабильных ЧЭ по результатам измерения скорости изменения начального выходного сигнала (U_0) во время воздействия температуры $+80^{\circ}\text{C}$ и повышенного напряжения питания 9В в течение 5 часов. Экспериментальным путем установлен отбраковочный уровень по скорости изменения U_0 .
3. Импульсная токовая обработка тензосхемы в процессе сборки и настройки ЧЭ металлопленочных тензорезисторных датчиков давления повышает стабильность U_0 на всех стадиях сборки и настройки датчиков.

Материал поступил в редакцию 04.06.01.