

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ УСТРОЙСТВА ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Ю. Лушина, Г.А. Кошкин, В.В. Кикот

*Научно-исследовательский институт физических измерений,
г. Пенза, Россия*

Рассмотрены результаты использования устройства плазменной модификации при изготовлении пробной партии пьезокерамических элементов. Приведены сведения о результатах контроля электрофизических характеристик пробной партии, в том числе подтверждающие повышение прочности сцепления металлизации с поверхностью элементов.

Ключевые слова: пьезокерамический элемент, металлизация, покрытие, краевой угол смачивания, усилие отрыва, холодная плазма, модификация.

Вне зависимости от выполняемых функций пьезокерамический элемент представляет собой твердое тело заданной формы и размеров, на поверхность которого нанесено токопроводящее покрытие. Выбор материала элемента, материала и конфигурации электродов, технологии изготовления элемента зависят от его функционального назначения и условий эксплуатации. Общим для элементов является требование к прочности сцепления металлизации (электродов) с поверхностью элемента. Формирование электродов вжиганием металлизационной пасты позволяет получать относительно прочные покрытия заданной толщины. Важным фактором, который влияет на прочность сцепления металлизации с поверхностью элемента, является качество подготовки поверхности, в том числе ее очистка. Очистка производится промывкой и отжигом при температуре свыше 500 °С для удаления летучих и органических загрязнений [1].

Модификация с использованием холодной атмосферной плазмы является перспективным способом очистки и активации поверхности элементов перед металлизацией. Поверхность элемента модифицируется путем обработки факелом холодной плазмы, получаемой из инертного газа и выдуваемой из горелки буферным (транспортным) газом. Взаимодействие активных частиц плазмы с поверхностью элемента изменяет рельеф поверхности и ее химические свойства. Также производится очистка поверхности, в том числе улучшение ее смачиваемости. Длина факела регулируется изменением электрического напряжения, расходом и давлением газовой смеси, температура факела задается в диапазоне от 25 до 80 °С.

Модификация поверхности элементов перед металлизацией содержит следующие этапы: подготовка поверхности; контроль краевого угла смачивания; подготовка оборудования; выбор режима плазменной модификации и модификация; контроль краевого угла смачивания.

При исследовании применимости плазменной модификации для изготовления элементов пьезокерамическим производством АО «НИИФИ» использовалось одноэлектродное устройство, конструкция которого приведена на рисунке 1. Устройство состоит из корпуса с внутренним диаметром сопла 1 мм. В горелку подается аргон при контролируемой скорости потока от 0,2 до 2,5 л / мин. Хром-никелевый проводник толщиной 3 мм с толщиной наконечника 0,65 мм установлен по оси корпуса горелки и является высоковольтным электродом [2].

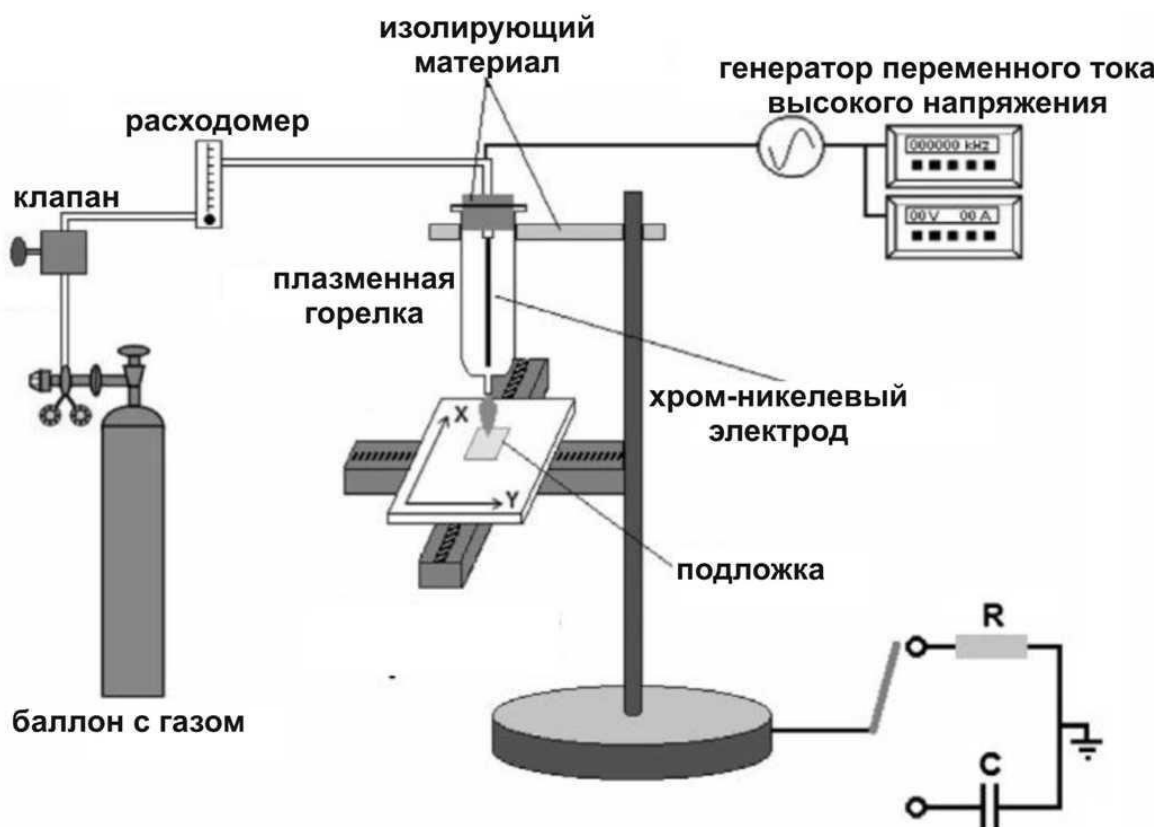


Рисунок 1– Устройство плазменной модификации материалов

Расстояние между наконечником электрода и входом в сопло составляет около 2 мм. Устройство установлено вертикально с использованием диэлектрической опоры. Металлическая платформа (20 × 20) см, закреплена на координатном столе, подложка расположена под соплом горелки и действует как заземляющий электрод. Источник высокого напряжения генерирует высокое напряжение переменного тока (до 24 кВ от пика до пика) в диапазоне частот 20 - 40 кГц. Делитель высокого напряжения и последовательный резистор на 10 Ом используются для контроля приложен-

ного электрического напряжения и тока разряда. Падение напряжения на последовательном конденсаторе 10 нФ пропорционально переданному заряду. Сигналы отображаются на цифровом осциллографе [2].

В результате изготовления пробной партии элементов ($30 \times 4 \times 0,5$) мм в количестве 10 шт. опытным путем установлены следующие значения параметров технологических режимов плазменной модификации: соотношение компонентов газовой смеси: аргон – 80 %; гелий – 20 %; расход газовой смеси: 6 л/мин; расстояние до поверхности элементов: 20 мм; скорость модификации: $0,5 \text{ см}^2/\text{с}$; количество циклов модификации: 2.

При использовании плазменной модификации в процессе изготовления пробной партии элементов получены результаты, приведенные в таблице 1. Измерение краевого угла смачивания произведено с использованием тензиометра «Krüss K100C».

Таблица 1 – Результаты измерения краевого угла смачивания поверхности элементов

Номер элемента	До модификации	После модификации	Отличие углов смачиваемости, %
1	71,2	24,1	66,15
2	74,3	22,8	69,31
3	76,5	25,9	66,14
4	78,8	27,2	65,48
5	72,2	24,3	66,34

После измерения краевого угла смачивания на поверхности элементов путем нанесения и последующего вжигания серебросодержащей пасты сформированы электроды. Элементы поляризованы в постоянном электрическом поле напряженностью 1,5 кВ, искусственно состарены в течение 2 ч при температуре 150 °С и выдержаны при комнатной температуре в течение 14 суток.

Полученные значения электрофизических характеристик и усилия отрыва металлизации (электрода) от поверхности элемента приведены в таблице 2. Электрофизические характеристики элементов измерены в соответствии с ОСТ 11 0444-87. Усилие отрыва покрытия определено подвешиванием поверенных грузов к припаянному к покрытию элемента проводу.

Таблица 2 – Значения электрофизических характеристик и усилия отрыва металлизации

Номер элемента	Плазменная модификация	Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	Пьезомодуль d_{33} , пКл/Н	Усилие отрыва покрытия, гс/мм ²
1	да	0,0159	1906	470	650
2	да	0,0174	1885	460	550
3	да	0,0157	1868	470	600
4	да	0,0167	1922	459	650
5	да	0,0156	1960	485	600
6	нет	0,0159	1894	485	400
7	нет	0,0152	1847	477	450
8	нет	0,0172	1912	468	400
9	нет	0,0159	1902	480	400
10	нет	0,0161	1874	472	450

При анализе результатов измерений, приведенных в таблице 2, установлено, что при плазменной модификации поверхности элемента до металлизации минимальное усилие отрыва покрытия повысилось не менее чем на 22,2 % (с 450 до 550 гс/мм²). Изменений (ухудшения) электрофизических характеристик элементов из-за использования плазменной модификации не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов изготовления пробной партии пьезокерамическим производством АО «НИИФИ», показал, что следствием плазменной модификации является существенное улучшение смачиваемости поверхности заготовки пьезокерамического элемента перед формированием электродов (в частности угол краевого угла смачивания меняется не менее чем на 65 %), а также увеличение не менее чем на 22,2 % прочности сцепления электрода с поверхностью пьезоэлемента.

Список использованных источников

1. Глозман, И.А. Пьезокерамика / И. А. Глозман. - 2-е изд., перераб. – Москва : Энергия, 1972. – 288 с.
2. Kostov, K.G. Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet / K.G. Kostov, T.M.C. Nishime, A.H.R. Castro, A. Toth, L.R.O. Hein // Applied Surface Science 314 (2014). С. 367–375.