РАЗРАБОТКА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ РЕЗИСТОРОВ

И.А. Корж, А.Н. Кузнецов, Я.Л. Темерёв, Ю.С. Зонова

Омский научно-исследовательский институт приборостроения, Омск, Российская Федерация

Представлены результаты разработки пиротехнических резисторов на основе пленок титана с параметрами на уровне имеющихся аналогов: рабочее напряжение 15 В, время срабатывания не более 20 мкс.

Ключевые слова: пиротехнический резистор, тонкие пленки, титан.

DEVELOPMENT OF THIN-FILM PYROTECHNIC RESISTORS

I.A. Korzh, A.N. Kuznetsov, Ya.L. Temeryov, Yu. S. Zonova

Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering, Omsk, Russian Federation

The results of the development of pyrotechnic resistors based on titanium films with parameters at the level of existing analogues are presented: operating voltage 15 V, response time no more than 20 μ s.

Keywords: pyrotechnic resistor, thin-films, titanium.

Введение

Для приведения в действие различных пиротехнических зарядов (например, в подушках безопасности автомобилей, при проведении работ при добыче минералов и т. п.) используются электровоспламенители. Другие названия – электропиротехнические инициаторы, пиротехнические резисторы. До недавнего времени, особенно в горнодобывающей отрасли, использовались пиротехнические резисторы с проволочными мостиками накаливания. В работе [1] подробно изложены теория и практика применения таких пиротехнических резисторов. Недостатками таких пиротехнических резисторов являются: большой разброс сопротивлений проволочных мостиков, большие габариты и необходимость применения значительной электрической энергии для приведения их в действие.

В последние годы развивается направление разработки пиротехнических резисторов на основе применения тонкопленочной технологии. Так, например, фирма VISHAY [2] представила пиротехнические резисторы на основе резистивных тонких пленок нитрида тантала Ta₂N. Фирма анонсировала такие пиротехнические резисторы, как оптимальные для использования в системах раскрытия автомобильных подушек безопасности, в запальных устройствах, применяемых при взрывных работах в горнодобывающей промышленности, а также в пиротехнике для лучшей синхронизации между фейерверками, музыкой и специальными эффектами.

Цель работы – разработка конструкции тонкопленочного пиротехнического резистора на основе технологий микроэлектроники, имеющейся на предприятии, а также изготовление опытных образцов пиротехнических резисторов различных вариантов исполнения, предназначенных для преобразования электрической энергии в тепловую с заданным электротермическим профилем с целью инициирования пиротехнических событий с контролируемой энергией реакции.

Требования, предъявляемые к тонкопленочному пиротехническому резистору

Рассмотрим требования, предъявляемые к тонкопленочному пиротехническому резистору, на основе анализа параметров резисторов фирмы VISHAY [2] и анализа параметров пиротехнического резистора P1-151 АО «НПО «ЭРКОН», г. Нижний Новгород [3]. Внешний вид резистора [2] представлен на рис. 1. Внешний вид резистора [3] представлен на рис. 2.

Рис. 1. Внешний вид пиротехнического резистора фирмы VISHAY

Рис. 2. Внешний вид пиротехнического резистора фирмы НПО «ЭРКОН»

Как видно из рис. 1 и 2, внешний вид и габаритные размеры пиротехнических резисторов схожи. В табл. 1 приведены основные параметры пиротехнических резисторов.

Таблица 1

Основные параметры пиротехнических резисторов

Диапазон сопротивлений, Ом	Отклонение номинала сопротивления, %	Ток активации, А	Безопасный ток, А	Время безопасного тока, с	Время активации, не более, мс	Энергия активации, не более, мкДж
2–10	15–30	свыше 0,8	0,3–0,8	2–5	0,05	50
2–10	5; 10	не более 0,8	–	–	0,05	50

Как следует из анализа рис. 1, 2 и табл. 1, конфигурации и параметры пиротехнических резисторов двух фирм практически совпадают. В [1; 2] не указано, от каких источников питания происходит активация пиротехнических резисторов. Часто в качестве источников питания используются накопительные конденсаторы. Исходя из этого нами были определены следующие основные технические требования к пиротехническому резистору:

1. Диапазон номинальных значений сопротивлений 2–10 Ом. Типичные значения 3–6 Ом.
2. Допустимые отклонения сопротивления $\pm 10\%$.
3. Безопасный ток от 0,15 до 0,8 А.

4. Время воздействия безопасного тока от 2 до 5 с.
5. Ток активации воспламенения от 0,8 до 5 А.
6. Время активации (срабатывания) не более 50 мкс.
7. Энергия активации не более 50 мкДж.
8. Способ приведения в действие пиротехнического резистора – конденсаторный под-
рыв с емкостью конденсаторов от 3,3 до 47 мкФ, заряженных от 15 до 20 В для разных
типов исполнения и номиналов резисторов.

На рис. 3 приведена конфигурация пиротехнического резистора, разработанная нами.

Рис. 3. Конфигурация пиротехнического резистора на основе пленок титана

Она во многом схожа с рассмотренными выше конфигурациями пиротехнических резисторов. В качестве резистивной пленки были опробованы пленки тантала, нитрида тантала и титана. Наиболее приемлемыми оказались образцы резисторов с пленкой титана с толщиной около 1 мкм. В качестве контактных площадок использовались пленки алюминия, толщиной до 2 мкм. Подложкой служили ситалловые подложки марки СТ-50-1, имеющие достаточно низкую теплопроводность, равную 1,4 Вт/м·К.

Исследовались пиротехнические резисторы с разной площадью открытой резистивной пленки. Определялось срабатывание резистора по наличию или отсутствию вспышки (в результате чего резистор перегорал). Полученные данные приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2:

1. Пиротехнический резистор срабатывает (наблюдается вспышка) при 15 В (конденсатор емкостью 3,3 мкФ, тип К53-4а) только для резистора с длиной 100 мкм и шириной 50 мкм.

2. При увеличении напряжения до 25 В (конденсатор 3,3 мкФ) наблюдается вспышка для резисторов 200х100 мкм.

3. При увеличении емкости до 47 мкФ (К53-28в) наблюдается вспышка для резисторов 300х150 мкм при 15 В.

4. При 20 В и 47 мкФ наблюдается вспышка для всех размеров резистора – вплоть до 400х200 мкм.

Наибольшее внимание уделялось исследованию пиротехнического резистора (ряд 1–3, табл. 2). Определим основные энергетические параметры такого пиротехнического резистора.

Таблица 2

Результаты испытаний пиротехнического резистора

Ряд	Ширина рез-ра, мкм	Длина рез-ра, мкм	Площадь, кв.мм	Сопротивление, Ом	15 В; 3,3 мкФ (+ – вспышка, – нет вспышки)	25 В; 3,3 мкФ (+ – вспышка, – нет вспышки)	15 В; 47 мкФ (+ – вспышка, – нет вспышки)	20 В; 47 мкФ (+ – вспышка, – нет вспышки)
1	50	100	0,005	6,0	+	+	+	+
2	50	100	0,005	6,0	+	+	+	+
3	50	100	0,005	5,5	+	+	+	+
4	100	200	0,020	4,3	–	+	+	+
5	100	200	0,020	4,5	–	+	+	+
6	100	200	0,020	4,5	–	+	+	+
7	150	300	0,045	4,0	–	–	+	+
8	150	300	0,045	4,0	–	–	+	+
9	150	300	0,045	4,0	–	–	+	+
10	200	400	0,080	4,0	–	–	–	+
11	200	400	0,080	4,0	–	–	–	+
12	200	400	0,080	4,0	–	–	–	+

Энергия, запасенная в конденсаторе 3,3 мкФ, для $U = 15$ В равна $A = U^2C/2 = 371 \cdot 10^{-6}$ Дж = 371 мкДж. Время разряда конденсатора $t = 2,3r \cdot C = 38 \cdot 10^{-6}$ с = 38 мкс. Энергии, запасенной в конденсаторе, должно хватить для инициирования пиротехнического резистора. Снимались осциллограммы с пиротехнического резистора при его инициировании напряжением 25 В от заряженного конденсатора 3,3 мкФ. По истечении 5–10 мкс резистор перегорал (происходила вспышка), напряжение при этом на конденсаторе оставалось в районе 6–8 В. Типичная осциллограмма показана на рис. 4.

DSO-X 3032A, MY52490474: Thu Aug 08 11:49:38 2019

Рис. 4. Осциллограмма инициации пиротехнического резистора

Из рис. 4 видно, что время срабатывания находится в районе 5–6 мкс. Энергия активации (с учетом потерь энергии в подложке) составляла 30–40 мкДж. Следовательно, по

основным электрическим параметрам исследуемый пиротехнический резистор находится на уровне известных аналогов.

Выводы

1. Разработан пиротехнический резистор с параметрами, не уступающими параметрам аналогов: габариты 1,2х1,2х0,5 мм, время срабатывания не более 20 мкс, энергия активации не более 50 мкДж.

2. Резистор уверенно срабатывает от конденсатора 3,3 мкФ, заряженного напряжением 15 В. При этом имеется запас по напряжению срабатывания на уровне 2–3 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лурье А.И.* Электрическое взрывание зарядов. М.: Недра, 1973. 272 с.
2. Electro-Pyrotechnic Initiator Thin Film Chip Resistor. URL: www.vishay.com/docs/53041/epic.pdf.
3. Каталог АО «НПО «ЭРКОН». URL: www.erkon-nn.ru/upload/ercon_katalog_ru.pdf.