

УДК 621.3.049.776.22:620.199.1

Л.М. Смеркло¹, Д.Д. Дячок¹, Г.Л. Кучмій²

¹Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

²Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних пристроїв

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗИСТОРІВ ІЗ ПАСТ СЕРІЙ 0800 І 4400, ВИГОТОВЛЕНИХ НА ПІДКЛАДКАХ ІЗ КЕРАМІКИ ВК96-1

L. Smerklo¹, D. Dyachok¹, H. Kuchmiy²

¹Lviv research institute of radio engineering

²Lviv Polytechnic National University, Electronic device dept.

TEST RESULTS OF RESISTORS ON PASTES OF 0800 AND 4400 SERIES, PRODUCED ON BK96-1 CERAMIC SUBSTRATE

© Смеркло Л.М., Дячок Д.Д., Кучмій Г.Л., 2001

Розглянуто питання кліматичних і механічних випробувань товстоплівкових резисторів із паст серій 0800 і 4400, виготовлених на підкладках із кераміки ВК96-1. Наведено результати дослідження зміни номіналу резисторів після дії термоциклів, підвищеної і пониженої температури та ударів.

The climatic and mechanical tests of thick-film resistors made from pastes of 0800 and 4400 series that are produced on BK96-1 ceramic substrate are considered. The results of investigation of variation of resistor values apten action of thermocycle high and low temperature, stresses are presented.

Вступ. Широке застосування при виробництві мікроелектронних виробів дістали підкладки із різних видів алюмоокисних керамік, зокрема ВК94-1 і ВК100-1 [1, 2]. Ці підкладки використовують також при виготовленні товстоплівкових плат. Їх, як правило, за технічними умовами (ТУ) поділяють на провідникові, діелектричні та резистивні пасті. Вони розроблені Львівським НПО «Карат», провідним підприємством-виробником товстоплівкових паст [3 – 7]. Підкладки із кераміки ВК96-1 мають більші переваги порівняно з вищезазначеними: вони є дешевшими, ніж ВК100-1, а порівняно з ВК94-1 мають кращі технічні параметри (теплопровідність, тангенс кута діелектричних втрат). Особливо привабливою є така властивість кераміки ВК96-1, як ударна стійкість, яка, на жаль, не регламентується технічними умовами на підкладки із цього матеріалу. Своєю чергою, технічні умови на резистивні пасті серій 0800 і 4400 не регламентують величини зміни опору резисторів після дії ударів. При випуску апаратури спеціального призначення цей показник обов'язково необхідно враховувати. Усе це зумовило виготовлення пробної серії товстоплівкових плат із резисторами із паст серій 0800 і 4400, виготовлених на підкладках ВК96-1 і проведення на їх основі комплексу спеціальних випробувань з метою отримання кількісних даних стабільності їхнього опору в жорстких умовах експлуатації.

Умови випробувань. У цій роботі наводяться результати кліматичних і механічних випробувань товстоплівкових резисторів із паст серій 0800 і 4400, виготовлених на підкладках із кераміки ВК96-1 після дії таких зовнішніх факторів:

– термоциклів від -60°C до $+100^{\circ}\text{C}$ (10 циклів, тривалість циклів $1 + 1 = 2$ год.);

- підвищеної температури 398 К (125 °С) протягом 5 год.;
- пониженої температури 213 К (мінус 60 °С) протягом 24 год;
- ударів 500 g по 3-х осях. Кількість ударів по кожній осі – три. Форма удару – півсинусоїдна. Тривалість імпульсу – 1 мс. Загальна кількість ударів – дев'ять.

Проведення випробувань. Для проведення випробувань із двох серій паст були вибрані типові представники: для серії 0800 паста 0831, для серії 4400 паста 4421 і 4433. Кількість зразків для випробувань була такою: 5 тест-плат ТТ-1241 з групою рутенієвих резисторів із паста 4421 (100 Ом/□, на кожній тест-платі 56 резисторів, NN плат 1, 4, 5, 6, 7), 5 тест-плат ТТ-1241 з групою рутенієвих резисторів із паста 4433 (3 кОм/□, NN плат 2,3,8,9,13), 5 тест-плат ТТ-1241 з групою боридних резисторів 0831 (1 кОм/□, NN плат 10,11,12,14,15). Частина резисторів (28 із усіх 56) на кожній тест-платі була захищена захисною пастою 3210. На платах N 1 (7 резисторів) і N 2 (5 резисторів) проводилася лазерна підгонка резисторів на пристрої АМЦ-06201.

В процесі виготовлення зразків і при випробуванні 6 резисторів (із загальної кількості 840 шт.) вийшло з ладу по незалежних від випробувальних факторів причинах: на платі № 2 два резистори при виготовленні плат розрізані лазером; на платі № 7 після камери холоду на чотири резистори попала стороння металізація невідомого походження. На платі № 9 в записах результатів випробувань виявлено випадкову помилку запису номіналу 1-го резистора. Ці резистори в подальших розрахунках не враховувалися.

Випробування проводилися в умовах контрольно-випробувальної станції Львівського науково-дослідного радіотехнічного інституту. Початок випробувань – 5.02.2001 р. Порядок випробувань:

- вимірювалися контрольовані параметри (опір резисторів) до випробувань;
- вимірювалися контрольовані параметри після завершення дії кожного виду випробувань.

Величина опору товстоплівкових резисторів вимірювалася приладом Е7-8 встановленням двох вимірювальних зондів на контактні площинки кожного резистора.

Величина зміни опору кожного резистора розраховувалася за формулою

$$\delta R = \frac{R_2 - R_1}{R_1},$$

де R_1 – опір резистора до конкретного виду випробування; R_2 – опір резистора після конкретного виду випробування.

Математичне сподівання зміни опору групи резисторів (для дискретної величини воно дорівнює середньому арифметичному) обчислювалося за формулою

$$m_i = \frac{\sum_{i=1}^N \delta R_i}{N},$$

де δR_i – зміна опору i -го резистора цієї групи після дії випробування (резистори групувалися по платах – 15 і по пастах – 3; загальна кількість груп – 18); N – кількість резисторів у групі.

Виміряні номінали резисторів, виготовлених із паста 4421, знаходилися в межах (30,74 – 133,3) Ом, виготовлених із паста 4433 – в межах (1,441 – 5,158) кОм, виготовлених із паста 0831 – в межах 241,4 Ом – 1,020 кОм.

Результати випробувань та дослідження зміни номіналу резисторів. У процесі випробувань досліджувалася зміна номіналу резисторів після дії зазначених вище випробувальних чинників і відповідність цієї зміни ТУ [4, 5] на резистивні пасти. Результати випробувань і обчислень математичного сподівання за результатами вимірювань та визначення діапазону відносної зміни опору резисторів із пасти 4421 (100 Ом/□) після дії зовнішніх факторів для кожної із п'яти виготовлених плат наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Результати випробувань і розрахунків математичного сподівання
зміни опору резисторів**

Чинники	№ плати	1	4	5	6	7	по ТУ
термоцикли	m_i	0,039	0,004	0,007	0,002	0,04	$\leq 0,5 \% ^*$
	діапазон	-0,07	-0,1	-0,1	-0,09	-0,04	
	зміни $\delta R, \%$	0,17	0,23	0,14	0,16	0,39	
підвищена температура	m_i	-0,007	0,04	0,002	-0,0004	-0,006	-
	діапазон	-0,05	-0,02	-0,11	-0,02	-0,15	
	зміни $\delta R, \%$	0,03	0,24	0,11	0,06	0,06	
понижена температура	m_i	-0,117	-0,18	-0,18	-0,19	-0,18	-
	діапазон	-0,18	-0,42	-0,27	-0,29	-0,26	
	зміни $\delta R, \%$	0	-0,06	-0,08	-0,12	-0,08	
удари	m_i	0,056	0,10	0,09	0,11	0,11	-
	діапазон	-0,02	-0,15	0	-0,07	0	
	зміни $\delta R, \%$	0,13	0,41	0,2	0,17	0,27	

*В ТУ [5] цей показник визначено для п'яти термоциклів – 60 °С...+125 °С.

Математичне сподівання зміни опору всіх резисторів із пасти 4421 сумарно для п'яти плат після дії термоциклів дорівнює 0,018% (273 резистори), після дії підвищеної температури – 0,005% (273 резистори), після дії пониженої температури – 0,133% (269 резисторів), після дії ударів – 0,095% (269 резисторів).

Результати випробувань і обчислень математичного сподівання за результатами вимірювань та визначення діапазону відносної зміни опору резисторів із пасти 4433 (3 кОм/□) після дії зовнішніх чинників для кожної із п'яти виготовлених плат наведені у табл. 2.

Таблиця 2

**Результати випробувань і обчислень математичного сподівання
за результатами вимірювань**

Чинники	№ плати	2	3	8	9	13	по ТУ
1	2	3	4	5	6	7	8
термоцикли	m_i	-0,058	0,001	-0,019	-0,044	0,05	$\leq 0,5 \% ^*$
	діапазон	-0,1	-0,05	-0,07	-0,23	-0,07	
	зміни $\delta R, \%$	0	0,07	0,03	0,1	0,44	
підвищена температура	m_i	0,024	0,02	0,03	0,022	0,03	-
	діапазон	0	-0,05	0	-0,08	-0,04	
	зміни $\delta R, \%$	0,09	0,3	0,07	0,08	0,39	
понижена температура	m_i	-0,081	-0,08	0,019	-0,05	-0,095	-
	діапазон	-0,16	-0,39	-0,09	-0,15	-0,25	
	зміни $\delta R, \%$	0,27	0	0,09	-0,1	0,11	

Продовж. табл. 2

удари	m_i	0,064	0,05	0,03	-0,047	0,05	-
	діапазон	0	0	-0,03	-0,07	-0,03	
	зміни $\delta R, \%$	0,3	0,11	0,12	0,16	0,38	

*В ТУ [5] цей показник визначено для п'яти термоциклів -60 °С...+125 °С.

Математичне сподівання зміни опору всіх резисторів із пасти 4433 сумарно для п'яти плат після дії термоциклів дорівнює -0,012 % (273 резистори), після дії підвищеної температури – 0,027% (273 резистори), після дії пониженої температури – 0,058% (272 резистори), після дії ударів – 0,048% (272 резистори).

Результати випробувань і обчислень математичного сподівання за результатами вимірювань та визначення діапазону відносної зміни опору резисторів із пасти 0831 (1 кОм/□) після дії зовнішніх чинників для кожної із п'яти виготовлених плат наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Чинники	№ плати	10	11	12	14	15	по ТУ
термоцикли	m_i	0,11	0,12	0,14	0,14	0,1	$\leq \pm 1 \%$ *
	діапазон	0,06	0,06	0,04	0,07	0,02	
	зміни $\delta R, \%$	0,20	0,22	0,27	0,79	0,20	
підвищена температура	m_i	0,01	0,014	0,003	0,04	0,035	-
	діапазон	-0,03	-0,15	-0,17	-0,03	-0,03	
	зміни $\delta R, \%$	0,06	0,13	0,12	0,29	0,08	
понижена температура	m_i	0,085	0,094	0,10	0,10	0,11	-
	діапазон	0,03	-0,15	0,03	0,02	0,03	
	зміни $\delta R, \%$	0,28	0,24	0,38	0,20	0,15	
удари	m_i	-0,066	0,023	-0,03	-0,02	-0,02	-
	діапазон	-0,26	-0,16	-0,35	-0,11	-0,19	
	зміни $\delta R, \%$	0,56	0,2	0,02	0	0,08	

*В ТУ [4] цей показник визначено для п'яти термоциклів -60 °С...+125 °С.

Математичне сподівання зміни опору всіх резисторів із пасти 0831 сумарно для п'яти плат після дії термоциклів дорівнює 0,123%(280 резисторів), після дії підвищеної температури – 0,02% (280 резисторів), після дії пониженої температури – 0,10% (280 резисторів), після дії ударів – 0,034% (280 резисторів).

Результати випробувань і обчислень математичного сподівання за результатами вимірювань та визначення діапазону відносної зміни опору резисторів із пасти 4421 (100 Ом/□, плата № 1) та із пасти 4433 (3 кОм/□, плата № 2) з лазерною підгонкою після дії зовнішніх чинників наведені у табл. 4.

Математичне сподівання зміни опору резисторів із пасти 4433 після дії термоциклів дорівнює 0,38% і перебуває в межах, обумовлених ТУ. Можлива причина виходу зміни опору 2-х резисторів із пасти 4433 за межі, обумовлені ТУ: недостатня потужність лазерного променя із-за спрацювання акустооптичного затвору лазера ЛТИ-501-01. В результаті лазерний промінь прорізав резистори не на усю глибину, що призвело до нестабільності номіналу.

Таблиця 4

Фактор	№ плати	1	2	по ТУ
термоцикли	m_i	0,121	0,38	$\leq 0,5 \%$
	діапазон	0,07	0,02	
	зміни $\delta R, \%$	0,02	1,1	
підвищена температура	m_i	0,049	-0,008	-
	діапазон	-0,02	-0,11	
	зміни $\delta R, \%$	0,36	0,04	
понижена температура	m_i	-0,07	0,022	-
	діапазон	-0,1	-0,02	
	зміни $\delta R, \%$	-0,04	0,13	
удари	m_i	0,039	0,024	-
	діапазон	0	-0,12	
	зміни $\delta R, \%$	0,2	0,11	

Технічні умови на пасти серій 4400 і 0800 не зумовлюють величину зміни опору резисторів після дії підвищеної та пониженої температури і ударів. Результати цих випробувань отримані вперше і є новими для вказаних паст.

Висновки:

1. Зміна опору резисторів, виготовлених із пасти 4421 (100 Ом/□), захищених шаром захисної пасти і незахищених шаром захисної пасти, з лазерною підгонкою і без неї, після випробування термоциклами відповідає вимогам п.1.1.8 КЛІС.750771.002 ТУ [5] на пасти серії 4400 (перебуває в межах $\leq 0,5\%$).

2. Зміна опору резисторів, виготовлених із пасти 4433 (3 кОм/□), захищених шаром захисної пасти і незахищених нею, без лазерної підгонки, після випробування термоциклами відповідає вимогам п.1.1.8 КЛІС.750771.002 ТУ на пасти серії 4400 (перебуває в межах $\leq 0,5\%$).

2.1. Зміна опору резисторів, виготовлених із пасти 4433 (3 кОм/□), захищених шаром захисної пасти з лазерною підгонкою, після випробування термоциклами не відповідає вимогам п.1.1.8 ТУ на пасти серії 4400 (перебуває в межах 0,02 – 1,1%). Але така зміна допустима при виготовленні товстоплівкових резисторів.

3. Зміна опору резисторів, виготовлених із паст серії 4400, після випробувань дією тепла, холоду і ударами перебувала в межах $\pm 0,5\%$, а із пасти 0831 – в межах $\pm 0,6\%$. Результати випробувань отримані вперше і є новими для вказаних паст.

4. На підставі цих випробувань зроблено висновок про можливість промислового виготовлення товстоплівкових резисторів із паст НВО "Карат" на підкладках із кераміки ВК96-1 і технологічний процес виготовлення товстоплівкових резисторів із паст серій 0800 і 4400 рекомендовано для впровадження у виробництво при випуску мікробірок для жорстких умов експлуатації.

1. Смеркло Л.М. *Інтегральні формувачі потужних наносекундних імпульсів і радіоелектронні пристрої на їх основі. Дис. ... на здобуття наук. ступ. докт. техн. наук.* – Львів, 1999. – С.214 – 218. 2. Готра З.Ю., Мушкарден Э.М., Смеркло Л.М. *Технологические основы гибридных интегральных схем.* – Львов, 1977. – С.47. 3. *Пасты проводниковые (3701, 3711) АУЭО.027.005ТУ* 4. *Пасты резистивные серии 0800 БИТС.066619.015ТУ.* 5. *Пасты резистивные серии 4400 КЛІС.750771.002ТУ.* 6. *АУЭО.027.006ТУ Пасты диэлектрические изоляционные (1001, 1003).* 7. *БИТС.066619.008 Паста диэлектрическая изоляционная 3041.*