

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.3.049.77.2:621.316.8.049.75

Д.Т. Дячок¹, В.А. Павлиш², В.Г. Немеш³

¹Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут;

²Національний університет “Львівська політехніка”;

³Науково-виробниче підприємство “Мікротех Карат”, м. Львів

СТАБІЛЬНІСТЬ ТОВСТОПЛІВКОВИХ РЕЗИСТОРІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ НА ОСНОВІ ПАСТ СЕРІЇ 4400 З ПРОВІДНИКОВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ІЗ ПАСТ 1785 і 1785М (за результатами кліматичних випробувань)

© Дячок Д.Т., Павлиш В.А., Немеш В.Г., 2007

Досліджено стабільність товстоплівкових резисторів на основі паст серії 4400 (КЛИС750771.002ТУ) з провідниковими елементами із паст 1785 (АУЭ0.027.066ТУ) і 1785М, нанесених на підкладки ВК94-1 і ВК100-1. Проведено оцінку впливу на стабільність резисторів матеріалу провідникової пасти та матеріалу підкладки, а також перевірку окремих електрофізичних параметрів елементів, виготовлених із провідникових паст на відповідність вимогам технічних умов АУЭ0.027.066ТУ.

There has been investigated the stability of ruthenium thick-film resistors based on the series 4400 (КЛИС750771.002ТУ) pastes and having conductor elements from 1785 (АУЭ0.027.066ТУ) and 1785М pastes deposited on the substrates ВК94-1 and ВК100-1. The influence of the conductor paste material and substrate material on the resistor stability has been estimated. Some electrical and physical parameters of the elements made from the conductor pastes have been checked for the compliance with the specification requirements АУЭ0.027.066ТУ.

Вступ. Сучасне виробництва інтегральних схем та мікрозбірок потребує використання матеріалів з покращаними характеристиками для того, щоб підвищити якість виробів, їхню надійність та конкурентоспроможність. Однак впровадження нових матеріалів вимагає затрат на їх розробку. Нове ж поєднання традиційних матеріалів також приводить до позитивних результатів і не вимагає таких затрат. У цій роботі наведено результати дослідження параметрів елементів мікроплат з використанням товстоплівкових рутенієвих резисторів із паст серії 4400 [1] із провідниковими срібними пастами 1785 і 1785М [2].

Мета роботи – покращання параметрів НВЧ товстоплівкових мікроплат.

Резистивні пасти на основі сполук рутенію переважають у товстоплівковій технології, тому що забезпечують вищу стабільність опорів резисторів та їх меншу чутливість до коливань температури [3, 4]. У технічних умовах на резистивні пасти серії 4400 рекомендується з резисторами із цих паст застосовувати провідникові пасти 3701, 3711, 3712, 3713. Їхні параметри наведено в табл. 1. Технічні характеристики провідникових фотополімерних паст 1785 та 1785М, які вибрані як об'єкт дослідження для застосування з резистивними пастами серії 4400, наведено в табл. 2. Пасти 1785 і 1785М відрізняються складом органічної зв'язки, що дає змогу проводити технологічні операції виготовлення провідникових елементів в різних технологічних режимах.

Із табл. 1 і 2 зрозуміло, що пасти 3713 та 1785 (1785М) мають кращі параметри для виготовлення НВЧ-плат, ніж пасти 3701, 3711, 3712. Паста 3712 має дещо менший поверхневий опір (але за більшої товщини), ніж паста 1785. Паста 1785, своєю чергою, має значно вищу роздільну здатність. Пасти 3713 та 1785 мають згідно з ТУ однакові роздільні здатності.

Таблиця 1

Параметри паст

Паста	Вміст дорогоцінних металів, %		Питомий опір впаленої пасти, Ом/□	Ширина провідників і зазорів, мкм	Товщина провідника, мкм	Адгезія до підкладок ВК94-1 і ВК100-1, Н/м ² ·10 ⁵	Здатність до лудіння та паяння
	Ag	Pd (AgO)					
3701	63...69,5	12,5... 15,5	≤0,05	не обумовлюється	10...15	≥49*	звичайна
3711	78...86	–	≤0,005	не обумовлюється	10...15	≥49*	звичайна
3712	57,85... 58,85	(19,95... 18,95)	≤0,004	130	10...15	≥100	добра
3713	60,91... 61,91	(19,3... 20,3)	≤0,003	60	10...15	≥100	добра

*Дані тільки для підкладок ВК94-1.

Таблиця 2

Технічні характеристики провідникових фотопоміщених паст

Паста	Вміст дорогоцінних металів, %		Питомий опір впаленої пасти, Ом/□	Ширина провідників і зазорів, мкм	Товщина провідника, мкм	Адгезія до підкладок ВК94-1 і ВК100-1, Н/м ² ·10 ⁵	Здатність до лудіння та паяння
	Ag	Pd					
1785	78...82	–	≤0,005	60	9...11	≥98	добра
1785М	- " -	–	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -

Реально, що після проведення процесу фотолітографії якість провідникових елементів із пасти 3713 знижується через значну кількість мікропротравів (за контролю на просвіт на мікроскопі МБС-9 провідників, виготовлених на підкладці ВК100-1, спостерігається так звана картина "зоряного неба"). Подвійне нанесення фоторезисту дещо зменшує кількість мікропротравів, але ускладнює технологічний процес. Наявність мікропротравів (пор) підвищує, зокрема, питомий опір провідників, а це погіршує параметри мікросмужкових елементів в НВЧ-діапазоні [5, 6]. Для пасти 1785 це явище не характерне. Однак використання рутенієвих резисторів, виготовлених сумісно з фотополімерними пастами 1785 і 1785М, технічними умовами не передбачено і відповідно експлуатаційні характеристики для цього поєднання в ТУ не наводяться. Враховуючи це, метою дослідження стало визначення стабільності товстоплівкових (ТВП) резисторів, виготовлених на основі рутенієвих паст з контактними площадками із фотополімерних паст 1785 та 1785М.

Характеристика обладнання, взірців та досліджуваних матеріалів. Випробовуванням піддавалися тест-плати ТТ-1241, топологія яких вмещувала 28 резисторів розміром 1,2x1,2 мм і 0,8x0,8 мм і контактні площадки розміром 2x2,5 мм. Частина резисторів (7 шт. на кожній платі) піддавалась лазерній підгонці, інші були без підгонки.

Вимірювання величини опору резисторів проводилося на приладі Е7-8 після витримки тест-плат в нормальних умовах не менше 2-х год. Випробування проводилось послідовно на усіх дослідних зразках. Оцінка міцності зчеплення контактної площинки з підкладкою проводилася методом відриву припаяного дроту. Оскільки високоомна і низькоомна частини паст серії 4400 виготовляються на основі різних сполук рутенію, то з метою зменшення обсягу досліджень і затрат на їх проведення як типові представники цих двох частин вибрано пасти 4441 (10000 Ом/кв) та 4421 (100 Ом/кв).

Матеріали, які використані під час виготовлення тест-плат і кількість зразків, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика тест-плат

Матеріали провідникової пасти	Матеріал резистивної пасти, ρ (Ом/кв)	Матеріал підкладки	Кількість тест-плат	Примітки
паста 1785	паста 4421(100)	ВК-94-1	4	
паста 1785	паста 4441 (10000)	ВК-94-1	4	
паста 1785М	паста 4421(100)	ВК-94-1	3	
паста 1785М	паста 4421(100)	ВК100-1	4	
паста 1785М	паста 4441(10000)	ВК-94-1	3	
паста 1785М	паста 4441(10000)	ВК100-1	5	

Технологія, яка використовувалася під час виготовлення плат для дослідження. Під час виготовлення тест-плат використовувалось технологічне устаткування, яке характерне для типового технологічного процесу виготовлення товстопліткових плат [7], а для проявлення шару із провідникової пасти – установка ПСП-8 АУЭЗ.999.002 ПС, для підгонки резисторів – лазерна установка АМЦ-06201.

Схема технологічного процесу під час виготовлення елементів із пасти 1785М: очищення підкладок – нанесення пасти – перше попереднє сушіння – експонування – друге попереднє сушіння – проявлення – повторне сушіння – впалювання – виготовлення товстопліткових резисторів за типовим технологічним процесом.

Схема технологічного процесу під час виготовлення елементів із пасти 1785: очищення підложок – нанесення пасти – попереднє сушіння – експонування – проявлення – повторне сушіння – впалювання – виготовлення товстопліткових резисторів за типовим технологічним процесом.

Технологічні режими для пасти 1785і:

- попереднє сушіння 83 ± 1 °С;
- експонування – 10 хв (для підкладок ВК94-1) і 5 хв (для підкладок ВК100-1);
- проявлення аерозолем ацетоном 5 с (за часу продування 20 с);
- попередній відпал – 400 °С, 40 хв;
- впалювання 840 °С, 12 хв, уся тривалість впалювання з підйомом і спуском температури – 60 хв.

Технологічні режими для пасти 1785М:

- 1-ше попереднє сушіння 60 ± 1 °С, 10–20 хв;
- експонування – 10 хв (для підкладок ВК94-1) і 5 хв (для підкладок ВК100-1);
- 2-ге сушіння – 80 ± 1 °С, 15 хв;
- проявлення бутилацетатом – 5 с (за часу продування 20 с);
- попередній відпал – 400 °С, 40 хв;
- впалювання 840 °С, 12 хв, уся тривалість впалювання з підйомом і спуском температури – 60 хв.

Програма випробування

Програма випробувань включає:

1. Вимірювання величини опору резисторів перед початком випробування.

2. Випробовування тест-плат на вплив циклічно змінюваної температури (в діапазоні від -60 до +125 °С), 5 циклів по 0,5 год.
3. Вимірювання величини опору резисторів після термоциклювання.
4. Випробовування тест-плат на вплив високої вологості (98 %, +40 °С, 10 діб).
5. Вимірювання величини опору резисторів після впливу підвищеної вологості.
6. Випробовування тест-плат на зберігання за підвищеної температури +70 °С впродовж 100 год.
7. Вимірювання величини опору резисторів після впливу підвищеної температури.
8. Оцінка міцності зчеплення контактних площадок з підкладкою тест-плати.

Результати дослідження

Оцінка стабільності ТЛП резисторів проводилась за величиною відносного відхилення значення опору:

$$\Delta R/R = ((R_1 - R_2) / R_2) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де R_1 – опір після випробування; R_2 – опір до випробування.

Розрахунок величини $\Delta R/R$ проводився на таких етапах:

- після термоциклювання (стосовно початкових значень);
- після випробування на дію підвищеної вологості (стосовно значень величини опору резисторів після термоциклювання);
- після випробування на зберігання за підвищеної температури (стосовно значень величини опору резисторів після дії вологи).

Об'єднання розрахункових даних в гістограми проводилося за ознаками, які відображені на рис. 1–9. Математичні сподівання величини $\Delta R/R$, яке визначене за гістограмами рис. 1–9, наведені в табл. 2. На рис. 1–9 математичне сподівання M_1 відповідає резисторам без підгонки, а M_2 – резисторам з підгонкою.

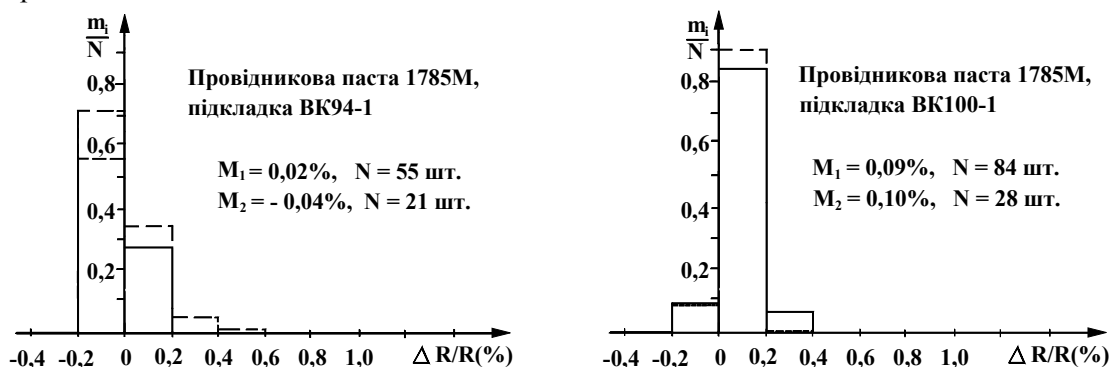


Рис. 1. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасту 4421 після термоциклювання (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

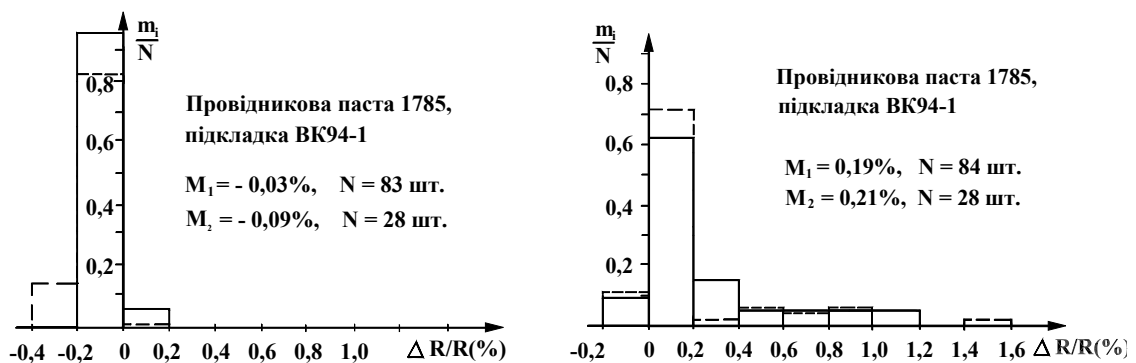


Рис. 2. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі паст 4421 (зліва) і 4441 (справа) після термоциклювання (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

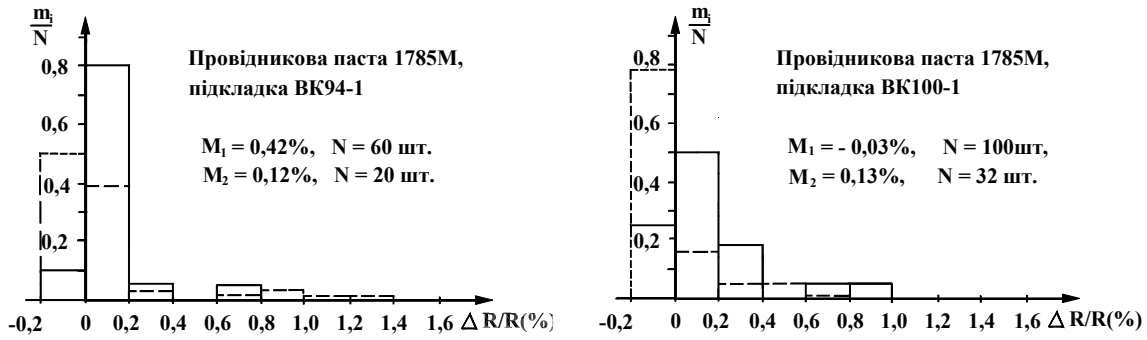


Рис. 3. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасту 4441 після термоциклювання (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

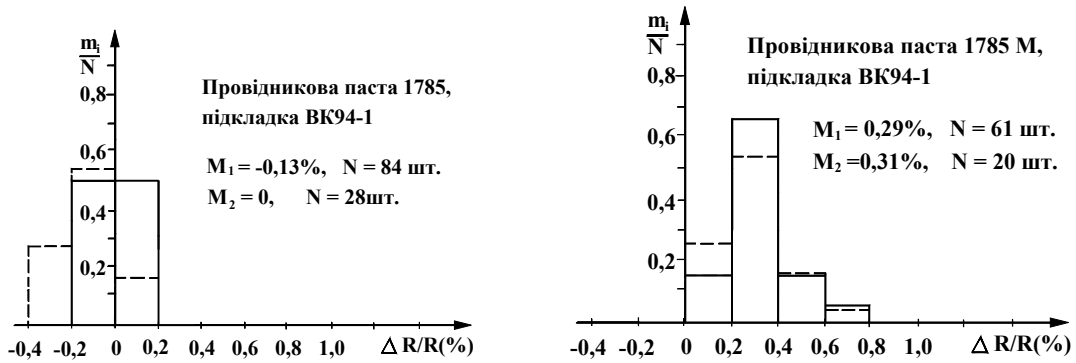


Рис. 4. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасту 4421 після дії підвищеної вологості (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

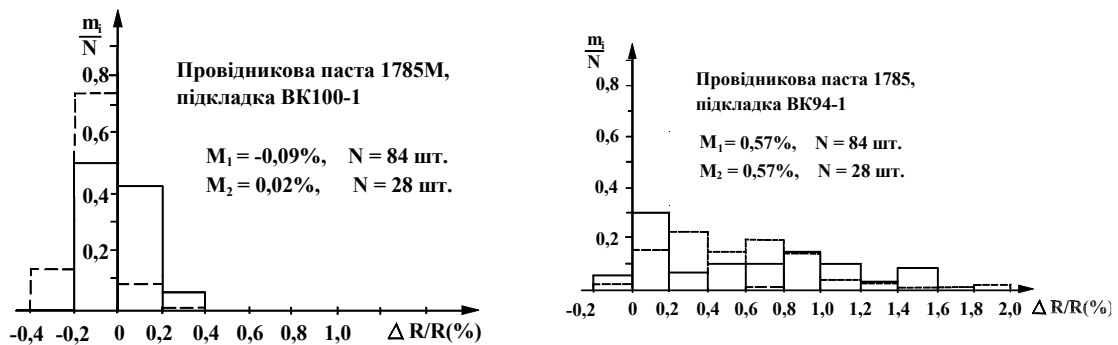


Рис. 5. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі паст 4421 (зліва) і 4441 (справа) після дії підвищеної вологості (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

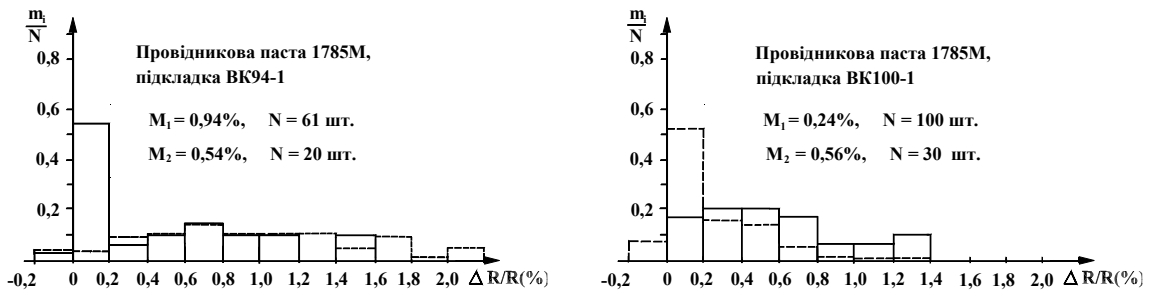


Рис. 6. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасту 4441 після дії підвищеної вологості (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

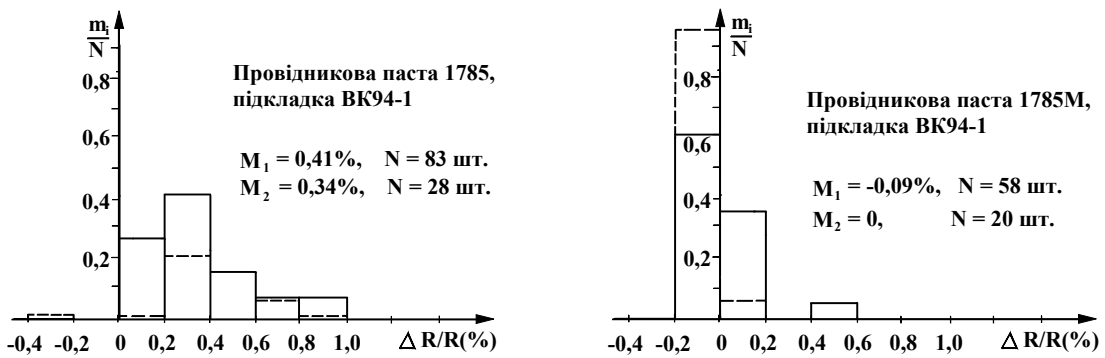


Рис. 7. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасти 4421 після зберігання за підвищеної температури впродовж 100 год (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

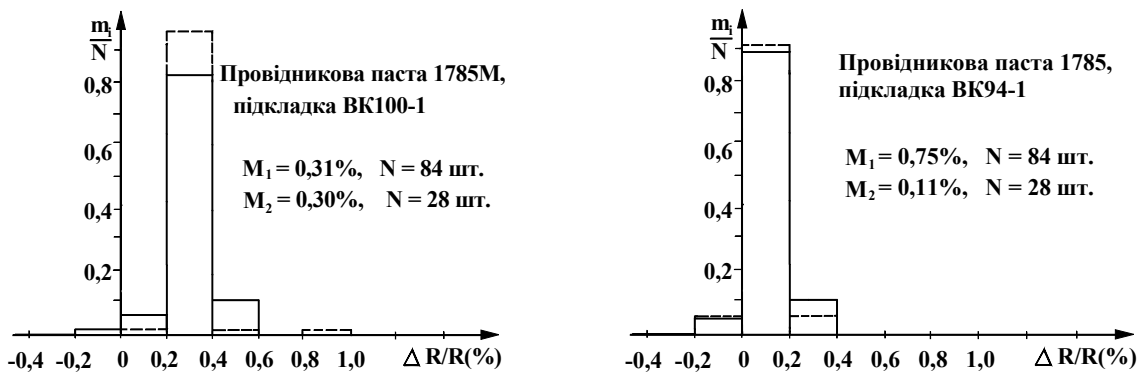


Рис. 8. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі паст 4421 (зліва) і 4441 (справа) після зберігання за підвищеної температури впродовж 100 год (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

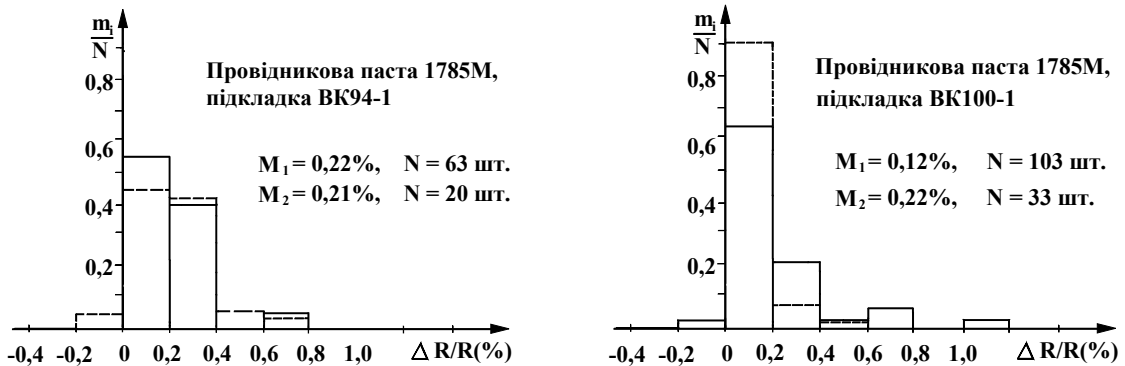


Рис. 9. Розподіл величини $\Delta R/R$ резисторів на основі пасти 4441 після зберігання за підвищеної температури впродовж 100 год (- резистори з підгонкою; --- резистори без підгонки)

Було отримано характеристики стабільності рутенієвих резисторів з контактними площинками із паст 1785 і 1785М. Гістограми розподілу відносної зміни опору резисторів після дії різних кліматичних факторів показано на рис.1–9. Згідно з отриманими результатами дослідження визначено, що відносна зміна опору резисторів із паст 4421 та 4441 після зберігання за підвищеної температури (рис. 7–9) не виходить за межі встановленого $\leq 1,5\%$, тобто відповідає вимогам п. 1.1.7 ТУ. Відносна зміна опору резисторів із пасти 4421 після термоциклування (рис. 1, 2) не виходить за межу встановленого $\leq 0,5\%$, тобто відповідає вимогам п.1.1.8 ТУ, а для пасти 4441 (рис. 2, 3) за математичного сподівання, що не перевищує цю межу (максимальний випадок – $0,42\%$), є її перевищення для окремих резисторів (до $1,4\text{--}1,6\%$). Відносна зміна опору резисторів із пасти 4421 після дії вологи (рис. 4, 5) не виходить за межу встановленого $\leq 0,8\%$, тобто відповідає вимогам п. 1.1.9 ТУ, а для пасти 4441 (рис. 5, 6) є її перевищення для окремих резисторів (до $2,0\text{--}2,2\%$).

Математичне сподівання і розкид значень величини $\Delta R/R$

Характеристика зразків				Значення $\Delta R/R$ після термоциклування		Значення $\Delta R/R$ після дії вологи		Значення $\Delta R/R$ після зберігання за підвищеної температури	
Провідникова паста	Резистивна паста	Матеріал підкладки	Наявність підгонки	M (%)	розкид	M (%)	розкид	M (%)	розкид
1785	4421	ВК94-1	з підгонкою	-0,09	$\pm 0,2$	0	$\pm 0,2$	0,34	-0,2...1,0
1785	4421	ВК94-1	без підгонки	-0,03	-0,4...0,2	-0,12	-0,4...0,2	0,41	-0,4...1,0
1785	4441	ВК94-1	з підгонкою	0,21	-0,2...1,2	0,57	-0,2...1,6	0,11	-0,2...0,4
1785	4441	ВК94-1	без підгонки	0,19	-0,2...1,0	0,57	-0,2...2,0	0,15	-0,2...0,4
1785M	4421	ВК94-1	з підгонкою	-0,04	$\pm 0,2$	0,32	0...0,8	0	-0,2...0,6
1785M	4421	ВК94-1	без підгонки	0,01	-0,2...0,6	0,30	0...0,8	0,09	$\pm 0,2$
1785M	4421	ВК100-1	з підгонкою	0,10	-0,2...0,4	0,02	-0,2...0,4	0,30	-0,2...0,6
1785M	4421	ВК100-1	без підгонки	0,09	-0,2...0,4	-0,1	-0,4...0,8	0,31	0...1,0
1785M	4441	ВК94-1	з підгонкою	0,12	-0,2...0,8	0,54	-0,2...1,6	0,21	0...0,8
1785M	4441	ВК94-1	без підгонки	0,42	-0,2...1,4	0,94	-0,2...2,2	0,22	-0,2...0,8
1785M	4441	ВК100-1	з підгонкою	0,13	-0,2...1,0	0,56	0...1,8	0,22	-0,2...1,2
1785M	4441	ВК100-1	без підгонки	-0,03	-0,2...0,8	0,24	-0,2...1,4	0,12	0...0,6

Міцність зчеплення контактної площинки з підкладкою оцінювалась за формулою

$$G=P/S, \quad (2)$$

де P – зусилля відриву, кгс; S – площа контактної площинки, см^2 .

Випробуванням піддавалося 15 шт. контактних площинок (7 шт. – на підкладці ВК94-1 і 8 шт. – на підкладці ВК100-1). Площа однієї контактної площинки – $0,05 \text{ см}^2$. До контактних площинок було застосовано відривне зусилля, що дорівнює 8 кг. При цьому відшаровувань контактних площинок не спостерігалось. Отже, міцність зчеплення контактних площинок з підкладкою перевищувала 160 кгс/см^2 .

Незважаючи на те, що в частини резисторів із пасти 4441 після випробувань спостерігався вихід номіналу за межі встановленого ТУ допуску, визначені величини стабільності показали, що рутенієві резистивні і фотополімерні провідникові пасти можна сумісно використовувати під час виготовлення НВЧ товстоплівкових плат. Але при цьому експлуатаційний допуск на номінал товстоплівкових резисторів потрібно вибирати в межах, дещо більших, наприклад, ± 5 та ± 10 % . Рутенієві пасти серії 4400 рекомендується застосовувати спільно з контактними площинками із пасти 1785 і 1785M під час виготовлення резисторів з експлуатаційним допуском ± 5 % для низькоомних паст і ± 10 % – для високоомних паст.

Висновки. За результатами випробування можна зробити такі висновки:

1. Пасти провідникові фотополімеризуючі технологічно сумісні з рутенієвими пастами.
2. Міцність з'єднання контактних площинок з підкладками ВК94-1 і ВК100-1 перевищує значення 160 кгс/см^2 .

3. Стабільність рутенієвих резисторів із пасти 4421 з контактними площадками із фотополімеризуючих паст відповідає вимогам п.п. 1.1.7, 1.1.8, 1.1.9, КЛІС 750.771.002 ТУ.

4. Стабільність рутенієвих резисторів із пасти 4441 з контактними площадками із фотополімеризуючих паст відповідає вимогам п.п. 1.1.7 і не відповідає вимогам п.п. 1.1.8, 1.1.9, КЛІС 750.771.002 ТУ. У цьому випадку рекомендується резистори виготовляти з експлуатаційним допуском $\pm 10\%$.

5. Вибраний метод підгонки не погіршує стабільності резисторів.

6. Вибір матеріалу підкладки і провідникових паст для контактних площадок для випробовуваних зразків не впливає істотно на стабільність рутенієвих резисторів.

7. Поєднання товстоплівкових рутенієвих резисторів із паст серії 4400 із провідниковими срібними пастами 1785 і 1785М рекомендується використовувати під час виготовлення НВЧ товстоплівкових плат з експлуатаційним допуском $\pm 5\%$ для низькоомних резисторів і $\pm 10\%$ – для високоомних резисторів.

1. Пасты резистивные серии 4400 КЛІС 750.771.002 ТУ. 2. Паста проводниковая фотополімеризующаяся 1785 АУЭ.027.006 ТУ. 3. Мікроелектроніка: прилади, матеріали, технологія / А.А. Смердов, М.С. Дяденко, В.О. Зайчук та ін.; За ред. А.А. Смердова. – К.: Гала, 1998. – С.137. 4. Композиционные пасты для толстопленочной технологии // <http://infogor.vimi.ru/arch-doc/4/ik000028.html>.-28.11.2002. 5. Красов В.Г., Петраускас Г.Б., Чернозубов Ю.С. Толстопленочная технология в СВЧ микроэлектронике. – М.: Радио и связь, 1985. – С.34. 6. Малорацкий Л.Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ.М. / Совет. радио. – 1976. – С.35. 7. ОСТ107.750878.002-87. Технология изготовления толстопленочных плат. Общие требования. – 1988.