

УДК 621.3.049.772.2:621.372.54

А.Й. Семенюк, Я.Д. Лоб, Д.Т. Дячок¹, В.Г. Немеш²¹Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут²Науково-виробниче підприємство "Мікротех Карат", м. Львів

ВИГОТОВЛЕННЯ ТОВСТОПЛІВКОВОГО НВЧ-ФІЛЬТРА З ВИКОРИСТАННЯМ ФОТОПОЛІМЕРИЗОВАНОЇ ПАСТИ

Ó Семенюк А.Й., Лоб Я.Д., Дячок Д.Т., Немеш В.Г., 2011

A.Y. Semenyuk, Y.D. Lob, D.T. Dyachok, V.G. Nemesh

MANUFACTURING OF THICK-FILM MICROWAVE FILTER USING OF PHOTSENSITIVE PASTE

Ó Semenyuk A.Y., Lob Y.D., Dyachok D.T., Nemesh V.G., 2011

Досліджено технологію виготовлення та параметри провідникових елементів товстоплівкового НВЧ-фільтра на основі пасти серії 1785, виготовлених на підкладках ВК94-1 і ВК100-1. Виконано перевірку окремих електрофізичних параметрів провідникових елементів на відповідність вимогам технічних умов.

Ключові слова: провідникові елементи, товстоплівковий НВЧ-фільтр, фотополімерна паста.

Investigated the production technology and conductor elements operation factors thick microwave filter based on a paste series 1785, manufactured on substrates ВК94-1 and ВК100-1. Audited certain electrical and physical parameters of conductor elements for the compliance with the specification requirements.

Key words: conductor elements, thick microwave filter, photosensitive paste.

Вступ

Застосування товстоплівкової технології під час виготовлення надвисокочастотних (НВЧ) пристроїв, порівняно з тонкоплівковою технологією, дає можливість уникнути дороговартісних вакуумних процесів. Однак, поверхня провідникових елементів, виготовлених загальноприйнятими методами товстоплівкової технології, не є такої якості, як отриманих тонкоплівковими методами. Для покращення параметрів поверхня мікросмужкових елементів повинна бути гладкою і рівною, з точним відтворенням їх розмірів, що є проблемним для звичайної товстоплівкової технології. За прямокутного перерізу мікросмужкової лінії (МСЛ) розподіл густини поверхневого струму по всьому її периметру має максимуми по всіх чотирьох кутах [1]. Тобто хорошу провідність повинні мати вся поверхня провідника, а особливо його кути, бо там спостерігаються піки густини струму.

Перевагою фотополімеризованих паст є те, що провідники, виготовлені на їх основі, мають гладку і рівну поверхню з порівняно високою точністю відтворення геометричних розмірів, а їхні краї є прямокутними за формою [2, 3]. Окрім того, звичайний метод товстоплівкової технології дає змогу отримати ширину провідникових елементів і віддалі між ними 150–200 мкм, а за допомогою фоточутливих паст можна досягти 50–60 мкм [2, 4]. Це також розширює функціональні можливості НВЧ-пристроїв, виготовлених на фотополімеризованих пастах. Автори [2], використовуючи фоточутливі пасти виробництва DuPont і ESL, виготовили і після виготовлення дослідили параметри декількох НВЧ-пристроїв: кільцевого резонатора на частоту 3,6 ГГц, смугових фільтрів на частоти 1 і 18 ГГц та напрямленого відгалужувача на частоту 7,5 ГГц. Однак, в цій об'ємній і ґрунтовній

роботі, не наведено результатів, як відбуватимуться зміни цих параметрів під час експлуатації. Розробників завжди цікавить, як поведуться пристрої в реальних умовах. Окрім того, в технічних умовах на провідникові пасти не завжди обумовлено ті параметри, які є важливими для виготовлення НВЧ елементів. Зокрема, технічні умови на провідникові пасти не обумовлюють величину втрат та стабільність опору провідникової плівки. Загальною метою роботи було проведення випробування товстоплівкових смугових фільтрів, виготовлених із використанням провідникової фотополімеризованої срібної пасти 1785 [4, 5], визначення величини зміни параметрів після випробування та визначення тих параметрів, які можна було б враховувати в подальшому під час проектування НВЧ товстоплівкових мікроплат.

Програма випробувань

Перевіряли параметри, які обумовлені технічними умовами на пасту, а також додаткові параметри, які цікавили розробника смугового фільтра. Програма випробувань передбачала:

- вимірювання міцності зчеплення плівки із провідникової пасти з підкладкою, питомого поверхневого опору плівки, електричних параметрів фільтра, оцінку стійкості плівки до три кратного перепаювання;
- випробування зразків на дію циклічної зміни температури в діапазоні від $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5 циклів по 0,5 год);
- випробування зразків на зберігання при підвищеній температурі $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж 100 год.

Вимірювали міцність зчеплення плівки з підкладкою методом відриву припаяного до неї дроту. Стійкість плівки до перепаювання оцінювали візуально. Вимірювали параметри фільтрів на приладі Р4-23.

Характеристика взірців та технологічного процесу

Випробуванням піддавали мікроплати на керамічних підкладках ВК94-1 і ВК100-1. Топологія плати фільтра, розрахованого на центральну частоту 1,9 ГГц, зображена на рис. 1, а зовнішній вигляд мікроплати, яка містить фільтр на частоту 1,9 ГГц, виготовлений з використанням фотополімеризованої пасти 1785 на підкладці ВК100-1, показано на рис. 2.

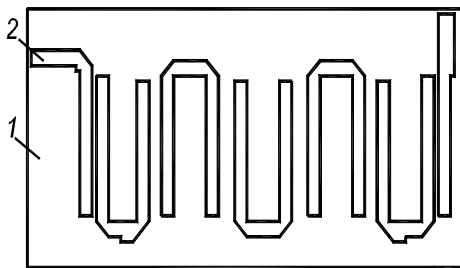


Рис. 1. Топологія смугового фільтра на фотополімеризованій пасти $f_0 = 1,9\text{ ГГц}$:
1 – підкладка, 2 – плівковий провідниковий елемент



Рис. 2. Зовнішній вигляд мікроплати, яка містить фільтр на частоту 1,9 ГГц, виготовлений з використанням фотополімеризованої пасти 1785 на підкладці ВК100-1

Під час виготовлення тест-плат на основі фотополімеризованої пасти 1785, переважно, використовували технологічне устаткування, яке характерне для типового технологічного процесу виготовлення товстоплівкових плат, а проявлення провідникового шару здійснювалося на спеціально розробленій установці ПСП-8.

Схема технологічного процесу під час виготовлення елементів із пасти 1785 була така: очищення підкладок – нанесення пасти – попереднє сушіння -експонування- проявлення – повторне сушіння – впалювання – виготовлення екрана (паста 3712). Властивості пасти 3712 наведені в табл. 1 [4].

Таблиця 1

Властивості провідникової пасти 3712

Пасти	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)					
3712	57,85... 58,85	(19,95... 18,95)	≤0,004	130	10...15	≥100	добра

В операцію очищення підкладок входили їх відмивання і високотемпературне оброблення. Відмивали кип'ятінням впродовж 5 хв в мийному розчині, що складався із перекису водню, аміаку і дистильованої води. Високотемпературне оброблення підкладок виконували за температури 840 °С в електропечі СК10/16.6-5 впродовж 12 хв. Наносили пасти 1785 на напівавтоматизованій установці ЩІП-1675. Попереднє сушіння нанесеного шару із пасти 1785 здійснювали за температури (82±1)°С впродовж 50 хв. Експонування висушеного шару проводили через скляний фотошаблон на установці ГГ-2258 лампою ДРТ-1000. Тривалість експонування 10 хв для шарів на підкладках ВК94-1 і 5 хв для шарів на підкладках ВК100-1. Проявлення здійснювали аерозолем ацетону впродовж 5 с. Проявлення полягало у вимиванні неекспонованих ділянок підкладок, покритих світлочутливою пастою, за допомогою аерозольної суміші ацетону з повітрям та усунення продуктів промивання з поверхні підкладок методом центрифугування і подальшого сушіння підкладок продуванням повітря під час циклу оброблення. Швидкість обертання центрифуги 1500 обертів/хвилину. Розпиляли ацетон через форсунку інжекційного типу, виконану у вигляді блоку у який входить три розпилювальні сопла. Пристрій створює необхідне розрідження для забезпечення безперервної подачі аерозольної суміші. Продували камеру центрифуги і сушили підкладки через осушувальний пристрій з регульованою подачею повітря і тривала 20 с. Повторне сушіння або попередній відпал здійснювали при температурі 400 °С впродовж 10 хв, а впалювання при температурі 840 °С впродовж 12 хв. Ці операції проводили одночасно в електропечі СК10/16.6-5 і загальна тривалість впалювання з підняттям і спуском температури була 75 хв. Товщина плівкових провідників після впалювання становила 10 мкм.

Виготовлення екрана із пасти 3712 здійснювали за стандартною товстоплівковою технологією.

Результати дослідження.

Електрофізичні параметри зразків НВЧ-плат, виміряні до і після випробування наведені в табл. 2. Допуск на центральну частоту визначався як відхилення виміряного значення від розрахункової величини $f = 1,9$ ГГц.

Аналіз отриманих результатів, що наведені в табл. 2, показав, що середнє значення величини питомого опору плівки становило до випробувань 0,00380 Ом/кв (на підкладках ВК94-1) і 0,00366 Ом/кв. (на підкладках ВК100-1). Згідно з вимогами технічних умов пасти 1785 [5] повинна забезпечувати питомий поверхневий опір плівки не більше ніж 0,005 Ом/кв. Тобто, після виготовлення питомий поверхневий опір задовольняє вимоги технічних умов. Після випробувань його величина також не вийшла за допустиму межу 0,005 Ом/кв. Нестабільність питомого поверхневого опору під час експлуатації технічними умовами не обумовлена. За результатами цих випробувань нестабільність опору становила, в середньому, 0,24 % і, в загальному, була не більшою 0,49 %. Переверене значення величини міцності зчеплення плівки з підкладкою після виготовлення зразків було не гірше ніж $98 \cdot 10^5$ Н/м², що відповідає технічним умовам.

Таблиця 2

Електрофізичні параметри фільтра та провідникових елементів із фотополімеризованої пасти 1785

№ зразка	Тип підкладки	Електричні параметри фільтра							
		f_0 , ГГц до вип.	f_0 , ГГц після вип.	Δf_0 , % до вип.	Δf_0 , % після вип.	a_v , дБ до вип.	a_v , дБ після вип.	$2\Delta f_p$, ГГц до вип.	$2\Delta f_p$, ГГц після вип.
1	ВК94-1	1,947	1,961	+ 2,5	+ 3,2	3,2	3,6	0,110	0,110
2	ВК94-1	1,964	1,962	+ 3,4	+ 3,2	3,5	3,7	0,100	0,110
3	ВК100-1	1,874	1,882	- 1,4	- 0,9	3,1	3,1	0,095	0,095
4	ВК100-1	1,860	1,865	- 2,1	- 1,8	3,6	3,2	0,085	0,086

Продовження табл. 2

Електричні параметри фільтра				Питомий опір впаленої пасти, Ом/□				Адгезія (міцність зчеплення плівки з підкладкою), Н/м ² ·10 ⁵	
$2\Delta f_s$, ГГц до вип.	$2\Delta f_s$, ГГц після вип.	κ_p до вип.	κ_p після вип.	до вип.	після вип.	зміна r , %	згідно з ТУ	на виготовлених платах	згідно з ТУ
0,225	0,251	2,03	2,28	≤0,00404	≤0,00406	0,49	≤ 0,005	127	≥ 98
0,226	0,214	2,26	1,94	≤0,00356	≤0,00356	0	≤ 0,005	98	≥ 98
0,223	0,240	2,42	2,52	≤0,00432	≤0,00434	0,46	≤ 0,005	98	≥ 98
0,221	0,185	2,51	2,15	≤0,00300	≤0,00300	0	≤ 0,005	127	≥ 98

У табл. 2 наведено: f_0 – центральна частота; Δf_0 – відхилення частоти від від розрахункового значення; $2\Delta f_p$ – смуга пропускання (по рівню 3 дБ); $2\Delta f_s$ – смуга затримки (по рівню 30 дБ); a_v – величина втрат; κ_p – коефіцієнт прямокутності.

Перевірялися також параметри, які цікавили розробника смугового фільтра.

Центральна частота фільтрів f_0 , виміряна до випробувань, відрізняється від розрахункової: у бік збільшення (до +3,4 %) для зразків на підкладках ВК94-1 і в бік зменшення (до -2,1 %) для зразків на підкладках ВК100-1. Це можна пояснити різною діелектричною проникністю підкладок і різною точністю відтворення геометричних розмірів провідникових елементів в результаті їх неоднакового підтраву і неоднакового часу експонування підкладок ВК94-1 і ВК100-1. Точність відтворення електричних параметрів фільтрів може бути збільшена введенням коректувальних поправок на геометричні розміри мікросмужкових елементів.

Смуга пропускання фільтрів $2\Delta f_{\text{п}}$, виготовлених на підкладках ВК94-1, становила 0,100...0,110 ГГц, а на підкладках ВК100-1 – 0,085...0,095 ГГц. Зміни смуги пропускання після кліматичних випробувань практично не виявлено (спостерігалася тільки незначна зміна для четвертого взірця фільтра на підкладці ВК100-1). Враховуючи смуги пропускання фільтрів $2\Delta f_{\text{п}}$ (по рівню 3 дБ) і смуги затримки $2\Delta f_{\text{з}}$ (за рівнем 30 дБ), були розраховані коефіцієнти прямокутності фільтрів $k_{\text{п}}$ для цієї групи зразків, значення яких перебувало в діапазоні від 1,94 до 2,51.

Були визначені втрати фільтрів, виготовлених на фотополімеризованій пасті 1785. Величина втрат до випробування становила 3...3,5 дБ. Після випробування спостерігалось збільшення втрат до 3,8 дБ, що, зокрема, може бути пояснено виявленою під час дослідження нестабільністю опору провідникової плівки.

Висновки

Кліматичні випробування показали, що фотополімеризована паста 1785 забезпечує таке значення електричного опору провідникових елементів, яке уможливорює виготовлення смугових фільтрів на центральну частоту 1,9 ГГц з величиною втрат після випробувань до 3,8 дБ. В результаті проведених випробувань визначено показник нестабільності опору провідникової плівки із пасті 1785, величина якої становила не більше ніж 0,49 % (при середньому значенні 0,24 %), що потрібно враховувати під час проектування НВЧ-мікроплат.

1. Смеркло Л.М., Дячок Д.Т., Кучмії Г.Л. Комбінований спосіб виготовлення товстоплівкових НВЧ плат // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2005. – № 542: Елементи теорії та прилади твердотільної електроніки. – С. 52–55. 2. Dziurdzia B., Magonski Z., Nowak S., Ciez M., Gregorzuk W., Niemyjski W. Photoimageable thick-film microwave structures up to 18 GHz // Electron Technology-Internet Journal. – 2004. – 36, 1. – P. 1–10. 3. Markowski P., Jakubowska M., Zwirkowska E., Danielkiewicz M., Welter K. J., Luniak M. Properties of thick-film photoimageable inks for LTCC substrates // Elektronika (konstrukcje, technologie, zastosowania). – 2011. – Nr. 3. – S. 109–111. 4. Дячок Д.Т., Павлуш В.А., Немеш В.Г. Стабільність товстоплівкових резисторів, виготовлених на основі паст серії 4400, з провідниковими елементами із паст 1785 і 1785М (за результатами кліматичних випробувань) // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2007. – № 595: Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 100–106. 5. Паста проводникова фотополімеризуюча 1785 АУЭ.027.066 ТУ.