

УДК 621.3.049.77:621.319.4

Смеркло Л.<sup>1</sup>, Дячок Д.<sup>1</sup>, Кучмій Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

<sup>2</sup>ДУ “Львівська політехніка”, кафедра напівпровідникової електроніки

## ТОВСТОПЛІВКОВІ КОНДЕНСАТОРИ НА ІЗОЛЯЦІЙНИХ ПАСТАХ

© Смеркло Л., Дячок Д., Кучмій Г., 2000

**Розглянуто дослідження та виготовлення товстоплівкових конденсаторів на ізоляційних пастах взамін конденсаторних паст з метою підвищення робочої напруги.**

**The problem of investigation and production of thick-film capacitors on isolative pastes instead of capacitive pastes was considered with the aim of operational voltage increase.**

### Вступ

Товстоплівкові конденсатори є одним із видів плівкових конденсаторів і конструктивно характеризуються малими товщинами і дещо більшими, порівняно з дискретними навісними конденсаторами, зайнятими площами. Основною їхньою перевагою перед навісними конденсаторами є те, що їх виготовляють в єдиному технологічному циклі отримання товстоплівкових шарів мікроплат. Це дозволяє зменшити кількість збиральних операцій і в остаточному підсумку зменшити трудомісткість виготовлення мікроплат.

Для виготовлення товстоплівкових конденсаторів розроблено і застосовуються вітчизняні і зарубіжні діелектричні конденсаторні паста. Їхня питома ємність знаходиться, як правило, в межах 200...30 000 пФ/см<sup>2</sup> [1,2]. Однак такий важливий параметр, як напруга пробною  $E_{пр}$ , у вітчизняних конденсаторних паст, переважно, невисока. Так, у конденсаторної пасті 0902  $E_{пр} \geq 1,7$  кВ/мм [3], а у конденсаторних паст 2 501 і 3 004 робоча напруга обумовлена близько 60 В [1]. У деяких випадках, зокрема, при виготовленні і застосуванні високовольтних подільників напруги і аттенюаторів для осцилографів робоча напруга може досягати 300 В і тому під час розробки такого типу пристроїв висувається вимога використання паст з гарантованою високою пробивною напругою. У роботі проведено дослідження ізоляційної діелектричної паста з метою підвищення робочої напруги товстоплівкових конденсаторів.

### Запропоноване конструктивно-технологічне рішення і результати досліджень

Для виготовлення товстоплівкових конденсаторів було опробовано і впроваджено у виробництво ізоляційну діелектричну пасту 1001, яка, звичайно, використовується для міжшарової ізоляції провідників товстоплівкових плат і забезпечує високу пробивну напругу  $E_{пр} \geq 12,5$  кВ/мм [4]. Технічні вимоги на вітчизняні ізоляційні паста регламентують

(гарантується позитивна зміна) такі важливі параметри, як тангенс кута діелектричних втрат і пробивну напругу. Для діелектричної проникності (чи питомої ємності), яка є основним параметром при виготовленні товстоплівкових конденсаторів, у відомих нам пастах регламентується зміна в бік її зменшення. Наприклад, для пасти 1001 гарантується  $\varepsilon \leq 30$ , що є зрозумілим для ізоляційних паст, бо чим менше  $\varepsilon$ , то тим меншими будуть паразитні ємності. Між тим, для якісного виготовлення конденсаторів необхідна жорстка регламентація діелектричної проникності. Це, у випадку пасти 1001, вимагало проведення додаткової роботи для її точного визначення.

З метою встановлення діелектричної проникності конкретного б'юкса пасти (чи партії пасти) робилося пробне виготовлення конденсатора. Діелектрична проникність визначалася за відомою формулою

$$\varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S},$$

де  $C$  – ємність конденсатора (вимірюється експериментально);  $d$  – товщина шару діелектрика (вимірюється експериментально);  $S$  – площа верхньої обкладинки конденсатора (береться із КД або вимірюється експериментально);  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12} \text{ Ф/м}^2$  – відома постійна величина.

Товщину діелектричного шару вимірювали на мікроінтерферометрі МІІІ-4 фіксацією чіткого зображення спершу його поверхні, а потім поверхні провідникового шару (нижня обкладинка) за допомогою мікрометричного гвинта. Реєстрували, відповідно, два покази лімбу мікрометричного гвинта і товщину дізнавалися з різниці показів, помноженій на 3, що є характерним для цього приладу.

Вимірювання ємності, згідно з рекомендацією Державного стандарту, можна проводити будь-яким методом, наприклад, мостовим, резонансним, порівняння напруг тощо [5]. У нашому випадку ємність конденсатора вимірювали на вимірювачі L,C,R цифровому Е7-8. Спочатку реєстрували ємність вимірювальної системи  $C_0$ , після того вимірювали сумарну ємність конденсатора і вимірювальної системи  $C_v$ , а фактичну ємність конденсатора визначали за формулою

$$C = C_v - C_0.$$

Діелектрична проникність пасти 1001 в промисловому б'юксі виявилась за результатами вимірювання, такою, що дорівнює 15. Їй відповідає питома ємність  $300 \text{ пФ/см}^2$  при сумарній товщині діелектрика  $d=38 \text{ мкм}$  (нанесено було три шари).

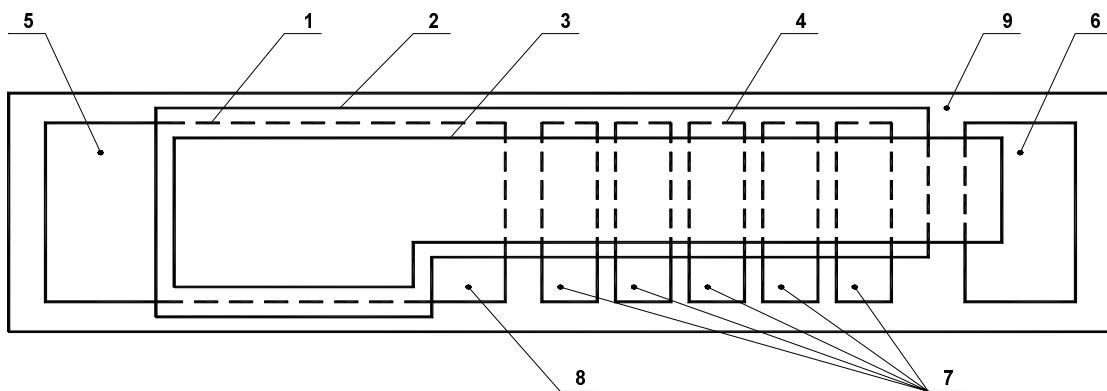
Електрична міцність конденсатора залежить від товщини, виду і структури діелектрика, особливостей конструкції конденсатора (площі обкладинок, умов тепловіддачі) та інших чинників. Вона характеризується вищезгаданою пробивною напругою  $E_{np}$  (кВ/мм), яка є відношенням напруги, за якої відбувається пробій діелектрика  $U$  (кВ) до товщини діелектрика  $d$  (мм)

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{d}.$$

Випробовування електричної міцності проводять при нарузі у 1,5–3 рази більшій від робочої [6] і попередньо розрахована електрична міцність товстоплівкових конденсаторів із пасти 1001 для подільників напруги у нашому випадку входила у цей діапазон.

Окрім високої пробивної напруги, діелектричні шари товстоплівкових конденсаторів повинні володіти доброю адгезією до провідників і підкладки при відсутності пор, мати малі діелектричні втрати, бути стійкими до температурних впливів. Технічні умови на пасту 1001 регламентують тангенс кута діелектричних втрат для неї не більше 0,02.

Відомо, що габаритні розміри конденсатора залежать від його ємності. Ємності товстоплівкових конденсаторів, які виготовлялися, були такі: 3, 10, 15 і 20 пФ – в складі аттенюаторів та 11 і 12 пФ – в складі подільника напруги. Типові розміри конденсатора для подільника напруги  $11,8 \times 1,2$  мм при габаритах плати  $12 \times 1,4$  мм. Товщина підкладки 0,5 мм. Висота плівкових конденсаторів визначається сумарною товщиною діелектричного шару і товщинами верхньої та нижньої обкладинок. В основному вона була в межах 60...75 мкм (без лудження), що надає їм перевагу порівняно з навісними дискретними конденсаторами. У нашому випадку це стало основним чинником, за яким було вибрано плівковий конденсатор замість навісного. Розміри підстроювальних елементів  $1,2 \times 0,7$  мм. Кількість підстроювальних елементів – 5. Відстань між підстроювальними елементами – 0,2 мм. Це дозволило послідовним під'єднанням підстроювальних елементів за допомогою золотого мікродроду до основи нижньої обкладинки конденсатора регулювати ємність конденсатора в межах до 40 %. При цьому застосовувалося мікрозварювання термоолівцем. Можливе застосування й іншого способу підгонки – розрізанням лазерним променем товстоплівкових перемичок між підстроювальними елементами. Але у цьому випадку потрібно виготовити відповідний фотошаблон нижнього плівкового шару.



Товстоплівковий конденсатор для подільника напруги:

- 1 – нижня обкладинка, 2 – діелектричний шар, 3 – верхня обкладинка,  
 4 – підстроювальні елементи, 5, 6 – контактні площинки конденсатора,  
 7 – контактні площинки підстроювальних елементів, 8 – контактна площинка нижньої  
 обкладинки для під'єднання підстроювальних елементів, 9 – підкладка  
 (захисний шар із пасти 3210 умовно не показаний).

Ємність конденсатора за необхідністю можна додатково зменшити нанесенням четвертого діелектричного шару під час виготовлення конденсатора. Його надійність при цьому зростає. Термічна дія повторних впалювань (8 разів) при  $t^0 = 760$  °C призводила до зміни ємності в різні сторони, в середньому, в межах  $\pm 2,7$  %. Захисний шар із пасти 3210 підвищував ємність в середньому на 3 %. Варто зауважити, що використання ізоляційної

діелектричної пасти для виготовлення конденсатора не вимагає застосування додаткових матеріалів, зокрема, конденсаторної пасти, що підвищує технологічність і знижує собівартість виробництва.

Нижню і верхню обкладинки конденсаторів виготовляли із провідникових паст, відповідно 3 721 і 3 716. Можлива заміна на пасту 3701, яка хороша для паяння. При великих часових проміжках між впалюванням нижньої та верхньої обкладинки і приварюванням мікродроту треба навіть надати перевагу пасті 3701. Другий шар із цієї пасти при цьому впаюється при температурі 760 °С (1-й шар – при 830 °С). Щодо ізоляційної пасти, то для виготовлення конденсаторів можна використовувати й інші ізоляційні діелектричні пасти. Але оскільки діелектрична проникність у них жорстко не регламентується, потрібно робити додаткові вимірювання з її визначення в кожному конкретному випадку.

### **Висновок**

Результати роботи дозволили підвищити робочу напругу товстоплівкових конденсаторів і на основі типового технологічного процесу успішно виготовити та застосувати конденсатори різних номіналів із вітчизняних провідникових та ізоляційної діелектричної паст на підкладці із кераміки ВК94-1 для високовольтних подільників напруги і аттенюаторів осцилографічної апаратури.

[1] АУЭО.027.043ТУ. Пасты диэлектрические конденсаторные (2 501, 3 004).

[2] Красов В.К., Петраускас Г.Б., Чернодубов Ю.С. Толстопленочная технология в СВЧ микроэлектронике. М., 1985. С.57–59.

[3] АУЭО.027.007ТУ Паста диэлектрическая конденсаторная 0902.

[4] АУЭО.027.006ТУ Пасты диэлектрические изоляционные (1001, 1003).

[5] ГОСТ 28885-90. Конденсаторы. Методы измерений и испытаний. М., 1991.

[6] Онищук В.Е., Аверкин Е.И. Технология производства радиоконденсаторов. М., 1986.