

УДК 621.317.727.1

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ПЛІВКОВИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ**

О.В. ШВЕД, В.О. РУМБЕШТА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*У статті наведено результати проведеного аналізу виготовлення плівкових потенціометрів; розглянуто основні методи нанесення резистивної плівки на основу; проведено порівняльний аналіз цих методів, наведено методику розрахунку економічності виготовлення плівкових потенціометрів у залежності від програми випуску*

Потенціометри широко застосовуються в сучасній техніці, а саме в схемах різноманітних приладів, у системах автоматичного слідкувального приводу, у вимірювальних мостових схемах, як керувальні, налагоджувальні, балансувальні та регулювальні пристрої [1]. Плівкові потенціометри (ПП) в порівнянні з дротяними менш габаритні, більш точні в роботі та є невід'ємним елементом сучасних приладів.

***Об'єкти та методи дослідження***

Найважливішим процесом при виготовленні ПП, який впливає на їх якість, є процес нанесення тонкої резистивної плівки на основу – підкладку. У наш час розроблено безліч методів нанесення тонкої плівки на діелектрик, а саме: метод термічного випаровування в вакуумі; катодно-дифузійного наплення; газодинамічного наплення покриття; осадження парів металів, що випарені індукційним методом (конденсатом); метод хімічного осадження; гарячого розпилення розплавленого металу; впікання; занурення; метод електрохімічного осадження; розбризкування; метод гальванічного осадження плівок; дифузія за високих температур та інші.

***Постановка завдання***

У точному малогабаритному приладобудуванні необхідно застосовувати такі методи, які б змогли, з одного боку, забезпечували високу точність та надійність роботи пристроїв, а з іншого, – найбільшу рентабельність такого процесу з врахуванням, що такі прилади випускаються у невеликих серіях. Відтак вибір оптимального методу отримання плівки ПП для різних типів виробництва буде індивідуальним.

***Результати та їх обговорення***

Основні якісні методи нанесення тонких металевих плівок на підкладку ПП були вище зазначені, але всі вони мають свої різноманітні точнісні та економічні характеристики. Для високоточної апаратури космічної галузі на перше місце постає питання точності її отримання.

Метод катодно-дифузійного наплення плівки вигідно застосовувати для виготовлення регулювальних ПП. Під час застосування цього методу нанесення плівок використовується явище руйнування катода-мішені в результаті його бомбардування іонізованими молекулами розрідженого газу. Підкладки для отримання плівок розташовують на металевій пластинці (анод). Катодом слугує пластинка, що виготовлена з матеріалу, який буде розпилюватись. Підкладки з діелектрика розташовують на певній відстані від катода. З ковпака установки відкачують повітря. Наплення плівки проводять через трафарет-маски під тиском  $10^{-1} - 10^{-2}$  мм рт.ст. в інертному газі, який подається через трубку. Для займання тліючого розряду між катодом і анодом через резистор подається висока наруга від

1 до 20 кв. Для отримання оптимальних умов розпилення підбирають відповідне співвідношення між трьома величинами: відстанню між катодом та анодом, що прикладені напругою та тиском газу [2]. Перевагою цього методу є можливість отримання більшої поверхні та рівномірності товщини отриманих плівок, за рахунок наплення матеріалу на підкладку з плоскої поверхні катода, розміри якої можуть значно перевищувати відстань від катода до підкладки. Однак такий метод відноситься до дорогих процесів, його продуктивність дуже низька, а вартість обладнання дуже висока. Тому він може використовуватись, як спеціальний при одиничному або малосерійному виробництві космічної техніки.

Щоб виготовити керувальні ПП доцільно буде застосувати метод гарячого розпилення. Суть методу заключається в наступному. Розплавлений метал розпилюється стисненим газом та осідає на поверхню підкладки, яка здійснює обертальні рухи. Покриття наносять розпилювальним пістолетом, що стаціонарно закріплений. Ствіл пістолету складається з трьох металевих трубок, які встановлені одна в одну. Через трубку меншого діаметру подається дріт із металу, що використовується для утворення плівки. Через трубку середнього діаметру надходить горюча суміш газів: водню та кисню або ацетилену та кисню. Між зовнішньою стінкою середньої трубки та стінкою стволу, який являє собою третю трубку найбільшого діаметру, під тиском подається азот або вуглекислий газ. На кінці корпусу стволу закріплена насадка з отвором, через який розбризкується розплавлений метал [3]. Такий метод є продуктивним, але не дуже точним, тому він може бути рекомендованим для виготовлення ПП широкого кола у серійному виробництві.

Для отримання балансувальних потенціометрів раціонально застосовувати метод осадження парів металів, що випарені індукційним методом. Цей метод нанесення тонких плівок є екологічно безпечним. Під скляним ковпаком на підставці знаходиться кокіль з чистого вуглецю, що заповнений потрібним металом. Випаровування розігрітого металу виробляється за допомогою потужного індуктора електрохвильовим методом з концентрацією енергії всередині шихти. Навколо кокіля розміщується від 6-ти до 12-ти алюмінієвих стійок, на які поміщують підкладки з нанесеними мікротрафарет-масками. Для захисту від тепла існують азбестові екрани в кожухах. Знизу стійки об'єднуються одним алюмінієвим стержнем-базою. Вся установка розташована у фріоновій холодильній камері (-40 °C). Пари рівномірно осідають через трафарет-маски шаром-конденсатом. Товщина шару забезпечується часом осадження парів. Цей метод має хороші показники точності й продуктивності, екологічно безпечний, але потребує дорогого вакуумного обладнання, тому рекомендується для використання в авіаційній, навігаційній та медичній техніці при серійному виробництві.

Метод гальванічного осадження тонких плівок доцільно використовувати при виготовленні налагоджувальних потенціометрів. При цьому в якості анода, який гальванорозчиняється, застосовують пластини із потрібних для отримання плівок матеріалів, першим із яких є лавінування тонкої плівки (товщиною до 1 мкм). У ванну занурюють велику кількість діелектричних підкладок, на робочих поверхнях яких нанесені трафарет-маски, через які гальванорозчинений метал осідає на розрихлені поверхні підкладок. Інші поверхні лакоізольовані. Залежно від потужності струму досягається необхідна швидкість осадження, а товщина регулюється за рахунок часу нанесення плівок. Метод гальванічного осадження плівок є самим простим та точним, найбільш продуктивним і має достатньо низьку собівартість процесу, тому саме він є рентабельним для застосування у серійному та крупносерійному виробництві при не дуже високих вимогах щодо точності та надійності роботи.

Оскільки точність отримання резистивних плівок для ПП не дуже висока, в порівнянні з плівками для інтегральних схем, то на перше місце постає питання економічності їх отримання в залежності від програми випуску, яке визначається типом виробництва.

Рентабельність виробництва того чи іншого виду ПП в першу чергу визначається собівартістю виробів, що випускаються. Така собівартість одного виробу  $C_в$  визначається за такою формулою:

$$C_в = C_{виг.в} + \frac{C_{об}}{N_p}, \quad (1)$$

де  $C_{виг.в}$  – вартість всіх робіт при виготовленні ПП;  $C_{об}$  – вартість обладнання, що застосовується, та його обслуговування;  $N_p$  – річна програма випуску ПП.

Тоді собівартість усієї продукції випущеної за рік  $C_{вр}$  визначається:

$$C_{вр} = C_{виг.в} \cdot N_p + C_{об}. \quad (2)$$

Через те, що  $C_{виг.в}$  при малосерійному виробництві завжди більше ніж при серійному, а остання більша ніж при крупносерійному, тому собівартість виробу визначає  $C_{об}$ . Виходячи з цього, бажано мати таку умову для ефективності виробництва:

$$C_{об.мс} \langle C_{об.с} \langle C_{об.кс}, \quad (3)$$

де  $C_{об.мс}$  – вартість обладнання при малосерійному виробництві;  $C_{об.с}$  – вартість обладнання при серійному виробництві;  $C_{об.кс}$  – вартість обладнання при крупносерійному виробництві.

Більш точним методом визначення необхідного ефективного типу виробництва ПП є метод з аналізом потрібного темпу випуску  $t$  даного ПП, який визначається за такою формулою:

$$t = \frac{60 \cdot \Phi_p}{N_p}, [хв] \quad (4)$$

де  $\Phi_p$  – річний годинний фонд робочого часу, який дорівнює 2070 год.

Вибір рентабельного типу виробництва здійснюють шляхом порівняння  $t$  із середнім операційним часом  $T_{сер.он}$  проведення всіх технологічних процесів та операцій при виготовленні даного ПП, що можна визначити за такою формулою:

$$T_{сер.он} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{n_j} T_{ум.к.і}}{\sum_{j=1}^p n_j}, [хв] \quad (5)$$

де  $p$  – кількість усіх технологічних процесів при виготовленні ПП, як процесів виготовлення підкладок із діелектрика, рухомих движків-струмоміначів, нанесення резистивної плівки, процеси складання та випробування ПП;  $n_j$  – кількість необхідних операцій в кожному такому процесі;  $T_{ум.к.і}$  – штучно-калькуляційний час проведення кожної операції, який вираховується за такою формулою:

$$T_{ум.к.} = T_{ум.} + T_{нз} / N_{зм} = (T_{он} + T_{орг} + T_{відп}) + T_{нз} / N_{зм}, \quad (6)$$

де  $T_{ум.}$  – штучний час проведення всієї операції;  $T_{он}$  – операційний час;  $T_{орг}$  – час організації операції;  $T_{відп}$  – час на відпочинок;  $T_{нз}$  – час на підготовку і налагодження обладнання для операції, його обслуговування та заключне прибирання;  $N_{зм}$  – завдання на одну зміну по виготовленню елементів ПП.

Після визначення  $T_{сер.он}$  проводиться його порівняння з темпом випуску  $t$ , як  $t \leftrightarrow T_{сер.он}$ . Якщо отримаємо  $t > T_{сер.он}$ , то необхідно обирати малосерійний тип виробництва, як найбільш ефективний. Якщо  $t \cong T_{сер.он}$  (одного порядку), то обирається серійне виробництво. Якщо  $t < T_{сер.он}$ , то ефективним буде крупносерійне виробництво, як найбільш оптимальне та рентабельне. Таким вимогам задовольняє метод отримання тонких плівок гальваноосадженням.

### **Висновки**

Метод гальванічного осадження тонких резистивних плівок на підкладку з діелектрика, як показали дослідження, є дуже простим, достатньо точним, економічно вигідним та дає змогу одночасно наносити тонкі плівки на велику кількість підкладок одночасно. Тому, обираючи з усього різноманіття нині існуючих методів нанесення тонких резистивних плівок на підкладки металоплівкових потенціометрів, саме його рекомендовано для застосування в серійному та крупносерійному виробництві.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Белевцев А.Т. Потенциометры. – М.: Машиностроение, –1969. – 25 с.
2. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. – М.: Энергия, –1967. – 20 с.
3. Белевцев А.Т. Технология производства радиоаппаратуры. – М.: Энергия, –1971. – 134 с.

Надійшла 10.03.2010