

Перелік посилань

1. Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII «Про ринок електричної енергії»
2. Іноземцев Г.Б., Козирський В.В. Математичне моделювання та оптимізація систем електроспоживання у сільському господарстві. Київ, НУБіП, – 2010. – 141 с.
3. Бодунов В.М. Врахування метеорологічної інформації при прогнозуванні електричних навантажень / В.М. Бодунов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник. – 2011. – №1(47). – С.70–74.
4. Павленко П.М. та ін. Математичне моделювання систем і процесів. К.: НАУ – 2002 – 407 с

Чабан Є.Є., студент

Кафедра ТЗБ НУ «Чернігівська політехніка»

Науковий керівник: Болотов М.Г., канд. техн. наук

Національний університет «Чернігівська політехніка» bolotovmg@gmail.com

ОСАДЖЕННЯ ТОНКИХ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВОК В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ ІЗ ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ

В якості джерела іонізованої плазми використовували тліючий розряд, що горить в порожнистому катоді. Реалізували діодну плазмоіонну схему розряду при якій напруга прикладалася між порожнистим катодом (матеріалом майбутньої плівки) та анодом (рис. 1). В якості мішені використовували мідний циліндр, виконаний у формі чаші та мідний кільцевий анод, розміщений на відстані 40 мм від катоду. Між електродами на ізолюваному від камери тримачі розміщували скляну підложку (субстрат) розмірами 60×30 мм.

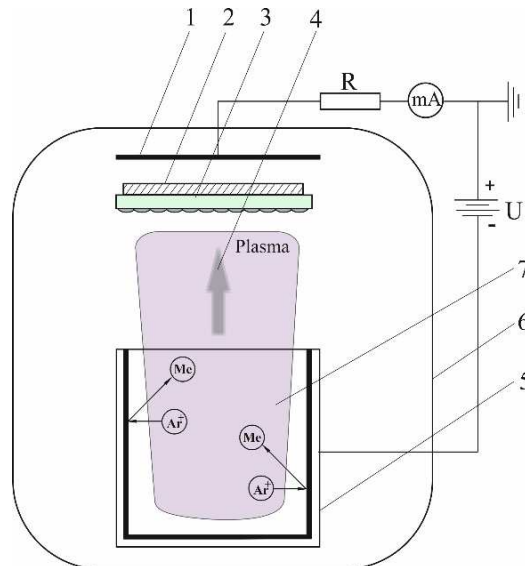


Рис. 1. Експериментальна схема: 1 – анод; 2 – підложкотримач; 3 – скляна підложка; 4 – напрямок випаруваного металу; 5 – порожнистий катод; 6 – вакуумна камера; 7 – плазма тліючого розряду.

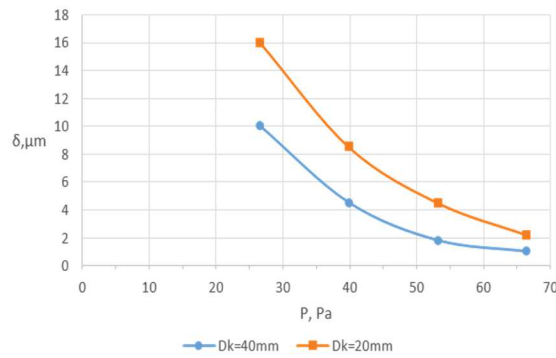


Рис.2. Залежності товщини мідних плівок δ від величини струму розряду I_d отриманих при тиску аргону 26 Па та часу осадження 30 хв.

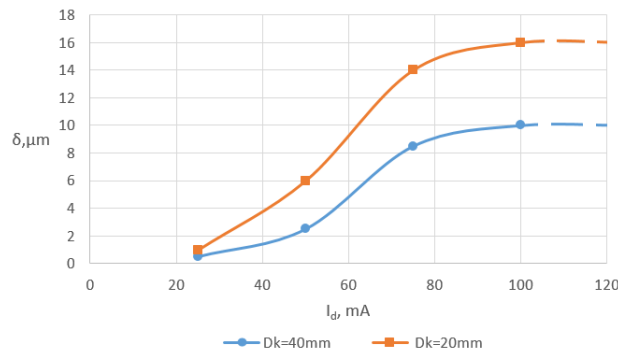


Рис. 3. Залежність товщини покриття δ від тиску в газорозрядній камері P при струмі розряду $I_d = 100$ мА, відстані $L_{c-s} = 10$ мм та часу осадження 30 хв.

Як відомо, процеси формування та росту тонкоплівкового металопокриття із використанням газорозрядних технологій визначаються узгодженістю цілого ряду факторів. У зв'язку з цим метою наших досліджень було встановлення впливу основних технологічних параметрів на товщину шару покриття та величину адгезії плівок зі скляною основою, а також визначення оптимальних їх значень в умовах низькотемпературної плазми тліючого розряду, що горить в порожнистому катоді. На рис. 2 показані експериментальні залежності товщини шару конденсованих плівок від струму розряду, отримані при тиску в газорозрядній камері 26 Па протягом 30 хвилин. Величина розрядного струму варіювалася в межах від 25 мА до 100 мА при цьому напруга горіння розряду коливалася в межах $U_d = 350 \dots 900$ В. Відстань катод-субстрат була фіксованою і складала 10 мм.

Отримані залежності показують, що збільшення величини розрядного струму призводить до стрімкого наростання товщини конденсованого шару металопокриття. Так, зростання величини I_d від 25 мА до 100 мА, в наших дослідах, призводило до росту товщини мідної плівки в межах 0,5...10 μm та 1...16 μm для катодів діаметром 40 мм та 20 мм відповідно. Більша товщина мідної плівки, отримана при розпилюванні катоду діаметром 20 мм обумовлена, вочевидь, дещо інтенсивнішими іонізаційними та, відповідно, емісійними процесами в середині порожнини ніж на катоді діаметром 40 мм. Це пов'язано з тим, що при постійному тиску в газорозрядній камері та інших рівних умовах зменшення діаметру порожнини призводить до певного зростання густини струму, обумовленої зменшенням протяжності області темного катодного простору d_k [1]. Відповідно збільшується потік іонів, що бомбардує поверхню мішені, викликаючи тим самим інтенсифікацію процесу розпилення її матеріалу.

На рис. 3 наведено залежності товщини мідних плівок від тиску аргону в розрядній камері, осаджених на струмі $I_d = 100$ мА протягом 30 хвилин. Тиск в газорозрядній камері

змінювався в межах 26...66 Па, при цьому напруга розряду складала $U_d = 600...900$ В. Відстань катод-субстрат складала 10 мм.

Зміна тиску аргону в газорозрядній камері від 26 до 66 Па призводить до стрімкого зниження як товщини самої плівки так і швидкості її осадження на скляному субстраті для обох досліджуваних катодів в 8...10 раз. Це дає підставу вважати даний параметр чи не найважливішим в процесах нарощування тонкоплівкових покриттів. В даному випадку, вирішальним є довжина вільного пробігу як розпиленних атомів мішені, так і іонів робочого газу, величина якої зменшується із ростом тиску. Оскільки, в результаті збільшення числа зіткнень з молекулами залишкових газів вони втрачають свою енергію і змінюють траєкторію свого руху, це призводить до зменшення коефіцієнта розпилення матеріалу мішені і, відповідно, до зниження щільності потоку осаджуваних часток на поверхню субстрату. Разом із тим, зменшення тиску в газорозрядному проміжку призводить до збільшення протяжності області темного катодного простору яке відділяючись від стінок порожнини стискає катодну частину плазми таким чином, що вона починає нагадувати електронний пучок. Це призводить до зменшення області конденсації на поверхні підложки. Однорідність таких плівок за товщиною не перевищує 15...25% для катодів 40 та 20 мм відповідно.

На рис. 4 наведено залежність адгезії мідних плівок від їх товщини отриманих при швидкості осадження 0,0053 мкм/сек і щільності струму 15 А/м² та 29 А/м² для катодів діаметром 40 мм та 20 мм відповідно.

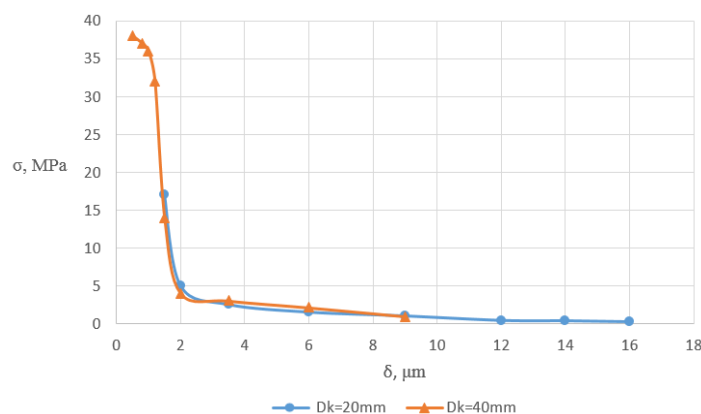


Рисунок 4. Залежність міцності зчеплення мідних покриттів від їх товщини.

З отриманих графіків випливає, що в інтервалі товщин 0,5...1,2 μm, отриманих при осадженні з катоду діаметром 40 мм міцність зчеплення змінюється в межах від 38...32 МПа. При подальшому збільшенні товщини осаджених плівок їх адгезія зі скляною поверхнею основи різко погіршується. Так, в інтервалі товщин 1,5...9 μm, для обох діаметрів катодів, міцність зчеплення знижується з ~17 МПа до 1 МПа, а при $\delta = 12...16$ μm міцність зчеплення падає майже до нуля і складає приблизно 0,41...0,24 МПа. Така залежність, на нашу думку, пояснюється зростанням внутрішніх напружень в тілі покриття із підвищенням товщини плівки.

Перелік посилань

1. Maksym Bolotov, "The Deposition of Thin Metal Films in Low Temperature Plasma of Hollow Cathode Glow Discharge" 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) pp. 90-94, 2020