

УДК 541.55

А.М.Коровицький, Т.І.Коменда, О.З.Калуш, І.М.Колядинський, І.М.Панасюк  
Луцький національний технічний університет**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ СТАБІЛЬНОГО ПЛАЗМОВОГО РОЗРЯДУ  
У ВАКУУМНІЙ КАМЕРІ ВУП5М ПРИ МАГНЕТРОННОМУ НАПИЛЕННІ**

*У роботі розглянуто проблему керування параметрами магнетронного плазмового розряду газу (на прикладі аргону) у вакуумній камері ВУП5М. Показано, що одним з критеріїв утворення стабільної йонної плазми є рівномірність потоку газу, який подається у робочий об'єм. Запропоновано спосіб ефективного керування потоком газу у робочу камеру та досліджено умови утворення стабільного плазмового розряду. На прикладі депонування плівок PbI<sub>2</sub> показано, що використання керованої подачі газу у вакуумну камеру суттєво впливає на швидкість осідання матеріалу на підкладку, гомогенність отриманих плівок, дозволяє варіювати товщину напиленого шару в широкому діапазоні.*

Ключові слова: магнетронний плазмовий розряд, йонна плазма.

Вступ.

Одним з найбільш поширених методів отримання тонких плівок є метод магнетронного напилення на постійному та змінному струмі [1]. Магнетронні системи депонування матеріалів достатньо зручні та прості у використанні, мають достатньо високу ефективність, проте, існує ряд недоліків технологічного характеру, які дещо обмежують функціональність таких систем. Так, наприклад, необхідність періодичної заміни робочого газу суттєво впливає на характер роботи магнетрона. А для досягнення високої якості і повторюваності фізичних властивостей депонованих матеріалів необхідно забезпечити: а) стабільність магнетронного плазмового розряду на протязі визначеного часу напилення, б) керованість та повторюваність технологічних умов отримання стабільного плазмового розряду.

Постановка задачі.

Метою дослідження є розробка технології отримання стабільного плазмового розряду у вакуумній камері ВУП5М при магнетронному депонуванні матеріалів на основі високоточної та керованої системи подачі газу у робочу камеру. Керовані системи подачі газу (газові системи) є однією з найбільш критичних компонент у технологічних установках магнетронного напилення. Газові системи дозволяють проводити підготовку газів та їх сумішей (наприклад, забезпечити додаткову очистку, приготувати суміші газів у заданих пропорціях), дозволяють контролювати та керувати газовими потоками та доставляти їх в необхідній кількості та у необхідне місце у робочу камеру. Такі газові системи повинні відповідати цілому ряду строгих технологічних вимог.

Матеріали дослідження.

Дослідження проводилися на універсальному вакуумному посту ВУП5М, який додатково був обладнаний високоточною системою подачі газу у робочу камеру, основним елементом якої є контролер газового потоку (витратомір з функцією керування). Для контролю та керування незначними та пульсуючими потоками газу найефективніше використати термічний тип контролерів [2]. Принципову конструкцію такого контролера зображено на рис.1а. Потік газу, потрапляючи в контролер, розділяється на два потоки: основний – через систему байпасів та шунтуючий – через спеціальний сенсор, який сигналізує відповідну величину потоку. У сучасних витратомірах сенсор, зазвичай, виготовлений у вигляді капілярної трубки з двома обмотками та котушкою підігріву (рис 2а). Вимірювання зміни температури здійснюється на основі потоку, який проходить по цій трубці. Для нульового потоку температура на вході трубки – буде рівна температурі на виході. Обмотка на трубці підігривається за допомогою струму на певне встановлене значення, більше за температуру навколишнього середовища. Очевидно, що при проходженні газового потоку по трубці температура на вході буде нижча, ніж на виході (рис.2б).

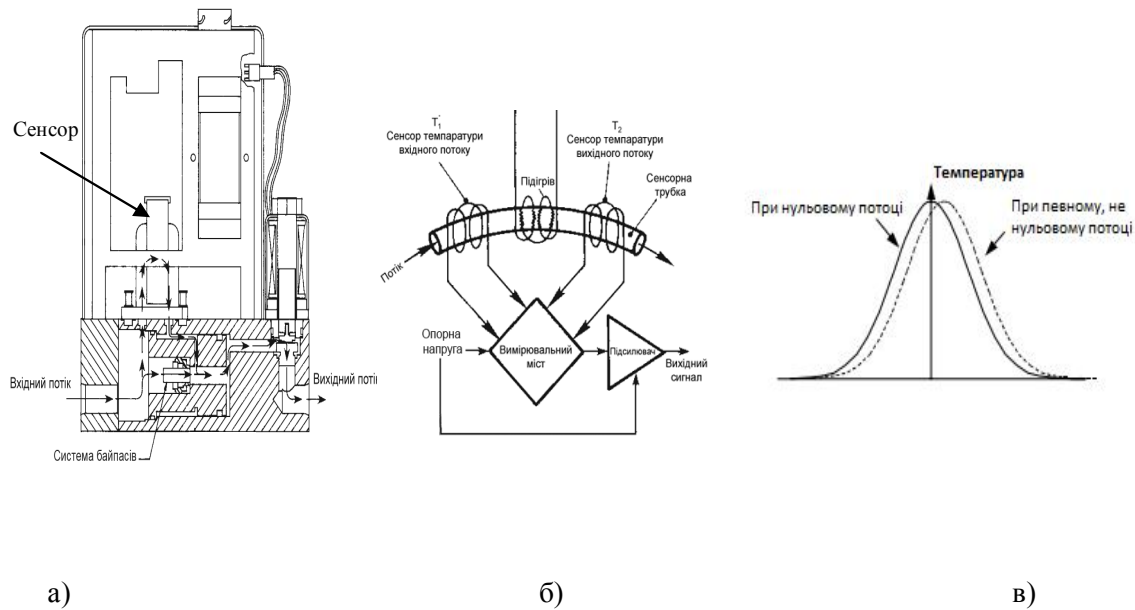


Рис.1. а) Принципова конструкція контролера потоку газу. Стрілками зазначено схему руху газового потоку, через контролер. б) Схема роботи сенсора. в) Графік розподілу температури вздовж капілярної трубки сенсора.

Дані термічні контролери потоку газу володіють високою точністю (~1%) та широким діапазоном вимірювання потоків.

На рис.2 зображено схему експериментальної установки – магнетронна система ВУП5М та розроблена нами система подачі газу на базі контролера F260. Розвиток систем магнетронного розпилювання та їх удосконалення призвело до створення плоских систем, в яких ефект екранування потоку розпилення атомів повністю ліквідовано. Суть магнетронної системи зводиться до того, що система катод-анод розміщується у магнітному полі таким чином, що магнітні силові лінії спрямовані паралельно поверхні катода [3].

Одним з важливих факторів, що визначає потужність ефективність розпилення мішеней є потужність розряду. Причому від потужності розряду лінійно залежить швидкість росту плівок. З пониженням тиску газу потужність розряду зростає. При тиску 0.5Па характер залежності змінюється із зростаючої на спадаючу. Поява максимуму на залежності потужності від тиску свідчить про існування тиску газу, при якому в розряді виділяється гранична потужність. Крім того, існує критичний тиск, нижче якого проявляється сильна залежність напруги запалювання від тиску. З пониженням тиску напруга запалювання швидко зростає і досягає величини номіналу. Модель процесу схематично відображено на рис.3. Як видно, модель являє собою багатовимірну оптимізаційну задачу управління параметрами технологічного процесу магнетронного депонування матеріалу. Запропонована нами система подачі інертного газу у вакуумну камеру дозволяє знайти відповідні залежності між вхідними параметрами – потоку, напруги, тиску.... – та знайти оптимальний режим роботи установки.

Використовуючи розроблену систему подачі газу було виявлено, що інтенсивність плазмового розряду можна регулювати як звичним способом – збільшенням прикладеної напруги, так і зміною потоку газу - аргону. В результаті проведених експериментів було виявлено, що мінімальний потік, при якому розпочинається запалювання плазмового розряду становить 1,78норм.см<sup>3</sup>/хв. аргону при тиску 0.5Па та напрузі між електродами 500В. При подальшому збільшенні потоку Ar аж до 7.51норм.см<sup>3</sup>/хв спостерігається зростання інтенсивності плазмового розряду. Подальше збільшення потоку приводить до блокування системи, яке обумовлене зростанням тиску в робочій камері.

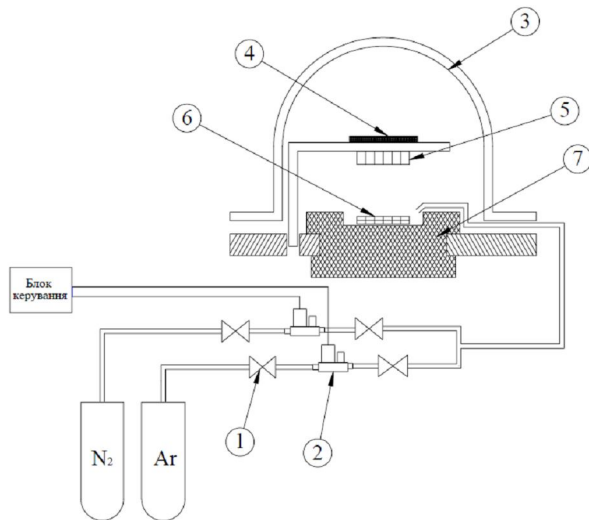


Рис.2. Схема установки: 1 – вентилі; 2 – контролери потоку газу F260; 3 – вакуумна камера; 4 – підігрів підкладки; 5-підкладка, 6 – мішень (розпалюваний матеріал); 7 - магнетрон.

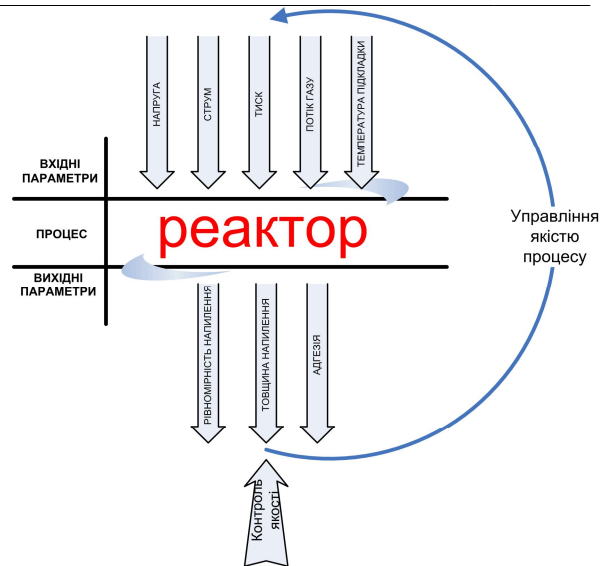


Рис.3. Модель технологічного процесу магнетронного депонування матеріалів

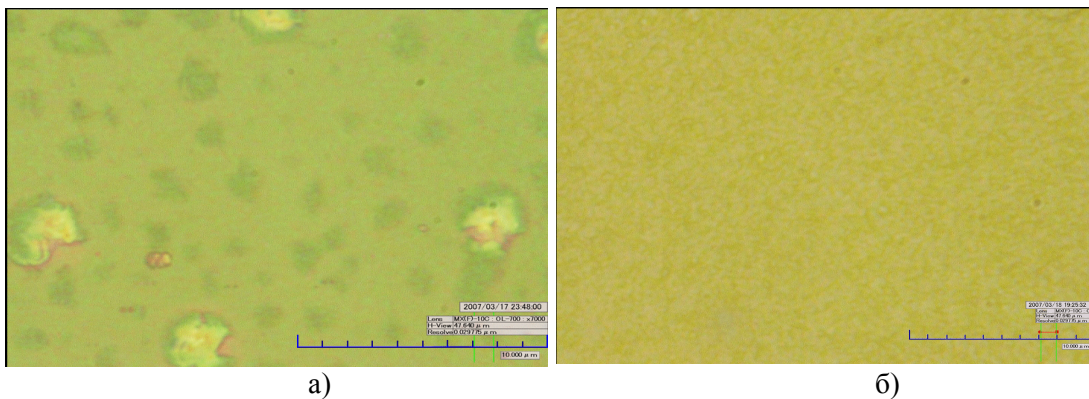


Рис.4. Оптичні зображення плівок  $PbI_2$  напilenих на: а) стандартна конфігурація системи В УП5М б) вдосконалена конфігурація системи ВУП5М

Для проведення експериментів в якості матеріалу мішені використовувався  $PbI_2$ , який напilenня на скляну підкладку в атмосфері аргону. Першу серію досліджень по напilenня тонких плівок йодиду свинцю було проведено на стандартній системі ВУП5М. Під час роботи вакуумної системи зі стандартною комплектацією виникали проблеми зі стабільністю плазмового розряду. В процесі напilenня доводилося проводити запалювання розряду декілька разів, оскільки подача інертного газу у робочу камеру була не рівномірною. Очевидно, що такий технологічний процес суттєво впливає на розподіл часток  $PbI_2$  на підкладці, що і показують результати подальших оптичних досліджень (рис.4а та рис. 5а). Другу серію досліджень було проведено на вакуумній системі ВУП5М, яка була вдосконалена ефективною системою керування газового потоку інертного газу. Напilenня йодиду свинцю проводилося при таких самих значеннях тиску та напруги як і в попередній серії (0.7Па та 400В), проте процес напilenня відбувався при рівномірній подачі аргону у робочу камеру, що забезпечило високу стабільність плазмового розряду та безперебійний процес напilenня плівки  $PbI_2$ . Потік Ar при цьому становив 3.22 норм.см<sup>3</sup>/хв.

Результати напilenня плівок йодиду свинцю було проаналізовано на оптичному цифровому 3Д відеомікроскопі DIMIC [3]. Зображення плівок було отримане при 700х кратному оптичному збільшенні (рис.4), а також використано функцію мікроскопа - побудови 3Д поверхні плівки (рис.5).

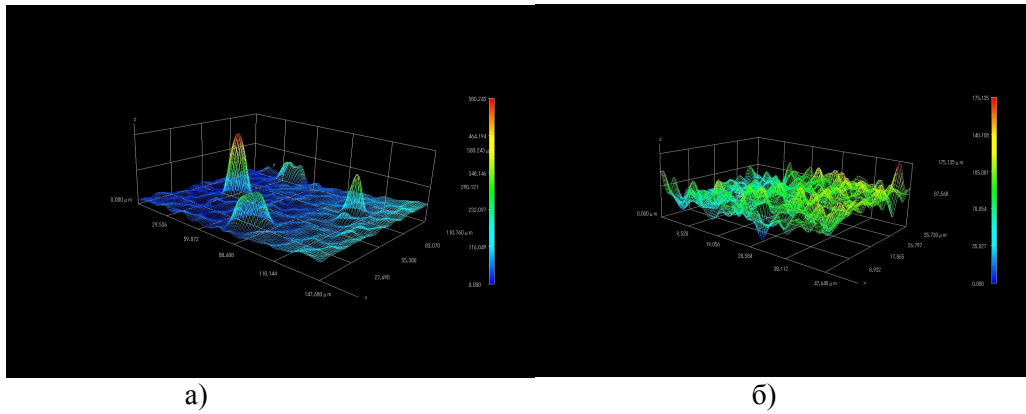


Рис.5. 3Д поверхні плівок  $PbI_2$  напаних на: а) стандартна конфігурація системи ВУП5, б) вдосконалена конфігурація системи ВУП5М

Як видно, на рис.4а спостерігається не рівномірний розподіл часток йодиду свинцю на поверхні підкладки, що обумовлено (як зазначалося вище) недосконалістю технологічного процесу. На рис.4а спостерігаються окремі пріоритетні центри кристалізації  $PbI_2$ , висота яких сягає до 58мкм. Крім того оптичні дослідження морфометричних параметрів центрів кристалізації йодиду свинцю на поверхні підкладки показали, що повторюваність отриманих результатів є не високою. Дослідження морфопараметрів було здійснено на базі програмного забезпечення MIMAS.

Що стосується результату наплення, отриманого на основі вдосконаленої системи подачі газу, то, як видно з рис.4б отримується гомогенна плівкова система йодиду свинцю по всій поверхні. Товщина плівки  $\sim 7$  мкм (рис.5б).

#### Висновки

1. Газові контролери термічного типу дозволяють значно розширити можливості управління процесом магнетронного наплення на основі зміни залежностей величин потоку інертного газу, напруги, струму, тиску та знайти оптимальний режим роботи установки, забезпечуючи:

- а) високу стабільність плазмового розряду у магнетроні, не обмежену у часі, що дозволяє отримувати плівки заданої товщини;
- б) можливість керування потужністю газового розряду за рахунок керування потоком інертного газу, що у свою чергу впливає на швидкість процесу наплення;
- в) гомогенність напленого матеріалу по всій поверхні підкладки.

1. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. - М.: Радио и связь, 1982. - 72
2. T.Komenda, A.Korovytskyu Gas/liquid flow measurement & display from Flokal /. – Режим доступу до журн.: [http://www.flokal.eu/newsletters/n\\_gs.pdf](http://www.flokal.eu/newsletters/n_gs.pdf)
3. Блинов И.Г. Оборудование полупроводникового производства. – Москва: Машиностроение, 1986-356с.