

УДК 621.793.18: 621.38

Магнітні системи магнетрона

Горбенко О.А., к.т.н., доц. Кузьмичев А.І.

Потенційні можливості застосування магнетронних розпилювальних систем в даний час ще далеко не повністю реалізовані та обговорені. Найбільш чітко переваги цих систем проявляються при осадженні плівок металу, отриманні оптичних покриттів, а також плівок надпровідних металів. Магнетронні системи розпилення дозволяють наносити плівки з високою рівномірністю по товщині на великих площах [1].

Процес кінетичного вибивання атомів з поверхні твердого тіла (мішені) за рахунок передачі імпульсів від іонів до атомів мішені при бомбардуванні її поверхні іонами називається іонним розпиленням.

Іонне розпилення в умовах газового розряду дуже складний процес, оскільки поверхня мішені піддається впливу не тільки іонів робочого газу, але й інших високоенергетичних часток, включаючи атоми після перезарядження іонів і фотони з розрядної плазми. На поверхні мішені, що перебуває в газовому середовищі, де є реакційно – активні добавки, одночасно відбуваються хімічні реакції, що впливають на хід процесу розпилення. Прикладом може бути

розпилення в аргоні не дуже високої чистоти, де домішки кисню або пар води окислюють поверхню мішені й змінюють швидкість розпилення.

Коли мова йде про системи, де мішень одночасно є катодом газового розряду, часто використовують термін «катодне розпилення», маючи на увазі при цьому, що розпилення мішені є результат впливу всіх часток, що попадають на катод.

Розпилені частки мають значну кінетичну енергію (~1-10eV), завдяки якій вони здатні переміщуватися на великі відстані від мішені. Якщо на шляху часток розташовується підкладка, вони конденсуються на ній, утворюючи шар з розпиленого матеріалу мішені. Цей процес і лежить в основі технології нанесення тонких плівок.

Магнетронні системи відносяться до систем розпилення діодного типу, в яких розпорошення матеріалу проходить за рахунок бомбардування поверхні мішені іонами робочого газу (зазвичай аргон), що виникають в плазмі аномального тліючого розряду. Висока швидкість розпилення, характерна для цих систем, досягається за рахунок збільшення щільності іонного струму за рахунок локалізації плазми у розпорошеній

поверхні мішені за допомогою сильного поперечного магнітного поля.

Принцип дії такої системи зображено на Рис. 1. Основними елементами приладу є катод – мішень, анод і магнітна система. Силкові лінії магнітного поля замикаються поєднуються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, яка знаходиться між місцями входу та виходу силових ліній магнітного поля, інтенсивно розпилюється і має вигляд замкненої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи.

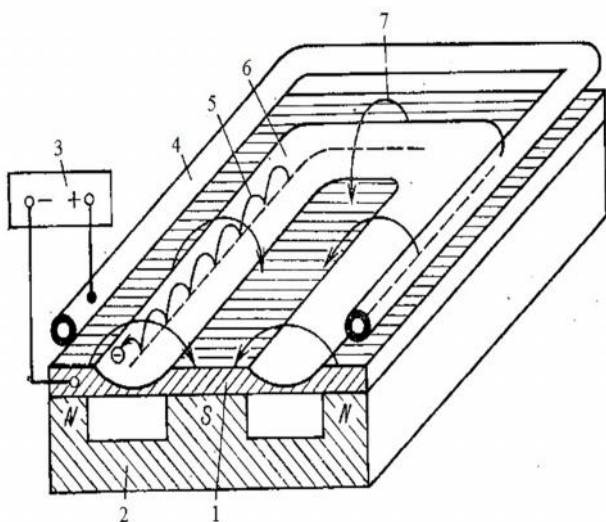


Рис. 1. Схема магнетронної розпилювальної системи з плоскою мішенню. 1 – катод – мішень, 2 – магнітна система, 3 – джерело живлення, 4 – анод, 5 – траєкторія руху електронів, 6 – зона розпилення, 7 – силова лінія магнітного поля

При поданні постійної напруги між мішенню (від'ємний потенціал) і анодом (додатний або нульовий потенціал) виникає неоднорідне

електричне поле та збуджується аномальний тліючий розряд. Наявність замкненого магнітного поля біля розпилюваної поверхні мішені дозволяє локалізувати плазму розряду безпосередньо біля мішені. Емітовані з катода під впливом іонного бомбардування електрони захоплюються магнітним полем, вони рухаються по складній циклоїдальній замкненій траєкторії біля поверхні мішені. Електрони знаходяться в пастці, яка створюється з однієї сторони магнітним полем, та повертає електрони на катод, а з іншого боку – поверхню мішені, яка відштовхує електрони. Електрони циклюють в цій пастці до тих пір, поки не відбудеться декілька іонізуючих зштовхувань з атомами робочого газу, в результаті яких електрон позбувається отриманої від електричного поля енергії. Таким чином, більша частина енергії електрона, перш ніж він потрапить на анод, використовується на іонізацію і збудження, що значно збільшує ефективність процесу іонізації і призводить до збільшення концентрації додатних біля поверхні мішені. Це в свою чергу обумовлює збільшення інтенсивності іонного бомбардування мішені і вагомий ріст швидкості розпилення, а внаслідок, і швидкості осадження плівки [1].

Іони, що попадають на мішень в МРС, тобто на катод, прискорюються в прикатодному шарі позитивного просторового заряду. Цей шар також називають темним катодним простором, оскільки газ у ньому світиться набагато слабкіше, ніж у розрядній плазмі. Шар автоматично

утвориться біля катода в будь-якому розряді через малу рухливість іонів, і він забезпечує прискорення не тільки іонів, але й катодних електронів у зворотному напрямку. Падіння напруги на цьому шарі приблизно дорівнює розрядній напрузі U , і якщо іони під час свого руху не зіштовхуються з газовими молекулами, їхня енергія на катоді дорівнює qU , де q - заряд іона. При зустрічі з молекулами газу іони піддаються пружним й непружним зіткненням: перші приводять до їхнього відхилення від первісного напрямку руху й втрати частини кінетичної енергії; другі при тих умовах, які мають місце в розпилювальних системах, пов'язані з перезарядженням іонів, при якому іони перетворюються в нейтральні частки зі збереженням вектора своєї швидкості, а газові молекули перетворюються в іони з початковою енергією, що відповідає тепловій енергії молекул газу. Потім нейтральні частки летять до мішені – катода по інерції, а іони починають прискорюватися до нового зіткнення з газовою молекулою або мішенню.

Таким чином, рух іонів у катодному шарі носить естафетний характер, а катодне розпилення обумовлене бомбардуванням іонами й нейтральними частками [2]. Чим нижче тиск робочого газу й тонший катодний шар, тим менша роль цих ефектів.

Доволі часто при дослідженні магнітних систем необхідно визначити значення магнітної індукції в будь-яких точках простору, що оточує

досліджувану систему. Для вирішення цієї задачі ми використали прилад для вимірювання магнітної індукції Щ1-8.

Прилад представляє собою переносний прилад, що застосовується для вимірювання індукції постійних полів магнітів, електромагнітів, соленоїдів в лабораторних та промислових умовах.

Для виміру магнітного поля використовується ефект Холла. Якщо через однорідну пластину напівпровідника (рис.2),

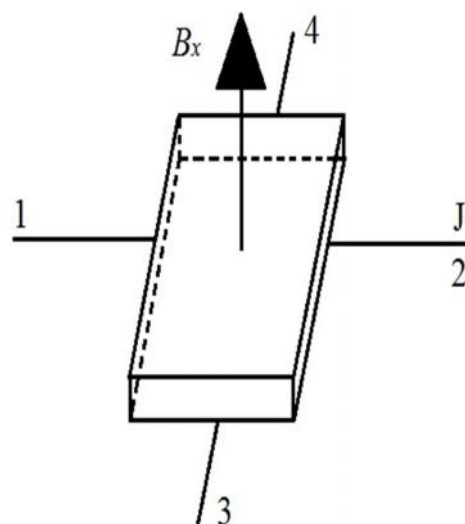


Рис. 2. Пластина напівпровідника що знаходиться в магнітному полі B , яке перпендикулярне площині мішені, пропустити струм через контакти 1,2, то між контактами 3,4 виникне напруга Холла – U_x .

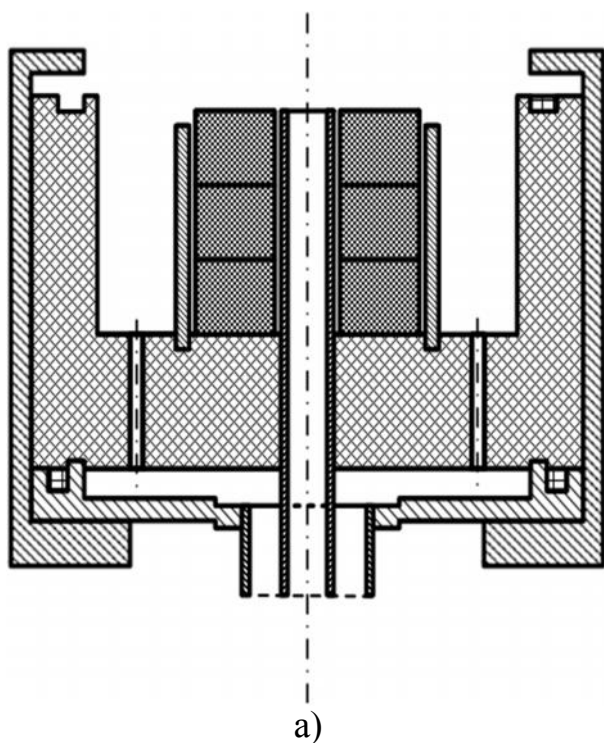
При використанні приладу необхідно пам'ятати, що правильний підрахунок може бути зроблений тільки тоді, коли площина перетворювача Холла складає з напрямком вектору магнітної індукції кут 90° . Індукцію магнітного поля було досліджено доволі точно за

рахунок обмеження переміщення зонду в просторі.

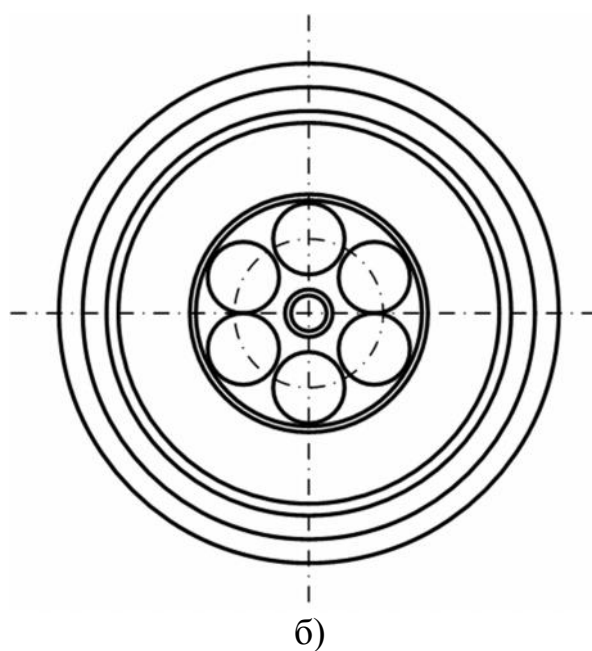
Крім того слід враховувати, що в неоднорідному полі розміри перетворювача можуть здійснювати вплив на результати дослідження. Напруга Холла пропорційна середньому значенню індукції поля в межах площі, обмеженої поверхнею перетворювача.

Тому перетворювач Холла, що застосовується в приладі, має розміри $1 \times 0,25$ мм. Розміри перетворювача здійснюють вплив на результати вимірювання при неоднорідності поля більше 5% на сантиметр, так як в цьому випадку індукція поля в будь-яких точках перетворювача може відрізнятись на 0,5%.

В даній роботі було досліджено планарний магнетрон з плоскою мішенню круглої форми (рис.3).



а)



б)

Рис. 3. Досліджуваний магнетрон: а) вигляд збоку; б) вигляд зверху

Даний тип МРС має широке застосування в техніці за рахунок своєї конструкції, оскільки плоска мішень відкрита в сторону підкладки, тому ефекти самозапилення і перерозпилення в них незначні.

Подібні МРС – відносно прості конструкції, мають невеликий об'єм, їх виготовляють у вигляді закінченого функціонального модуля і встановлюють на дні технологічної камери. Плоска мішень має круглу форму. Ці системи легко масштабуються по потужності від десятків ват до сотень кіловат [3].

Недоліком планарних магнетронів є невеликий процент використання матеріалу мішені (в найкращому випадку 50 – 60%) через сильну неоднорідність її розпилення – зона ерозії має вигляд вузької і глибокої кільцевої канавки, яка знаходиться під впливом силових

ліній магнітного поля і кільцевої тороподібної плазмової області [3].

Ми отримали наступні значення магнітної індукції:

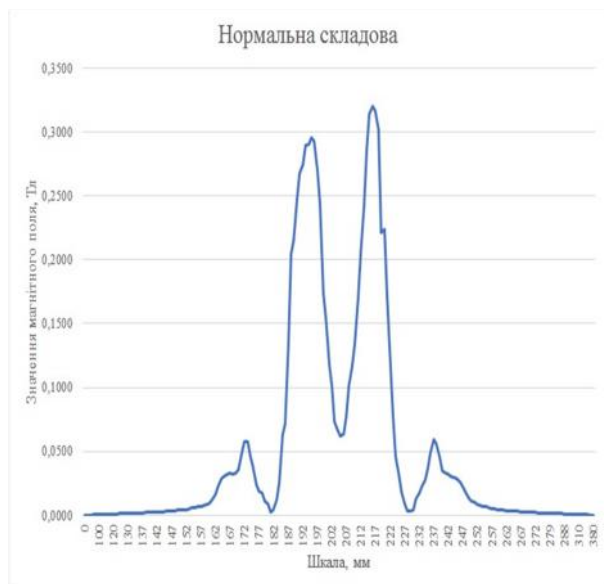


Рис. 4. Нормальна складова

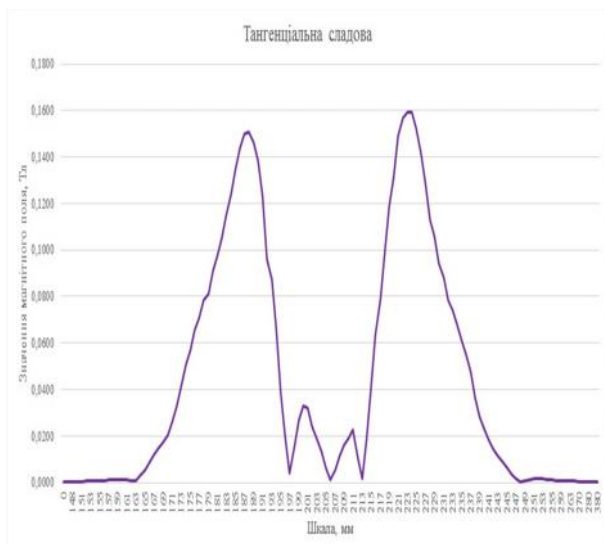


Рис. 5. Тангенціальна складова

Як ми бачимо магнітне поле виникає лише в області де знаходиться магнетрон.

Якщо магнітна система організована таким чином, що всі силові лінії магнітного поля двічі пересікають катод-мішень, виходячи з

одного полюса системи і входячи в інший, тобто переходячи тільки поблизу катода і не розсіюються в сторони, то МРС з такою системою зазвичай називають звичайною (*conventional*), з обмеженою плазмою (*confined plasma*) або збалансованою (*balanced magnetron*).

В такі МРС генерація іонів виникає в обмеженій тороподібній зоні. Малий розмір області іонізації, понижений коефіцієнт амбіполярної дифузії поперек силових ліній магнітного поля призводить до того, що плазмова область розряду прижата до поверхні катода. Її висота зазвичай не більше 50-60 мм [3].

При розміщенні підкладки не в цій зоні, що зазвичай і робиться, щоб не ускладнювати підтримання розряду, до неї доходить мало заряджених частинок, і вона тільки перехоплює потік розпилених атомів мішені, із яких і виникає плівка [3].

Оскільки іонний вплив на процес росту тонких плівок високої якості не є обов'язковим, МРС з збалансованим полем отримали широке застосування, в наш час, для нанесення тонких шарів різних матеріалів в мікроелектроніці і інших областях, де необхідні щадні умови для виробу.

Висновки

Для дослідження магнітних систем було використано прилад для вимірювання магнітної індукції Щ1-8.

Для виміру магнітного поля в приладі використовується датчик, що базується на ефекті Холла.

Ми отримали нормальну та тангенціальну складові магнітної індукції.

Індукцію магнітного поля було досліджено доволі точно за рахунок обмеження переміщення зонду в просторі.

Література

1. Данилин В.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы // М.: Радио и связь, – 1982. – С. 73;
2. Abril I. The contribution of fast neutrals to cathode erosion in glow discharges // J. Phys. D: Appl. Phys, – 1984. – Vol. 17. – P. 1841-1849;
3. Кузьмичёв А.И. Магнетронные распылительные системы // К.: Аверс, – 2008. – С. 244.