

УДК 621.389

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛІВОК

Д.т.н. А.О. Андрусевич¹, Д.В. Гурін¹, І.Н. Малая²

1. Харківський національний університет радіоелектроніки

2. Державне підприємство "Південний Державний проектно-конструкторський науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", м. Харків

У статті розглянуті існуючі методи отримання наноструктурованих діелектричних плівок.

Розглядаючи методи отримання наноструктурованих діелектричних плівок були виявлені переваги та недоліки кожного з них. Серед розглянутих методів обрано найефективніший з точки зору отримання плівок з заздалегідь заданими параметрами, та подальшої автоматизації методу.

В статье рассмотрены методы получения наноструктурированных диэлектрических пленок.

Рассматривая методы получения наноструктурированных диэлектрических пленок были выявлены достоинства и недостатки каждого из них. Среди рассмотренных методов выбрано самый эффективный с точки зрения получения пленок с заранее заданными параметрами и дальнейшей автоматизации метода.

The article describes methods for producing nanostructured dielectric films.

Considering the methods of preparation of nanostructured dielectric films were found advantages and disadvantages of each. Among the methods considered chosen the most effective in terms of producing films with predetermined parameters and further automation of the method.

Ключові слова: наноструктуровані діелектричні плівки, хімічний метод отримання діелектричних плівок, катодне розпилення, наплення у вакуумі

Вступ

В даний час існує задача автоматизації технологічного процесу отримання наноструктурованих діелектричних плівок [1].

Технології, пов'язані з нанесенням тонкоплівкових покриттів, є одними з найбільш актуальних напрямків отримання нових матеріалів, в тому числі наноструктурованих. Тонкоплівкові покриття отримали широке використання у таких напрямках радіоелектроніки як: напівпровідникова, оптична промисловість та водневі технології в енергетиці, що підтверджує актуальність обраної теми. Високі темпи розвитку цих наукомістких галузей вимагають безперервного підвищення якості та експлуатаційних властивостей покриттів. Реалізація цих вимог безпосередньо залежить від досягнень в розробці і конструюванні устаткування і вдосконалення технологій отримання тонких плівок. Для реалізації задачі автоматизації технологічного процесу наноструктурованих діелектричних плівок необхідно провести аналіз методів отримання діелектричних плівок та обрати серед них найбільш ефективний.

Хімічний метод отримання наноструктурованих діелектричних плівок

Добре відпрацьована технологія термічного окислення кремнію знайшла широке застосування з метою отримання шару двоокису кремнію, але застосовна лише для кремнієвих напівпровідникових структур [2]. Окисні шари на ряді інших напівпровідникових матеріалів не задовольняють висунутим вимогам. У зв'язку з цим в планарних структурах використовуються в основному діелектричні шари, отримані осадженням. Серед методів осадження найбільшим попитом користується хімічний метод осадження у газовому середовищі і метод реактивного катодного розпилення.

Хімічний метод досить повно досліджений, в результаті чого були отримані якісні плівки ряду матеріалів.

Переваги методу зводяться до наступного:

- у більшості випадків не вимагає вакуумне або відкачувальне обладнання. Отже, можна використовувати відносно прості установки з високою продуктивністю;
- швидкість осадження в загальному випадку набагато більше, ніж при осадженні у вакуумі;
- порівняно легко вдається осаджувати з'єднання і управляти їх стехіометрією;
- дуже легко проводити контрольоване легування речовини, що осаджується;
- для осадження тугоплавких матеріалів не обов'язково використовувати дуже високі температури, необхідні при термічному випаровуванні;
- можна без особливих труднощів осаджувати високо досконалі епітаксціальні шари з малим вмістом небажаних домішок;
- можна наносити покриття на предмети складної геометричної форми.

До недоліків методу можна віднести:

- маскування підкладок пов'язано з труднощами;
- побічні продукти реакції можуть осідати на деяких деталях апаратури; видалення цих продуктів може викликати ускладнення;
- неоднорідність плівок по товщині, обумовлена труднощами управління потоком газу в ректорі (до 20 % по підкладці);
- важко автоматизувати процес.

Метод реактивного катодного розпилення

На відміну від хімічного методу, метод реактивного катодного розпилення менш досліджений [3,5]. Це обумовлено тим, що плівки, отримані

реактивним катодним розпиленням, за деякими параметрами поступають хімічно осадженим.

Основними перевагами методу реактивного катодного розпилення в порівнянні з хімічним методом є:

- швидкість розпилення для різних металів, сплавів і діелектриків розрізняється слабо;

- контроль товщини плівки відносно простий, спочатку визначають швидкість осадження плівки, завдаючи плівку такої товщини, яку легко виміряти. Після цього для отримання плівок потрібної товщини встановлюють відповідний час розпилення, зберігаючи геометрію електродів і умови осадження;

- можливо розпорошення мішені з великою площею. Це спрощує проблему отримання плівок, однорідних по товщині;

- матеріалу мішені, як правило, буває достатньо для багатьох технологічних циклів нанесення плівок;

- для отримання більш однорідних по товщині плівок можна за допомогою магнітного поля управляти плазмою, а для зменшення розігріву підкладки можна виключити потрапляння на неї швидких електронів;

- можлива автоматизація процесу отримання діелектричних плівок [6].

Основним недоліком методу реактивного розпилення є відносно низькі швидкості осадження плівок.

До теперішнього часу розроблено велику кількість конструкцій установок та систем катодного розпилення. Однак, кожна з них можна віднести до однієї з трьох систем:

- двохелектродна система;
- трьохелектродна система катодного розпилення;
- високочастотна система катодного розпилення.

Двохелектродна і трьохелектродна системи володіють істотними недоліками, обумовленими в першому випадку відносно високим робочим тиском газу, а в другому - застосуванням термокатоду, що має малий термін служби в активному газі. Крім того в обох випадках, так само як і в системах в/ч розпилення підкладка зазвичай піддається електронно-іонному бомбардуванню, що викликає небажані зміни властивостей зростаючої плівки [5,7].

Перспективним напрямком в катодному розпиленні є використання розрядів з холодними катодами: пеннінговського і магнетронного.

Пристрій для отримання плівок представлено на рисунку 1. Він складається з трубчастого анода 1, дискового верхнього катода 2 і кільцевого катода 3, підкладка 4 розміщується під кільцевим катодом. Магнітне поле збігається з віссю розрядної камери.

Пристрій розміщується під ковпак вакуумної системи, яка відкачується до тиску 0,133 Па. Потім проводиться напуск робочого газу. При подачі на електродну систему напруги 200-600 В виникає тліючий розряд з осцилюючими в магнітному полі електронами. Позитивні іони, прискорюючись в області темного катодного простору, бомбардують катод. Продукти розпилення надходять на підкладку, розташовану під кільцевим катодом. Швидкість осадження плівки в такій системі залежить від робочого тиску, розрядного струму,

і напруги розряду. Використання низьковольтного пеннінговського розряду дозволяє в широких межах регулювати швидкість осадження при зміні розрядного струму. Недоліком такої системи, також як і магнетронній, є те, що підкладка разом зі зростаючою плівкою знаходиться в області розряду і піддається інтенсивному електронно-іонному бомбардуванню, що призводить до некерованого нагрівання підкладки.

Запропоновано вдосконалений пристрій, що працює на основі низьковольтного пеннінговського розряду. Схема цього пристрою представлена на рис. 2. Розрядна камера складається з двох холодних катодів 1, 2 та П-образного анода 3, який відрізняється від звичайно застосовуваного циліндричного анода в електродній системі Пеннінга.

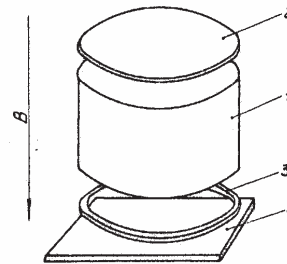


Рис. 1. Електродна система пристрою для отримання плівок у низьковольтному пеннінговському розряді

Система знаходиться в магнітному полі, перпендикулярному площині катодів. Продукти розпилення з обох катодів надходять на анод 3 та підкладку 4. Завдяки наявності магнітного поля, паралельного площині підкладки, і виносу її з розряду досягається значне зменшення електронно-іонного бомбардування зростаючої плівки в порівнянні з застосовуваними зазвичай пристроями для катодного розпилення. При цьому одночасно знижується засвічення плівки випромінюванням, яким переноситься до 70 % потужності, що виділяється на аноді пеннінговської газорозрядної камери.

В показано, що розряд горять як з металевими (*Cu*, *Ta*, *Mg*, *Al*), так і з напівпровідниковими (*Si*) катодами. Розряд забезпечує досить великі розрядні струми при більш низьких тисках, ніж у звичайному тліючому розряді, що дозволяє синтезувати якісні діелектричні плівки [6].

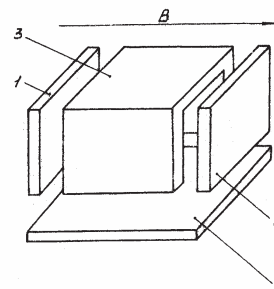


Рис. 2. Електродна система модернізованого пристрою для отримання плівок в низьковольтному пеннінговському розряді

При розпиленні крем'яних катодів були отримані швидкості осадження плівок значно більші, ніж в існуючих системах катодного розпилення при максимальному радіаційному нагріванні зростаючої плівки випромінюванням плазми до 360 К, що особливо важливо при осадженні плівок на складні напівпровідники з низькою температурою дисоціації.

До недоліків такої системи слід віднести неоднорідність плівок по товщині, вплив проникаючої плазми розряду на властивості діелектричних плівок і межі розділу напівпровідник-діелектрик, характер якого не встановлений.

Напилення у вакуумі просте та зручне. Однак його можливості обмежені внаслідок резистивних методів нагрівання, що визначають коло матеріалів, що застосовуються для отримання діелектричних плівок.

Розвиток електронно-променевого методу нагрівання значно розширило можливості напилення у вакуумі, тому з'явилася можливість напилювати тугоплавкі і реактивні речовини.

Метод магнетронного розпилення дозволяє [7]:

- одержувати покриття практично з будь-яких металів, сплавів, напівпровідників і діелектриків без порушення вихідного співвідношення компонентів розпилення мішені;

- наносити покриття з широким інтервалом швидкостей напилення: 0,1-100 мкм/год;

- отримувати багатокомпонентні і багаточарові покриття, що відрізняються високою якістю і однорідністю;

- наносити покриття в середовищі хімічно активних газів (N_2 , O_2 , CH_4 , CO , SO_2 та ін.) і отримувати з'єднання на основі оксидів, нітридів, карбідів, сульфідів металів та ін. сполук, в т.ч. і тих, які неможливо отримати методами звичайного термічного випаровування;

- проводити обробку виробів з метою їх іонного очищення і активації перед нанесенням покриттів в одному технічному циклі з нанесенням покриттів;

- наносити тонкоплівкові провідні, ізолюючі покриття на електронні компоненти; просвітлюючі, що відображають, захисні покриття на деталі оптичних систем і приладів; зміцнюючі, стійкі до корозії і захисно-декоративні покриття на метали, діелектричні матеріали, скло, пластмаси у виробництві виробів різного призначення, включаючи товари народного споживання;

- забезпечити повну екологічну безпеку (відсутність: рідких стоків, газоподібних викидів, транспортування і зберігання отруйних реагентів).

Проте цьому методу притаманні такі недоліки:

- окислення і забруднення поверхні мішені при заміні робочого газу або розтині вакуумної камери. Тому підготовка магнетрона до роботи передбачає попередню очистку мішені плазмою власного розряду;

- нанесення покриттів не тільки на зразки, але і на елементи вакуумної камери, екрани і т.д. При осадженні різних типів плівок на одній установці потрібно механічне чищення запилюючих елементів;

- труднощі, пов'язані з рівномірним нанесенням покриттів на вироби складної форми. Для обробки зразків

з безліччю тінювих областей частіше використовують інші методи;

- невеликий коефіцієнт використання мішені.

Розпорошенню піддається тільки вузька кільцеподібна область мішені. Дану проблему вирішують шляхом модифікації магнітних систем, що значно ускладнює конструкцію установки, або підбору оптимальної форми мішені, що робить процес її виготовлення більш складним.

Висновки

Основними проблемами існуючих методів нанесення покриттів є:

- висока вартість обладнання;

- невелика швидкість осадження покриттів (СВЧ розряди);

- погана однорідність нанесених покриттів (при використанні дугового розпилення);

- невеликі площі оброблюваних поверхонь (лазерна абляція);

- низька адгезія (термічне випаровування).

Проаналізувавши існуючі методи отримання наноструктурованих діелектричних плівок виділено найбільш перспективний метод нанесення покриттів, а саме вакуумно-плазмовий метод. Це обумовлено його екологічною безпекою, якістю продукції та можливістю задавати вхідні параметри. Також відомо, що в іонізованому або збудженому стані атоми і молекули легше взаємодіють один з одним, що дозволяє наносити покриття ефективніше.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва [Текст] : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, М. А. Бережна. – Х. : СМІТ, 2007. – 368 с.

2. Анализ путей развития оборудования для нанесения тонких пленок в вакууме [Текст] / С.А. Ашинов, Деулин Е.А., Мелехин Ю.Я. и др. Ч.1. – Обзоры по электронной технике. Сер.7, вып.13 (500). М.: ЦНИИ Электроника, 1977. – 48 с.

3. В.Н.Кеменов, С.Б.Нестеров, О.С.Зилова, Е.Н.Капустин. Исследование качества тонкопленочных покрытий, полученных на установках магнетронного вакуумного плазменно-дугового осаждения, с использованием метода СЗМ// Сборник докладов Международного научно-практического симпозиума "Функциональные покрытия на стёклах". Харьковская Научная Ассамблея, 2003, с.113-117.

4. Неч. М., Неч. А., Liamans M. Same experimental aspects of DC reactive sputtering [Text]– J. Appl. Phys., 1978, V. 9, Pp.6176–6178.

5. Иванов, Р.Д. Катодный метод создания пленочных элементов микросхем [Текст] / Р.Д. Иванов. – М. : Энергия, 1972. –111 с.

6. Гурин, В.Н. Математические модели технологического процесса напиления наноструктурированных диэлектрических пленок, полученных методом ионно-плазменного распыления [Текст] / В.Н. Гурин, А.Г. Фирсов, Д.В. Гурин // В сб: Автоматизированные системы управления и приборы автоматики, вып.161, Харьков, 2012. – 136 с.

7. Жуков, В.В. Распыление мишени магнетронного диода в присутствии внешнего ионного пучка [Текст] / В.В. Жуков, В.П. Кривобоков, С.Н. Янин. – М: Радио и связь, 2006. – 140 с.