

С.П. Новосядлий, С.І. Бойко, М.В. Котик

Особливості формування багаторівневої металізації в субмікронних структурах великих інтегральних схем

*ДВНЗ «Прикарпатський Національний університет ім. В. Стефаника», вул. Шевченка, 57,
м. Івано-Франківськ, Україна, 76025, e-mail: nsp@mail.pu.if.ua*

В даній статті проведено огляд сучасних алюмінієвих сплавів що використовуються при формуванні багаторівневої металізації в субмікронних структурах ВІС/НВІС та магнітних сплавів що використовуються для виготовлення магнітних дисків зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв з досить великим об'ємом пам'яті для сучасних ЕОМ. Крім того наведено характеристики магнетронів що можуть бути використані для наплення металізації: магнетронного розпилювального пристрою з магнітним блоком, що обертається охолоджувальною деіонізованою водою, який дозволяє значно підвищити ефективність розпилення мішені; магнетронного високочастотного пристрою УМВ-2,5 з магнітною системою, що сформована на електромагнітах із скануванням магнітного поля; установки двостороннього магнетронного розпилення металевих мішеней типу УВН МДЕ.П-1250-012; Двоюрядного пристрою магнетронного формування багаторівневої контактної металізації на основі установки вакуумного наплення УРМ.3.279.05;

Ключові слова: Металізація, магнетронне розпилення, тонкоплівкова технологія.

Стаття постуила до редакції 29.09.2016; прийнята до друку 05.12.2016.

Вступ

Тонкоплівкова технологія знаходить все більш широке застосування у виробництві інтегральних схем, зокрема в субмікронних структурах ВІС, напівпровідникових приладів високої швидкодії, носії магнітного запису інформації. Це перш за все зв'язано з подальшою мініатюризацією елементів ВІС, збільшення їх степені інтеграції, ємності пам'яті, підвищення надійності і економічності приладів.

Для отримання тонких металевих плівок в технології мікроелектроніки використовують різні методи розпилення: термічний, іонно-плазмовий, електро-променевий, термоіонний. Проте в електроніці найбільш широке застосування отримав магнетронний метод, який поряд з високою швидкістю осадження дозволяє зберегти співвідношення основних компонентів сплаву у сформованих плівках, забезпечувати високу чистоту та адгезію з підкладкою. В сучасних магнетронних джерелах в ролі розпилювального матеріалу використовують мішені, форма і габарити яких залежать від конструктивних особливостей магнетронів. Так, в технологічних установках типу «Ораторія-5», «Ораторія-11», «Магма»

використовують мішені у вигляді фасонних дисків діаметром 150, 200, 250 мм або прямокутної форми розміром 280x120x26мм. Заготовки таких мішеней виготовляються із різних металів і сплавів, до яких ставляться досить високі вимоги за складом (вмісту основних компонентів і домішок), структурі, теплопровідності, відсутності дефектів у вигляді пор, тріщин, геометричних розмірів [1]. Це передусім зв'язано з тим, що властивості і якість мішені в значній мірі визначають технологічну стабільність процесу розпилення і властивостей сформованих плівок.

I. Властивості матеріалів мішеней для магнетронного розпилення їх при формуванні металізації структур ВІС/НВІС

Алюміній і його сплави найбільш широко використовуються в ролі провідних матеріалів між'єднань напівпровідникових приладів високої швидкодії та великих інтегральних схем. Це перш за все зв'язане із властивостями алюмінію: високою електропровідністю і теплопровідністю, задовільною адгезією алюмінію і його сплавів до кремнію та

Table 1

Purity of aluminum and its alloys											
Марка сплаву Al	Вміст основного елемента, мас %	Вміст домішок, мас %, не більше									Джерело
		Cu	Fe	Si	Na	Mg	Mn	Ni	Zn	Ti	
A995	99,995	0,001	0,0015	0,0015	-	-	-	-	0,001	0,001	Г11069-74
A999	99,999	Сума домішок не перевищує 0,001									
A4NRV	99,99	0,001	0,0015	0,0015	0,00002	0,002	0,0005	0,00001	0,001	-	ТУ48-5-288-88
A4NRV*	99,999	0,00076	0,00046	0,001	0,00002	0,00036	0,00002	0,00005	0,0001	-	
A5N**		0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,00025	0,0001	0,001	0,001	0,001	
A5N***		0,00027	0,00028	0,0005	0,00002	0,00002	0,00005	0,00001	0,00001	-	

* - сума домішок без врахування Mn і Si;

** - сума лужних домішок не повинна перевищувати 0,0001 мас %;

*** - додатково визначимо 10 видів домішок.

арсеніду галію, стійкістю до дифузії, високою міцністю, високою технологічністю [2, 3].

Підвищення рівня інтеграції ВІС/НВІС і прицевійної обробки приладів і схем висувають досить високі вимоги до чистоти технологічних середовищ і матеріалів, що використовують у виробництві мікроелектронних приладів та пристроїв. Важливість цієї проблеми визначає той факт, що до 80 – 85 % дефектів, що виникають у виробництві ВІС/НВІС, є зв'язані з мікрочастинками діаметром 0,3 - 0,5 мкм. Тому до матеріалів для формування тонких плівок із алюмінію і його сплавів пред'являються високі вимоги як до чистоти вихідних матеріалів, так і до технологічних середовищ, зв'язаних з їх виробництвом і застосуванням.

В табл. 1 подані дані про склад вихідного алюмінію, який використовують для формування струмопровідних доріжок. Як видно з таблиці, вихідний алюміній має досить високу чистоту, причому в залежності від марки матеріалу перелік домішок змінюються більше, ніж на порядок.

В процесі формування металізації кремнієвих приладів та ВІС проводиться впалювання алюмінію в напівпровідниковий матеріал для забезпечення низького контактного опору провідників. Процес впалювання проводиться у вигляді короточасної обробки (5-30 хв при $T = 420 - 520$ °C) в інертному газовому середовищі (Ar, N₂). Тут формування контакту проходить за рахунок відновлення алюмінієм тонкого діоксидного шару кремнію. В результаті такої реакції виділяється значна кількість теплоти (порядку 220 – 230 мДж на моль оксиду кремнію), що спричиняє локальний перегрів місця контактів та прискореному розчиненню кремнію в алюмінієвій плівці або навпаки. Така взаємна дифузія матеріалу підкладки до алюмінієвої металізації приводить до утворення хіллоків (бугорків), що причиняють закоротки р-п-переходів і виведення із ладу приладів чи схем.

Для виключення явища хіллокоутворення в алюмінієву доріжку вводять кремній, який запобігає чи знижує взаємну дифузію, тоді кількість введеного кремнію є близька до його розчинності при

евтектичній температурі і в залежності від типу кремнію та приладу, де використовується сплав, складає від 0,3 до 2 %.

Іншим часто використовуваним легуючим елементом в алюмінієвих сплавах є мідь, що забезпечує високу провідність і яка вводиться для запобігання електроміграції матеріалу алюмінієвої розводки під дією струмів великої потужності. Це особливо проявляється в субмікронній технології, в якій ширина доріжок складає менше 1 мкм. Це приводить до утворення раковин та хіллоків в провідних доріжках із алюмінію і в кінцевому рахунку до катастрофічних відмов. Мідь, що має розмір атома відмінний від алюмінію, запобігає переміщенню дислокацій і границь зерен в алюмінії, що відповідно затримує міграцію алюмінієвого сплаву під дією струмів великої величини. Але мідь має високе корозійне руйнування. Аналогічно міді діють добавки в алюміній берилію, магнію, але ефективність міді в цьому разі є вищою. Кількість введеної в склад міді для запобігання електроміграції складає від 0,25 до 4,5 %. Такий великий розкид вмісту міді в сплаві зв'язаний з технологією формування структур кристалів і схем та з їх експлуатаційними характеристиками. Завдяки високому опору електроміграції із таких сплавів можна виготовляти досить тонкі і вузькі провідні контакти (< 1 мкм²), що дозволяє покращити щільність їх розміщення на 50 %.

Для покращення технологічних та експлуатаційних характеристик приладів і схем алюмінієві доріжки також легують нікелем, титаном і іншими елементами. Досить широко використовується металізація із сплаву алюмінію з добавками кремнію і міді, що дозволяє запобігти взаємну дифузію матеріалу напівпровідника і доріжки та виключити електроміграцію.

В таблиці 2 приведені найбільш широко використовувані сьогодні сплави для систем металізації напівпровідникових приладів і схем.

Крім таких сплавів використовують чистий алюміній з різним вмістом домішок (табл. 1) [4].

Сплави на основі Ni типу пермалой застосовують при виготовленні оперативних запам'ятовуючих

Table 2

Modern aluminum alloys used in microelectronics

Марка і склад сплавів, мас%	Застосування в мікроелектроніці	Примітка
AK0,5(Al + 0,5%Si)	Запобігання взаємної дифузії матеріалів доріжки і кристалу	В приладах і схемах
AK1(Al + 1,0%Si)		
AK1,5(Al + 1,5%Si)		
AM2(Al + 2%Cu)	Ліквідація процесів електроміграції	Силкові напівпровідникові прилади
AM4(Al + 4%Cu)		
AK1,5M4(Al + 1,5%Si + 4%Cu)		

Table 3

Composition and area of application of magnetic alloys

Марка і склад сплаву, мас%	Сума домішок, мас%, не більше	Розміри заготовок, мм	Область застосування
H80B1 (Ni + 20%Fe)	0,2	170x170x8	Магніто-м'які плівки в ОЗП ЕОМ
H89B1 (Ni + 11%Fe)	0,15	190x190x10	
K80B1 (Co + 20%Ni)	0,15	190x190x10 Циліндри Ø60x40	Магніто-тверді плівки в магнітних дисках ЕОМ

пристроїв ЕОМ великої ємності пам'яті, для виготовлення записуючого і зчитуючого пристрою, а також різних аплікаторів у вигляді тонких магнітних плівок високої стабільності.

Пермалої, що сьогодні випускаються нашою промисловістю марки 79НМ не задовольняє вимогам сучасної електроніки, зокрема, по величині магніторезонансного ефекту та коефіцієнту анізотропії в плівках. Тому по замовленню були розроблені два типи сплавів К80В1 та Н89В1, які призначались для формування високостабільних тонких магнітних плівок товщиною 150 і 50 нм відповідно. Склад цих сплавів поданий в таблиці 3.

Заготовки мішеней із таких магнітних сплавів сьогодні випускаються з технічними умовами Яє 0.021.155 ТУ, які мають широке застосування в комп'ютерній електроніці.

Магніто-тверді сплави на основі кобальта знаходять застосування при формуванні робочих функціональних шарів у вигляді тонких плівок, що наносяться на немагнітну основу, для виготовлення як гнучких, так і жорстких магнітних дисків зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв з досить великим об'ємом пам'яті для сучасних ЕОМ. Найбільше поширення в останні роки отримали жорсткі магнітні диски.

Вказані сплави в таких плівках досягають високої коерцезивної сили значну анізотропію властивостей. Для цих цілей спеціально розроблений сплав К80В1, заготовки мішеней із якого у вигляді пластин і циліндрів випускаються за технічними умовами Яє 0.021.139 ТУ.

Сума контролюючих домішок в сплавах Н80В1, Н89В1, К80В1 (Cu, Mn, Mg, Al, Si, C) не перевищує 0,15 - 0,20 %. У вказані сплави на основі Ni і Co додатково вводять мікроприсадки бору і титану, що підсилює процес рафінування розплаву і отримання м'якої зернистої і однорідної структури заготовок мішеней.

Такі заготовки виготовляються в основному за традиційною металургійною технологією, що полягає в плавці сплаву, лиття зливка, його різанню і гарячій

деформації для отримання відповідних чотирикутних розмірів заготовки. Плавлення сплавів ведеться в індустриальних вакуумних печах, що запобігає окисленню розплаву в процесі плавлення і покращує його дегазацію [5].

В залежності від вимог до матеріалу готові мішені із алюмінієвих сплавів виплавлення і розлив може проводитись у вакуумі або відкритій інертній атмосфері. Отримані таким чином зливки ріжуть на заготовки із яких шляхом гарячого кування або штампування виготовляються заготовки мішеней. При безпосередньому литті заготовок мішеней необхідно забезпечити відсутність в литому металі дефектів у вигляді газових, усадкових пор, тріщин, включень за рахунок точних режимів плавлення і литва, а також використання прецизійного осадження. Тут можна сьогодні використовувати і порошкову металургію, що суттєво зменшує дефектність [6].

II. Осадження багат шарових покриттів з використанням магнетронного розпилювального пристрою з магнітним блоком що обертається

Іонно-плазмове розпилення магнетроном у вакуумі сьогодні має широке застосування в технології формування багаторівневої металізації в структурах ВІС. В існуючих магнетронних розпилювальних пристроях (МРП) з метою зниження робочого тиску, значного покращення чистоти процесу і досягнення високих швидкостей розпилення багатоконпонентних мішеней застосовують схрещені електричні і магнітні поля, які інтенсифікують і локалізують плазму безпосередньо в зоні розпилення матеріалу.

Одним із основних напрямів удосконалення конструкції МРП є створення катодного вузла з ефективним охолодженням деіонізованою водою,

розширеній зонній ерозії мішені, зниження габаритів і маси, значного підвищення продуктивності і рівномірності осадження конденсованого розпиленого матеріалу мішені.

Аналіз сучасних методів та МРП показав, що найбільш ефективно вирішення поставлених задач досягається за рахунок використання магнетронів з обертаючим магнітним блоком при умові формування такої області сконцентрованої плазми, яка може забезпечити рівномірну ерозію матеріалу багатоконпонентної мішені по всій її поверхні.

Для забезпечення стійкості стаціонарного стану плазми її область повинна бути замкненою і мати постійну ширину. Вираз для осової лінії, що визначає оптимальну конфігурацію області плазми, наступний

$$I = \sqrt{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} - \arccos\left(\frac{r_0}{r}\right) + \varphi_0 \quad (1)$$

Така залежність представляє собою евольвенту кола радіусом r_0 , заданої в полярній системі координат (2, 4) з початковим значенням кута φ_0 . Параметри евольвенти r_0 і φ_0 визначаються із радіусу мішені, що розпилюється.

На відміну від традиційного, в розробленій конструкції магнетрона у його внутрішній частині катодного вузла обертання магнітного блоку здійснюється за допомогою охолоджуючої деіонізованої води. Така конструкція, що подана на рис. 1, забезпечує переміщення охолоджувальної води в катодному вузлі у вигляді великомасштабного турбулентного потоку замість ламінарного, таким чином, що при такій швидкості вода набирає підвищену здатність до передачі тепла і тим самим забезпечує стабільність і ефективно охолодження розпилювальної мішені і всього катодного вузла при температурі 7-10 °С.

Конструктивна схема такого МРП з магнітним блоком що обертається рухом деіонізованої охолоджувальної води є оригінальною. Тут потік води, що подається під тиском в порожнину катодного вузла через фланець, падає на пелюстки тримача магнітної системи і приводить до обертання

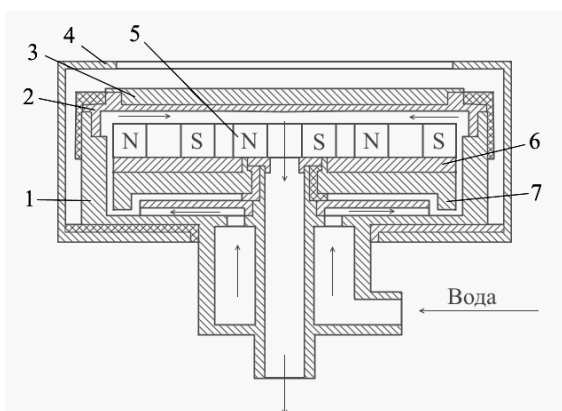


Fig. 1. Magnetron sputtering device with a magnetic block rotated by cooling deionized water: 1 – cathode block; 2 – target holder; 3 – target; 4 – anode; 5 – permanent magnets; 6 – magnetic conductor; 7 – magnetic block holder.

весь магнітний блок. Таке обертання магнітного блоку під мішенню викликає переміщення зони ерозії на поверхні багатоконпонентної мішені так, що поверхня мішені послідовно піддається інтенсивному розпиленню сконцентрованою плазмою. В результаті цього зона ерозії мішені розширяється і суттєво понижується її теплове навантаження. Тим самим забезпечується підвищення ефективності використання матеріалу мішені (до 70 – 75 %) і висока рівномірність швидкості розпилення. Розкид за товщиною конденсованих плівок на підкладці діаметром 150 мм при планетарному обертанні не перевищує $\pm 4\%$.

Основні технічні параметри такого МРП з магнітним блоком що обертається: діаметр мішені 150 мм; товщина 2 – 7 мм; індуктивність магнітного поля на поверхні мішені не менше 0,025 Тл; швидкість обертання магнітного блоку не менше 30 об/хв. МРП забезпечує неперервну роботу протягом 15 – 25 хв в режимі: тиск Ar 0,13 - 1,3 Па, напруга на мішені 450 ± 50 В, струм розпилення $5 \pm 0,5$ А; діаметр МРП – 160 мм, висота 180 мм, маса до 20 кг.

Такі МРП в комплекті з вакуумним обладнанням типу УВН чи 01НИ-7-006 (Ораторія-5, Ораторія-11, Магна) використовувались в дослідній експлуатації для напилення плівок алюмінієвого сплаву, платини, золота, титан-вольфраму, силіциду титану, вольфраму.

На основі такого розробленого комплексу був реалізований технологічний маршрут формування дворівневої металізації на основі системи RtSi-TiN-AKГо-1-1, що забезпечує високу відтворюваність при формуванні субмікронних структур як на Si так і на GaAs.

В ролі матеріалу що розпилювався використовувалось диски з платини, мішені із TiN та АКГо-1-1.

Низький попередній вакуум $3 \cdot 10^{-5}$ Па, понижений робочий тиск Ar в реакторі 0,013 Па, травлення і хімічна обробка Si-чи GaAs-підкладок в профільтованих через фільтри (діаметр пор менше 0,5 мкм) ОСЧ-травниках забезпечили необхідну чистоту межі розділу Si, GaAs-пластини, плівок силіциду платини і титану, титан-вольфраму, АКГо-1-1.

Наприклад, технологічний процес формування силіциду платини включає попередній прогрів підкладок із структурами ВІС/НВІС у вакуумній камері безпосередньо перед нанесенням платини чи золота до $350\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 3 – 7 хв. Режим магнетронного розпилення платини чи золота наступний: напруга на мішені 450 ± 20 В, струм розпилення – $0,4 \pm 0,05$ А, час нанесення 110 ± 10 с. Отримані плівки товщиною 25-50 нм відпалювались у вакуумі при температурі $450\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 8 – 12 хв. Кінцеве формування силіциду платини вже здійснювалось при відпалі в атмосфері азоту при температурі $500 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 7 – 10 хв.

Осадження бар'єрного шару TiW і алюмінію АКГо-1-1 в єдиному технологічному циклі проводилось на установці 01НИ-7-006 (Ораторія-11) з використанням МРП. Режим осадження плівки TiN

при одночасному розпиленні мішеней двох ізольованих МРП наступний: напруга на мішенях $U_{Ti} = 400$ В, $U_w = 420$ В; струм розпилення $I_{Ti} = 1,5$ А, $I_w = 2,0$ А. Час напилення склав 4 - 5 хв. Товщина отриманих бар'єрних шарів складала 25 – 50 нм. Питомий опір отриманих плівок TiW складав 2 – 4 Ом·см. Склад плівок досліджувався за допомогою Оже-електронної спектроскопії і складав 10 ваг % титану.

Різке покращення обернених характеристик діодів та транзисторів Шотткі пояснюється підвищенням якості напилення плівок платини чи золота, і титан-вольфраму в контактних вікнах кристалів ВІС/НВІС, обумовлено розширенням зони ерозії розпиленої мішені МРП із магнітним блоком що обертається. Наприклад, при обернених струмах $I_{06} = 10$ мкА падіння напруги на діодах Шотткі без охоронного кільця складало $U_{дш} = 25 - 30$ В (збільшення напруги в 2 - 2,5 раза).

Таким чином, розроблене МРП з магнітним блоком що обертається відіграє важливу роль у формуванні багаторівневої металізації субмікронних структур ВІС на основі систем PtSi-TiW-AKG-1-1. Тут крок металізації можна зменшити до 0,7 - 0,9 мкм, а контактний опір до $< 5 \cdot 7 \cdot 10^{-6}$ Ом·см².

III. Магнетронний високочастотний пристрій УМВ-2,5

Спеціально розроблений НДІВТ ім. Векшинського і призначений для отримання металевих та діелектричних покриттів при формуванні субмікронних структур як на Si і на GaAs. Цей пристрій теж використовується в складі вакуумних установок типу «Ораторія-5», «Ораторія-11», Магна.

Такий пристрій включає високочастотний генератор, магнетрон, узгоджувачий пристрій з виносним блоком, блок управління магнетроном БУМ-15, блок живлення соленоїдів БПС-15.

Магнетрон має консольну конструкцію магнітної системи, що зібрана на основі електромагнітів, що дозволяє, змінюючи конфігурацію магнітного поля, підвищити коефіцієнт використання мішені. При нульовій частоті магнетрон працює на постійному струмі.

Для узгодження високочастотного генератора з магнетроном використовують узгоджувачий пристрій. Передбачено також подачу напруги зміщення на підкладку. Управління і контроль живлення соленоїдів, а також індикації прохідної потужності та напруги зміщення на мішень і підкладку здійснюється за допомогою блоку управління. Параметри пристрою УМВ-2,5 наступні:

- робоча частота – $13,56 \pm 1\%$ МГц;
- максимальна коливна потужність – 2,5 кВ·А;
- максимальна потужність споживання - < 9 кВт;
- діаметр мішені що розпилюється – 150 мм;
- швидкість розпилення діелектричної мішені (SiO₂) – 1,5 м²/хв.
- робочі тиски – $0,5 \pm 0,1$ Па;
- габаритні розміри магнетрона – Ø 180 x 305 мм;

- габаритні розміри узгоджувального пристрою – 310 x 500 x 152 мм;

- габаритні розміри БУМ-15 – 480 x 430 x 300;

Такий магнетронний розпилювальний пристрій має магнітну систему, що сформована на електромагнітах із скануванням магнітного поля, що збільшує зону ерозії і збільшує коефіцієнт використання мішені до 68 – 73 %.

IV. Установка двостороннього магнетронного розпилення металевих мішеней типу УВН МДЕ.П-1250-012

Формування двосторонніх структур ВІС/НВІС на Si підкладках великого діаметру, на яких епітаксійним нарощуванням нанесені шаруваті структури із GaAs вимагає оригінального процесу двосторонньої металізації. У зв'язку з цим НДІВТ ім. Векшинського за ТЗ НДІ «Сапфір» розробило установку двостороннього магнетронного напилення металевих покриттів на підкладки великих діаметрів (більше 150 мм). Така установка представляє собою пристрій лінійного типу квазінеперервної дії з вертикальним переміщенням підкладки і включає в себе: чистий модуль завантаження-вивантаження, одну шлюзову камеру з механізмом обміну касет з підкладками (в ній також здійснюється термічна обробка підкладок) і робочу камеру. Термічна обробка здійснюється за допомогою фотонних нагрівачів з регулюванням температури в межах 100 – 400 °С.

В комплект такого модуля напилення входять: пульт управління, два джерела живлення магнетронів, блок живлення електромагнітів МРП, вакуумні відкачки пости для відкачки шлюзу і робочої камери напилення, системи автоматичного регулювання тиску (САРТ) робочого газу в камері напилення.

На пульті управління передбачена панель із сигналізації стану основних вузлів установки, а програма тор «Оріон-3» дозволяє вести процес як в ручному, так і автоматичному режимі. Хід технологічного процесу та його основні параметри МРП виводяться на дисплеї.

Джерела живлення МРП, що представляють собою стабілізатори струму працюють в режимі стабілізації потужності. В ході технологічного процесу вони автоматично переключаються із однієї пари МРП на іншу двосторонню. Максимальні параметри джерел: напруга до 800 В, струм розриву > 15 А, густина потужності на мішені до 50 Вт/см².

В склад вакуумних відкачних засобів входять: механічний агрегат АВР-63Д для відкачки шлюзу, два високовакуумних агрегати на базі турбомолекулярних високовакуумних насосів НВТМ-2500 та механічного агрегату АВР-50, які мають в своєму складі дроселюючий пристрій, затвор, азотну пастку і які служать для паралельної відкачки робочої камери, три механічних насоса 2НВР-5ДМ для відкачки вакуумних ввідів і

забезпечення роботи вакуумних затворів. Використання азотної пастки між дроселем і робочою камерою забезпечує великі швидкості відкачки конденсованих газів, що суттєво покращує якість плівок.

В робочій камері розміщено 4 МРП з розмірами мішені 160 мм (по два МРП на протилежних сторонах камери). МРП виконані на електромагнітах, що дозволяє регулювати величину магнітної індукції в зоні ерозії мішені в межах 0,02 - 0,1 Тл і, відповідно, напругу розряду без зміни струму розряду, збільшуючи ступінь іонізації плазми.

В електричній схемі установки передбачено ряд блокувань, в тому числі закриття високовакуумного затвора у випадку підвищення тиску в робочій камері.

Саме дана установка призначена для формування двосторонньої металізації структур ВІС/НВІС. Кінематична продуктивність такої установки складає 20 м²/год з нерівномірністю ± 5%.

V. Двоюрисний пристрій магнетронного формування багаторівневої контактної металізації

Для формування дво- та тришарової металізації спеціально модернізована установка вакуумного напилення УРМ.3.279.053 під магнетронне напилення на двоюрисний барабан підкладок діаметром більше 60 мм силіцидів платини, двошарового покриття титан-платина та тришарових титан-нітрид титану-платина. Металізація на основі Al вже не завжди відповідає зростаючим вимогам тому в багатьох технологічних процесах алюміній замінюють на золото, яке є більш стійким до електроміграції і хіллокоутворення, але має погану адгезію до діелектричних шарів SiO₂ Si₃N₄. Тому для підвищення адгезії під плівку золота наносять підшар тугоплавкого металу (Ti, W). Проте прості системи титан-золото є нестабільними, бо в такій металізації титан взаємодіє з золотом при температурі більше 350 °С.

Термостабільність контактної системи підвищують введенням шару платини між титаном і золотом (дорогоцінна металізація). Це виключає їх взаємодію і дозволяє використати для осадження золота більш економічний в порівнянні з напиленням гальванічний процес. Для виготовлення такої потрібної системи металізації крайне необхідний процес напилення в єдиному технологічному мікроциклі двійного покриття титан-платина.

Часто для зниження контактного опору до Si або GaAs використовують в контактну систему з нижнім шаром із силіциду платини. Цей шар отримують термообробкою Si-підкладки, покритих плівкою платини, сформованої вакуумним напиленням. Таким чином в обох випадках необхідно наносити на напівпровідникові підкладки плівки платини або покриття титан-платина (дорогоцінні метали).

У світовій практиці є відсутнє таке

спеціалізоване обладнання для нанесення плівок платини або титана магнетроном. А для цього використовують вже модернізовані під магнетронне розпилення низькопродуктивних установки ковпакового типу, приклад УРМ.3.279.017 або «Ораторія 5». В останньому випадку виникають технологічні труднощі, які зв'язані з виготовленням і експлуатацією великогабаритної платинової мішені, з контролем опору сформованої плівки та із збором відповідних дорогоцінних металів.

Для цього під керівництвом д. т. н. професора Белевського В.П. була вирішена оригінальна задача створення напилювальної установки магнетронного типу, в якій усунути вище описані недоліки та забезпечена висока продуктивність для формування двошарового покриття титан-платина з потрібною термообробкою або одношарової плівки із платини з термообробкою безпосередньо після нанесення. Така установка була виготовлена на базі серійної установки УРМ.3.279.153 в якій була змінена її робоча камера: в ній встановлені 4 магнетрона, барабан з касетами для кріплення підкладок і фотонний нагрівач. Крім того установка доповнена блоком живлення магнетронів.

Висота робочої камери збільшена на 340 мм шляхом введення нового циліндра. На цьому циліндрі передбачене оглядове вікно і 4 тримачі для кріплення магнетронів. В установці використовуються два магнетрона з мішенню діаметром 155 ± 5 мм для розпилення титана і два магнетрона з мішенню діаметром всього 35 ± 5 мм і товщиною 2 мм для розпилення платини. У фланцях передбачена можливість плавного регулювання положення магнетронів відносно підкладки. Це забезпечує високої рівномірності товщини напилювальної плівки ± (5 - 7) % крім використання магнетрона із звичайними круглими мішенями. Платинові мішені періодично повертаються для збільшення коефіцієнта використання матеріалу до 75 %. Для усунення взаємного впливу магнетронів, які спотворюють магнітне поле, вони рознесені по периметру циліндра.

Підкладки закріплюють на швидкознімних касетах, які розміщені по периметру барабана що має вертикальну вісь обертання. Діаметр барабана складає 500 мм. На кожній касеті закріплюють по дві підкладки що утворюють два яруси напилення. Всього в установку можна завантажити 34 підкладки діаметром 76 мм або 20 підкладок діаметром 100 мм і 40 підкладок діаметром 60 мм.

Замість планетарної системи переміщення підкладок вибрана схема із закріпленням їх на барабані, які обертаються навколо вертикальної осі, що запобігає втраті платини. Температура підкладки контролюється термореле, а товщина плівок – по їх опору тестового елемента. Нагрівники підкладки забезпечує нагрів підкладок до 420 °С за 30 - 40 хв. Джерела живлення магнетронів дозволяють отримувати напругу до 700 В і струм до 3 А. Кожна пара магнетронів підключається до джерела живлення через два високовольтні перемикачі.

Крім основних елементів модернізованої установки магнетронного розпилення передбачені

додаткові пристрої для підвищення вакууму та покращення його якості. До таких пристроїв відносяться розміщені нижче запалювальні камери панель, що охолоджується рідким азотом і додатковий магнетрон для розпилення на неї титана. Така панель може використовуватись, як вмонтована в камеру азотна пастка або разом з магнетроном як додатковий гетерний насос, що поглинає найбільш активні складові залишкових газів.

Технологічний процес формування шарів на описаній вище установці полягає в наступному. Після відкачки камери до тиску $2,7 \cdot 10^{-3}$ Па підкладки нагрівають до температури 420°C , обезгажують їх і за допомогою гетерного насоса піднімають вакуум до $2,7 \cdot 10^{-4}$ Па. Напилення титана вище при тиску аргону 0,2 Па, напруги розряду 430 В і струмі 2,7 А. При напилення платини тиск аргону складає 1 Па, напруга 350 В і струм розряду 0,3 А. Перехідний опір титана до силаноподібного кремнію ($N = 3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) складає $6 \cdot 10^{-6} \text{ Ом/см}^2$.

Для отримання силіциду платини після напилення півки платини товщиною 0,2 мкм підкладки проходять термообробку протягом 10 с при температурі 450°C , що дозволяє формувати силіцид платини з щільною кристалічною структурою.

На даній установці після подачі азоту в камеру розряду можна формувати шари нітрида титану (TiN), що дозволяє вже формувати більше температуростійку контактну систему титан-нітрид,

титан-платина, з перехідним кроком $\leq 5 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2$.

Висновки

1. Розроблені вимоги до складу і чистоти матеріалів (металів і сплавів) для заготовок мішеней магнетронного формування багаторівневої металізації субмікронних структур ВІС/НВІС.

2. Модернізований магнетронний розпилювальний пристрій МРП із обертаючим магнітним блоком що обертається потоком охолоджуючої деіонізованої води дозволяє збільшити ефективність та технологічну відтворюваність параметрів багатокомпонентної металізації.

3. Визначено структуру магнетронних установок напилення для формування багатокомпонентних і багаторівневих металізацій субмікронних структур приладів і схем.

4. Дані процеси можуть бути використані при формуванні наноструктур на основі арсеніду галію.

Новосядлий С.П. - доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки;

Бойко С.І. - аспірант кафедри комп'ютерної інженерії і електроніки;

Котик М.В. - аспірант кафедри комп'ютерної інженерії і електроніки.

- [1] S.P. Novosyadlyy, R.M. Ivanyuk, *Fizyka i khimiyatverdohotila* 8(4), 850 (2007).
- [2] J. Musila, H. Zemana, J. Kaslb, *ThinSolidFilms* 413(1-2), 121 (2002).
- [3] H. Zemana, J. Musila, J. Vlčeka, P.H. Mayrhoferb, C. Mittererb, *Vacuum* 72(1), 21 (2003).
- [4] S. P. Novosyadlyy, *Metalofizyka i novitni tekhnolohiyi* 22(1), 51 (2000).
- [5] S.P. Novosyadlyy, L.V. Mel'nyk, T.P. Kindrat, V.M. Varvaruk, *Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal novitnikh tekhnolohiy* 4(5), 1 (2013).
- [6] J. Musila, M. Šašeka, P. Zemana, R. Čerstvýa, D. Heřmana, J.G. Hanb, V. Šatavaa, *Surface and Coatings Technology* 202(15), 3485 (2008).

S.P. Novosyadlyj, S.I. Boyko M.V. Kotyk

Features Multilevel Metallization Forming a Submicron Structures of Large Integrated Circuits

Carpathian National University. V.Stefanyk Str. Shevchenko, 57, m. Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76025, e-mail: nsp@mail.pu.if.ua

This paper analyzes aluminum alloys that are used to form multilevel metallization in the submicron LSI/VLSI and magnetic alloys that are used for the production of magnetic disks of external storage devices with a large amount of memory. In addition characteristics of magnetron sputtering devices that can be used to form thin metallization are given: magnetron sputtering device with a magnetic block rotated by cooling deionized water, which can significantly increase the effectiveness of sputtering; high-frequency magnetron device UMV 2,5 with magnetic system that formed on electromagnets with scanning magnetic field; magnetron sputtering device UVN MDE.P-1250-012 which can be used to form double-sided metallization; magnetron sputtering device based on URM.3.279.05 which can be used to form multilayer contact metallization;

Keywords: Metallization, magnetron sputtering, thin film.