

ПАРАМЕТРИ НА РЕЗИСТИВНИ СЛОЕВЕ ОТ НИХРОМ И ОСНОВНИ МЕТОДИ НА ТЯХНОТО ОТЛАГАНЕ

доц. д-р Димитър Парашкевов

Университет „Проф. д-р А. Златаров“ Бургас

доц. д-р Камен Сейменлийски

Бургаски свободен университет

доц. д-р Павлик Рахнев

Университет „Проф. д-р А. Златаров“ Бургас

PARAMETERS OF RESISTIVE NICHROM FILMS AND BASIC METHODS FOR THEIR PRODUCTION

Assoc. Prof. Dimitar Parashkevov, PhD

„Prof. d-r A. Zlatarov“ University Burgas

Assoc. Prof. Kamen Seimenlijski, PhD

Burgas Free University

Assoc. Prof. Pavlik Rahnev, PhD

„Prof. d-r A. Zlatarov“ University Burgas

Abstract: The electrical behavior of thin metal films are briefly mentioned, most important parameters and qualities of nichrome resistors are described. Vacuum methods and apparatus are presented.

Key words: Resistive films, electrical behavior of thin metallic films, substrates, vacuum apparatus

МЕХАНИЗЪМ НА ТОКОПРОВОДИМОСТТА В ТЪНКИ МЕТАЛНИ СЛОЕВЕ

Налагането на тънките метални слоеве като база за изготвяне на резистори се дължи главно на факта, че специфичното им съпротивление ρ_s и TCR се различават съществено от тези в обемните метали и сплави. Това се дължи на специфичните структурни и физически характеристики, като същевременно тънките слоеве носят и основните свойства на обемния материал. Получаването на по-високи стойности на ρ_s , придружени с нисък температурен коефициент е следствие на много фактори, променящи електронните свойства на плътния метал, а това означава, че познаването на тези фактори [1,2] може да служи за управляване параметрите на резистивните слоеве.

Електропроводимостта σ и специфичното електросъпротивление ρ на един обемен метал се определя от израза [3, 4, 5]:

$$\frac{1}{\rho} = \sigma = nq\mu \quad (1)$$

Най-общо специфичното съпротивление на един тънък слой се описва от разширеното правило на Матисен [17]:

$$\rho_{\text{сумарно}} = \rho_{\text{ид.}} + \rho_{\text{пов.}} + \rho_{\text{пр.}} + \rho_{\text{деф.}} \quad (2)$$

където :

$\rho_{\text{ид.}}$ – съпротивлението на идеалната кристална решетка,

$\rho_{\text{пов.}}$ – съпротивлението дължащо се на размерните ефекти,

$\rho_{\text{пр.}}$ – съпротивлението дължащо се на примесите,

$\rho_{\text{деф.}}$ – съпротивлението, дължащо се на дефектите в кристалната решетка.

$$\text{TCR} = \rho_{\text{сумарно}}^{-1} \left(\frac{\partial \rho_{\text{ид.}}}{\partial T} + \frac{\partial \rho_{\text{пов.}}}{\partial T} + \frac{\partial \rho_{\text{прим.}}}{\partial T} + \frac{\partial \rho_{\text{деф.}}}{\partial T} \right) \quad (3)$$

Третата основна характеристика на един резисторен слой е *стабилността* му във *времето*. Аналогично на TCR за стабилността ε може да се запише (t – време):

$$\varepsilon = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho_{\text{сум}}^{-1} \left(\frac{\partial \rho_{\text{ид.}}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{\text{пов.}}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{\text{прим.}}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{\text{деф.}}}{\partial t} \right) \quad (4)$$

От направения преглед на ниско и високоомните нихромни тънки слоеве се налагат три основни извода:

A. ТЕХНИЧЕСКИ ИЗИСКВАНИЯ ЗА ИЗГОТВЯНЕ РЕЗИСТИВНИТЕ СЛОЕВЕ

1. Метода за отлагане на слоя трябва да позволява получаването на слоеве със зададен състав, структурно съвършенство и без вътрешни напрежения.
2. Окислението на слоя по време на отлагането трябва да се регулира с изменение налягането на остатъчния газ и скоростта на отлагане.
3. Получените слоеве трябва да бъдат отгрявани за получаване на стабилни параметри.
4. Метализационната система никел - под слой - проводящ слой трябва да е металургически стабилна (съвместима), отговаряща на изискванията на хибридна и полупроводниковата технологии.
5. Метода на отлагане на нихромните слоеве трябва да бъде промишлено технологичен.

Б. МНОГОВАРИАНТНОСТ НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ КРАЙНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА РЕЗИСТИВНИЯ НИХРОМЕН СЛОЙ [2,3]

1. Състав на изходния материал – с или без добавки.
2. Метод на отлагане на слоя – изпарение във вакуум или разпрашване в инертна среда.
3. Скорост на отлагане на слоя.
4. Структура (гладкост) и състав на подложката.
5. Температура на подложката.
6. Количество и състав на остатъчната атмосфера.
7. Температура, продължителност и атмосфера на допълнителната термообработка.
8. Наличие, вид и дебелина на пасивиращото покритие.

В. ПРИЛОЖЕНИЕ НА НИХРОМА В ЕЛЕКТРОНИКАТА И ПРИБОРОСТРОЕНЕТО [4]

1. Изготвяне на стабилни дискретни резистори.
2. Изготвяне на чип резистори и чип резистивни матрици за хибридни схеми и повърхностен монтаж.
3. Изготвяне на тънкослойни хибридни схеми.
4. Изготвяне на тънкослойни резистори върху полупроводникови интегрални схеми.

ИЗПОЛЗВАНИ ВАКУУМНОИЗПАРИТЕЛНИ АПАРАТУРИ – В-30 и В-55. ТЕХНИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ И ОСНОВНА ОКОМПЛЕКТОВКА НА АПАРАТУРИТЕ

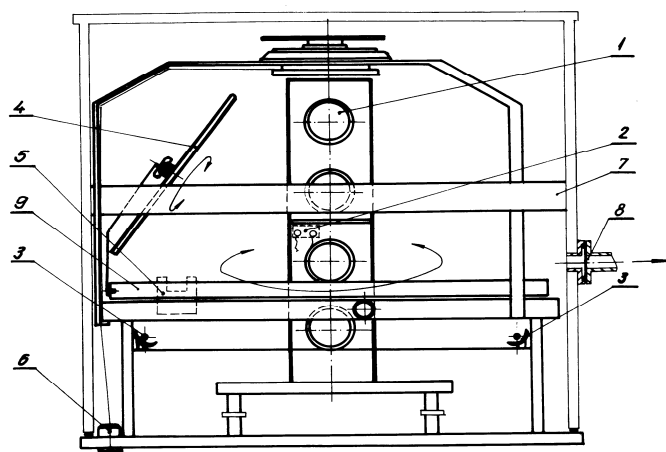
Всички експерименти по отлагане на слоевете бяха извършени на две вакуумноизпарителни установки В-30 и В-55. Установките са производство на „Хохвакуум” – Дрезден, Германия. И двата модела установки са снабдени с дифузионни помпи за постигане на висок вакуум и възможност за охлаждане и подгряване (с топла вода) на металните вакуумни реципиенти. Техническите им параметри според каталог са дадени в табл. 1:

Таблица 1. Сравнение на техническите характеристики на вакуумните установки

Технически параметър	В-30	В-55
Вакуумна камера, вътрешни размери (диаметър x височина) [mm]	300 x 500	550 x 600
Изпомпваща способност:		
- ротационна помпа [m ³ .h ⁻¹]	15	60
- дифузионна помпа [l.s ⁻¹]	1000	3000
Максимално достижим вакуум:		
- с водноохлаждаема уловка [Pa]	2,6. 10 ⁻⁴	2,6. 10 ⁻⁴
- с прогряване и азотна уловка [Pa]	-	≤ 1.3. 10 ⁻⁵
Време за достигане на вакуум 1.3.10 ⁻³ Pa (празна, чиста камера) [min]	≤ 4	≤ 5

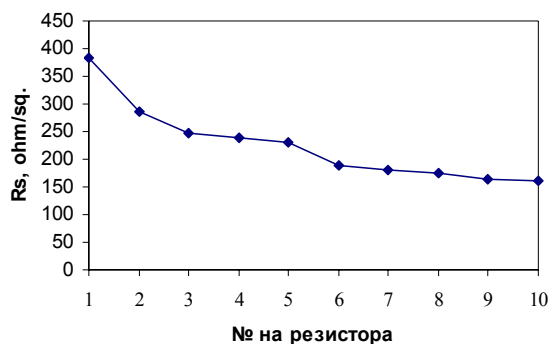
В-55 – фиг. 1

Основното предназначение на полупромишлената вакуумноизпарителна инсталация В-55, зададено от производителя е за получаване на тънки слоеве чрез термично изпарение. Имайки предвид съществените предимства на катодното разпрашване спрямо термичното при получаването на слоеве със зададена стехиометрия, беше решено инсталацията да се преоборудва с апаратура за високочестотно катодно магнетронно разпрашване.



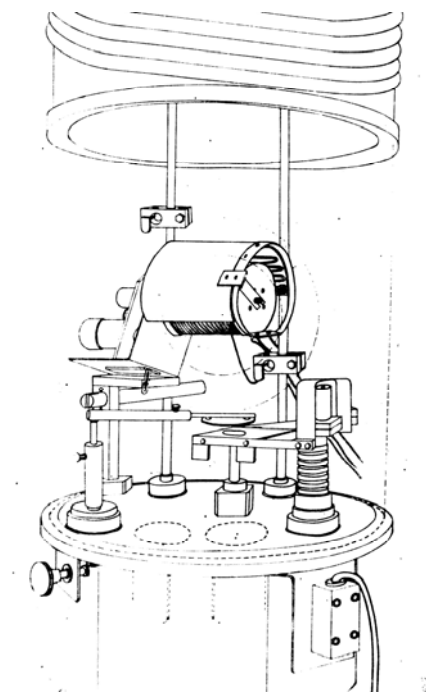
Фиг.1. Вакуумната камера на В-55, приспособена за магнетронно отлагане на тънки слоеве. 1 – катоди, 2 – R_s датчик, 3 – халогенни лампи, 4 – подложкодържател, 5 – термичен изпарител, 6 – термодвойка, 7 – контактен електрод, 8 – глава на масспектрометъра

За получаване на резистивни слоеве чрез разпрашване се за по-голяма равномерност на слоевете изпозваха едновременно два от 3 инчовите NiCr катоди. За подложки изпозвахме стъкла Corning и ситал с размери (48x60) mm. Получените слоеве бяха със съпротивления $R_s = (150 \div 400) \Omega/\square$. За контактен метал изпозвахме Al, изпарен от термичния изпарител 5 (Фиг.1). За проследяване на стабилността на контактното съпротивление и R_s всички тестови образци са термообработени при 150°C (323K) на въздух за време пет денонощия като измерванията са правени в началото и приблизително на всеки двадесет часа. В графичен вид резултатите са представени на фиг. 2.



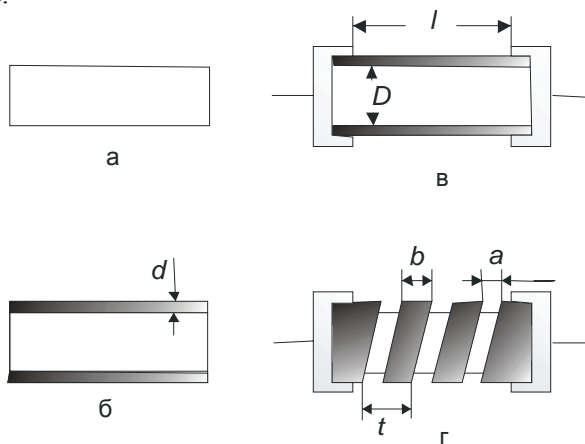
Фиг. 2. Промяна на R_s за системата NiCr – Al

На долната фигура 3 е представена вакуумната инсталация В-30.



Фиг. 3. Апаратура В 30 с лабораторен модел в камерата

В вакуумната камера е вграден лабораторен модел (задвижван с електромотор мрежест барабан с нагревател), в който се насипват цилиндрични керамични тела за метализиране.



Фиг. 4. Технологична последователност при изготвяне на цилиндрични резистори
 а – керамично тяло, б – метализирана керамика, в – заготовка с набити изводи,
 г – резистор след настройка

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

- Разработена и с доказани положителни резултати е цялата технологична схема за получаване на тънкослойни нихромни резистори – от „гола“ пластина и цилиндрична керамика до готов резистивен елемент
- Технологичните операции извършихме, използвайки съществуваща и модернизирана от нас материална база
- Реализирахме прецизни резистори и матрици с различно приложение

Литература

- [1.] Майсел Л., Глэнг Р., „Технология тонких пленок”, том 1 и 2, Советское радио, Москва, 1977.
- [2.] Muller, „High stability nano-multilayer Ni-Cr-Si resistive films”, *Surface and Coatings Technology*, Volume 200, Issues 22-23, 20 June 2006, Pages 6212-6217
- [3.] D. Parashkevov, *Thickness Distribution of Thin Solid Layers Deposited by Magnetron Sputtering*, Proceedings of MEET'05, Opatia May 2005, Croatia
- [4.] Д. Парашкевов, *Изготвяне на резистивни слоеве от NiCr посредством електронно лъчево изпарение*, Годишник на Университет „Проф. Д-р Асен Златаров”, Бургас, 2002, т. XXXI, стр. 61-64