

Изследване на влиянието на дебелината на слоя и вида на подложката върху специфичното съпротивление на тънки слоеве NiCr

Красимира Щерева

Nickel chromium (NiCr) thin films with thickness from 0.035 to 0.065 μm were deposited on glass and hostaphan substrates by magnetron sputtering. Screen printing is utilized for thin film patterning and the formation of NiCr resistors with the aim to determine sheet resistance (R_s) and resistivity (ρ). Resistivity of the NiCr thin films sputtered on glass substrates varies from 75 to 80 $\mu\Omega\text{cm}$ while resistivity of the films deposited on hostaphan ranges from 77 to 165 $\mu\Omega\text{cm}$.

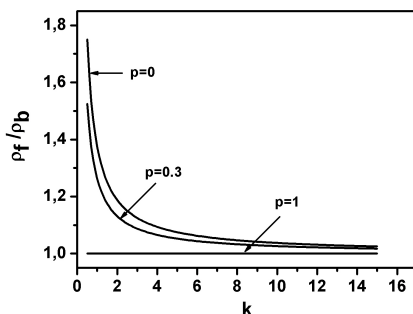
Key words: Thin film, Resistivity, NiCr, Screen Printing.

ВЪВЕДЕНИЕ

Тънкослойните технологии играят важна роля в съвременната техника. Те се прилагат успешно за производството на електронни елементи и интегрални схеми (ИС), устройства за запис и съхранение на информация, оптични и защитни покрития и различни сензори. Тънките слоеве NiCr се използват широко за създаване на резистори, които се отличават с нисък температурен коефициент на съпротивлението (TKR) (от +80 до $-250 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), и ниско повърхностно съпротивление ($R_s = 25 - 200 \Omega/\square$), и намират приложение в резистивни сензори за налягане, резистивни матрици и като резистори в интегрални схеми [2, 6, 7]. За голяма част от тези приложения се използват поликристални тънки слоеве NiCr, нанесени чрез йонно-плазмено разпрашване или изпарение във вакуум. Параметрите на процеса на нанасяне, чистотата на използваните материали и консумативи и подложката, оказват влияние върху структурата и електрофизичните параметри на тънките слоеве NiCr. Структурата и електрофизичните параметри на тънък слой от даден материал се различават от тези на обемния материал. При много малки дебелини, съизмерими с височината на микронеравностите на подложката, върху която е нанесен слоя, структурата му не е непрекъсната, а се състои от отделни изолирани островчета, поради което специфичното му съпротивление е много голямо и намалява експоненциално с нарастване на дебелината на слоя (Фиг. 1.). Високото специфично съпротивление на тънките слоеве е резултат от намаляването на дължината на свободния пробег на електроните в резултат на разсейване от границите на слоя или границите на зърната. Физичните процеси, обусловени от геометричното ограничение на дължината на свободния пробег се наричат "размерни ефекти". Един от най-старите и широко използваните модели на размерния ефект е този на Фукс – Зондхаймер [4]. Съгласно този модел част от електроните (p) се отразяват огледално от повърхостите на тънкия слой. Тези електрони не водят до повишаване на специфичното съпротивление на тънкия слой, докато останалите електрони, $(1-p)$, които се отразяват дифузионно, водят до повишаване на съпротивлението на слоеве с много малки дебелини. Отношението на специфичните съпротивления на тънък слой от даден материал (ρ_f), и обемния материал (ρ_b), се дава с формулата [1, 5]:

$$\frac{\rho_f}{\rho_b} = \frac{\sigma_b}{\sigma_f} = 1 + \frac{3}{8k}(1-p) \quad (1)$$

където $k = \frac{d}{\lambda}$ е редуцираната дебелина на слоя, d е дебелината на слоя, λ е дължината на свободния пробег, p е коефициент на разсейване ($p=1$ за случаите на огледално разсейване, $p=0$ за случаите на дифузионно разсейване). На фигура 1 е дадена зависимостта на отношението на специфичните съпротивления на тънък слой и обемн материал, (ρ_f / ρ_b) , за k изменящо се от 0.5 до 10 и стойности на p 0, 0.3 и 1.



Фиг. 1. Зависимост на отношението на специфичните съпротивления ρ_f / ρ_b , от редуцираната дебелина на слоя k при различни стойности на коефициента на разсейване p .

За много тънки слоеве когато $k \ll 1$ и $p \ll 1$ отношението

$$\frac{\rho_f}{\rho_b} = \frac{\sigma_b}{\sigma_f} = \frac{4}{3} \frac{1-p}{1+p} \frac{1}{k \left(\ln \frac{1}{k} + 0,4228 \right)} \approx \frac{4}{3} \frac{1-p}{1+p} \frac{1}{\ln \frac{1}{k}} \quad (2)$$

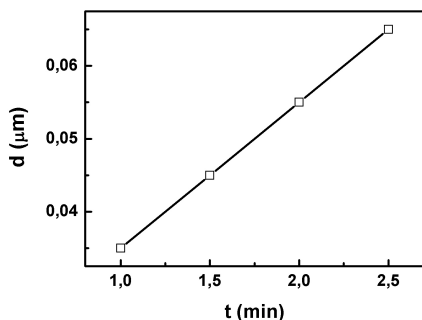
ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследванията са направени върху тънки слоеве никел - хром, нанесени върху подложки от хостафан и стъкло. Тънките слоеве са нанесени чрез магнетронно-йонно разпръскване на NiCr мишена (120 mm диаметър), в атмосфера на Ag, в инсталация с четири въртящи се електрода. В работната камера е създаден вакуум (1.2×10^{-2} Pa). Работното налягане на Ag е от 0.7 до 0.8 Pa. Подложките и работната камера, в която се извършва магнетронното разпръскване, трябва да бъдат добре почистени преди нанасянето на покритието. Подложките се разполагат хоризонтално под мишената. Времетраенето на процеса варира от 1 до 2,5 минути и съответно дебелината на слоевете NiCr се променя от 0,035 до 0,065 μm . На фигура 2 е показана зависимостта на дебелината на слоя от времето на разпръскване. Конфигурацията на NiCr резисторите е създадена по метода на ситопечата (Фиг. 3). Съпротивленията на два вида резистори, праволинеен (R1), и тип меандър (R2), са измерени с RLC измервател Е 7 – 8. Специфичното съпротивление на слоя ρ на резистори с правоъгълна форма се определя от формулата за съпротивлението [3]

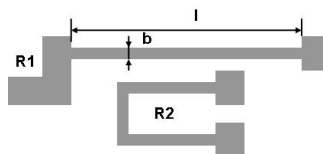
$$R = \rho \frac{l}{bd} \quad (3)$$

където l е дължината на резистора а b е неговата ширина. Ако означим с R_s повърхностното съпротивление на слоя и $R_s = \frac{\rho}{d}$ формула (3) придобива вида:

$$R = R_s \frac{l}{b} \quad (4)$$



Фиг. 2. Зависимост на дебелината на слоя от времето на нанасяне



Фиг. 3. Конфигурация на резистори: R1 – правоъгълен; R2 – меандър.

За резистори тип меандър и с отчитане на влиянието на контактните площадки върху стойността на съпротивлението

$$R = R_s \frac{l}{b} + 1,12 \quad (5)$$

За избраните конфигурации на резисторите отношението $\frac{l}{b} = 20$. Тъй като повърхностните съпротивления на двата вида резистори трябва да бъдат еднакви при една и съща дебелина на резистивния слой, стойността на R_s при пресмятанятия се усреднява, т.е.

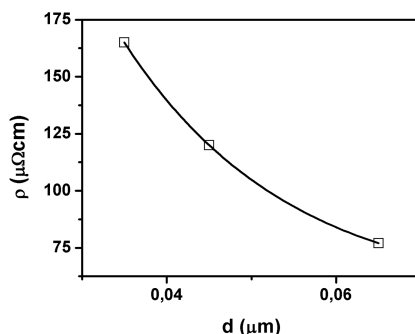
$$R_s = \frac{R_{SR1} + R_{SR2}}{2} \quad (6)$$

В таблица 1 са показани стойностите на повърхностното и специфичното съпротивление на тънки слоеве NiCr нанесени върху подложки от стъкло и хостафан, изчислени с формули (3)+(6), на база на направените измервания.

Таблица 1. Зависимост на R_s и ρ от дебелината на слоя NiCr.

Време на разпращане t (min)	Дебелина на слоя d, (μm)	хостафан		стъкло	
		R_s (Ω/)	ρ (μΩcm)	R_s (Ω/)	ρ μΩcm
1	0,035	47,24	165		
1,5	0,045	21,86	120	17,76	80
2	0,055			13,69	75
2,5	0,065	11,79	77		

Графиката даваща изменението на експериментално получените стойности на специфичното съпротивление от дебелината на слоя, за слоеве нанесени върху подложки от хостафан, е показана на фигура 4. Тя показва добро съответствие с графиката (Фиг. 1.), построена на базата на модела на Фукс – Зондхаймер.



Фиг. 4. Зависимост на специфичното съпротивление ρ от дебелината d на слоеве NiCr нанесени върху хостафан

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тънките слоеве NiCr с дебелини от 0,035 до 0,065 μm , обект на настоящата публикация, са нанесени чрез магнетронно разпръскване върху подложки от стъкло и хостафан. Изследването на тези слоеве е важно от гледна точка на използването им за създаване на тънкослойни резистори с нисък температурен коефициент на съпротивлението и ниско повърхностно съпротивление, използвани широко в интегралните схеми и сензорите. По метода на ситопечата са формирани NiCr резистори с цел определяне на повърхностното съпротивление на слоевете NiCr и тяхното специфично съпротивление. Анализът на направените измервания показва, че специфично съпротивление на слоевете NiCr зависи както от дебелината на слоя, така и от материала на подложката върху, която са нанесени като ρ се променя от 75 до 80 $\mu\Omega\text{cm}$ ($R_S = 13,69 - 17,76 \Omega/$), за тънки слоеве NiCr нанесени върху стъкло, и от 77 до 165 $\mu\Omega\text{cm}$ ($R_S = 11,79 - 47,24 \Omega/$) за тънки слоеве NiCr нанесени върху хостафан. Експерименталните резултати потвърждават влиянието на размерния ефект. С намаляване на дебелината на слоевете специфичното съпротивление расте, което е в съответствие с модела на Фукс – Зондхаймер.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kubovy, A. Electron transport phenomena in thin metal films. *Jemna Mechanika a Optika*, vol. 21, p. 336-340. Nov. 1976.
- [2] Lichtenwalner, D. J., A. E. Hydrick, A. I. Kingon. Flexible thin film temperature and strain sensor array utilizing a novel sensing concept, *Sensors and Actuators A*, 135, 593–597, 2007.
- [3] Романова, М. П. Проектирование гибридно-пленочных интегральных микросхем, Ульяновск: УлГТУ, 2006.
- [4] Sun, T., B. Yao, A. P. Warren, V. Kumar, S. Roberts, K. Barnak, K. R. Coffey. Classical size effect in oxide-encapsulated Cu thin films: Impact of grain boundaries versus surfaces on resistivity, *J. Vac. Sci. Technol. A* 26, (4), 605 – 609, Jul/Aug 2008.
- [5] Чопра К. Электрические явления в тонких плёнках. Москва: Мир, 1972.
- [6] Shen, H., J. Arreaga, R. Ramanathan, H. Knoedler, J. Sawyer, and Shibani Tiku. Fabrication and Characterization of Thin Film Resistors for GaAs-Based Power Amplifiers,

Proceedings of International Conference on Compound Semiconductor Mfg., 2003, GaAs MANTECH. <http://www.gaasmantech.org/Digests/2003/2003PDF/6-2.pdf>

[7] Yang, J., P. Miller, F. Radulescu, R. Herring. Low Energy Sputter Deposition and Properties of NiCr Thin Film Resistors for GaAs Integrated Circuits, <http://www.gaasmantech.org/Digests/2005/2005papers/12.3.pdf>.

За контакти:

Гл. ас. д-р Красимира Стефанова Щерева, Катедра "Електроника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082 888 366, E-mail: KShtereva@ecs.ru.acad.bg.

Докладът е рецензиран.