

БЕЛЕВСЬКИЙ В. П., БОРИНЕЦЬ І. Д., ПРИЩЕПА М. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ МІДНИХ ПЛІВОК, НАНЕСЕНИХ ТЕРМОІОННИМ НАПИЛЕННЯМ

Проведено дослідження електропровідності плівок міді на постійному струмі та при передачі НВЧ-сигналів. Показано, що електропровідність плівок наближається до електропровідності масивних зразків, а затухання НВЧ-сигналу значно менше ніж для відповідних структур, сформованих електронним випаровуванням та магнетронним розпиленням. Корозійна стійкість плівок в 2–4 рази перевищує стійкість плівок, нанесених названими методами.

Важливими характеристиками мідних плівок є електропровідність або питомий опір, величина яких залежить від мікроструктурних параметрів плівок: розмірів зерен, наявності мікродомішок, переважаючої орієнтації росту кристалітів та ін. Загально відомо, що значення названих параметрів залежать від товщини плівок, особливостей методу нанесення їх і завжди дещо гірші масивних зразків міді. Оскільки питомий опір, а також структура провідників і полосків роблять основний внесок в величину затухання сигналу надвисоких частот, то при розробці технології провідників і полосків перевага була віддана термоіонному напиленню плівок. Цей метод дозволяє одержати одношарову конструкцію провідників з хорошою адгезією до підложки, питомим опором мідних плівок, близьким до масивних зразків, і корозійною стійкістю, що перевищує стійкість мідних плівок, одержаних іншими методами. Тому при розробці технологічного процесу термоіонного нанесення плівок (ТН) значна увага приділялась цим, а також іншим параметрам мідних плівок.

Питомий опір мідних плівок вимірювали на спеціальних тестових структурах, виготовлених фотолітографією на суцільних мідних плівках, одержаних в процесі досліджень, на ситалових та полікорових основах. В процесі досліджень в інтервалі температур 25...100° С вимірювали геометричні розміри чотирьохконтактних тестових структур, товщину плівок і опір тестової структури. Розраховували: поверхневий опір, об'ємний опір і температурний коефіцієнт опору. Одержані результати наведено в табл. 1.

Як показали дослідження, питомий опір і температурний коефіцієнт опору для всіх плівок близькі до значень відповідних параметрів масивних зразків. Питомий опір мідних плівок, нанесених на ситалові підложки, менше опору плівок на полікорових підложках, що корелює з розмірами зерен,

які в 2–4 рази менше на полікорових підложках. При збільшенні товщини плівок і середніх розмірів зерен D_z питомий опір зменшується.

Таблиця 1

№ п/п	Партія	Товщи- на	Розмір зерен D_z		Питомий опір		ТК
			мкм		$\rho_v, \text{ Ом} \cdot \text{м}$		К^{-1}
			ситал	полікор	ситал	полікор	ситал
1.	П-1	3,25	1,8	0,85	$1,68 \cdot 10^{-8}$	$1,81 \cdot 10^{-8}$	$4,26 \cdot 10^{-3}$
2.	П-2	4,35	1,9	0,5	$1,68 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-8}$	$4,29 \cdot 10^{-3}$
3.	П-3	2,15	1,4	0,4	$1,77 \cdot 10^{-8}$	$1,82 \cdot 10^{-8}$	—
4.	П-4	14,5	8,0	—	$1,67 \cdot 10^{-8}$	—	$4,41 \cdot 10^{-3}$
5.	мідь- гранул.	—	—	—	$1,673 \cdot 10^{-8}$	$1,673 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$

При дослідженнях в плівках не було виявлено домішок, тому можна стверджувати, що основним механізмом розсіювання носіїв є розсіювання на фонах та на границях зерен. А тому що розміри зерен в плівках на полікорових підложках менше, то збільшується розсіювання носіїв на границях і зростає питомий опір плівок, що і підтверджено дослідями. Зроблений висновок підтверджується також розрахунками температурного коефіцієнта опору. Так, всі плівки на полікорових підложках мають TK_p по величині більший, ніж TK_p масивних зразків.

Тонкі мідні плівки на ситалі мають значення TK_p менше TK_p масивного зразка, але при збільшенні товщини TK_p зростає, досягаючи табличного значення, а після і перевищує його. Як показали дослідження, тонкі плівки текстуровані з переважною орієнтацією кристалів площиною (III) паралельно площині підложки. При зростанні товщини плівки збільшується відносна частина кристалітів з орієнтацією (200). Тому, на нашу думку, збільшення TK_p для товстих плівок міді може бути пов'язане з додатковим розсіюванням носіїв в кристалітах з орієнтацією (200), що потребує додаткового вивчення.

Провідні властивості мідних плівок досліджувались також при передачі НВЧ-сигналу через мікрополоскові лінії (МПЛ). Вимірювання затухання сигналу проводили на тестових пристроях сформованих на кварцевих підложках по стандартній резонансній методиці з використанням панорамного вимірювача P2-65. Величина затухання в МПЛ, виготовлених термоіонним нанесенням без адгезійного і захисного шару, становила 0,115 дБ/ λ_m , що в 4–4,5 рази менше ніж для мідних плівок, виготовлених магнетронним напыленням з підшаром хрому 100 Ом/□ (0,5...0,6 дБ/ λ_m).

Корозійна стійкість мідних плівок є однією з найважливіших характеристик, що визначають можливість їх використання в якості провідників і полосків в ПС та мікрозбірках. Як показали дослідження, швидкість оксиду-

вання плівок міді пропорційна кількості дефектів як на поверхні, так і в об'ємі плівок. Корозійна стійкість плівок оцінювалась величиною поляризаційного опору. Поляризаційний опір — це опір, що виникає на границі розділу плівка–електроліт при зануренні підложки з плівкою в електроліт. Вимірювання проводились в 0,003% водному розчині соляної кислоти. Відомо, чим більше поляризаційний опір, тим вище корозійна стійкість плівки. Дослідження показали, що поляризаційний опір для всіх зразків знаходився в межах 4890...5590 Ом·см², що 2–4 рази перевищує значення цього параметру для плівок міді, одержаних термічним та електронним випаровуванням та магнетронним розпиленням. Поляризаційний опір плівок на ситалі, що мали розмір зерна в межах 2 мкм, значно перевищував значення поляризаційного опору плівок міді на полікорі, що мали розмір зерна в межах 0,4 мкм. Це свідчить про те, що дифузія кисню проходить по границям зерен. Тому плівки, що мали більші розміри зерен, мали також і більше значення поляризаційного опору, а відтак і корозійну стійкість. Як показали дослідження, коефіцієнт дифузії кисню в плівці міді, одержаних термоіонним напиленням, суттєво менше ніж для інших методів нанесення.

Проведені дослідження корозійної стійкості плівок міді показали, що значення поляризаційного опору корелює з коефіцієнтом шорсткості поверхні. Коефіцієнт шорсткості поверхні визначався вимірюванням інтенсивності дифузної складової віддзеркалення при косому освітленні досліджуваної поверхні. При збільшенні розмірів зерна зростає коефіцієнт шорсткості, однак для всіх проведених досліджень він не перевищував 0,13.

Дослідження адгезії плівок міді в залежності від типу підложки, умов підготовки поверхні та технологічних факторів процесу нанесення плівок показали, що можна одержати адгезію плівок до ситалових і полікорових підложок в діапазоні 3...12 МПа без підшару.

Надійшла до редколегії 23.10.96