



Сумський державний університет  
Кафедра електроніки, загальної та  
прикладної фізики



# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛІВОК

доц. Шумакова Н.І.

СУМИ 2020

# 1. Вплив температури підкладки

У вакуумних конденсатах при їх одержанні, обробці та збереженні виникають внутрішні макроскопічні напруження ( $S$ ). Напруження можуть бути стискувальні (їх називають "від'ємними" і позначають "-") та розтягувальні (відповідно "додатні" та "+"). В окремих випадках вони сягають величини межі міцності плівки, що призводить до її руйнування шляхом розтріскування або відділення від підкладки. Із експериментальних результатів відомо, що зі збільшенням температури підкладки розтягувальні напруження зменшуються, досягають нульового значення і стають стискальними (рис. 1).

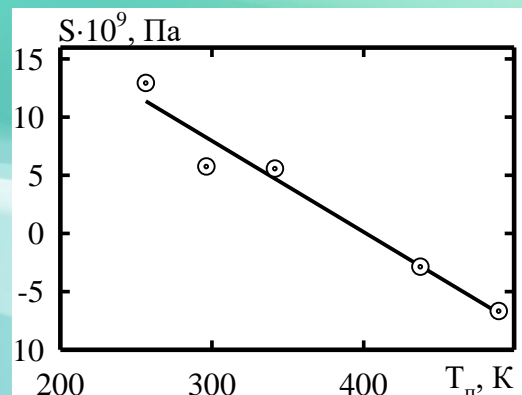


Рисунок 1 - Залежність величини і знака макронапружень у плівках міді від температури підкладки

Виникнення стискувальних напружень при відносно високих температурах підкладки пояснюється окисненням плівки. Для нормальних температур підкладки (300-600 K) типові величини  $S$  мають значення  $10^7$ - $10^9$  Па, причому у плівках тугоплавких металів (Cr, Mo, W, Nb, Ta) величина  $S$  наближається до верхньої межі, а у відносно легкоплавких (In, Pb, Sn, Cu, Ag, Al) - до нижньої межі.

## 2. ПРИЧИНА ВИНИКНЕННЯ МАКРОНАПРУЖЕНЬ У ПЛІВКАХ

Макронапруження у плівкових зразках складаються із зворотної частини термічного походження, обумовленої різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення плівки ( $\alpha$ ) та підкладки ( $\alpha_p$ ), та незворотної, яка виникає при утворенні та анігіляції структурних дефектів. На думку деяких авторів, основний внесок у загальну величину  $S$  дають термічні макронапруження ( $S_T$ ), а на думку інших - структурні ( $S_C$ ). Незалежно від того, яку частку складають  $S_T$  чи  $S_C$ , можна записати

$$S_C = S - S_T \quad (2.6)$$

де, як відомо,  $S$  - величина загальних макронапружень.

Дослідження показують, що додатні макронапруження в плівках обумовлені наявністю на межах зерен аморфної або нанокристалічної фази.

### 3. ВПЛИВ ТОВЩИНИ ПЛІВОК, ШВИДКОСТІ КОНДЕНСАЦІЇ ТА ТЕРМООБРОБКИ

Напруження у конденсатах не виникають до того часу, поки плівка не стає структурно суцільною (при товщині  $d \sim 10$  нм). Вимірювання на плівках *Cu*, *Ag* та *Au* свідчать, що при збільшенні товщини від 100 до 200 нм макронапруження спочатку різко зростають, а потім стабілізуються. Відомі також результати, згідно з якими збільшення товщини плівки при високих  $T$  спричинює до розтріскування плівки під дією структурних макронапружень. Питання про вплив швидкості конденсації ( $w$ ) на величину макронапружень є найменш вивченим. Однак існують дані про те, що збільшення  $w$  викликає збільшення додатних напружень. Так, наприклад, при збільшенні швидкості конденсації плівок міді удвічі ( $T_p \cong 300$  K ) величина  $S$  також збільшується удвічі.

Термообробка (відпалювання) плівок знижує рівень макронапруження структурного походження. Згідно з теорією Гоффмана існує критична температура відпалювання ( $T_v^*$ ), яка задовольняє такі умови:  $T_n$  і  $T_v < T_v^*$  - величина  $S$  зменшується,  $T_n$  і  $T_v > T_v^*$  - величина  $S$  збільшується.

Температура  $T_v^*$  тим вища, чим вища температура плавлення масивного металу.

## 4. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ $S$

Макронапруження у конденсованих плівках найчастіше визначають механічним способом, при якому знаходиться деформація підкладки в процесі осадження плівки. Як правило, використовують один із варіантів цього способу - метод Стоні, при якому вимірюється зміщення ( $\delta$ ) вільного кінця консольно закріпленої вузької підкладки (рис.2). За умови, що  $d \ll D$ , а  $\delta \ll D$ , величина  $S$  обчислюється за формулою

$$S = (ED^2 \delta)(3dl)^{-1}, \quad (2.8)$$

де  $E$  - модуль Юнга для плівки, який вибирається таким, як у масивних зразках;  $d$  і  $D$  – товщина плівки і підкладки.

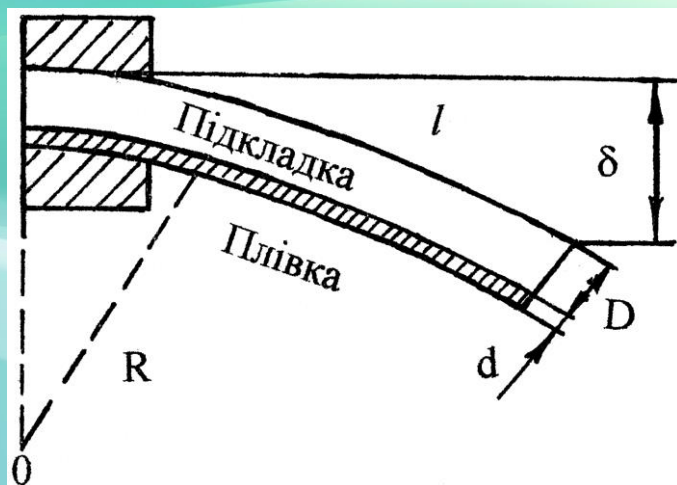


Рисунок 2. -Схема деформації підкладки консольного типу

Зміщення  $\delta$  можна вимірювати за допомогою оптичного мікроскопа або контактометра. На даний момент розроблені більш досконалі методи вимірювання зміщення кінця підкладки:

- за допомогою електромагніту, який повертає підкладку у вихідне положення;
- за вимірюванням зміни ємності конденсатора або індуктивності котушки;
- за допомогою інтерферометра та ін.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**