

# ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНЗОЧУТЛИВОСТІ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

доц. Олександр Однорець Л.В.,  
маг. Кучма О.І., маг. Марченко Я.Ю.

Дослідженню розмірних ефектів (РЕ) в тензочутливості багат шарових плівкових систем на сучасному етапі приділяється велика увага. Це пов'язано з тією обставиною, що багат шарові плівкові системи загального типу або періодичні (мультишари) на основі металів знайшли широке використання як при створенні приладів оптоелектроніки і мікроелектроніки, так і як об'єкти для дослідження розмірних ефектів в електрофізичних властивостях і дифузійних процесах. Якщо в структурах на основі масивних об'єктів або товстих шарів процеси взаємної дифузії можна не враховувати, то у випадку тонкоплівкових структур це спричиняє твердофазні реакції, що призводять до відмов у роботі електронних приладів. Це пов'язано як з малою відстанню дифузії, так і з високим ступенем дефектності структури, розвинутою міжзеренною поверхнею, добре вираженими структурними, концентраційними і фазовими неоднорідностями.

Величина коефіцієнта тензочутливості (КТ) дво- або багат шарових плівок на основі  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$  та  $\text{Co}$  є більшим у порівнянні з одношаровими плівками такої ж товщини. Це дає підставу для можливого використання таких об'єктів як матеріалів тензодатчиків [1]. Фізичні причини тензоефекту пов'язані з процесами, які відбуваються на макроскопічному рівні в кристаліті (зміна параметра решітки) та на макро- і мікроскопічному рівні на межі плівки та кристалітів (їх взаємні розвернення, зміна концентрації дефектів, видовження або зменшення розмірів кристалітів, виникнення локалізованих енергетичних рівнів,

зміна параметрів  $p$ ,  $r$  та ін.). Тензоефект характеризується двома коефіцієнтами – поздовжньої  $\gamma_l$  та поперечної  $\gamma_t$  тензочутливості. При механічній деформації відбувається зміна взаємного розташування частинок твердого тіла, яка приводить до зміни форми та розмірів тіла і його частин та викликає зміну сил взаємодії між частинками, тобто виникнення напружень. Деформація може бути наслідком теплового розширення, взаємодії магнітного та електричного полів, а також зовнішніх механічних сил.

Узагальнення відомих літературних даних дозволяє визначити особливості тензоефекту в одношарових плівкових матеріалах: по-перше, величина  $\gamma_l$  майже завжди більше  $\gamma_t$ , що пов'язано з особливістю зміни внутрішнього потенціалу кристалічної решітки в процесі деформації; по-друге, в залежності від співвідношення поверхневого розсіювання на межі кристалів коефіцієнти тензочутливості можуть зростати або зменшуватися, прямуючи до величин  $\gamma_{gl}$  або  $\gamma_{gt}$  і при збільшенні товщини (розміра кристалів); величина  $\gamma_l$  або  $\gamma_t$  суттєво залежить від номера деформаційного циклу “навантаження-зняття навантаження” в зв'язку з виникненням залишкової деформації; починаючи з 3-5 циклу величини  $\gamma_l$  і  $\gamma_t$  стабілізуються; КТ не залежать від матеріалу підкладки; у процесі старіння плівкового зразка величина  $\gamma_l$  і  $\gamma_t$  монотонно зменшується, прямуючи до  $\gamma_{\alpha l}$  і  $\gamma_{\alpha t}$ .

У рамках напівфеноменологічної моделі було отримане співвідношення для розрахунку КТ плівкової системи з довільною кількістю шарів [2]. У випадку, коли електричні властивості 1-го (3-го) шару визначаються електронами провідності 2-го і 3-го (1-го) шарів (а це можливо при виконанні умови  $\lambda_{01} \sim d_1 + d_2 + d_3$  і  $\lambda_{03} \sim d_3 + d_2 + d_1$ ), вищевказане співвідношення можна подати у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
\chi = & A_1 \left\{ \left( \gamma_{011}^p + \mu_1^i \right) - \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_{01}} \right) \cdot \left[ \left( 2\gamma_{011}^p - 1 - \mu_1^i - \eta_{p1} \cdot \frac{\partial \ln k}{\partial \ln p} - \eta_{Q1} \cdot \frac{\partial \ln k}{\partial \ln Q} - \eta_{r1} \cdot \frac{\partial \ln m}{\partial \ln r} \right) + \right. \\
& + \left( \gamma_{021}^p - 1 - \mu_2^i - \eta_{p2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln p_2} - \eta_{Q21} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln Q_{21}} - \eta_{r2} \cdot \frac{\partial \ln m_2}{\partial \ln r_2} \right) \frac{\beta_{01}}{\beta_{02}} + \\
& + \left( \gamma_{031}^p - 1 - \mu_3^i - \eta_{p3} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln p_3} - \eta_{Q31} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln Q_{31}} - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \right) \frac{\beta_{01}}{\beta_{03}} \left. \right\} + \dots + \\
& + A_3 \left\{ \left( \gamma_{031}^p + \mu_3^i \right) - \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_{03}} \right) \cdot \left[ \left( 2\gamma_{031}^p - 1 - \mu_3^i - \eta_{p3} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln p_3} - \eta_{Q31} \cdot \frac{\partial \ln k_3}{\partial \ln Q_{31}} - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \right) + \right. \\
& - \eta_{r3} \cdot \frac{\partial \ln m_3}{\partial \ln r_3} \left. \right] + \left( \gamma_{011}^p - 1 - \mu_1^i - \eta_{p1} \cdot \frac{\partial \ln k_1}{\partial \ln p_1} - \eta_{Q1} \cdot \frac{\partial \ln k_1}{\partial \ln Q_{13}} - \eta_{r1} \cdot \frac{\partial \ln m_1}{\partial \ln r_1} \right) \frac{\beta_{03}}{\beta_{01}} + \\
& + \left( \gamma_{021}^p - 1 - \mu_2^i - \eta_{p2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln p_2} - \eta_{Q2} \cdot \frac{\partial \ln k_2}{\partial \ln Q_3} - \eta_{r2} \cdot \frac{\partial \ln m_2}{\partial \ln r_2} \right) \frac{\beta_{03}}{\beta_{02}} \left. \right\} + 1 + \mu_1^i
\end{aligned}$$

де враховано, що  $\frac{d \ln F}{d \ln k} \cong \frac{d \ln F}{d \ln m} = \left( 1 - \frac{\beta}{\beta_0} \right)$ , де  $\beta_i$  та  $\beta_{0i}$  - ТКО і-

го шару товщиною  $d_i$  та для масивного зразка;  $\gamma_{01}^p$  - КТ масивного зразка, виражений через питомий опір; ;

$\eta_{p1} = -\frac{d \ln p}{d \ln l}$ ,  $\eta_{r1} = -\frac{d \ln r}{d \ln l}$  і  $\eta_{Q1} = -\frac{d \ln Q}{d \ln l}$ . Слід відмітити, що

доданки із індексом  $i$  враховують електричні властивості даного шару, а із індексами  $i \pm 1$  - вплив сусідніх шарів на електричні властивості  $i$ -го шару.

1. Забіла Є.О., Проценко І.Ю. Фізико-механічні процеси у тонкоплівковому тензорезисторі // Вісник СумДУ. Серія: Фізика, математика, механіка. - 2005. - № 4 (76). - С 108 - 124.
2. Проценко С.І., Чорноус А.М. Дослідження і прогнозування тензорезистивних властивостей плівкових систем на основі Cr, Cu і Sc // Металлофиз. новейшие технол. - 2003. - Т.25, №5. - С. 587-601.