

УДК 621.315.592

Богдан Дзундза, Оксана Костюк, Орест Возняк

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
м. Івано-Франківськ, Україна*

ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА І МЕХАНІЗМИ РОЗСІЮВАННЯ В ТОНКИХ ПЛІВКАХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СПОЛУК

Для тонких плівок, на відміну від монокристалів, характерними є те, що відношення поверхні до об'єму є значним. Товщина плівок, у ряді випадків, є тим параметром, який визначає транспортні властивості і домінуючі механізми розсіювання носіїв заряду. Ступінь впливу приповерхневих областей на властивості плівок залежить від товщини останніх, структури, рівня легування, температури [1-2].

Досліджено особливості поведінки питомого опору та рухливості носіїв від товщини плівок телуриду свинцю осаджених із парової фази у вакуумі на скляні підкладки. Плівки являли собою полікристалічну структуру з розмірами кристалітів 0,01-0,12 мкм.

За умови переважання розсіювання носіїв струму на поверхні (μ_{Γ}) і межах зерен (μ_z) питомий опір цих областей визначається правилом Маттісена [2]. Якщо концентрація носіїв і ефективна маса є сталими, тоді

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_{\Gamma}} + \frac{1}{\mu_z}. \quad (1)$$

Тут μ – експериментально визначена рухливість. Рухливість носіїв при розсіюванні на границях зерен визначається [1]

$$\mu_z = \frac{2q}{h} D \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{-1/3}, \quad (3)$$

де D – середній розмір зерна, q – заряд носіїв, n – концентрація носіїв, h – стала Планка. Рухливість носіїв струму у випадку дифузного розсіювання на поверхні визначається як [2]:

$$\mu_{\Gamma} = \mu_v (1 + \lambda/d)^{-1}. \quad (4)$$

Тут λ – середня довжина вільного пробігу носіїв, μ_v – рухливість об'ємного матеріалу.

Згідно моделі Тейлера розсіювання носіїв заряду на межах зерен описується часом релаксації τ_0 таким чином, що $l_0 = \tau_0 v$, де l_0 – ефективний середній вільний пробіг носіїв заряду у нескінченно товстій плівці, v – швидкість носіїв. Тоді

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \frac{3}{8} \lambda \frac{(1-P)}{d} \right] \quad (5)$$

Тут ρ_0 – питомий опір у нескінченно товстій плівці. Рівняння (1) виражають пряму лінію $y = A \pm Bx$ у координатах $\rho \sim d^{-1}$:

$$\rho = \rho_0 + \frac{3}{8} \rho_0 \lambda (1-P) \frac{1}{d}; \quad (6)$$

$$\text{Тут } A = \rho_0; B = \frac{3}{8} \rho_0 \lambda (1 - P).$$

Із рівняння (1) випливає, що пряма лінія пересікає вісь ординат при $d^{-1} \rightarrow 0$ у точці, що визначає ρ_0 . Тангенс кута нахилу прямої визначає величину в яку входить λ . Якщо розглядати дифузне розсіювання (тобто $P=0$), то можна легко визначити λ і ρ_0 .

Визначивши згідно (6) із експериментальної залежності питомого опору від оберненої товщини довжину вільного пробігу (λ), використавши формулу (4) знаходимо товщинну залежність поверхневої рухливості. Враховуючи правило Маттісена та маючи експериментальну залежність рухливості (рис. 2) з вираз (3) отримуємо залежність величини зерна (D) від товщини плівки (рис. 3). Відзначимо, що для досліджуваних плівок характерним є розмірний ефект у електричному опорі: має місце його зростання із зменшенням товщини (зростання $1/d$). При цьому холлівська рухливість носіїв заряду суттєво зменшується. Так зокрема при зміні товщини плівок від 0,3 мкм до 0,05 мкм рухливість зменшується майже на два порядки. Останнє вказує на те, що міжфазні межі “плівка – підкладка”, “плівка – вільна поверхня” та міжкристалічні межі впливають на явища переносу, які пов’язано із значенням середньої довжини вільного пробігу носіїв заряду. У нашому випадку ефективний середній вільний пробіг складає $\lambda \approx 0,32$ мкм.

Розрахунки вказують, що якщо в області малих товщин (0,05 - 0,15 мкм) переважає розсіювання на поверхні плівок то вже в діапазоні 0,15-0,3 мкм домінує розсіювання на межах зерен. Експериментально спостережуване зростання рухливості рухливості з товщиною плівок пов’язано із збільшенням величини кристалітів в плівках.

Залежність холлівської рухливості плівок від товщини пояснено дифузним механізмом розсіювання носіїв струму на поверхні та впливом міжзеренних меж.

Робота частково виконана у рамках наукових проектів ДФФД України (державні реєстраційні номери 0112U003693) та МОН України (державний реєстраційний номери 0110U006281).

1. *Поверхностные свойства твердых тел*, под ред. М. Грина (Москва, Мир, 1972), 432 с.
2. P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan, Phys. Stat. Sol. (a), **87**, 341 (1985).