

УДК 535.37

Розмірні ефекти в монокристалічних плівках n –PbTe

М.В.Калинюк

*Прикарпатський державний університет ім. В.Стефаника,
76025 м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57*

Запропоновано методику розділення поверхневого і об'ємного розсіювання з розмірного ефекту провідності і ефекту Холла в монокристалічних плівках PbTe. Одержані співвідношення дозволяють якісно оцінити σ_s, σ_b і R_{Hs}, R_{Hb} .

Ключові слова: розмірний ефект, ефект Холла, монокристалічні плівки, PbTe.

Стаття постуила до редакції 17.03.2000; прийнята до друку 3.05.2000. е

Явища переносу біля поверхні сильно залежать від електронних властивостей середовищ, що дотикаються [1]. Проте виділенню чисто поверхневих ефектів перешкоджає значний внесок об'ємних механізмів розсіювання на різноманітних структурних дефектах. Так, у роботах [2 - 4] показано, що зниження рухливості носіїв у тонких плівках PbTe в порівнянні з масивними монокристалами зумовлене розсіюванням на міжкристалічних границях, дислокаціях, точкових дефектах.

Метою роботи є дослідження впливу поверхні на явища переносу в плівках n – PbTe. Для визначення вкладу поверхневих ефектів проаналізовано електрофізичні параметри тонких монокристалічних плівок різної товщини. Плівки стехіометричного складу вирощувались у вакумній камері методом гарячої стінки на слюдяних підкладках [5]. Температура випарника і підкладки контролювалася термopарами і підтримувалася сталою в процесі осадження матеріалу з точністю ± 1 К. Товщина плівок варіювалася в діапазоні 0.05 - 10 мкм і вимірювалася за допомогою мікроінтерферометра із точністю 0.02 мкм. Рентгенографічні і електронно – мікроскопічні дослідження показали, що плівки PbTe мають блочну монокристалічну

структуру з розміром блоків 5 - 10 мкм, з кутовою розорієнтацією менше 1° у площині (111), паралельно поверхні підкладки. При цьому розмір блоків практично не залежав від товщини плівок в інтервалі товщин 0.1 – 10 мкм. Вирощені плівки мали провідність n-типу з мінімальною концентрацією носіїв $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Для виявлення розмірних ефектів проведені виміри залежностей від товщини плівки коефіцієнта Холла R_H і електропровідності σ для температур в інтервалі 77 - 400 К і магнітному полі 1,6Т. Результати вимірів приведені на рис. 1.

Температурна залежність рухливості носіїв товстих плівок PbTe в інтервалі температур 77-300 К підпорядковується закону $T^{-5/2}$, типовому для масивних монокристалів. При температурах, більших 300 К, зростає внесок власної провідності, що призводить до зменшення коефіцієнта Холла.

Внесок поверхневого механізму розсіювання в зміну провідності носіїв на, нашу думку, не можливо оцінити по моделі Фукса - Зондхеймера [1]. Відповідно до цієї моделі електропровідність тонких плівок із коефіцієнтом дзеркальності $P = 0$ описується формулою

$$\sigma_{пл} = \sigma_0 \cdot \gamma^{-1} \cdot \Phi(\gamma), \quad (1)$$

де $\Phi(\gamma)^{-1} = \gamma^{-1} + 3/8\gamma^{-2} - 3/2\gamma^{-2} \int (x^{-3} - x^{-5}) e^{x^2} dx = d/\lambda_0$.

Тут λ_0 - довжина вільного пробігу в масивному монокристалі, σ_0 - електропровідність масивного монокристалу, $\sigma_{пл}$ - електропровідність плівки товщиною d . З цього виразу видно, що провідність плівки повинна зростати із збільшенням товщини, а експериментальні дані (рис.1.) свідчать про протилежне. Тому використовуючи формулу (1), не можливо за експериментальними даними визначити довжину вільного пробігу в товстих плівках РbТе. Однак це значення можна розрахувати за формулами

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= m^*/m_d^* u_0 h / e(3n/8\pi)^{1/3}, \\ m^* &= [1/3(2/m_t^* + 1/m_l^*)]^{-1}, \\ m_d^* &= 4^{2/3}(m_t^{*2} m_l^*)^{1/3}, \end{aligned} \quad (2)$$

де m^* - ефективна маса провідності, m_d^* - ефективна маса густини станів, u_0 - рухливість у масивному кристалі, h - стала Планка, e - заряд електрона, n - концентрація носіїв. Довжина вільного пробігу λ_0 виявилась рівною 0,15- 0,2 мкм.

Із зменшенням товщини напівпровідникової плівки у діапазоні 0.05 – 10мкм вплив поверхні збільшується, а при малих товщинах стає домінуючим. Для опису зміни електропровідності і коефіцієнта Холла з товщиною плівки нами використано модель Петріца [2], у відповідності з якою вважається, що зразок складається з паралельно ввімкнених шарів із змінною з глибиною провідністю і коефіцієнтом Холла. Аналізуючи параметри вибраної моделі, можна оцінити концентрацію і рухливість носіїв заряду як у поверхневому шарі, так і у об'ємі напівпровідника.

При порівняльному вивченні властивостей плівок і об'ємних зразків та

з'ясуванні причин їхніх розходжень необхідно враховувати те, що значну роль може грати змінюваність властивостей із глибиною. Концентрація структурних дефектів, зумовлена неузгодженістю кристалічної структури конденсату і підкладки, може зменшуватися в міру віддалення від підкладки. Те ж саме можна сказати і про механічні напруги і концентрацію домішок, що дифундують із підкладки. Градієнт властивостей має місце й біля протилежної (вільної) поверхні плівки. Тут можливий помітний вплив власних дефектів, зумовлених реєпаруванням конденсату, сегрегацією одного з компонентів (якщо мова йде не про прості речовини), адсорбцією і дифузією кисню з атмосфери тощо. Ті ж чинники впливають і на властивості приповерхневих шарів об'ємних зразків, проте в цьому випадку відносна товщина цих шарів на порядки менша, ніж для плівок, а тому менша і ступінь їхнього впливу.

З наведеного вище слідує, що наявність шаруватих неоднорідностей може суттєво змінити величину вимірюваних кінетичних коефіцієнтів і співвідношення між ними при порівнянні з однорідними матеріалами. Не враховуючи їх впливу, можна зробити невірні висновки про зміну у плівках зонних параметрів і механізму розсіювання у порівнянні з об'ємними зразками. У то й же час це дозволяє комплексно досліджувати явища переносу для виявлення шаруватих неоднорідностей.

У загальному випадку для плівки товщиною d коефіцієнт Холла R_H , провідність σ і холлівська рухливість μ_H описуються формулами:

$$\sigma = \left(\int_0^d \sigma(z) dz \right) / d; \quad R_H = \left(\int_0^d R_H(z) \sigma^2(z) dz \right) / (d \sigma^2); \quad \mu_H = \sigma R_H. \quad (3)$$

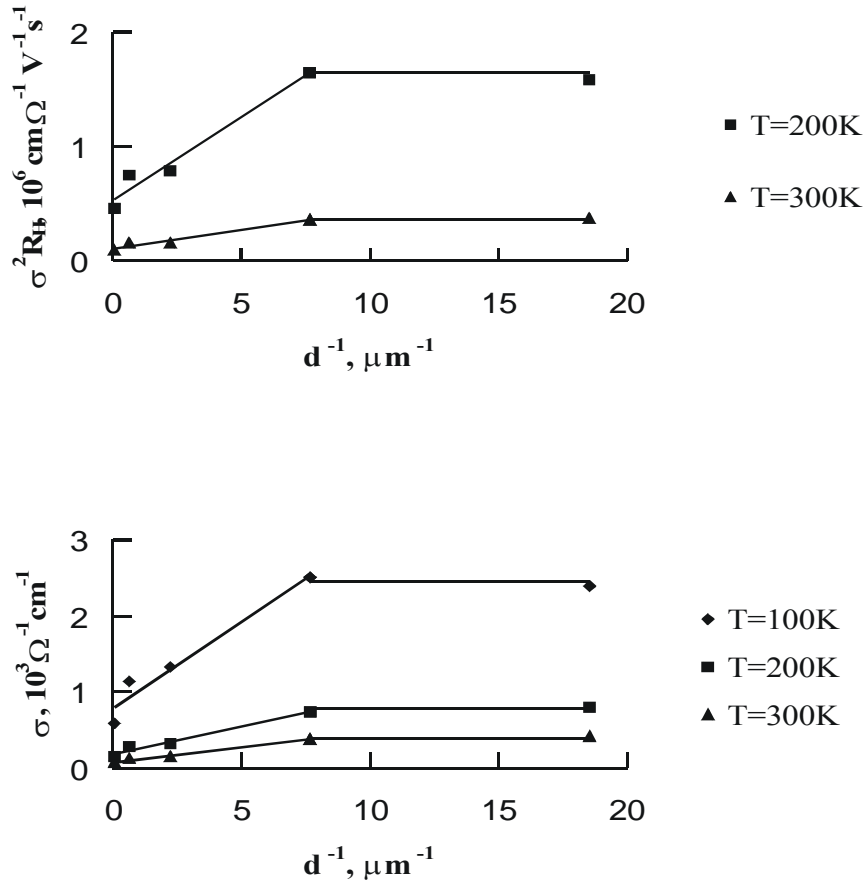


Рис. 1. Лінеаризовані представлення провідності і коефіцієнта Холла

Розглянуто найпростіший випадок двох паралельно ввімкнених шарів – товщиною d_s , провідністю σ_s і коефіцієнтом Холла R_{Hs} і

об’ємного, що характеризується відповідно параметрами $d - d_s$, σ_b і R_{Hb} , а саме:

$$\sigma(z) = \begin{cases} \sigma_s, & 0 < z < d_s \\ \sigma_b, & d_s < z < d \end{cases}; \quad R_H(z) = \begin{cases} R_{Hs}, & 0 < z < d_s \\ R_{Hb}, & d_s < z < d. \end{cases} \quad (4)$$

від товщини матимуть вигляд:

У цьому випадку відповідні залежності

$$\sigma(d) = \begin{cases} \sigma_s, & d < d_s \\ \sigma_b d + (\sigma_s - \sigma_b) d_s / d, & d_s < d; \end{cases} \quad (5)$$

$$R_H(d) = \begin{cases} R_{Hs}, & d < d_s \\ (R_{Hb} \sigma_b^2 d + (R_{Hs} \sigma_s^2 - R_{Hb} \sigma_b^2) d_s) / (d \sigma^2), & d_s < d. \end{cases} \quad (6)$$

Для визначення параметрів моделі скористалися представленням

З таблиці видно, що у приповерхневому шарі концентрація електронів у 5 разів

Таблиця.

Значення питомих провідностей і коефіцієнтів Холла для тонких плівок PbTe при різних температурах

T, K	$\sigma_s, 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	$\sigma_b, 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	$R_{Hs}, \text{ см}^3 \text{ Кл}^{-1}$	$R_{Hb}, \text{ см}^3 \text{ Кл}^{-1}$
100	2,45	0,8	2,23	13,4
200	0,775	0,19	2,73	12,7
300	0,4	0,09	2,2	9,9

експериментальних даних у координатах $\sigma - d^{-1}$ і $R_H \sigma^2 - d^{-1}$, у яких залежності мають вигляд двох похилої і горизонтальної прямих, що перетинаються (рис. 1). Всі параметри моделі легко зчитуються з графіків і представлені в таблиці.

більша ніж у об'ємі плівки, а провідність приповерхневого шару у 3 – 4 рази більша ніж об'ємного. Із температурою концентрація слабо змінюється. З цього слідує, що ми, напевно, знаходимося в області збіднення домішкової провідності.

[1] *Поверхностные свойства твердых тел*, М., Мир, (1972).
 [2] J.N. Zemel, J.D. Jensen, R.B. Schoolar // *Phys. Rev.*, **140**, A330 (1965).
 [3] Y. Makino // *J. Phys. Japan*, **19**, 580 (1964).
 [4] И.П. Воронина, С.А. Семилетов // *ФТТ*, **6**, 1540 (1964).
 [5] Н.С. Лидоренко, Л.А. Гудков, З.М. Дашевский. Размерные эффекты в монокристаллических пленках PbTe // *Доклады АН СССР*, **250(1)**. С.82 – 85 (1980).

Formation of gan layers on the cleaved surfaces of GaSe and Ga₂O₃ single crystals

M.V.Kalyniuk

Precarpathian University named by V.Stefanyk, 76025, Ivano-Frankivsc, Shevchenko str., 57

The method of separating of the share of surface and volume electrons scattering on size effect of resistivity and Hall factor of PbTe monocrystalline films was proposed. The ratio which are received allow quantitatively to estimate σ_s, σ_b and R_{Hs}, R_{Hb} .