ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 8, № 2 (2007) С. 287-290

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 8, № 2 (2007) P. 287-290

УДК 621.315.592.

ISSN1729-4428

Б.С. Дзундза

Особливості розсіювання носіїв струму в епітаксійних плівках телуриду свинцю

Кафедра фізики і хімії твердого тіла
Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua

Досліджено механізми розсіювання носіїв струму в епітаксійних плівках PbTe, осаджених на свіжі сколи (111) кристалів NaCl. Показано, що домінуючу роль відіграє розсіювання на дислокаціях невідповідностей на межі "плівка-підкладка".

Ключові слова: телурид свинцю, тонкі плівки, епітаксія, дислокації невідповідності.

Стаття поступила до редакції 07.11.2006; прийнята до друку 15.03.2007.

Вступ

Тонкі плівки халькогенідів свинцю – мають широке використання для створення детекторів та джерел випромінювання в інфрачервоному діапазоні оптичного спектру [1,2]. Функціонування приладових структур на основі тонкоплівкового матеріалу у значній мірі визначається характером явищ переносу. Відомо [3], що в області малих товщин, механізми розсіювання в плівках суттєво відрізняються від таких у масивних зразках. Тут, зокрема, крім розсіювання на теплових коливаннях гратки і іонізованих центрах необхідно враховувати розсіювання на границях зерен, поверхні, дислокаціях невідповідності та дефектах росту. У зв'язку із цим, важливою проблемою є оцінка цих додаткових механізмів розсіювання. Розгляду цих питань присвячено ряд робіт [4-7]. Так, зокрема, автори роботи [6] вивчали рухливість носіїв у плівках n-PbTe, вирощених на сколах (100) кристалів KCl. Визначено роль поверхневої і залишкової рухливостей. Останню із них пов'язують з розсіюванням носіїв на структурних дефектах. Результати проведених досліджень особливостей розсіювання електронів у тонких плівках PbTe на слюді підтверджують значну роль міжзеренних меж [5]. У статті [7] досліджено вже двошарові структури PbTe / PbS, де проведено розрахунок ефективної рухливості за умови розсіювання носіїв заряду на поверхні і дислокаціях невідповідностей на межі гетероструктури. Крім того роль дислокацій невідповідностей у механізмах розсіювання носіїв струму для тонких полівок PbTe вивчено авторами роботи [4]. Цим питанням присвячені також і наші роботи [8-16].

У даній статті вивчено залежність механізмів розсіювання носіїв струму у тонких плівках PbTe від товщини (0,6-1,0) мкм в інтервалі температур (80-300) К.

I. Елементи теорії

У тонких плівках реалізуються: розсіювання на кристалічній гратці в об'ємі плівки, поверхні, дефектах росту. За умови, що кожний із цих механізмів розсіювання можна розглядати незалежним, ефективна рухливість μ_e, яка визначається експериментально, буде представлена як

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_s} + \frac{1}{\mu_d}. \qquad (1)$$

де μ_L – об'ємна рухливість (на гратці), μ_s – поверхнева рухливість, μ_d – рухливість, обумовлена структурними дефектами.

Для повністю дифузного розсіювання на поверхні, згідно [4]

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{1}{\mu_b}\left(1 + \frac{\lambda}{d}\right), \qquad (2)$$

де

$$\frac{1}{\mu_b} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_d} \qquad (3)$$

З рівнянь (1) и (2), поверхнева рухливість дорівнюватиме

$$\frac{1}{\mu_s} = \frac{1}{\mu_e}\frac{1}{1 + \frac{d}{\lambda}}, \qquad (4)$$

де $$\lambda = \mu_e \frac{h}{2q}\left(\frac{3p}{\pi}\right)^{1/3} - \qquad (5)$$

середня довжина вільного. Тут h - стала Планка, q – заряд носія, p - концентрація носіїв.

Розсіювання на структурних дефектах згідно рівнянь (1) , (4) буде рівне.

$$\frac{1}{\mu_d} = \frac{1}{\mu_e} - \left(\frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_s}\right) = \frac{1}{\mu_e}\frac{1}{1+\frac{\lambda}{d}} - \frac{1}{\mu_L}. \qquad (6)$$

З іншого боку, за умови, що основними структурними дефектами є дислокації невідповідностей, згідно [7]

$$\mu_d = \mu_{L(v)}\left(1 - \frac{\pi R^2}{d}\sqrt{N}\right), \qquad (7)$$

де R – радіус просторового заряду створеного дислокацією, N – поверхнева щільність дислокацій.

Отримані вирази (6) і (7) для рухливості μ_d, повязаної із розсіюванням на дислокаціях невідповідностей, дають можливість визначити характерні параметри R, N:

$$R^2\sqrt{N} = \left(1 - \frac{\mu_d}{\mu_v}\right)\frac{d}{\pi}. \qquad (8)$$

Щільність дислокацій згідно рис. 1. за умови, що $a_1(n+1)=an$ буде рівна

$$N\ (м^{-2}) = \left(\frac{1}{aa_1/(a-a_1)}\right)^2, \qquad (9)$$

тут, a, a_1 – відповідні параметри кристалічних граток, що межують у гетероструктурі "плівка-підкладка".

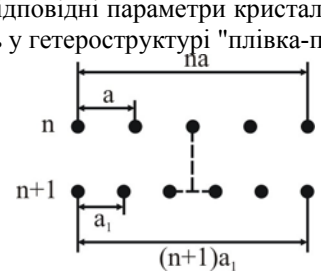

Рис. 1. Схема дислокації невідповідностей на межі гетероструктури.

Маючи поверхневу щільність дислокацій N і використовуючи (8) можна оцінити радіус просторового заряду дислокації R.

II. Методика експерименту і результати

Плівки PbTe для дослідження отримували з парової фази методом гарячої стінки на свіжих сколах (100) NaCl. Швидкість росту плівок складала 1-3 нмс$^{-1}$. Структура плівок досліджувалася методами електронної мікроскопії і дифракції, а також оптичної металографії. Вимірювання електричних параметрів плівок проводилося компенсаційним методом у постійних електричних і магнітних полях. Вимірювання проводили на окремих плівках різної товщини. Струм через зразки складав $\approx 0{,}1$ мА. Магнітне поле напрямлялося перпендикулярно до поверхні плівок при індукції 0,8 Тл. Вимірюваний зразок мав чотири холлівські і два струмові контакти.

Плівки являли собою епітаксійні структури із орієнтацією площинами (100) паралельно до площини (100) NaCl. Розміри кристалітів складали близько 0,5 мкм.

Залежність холлівської рухливості носіїв заряду плівок PbTe від товщини зображено на рис. 2. Видно, що із зменшенням товщини плівок має місце спадання холлівської рухливості (рис. 2,3). Температурні залежності рухливості плівок PbTe, визначені на експерименті і розраховані для розсіювання на дислокаціях невідповідностей представлено на рис. 4.

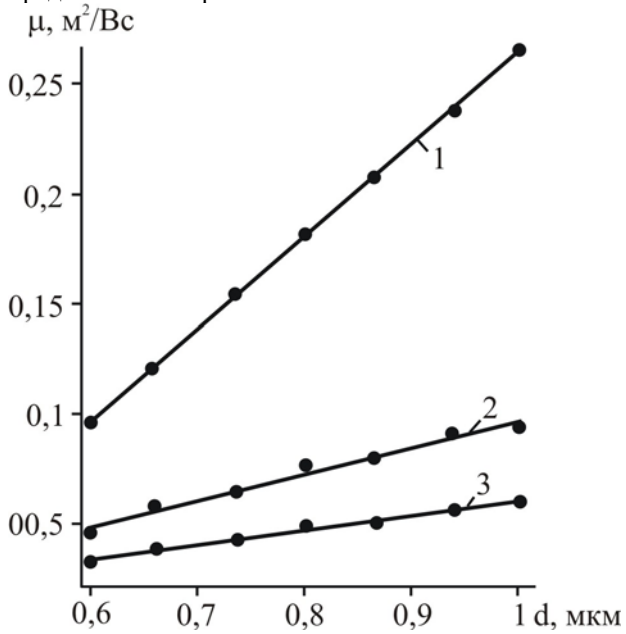

Рис. 2. Залежності рухливості носіїв заряду від товщини плівки PbTe при різних температурах: 1 – 125 К, 2 – 235 К, 3 – 300 К.

III. Аналіз результатів

З метою уточнення домінуючого механізму розсіювання носіїв заряду нами проаналізовано температурну залежність рухливості μ(T). Відомо [7], що температурну залежність рухливості для плівок товщиною d можна представити у вигляді

$$\mu = \mu_0 T^{-n(d)}, \qquad (10)$$

де μ_0– стала величина, яка визначається параметрами матеріалу і залежить від товщини плівок; n(d) – показник, який визначається переважанням конкретного механізму розсіювання у плівках для заданої товщини. Для достатньо досконалих плівок хвалькогенідів свинцю $n \approx 2{,}5$, що пов'язано із розсіюванням на довгохвильових акустичних фононах із врахуванням температурної залежності ефективної маси. При поверхневому розсіюванні $n \approx 0{,}5$, а при більших значеннях n повязують із розсіюванням на дефектах росту дислокаціях невідповідності [7].

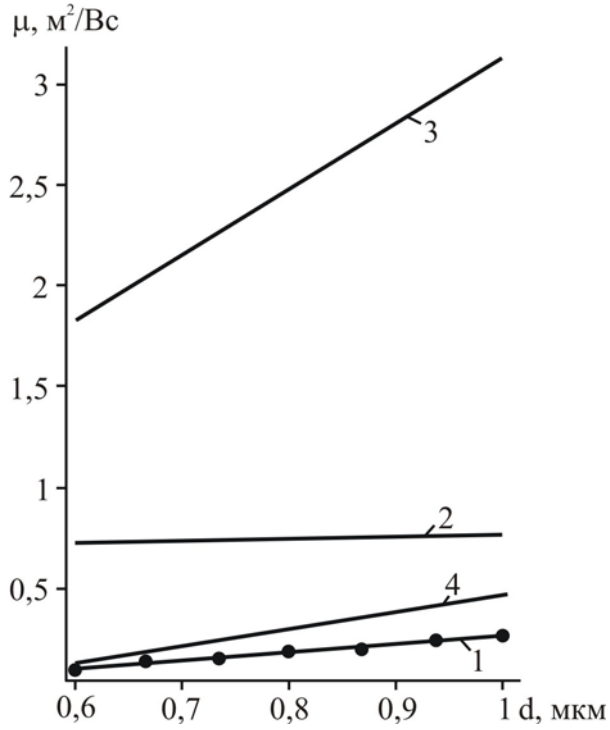

Рис. 3. Залежності рухливості носіїв заряду від товщини плівки PbTe при температурі 125 К: 1 – експеримент (μ_{exp}), 2 – рухливість для об'ємного кристалу (μ_L), 3 – поверхнева рухливість (μ_s), 4 – рухливість яка враховує розсіювання на дефектах (μ_d).

Визначені значення показників n для плівок різної товщини наведено на рис. 5. Виявилося, що залежність n(d) можна апроксимувати прямою лінією із аналітичним виразом

$$n(d) = 0,62 + 0,40d. \qquad (11)$$

Таким чином, для досліджуваних товщин плівок показник n температурної залежності рухливості близькій до одиниці, що підтверджує домінування розсіювання носіїв заряду на дислокаціях невідповідностей.

Зауважимо, що товщинні (рис. 3) і температурні (рис. 4) залежності рухливостей носіїв струму, плівок PbTe розраховані за умови розсіювання на дислокаціях невідповідностей незначно відрізняються від експериментальних. Це додатково підтверджує домінування розсіювання носіїв струму на дислокаціях невідповідностей.

З рис. 6. видно, що радіус просторового заряду дислокації практично не залежить від товщини (рис. 6) і знаходиться у межах 0,023-0,027 мкм.

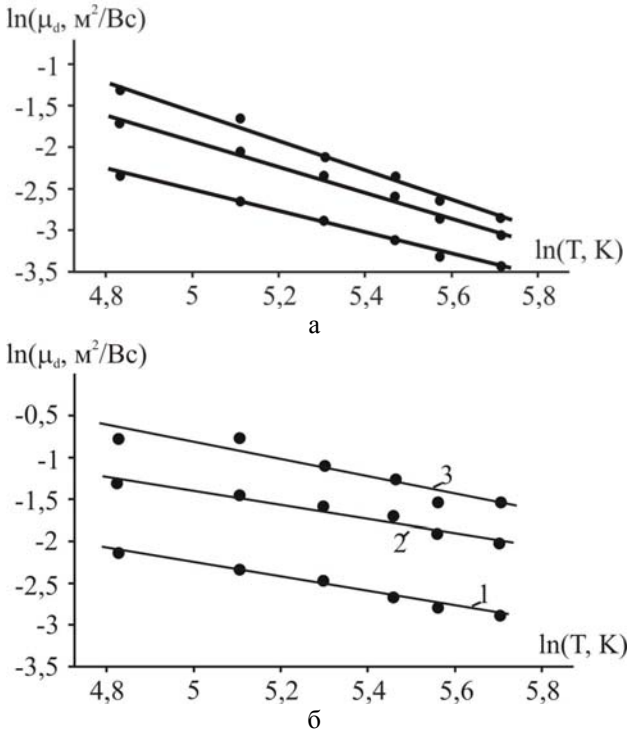

Рис. 4. Залежність експериментальної μ_e (а) та розрахованої згідно (6) μ_d (б) рухливостей носіїв струму від температури для плівок PbTe різної товщини d, мкм: 1 – 0,6; 2 – 0,8; 3 – 1.

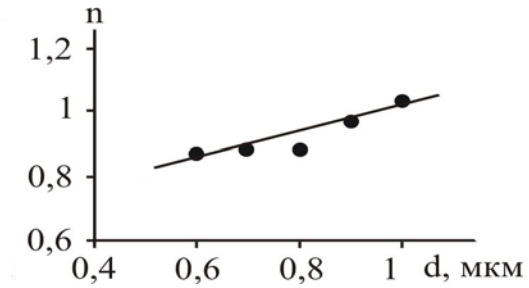

Рис. 5. Залежність показника температурної залежності рухливості від товщини для плівок PbTe.

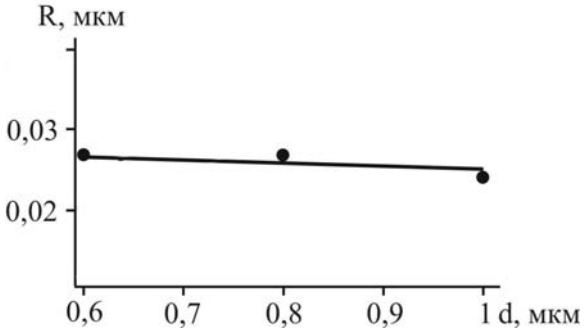

Рис. 6. Залежність радіуса просторового заряду дислокацій невідповідностей гетероструктури PbTe/(100)NaCl від товщини.

Висновки

1. Одержано вирази для розрахунку рухливості носіїв струму у тонких плівках при розсіюванні на поверхні і структурних дефектах.
2. Досліджено залежності рухливості носіїв струму для плівок PbTe, осаджених на (100) NaCl від товщини і температури.
3. Показано, що домінуючим механізмом є розсіювання носіїв на дислокаціях невідповідностей.
4. Оцінено радіус просторового заряду дислокації невідповідностей на гетеро межі PbTe / (100) NaCl.

Автор висловлює вдячність проф. Фреїку Д.М. за постановку задачі, цінні поради та обговорення результатів дослідження.

Робота частково фінансується МОН України (реєстраційний номер 0106U00220) та ДФФД МОН України (проект № 14.1/028).

Дзундза Б.С. – аспірант кафедри фізики і хімії твердого тіла.

[1] J.N. Zemel. Recent developments in epitaxial IV-VI films // *J. Luminescence*, **7**, pp 524-541 (1973).
[2] H. Holloway. Thin Films IV-VI semiconductor photodiodes // *Physics thin films,* new York, **11**, pp 105-203 (1980).
[3] *Поверхностные свойства твердых тел*. Под. ред. М. Грина. Мир, М. 432 с. (1972).
[4] T. S. Jayadevaiah, R. E. Kirby Mobility Studies of Epitax1al PbTe Thin Films // *Thin solid films,* **6**, pp. 343-348 (1970)
[5] Т.С. Гудкин, И.А. Драбкин, В.И. Кайданов, О.Г. Стерлядкина. Особенности рассеяния электронов в тонких пленках PbTe // *Физика и техника полупроводников*, **8**(11), сс. 2233-2235 (1974).
[6] P.R. Vaya, J. Majht, B.S.V. Gopalam, C. Dattatrepan. Thickness Dependence of Hall Mobility of HWE Grown PbTe Films // *Phys. Stat. Sol. (a),* **87**(341), pp. 341-350 (1985).
[7] О.А. Александроав, Р.Ц. Бондоков, Н.В. Саунин, Ю.М. Таиров. Подвижность носителей заряда в двухслойных структурах PbTe/PbS // *Физика и техника полупроводников,* **32**(9), сс. 1064-1068 (1998).
[8] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзундза, І.В. Калитчук, В.М. Кланічка Рухливість носіїв заряду і механізми їх розсіювання в плівках сульфіду свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла,* **5**(2), сс. 302-306 (2004).
[9] Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасічняк, О.Л. Соколов, Б.С. Дзундза Особливості розсіювання носіїв заряду в епітаксійних структурах на основі халькогенідів свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла*, **5**(3) сс. 401-403 (2004).
[10] Д.М. Фреїк, О.Л. Соколов, Г.Д. Матеїк, Б.С. Дзундза, В.Ф. Пасічняк Електричні властивості епітаксійних плівок PbSnSe у моделях Петріца і дифузного розсіювання // *Фізика і хімія твердого тіла*, **6**(1), сс. 354-357 (2005).
[11] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзундза, Г.Д. Матеїк. Вплив поверхні і міжзеренних меж на рухливість носіїв у тонких плівках телуриду свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла*, **6**(2), сс. 251-253 (2005).
[12] Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасічняк, О.Л. Соколов, Б.С. Дзундза. Розсіяння носіїв заряду в епітаксійних плівках PbTe // *Український фізичний журнал*, **50**(11), сс. 1250-1252 (2005).
[13] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзундза. Вплив поверхні і міжкристалічних меж на електричні властивості тонких плівок телуриду свинцю // *Фізика і хімія твердого тіла,* **7**(4), сс. 673-676 (2006).
[14] Б.С. Дзундза Поверхневі явища у структурах на основі тонких плівок телуру // *Вісник Прикарпатського університету. Математика. Фізика*. В, 3, сс. 143-147 (2006).
[15] Д.М. Фреик, Б.С. Дзундза, В.Ф. Пасичняк Электронные свойства межзеренных границ и рассеяние носителей заряда в тонких слоях теллурида свинца // *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*, (1), сс. 20-24 (2007).
[16] Д.М. Фреїк, Б.С. Дзундза Механізми відпалу полікристалічних плівок $A^{IV}B^{VI}$ // *Харьковская нанотехнологическая асамблея-2007. Тонкие пленки*, **2,** сс. 143-147 (2007).

B.S. Dzundza

Features of Charge Carrier Scattering in Lead Telluride Epitaxial Films

Physics and Chemistry of Solid State Department of the Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua

Mechanisms of charge carrier scattering in epitaxial films PbTe that deposition precipitated on fresh of (111) crystals chop of NaCl are explored. It is shown, that dominant role has the scattering of discrepancies dislocations on boundary "film-substrate".