

РОЗСІЯННЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВКАХ PbSe

Д.М. ФРЕЙК, В.Ф. ПАСІЧНЯК, О.Л. СОКОЛОВ, Б.С. ДЗУНДЗА

УДК 621.315.592
© 2005 р.

Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника
(Вул. Галицька, 201, Івано-Франківськ 76000; e-mail: freik@pu.if.ua)

Досліджено залежність рухливості носіїв заряду від товщини плівки (0,1–2,0 мкм) в епітаксійних плівках PbSe на склах слюди при температурах 77–300 К. Розраховано внесок у рухливість, зумовлений розсіянням на поверхні. Визначено залишкову рухливість і домінуючі механізми розсіяння носіїв заряду для плівок різної товщини.

1. Плівки селеніду свинцю використовуються у детекторах і джерелах випромінювання ІЧ-діапазону оптичного спектра [1,2]. Зазначимо, що параметри тонкопліткових активних елементів значною мірою визначаються домінуючими механізмами розсіяння носіїв заряду. Відомо [3], що в області малих товщин плівок механізми розсіяння суттєво відрізняються від таких для масивних зразків — кристалів. Тут, зокрема, крім розсіяння на теплових коливаннях ґратки та іонізованих центрах [4] необхідно враховувати розсіяння на поверхні, дислокаціях невідповідності та межах росту [5].

У цій роботі шляхом порівняння теоретичних розрахунків рухливості з експериментом визначено переважаючі механізми розсіяння носіїв заряду в плівках PbSe різної товщини при температурах 77–300 К.

2. Плівки вирощували у вакуумі методом молекулярних пучків на склах (001) слюди [6]. Температура випаровування становила приблизно 920 К, а осадження $T_{\text{п}}=300\div 720$ К. Товщина плівок задавалася часом осадження і варіювалася в межах $d=0,1\div 2,0$ мкм. Концентрація носіїв в усіх зразках дорівнювала $(1\div 3)\cdot 10^{18}\text{см}^{-3}$.

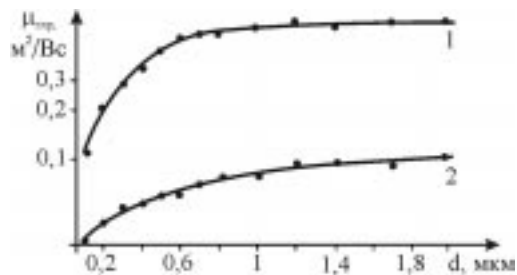


Рис.1. Залежності ефективної рухливості μ_{exp} плівок PbSe від їхньої товщини d при різних температурах T , К: 77 (1) і 300 (2)

Холлівську рухливість визначали за ерс Холла, виміряну в постійних електричних і магнітних полях при температурі 77–300 К.

Плівки згідно з даними електроннографії і електронної мікроскопії являли собою епітаксійні структури орієнтовані площинами $\{111\}$ і напрямками $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ паралельно площині (001) і напрямкам $\langle 100 \rangle$ та $\langle 010 \rangle$ слюди. Розміри кристалітів становили 0,1–0,5 мкм із кутом азимутальної розорієнтації до 5° .

Залежність холлівської рухливості носіїв заряду плівок PbSe від товщини для різних температур наведено на рис. 1. Видно, що для всіх досліджуваних температур зі збільшенням товщини плівок рухливість носіїв заряду зростає. При цьому особливо значна зміна величини рухливості характерна для області низьких температур вимірювання (77 К). При товщинах, близьких до 2 мкм, характерна тенденція до насичення. Підвищення температури вимірювання, як і для масивних зразків, приводить до зменшення рухливості (рис. 1).

3. Згідно з правилом Маттісена [4,5] в ефективній рухливості, виміряній на експерименті μ_{exp} , можна виділити внески:

$$\frac{1}{\mu_{\text{exp}}} = \frac{1}{\mu_s} + \frac{1}{\mu_r} + \frac{1}{\mu_v}, \quad (1)$$

де μ_s — рухливість носіїв, пов'язана із розсіянням на поверхні (поверхнева); μ_v — рухливість у масивному зразку (об'ємна); μ_r — рухливість, яка враховує розсіяння на дислокаціях невідповідності гетеромежі, міжзеренне розсіяння, розсіяння на дефектах росту (залишкова).

За умови дифузного розсіяння на поверхні поверхневу рухливість можна розрахувати згідно за формулою [5]:

$$\mu_s = \frac{\mu_v}{(1 + \lambda/d)}. \quad (2)$$

Тут λ — середня довжина вільного пробігу. Зауважимо, що для тонких плівок можливі прояви розмірних ефектів — за середньою довжиною вільного пробігу

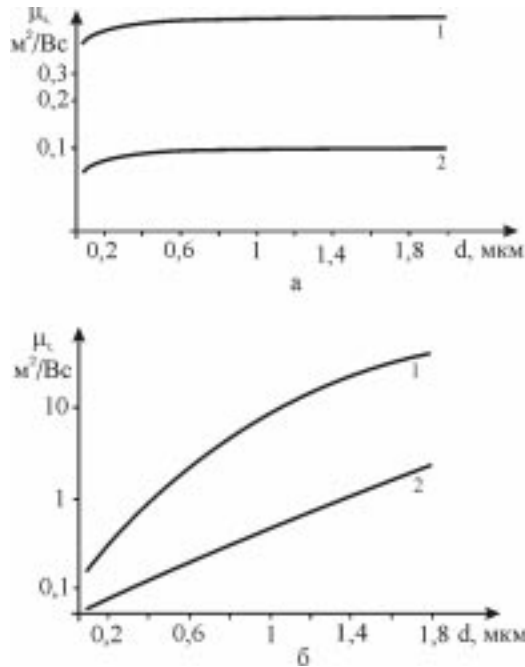


Рис. 2. Залежності поверхневої μ_s (а) і залишкової μ_r (б) рухливості в плівках PbSe від товщини d при температурах 77 (1) і 300 К (2)

і дебаївською довжиною екранування. Для халькогенідів свинцю обидві довжини дорівнюють 25—50 нм [5,7]. Оскільки ця величина значно менша ніж номінальна товщина досліджуваних плівок (0,1 μm), то вплив розмірних явищ на рухливість носіїв заряду малоімовірний.

Розраховані товщинні залежності поверхневої рухливості для плівок при $\lambda = 50$ нм наведено на рис. 2, а. Були розраховані об'ємні рухливості μ_v для монокристалів за методикою роботи [7] з врахуванням розсіяння на екранованому кулонівському і короткодійному потенціалах вакансій, деформаційних потенціалах, на акустичних і оптичних фонах, поляризаційному потенціалі оптичних фононів, а також з врахуванням взаємодії між носіями для різних температур. Отримано такі значення: $\mu_v = 0,103$ та $0,691$ $\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{c})$ для температур 300 та 77 К відповідно.

Залишкову рухливість, розраховану зі співвідношення (1) за відомими значеннями μ_{exp} , μ_s , μ_v , зображено на рис. 2, б. Видно, що із збільшенням товщини плівки у дослідженому інтервалі, вона зростає на два порядки величини.

4. З метою визначення домінуючого механізму розсіяння носіїв заряду ми проаналізували температурну залежність залишкової рухливості $\mu_r(T)$ для плівок різної товщини (рис.3). Температурну залеж-

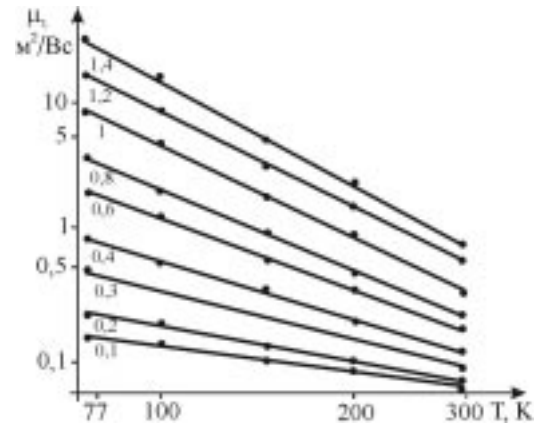


Рис. 3. Залежності залишкової рухливості μ_r від температури T для плівок PbSe різної товщини d (товщину у μm вказано біля кривих)

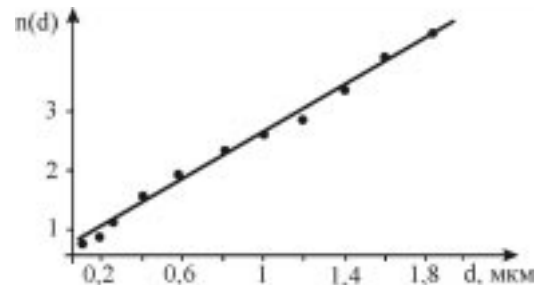


Рис. 4. Залежність показника n температурної залежності рухливості плівок PbSe від їхньої товщини d

ність рухливості для плівок товщиною d можна записати у вигляді [5]

$$\mu_r = \mu_0(d)T^{-n(d)}, \quad (3)$$

де $\mu_0(d)$ — стала величина, яка визначається параметрами матеріалу і залежить від товщини плівки; $n(d)$ — показник, який визначається переважаючим механізмом розсіяння у плівці певної товщини. Для достатньо досконалих плівок халькогенідів свинцю, в яких переважає розсіяння на довгохвильових акустичних фонах, із врахуванням температурної залежності ефективної маси $n \approx 2,5$. В разі поверхневого розсіяння $n \approx 0,5$. Із розсіянням на дефектах росту пов'язують значення параметра $n=0,8$, а із розсіянням на дислокаціях — $1,5 \leq n < 2,0$ [7, 9].

Визначені значення показника n для плівок різної товщини наведено на рис. 4. Виявилось, що залежність $n(d)$ можна апроксимувати прямою лінією з аналітичним виразом

$$n(d) = 0,76 + 1,89d, \quad (4)$$

де d — товщина плівки, виражена в мікрометрах.

Таким чином, механізм розсіяння носіїв струму на дислокаціях ($1,5 \leq n < 2,0$) реалізується у плівках завтовшки $0,4 \text{ мкм} \leq d < 0,6 \text{ мкм}$. Для менших товщин домінуючими є розсіяння на дефектах росту і поверхні, а для більших — на акустичних фононах.

1. *Zemel J.N.* // J. Luminescence. — 1973. — **7**. — Р. 524—541.
2. *Holloway H.* // Physics Thin Films. — 1980. — **11**. — Р. 105—203.
3. *Грин М.* Поверхностные свойства твёрдых тел. — М.: Мир, 1972.
4. *Фреїк Д.М., Никурий Л.І., Межиловська Л.Й. та ін.* // УФЖ. — 2001. — **46**, №10. — С.1083—1086.
5. *Vaya P.R., Majht J., Gopalam B.S.V., Dattatrepan C.* // Phys. status. solidi (a). — 1985. — **87**. — Р.341—350.
6. *Poh K.J., Anderson J.C.* // Thin Solid Films. — 1969. — **3**, N2. — Р.139—165.
7. *Александрова О.А., Бондоков Р.Ц., Саунин Н.В., Таиров Ю.М.* // ФТП. — 1988. — **32**, вып.9. — С. 1064—1068.
8. *Глауберман М.А., Кулініч О.А., Єгоров В.В. та ін.* // Фізика і хімія твердого тіла. — 2004. — **5**, №1. — С. 38—43.
9. *Равич Ю.И., Ефимова Б.А., Смирнова И.А.* Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS. — М.: Наука, 1968.

Одержано 13.12.04,
в остаточному варіанті — 01.03.05

РАССЕЯНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ PbSe

Д.М. Фреїк, В.Ф. Пасичняк, А.Л. Соколов, Б.С. Дзундза

Р е з ю м е

Исследована зависимость подвижности носителей заряда от толщины слоя (0,1 — 2,0) мкм в эпитаксиальных слоях PbSe на сколах слюды при температурах 77 — 300 К. Рассчитаны составляющая подвижности, обусловленная рассеянием на поверхности, и остаточная подвижность. Определены доминирующие механизмы рассеяния носителей заряда в слоях разной толщины.

CURRENT CARRIER SCATTERING IN EPITAXIAL PbSe FILMS

D.M. Freik, V.F. Pasichnyak, O.L. Sokolov, B.S. Dzundza

Physical-Chemical Institute,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
(201, Galytska Str., Ivano-Frankivsk 76000, Ukraine;
e-mail: freik@pu.if.ua)

S u m m a r y

The dependence of the current carrier mobility in the epitaxial PbSe films deposited on the mica substrates on the film thickness within the interval 0.1—2.0 μm and at temperatures 77—300 K has been studied. A contribution to the mobility caused by the current carrier scattering by the surface has been calculated. The residual mobility and the dominating mechanisms of the current carrier scattering at various film thicknesses have been determined.