

$$n = N_c e^{\frac{\mu}{kT}}, \quad p = N_v e^{\frac{\mu + E_g}{kT}}. \quad (22)$$

Висновки. Методом термодинамічних потенціалів розрахована залежність рівноважної концентрації точкових дефектів та вільних носіїв заряду в CdTe від температури відпалу T та тиску пари кадмію P_{Cd} . Розрахунок проведено в припущенні домінування одного виду дефекту: V_{Cd} – у матеріалі, насиченому телуrom, та V_{Te} або Cd_i при насиченні кадмієм. Теоретично розраховані концентрації носіїв струму задовільно узгоджуються з експериментальними даними в широкому інтервалі тисків пари кадмію P_{Cd} та температури відпалу T .

1. Агринская Н.В., Шапкина В.В. Влияние отклонения от стехиометрии на природу мелких акцепторных состояний в кристаллах CdTe // ФТП. – 1988. – Т.22. – С.1248–1251.
2. Фочук П.М., Пашук О.Е., Щербак Л.П. Природа домінуючих точкових дефектів у кристалах CdTe: область насичення Cd // Фізика і хімія твердого тіла. – 2004 – Т.5. – №1. – С.136–141.
3. Кайданов В.И., Немов С.А., Равич Ю.И. Самокомпенсация электрически активных примесей собственными дефектами в полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$ // ФТП. – 1994. – Т.28. – №3. – С.369–393.
4. Румер Ю.Б., Рыбкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – М.: Наука, 1975.
5. Berding M.A. Native defects in CdTe // Phys. rev. – 1999. – V.60. – №12. – P.8943–8950.
6. Nobel D. Phase equilibria and conducting properties of cadmium telluride // J.Phil. Res. Repts. – 1959. – V.14. – P.430–492.
7. Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. – М.: Мир, 1972.
8. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. – М.: Наука, 1985.

Using a method which is based on minimization of thermodynamics potential of crystal as function of concentration of defects, dependence of equilibrium concentration of defects of points and free transmitters of charge is expected in CdTe vid the temperature of annealing of T and pressure of pair of Cadmium P_{Cd} . In theory the concentrations of transmitters of current are expected satisfactorily conform to experimental information in the wide interval of pressures pair of cadmium of P_{Cd} and temperatures of annealing of T .

Key words: thermodynamics potential, defects of points, cadmium telurid.

УДК 621.315.592

ББК 22.371.26

Б.С. Дзундза

ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА В СТРУКТУРАХ НА ОСНОВІ ТОНКИХ ПЛІВОК ТЕЛУРУ

Досліджено залежність холлівської рухливості дірок від товщини, а також механізми їх розсіювання в тонкоплівкових структурах на основі телуру. У рамках моделі Петріца та дифузного розсіювання визначено приповерхневі кінетичні коефіцієнти.

Ключові слова: плівки, телур, розсіювання, модель Петріца.

Вступ. У тонких плівках телуру ($\sim 150 \text{ \AA}$) виконуються умови, коли товщина плівки, довжина вільного пробігу та дебаєвська довжина екранування порівнянні за величиною, тому ефекти поверхневого розсіювання відіграють суттєву роль у явищах переносу. Це приводить до того, що рухливість носіїв поблизу поверхні відрізняється від рухливості носіїв в об'ємі напівпровідника [1]. У наближенні скалярної ефективної маси поверхневе розсіювання залежить від величини поверхневого потенціалу, ступеня дифузності розсіювання та від відношення довжини вільного пробігу до дебаєвської довжини екранування [2].

Мета даної роботи – вивчення впливу поверхні на кінетичні коефіцієнти деяких плівкових структур телуру.

Методика експерименту та результати

Тонкі плівки телуру товщиною від 150 до 1600 \AA отримували методом термічного випаровування у вакуумі на підкладки без попереднього підігріву [4]. Швидкість осадження складала 20 – 30 $\text{ \AA}/\text{с}$.

Вивчалися зразки трьох типів: структура 1 – плівки телуру на склі; структура 2 – плівки телуру на склі з попереднім нанесенням шару оксиду танталу; структура 3 – багатошарові системи $\text{Al-Ta}_2\text{O}_5\text{-Te}$.

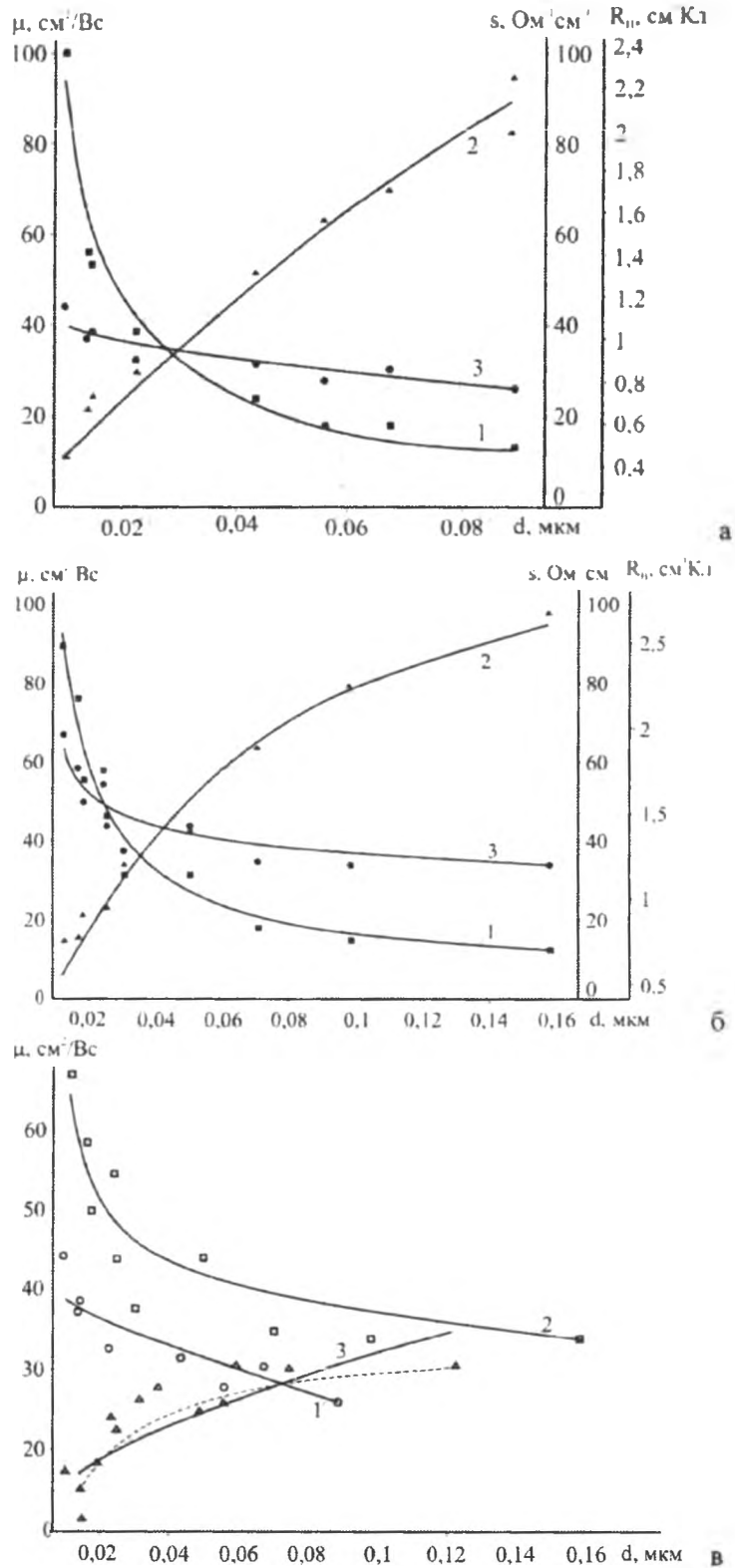


Рис.1. Залежність питомої електропровідності ($\sigma - 1$) коефіцієнта Холла ($R_H - 2$) і рухливості дірок ($\mu - 3$) від товщини плівок телуру для структур: а – телур на склі; б – скло – $\text{Ta}_2\text{O}_5 - \text{Te}$; в – $\text{Al} - \text{Ta}_2\text{O}_5 - \text{Te}$. Точки – експеримент, суцільна лінія – розрахунок за моделлю Петріца, штрихова лінія розрахунок для дифузного розсіювання.

Дослідження рухливості носіїв заряду проводилися методом ефекту Холла в змінному магнітному й електричному полях. На рис.1 представлені результати вимірювань рухливості,

питомої електропровідності, коефіцієнта Холла залежно від товщини плівок телуру, нанесених на скло (рис.1, а), на скло із шаром оксиду танталу (рис.1, б) та для багатшарових структур (рис.1, в). Звертає на себе увагу різний характер залежності рухливості від товщини для структур 1, 2 і структури 3 в ділянці малих товщин плівок телуру.

Для структур 1 і 2 рухливість має тенденцію до збільшення в ділянці малих товщин, що підтверджує дзеркальний механізм розсіювання. Для структури 3 має місце монотонне зменшення рухливості, починаючи з товщин плівок нижче 600 Å, і для товщин 150–200 Å складає приблизно 1/3 від значення рухливості в “товстих” плівках. Це вказує на домінування дифузного розсіювання носіїв струму.

Модель Петріца та розрахунок кінетичних коефіцієнтів

Модель Петріца визначає поверхневу провідність σ_s , коефіцієнт Холла R_s , і товщину приповерхневого шару d_s плівки, розглядаючи поверхню й об’єм як відокремлені фізичні ділянки, які з’єднані паралельно тільки біля контактів (рис.2) [3]. Об’ємним параметрам приписано індекс b . При цьому мається на увазі, що $d = d_s + d_b$. Зв’язок між поверхневими (s) та об’ємними (b) параметрами плівки, а також вимірними значеннями на експерименті (σ , R_H , μ_H , d), як видно із електричної схеми (рис.2), визначається співвідношеннями:

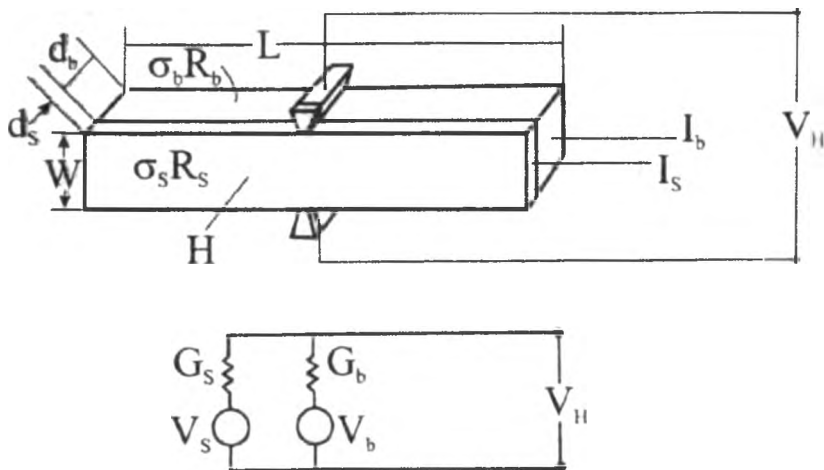


Рис.2. Двошарова модель Петріца та її електричний аналог

$$R_H = \frac{V_H d}{IH} = \frac{(\sigma_s^2 d_s R_s + \sigma_b^2 d_b R_b) d}{(\sigma_s d_s + \sigma_b d_b)^2}, \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}{d},$$

$$\mu_H = \sigma R_H = \frac{\sigma_s^2 d_s R_s + \sigma_b^2 d_b R_b}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}.$$

За відомими об’ємними кінетичними коефіцієнтами (σ_b , R_b , d_b) підбираються поверхневі (σ_s , R_s , d_s) таким чином, щоб одержати найкращий збіг розрахованих значень (σ , R_H , μ_H) з експериментом. За допомогою рівнянь (2) можна визначити надлишок поверхневих зарядів:

$$\Delta Q = \frac{d_s}{e R_s}. \tag{2}$$

Результати залежностей експериментальних, а також розрахованих за моделлю Петріца питомої електропровідності (σ), сталої Холла (R_H) та холлівської рухливості (μ_H) від товщини (d), показані на рис.1. У таблиці подано також значення використаних при розрахунках параметрів поверхневого шару (s) та об’єму (b).

Параметри поверхневого шару (s) та об'єму (b) плівок телуру, використаних при розрахунках моделі Петріца й дифузного розсіювання*

	1	2	3
$\sigma_s, \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	44	57	34
$R_s, \text{ см}^3\text{Кл}$	0,8	0,8	0,6
$d_s, \text{ км}$	0,02	0,02	0,02
$\sigma_b, \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	6,2	6,2	4
$R_b, \text{ см}^3\text{Кл}$	2,6	2,6	9
$\Delta Q, \text{ см}^{-2}$	$1,56 \cdot 10^{13}$	$1,53 \cdot 10^{13}$	$2,08 \cdot 10^{13}$
* $l, \text{ мкм}$	-		0,018
* $\mu_v, \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$	-		35

Аналіз результатів дослідження

Як видно з рис.1, а, б, для структур 1 і 2 має місце добрий збіг експериментальних і розрахункових значень питомої електропровідності та сталої Холла й холлівської рухливості μ_H . Для структури 3 не вдається підібрати значень параметрів, щоб мати добрий збіг одночасно як σ і R_H , так і μ_H (рис.1, в). Виявлену різницю між експериментом і розрахунками холлівської рухливості можна пояснити розмірними ефектами, які значно знижують величину рухливості. У зв'язку з цим товщинна залежність холлівської рухливості плівок для цих структур була розрахована за модельними представленнями дифузного розсіювання носіїв згідно з

$$\mu_b = \frac{\mu}{1 + l_n/d_b} \quad (3)$$

де l_n визначається із співвідношення

$$l_n = \frac{\mu h}{2e} \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Тут n – концентрація носіїв, h – стала Планка.

Виявилось, що вже цей розрахунок дає добре узгодження з експериментальними результатами (рис.1, в – пунктирна крива).

Зауважимо, що якщо величина поверхневого заряду на структурах 1 і 2 має близькі значення, то для структури 3 вона дещо більша, що може бути пов'язано з провідним металевим шаром.

Висновки

1. Досліджено залежність електричних властивостей тонкоплівкових структур телуру від їх товщини.
2. У рамках моделі Петріца визначено кінетичні параметри поверхневого шару плівок телуру.
3. Залежність холлівської рухливості плівок від товщини для структури Al-Ta₂O₅-Te пояснено дифузним механізмом розсіювання носіїв.

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

1. Шалимова К.В., Солдатов В.С., Смотраков А.А. и др. Влияние поверхностного рассеяния на подвижность дырок в тонких пленках теллура // Физика и техника полупроводников. – 1973. – Т.7. – №8. – С.1457–1460.
2. Ravich Yu.I., Efimova B.A., Tamarchenko V.I. Scattering of current carriers and transport phenomena in lead chalcogenides. II. Theory // Phys. stat. sol. (b). – 1971. – Т.43. – №2. – P.453–469.
3. Jensen J.D., Schoolar R.B. Surface charge transport in PbS_xSe_{1-x} and Pb_{1-y}Sn_ySe epitaxial films // J. Vac. Sci. Technol. – 1976. – Т.13. – №4. – P.920–925.

4. Френк Д.М., Галушак М.А., Межиловская Л.И. Физика и технология полупроводниковых пленок. – Львов: Высшая школа, 1988. – 152 с.

The dependence Hall mobility on thickness and also mechanisms of their scattering in thin-film structures on the basis of tellurium are obtain. Under condition of implementation the two-layer and diffusion scattering is determined kinetic factor of near-surface layers of the thin films.

Key words: films, tellurium, scattering, Petritz model.

УДК 546.28, 681.31

ББК 31.233, 32.97

Р.Б. Атаманюк, С.П. Новосядлий

МІНІМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ МЕТОДОМ КРЕМНІЄВОЇ КОМПІЛЯЦІЇ ЗА ЧАСОВО-ЙМОВІРНІСНИМ КРИТЕРІЄМ

Запропоновано вдосконалення методу кремнієвої компіляції через оптимальний покрововий вибір операторів та логічних умов за критеріями часу та ймовірності правильного виконання з дотриманням КТО. Введено поняття достовірних операторів та гарантованих умов. Суть алгоритму оптимізації – у відсіканні на кожному кроці кремнієвої компіляції неперспективних варіантів реалізації операторів та логічних умов.

Ключові слова: кремнієва компіляція, інтегральні схеми, оптимізація, верифікація.

Кремнієва компіляція – це метод автоматичної побудови топології кристала великих інтегральних схем (ВІС).

Кремнієвий компілятор – це генератор топології, тобто сукупність автоматичних перетворень від спеціальних властивостей ВІС до геометричного опису кристала в цілому. Кремнієвий компілятор зорієнтований на використання всіх можливостей технології ВІС, а не лише на такі окремі методи, як, наприклад, декомпозиція, метод вентильних матриць (проекткування базових матричних кристалів), метод стандартних бібліотечних елементів.

Кремнієвий компілятор – це програмна генерація топології мовою ICL – мовою інтегральних схем. Цією мовою створено, як мінімум, два кремнієві компілятори: RELAY, BRISTLE BLOCKS. Кремнієвий компілятор – це САПР ВІС, що задовольняє три умови:

- 1) ієрархічність проекту;
- 2) високий рівень мови вхідного опису проекту;
- 3) застосування параметризованих клітинок замість стандартних.

До переваг методу кремнієвої компіляції відносимо:

1. Скорочення термінів проектування ВІС.
2. Автоматичне дотримання проектних норм самими генераторами топології, так звана “коректність за побудовою”.

3. Можливість залучення до проектування САПР ВІС спеціалістів, які не є конструкторами, оскільки кремнієвий компілятор – це сукупність програмних модулів.

Одним із рівнів, через які проходить проектування ВІС, є алгоритмічний рівень. Кремнієву компіляцію можна подати як алгоритмічний процес. При проектуванні алгоритмічного процесу (АП) кремнієвої компіляції виникають задачі аналізу та синтезу. Позначимо через P імовірність безпомилкового виконання деякого процесу, через T – час його виконання. Суть задачі аналізу – у прогнозуванні показників P і T на основі інформації про структуру АП кремнієвої компіляції.

Суть задачі синтезу – у генерації такого варіанта АП кремнієвої компіляції, при якому б оптимізувалися показники P і T , а саме $P \rightarrow \max$, $T \rightarrow \min$. Насправді P і T суттєво взаємопов’язані. Тоді дана задача розбивається на дві окремі задачі:

- 1) $T \rightarrow \min$, $P > P_{\text{доп}}$,
- 2) $P \rightarrow \max$, $T < T_{\text{доп}}$.

На відміну від методів структурної надійності складних систем, надійність алгоритмічних процесів і кремнієвої компіляції зокрема забезпечується на стадії формування