

РОЗРАХУНОК ОПТИЧНИХ КОНСТАНТ ДЛЯ ТОНКИХ ПЛІВОК As – S З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРІВ ПРОПУСКАННЯ

М.В.Попович^{1, а}, Стронський О.В.²

¹ Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського,
Фізико-технічний інститут

² Інститут фізики напівпровідників ім.В.Є.Лашкарьова НАН України

Анотація

У цій роботі обчислені показники заломлення для тонких плівок As-S для різних стехіометричних складів: As₂₀S₅₀, As₃₃S₆₇, As₃₈S₆₂, за даними спектральних залежностей пропускання з використанням методу Сванпула. Отримані значення коефіцієнта поглинання для плівок As-S та значення оптичної забороненої зони, параметри одноосциляторної моделі.

Ключові слова: Метод Сванпула, спектральні залежності показника заломлення, параметри одноосциляторної моделі, системи As-S

Вступ

Халькогенідні стекла – є типовими представниками неоксидних стекл [1, 2]. Вони мають широкий спектр практичних застосувань у оптиці, оптоелектроніці, технологіях запису та збереження інформації [1, 2]. Знання їх оптичних властивостей корисні для розуміння основних механізмів фотостимульованих процесів і для розрахунків оптичних характеристик складних систем на основі халькогенідного скла.

Коефіцієнт заломлення та коефіцієнт поглинання розраховується з використанням як оптичних спектрів пропускання, так і спектрів відбивання [3, 4]. Простий метод для визначення оптичних констант, який використовує спектри пропускання був запропонований Сванпулом [5]. За його допомогою можна обчислити товщини плівки, значення показника заломлення та коефіцієнт поглинання плівок. Цей метод широко застосовується для обчислення оптичних сталих плівок халькогенідних стекл, одержаних термічним випаровуванням [6, 7].

У даній роботі цей метод буде застосований для отримання значень оптичних сталих для термічно нанесених тонких плівок халькогенідного скла As-S.

1. Опис методу Сванпула

При дослідженні оптичних властивостей плівок часто застосовується проста методика визначення оптичних констант в області слабого поглинання і прозорості з використанням даних вимірювання пропускання. Розглянемо тонку поглинальну плівку на товстій прозорій підкладці, як показано на рис.1.

Плівка має товщину d_2 комплексний показник заломлення $n=n-i k$, де n – показник заломлення, k

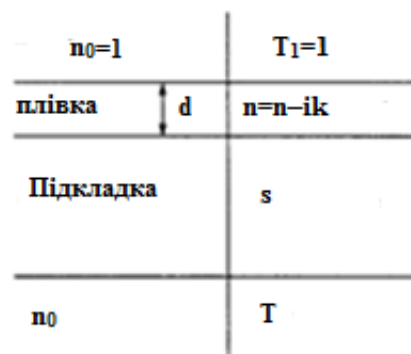


Рис. 1. Тонка поглинальна плівка на товстій прозорій підкладці

– коефіцієнт екстинкції, який зв'язаний з коефіцієнтом поглинання. Спектр пропускання (рис.2,[1]) може бути розділений на чотири області. з В області прозорості і пропускання визначається n і s через багатократні відбивання. Пропускання підкладки при відсутності плівки без урахування інтерференції є складною функцією $T(\lambda, s, n, d, \alpha)$ та обчислюється за добре відомим виразом [1]:

$$T = \frac{A'x}{B' - C'x - D'x^2} \quad (1)$$

де A', B', C', D' – складні функції. Якщо s – відомо, то більш зручно переписати дане рівняння, використовуючи позначення $n(\lambda)$ і $k(\lambda)$, у вигляді залежності $T=T(n, x)$ і покласти $k=0$. [1]

$$T = \frac{Ax}{B - Cx \cos(\varphi) + Dx^2} \quad (2)$$

де $A = 16n^2s, B = (n+1)^3(n+s^2), C = 2(n^2-1)(n^2-s^2), D = (n-1)^3(n-s^2), \varphi = 4\pi nd/(\lambda), x =$

^аNiva94@ukr.net

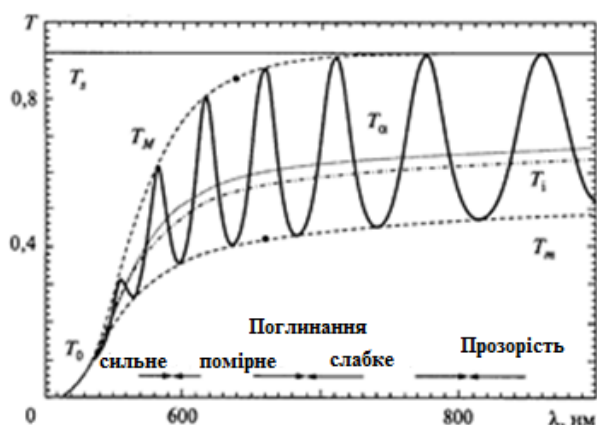


Рис. 2. Спектр пропускання T тонкої поглинальної плівки на товстій прозорій підкладці [1]

$\exp(-\alpha d)$, $\alpha = 4\pi k/\lambda$. Екстремуми інтерференційних смуг можуть бути записані у виді [1]:

$$T_M = \frac{Ax}{B - Cx + Dx^2} \quad (3)$$

$$T_m = \frac{Ax}{B + Cx + Dx^2} \quad (4)$$

1.1. Обчислення показника заломлення

За методом Сванпула значення показника заломлення для сильного та помірного поглинання обчислюється наступним чином [1]:

$$n_1 = [N_1 + (N_1^2 - s^2)^{\frac{1}{2}}] \quad (5)$$

де

$$N_1 = 2s * \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2} \quad (6)$$

де T_M, T_m максимум, мінімум спектра пропускання на певній довжині хвилі. З іншої сторони необхідно знати значення показника заломлення підкладки, який отримано з спектру пропускання T_s , що обрховується із рівняння [1]:

$$s = \frac{1}{T_s} + \left(\frac{1}{T_s} + 1\right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Після обчислення значення показника заломлення n_1 з нашого рівняння (7), це буде наше перше початкове наближення (оцінка), після цього обчислюється d_1 :

$$d_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_1 - \lambda_2 n_2)} \quad (8)$$

де n_1, n_2 – показники заломлення для двох сусідніх максимумів чи мінімумів у $\lambda_1 i \lambda_2$. Дисперсія дійсної частини комплексної діелектричної проникності плівок As-S в області прозорості добре описується одноосциляторною моделлю, яка описується ф-лою Вемпла Ді-Доменіко [1]

$$n^2 = 1 + \frac{E_d E_0}{E_0^2 - E^2} \quad (9)$$

де $E = h\nu$ – енергія фотона; E_0 і E_d – параметри одноосциляторної моделі

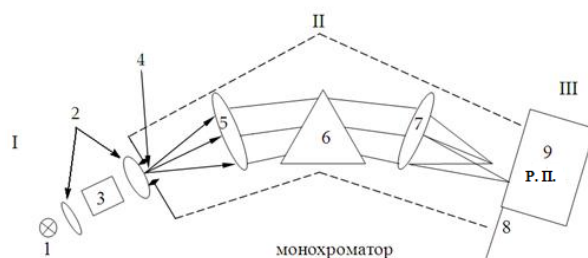


Рис. 3. Схема спектрального пристрою

В цьому виразі E_0 визначає положення ефективно-го осцилятора, зв'язаного з середньою енергетичною щільною. E_d – дисперсійна енергія, характеризуюча силу міжзонних переходів. Формула була успішно використана для аналізу результатів вимірювань дисперсійних даних більш чим в 100 різних матеріалах, як ковалентних так і іонних, кристалічних і аморфних. Апроксимація одноосциляторної моделі до низькоенергетичної границі дає значення $\varepsilon(0)$ – оптичну діелектричну проникність. Згідно, формули $\varepsilon(0)$ визначається [1]:

$$\varepsilon(0) = n^2(0) = 1 + E_d/E_0 \quad (10)$$

Спектральна залежність коефіцієнта поглинання α , яка спостерігається при більш високих значеннях коефіцієнта поглинання (так звана формула Тауца) [1]

$$\alpha h\nu = C(h\nu - E_g)^2 \quad (11)$$

2. Експеримент

Спектри пропускання для зразків $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$ були отримані на спектрофотометрі Jasco-570. Оптичне пропускання плівок As-S та систем вимірювали при нормальному падінні в діапазоні 0,3÷2,5 мкм при кімнатній температурі. Товщина плівок складала від 500 нм-3,5 мкм.

Принципова схема використаного спектрального приладу представлена на рис.3 складається із трьох частин: освітлювальної – I, спектральної(оптичної) – II, і реєструючої частини – III. В освітлювальну частину входить джерело світла – 1 і конденсорні лінзи або дзеркала – 2 що рівномірно освітлюють вхідну щільну приладу – 4. В кюветі – 3 установлюється реєструюче середовище. Спектральна частина монохроматора містить вхідний об'єктив 5 і дисперсійну систему – 6, вихідний об'єктив – 7. В фокальній площині 8 установлюється реєструючий пристрій – 9.

3. Результати і обговорення

Спектральні залежності пропускання плівок $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$ показані на рис. 4.

Значення оптичних сталих плівок були обчислені з використанням методу Сванпула з використанням спектральних залежностей пропускання. Спектральні залежності показника заломлення для зразків $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$ показані на рис.5.

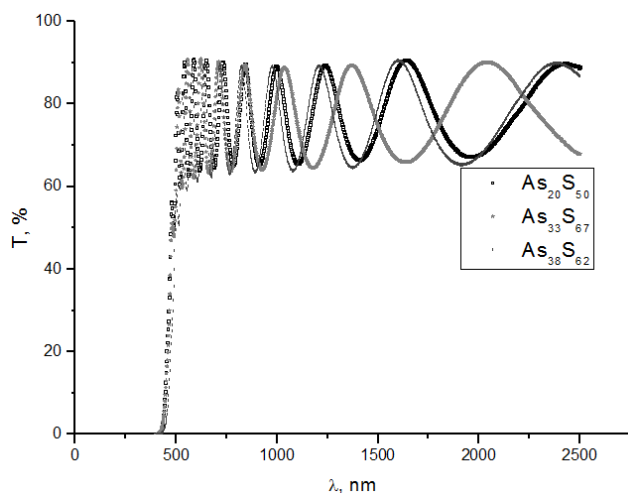


Рис. 4. Спектри пропускання тонких поглинальних плівок на товстій прозорій підкладці

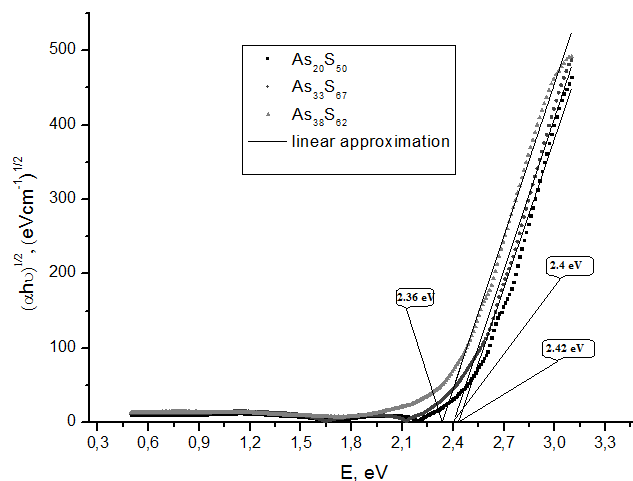


Рис. 6. Залежність краю оптичного поглинання $(\alpha h\nu)^{1/2}$ від енергії фотонів для систем As-S

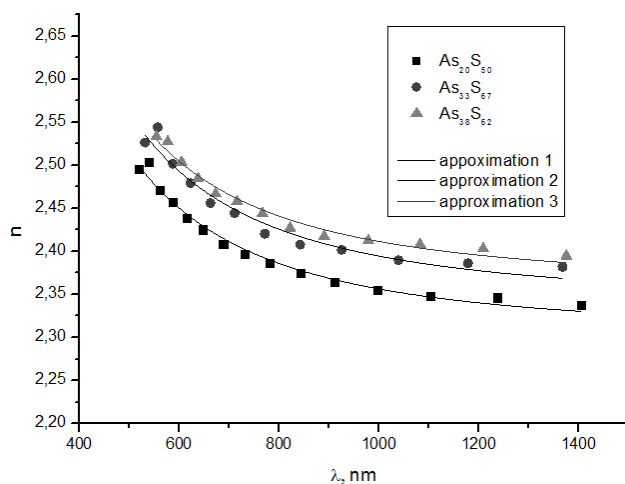


Рис. 5. Спектральні залежності показників заломлення для систем As-S

Використовуючи залежність Тауца для коефіцієнта поглинання α , (див.рис.6) по перетину з віссю x були отримані значення величини оптичної забороненої зони.

Описана одноосциляторна апроксимаційна модель (ф-ла Вемпла Ді-Доменіко (11). Будуючи залежності $(n^2 - 1)^{-1}(E^2)$, після лінійної апроксимації залежностей (рис.7) знайдено параметри одноосциляторних моделей $E_d, E_0, n(0)$ для $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$.

Висновки

З використанням методу Сванпула з даних пропускання отримані спектральні залежності показників заломлення для тонких плівок $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$.

Були обчислені товщини плівок $As_{20}S_{50}$, $As_{33}S_{67}$, $As_{38}S_{62}$, які складали: для $As_{20}S_{50}$ – 1087 нм, $As_{33}S_{67}$ – 962 нм, а, $As_{38}S_{62}$ – 1038 нм.

Для досліджених плівок знайдено значення ширин оптичних заборонених зон: для $As_{20}S_{50}$ -2.42eV, $As_{33}S_{67}$ -2.4 eV, $As_{38}S_{62}$ -2.36 eV.

Параметри одноосциляторної моделі: $As_{20}S_{50}$ – $E_d = 24,72eV, E_0 = 5.69eV, n(0) = 2.31$, $As_{33}S_{67}$ –

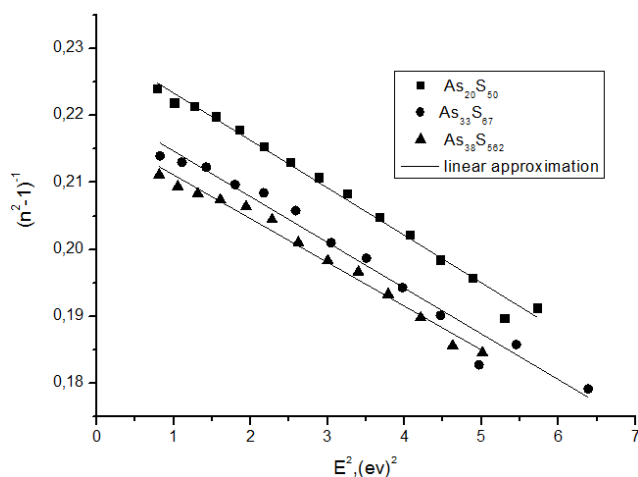


Рис. 7. Залежність $(n^2 - 1)^{-1}$ від E^2 для систем As-S

$E_d = 25.72eV, E_0 = 5.7eV, n(0) = 2.35$, $As_{38}S_{62}$ – $E_d = 26.51eV, E_0 = 5.77eV, n(0) = 2.37$.

Перелік використаних джерел

1. Венгер Е.Ф. Мельничук А.В. Стронский А.В. Фотостимулированные процессы в халькогенидных стеклообразных полупроводниках и их практическое применение// Киев, Академперіодика,. – 2007.
2. Chalcogenide glassy semiconductors. Properties and practical applications//Nizhyn / A, E Stronski, O Venger и др. – 2016.
3. J, Szczyrbowski A, Czaplа. Thin Solid Films 46 127. – 1977.
4. L, Vriens W, Rippens. Appl. Opt. 22 4105. – 1983.
5. R, Swanepoel. , J. Phys. E 16 1214. – 1983.
6. J.Phys. / E, J Marquez, P Ramirez-Malo et al. – 1992. – Vol. 25. – P. 535.
7. M, M A Hamman, W H Harith, Solid State Commun Osman. – 1986. – P. 271.