

ЗАЛЕЖНІСТЬ ШИРИНИ ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ ВІД СКЛАДУ ТВЕРДОГО РОЗЧИНУ $Cd_{1-x}Mn_xTe$

Визначено композиційну залежність ширини забороненої зони твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ в області складу $0 \leq x \leq 0,1$ на основі результатів вивчення спектрів пропускання в області краю оптичного поглинання.

It has been determined the compositional dependence of forbidden band width of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ solid solution in $0 \leq x \leq 0,1$ composition region based on the results of studing of transmission spectrum in the region of optical absorption edge.

На даний час залежність ширини забороненої зони $E_g(x)$ для напівпровідникового твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ досліджена неповністю. На основі опублікованих даних [1,2] можна зробити висновок про те, що залежність $E_g(x)$ у межах $0 \leq x \leq 0,5$ є лінійною:

$$E_g(x) = 1,585 + 1,51x \quad (1)$$

При цьому відзначимо, що емпірична формула (1) була отримана у дослідях по вивченню екситонних спектрів відбивання твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ при температурі рідкого гелію 4,2К. У роботі [3] на основі досліджень електричних і люмінесцентних властивостей даного твердого розчину при температурі 77К наведена залежність $E_g(x) = 1,58(1 + 0,92x)$ еВ. У нашій роботі залежність $E_g(x)$ визначена при кімнатній температурі.

Відома і використовується на практиці достатньо велика кількість методів визначення ширини забороненої зони. Із них більш детально розглянемо метод ізоабсорбційних кривих [4]. За величину ширини забороненої зони приймається енергія, яка відповідає деякому значенню коефіцієнта поглинання α^* . Експериментальні дослідження вказують на те, що значення $h\nu$, при якому $\alpha^* = 1000 \text{ см}^{-1}$, достатньо точно може бути прийняте за ширину забороненої зони.

В якості вимірювального приладу нами використовувався спектральний обчислювальний комплекс КСВУ-3. Зразки для досліджень вирізались із злитків $Cd_{1-x}Mn_xTe$, отриманих методом Бріджмена. Поверхня зразків піддавалась механічній обробці: шліфуванню та "оптичному" поліруванню. Для вимірювань вибиралися зразки

з різним складом: $x = 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1$.

При обчисленні спектральної залежності коефіцієнта поглинання $\alpha(h\nu)$ необхідна інформація про коефіцієнт відбивання $R(h\nu)$ в інтервалі значень $h\nu$, для яких проводиться визначення $\alpha(h\nu)$. Як показали обчислення, виконані на основі реально існуючої залежності $R(h\nu)$ для CdTe, заміна $R(h\nu)$ на $R(h\nu) = \text{const} = R_0$ (R_0 – значення коефіцієнта відбивання в області прозорості) приводить до незначної (<3%) відносної похибки при визначенні $\alpha(h\nu)$. Це виправдовує заміну функції $R(h\nu)$ на $R_0 = 0,217$ – значення коефіцієнта R , відоме з експерименту. Знаючи пропускання випромінювання T , коефіцієнт відбивання R , товщину зразка d , обчислюємо коефіцієнт поглинання α за формулою

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left\{ \frac{(1-R^2)}{2T} + \sqrt{\left(\frac{1-R^2}{2T} \right)^2 + R^2} \right\} \quad (2)$$

Аналізуючи формулу (2) для обчислення коефіцієнта α бачимо, що зміна пропускання в 10^3 разів відповідає зміні α всього у 6 разів, тому для дослідження поглинання у широкому інтервалі необхідний набір зразків з одного матеріалу і з різною товщиною d . У наших дослідях це здійснювали шляхом послідовного шліфування зразків до товщини, що задовольняє $0,5 \leq \alpha d \leq 2 \div 3$, та перекриттям окремих ділянок залежності $\alpha(h\nu)$ [5].

У результаті проведених вимірювань $T(h\nu)$, обчислень та подальшої обробки даних методом парабол одержані шукані спектральні залежності $\ln \alpha(h\nu)$ для $Cd_{1-x}Mn_xTe$. На рис.1 чітко проглядається зсув $\ln \alpha(h\nu)$ у бік більших енергій зі збільшенням складу x твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$.

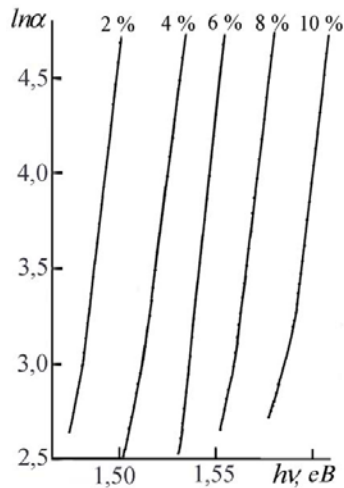


Рис.1. Спектральна залежність коефіцієнта поглинання $\ln \alpha$ твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x=0,02 \div 0,1$).

Таблиця 1. Залежність коефіцієнта кореляції Υ від складу твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$.

x	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Υ	0,995	0,995	0,998	0,998	0,998

Таблиця 2. Залежність параметра Урбаха S від складу твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$.

x	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
S	98	81	121	89	103

Щоб визначити степінь наближення статистичного зв'язку $\ln \alpha$ й $h\nu$ до лінійно функціонального, що підтверджувало б справедливості критерію Урбаха, визначаємо коефіцієнт кореляції Υ для кожного складу (таблиця.1). Наведені у таблиці 1. значення Υ свідчать про наявність лінійного функціонального зв'язку та можливість застосування методу ізоабсорбційних кривих для визначення ширини забороненої зони твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$.

Визначимо параметри функціональної залежності $\ln \alpha$ від $h\nu$, апроксимуючи експериментальні криві прямими $\ln \alpha = a + S \cdot h\nu$, використовуючи метод найменших квадратів. Розв'язавши систему рівнянь для параметра Урбаха S , одержуємо величини, наведені в таблиці 2.

Визначимо ширину забороненої зони для кожного складу. Згідно з правилом Урбаха

$$\ln \alpha = (\ln \alpha_0 - SE_0) + S \cdot h\nu = a + S \cdot h\nu,$$

де $a = \ln \alpha_0 - SE_0$.

Щоб визначити величину енергії у точці, що відповідає $a^* = 1000 \text{ cm}^{-1}$, складаємо таку систему рівнянь

$$\begin{cases} \ln \alpha = a + S h\nu \\ \ln \alpha^* = a + SE_0. \end{cases} \quad (3)$$

Її розв'язок і дасть шукану величину

$$E_0 = \frac{\ln \alpha^* - a}{S} = \frac{\ln \alpha^* - \ln \alpha + S h\nu}{S}. \quad (4)$$

Підставивши дані по кожному значенню x твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$, одержуємо такі значення ширини забороненої зони:

$$E_g(0,02) = \frac{6,91 - 3,9507 + 98,57 \cdot 1,49}{98,57} = 1,52 \text{ eV},$$

$$E_g(0,04) = \frac{6,92 - 3,9874 + 81,18 \cdot 1,49}{81,18} = 1,573 \text{ eV},$$

$$E_g(0,06) = \frac{6,91 - 4,061 + 121,7 \cdot 1,547}{121,70} = 1,570 \text{ eV},$$

$$E_g(0,08) = \frac{6,91 - 4,055 + 89,86 \cdot 1,572}{89,86} = 1,604 \text{ eV},$$

$$E_g(0,10) = \frac{6,91 - 4,046 + 103,06 \cdot 1,598}{103,06} = 1,626 \text{ eV}.$$

Розв'язуючи систему рівнянь, отримуємо шукану залежність

$$E_g(x) = 1,49 + 1,32x.$$

Підтвердженням лінійності функціональної залежності ширини забороненої зони від складу твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ є той факт, що коефіцієнт кореляції Υ близький до 1 ($\Upsilon = 0,992$).

Отже, проведені дослідження узгоджуються з раніше опублікованими результатами [1,2,3] і підтверджують існування лінійної залежності ширини забороненої зони від складу твердого розчину $Cd_{1-x}Mn_xTe$ в області $0 \leq x \leq 0,1$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берченко Н.Н., Кревс В.Е., Середин В.Г. Полупроводниковые твердые растворы и их применение. - М.: Воениздат, 1982.
2. Chen C., Wang X., Lin F., Galarzka R. Study of the fundamental absorption edge of $Cd_{1-x}Mn_xTe$ // Chin. J. Infrared Phys. - 1987. - А6. - No.52. - P.359-362.
3. Власенко А.И., Бабенцов В.Н., Власенко З.К., Свечников С.В., Раренко И.М., Захарук З.И., Никонюк Е.С., Шляховый В.Л. Акцепторы в $Cd_{1-x}Mn_xTe$ ($x < 0,1$) // ФТП. - 1997. - 31. - №8. - С.1017-1020.
4. Замятин В.И. О возможности определения ширины запрещенной зоны из спектров поглощения и модулированного поглощения в полярных материалах // ФТП. - 1988. - 33. - №7. - С.2167-2172.
5. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. - М.: Наука, 1977.