

ДОМІНУЮЧІ МЕХАНІЗМИ РОЗСІЯННЯ ЕЛЕКТРОНІВ У КРИСТАЛАХ $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$

На основі спектрів поглинання електромагнітних хвиль вільними носіями заряду, досліджених в інтервалі $T \sim 100\text{-}300$ К, встановлено, що для кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,05 \leq x \leq 0,25$) в області температур $T < \theta_D$, найбільш ймовірно, домінує розсіяння електронів на п'єзоакустичних фонах, а при $T > \theta_D$ – переважає розсіяння на полярних оптичних фонах. Для кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,32 \leq x \leq 0,385$), які володіють великою концентрацією електронів $N \sim 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (а значить і іонізованих домішок), при $T \sim 290$ К, найбільш ймовірно, домінує розсіяння електронів на іонах домішок.

On the base of absorption of electromagnetic waves spectrum by free charge carriers investigated in temperature range of $T = 100\text{-}300$ K it has been determined that for $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,05 \leq x \leq 0,25$) crystals when temperature is $T < \theta_D$ most probably electron scattering on the piezoacoustic phonons dominates and at $T > \theta_D$ the scattering on the polar optical phonons dominates. For $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,32 \leq x \leq 0,385$) crystals having high electron concentration of $N \sim 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ (that means also the concentration of ionized impurities) at $T \sim 290$ K the electron scattering on impurity ions dominates.

Вступ

Класична теорія на основі моделі ідеального електронного газу Друде-Лоренца дає формулу для коефіцієнта оптичного поглинання вільними носіями заряду у вигляді [1]:

$$\alpha(\lambda) = \frac{Ne^2\lambda^2}{m^* 8\pi^2 nc^3 \tau(k)}, \quad (1)$$

де N – концентрація носіїв заряду, λ – довжина хвилі фотонів, що поглинаються, m^* – ефективна маса носіїв заряду, n – показник заломлення світла в середовищі кристала, c – швидкість світла, $\tau(k)$ – час релаксації носіїв заряду, який визначається діючими механізмами розсіяння.

З (1) випливає, що поглинання вільними носіями заряду росте як квадрат довжини хвилі поглинених фотонів, що відповідає обернено пропорційній залежності від квадрата частоти. Більш точне квантово механічне врахування конкретних механізмів розсіяння дає такі залежності коефіцієнта поглинання вільними носіями від довжини хвилі фотонів, які поглинаються [1]:

$\alpha(\lambda) \sim \lambda^{3/2}$ – для розсіяння на акустичних фонах;
 $\alpha(\lambda) \sim \lambda^{5/2}$ – для розсіяння на оптичних фонах (згідно з [2] – для розсіяння на полярних оптичних фонах, а ще точніше, згідно з [3] – на полярних

оптичних фонах (при високих температурах $k_B T \gg \hbar\omega_0$) або п'єзоакустичних фонах (оскільки параметр розсіяння для цих випадків однаковий));
 $\alpha(\lambda) \sim \lambda^3$ або $\lambda^{7/2}$ при розсіянні на іонах домішок.

У загальному випадку реалізуються всі механізми розсіяння і коефіцієнт поглинання є сумою:

$$\alpha(\lambda) = \sum \alpha_i(\lambda) = C_1 \lambda^{3/2} + C_2 \lambda^{5/2} + C_3 \lambda^{7/2}. \quad (2)$$

В залежності від концентрації домішок, температури і переважаючого типу коливань ґратки буде домінувати той чи інший механізм розсіяння.

Результати досліджень та їх обговорення

Тверді розчини заміщення $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$, оптичні властивості яких частково висвітлені в [4-6], це – напівпровідники зі змінною, в залежності від складу, шириною забороненої зони E_g , і належать до напівмагнітних напівпровідників.

Дослідження коефіцієнта пропускання кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,05 \leq x \leq 0,385$) проведено в інтервалі температур $100\text{-}300$ К на спектрометрі ИКС-21. Спектральні залежності коефіцієнта пропускання за формулою:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{(1-R)^2}{2t} + \sqrt{\frac{(1-R)^4}{4t^2} + R^2} \right] \quad (3)$$

перерахували в спектральні залежності коефіцієнта поглинання $\alpha=f(\lambda)$ (коефіцієнт відбивання $R\sim 30\%$), на основі яких одержали залежності $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$ (типові зображені на рис. 1).

За тангенсом кута нахилу довгохвильової ділянки залежності $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$, зумовленої поглинанням електромагнітних хвиль вільними носіями заряду, визначили показник степеня r (оскільки $\lg\alpha\sim r\lg\lambda$, то $r\sim \lg\alpha/\lg\lambda$). Значення r для різних складів і температур наведені в таблиці 1.

Із таблиці 1 випливає, що для складів ($0,05\leq x\leq 0,25$) параметр ($2\leq r\leq 2,5$), а це відповідає при $T>\theta_D$ ($\theta_D\sim 225$ К) домінуванню розсіяння електронів на полярних оптичних фононах, а при $T<\theta_D$ – домінуванню розсіяння електронів на п'єзоакустичних фононах. Такі висновки зроблені на основі того, що, згідно з [3] в п'єзоапіпровідниках (до яких належать і досліджувані тверді розчини $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$) при високих температурах розсіяння на полярних оптичних фононах відіграє домінуючу роль, а при низьких температурах розсіяння на п'єзоакустичних фононах переважає над розсіянням на полярних оптичних фононах.

Для ($0,32\leq x\leq 0,385$) при $T\sim 290$ К параметр ($3,2\leq r\leq 3,5$), що відповідає домінуванню розсіяння електронів на іонах домішок (у зразках цих складів велика концентрація електронів $N\sim 5\cdot 10^{18}$ см^{-3} , а значить, і іонізованих атомів).

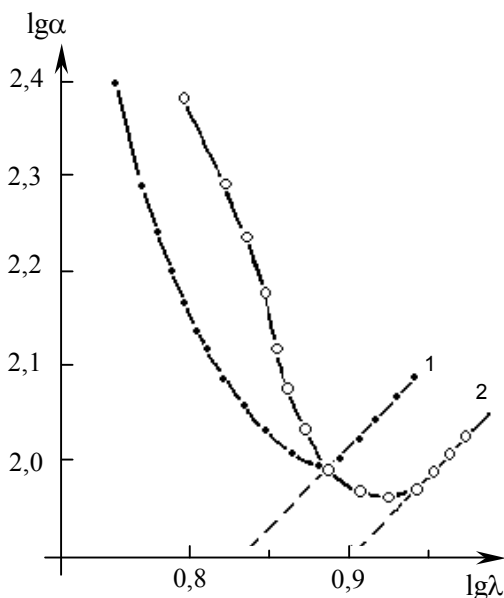


Рис. 1. Залежність $\lg\alpha$ від $\lg\lambda$ для $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0,05$), де α [см^{-1}], λ [$\mu\text{км}$], $T\approx 290$ К (1), $T\approx 110$ К (2).

Таблиця 1. Залежність "r" від складу і температури.

x	T~290 К	T~270 К	T~110 К
0,05	2,0	2,1	2,1
0,05	2,5	–	–
0,25	2,0	–	–
0,32	3,5	–	–
0,385	3,2	–	–

Висновки

1. Для кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,05\leq x\leq 0,25$) в області температур $T<\theta_D$, найімовірно, домінує розсіяння електронів на п'єзоакустичних фононах, а при $T>\theta_D$ – домінує розсіяння на полярних оптичних фононах.

2. Для кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($0,32\leq x\leq 0,385$) з $N\sim 5\cdot 10^{18}$ см^{-3} при $T\sim 290$ К, найбільш ймовірно, домінує розсіяння електронів на іонах домішок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбачев В.В., Спицына Л.Г. Физика полупроводников и металлов. - Москва: Металлургия, 1976.
2. Маделунг О. Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп. - М.: Мир, 1967.
3. Аскеров Б.М. Электронные явления в полупроводниках. - М.: Наука, 1985.
4. Гавалешко Н.П., Мар'янчук П.Д., Солончук Л.С., Юрценюк Р.Н. Температурная зависимость величины оптической запрещенной зоны $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ // Изв. АН СССР. Неорган. матер. - 1987. - **23**, №9. - С.1563-1565.
5. Гавалешко Н.П., Мар'янчук П.Д., Антощук В.Г. Спектры отражения монокристаллов $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ // Изв. вузов. Физика - 1992. - **35**, №10. - С.127-128.
6. Гавалешко Н.П., Мар'янчук П.Д., Юрценюк Р.Н. Температурный коэффициент ширины оптической запрещенной зоны $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ // Изв. вузов. Физика - 1993. - **36**, №2. - С.120-121.