

ВПЛИВ ТЕРМООБРОБКИ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$

П. Д. Мар'янчук, Г. О. Андрущак

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, 58012, Чернівці, Україна*

(Отримано 11 квітня 2007 р.; в остаточному вигляді — 13 березня 2008 р.)

Досліджено магнітні, кінетичні й оптичні властивості та зонну структуру кристалів $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($0.02 \leq x_M \leq 0.04$; $z = 0.01$) в інтервалі температур $T \approx 77\text{--}300\text{ K}$ і магнітних полів $H \approx 0.5\text{--}6\text{ кЕ}$. Установлено, що термообробка зразків у парах ртуті й селену приводить до збільшення магнітної сприйнятливості $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ і зменшення рухливості електронів. Прямі міжзонні оптичні переходи в кристалах $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ відбуваються між зонами важких дірок і провідності.

Ключові слова: напівмагнітний, напівпровідник, кристал, кластер, електропровідність, магнітна сприйнятливість.

PACS number(s): 71.55.Gs; 74.25.Ha; 74.25.Gz; 71.20.-b

I. ВСТУП

Марганцевмісні тверді розчини на основі $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$ належать до нового класу напівпровідникових кристалів — напівмагнітних напівпровідників [1]. Результати, які відомі на цю пору, свідчать про те, що ці кристали, напевне, є найцікавішою для досліджень групою твердих тіл. Останніми роками велике зацікавлення викликала нова група напівмагнітних напівпровідників, у яких магнітним йоном є не марганець, а залізо, $A_{1-x}^{\text{II}}\text{Fe}_x B^{\text{VI}}$ [1]. Досі всесторонньо вивчений лише один, але, можливо, найцікавіший представник цієї групи — $\text{Hg}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Se}$ [2]. Особливо цікавими (як з погляду фундаментальних досліджень, так і можливостей практичного використання) є напівмагнітні тверді розчини на основі халькогенідів ртуті [3,4].

Метою нашої роботи було вивчення впливу термообробки на магнітні, кінетичні, оптичні властивості $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($0.02 \leq (x+y) \leq 0.04$; $z = 0.01$) та встановлення на їхній основі магнітних і зонних параметрів кристалів.

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Кристали $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($0.02 \leq (x+y) \leq 0.04$), які ми одержали методом Бріджмена, мають n -тип провідності й концентрацію електронів $n \sim 6 \cdot 10^{18}\text{ см}^{-3}$.

Виміряно магнітну сприйнятливість (χ) $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ методом Фарадея в інтервалі температур $T \approx 77\text{--}300\text{ K}$ при $H \approx 0.25\text{--}4\text{ кЕ}$ (розмір зразків $\sim 8 \times 2 \times 2$ (мм³)). Похибка у вимірюванні значень χ не перевищувала 1%.

Вимірювали електропровідність, коефіцієнт Голла, термо-е.р.с. кристалів на постійному струмі в інтервалі $T = 77\text{--}300\text{ K}$ і магнітних полів $H = 0.5\text{--}6\text{ кЕ}$.

Досліджували спектри пропускання (поглинання) кристалів напівмагнітних напівпровідникових твер-

дих розчинів $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($x+y = 0.03$; $z = 0.01$) на спектрометрі ИКС-21 при $T \approx 300\text{ K}$.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Із температурних залежностей магнітної сприйнятливості кристалів $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ (із різним умістом атомів Mn і Fe, ($0.02 \leq (x+y) \leq 0.04$)), одержаних до і після термообробки в парах ртуті й селену, виходить, що з пониженням температури магнітна сприйнятливість парамагнітних зразків зростає. Це можна пояснити зменшенням розорієнтовуючої дії теплових коливань (енергія $k_B T$) на орієнтації магнітних моментів атомів Mn і Fe в напрямку магнітного поля зі зниженням температури. При цьому кількість магнітних моментів атомів Mn і Fe, орієнтованих у напрямку поля зростатиме, що приведе до зростання парамагнітного внеску (χ_d) в χ кристала. Магнітна сприйнятливість парамагнітних кристалів також збільшується зі зростанням умісту Mn і Fe в зразках.

На рис. 1 для зразків $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ наведені температурні залежності оберненої магнітної сприйнятливості ($1/\chi_d = 1/(\chi_{\text{Mn}} + \chi_{\text{Fe}})$) $3d$ -електронів атомів марганцю й заліза (магнітної компоненти)

$$\chi_d^{-1} = (\chi - \chi_0)^{-1}; \quad (1)$$

де χ — виміряні значення магнітної сприйнятливості; χ_0 — діамагнітний внесок кристалічної ґратки, створений атомами Hg, Se, S, та атомами Fe і Mn (без внеску $3d$ — електронів). Проведені оцінки показали, що величина $\chi_0 \approx \chi_{\text{ґрат.}}^{\text{діа.}}(\text{HgSe}) = -0.335 \times 10^{-6}\text{ см}^3/\text{г}$. Внеском носіїв заряду в χ кристала нехтували. Установлено, що на експериментальних залежностях $1/\chi_d = f(T)$ є злами і ці залежності складаються з декількох прямолінійних ділянок різного нахилу, які описуються законом Кюрі-Вейсса:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta}; \quad (2)$$

де θ — парамагнітна температура Кюрі, яку одержуємо екстраполяцією залежності χ_d^{-1} до перетину з віссю температур; C — стала Кюрі:

$$C = \frac{(x+y)N_0g^2S(S+1)\mu_B^2}{3k_B M_0}, \quad (3)$$

де N_0 — число Авогадро; M_0 — молярна маса; $(x+y)$ — уміст магнітних іонів Mn та Fe; μ_B — магнетон Бора. Ураховуючи те, що атомів марганцю завантажувалося набагато більше ніж заліза, то S і g використовували в розрахунках, як для атомів Mn: $S = 5/2$ — спин і $g = 2$ (g — фактор іонів марганцю).

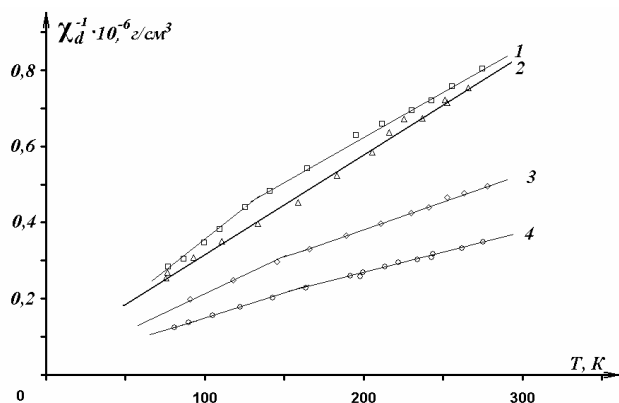


Рис. 1. Температурна залежність χ_d^{-1} для $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$: 1 — до відпау ($x_M = 0.02$), 2 — після відпау в парах Se ($x_M = 0.02$), 3 — до відпау ($x_M = 0.04$), 4 — після відпау в парах Hg ($x_M = 0.04$).

Парамагнітна температура Кюрі (θ) для прямолінійних ділянок $1/\chi_d = f(T)$ від'ємна, що вказує на наявність в кристалах $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$ обмінної взаємодії антиферомагнітного характеру.

В таблиці 1 наведені параметри, які визначені на основі одержаних залежностей $1/\chi_d = f(T)$ для зразків $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$, а саме: вміст магнітної компоненти $x_M = (x+y)$ (одержаний на основі “усереднених” високотемпературних ділянок $1/\chi_d = f(T)$ при $T \sim 300$ К), парамагнітна температура Кюрі (θ), температура зламу (T_C), значення ефективного магнітного моменту атомів з незаповненою d -підоболонкою ($\mu_{\text{еф}}$). Для даного $x_M = x+y$ нижній рядок параметрів належить до більш високотемпературної ділянки залежності $1/\chi_d = f(T)$.

Причиною зламів на залежностях $1/\chi_d = f(T)$ може бути наявність у кристалах $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$ кластерів, а точніше — їх перехід із магнітовпорядкованого в парамагнітний стан при T_C .

Тому для інтерпретації результатів скористаємося моделлю, яка була обґрунтована в [5–7] для $Hg_{1-x}Mn_xSe$. Із цієї моделі випливає, що в $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$ можуть утворюватися кластери з атомів марганцю або заліза, які займають близькорозташовані вузли в підґратці ртуті. У цих кластерах антиферомагнітна взаємодія проявляється

слабше або сильніше залежно від розмірів кластерів і температури.

Із таблиці 1 видно збільшення значень θ зі зростанням вмісту Mn і Fe в зразках, яке вказує на збільшення розмірів кластерів зі зростанням x_M , але значення θ і T_C для всіх досліджених зразків не досягають значень θ і T_N (температура переходу із антиферомагнітного в парамагнітний стан антиферомагнетиків — температура Нейля) ні для однієї з можливих фаз: MnS_2 ($T_N = 60$ К, $\theta = -592$ К), MnS ($T_N = 155$ К, $\theta = -982$ К), $MnSe$ ($T_N = 223$ К, $\theta = -372$ К), Mn ($T_N = 100$ К) (фаза MnO з $T_N = 120$ К, або відповідній кластери менш ймовірні, ніж ті, що розглядалися), що може свідчити про відсутність у зразках включень других фаз.

Отже, за злами на залежностях $1/\chi_d = f(T)$ відповідають кластери різних типів і розмірів. Як видно із таблиці 1, злами на залежностях $1/\chi_d = f(T)$ є при таких $T = T_C$, при яких усі можливі включення фаз (а надто відповідні їм кластери), крім $MnSe$, перебувають у парамагнітному стані і не можуть спричинити до особливостей на залежностях $1/\chi_d = f(T)$. Отже, ці злами на $1/\chi_d = f(T)$ зумовлені переходами при $T = T_C$ із магнітовпорядкованого в парамагнітний стан кластерів типу Mn–Se–Mn–Se та змішаних типу Mn–Se–Mn–S різних розмірів, у яких непряма обмінна взаємодія антиферомагнітного характеру здійснюється між атомами Mn через атоми Se або S.

θ , К	$\mu_{\text{еф}}$, μ_B	T_C , К	Термообробка
–5	5.35	157	до термообробки
–58	6.17		($x_M=0.04$)
–18	5.54	157	в парах Hg
–51	6.04		($x_M=0.04$)
–7	5.28	131	до термообробки
–58	6.16		($x_M=0.02$)
–26	5.91		в парах Se ($x_M=0.02$)

Таблиця 1. Магнітні параметри зразків $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$.

Перехід у парамагнітний стан кластерів Fe–Se–Fe–Se, Mn–Se–Fe–Se(S) і кластерів типу Mn–Se–Mn–Se, Mn–Se–Mn–S (але менших розмірів) відбувається при нижчих температурах (T_C).

Свідченням того, що при $T = T_C$ справді відбувається перехід кластерів із антиферомагнітного в парамагнітний стан, є збільшення $\mu_{\text{еф}}$ з підвищенням температури (див. таблицю 1).

При термообробці в результаті міграції атомів Mn і Fe по кристалу відбувається зміна розмірів кластерів і збільшення кількості незважених між собою атомів Mn і Fe, що при незмінному вмісті атомів Mn і Fe у зразку $Hg_{1-x-y}Mn_xFe_ySe_{1-z}S_z$ приводить до збільшення магнітної сприйнятливості зразка після його термообробки (рис. 1). При цьому параметри θ , які характеризують розміри кластерів, після термообробки для “великих” кластерів зменшились, а для

“малих” — збільшилися, що свідчить про зменшення розмірів “великих” кластерів і збільшення розмірів “малих” кластерів (тобто однорідність за кластерним складом поліпшилась) (таблиця 1). Крім цього, можна припустити, що зміна розмірів кластерів відбулася за рахунок їхньої “периферії”, оскільки температура T_C (яка характеризує розміри “ядра” кластера) після термообробки зразків у парах ртуті не змінилась (див. зразок з $x_M = 0.04$ в таблиці 1).

Процес термообробки $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ у парах Se, унаслідок заповнення дифундуючими атомами Se вакансій у своїй підґратці та міграції атомів Mn і Fe у зразках, приводить до зміни розмірів наявних у кристалі кластерів (у бік їх збільшення або зменшення), зумовленої умовами термодинамічної рівноваги в системі $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$, тобто співвідношенням розмірів кластерів і складу ($x + y$). Крім того, термообробка зразків у парах селену поліпшує однорідність (упорядкованість) твердого розчину $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ по кластерному складу (величина параметрів θ “малих” кластерів у процесі термообробки прямувала до значень параметрів θ “великих” кластерів і злам на залежності $\chi_d^{-1} = f(T)$ зник унаслідок відпалу) (див. зразок з $x_M = 0.02$ в таблиці 1).

Електропровідність (σ) досліджених зразків до і після термообробки в парах Se і Hg має металоподібний характер, тобто зростає з пониженням температури (рис. 2).

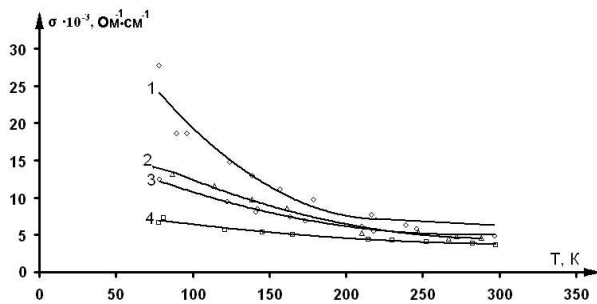


Рис. 2. Температурна залежність електропровідності для $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$: 1 — до відпалу ($x_M = 0.02$), 2 — після відпалу в парах Se ($x_M = 0.02$), 3 — до відпалу ($x_M = 0.04$), 4 — після відпалу в парах Hg ($x_M = 0.04$).

Коефіцієнт Голла (R_H) до термообробки і після неї зразків у парах Hg і Se слабо залежить від температури, що вказує на виродження електронного газу. Відпал зразків у парах Hg і Se приводить до зменшення $|R_H|$. Голлівська рухливість електронів у зразках $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ зростає з пониженням температури (рис. 3) як до, так і після термообробки, що зумовлено зменшенням розсіювання електронів на теплових коливаннях атомів ґратки. Зменшення рухливості електронів в $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ після відпалу зразків у парах Se можна пов’язати з наявністю в кристалах великої кількості атомів S. Річ у тім, що атоми сірки за розмірами менші, ніж атоми селену. Тому можна припустити, що атоми сірки слабше зв’язані в підґратці селену, ніж атоми Se. Під час термообробки атоми сірки, очевидно, дифундують із вузлів кристалічної ґратки в міжвузля, а їх вакансії заповнюють атоми Se, які дифундують у кристал з парової фази. Унаслідок цього концентрація вакансій у підґратці селену зменшується. Але збільшення в процесі такої термообробки кількості міжвузловинних атомів сірки може привести до більшого розсіювання електронів на цих атомах сірки і зниження їх рухливості.

зани в підґратці селену, ніж атоми Se. Під час термообробки атоми сірки, очевидно, дифундують із вузлів кристалічної ґратки в міжвузля, а їх вакансії заповнюють атоми Se, які дифундують у кристал з парової фази. Унаслідок цього концентрація вакансій у підґратці селену зменшується. Але збільшення в процесі такої термообробки кількості міжвузловинних атомів сірки може привести до більшого розсіювання електронів на цих атомах сірки і зниження їх рухливості.

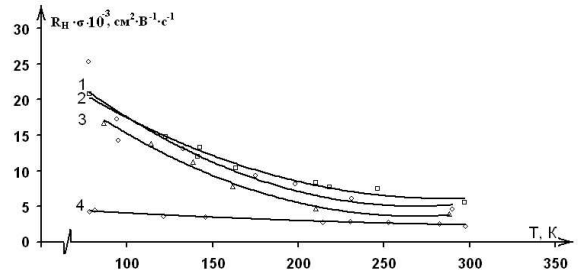


Рис. 3. Температурна залежність рухливості електронів для $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$: 1 — до відпалу ($x_M = 0.02$), 2 — після відпалу в парах Se ($x_M = 0.02$), 3 — до відпалу ($x_M = 0.04$), 4 — після відпалу в парах Hg ($x_M = 0.04$).

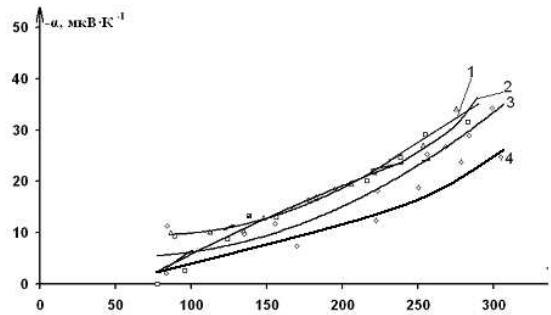


Рис. 4. Температурна залежність термо-е.р.с. для $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$: 1 — до відпалу ($x_M = 0.02$), 2 — після відпалу в парах Se ($x_M = 0.02$), 3 — до відпалу ($x_M = 0.04$), 4 — після відпалу в парах Hg ($x_M = 0.04$).

Під час термообробки зразків у парах ртуті атоми сірки також переходять із вузлів кристалічної ґратки в міжвузля, що збільшує розсіювання електронів на цих атомах і знижує при цьому рухливість електронів. Але, крім цього, при відпалі зразка в парах ртуті відбувається дифузія атомів ртуті в кристал і заповнення ними міжвузлів, що повинно привести до додаткового розсіювання електронів і ще більшого зменшення їх рухливості (порівняно з термообробкою в парах селену, що й видно з рис. 3).

Термоерс (α) кристалів $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ зростає з підвищенням температури (рис. 4). Від величини напруженості магнітного поля α залежить слабо.

Спектри пропускання перераховували в спектральні залежності коефіцієнта поглинання $\alpha = f(\lambda)$ за формулою (4)

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

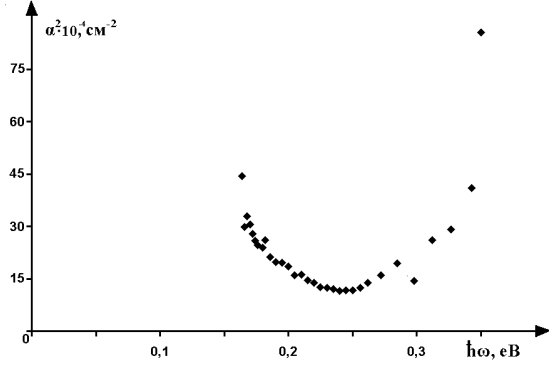


Рис. 5. Залежність α^2 від $\hbar\omega$ для $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($x + y = 0.03, z = 0.01$).

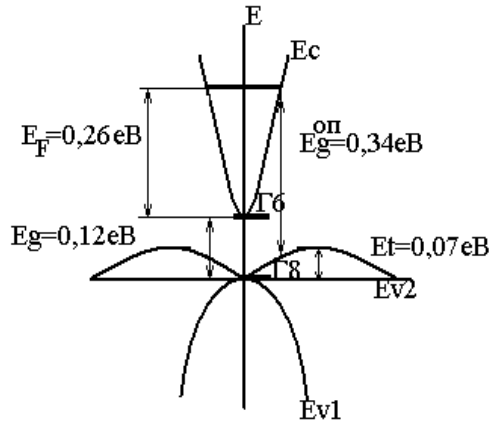


Рис. 6. Схема зонної структури та енергетичні параметри $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($x + y = 0.03, z = 0.01$) при $T = 300 \text{ K}$; (E_c – зона провідності, E_{V1} – зона легких дірок, E_{V2} – зона важких дірок).

Наявність прямолінійної ділянки на залежностях $\alpha^2 = f(\hbar\omega)$ (рис. 5) вказує на те, що в досліджених кристалах наявні прямі дозволені міжзонні оптичні переходи. Екстраполяцією лінійної ділянки залежностей $\alpha^2 = f(\omega)$ до $\alpha^2 = 0$ одержали значення величини оптичної забороненої зони ($E_g^{\text{оп}} = 0.34 \text{ eV}$) при $T \sim 300 \text{ K}$.

Ураховуючи те, що ($(x + y) \approx 0.03$) і вміст сірки малий порівняно із селеном, для побудови можливої схеми зонної структури $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($(x + y) \approx 0.03; z = 0.01$) використаємо деякі зонні параметри кристалів $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x \approx 0.03$) при $T \approx 300$, зокрема: ширину забороненої зони $E_g = 0.12 \text{ eV}$ (енергетична відстань між рівнями Γ_6 і Γ_8); ефективну масу електрона на дні зони провідності $m_0^*/m_0 = 0.008$.

Використовуючи виміряні $\sigma, R_H, \alpha(0), \alpha(H)$ за формулою (5):

$$m_\xi^* = \frac{\alpha(0) \cdot (3 \cdot \pi^2 \cdot n)^{2/3} \cdot e \cdot \hbar^2}{T \cdot (1 + \gamma_r) \cdot k_B^2 \cdot \pi^2}, \quad (5)$$

знаходимо ефективну масу електронів на рівні Фермі.

При цьому концентрацію електронів визначали за виразом із [8, 9]:

$$n = \frac{1}{eR_H}; \quad (6)$$

$$\nu = \frac{R_H \sigma H}{c}; \quad \gamma_r = -\frac{\frac{\Delta\alpha}{\alpha(0)}}{\frac{\Delta\alpha}{\alpha(0)} + \frac{\nu^2}{1 + \nu^2}}.$$

Провівши відповідні розрахунки, одержали, що $m_\xi^*/m_0 = 0.044$.

Використовуючи формулу

$$E_F = \frac{E_g}{2} \left(\frac{m_\xi^*}{m_0^*} - 1 \right), \quad (7)$$

отримали $E_F = 0.26 \text{ eV}$.

Із урахуванням усіх цих енергетичних параметрів схема зонної структури для $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ матиме вигляд (рис. 6).

Оскільки електрони з валентної зони важких дірок під дією квантів електромагнітного випромінювання переходять на рівні, які є вищі від рівня Фермі, то різниця $(E_g^{\text{оп}} - E_F) = 0.08 \text{ eV}$ (яка менша, ніж $E_g = 0.12 \text{ eV}$) (рис. 6.) вказує на те, що прямі міжзонні оптичні переходи відбуваються між зонами важких дірок і провідності.

IV. ВИСНОВКИ

1. Із досліджень температурної залежності магнітної сприйнятливості кристалів $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ в інтервалі ($77 \text{ K} \leq T \leq 300 \text{ K}$) установлено, що зростання ефективного магнітного моменту ($\mu_{\text{еф}}$) атомів із незаповненою $3d$ підоболонкою з підвищенням температури зумовлено переходом з “антиферромагнітного” в “парамагнітний” стан груп кластерів різних розмірів.

2. Під час термообробки зразків $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ в парах ртуті та селену внаслідок міграції атомів Mn і Fe по кристалу відбувається зміна розмірів кластерів і збільшення кількості невзаємодіючих між собою атомів Mn і Fe, що при незмінному вмісті атомів Mn і Fe приводить до збільшення магнітної сприйнятливості зразків.

3. Електропровідність досліджених зразків до і після термообробки в парах Hg і Se має металоподібний характер, а коефіцієнт Голла (R_H) слабо залежить від температури, що вказує на виродження електронного газу. Під час термообробки зразків в парах компонент

атоми сірки переходять із вузлів кристалічної ґратки у міжвузля, збільшуючи розсіювання електронів і знижуючи їх рухливість, причому при відпалі в парах ртуті, внаслідок дифузії атомів ртуті в кристал і заповнення ними міжвузлів, відбувається сильніше зменшення рухливості.

4. Із спектральної залежності коефіцієнта поглинання встановлено, що в $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ наявні прямі міжзонні оптичні переходи, визначено величину оптичної забороненої зони ($E_g^{\text{оп}} = 0.34 \text{ eV}$) і показано, що прямі міжзонні оптичні переходи відбуваються між зоною важких дірок і зоною провідності.

-
- [1] J. K. Furdyna, J. Appl. Phys. **64**, R29 (1988).
 [2] И. М. Цидильковский, Физ. техн. полупр. **24**, 593 (1990).
 [3] D. Milivojević, B. Babić Stojić, M. Stojić, V. A. Kulbachinskii, P. D. Marjanchuk, I. A. Churilov, Solid State Commun. **122**, 389 (2002).
 [4] P. D. Mar'yanchuk, L. M. Yablonovskaya, Russ. Phys. J. **50**, 236 (2007).
 [5] П. Д. Марьянчук, Изв. вузов СССР, сер. физ. **27**, 122 (1984).
 [6] П. Д. Марьянчук, Н. П. Гавалешко, Изв. Акад. наук СССР, неорг. мат. **23**, 1271 (1987).
 [7] П. Д. Марьянчук, Изв. вузов, физика **36**, 54 (1993).
 [8] Б. М. Аскеров, *Кинетические эффекты в полупроводниках* (Наука, Ленинград, 1970).
 [9] Б. М. Аскеров, *Электронные явления в полупроводниках* (Наука, Москва, 1985).

THERMAL TREATMENT INFLUENCE OVER THE $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ CRYSTAL PHYSICAL PROPERTIES

P. D. Maryanchuk, G. O. Andrushchak
 Yu. Fed'kovych Chernivtsi National University,
 2, M. Kotsyubynsky St., Chernivtsi, UA-58012, Ukraine

The examination of magnetic, kinetic and optical properties of $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ ($0.02 \leq x_m \leq 0.04$; $z = 0.01$) crystals and their zone structure was made in the interval of temperatures $T = 300 \text{ K}$ and magnetic field $H = 0.5-6 \text{ kOe}$. It has been established that thermal treatment of Hg and Se patterns results in the increase of $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ magnetic susceptibility and the decrease of the mobility of electrons. Direct interzone optical transitions in $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Fe}_y\text{Se}_{1-z}\text{S}_z$ crystals take place between the zone of hard holes and the conductivity zone.