

УДК 621.315.592

ФІЗИЧНІ ЯВИЩА ТА ЗОННІ ПАРАМЕТРИ КРИСТАЛІВ (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, ЛЕГОВАНИХ МАРГАНЦЕМ

П. Д. Мар'янчук, Д. П. Козярський

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
58012, Чернівці, вул. М. Коцюбинського, 2 (037)22-4-68-77,
p.maryanchuk@chnu.edu.ua

Анотація

ФІЗИЧНІ ЯВИЩА ТА ЗОННІ ПАРАМЕТРИ КРИСТАЛІВ (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, ЛЕГОВАНИХ МАРГАНЦЕМ

П. Д. Мар'янчук, Д. П. Козярський

Магнітна сприйнятливість (χ) кристалів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$), легованих марганцем, досліджена в інтервалі температур $T=77 - 300$ К при $H=4$ кЕ методом Фарадея до і після термообробки зразків в парах селену. Встановлено, що особливості χ обумовлені наявністю в кристалах кластерів типу Mn–Se–Mn–Se різних розмірів, в яких між атомами Mn через атоми халькогена здійснюється непряма обмінна взаємодія антиферомагнітного характеру. Термообробка зразків в парах селену слабо впливає на χ кристалів.

Дослідження кінетичних коефіцієнтів кристалів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$) (легованих марганцем) проведені в інтервалі $T=77-300$ К і $H=0,5-5$ кЕ до і після термообробки зразків в парах селену. До термообробки коефіцієнт Холла (R_H) в досліджуваних кристалах не залежить від температури, термо-ерс збільшується з ростом температури, електропровідність кристалів має металічний характер і майже лінійно залежить від температури, що вказує на можливість використання цих матеріалів як датчиків (сенсорів) температури. Термообробка зразків в парах селену приводить до зменшення концентрації електронів. Одержано залежність ефективної маси електронів на рівні Фермі від температури.

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

Аннотация

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ЗОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРИСТАЛЛОВ (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, ЛЕГИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕМ

П. Д. Мар'янчук, Д. П. Козярський

Магнитная восприимчивость (χ) кристаллов (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$) (легируемых марганцем) исследована в интервале температур $T=77 - 300$ К при $H=4$ кЭ методом Фарадея до и после термообработки образцов в парах селена. Установлено, что особенности χ обусловлены наличием в кристаллах кластеров типа Mn–Se–Mn–Se разных размеров, в которых между атомами Mn через атомы халькогена осуществляется не прямое обменное взаимодействие антиферромагнитного характера. Термообработка образцов в парах селена слабо влияет на χ кристаллов.

Исследования кинетических коэффициентов кристаллов (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$) (легируемых марганцем) проведены в интервале $T=77-300$ К и $H=0,5-5$ кЭ до и после термообработки образцов в парах селена. До термообработки коэффициент Холла (R_H) в исследуемых кристаллах не зависит от температуры, термо-эдс увеличивается с ростом температуры, электропроводность кристаллов имеет металлический характер и почти линейно

зависит от температуры, что указывает на возможность использования этих материалов в качестве датчиков (сенсоров) температуры. Термообработка образцов в парах селена приводит к изменению концентрации электронов. Получена зависимость эффективной массы электронов на уровне Ферми от температуры.

Ключевые слова: кристалл, электропроводность, магнитная восприимчивость, кластер.

Abstract

PHYSICAL PHENOMENA AND BAND PARAMETERS OF CRYSTALS (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, DOPED BY MANGANESE

P. D. Maryanchuk, D. P. Kozyarskiy

Magnetic susceptibility of (χ) crystals (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$) (doped by manganese) is investigated at the interval of temperatures $T=77 - 300$ K at $H=4$ kOe by the method of Faraday before and after the heat treatment of samples in vapour of selenium. It is established, that features χ are caused by the presence in crystals of such clusters as Mn-Se-Mn-Se, of different size, in which the indirect exchange interaction of antiferromagnetic character between the Mn atoms through the atoms of chalcogenide is carried out. Heat treatment of samples in vapour of selenium has a low influence on χ of the crystals.

Researches of kinetic factors of crystals (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x ($x=0,1$) (doped by manganese) are carried out during the interval $T=77-300$ K and $H=0.5-5$ kOe before and after the heat treatment of samples in vapour of selenium. Before the heat treatment factor of the Hall (R_H) in researched crystals does not depend on temperature, thermoelectric motive power increases with the growth of temperature, electroconductivity crystals has metal character and almost linearly depends on a temperature which specifies on possibility to use these materials as sensors of temperature. Heat treatment of samples in vapour of selenium results in the change of the electrons concentration. It was gotten dependence on temperature of effective mass of electrons at the Fermi level.

Key words: crystal, electroconductivity, magnetic susceptibility, cluster.

Вступ

Тверді розчини (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x [1] повинні бути дефектними напівпровідниками зі змінною, в залежності від складу шириною забороненої зони (ϵ_g). Ці тверді розчини утворюються на основі безщільного напівпровідника HgSe і широкозонного напівпровідника Al₂Se₃ ($\epsilon_g = 3,1$ eB). Зміна зонної структури і ширини забороненої зони зі складом (x) дозволяють одержувати напівпровідники з різними властивостями і зонними параметрами, що визначатиме можливості практичного використання цих кристалів. Крім того, тверді розчини (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x повинні бути дефектними напівпровідниками, властивості яких слабо змінюються під впливом радіації. Це робить їх перспективними для використання в умовах підвищеної радіації в якості різних датчиків (сенсоров) фізичних величин.

Легування твердих розчинів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x 3d-елементами, які володіють власним магнітним моментом, переводить ці тверді розчини

в клас напівмагнітних напівпровідників, які є надзвичайно цікавим об'єктом для фундаментальних досліджень і можуть використовуватись для створення приладів спінтроники.

Результати досліджень та їх обговорення

Кристали твердих розчинів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x та (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, легованих марганцем, одержані нами методом Бріджмена, володіють провідністю n-типу (концентрація електронів $n \sim 10^{19} - 10^{20}$ см⁻³). Дослідження магнітної сприйнятливості (χ) зразків (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x та (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, легованих марганцем, проведено методом Фарадея в інтервалі $T=77-300$ K і $H=0,25-4$ кЕ (похибка при вимірюванні χ не перевищує 1%). Зразки (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x — діамагнітні, їх магнітна сприйнятливості не залежить від напруженості магнітного поля (H) і слабо залежить від температури (при $T=77$ K $\chi = -0,3 \cdot 10^{-6}$ см³/г, а при $T=300$ K $\chi = -0,28 \cdot 10^{-6}$

см³/г) (рис.1.). Зразки (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x (леговані марганцем N_{Mn} > 10²⁰ см⁻³) — парамагнітні і їх магнітна сприйнятливість має вигляд, характерний для парамагнетиків (рис.1.).

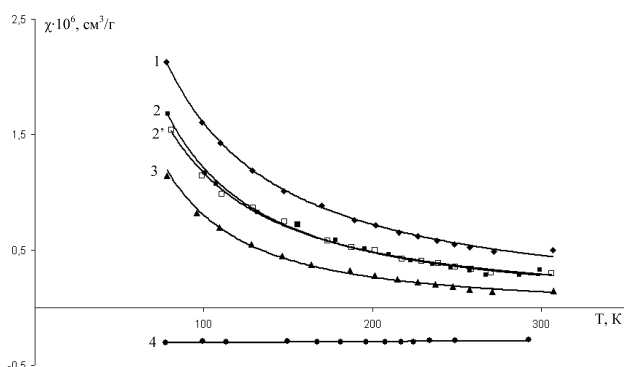


Рис. 1. Температурна залежність магнітної сприйнятливості для кристалів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x (x=0,1), легованих марганцем: 1 — N_{Mn}=2,5·10²⁰ см⁻³; 2 — N_{Mn}=1,8·10²⁰ см⁻³; 2' — N_{Mn}=1,8·10²⁰ см⁻³, після відпалу в парах Se; 3 — N_{Mn}=1,4·10²⁰ см⁻³; 4 — (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x (без марганцю).

Зростання χ при зменшенні T обумовлено зменшенням розорієнтовуючої дії теплових коливань атомів кристалічної ґратки на орієнтацію магнітних моментів атомів Mn в магнітному полі. Залежності χ_{Mn}⁻¹ = f(T) для досліджуваних зразків з вмістом Mn (N_{Mn} ≤ 10²⁰ см⁻³) описуються законом Кюрі, при N_{Mn} > 10²⁰ см⁻³ — законом Кюрі — Вейсса з від'ємними парамагнітними температурами Кюрі (θ). Значення θ < 0 вказують на те, що в досліджуваних кристалах між атомами Mn при N_{Mn} > 10²⁰ см⁻³ виникає обмінна взаємодія антиферомагнітного характеру. Встановлено, що на залежностях χ_{Mn}⁻¹ = f(T) (похибка в одержанні яких не перевищує 0,5% і χ_{Mn} = χ - χ₀, де χ₀ — магнітна сприйнятливість (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x) можна виділити прямолінійні ділянки різного нахилу (рис.2), які описуються законом Кюрі або Кюрі-Вейсса:

$$\chi_{Mn} = \frac{C}{T - \theta}, \quad (1)$$

де θ — парамагнітна температура Кюрі, яка визначається екстраполяцією прямолінійної ділянки залежності χ_{Mn}⁻¹ = f(T) до перетину з віссю температур; C — постійна Кюрі:

$$C = \frac{xN_0g^2S(S+1)\mu_B^2}{3k_B M_0} = \frac{N_{Mn} \cdot \mu_{eff}^2}{3k_B \rho}, \quad (2)$$

де N₀ — число Авогадро, M₀ = ΓМ — молекулярна вага (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, легованих марган-

цем; x або N_{Mn} — вміст Mn (x — склад твердого розчину A^{II}_(1-x)Mn_xB^{VI} або N_{Mn} — концентрація атомів марганцю в кристалах (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x, легованих марганцем); Mn²⁺ володіє ефективним магнітним моментом μ_{eff} = g · √S(S+1) · μ_B де S=5/2 і g=2 — спин і g — фактор іонів марганцю, μ_B — магнетон Бора; ρ — значення густини зразків; k_B — постійна Больцмана.

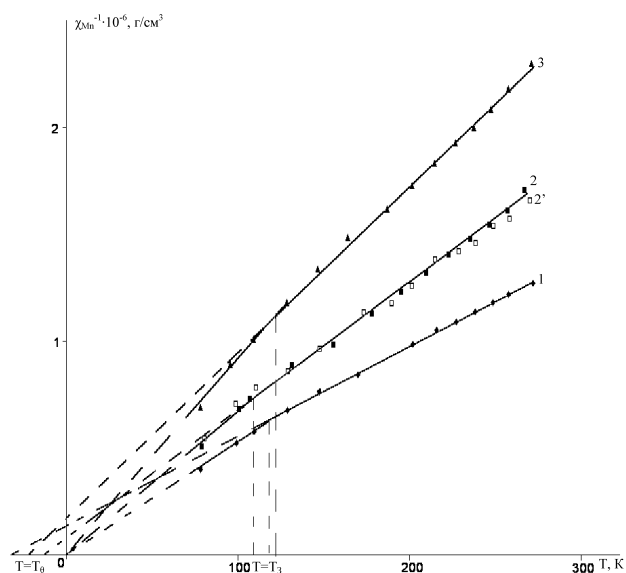


Рис. 2. Температурна залежність χ_{Mn}⁻¹ для кристалів (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x (x=0,1), легованих марганцем: 1 — N_{Mn}=2,5·10²⁰ см⁻³; 2 — N_{Mn}=1,8·10²⁰ см⁻³; 2' — N_{Mn}=1,8·10²⁰ см⁻³, після відпалу в парах Se; 3 — N_{Mn}=1,4·10²⁰ см⁻³.

Можна допустити, що найбільш ймовірно в кристалах (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x (легованих марганцем) є кластери типу Mn-Se-Mn-Se, які за характером обмінної взаємодії подібні фазі MnSe, оскільки утворюються вони в кристалах (3HgSe)_{1-x}(Al₂Se₃)_x в результаті ізовалентного заміщення атомами Mn атомів ртуті (аналогічно, як в Hg_{1-x}Mn_xSe [2, 3]).

Зміни нахилу лінійних ділянок (злами) на залежностях χ_{Mn}⁻¹ = f(T) при T=T₃ (яка визначається із похибкою, що не перевищує ±2K) обумовлені переходом в парамагнітний стан при підвищенні температури кластерів типу Mn-Se-Mn-Se (різного розміру), в яких між атомами Mn через атоми селену здійснюється непряма обмінна взаємодія антиферомагнітного характеру (аналогічно, як в Hg_{1-x}Mn_xSe [2, 3]). Збільшення для даного N_{Mn} ефективного магнітного моменту атомів Mn (μ_{eff}, похибка у визначенні якого не перевищує 4%) при підвищенні температури, встановлене за допомогою закону Кюрі-Вейсса

(формули 1, 2) на основі зміни нахилу лінійних ділянок при $T=T_3$ на залежностях $\chi_{Mn}^{-1}=f(T)$, підтверджує те, що при $T=T_3$ кластери переходять із “антиферомагнітного” в парамагнітний стан (табл. 1). Отже кількість значень μ_{ef} і θ для кожної N_{Mn} в табл. 1 дорівнює числу прямолінійних ділянок різного нахилу на відповідній цій концентрації (N_{Mn}) залежності $\chi_{Mn}^{-1}=f(T)$, екстраполяцією яких до перетину з віссю температур визначаються значення θ (з похибкою яка не перевищує $\pm 2K$), а від їх нахилу залежить значення μ_{ef} . В табл. 1 при даній N_{Mn} кожний верхній рядок, порівняно з нижнім, відповідає більш низькотемпературній прямолінійній ділянці на $\chi_{Mn}^{-1}=f(T)$ рис. 2.

Таблиця 1
Магнітні параметри зразків $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$
($x=0,1$), легованих марганцем

$N_{Mn}, \text{см}^{-3}$	θ, K	$\mu_{ef}, (\mu_B)$	T_3, K
$1,4 \cdot 10^{20}$	0	5,49	118
	-23	5,69	
$1,8 \cdot 10^{20}$	0	5,87	108
	-13	5,89	
$2,5 \cdot 10^{20}$	0	5,45	115
	-30	6,09	

Екстраполяція до нуля усереднених в області високих температур залежностей $\chi_{Mn}^{-1}=f(T)$, які описуються законом Кюри–Вейсса, дає значення θ для кожного зразка. Це дозволяє одержати на основі залежностей $\chi_{Mn}^{-1}=f(T)$ і формул (1, 2) (при $T=300K$), значення концентрацій марганцю (N_{Mn}) в кожному зразку (похибка у визначенні N_{Mn} не перевищує 4%).

Вплив термообробки зразків $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$, легованих марганцем, в парах Se на магнітну сприйнятливості кристалів показаний наведенням кривих 2 і 2' на рис.1 і рис.2. Із рисунків видно, що відпал в парах Se слабо вплинув на χ досліджуваних кристалів, на відміну від кристалів $Mn_xHg_{1-x}Se$ і $Hg_{1-x}Mn_xTe_{1-y}Se_y$, досліджених в [4,5].

Велика концентрація електронів в кристалах ($n \sim 10^{19} - 10^{20} \text{см}^{-3}$) обумовлена мабуть тим, що атоми алюмінію, які заміщають атоми ртуті в підгратці ртуті, а також вакансії в підгратці селену, є донорами. Дослідження кінетичних коефіцієнтів кристалів проведені в інтервалі $T=77-300K$ і $H=0,5-5 \text{кЕ}$. Коефіцієнт Холла (R_H) в досліджуваних кристалах не залежить від температури (рис.3), що вказує на вироджен-

ня електронного газу. Електропровідність (σ) кристалів має, хоч і дуже слабо виражений, але металічний характер (тобто досить слабо, але зменшується із зростанням температури) (рис.4), що обумовлено зменшенням рухливості електронів (μ_n) при збільшенні T (рис.5). Причому електропровідність зразків $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$ після їх термообробки у вакуумі та зразків $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$, легованих марганцем, майже лінійно залежить від температури, що вказує на можливість використання цих матеріалів в якості функціональних елементів напівпровідникових термометрів — датчиків (сенсорів) температури. Термо-ерс (α) збільшується з ростом температури (рис. 6), що обумовлено зменшенням виродженості електронного газу (величина α сягає десятків мкВ/К при кімнатній температурі).

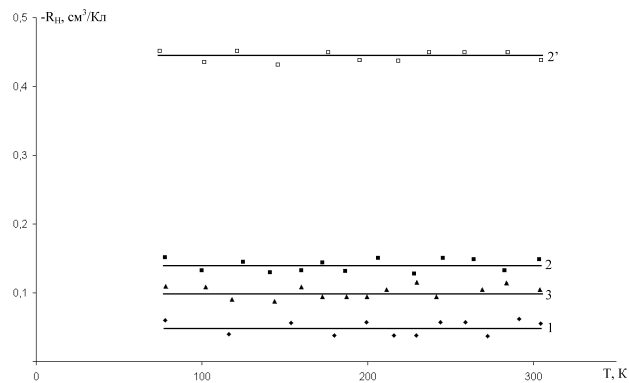


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнта Холла для кристалів $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем: 1 — $N_{Mn}=2,5 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$; 2 — $N_{Mn}=1,8 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$; 2' — $N_{Mn}=1,8 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$, після відпалу в парах Se; 3 — $N_{Mn}=1,4 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$.

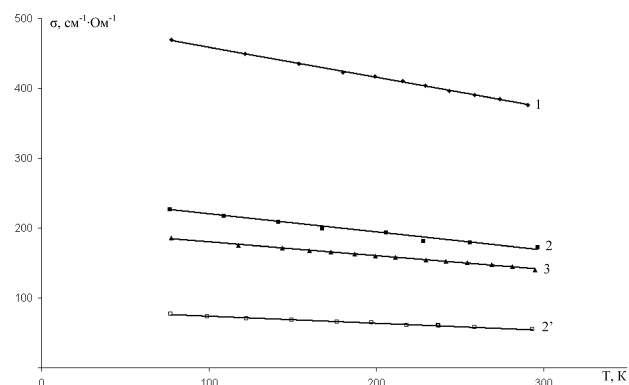


Рис. 4. Температурна залежність електропровідності кристалів $(3HgSe)_{1-x}(Al_2Se_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем: 1 — $N_{Mn}=2,5 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$; 2 — $N_{Mn}=1,8 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$; 2' — $N_{Mn}=1,8 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$, після відпалу в парах Se; 3 — $N_{Mn}=1,4 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$.

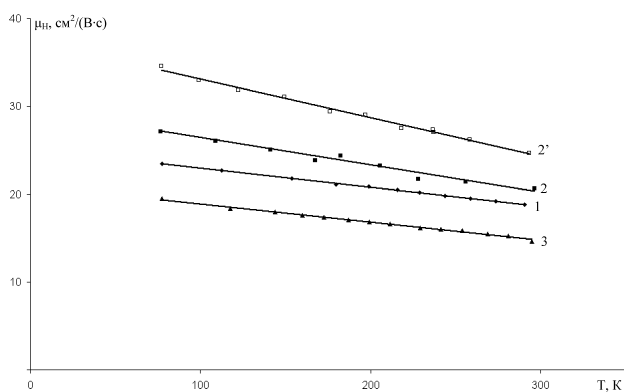


Рис. 5. Температурна залежність рухливості електронів в кристалах $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем: 1 — $N_{\text{Mn}}=2,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2 — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2' — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, після відпалу в парах Se; 3 — $N_{\text{Mn}}=1,4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

Термообробка зразків $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$, легованих марганцем, в парах селену приводить до зменшення концентрації електронів (коефіцієнт Холла $|R_H|$ збільшується по абсолютній величині рис. 3). Зниження концентрації електронів можна пояснити зменшенням кількості вакансій в підградці селену, які є донорами, внаслідок заповнення їх дифундуючими в кристал з парової фази атомами Se і переходом атомів міжвузлової ртуті, які є також донорами, з кристалу в парову фазу. Підтвердженням цьому може служити те, що після відпалу зразків в парах Se рухливість електронів сильно зросла (рис. 5).

Термо-ерс після відпалу зразків в парах Se сильно зросла (рис. 6) внаслідок сильного зменшення концентрації електронів і зменшення виродженості електронного газу після термообробки.

Враховуючи виродження електронного газу в $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем, ($T=77 \div 300 \text{ K}$), сферичну симетрію поверхні постійної енергії носіїв заряду аналогічно $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ [6-9], непараболічний закон дисперсії (при $x=0,1$ $\epsilon_g \sim 0$, тому що для HgSe $\epsilon_g = -0,1 \text{ eV}$, а для Al_2Se_3 ($\epsilon_g = 3,1 \text{ eV}$)) і використовуючи значення σ , R_H , $\alpha(0)$, $\Delta\alpha$ [10], одержані із усереднених експериментальних залежностей $\sigma=f(T)$, $R_H=f(T)$, $\alpha(0)=f(T)$, $\Delta\alpha=f(T)$, за допомогою співвідношення (3):

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

були обраховані ефективні маси електронів на рівні Фермі m_{ξ}^* для області температур 90-300

K, які добре погоджуються з $m_{\xi}^*=f(T)$, одержаними за формулою (4) [11]:

$$m_{\xi}^* = \frac{e \cdot \hbar^2}{k_B^2 \cdot T} \cdot \left(\frac{3}{\pi} \cdot \frac{1}{e \cdot R_{\infty}} \right)^{2/3} \cdot \alpha_{\infty}, \quad (4)$$

яка справедлива і у випадку непружного розсіювання електронів [12].

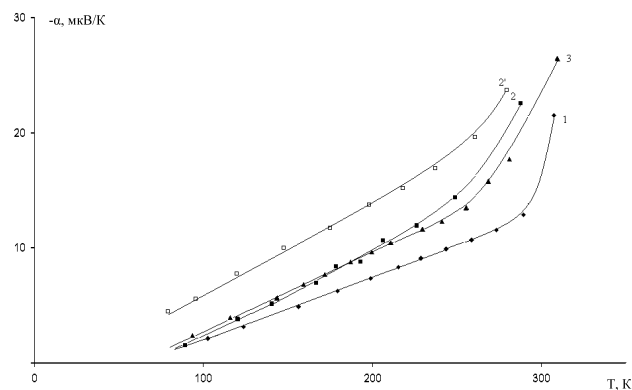


Рис. 6. Температурна залежність термо-ерс для кристалів $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем: 1 — $N_{\text{Mn}}=2,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2 — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2' — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, після відпалу в парах Se; 3 — $N_{\text{Mn}}=1,4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

Згідно [11], температура створює більш сильний вплив на енергетичні щілини (ϵ_g), ніж на матричний елемент міжзонної взаємодії (P). Тому залежність ефективної маси електронів на рівні Фермі від температури пов'язувалась, в основному, з температурною залежністю ϵ_g [11].

Однак при поясненні залежностей $m_{\xi}^*=f(T)$ рис. 7, крім фактора $|\epsilon_g|=f(T)$, необхідно враховувати зміну непараболічності зонного спектру зі складом і температурою [6-9].

При поясненні експериментально одержаних залежностей $m_{\xi}^*=f(T)$, крім впливу на величину m_{ξ}^* ширини забороненої зони $|\epsilon_g|$ і непараболічності зони провідності (які змінюються з температурою) необхідно врахувати також вплив $n=f(T)$ [6-9].

Оскільки кристали $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$), леговані марганцем, повинні мати ширину забороненої зони (ϵ_g) близьку до нуля (тобто вони близькі до переходу безщілинний напівпровідник (БН) — звичайний напівпровідник (ЗН)), то їх зона провідності повинна бути дуже непараболічною. Крім того, велика концентрація електронів в зразках до термообробки ($n \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$) вказує на те, що рівень Фермі розташований в зоні провідності високо

відносно її дна і електрони в зоні провідності займають ті стани, де зонний спектр дуже непараболічний. Саме фактор сильної непараболічності зони провідності (в околі рівня Фермі) є визначальним в тому, що ефективна маса електронів на рівні Фермі (m_{ξ}^*) тільки зростає із збільшенням температури (рис. 7) (для зразків до термообробки). Конкретний механізм цього процесу можна було б представити, якщо би була відома температурна залежність забороненої зони ($\epsilon_g = f(T)$) для цих зразків.

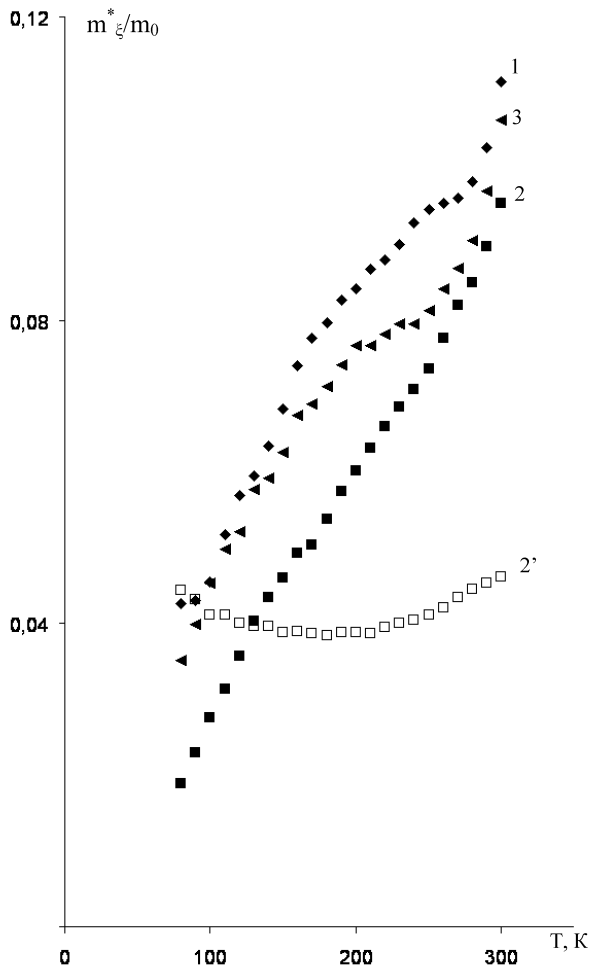


Рис. 7. Температурна залежність ефективної маси електронів в кристалах $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$), легованих марганцем: 1 — $N_{\text{Mn}}=2,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2 — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2' — $N_{\text{Mn}}=1,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, після відпаду в парах Se; 3 — $N_{\text{Mn}}=1,4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

Зменшення концентрації електронів у зразку 2 після його термообробки в парах Se до величини $n = 1/e \cdot R_H \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$, при якій електрони в зоні провідності займають уже стани де зона менш непараболічна, приводить до залежності $m_{\xi}^* = f(T)$ (рис. 7, крива 2') подібної до тих, які одержані для $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ в роботах [6, 7], і пояс-

нюються дією на $m_{\xi}^* = f(T)$ двох конкуруючих факторів, розглянутих вище: зміною з температурою ширини забороненої зони (ϵ_g) і непараболічності зони провідності. Впливу $n = f(T)$ на залежність $m_{\xi}^* = f(T)$ немає, оскільки концентрація електронів у зразках ні до ні після термообробки не залежить від температури.

Висновки

1. Досліджені особливості магнітної сприйнятливості $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$) (легованих марганцем). Наведені міркування на користь того, що вони обумовлені наявністю в кристалах кластерів типу Mn–Se–Mn–Se різних розмірів, в яких між атомами Mn через атоми халькогена здійснюється непряма обмінна взаємодія антиферомагнітного характеру.

2. Для зразків $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,1$) (легованих марганцем) коефіцієнт Холла не залежить від температури, електропровідність кристалів має металічний характер, термо-ерс збільшується з ростом температури, а зменшення концентрації електронів після відпаду зразків в парах Se обумовлене зменшенням кількості вакансій в підгратці Se.

3. Електропровідність зразків $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{Al}_2\text{Se}_3)_x$ (легованих марганцем) майже лінійно залежить від температури, що вказує на можливість використання цих матеріалів в якості функціональних елементів напівпровідникових термометрів — датчиків (сенсорів) температури.

Робота виконана при підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень (проект № Ф25.4/075).

Список літератури

1. Томашик В.Н., Грыцив В.И. Диаграммы состояния систем на основе полупроводниковых соединений $A^{II}B^VI$. — Киев: Наукова думка, 1982. — 168 с.
2. Марьянчук П.Д. О природе кластеров в кристаллах $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y$ // Изв. вузов СССР Физика. — 1984. — 27, №1. — С.122–124.
3. Марьянчук П.Д., Гавалешко Н.П., Неупорядоченные твердые растворы $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y$ // Изв. АН СССР. Неорган. матер. — 1987. — 23, №8. — С.1271–1274.
4. Марьянчук П.Д. Влияние термообработки кристаллов $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ в парах ртути и селена на их магнитную восприимчивость // Изв. вузов. Физика. — 1993. — Т.36, №8. — С.54–59.

5. Гавалешко Н.П., Мар'янчук П.Д., Падалко А.М. Влияние термообработки на кластерную и дефектную подсистемы кристаллов $Hg_{1-x}Mn_xTe_{1-y}Se_y$ // Изв. вузов. Физика. — 1993. — Т.36, №5. — С.48-51.
6. Мар'янчук П.Д. Температурная зависимость эффективной массы электронов в кристаллах $Mn_xHg_{1-x}Se$ // Изв. вузов СССР. Физика. — 1984. — Т.27, №2. — С.95-96.
7. Мар'янчук П.Д., Гавалешко Н.П. Влияние температуры на эффективную массу электронов в $Mn_xHg_{1-x}Se$ // Изв. вузов СССР. Физика. — 1987. — Т.30, №11. — С.5-9.
8. Мар'янчук П.Д. Влияние степени заполнения зоны проводимости на эффективную массу электронов в $Mn_xHg_{1-x}Se$ // Изв. вузов. Физика. — 1993. — Т.36, №9. — С.117-119.
9. Мар'янчук П.Д., Гавалешко Н.П. Влияние температуры на зонную структуру $Mn_xHg_{1-x}Se$ // Изв. вузов. Физика. — 1991. — Т.34, №4. — С.40-44.
10. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках. — Л.: Наука, 1970. — 304с.
11. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках. — М.: Наука, 1972. — 640с.
12. Dietl T. Jędrzejczak A. Temperature Dependence of the Band Structure Parameters in HgSe from Thermomagnetic Measurements // Phys. Stat. Sol. (b). — 1975. — V.71. — K39-K44.