

УДК 621.315.592

Магнітна сприйнятливість монокристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ легованих ванадієм та хлором

Британ В.Б., Пелещак Р.М.*, Павловський Ю.В.***

email: vbrytan@yandex.ru

* кафедри загальної фізики, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, Дрогобич, Львівська обл., 82100

** кафедри машинознавства та основ технології, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Стрийська, 3, Дрогобич, Львівська обл., 82100

Приведені дослідження магнітної сприйнятливості монокристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ легованих ванадієм та хлором від напруженості магнітного поля. Виявлені нелінійності зумовлені утворенням магнітних кластерів, які мають суперпарамагнітну природу.

Ключові слова: дефекти, магнітна сприйнятливість, магнітний момент, монокристали $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, кластер.

ВСТУП

Виникнення дефектів у процесі росту приводить до суттєвих змін фізичних властивостей. В області низьких температур донори і акцептори стають парамагнітними [1], а виникаючі в кристалах донорно-акцепторні пари можуть привести до утворення магнітних кластерів [2]. Тому встановлення кореляції між умовами вирощування і фізичними властивостями необхідно для уточнення наших уявлень про природу фізичних властивостей реальних кристалів. Вперше на можливість магнітних методів дослідження дефектів вказав Ф. Крегер [3]. В дальнішому були досліджені магнітні властивості CdTe , легованого Ge [4,5], In і Cl [6], $\text{ZnO} < \text{Li}$ [7]. Результати цих досліджень дозволили виявити суттєві вклади ван-флековського парамагнетизму, ланжевенського діамагнетизму і парамагнетизму взаємодіючих між собою донорно-акцепторних пар в сумарну величину магнітної сприйнятливості.

В роботі [8] подані результати вимірювання намагніченості і магнітної сприйнятливості кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$. В магнітнім полі $H < 2kE$ виявлено гістерезис залежності намагніченості, обумовлений наявністю магнітних кластерів довільної орієнтації. Показано, що суттєвий вклад в магнітну сприйнятливості вносить ван-

флековський парамагнетизм, визваний електричним полем дефектів. Наявність аномальної залежності магнітної сприйнятливості в області температур $T < 50 \text{ K}$ зв'язано в одному випадку ($x = 0.12$) зі зміною зарядового стану між вузлового телуру, а в другому ($x = 0.21$) – або з парамагнетизмом не взаємодіючих дефектів, або з антиферомагнітним впорядкуванням дефектів підсистеми, утвореною Zn_{Cd_i} і Te_i .

1. ТЕХНОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ ЗРАЗКІВ $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

Об'єктом дослідження магнітних властивостей служили монокристали $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ леговані ванадієм та хлором, вирощені методом сублімації [9]. Зразки для дослідження магнітної сприйнятливості отримувались розрізанням вирощених монокристалічних зливків у визначеному напрямку тонкою сталевією дрітиною при постійному змочуванні масляною суспензією абразивного порошку марки М-5 у формі прямокутного паралелепіпеда. Шліфівка поверхонь зрізу проводилась вручну, використовуючи латунні оправки та водіану суспензію мікропорошку М-5, а самі зразки наклеювались за допомогою парафіну на шліфувальну головку. Заключним етапом обробки поверхонь зразків, для усунення

пошкодженого в результаті різання та механічного шліфування поверхневого шару, є хіміко-механічне полірування у 5% розчині бром у етиленгліколі та диметилформаміді. Знімався шар щонайменше у 500 мкм з кожної шліфованої сторони зразка. Після полірування проводилося багаторазове промивання зразків у бідистильованій воді та чотирьохлористому вуглеці марки ОСЧ (особливо чистий).

2. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ МОНОКРИСТІВ $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ЛЕГОВАНИХ ВАНАДІЄМ ТА ХЛОРОМ

Експериментальні залежності магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля ($\chi(H)$) зразків $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ леговані ванадієм та хлором при 77 K та 300 K представлено на рис. 1.

Вимірювання магнітної сприйнятливості зразків проводилося методом Фарадея [10] у магнітних полях (0,3–5,0) кЕ при 77 та 300 К. Максимальна похибка вимірювання при азотній температурі не перевищувала 3%.

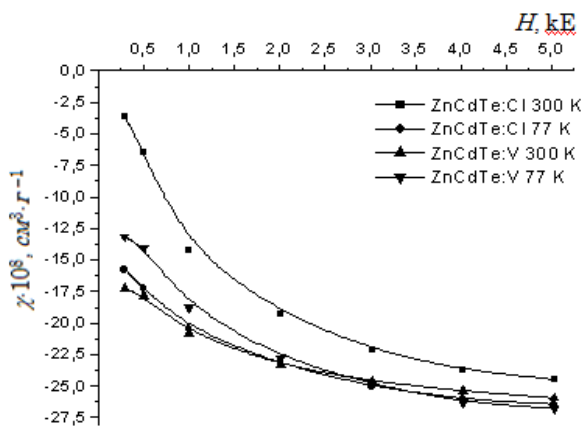


Рис. 1. Експериментальні залежності магнітної сприйнятливості зразків $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ від напруженості магнітного поля

Залежності $\chi(H)$ можна розглядати як суму двох складових: незалежної (χ^{ind}) та залежної від поля складової (χ^{ord}), яка пов'язана з впорядкуванням магнітних центрів у кристалі:

$$\chi(H) = \chi^{ord}(H) + \chi^{ind}. \quad (1)$$

Складова χ^{ind} містить у собі сприйнятливості ґратки (χ_L) і незалежну від напруженості магнітного поля парамагнітну складову (χ^{par}):

$$\chi^{ind} = \chi^{par} + \chi_L. \quad (2)$$

Приділимо увагу складовій χ^{ord} . За характером залежності $\chi^{ord}(H)$ зроблено висновок про його суперпарамагнітну природу. Підтвердженням цього є також і те, що на досліджених кристалах не спостерігався гістерезис. Фізичною причиною появи цього парамагнетизму можна вважати утворення у кристалах «квазіферомагнітних» угруповань (кластерів), які ведуть себе подібно до ланжевенівського парамагнетизму атомів, що володіють магнітним моментом. Основна відмінність полягає у тому, що магнітний момент таких угруповань може бути у 103-105 разів більшим від магнітного моменту окремих атомів.

Враховуючи зроблені припущення і зауваження вираз, яким можна описати спостережувані криві можна подати у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \chi(H) &= \chi^{ord}(H) + \chi^{par} + \chi_L = \\ &= N_{cl} \mu_{cl} L' \left(\frac{m_{cl} H}{kT} \right) + \chi^{par} + \chi_L, \end{aligned} \quad (3)$$

де N_{cl} – концентрація магнітовпорядкованих кластерів; μ_{cl} – магнітний момент одного такого кластера (будемо вважати у першому наближенні, що магнітні моменти кластерів однакові); $L'(x)$ – похідна від функції Ланжевена, k – стала Больцмана, T – температура. $\mu_{cl} = N_0 \mu_B g \sqrt{s(s+1)}$, де N_0 – кількість парамагнітних центрів у одному магнітному кластері, μ_B – магнетон Бора, g – g-фактор (для оцінки прийемо $g = 2$), s – спин парамагнітного центру, з яких складається кластер (для оцінки приймаємо $s = 1/2$). Отже, рівняння (3) буде мати наступний вигляд:

$$\chi(H) = N_{cl} N_0 \mu_B g \sqrt{s(s+1)} \cdot \left(\frac{N_0 \mu_B g \sqrt{s(s+1)}}{\left(\sinh \left(\frac{N_0 \mu_B g \sqrt{s(s+1)}}{kT} \cdot H \right) \right)^2 \cdot kT} + \frac{kT}{N_0 \mu_B g \sqrt{s(s+1)} \cdot H^2} \right) + \chi^{par} + \chi_L \quad (4)$$

Фітуючи отриманою функцією (4) експериментальні криві можна оцінити

величини N_0 та N_{cl} . Одержані результати представлені на рис. 2.

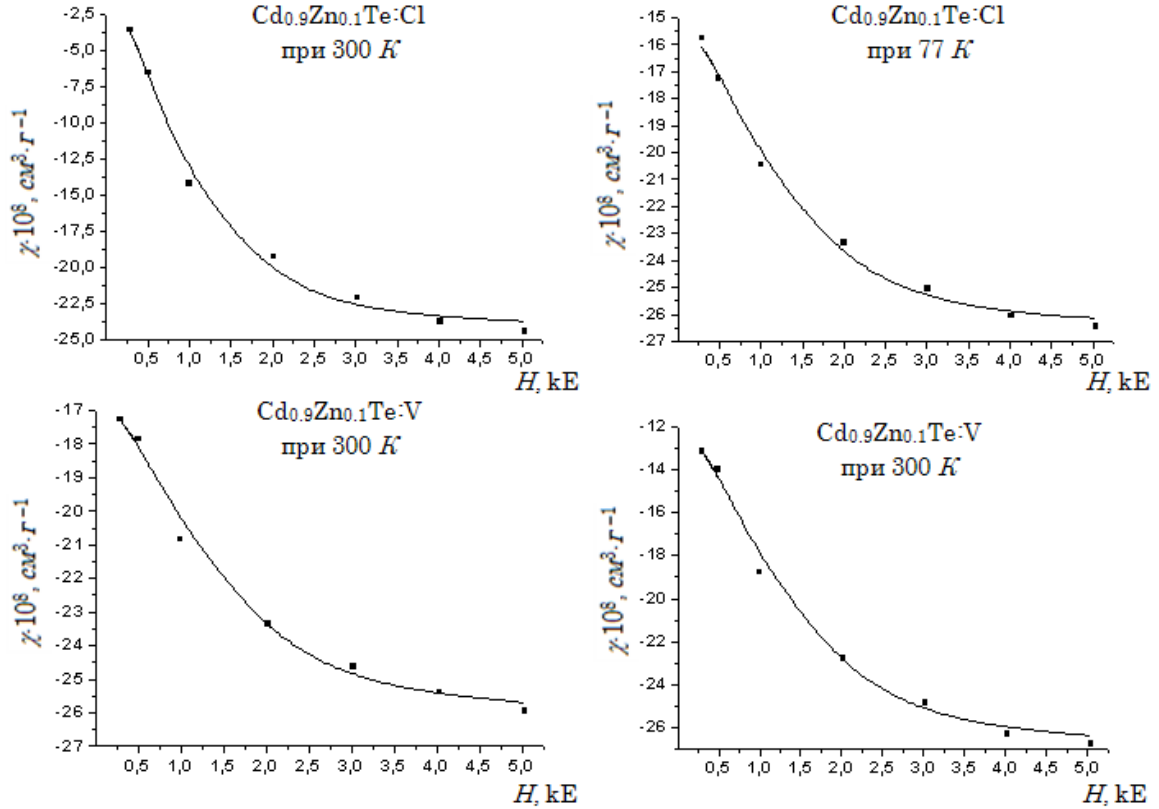


Рис. 2. Фітування експериментальних залежностей $\chi(H)$ виразом (4)

Обчислені значення N_0 , N_{cl} та магнітні моменти кластерів представлено у таблиці 1. Природа виявлених кластерів не

встановлена і є предметом наших подальших досліджень.

Таблиця 1. Параметри обчислені за результатами фітування

Зразок	N_0 , кластер-1	N_{cl} , см-3	μ_{cl} / μ_B
ZnCdTe:Cl 300 K	$5,7 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^{10}$	9,87
ZnCdTe:Cl 77 K	$1,19 \cdot 10^3$	$9,62 \cdot 10^{10}$	2,06
ZnCdTe:V 300 K	$4,26 \cdot 10^3$	$2,46 \cdot 10^{10}$	7,38
ZnCdTe:V 77 K	$1,12 \cdot 10^3$	$1,44 \cdot 10^{11}$	1,94

ВИСНОВКИ

Отже, в даній роботі досліджено магнітні властивості кристалів $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ легованих хлором та ванадієм. Показано, що легування

призводить до появи нелінійних властивостей залежностей магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля. Виявлені нелінійності зумовлені утворенням магнітних кластерів,

які мають суперпарамагнітну природу. На основі теоретичної моделі оцінено концентрації та магнітні моменти кластерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] J. van Wieringen. *Phil. Techn. Rev.*, 19, 301 (1957/1958).
- [2] Уайт Р. Квантовая теория магнетизма / М.: Наука, 1985. – с. 233.
- [3] Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов / М.: Мир, 1969. – с. 654.
- [4] Ivanov-Omskii V.I. Magnetism of CdTe Lattice Defects / Ivanov-Omskii V.I., Kolomiets B.T., Ogorodnikov V.K., Rud Yu.V., Tsmots V.M.. // *Phys. Stat. Sol.(a)*. – 1972. – 13, № 61.
- [5] Р.Д. Иванчук, Е.С. Никонюк, А.В. Савицкий, И.Ф. Сницко. *ФТП*. – 1977. – № 11. – с. 2046.
- [6] Panchuk O. IV group dopant compensation effect in CdTe / O. Panchuk, A. Savitsky, P. Fochuk, Ye. Nikonyuk, O. Parfenyuk, L. Shcherbak, M. Plashchuk, L. Yatsunyk, P. Feychuk. // *J. Cryst. Growth*. – 1999. – 197. – p. 607.
- [7] Ю.В. Шалдин, М.М. Мусаев, И. Вархульска. / Сб. тр. V Межд. сем. «Магнитные фазовые переходы», Махачкала. – 2002. – с. 98.
- [8] Шалдин Ю.В. Магнітні властивості широкозонних напівпровідників $Cd_{1-x}Zn_xTe$ / Ю.В. Шалдин, І. Вархульська, М.Х. Рабаданов, В.К. Комарь // *ФТП*. – 2004, том 38, вип. 3. – С. 300-304.
- [9] Британ В.Б. Получение и электрические свойства кристаллов $CdxZn_{1-x}Te$ / В.Б. Британ, О.М. Пігур, В.Д. Попович, Д.И. Цюцюра [и др.] // *Неорганические материалы*. – 2005. – Т. 41, № 7. – С. 782 – 784.
- [10] В.М. Цмоць та ін. // Патент України на винахід №77284 від 15.11.2006.