

В.Б. Британ, Ю.В. Павловський, Р.М. Пелешак, Ю.О. Угрин

## Вплив домішок ванадію та хлору на магнітну сприйнятливість монокристалів $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Івана Франка, 24,  
м. Дрогобич, 82100, e-mail: vbrytan@yandex.ru*

Приведено експериментальні залежності магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля монокристалів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  легованих ванадієм або хлором. Виявлені нелінійності зумовлені утворенням магнітних кластерів, які мають суперпарамагнітну природу. Запропоновано інтерпретацію одержаних результатів у рамках моделі ланжевенівського парамагнетизму атомів. Оцінено розміри та магнітні моменти кластерів, які спричиняють виявлені особливості.

**Ключові слова:** дефекти, магнітна сприйнятливість, магнітний момент, монокристали, кластер.

*Стаття постуила до редакції; прийнята до друку 15.03.2016.*

### Вступ

Виникнення дефектів у процесі росту приводить до суттєвих змін фізичних властивостей. В області низьких температур до нори 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 необхідне для уточнення наших уявлень про природу фізичних властивостей реальних кристалів. Вперше на можливість магнітних методів дослідження дефектів вказав Ф. Крегер[3]. У подальшому були досліджені магнітні властивості  $CdTe$ , легovanого  $Ge$  [4, 5],  $IniCl$  [6],  $ZnO<Li>$  [7]. Результати цих досліджень дозволили виявити суттєві вклади ван-флексівського парамагнетизму, ланжевенівського діаманетизму і парамагнетизму взаємодіючих між собою донорно-акцепторних пар в сумарну величину магнітної сприйнятливості.

У роботі [8] приведені результати вимірювання намагніченості і магнітної сприйнятливості кристалів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , зокрема в магнітному полі  $H < 2kE$  виявлено гістерезис залежності намагніченості, обумовлений наявністю магнітних кластерів довільної орієнтації. показано, що суттєвий внесок в магнітну сприйнятливості дає ван-флексівський парамагнетизм, створений електричним полем дефектів. наявність аномальної залежності магнітної сприйнятливості в області температур  $T < 50 K$

пов'язано в одному випадку ( $x = 0,12$ ) зі зміною зарядового стану міжвузлового телуру, а в другому ( $x = 0,21$ ) – або з парамагнетизмом невзаємодіючих дефектів, або з антиферомагнітним впорядкуванням дефектів підсистеми, утвореної  $ZnCd_i$  I  $Te_i$ .

### I. Технологія підготовки монокристалічних зразків $Cd_{1-x}Zn_xTe$

Об'єктом дослідження магнітних властивостей служили монокристали  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , легovanі ванадієм та хлором, вирощені методом сублімації[9]. Зразки для дослідження магнітної сприйнятливості отримувались розрізанням вирощених монокристалічних зливків у визначеному напрямку тонкоюсталеву дротиною при постійному змочуванні масляною суспензією абразивного порошку марки М-5 у формі прямокутного паралелепіпеда. Шліфівка поверхонь зрізу проводилась вручну, використовуючи латунні оправки та водяну 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 чотирихлористому вуглеці марки ОСЧ (особливо чистий).

## II. Результати вимірювань магнітної сприйнятливості монокристалів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ легованих ванадієм та хлором

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

Експериментальні залежності магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля ( $c(H)$ ) зразків  $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$  легованих ванадієм та хлором при 77 K та 300 K представлено на рис. 1.

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

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

Складова  $c^{ind}$  містить у собі сприйнятливість ґратки ( $c_L$ ) і незалежну від напруженості магнітного поля парамагнітну складову ( $c^{par}$ ):

$$c^{ind} = c^{par} + c_L \quad (2)$$

За характером залежності складової  $c^{ord}(H)$  зроблено висновок про її суперпарамагнітну

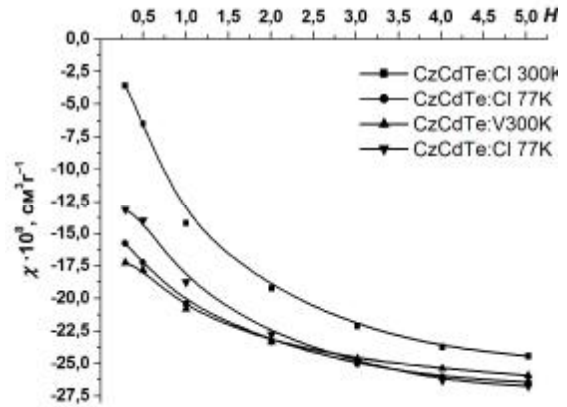


Fig. 1. Experimental dependence of the magnetic susceptibility due to the magnetic field of  $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$  samples.

природу. Підтвердженням цього є також і те, що на досліджених кристалах, в температурному інтервалі 77 – 300 K, не спостерігався гістерезис. Парамагнітні властивості можуть з'явитися при утворенні в кристалах точкових дефектів та їх комплексів. 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  $10^3 - 10^5$  разів більшим від магнітного моменту окремих атомів. Природа та розмір цих магнітовпорядкованих кластерів може бути пов'язана з А-центрами та їх концентрацією [8, 11]

Враховуючи зроблені припущення і зауваження, вираз, за допомогою якого можна описати спостережувані криві залежності  $c(H)$  (рис. 1) можна записати у наступному вигляді:

$$c(H) = c^{ord}(H) + c^{par} + c_L = N_{cl} m_{cl} L\left(\frac{m_{cl} H}{kT}\right) + c^{par} + c_L \quad (3)$$

де  $N_{cl}$  – концентрація магнітовпорядкованих кластерів;  $m_{cl}$  – 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.  $m_{cl} = N_0 m_B g \sqrt{s(s+1)}$ , де  $N_0$  – кількість парамагнітних центрів у одному магнітному

кластері,  $m_B$  – магнетон Бора,  $g$  – g-фактор (для оцінки приймемо  $g = 2$ ),  $s$  – спин парамагнітного центру, з яких складається кластер (для оцінки приймаємо  $s = 1/2$ ). Враховуючи вище приведені міркування та вирази для  $L'(x)$  і  $m_{cl}$  співвідношення  $c(H)$  набуде вигляду:

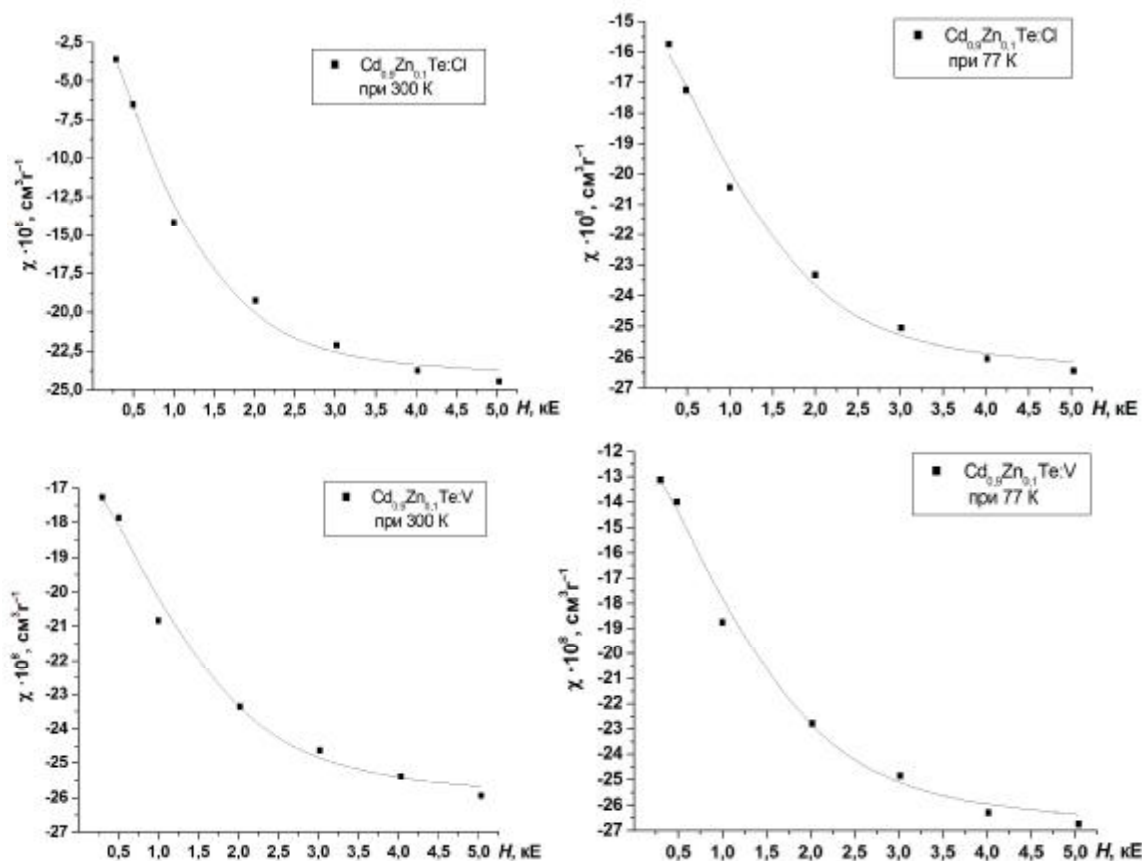


Fig. 2. Experimental (♦) and theoretical dependences(–)  $c(H)$ .

Table 1

Зразок	$N_0/N_{cl}$	$N_{cl}, \text{cm}^{-3}$	$m_{cl}/m_B$
$\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:Cl}$ 300 K	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{10}$	9,87
$\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:Cl}$ 77 K	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$9,62 \cdot 10^{10}$	2,06
$\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:V}$ 300 K	$4,26 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{10}$	7,38
$\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:V}$ 77 K	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,44 \cdot 10^{11}$	1,94

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

На рис. 2 приведені результати чисових розрахунків (4) магнітної сприйнятливості  $c(H)$  від напруженості магнітного поля в монокристалах  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$  легованих ванадієм або хлором при температурах 77 K та 300 K і експериментально отриманих значень  $c(H)$  (рис. 1).

На основі функції (4), яка апроксимує експериментальні криві магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля (рис. 1), проведемо оцінку кількості парамагнітних центрів у одному магнітному кластері  $N_0$  та концентрацію магнітовпорядкованих кластерів  $N_{cl}$ . Обчислені значення  $N_0$ ,  $N_{cl}$  та магнітні моменти кластерів представлено у таблиці 1. Аналіз результатів значень

магнітних моментів кластерів, розрахованих за допомогою формули  $m_{cl} = N_0 m_B g \sqrt{s(s+1)}$ , показує, що із зменшенням температури з 300 K до 77 K магнітний момент кластера в монокристалі  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:Cl}$  зменшується в 4,8рази, тоді як у монокристалі  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te:V}$  – 3,8 рази. Це пов'язано з тим, що із зменшенням температури число парамагнітних центрів  $N_0$  зменшується.

## Висновки

1. Показано, що легування монокристалів  $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$  домішками ванадію або хлору

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

2. У межах моделі ланжевенівського парамагнетизму атомів з врахуванням експериментальних залежностей магнітної сприйнятливості від напруженості магнітного поля зразків  $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$ , легованих ванадієм або хлором, проведено оцінку парамагнітних центрів у одному магнітному кластері  $N_0$  та концентрацію магнітовпорядкованих кластерів  $N_{cl}$ .

3. Встановлено, що кількість парамагнітних центрів у одному магнітному кластері ( $N_0$ ), з

підвищенням температури зростає, тоді як концентрація магнітовпорядкованих кластерів ( $N_{cl}$ ) – спадає.

**Британ В.Б.** – кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри загальної фізики;

**Павловський Ю.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри машинознавства та основ технології;

**Пелешак Р.М.** – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри загальної фізики;

**Угрин Ю.О.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної фізики.

- [1] J. van Wieringen. *Phil. Techn. Rev.* 19, 301 (1957/1958).
- [2] R. Uajt, *Kvantovaja teorija magnetizma* (Nauka, Moskva, 1985).
- [3] F. Kreger, *Himija nesovershennyh kristallov* (Mir, Moskva, 1969).
- [4] Ivanov-Omskii V.I. *Magnetism of CdTe Lattice Defects Phys. Stat. Sol.(a)*. 13( 61), 61 (1972).
- [5] R.D. Ivanchuk, E.S. Nikonjuk, A.V. Savickij, I.F. Snicko, *FTP*. 11, 2046, (1977).
- [6] O. Panchuk, A. Savitsky, P. Fochuk, Ye. Nikonyuk, O. Parfenyuk, L. Shcherbak, M. Ilashchuk, L. Yatsunyk, P. Feychuk, *J. Cryst. Growth*. 197, 607, (1999).
- [7] Ju.V. Shaldin, M.M. Musaev, I. Varhul'ska, *Sb. tr. V Mezhd. sem. «Magnitnye fazovye perehody»* (Mahachkala, 2002). S. 98.
- [8] Ju.V. Shaldin, I. Varhul's'ka, M.H. Rabadanov, V.K. Komar', *FTP* 38(3), 300 (2004).
- [9] V.B. Britan, O.M. Pigur, V.D. Popovich, D.I Cjucjura [i dr.], *Neorganicheskie materialy*. 41(7), 782 (2005).
- [10] V.M. Cmoc' ta in., *Patent Ukraïni na vinahid №77284 vid 15.11.2006*.
- [11] D.V. Korbutjak, S.V. Mel'nichuk, Є.V. Korbut, M.M. Borisjuk, *Telurid kadmiju: domishkovi-defektni stani ta detekturni vlastivosti* (Ivan Fedorov, Kyiv, 2000).

V.B. Brytan, Yu.V. Pavlovskyy, R.M. Peleshchak, Yu.O. Uhryn

## **Vanadium and Chlorine doping Influence on Magnetic Susceptibility of $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$ Monocrystals**

*Ivan Franko State Pedagogical University, 82100, Ukraine, Drohobych, 24 Franko str., E-mail: [vbrytan@yandex.ru](mailto:vbrytan@yandex.ru)*

The magnetic field experimental dependences of vanadium and chlorine doped  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  monocrystals magnetic susceptibility have been research. The magnetic susceptibility non-linearity has been observed. It is shown that this non-linearity due to super paramagnetic nature magnetic clusters forming.

**Keywords:** defects, magnetic susceptibility, magnetic moment, monocrystals, clusters.