

**კადმიუმის ტელურიდის დეფექტიანი კრისტალების
მაგნიტური თვისებები**

ნანა მამისაშვილი ლალიტა დარჩიაშვილი ზურაბ ჩაჩხიანი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ფარადეის მეთოდით შესწავლილია $CdTe$, $CdTe:In$ -ისა და $CdTe:Cl$ -ის კრისტალების მაგნიტური ამთვისებლობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე $5 \div 300 K$ ფარგლებში. ექსპერიმენტების შედეგები არ ეწინააღმდეგება ვარაუდს, რომ მაგნიტურ ამთვისებლობაში ლანჟევენის და ვან-ფლექისეულ მინარევთა კომპლექსის პარამაგნეტიზმის წვლილი ნულისაგან განსხვავებულია – საკუთარი წერტილოვანი დეფექტი. განიხილება შესაძლებელია თუ არა კადმიუმის ტელურიდის მოცულობაში ახალი დიამაგნიტური კომპლექსების წარმოქმნა.

საკვანძო სიტყვები: კრისტალი. პარამაგნეტიზმი. ტემპერატურა.

1. შესავალი

დიამაგნიტური კრისტალის მაგნიტურ თვისებებზე დეფექტების გავლენის შესაძლებლობა, ჩვენის აზრით, პირველად განხილულია [1] ნაშრომში. $GaAs:Te$ (იხ.[2]) ძლიერად ლეგირებული კრისტალებისათვის χ , მაგნიტური ამთვისებლობის გაზომვამ საშუალება მოგვცა აღმოგვეჩინა χ -ს დამოკიდებულება ტემპერატურაზე $100 K$ –ზე დაბალი ტემპერატურისათვის, რაც ინტერპრეტირებული იყო, როგორც უცნობი ბუნების დეფექტების ლანჟევენის პარამაგნეტიზმის წვლილი. შემდგომში In, Cd, Al, Au და Cu -ით ლეგირებული კადმიუმის ტელურიდს n - და p - ტიპის კრისტალების მაგნიტური თვისებების ექსპერიმენტულმა კვლევებმა გვიჩვენა [3], რომ $5 \div 300 K$ ინტერვალში იმის მიუხედავად, თუ როგორი იქნება მინარევის კონცენტრაცია, χ -ს მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული T -ზე. მაგრამ $-3,2 \div -3,5 \times 10^{-7} \text{ სმ}^2/\text{გ}$ ინტერვალში χ -ს სიდიდე სხვადასხვა იყო ყოველი ნიმუშისათვის. შედეგებიდან გამომდინარე [3] ნაშრომის ავტორებმა გამოთქვეს მოსაზრება, რომ $[V_{cd} In_{cd}]$ და $[V_{cd} X_{cd}]$ (X – არაკონტროლირებადი მინარევია) დონორულ-აქცეპტორული წყვილებში, ამ წყვილების კონცენტრაცია კი დამოკიდებულია საწყისი მასალის ლეგირების ბუნებასა და სისუფთავეზე, მაგნიტურ ამთვისებლობაში ვან-ფლექისეული წვლილი ნულისაგან განსხვავებულია.

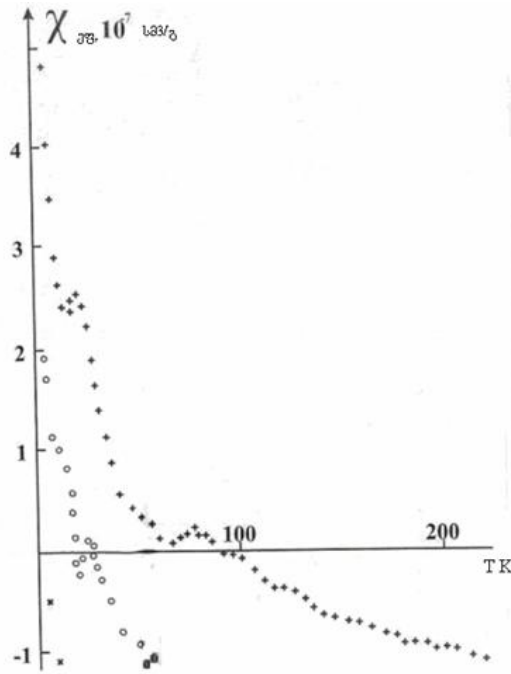
თუ კადმიუმის ტელურიდში მინარევები საკუთარ წერტილოვან დეფექტებთან (სწდ) ერთად წარმოქმნის ერთჯერადად დამუხტულ კომპლექსებს, მაშინ ეს უკანასკნელნი წარმოჩინდება როგორც პარამაგნიტური ცენტრები (პც), რომელთა წვლილი χ -ში, როდესაც $T \rightarrow 0$ განუწყვეტლივ გაიზრდება კიურის კანონის მიხედვით [4]. ვინაიდან ექსპერიმენტის შედეგები ამ ვარაუდს ეწინააღმდეგება, ასეთი პც-ის კონცენტრაცია ერთობ მცირე სიდიდედ

უნდა ჩავთვალოთ, სხვადასხვა ნიშნებისათვის χ სიდიდეთა შორის განსხვავება უნდა დავეუკავშიროთ კადმიუმის ტელურიდში დიამაგნიტური კომპლექსების წარმოქმნისას, რომლებიც ცვლის ბმათა მიწდვით სავალენტო ელექტრონების განაწილების ანიზოტროპის და ძირითადად სწორედ ეს განაპირობებს დეფექტთა ვან-ფლექისეულ პარამაგნიტიზმს. კადმიუმის ტელურიდში ასეთი ცენტრების არსებობა გამომდინარეობს მე-[5] ნაშრომიდან, რომელშიც გაანალიზებულია კადმიუმის ტელურიდის დეფექტიანი სტრუქტურა გაზრდისა და ლევირების პირობებზე დამოკიდებულებით. ცხადია, რომ დეფექტიანი სტრუქტურის ანალიზი ალბათური ხასიათისაა და ამიტომ კადმიუმის ტელურიდის დეფექტიანი კრისტალების მაგნიტურ ამთვისებლობაში ახალი მონაცემების ჩაბმა გვაძლევს დამატებით ინფორმაციას დეფექტების ელექტრონული კონფიგურაციისა და მათი მუხტის შესახებ.

2. ძირითადი ნაწილი

წინამდებარე ნაშრომში მოცემულია $0,43$ ტლ ველში, $5 \div 300 K$ –მდე ტემპერატურაზე კადმიუმის ტელურიდის მაღალომიანი კრისტალების მაგნიტური ამთვისებლობის ეფექტურ მნიშვნელობათა გაზომვის შედეგები.

კადმიუმის ტელურიდის მონოკრისტალი მაგნიტური ამთვისებლობის გაზომვა ხდება ფარადეის მეთოდით ძლიერი მაგნიტური ველებისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში საერთაშორისო ლაბორატორიაში. ტემპერატურული დამოკიდებულების გამოსაკვლევად ვიყენებთ თერმორეგულატორად ჰელიუმის კრიოსტატს, რაც საშუალებას გვაძლევს ტემპერატურა შეგვენარჩუნებინა $\pm 0,05 K$ სიზუსტით. ჩვენ ვიკვლევით $2,0 \times 0,2 \times 5,0$ მმ³ ზომის კადმიუმის ტელურიდის ნიმუშებს. ნაკვლევი ნიმუშები მზადდება მონოკრისტალებისაგან, რომლებიც იზრდებოდა ნაღობისა და აირადი ფაზისაგან. საწყისი მონოკრისტალების გამტარობა იყო p ტიპის და მათი $\rho_T \approx 10^4$ ომი.სმ. ნიმუშების ლევირება დონორული In –სა და Cl –ის მინარევებით იწვევდა ρ_T –ს ზრდას შესაბამისად 10^7 და 10^8 ომი.სმ–მდე. ფოტოლუმინესენციის, ფოტოგამტარობისა და ელექტრონული შთანთქმის შესახებ ჩატარებული გამოკვლევები [6] გვიჩვენებს, რომ $CdTe$ –ის შემადგენლობაში მინარევი შედის როგორც შემადგენელი ნაწილი რომელიდაც კომპლექსებისა, რომელთა სიმეტრია განსხვავდება კრისტალის სიმეტრიისგან. $CdTe:In$, $CdTe:Cl$ ეფექტური მაგნიტური ამთვისებლობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების $\chi_{ფ}(T)$ გაზომვის შედეგად მიღებული მონაცემები მოცემულია 1-ელ ნახაზზე. მიღებული შედეგების ანალიზისას ყურადღებას იქცევს $\chi_{ფ}(T)$ დამკიდებულების მსგავსება (რასაც მუდმივი სიდიდის სიზუსტით), $|\chi_{ფ}|$ მნიშვნელობის შემცირება, როდესაც $T \rightarrow 0$, $CdTe$ და $CdTe:In$ დეფექტიანი კრისტალების გადასვლა დიამაგნიტური მდგომარეობიდან პარამაგნიტურში და $T < 100 K$ არეში $\chi_{ფ}(T)$ დამოკიდებულების არამონიტორული ხასიათი.



ნახ.1. $CdTe$, $CdTe:In$ და $CdTe:Cl$ კრისტალების მაგნიტური ამთვისებლობის ეფექტურ მნიშვნელობათა დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები გასაგები გახდება, თუ ვივარაუდებთ, რომ კადმიუმის ტელურიდში დეფექტების როლი არსებითია და მათი წვლილი მნიშვნელოვანია მაგნიტურ თვისებებში, რაც განპირობებულია მოცემულობაში სწდ-ის და ნულისგან განსხვავებული მაგნიტური მომენტის მქონე მინარევ-სწდ-ის კომპლექსის არსებობით.

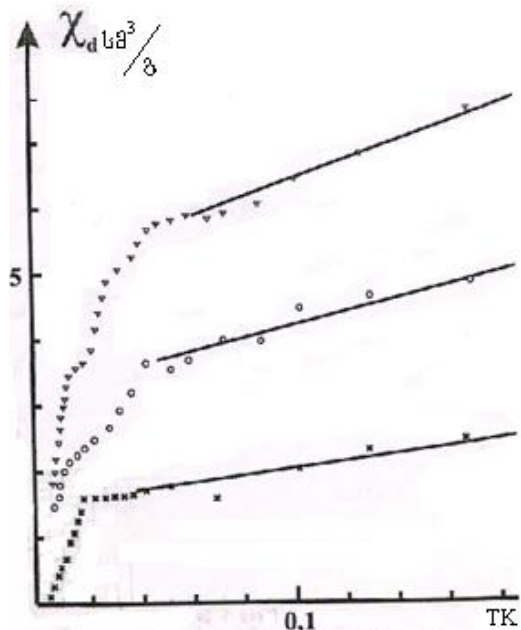
ისევე, როგორც [2]-ში, ჩავთვალოთ, რომ დეფექტიანი კრისტალის ჯამური ამთვისებლობა χ_{Σ} იდეალური კრისტალი χ ამთვისებლობისა და $\chi_{დეფ}$ დეფექტების ამთვისებლობის ადიტიური ჯამია.

$$\chi_{\Sigma} = \chi + \chi_{დეფ}$$

ვინაიდან ამთვისებლობა იდეალური დიამაგნიტიკისა, რომელიც შედგება დიამაგნიტური და ვან-ფლექისეული წევრებისაგან, არ არის დამოკიდებული T -ზე [1], ადვილია დეფექტების წვლილის შეფასება ჯამურ ამთვისებლობაში, თუ ჩავთვლით, რომ χ მუდმივია და ტოლია $-3,6 \times 10^{-7}$ სმ³/გ. ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების შედეგები მოცემულია მე-2 ნახაზზე და აღიწერება $\chi_{დეფ} = \chi_{VV} + CT^{-1}$ დამოკიდებულებით, სადაც χ_{VV} და C ახასიათებენ შესაბამისად ვან-ფლექისეული და ლანჟევინისეული დეფექტების პარამაგნიტიზმს.

χ_{VV} და C პარამეტრების შეფასება მოცემულია ცხრილში $\pm 10\%$ სიზუსტით.

[5] -ის მიხედვით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ კადმიუმის ტელურიდის საწყის კრისტალში არის V_{Cd}^- და V_{Cd}^+ აქცეპტორების ტიპის სწდ, რომლებიც განსაზღვრავენ P -ტიპის გამტარობას და $[V_{Cd} \cdot Al_{Cd}]^-$ კომპლექსს. ამ დეფექტების არსებობა კადმიუმის ტელურიდის მოცულობაში უნდა იწვევდეს სფალერატული მესრის დამახინჯებას და მასსადამე, უნდა მიგვიყვანოს ბმების გასწვრივ სავალენტო ელექტრონების განაწილების



ნახ.2. დეფექტების მაგნიტური ამთვისებლობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე კადმიუმის ტელურიდში

ანიზოტროპის მნიშვნელოვან შეცვლამდე, რასაც თან სდევს დეფექტის ძირითადი და ზემანის ორბიტული ეფექტით გამო აღზნებული მდგომარეობის ერთმანეთში არევა და რაც სწორედ არის დეფექტის ვან-ფლუკისეული დეფექტის პარამაგნიტიზმის მიზეზი [7]. ამ დროს ერთჯერადად დამუხტული დეფექტები თითქოს პარამაგნიტური ცენტრებია, რომელთა მაგნიტური თვისებების ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ემორჩილება კიურის კანონს.

კადმიუმის ტელურიდის მესერში Cd –ის დონორული მინარევის შეყვანას მოსდევს როგორც ვან-ფლუკისეული პარამაგნიტიზმის ძლიერად შეცვლა, ისე დეფექტებისა და მათი ლანჟევენის პარამაგნიტიზმის შემცირება. (იხ. ცხრ.1) ასეთი სიტუაციის არსებობა შესაძლებელია პარამაგნიტური სწდ–ის ნაწილის $[V_{Cd} Cl_i]$ დიამაგნიტურ კომპლექსებში შებოჭვის გამო, რაც დასტურდება კიურის მუდმივას შემცირებით და ეთანხმება [5] ნაშრომის შედეგს. ჩვენ ასევე არ გამოვრიცხავთ უფრო რთული $[V_{Cd} Al_{Cd} Cl_i]$ დიამაგნიტური კომპლექსების წარმოქმნის შესაძლებლობას.

ცხრ.1.

კრისტალის ტიპი	$\chi_{VV} \cdot 10^{-7} \text{ სმ}^3/\text{გ}$	$C \cdot 10^{-7} \text{ სმ}^3 K/\text{გ}$
<i>CdTe : In</i>	2,2	1,6
<i>CdTe</i>	1,3	10
<i>CdTe : Cl</i>	0,1	5

თუ ასეთი კომპლექსი წარმოიქმნა კადმიუმის ტელურიდში, მაშინ დეფექტების ვან-ფლუკისეული პარამაგნიტიზმის მკვეთრად შემცირებას უნდა მოჰყვეს ამ უკანასკნელთა ელექტრონული სტრუქტურის ისეთი გარდაქმნა, რომელის დროსაც ძირითადი და აღზნებული მდგომარეობების ერთმანეთში არევა იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება მისი უგულვებელყოფა, ვინაიდან დეფექტის ძირითადი და მის ზემოთ მდებარე ორბიტული მდგომარეობების ენერგიებს შორის განსხვავება არსებითია.

კადმიუმის ტელურიდის ინდიუმით ლეგირება იწვევს საპირისპირო შედეგს: იზრდება დეფექტების ლანჟევენისეული და ვან-ფლუკისეული პარამაგნიტიზმი. როგორც ჩანს, ეს ეფექტი უპირველეს ყოვლისა მოწმობს დამატებით $[V_{Cd} In_{Cd}]$ პარამაგნიტური კომპლექსების წარმოქმნას. ასეთი დონორ-აქცეპტორული წყვილების წარმოქმნა *CdTe : Cl*–თან შედარებით პრინციპულად სხვა შედეგს გვაძლევს, ძირითადი და ზედაორბიტული მდგომარეობების არევა ზემანის ეფექტის გამო.

3. დასკვნა

ამ ნაშრომში გადმოცემული მოსაზრებები $T < 40 K$ ტემპერატურისათვის შეიძლება ვარაუდოდ დარჩეს, ვინაიდან $40 K$ –ზე მეტი ტემპერატურებისას ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები მეტყველებს დეფექტებისა და მათი კომპლექსების უფრო რთულ ელექტრონულ კონფიგურაციაზე.

ლიტერატურა:

1. Дорфман Я.Г. Динамагнетизм и химическая связь. М., ГИФМЛ, 1961.
2. Андрианов А.Г., Савельев А.С., Фистуль В.И. ФЭП 6, 853. 1972.
3. V.J.Ivanov-Omslii, B.T.Kolomiets, V.K.Ogorodnikov, Yu.V.Rud, V.M.Tsmots. Phys. St., 13, 61 1972
4. Вонсовский С.В.. Магнетизм. М., Наука, 1971.
5. T.Tagushi, B.Ray. Prog. Cristal Growth 33, 6, 103, 1983.
6. В.Н.Мартынов, А.Н.Соловьев, Ю.В.Шалдин, Э.М.Зерагия, ФТП 23, 118 (1989)
7. Р.Уайт. Квантовая теория магнетизма (М., Мир, 1985). 303 с.

MAGNETIC PROPERTIES OF DEFECTIVE CRYSTALS OF TELLURIDE OF CADMIUM

Mamisashvili Nana, Darchiashvili Lalita, Chachkhiani Zurab
Georgian Technical University

Summary

By means of Method of Faraday in the field of temperatures (5–300)K studies temperature dependences of a magnetic susceptibility of crystals CdTe, CdTe:In and CdTe:Cl. Results of experiments do not contradict the offer on the contribution distinct from zero in a magnetic susceptibility lanjevenovskava and Van-Flekovekova paramagnetism of complexes an impurity? Own dot defect. The opportunity of formation in volume CdTe of new diamagnetic complexes is discussed.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ДЕФЕКТНЫХ КРИСТАЛЛОВ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

Мамисашвили Н.А., Дарчиашвили Л.К., Чачхиани З.Б.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Методом Фарадея в области температур 5 - 300 К изучены температурные зависимости магнитной восприимчивости кристаллов CdTe, CdTe:In и CdTe:Cl. Результаты экспериментов не противоречат предложению об отличном от нуля вкладе в магнитную восприимчивость ланжевенковского и ван-флековского парамагнетизма комплексов примесь – собственный точечный дефект. Обсуждается возможность образования в объеме CdTe новых диамагнитных комплексов.