

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 302 (2015), 242 – 246

VOLUME MATERIAL FOR SPINTRONICS ON BASIS OF INTERMETALLIDE $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$

Yu. A. Ryabikin, O. V. Zashkvara, V. V. Klimenov, A. T. Isova, S. Zh. Tokmoldin

Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan

E-mail: yuar-39@mail.ru

Keywords: intensity, solid, cell, semiconductor, resistivity.

Abstract. The increase of the amount of information without losing speed transmission has always been the most important task of solid state physics. In this regard, in recent years there is an intensively developing new solid-state physics – spintronics. In the article the question on possibility of use under certain conditions, the alloy-based intermetallic compound $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ as the bulk material for spintronics. Used to date materials in spintronics with the necessary set of properties (semiconducting and ferromagnetic) could only be made in the form of thin films.

As far as we know in the literature still lack information about the preparation of bulk materials for spintronics. The applicability of the same bulk materials may allow to significantly extend the capabilities of spintronics. Moreover, it is important that the Curie temperature of the material substantially above ambient ($T_C = C$). All this gives us hope that the proposed volume of material based on intermetallic compound $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ will find wide application in spintronics, but also will allow a new look at the problem of obtaining three-dimensional materials for spintronics. In addition, there is a possibility in case of need-based intermetallic compound $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ samples in the form of thin films. The authors propose to use in spintronics, a new surround material – alloy-Zn-based intermetallic compound $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$. Alloy-Zn stoichiometric composition (17 weight. percent cobalt) has a complex cubic lattice with 52 atoms in the unit cell. The solid solutions of introduction of the temperature coefficient of resistivity are negative, indicating that these alloys exhibit semiconductor properties. Measurements by EPR showed that for samples with a concentration From $C=23-24$ is a ferromagnetic interaction between the ions. The combination of features of the ferromagnetic and semiconductor properties of the bulk solid solutions on the basis of intermetallic compound $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ may be useful for their use in spintronics.

УДК 541.122:538.214

ОБЪЕМНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СПИНТРОНИКИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$

Ю. А. Рябикин, О. В. Зашквара, В. В. Клименов, А. Т. Исова, С. Ж. Токмодин

Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: интенсивность, твердое тело, ячейка, полупроводник, электросопротивление.

Аннотация. Повышение объема передаваемой информации без потери скорости ее передачи всегда являлось важнейшей задачей физики твердого тела. В связи с этим в последние годы интенсивно развивается новое направление физики твердого тела – спинtronика.

В статье рассмотрен вопрос о возможности использования при определенных условиях сплава на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ в качестве объемного материала для спинtronики. Используемые до сих пор материалы в спинтронике с необходимым набором свойств (полупроводниковые и ферромагнитные) могли быть изготовлены только в виде тонких пленок. Насколько нам известно в литературе до сих пор отсутствуют сведения о получении объемных материалов для спинтроники. Применимость же объемных материалов может позволить существенно расширить возможности спинтроники. К тому же очень важно, что температура Кюри предлагаемого материала значительно выше комнатной ($T_K=398\text{K}$). Все это позволяет

надеяться, что предлагаемый объемный материал на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ найдет широкое применение в спинtronике, а также позволит по-новому взглянуть на проблему получения объемных материалов для спинtronики. Кроме того, имеется возможность в случае необходимости получения на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ образцов и в виде тонких пленок.

Авторы предлагают использовать в спинtronике новый объемный материал – сплав Co-Zn на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$. Сплав Co-Zn стехиометрического состава (17 вес. процентов кобальта) имеет сложную кубическую решетку с 52 атомами в элементарной ячейке. У твердых растворов внедрения температурный коэффициент электросопротивления имеет отрицательное значение, что свидетельствует о том, что эти сплавы проявляют полупроводниковые свойства. Измерения методом ЭПР показали, что у образцов с концентрацией кобальта $C=23\text{-}24$ процента происходит появление ферромагнитного взаимодействия между ионами Co. Сочетание особенностей ферромагнитных и полупроводниковых свойств объемных твердых растворов на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ может оказаться полезным для использования их в спинtronике.

Спинtronика сравнительно новая, быстро развивающаяся область науки и техники, основанная на передаче информации не с помощью электрических свойств электронов (электрического тока), а использующая переносмагнитных составляющих (спиновые характеристики электронов) ориентированных спинов из ферромагнетика в немагнитный полупроводник (ПП) [1, 2]. Проводимые в этом направлении работы являются весьма актуальными, поскольку появляется возможность создания одноэлектронных систем логических структур и спин-информационных систем, в которых информационной ячейкой памяти служит спин электрона: один спин – один бит информации [3].

Если использовать в качестве эмиттеров (источников) поляризованных электронов ферромагнитные металлы (ФМ), то обычно достижимая степень поляризации спинов в этом случае не превышает 10%. Почти 100% степень поляризации спинов была получена в системах ПП-EuO и ПП-халькогенидные шпинели. К сожалению, ферромагнитные свойства в этих системах проявляются лишь при низких температурах [4,5], что ограничивает их практическое использование. Кроме того, технические трудности с получением хорошего электрического контакта между ФМ и ПП также создают дополнительные проблемы в использовании подобных систем, которые к тому же изготавливаются только в пленочном виде. Становится ясным, что решением этих проблем, хотя бы частичным, является создание ферромагнитных полупроводников (ФП) с температурой Кюри (T_K) выше комнатной. В последнее время появились сообщения о синтезе в США пленочных ферромагнетиков в системе твердых растворов $\text{Gd}-\text{Mn}-\text{Sb}$, $\text{Gd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ (т.н. разбавленные МП) с T_K выше комнатной [6, 7]. Недавно российскими учеными также были получены соединения, имеющие T_K выше комнатной ($\text{CdGeAs}_2 : \text{Mn}$, $\text{ZnSiAs}_2 : \text{Mn}$) [8,9,10]. Это первые успехи в получении ФП с T_K выше комнатной. К сожалению, все эти системы получены в пленочном виде. Однако, развитие спинtronики требует разнообразных по составу и свойствам новых ФП.

Для устранения указанных недостатков авторы предлагают использовать в спинtronике новый объемный материал - сплав Co-Zn на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ (электронное состояние с концентрацией $\sim (21/13 \text{ эл}/\text{ат})$). На основе ингредиентов Co и Zn сплавы для исследования готовились из цинка чистотой 99,99% и Co чистотой 99,99% в корундовых тиглях в шахтной печи сопротивления под покровом расплавленной буры. Сплав разливали в стальные разъемные изложницы для получения слитков диаметром 10 и 22 см. Для приведения в равновесие пробы были подвергнуты длительному ступенчатому отжигу.

Некоторые свойства сплава Co-Zn приведены в работе [11]. Сплав Co-Zn стехиометрического состава (17 вес. процентов Co) имеет сложную кубическую решетку с 52 атомами в элементарной ячейке, упорядоченно расположеннымми по узлам решетки. Исследование электрических характеристик сплавов Co-Zn в области концентраций Co 13-24 вес. процентов показало, что у твердых растворов внедрения (концентр. Co больше 17 вес. процентов) температурный коэффициент электросопротивления имеет отрицательное значение (рисунки 1 и 2).

Этот факт, а также величина электросопротивления в этой области концентраций Co свидетельствует о том, что эти сплавы проявляют полупроводниковые свойства. Измерения методом ЭПР показали [12], что для образцов с концентрацией Co $C = 23\text{-}24$ вес. процентов интенсивность сигнала магнитного резонанса увеличилась почти на три порядка по сравнению с образцом с концентрацией 13 весовых процентов Co.

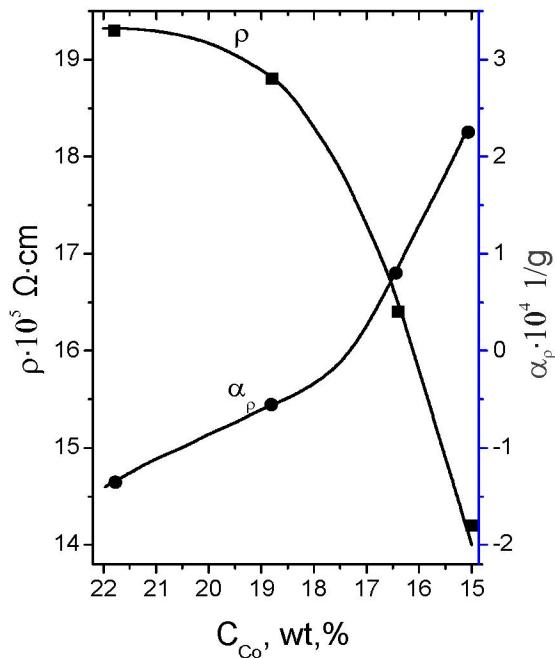


Рисунок 1 – Зависимость удельного электросопротивления (ρ) и его термического коэффициента (α_{ρ}) сплавов системы кобальт-цинк от концентрации кобальта

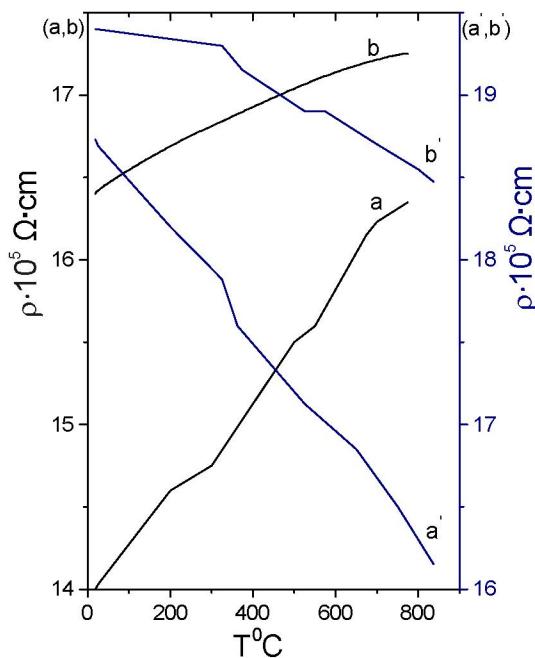


Рисунок 2 – Электросопротивление сплавов системы кобальт-цинк:
a – c=17,0; b – c = 18,5; a' – c = 20,75; b' – c = 23,8 ат. % Co

Это свидетельствует о появлении ферромагнитного взаимодействия между ионами кобальта при этих концентрациях. Для образца сплава с концентрацией 24 вес. Процентов Со наблюдается ЭПР сигнал, состоящий из двух линий (рисунок 3). Это позволяет заключить, что в этом случае происходит образование двух магнитных подрешеток кобальта, внутри которых его ионы взаимодействуют ферромагнитно между собой. Эта особенность предлагаемого материала может представлять дополнительный интерес для экспериментов по спинtronике. Температурные измерения на образце с концентрацией 25 вес. процентов Со показали, что для него $T_{\text{к}} = 398\text{K}$ [11].

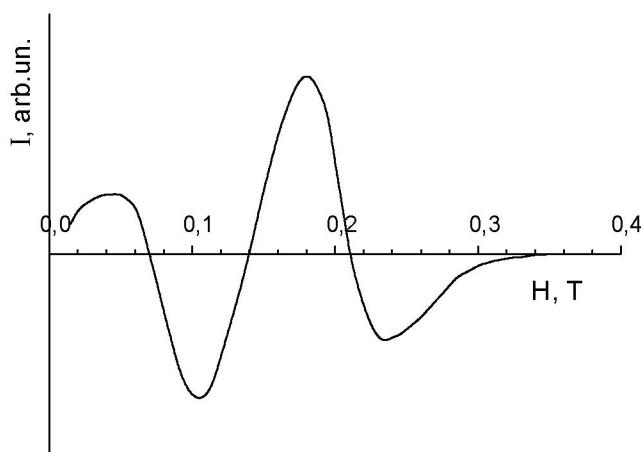


Рисунок 3 – Спектр ЭПР системы кобальт-цинк при концентрации кобальта $c = 24$ ат%

Таким образом сочетание особенностей ферромагнитных и полупроводниковых свойств объемных твердых растворов на основе интерметаллида $\text{Co}_5\text{Zn}_{21}$ может оказаться полезным для их использования в спинtronике.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта №77 от 16.09.2012 «Разработка стабильных квантово-размерных спиновых наноструктур для телепортации неравновесных когерентных квантовых состояний» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zutic S, Das Sarma // Rev. Mod. Phys.-2004.-№76.-P. 323.
- [2] Ohno H. // Science.- 1998. - №281. P. 951-956.
- [3] Matsukura F., Ohno H., Shen H., Sugawara Y.// Phys. Rev. B.- 1998.-№57- 2037.
- [4] Edmonds K.M., Wang K.Y., Campion R.P., Neumann A.C., Farley N.R.S., Gallagher B.L., Foxon C.T.// Appl. Phys. Lett.- 2002.- №81- 4991.
- [5] Edmonds K.M., Boguslawski P., Wang K.Y., Campion R.P., Novikov S.N., Farley N.R., Gallagher B.L., Foxon C.T., Sawicki M., Dietl T., Buongiorno Nardelli M., Bernholc J. // Phys. Rev. Lett.- 2004.-№ 92.- 1.
- [6] Medvedkin Gennadiy A., Ishibashi Takayuki, Nishi Takao, Hayata Koji, Hasegawa Yoichi, Sato Katsuaki.//Jpn. J. Appl. Phys. L.- 2000.- №39.- 949.
- [7] Medvedkin G.A., Hirose K., Ishibashi T., Nishi T., Voevodin V.G., Sato K., Growth J.// Cryst.- 2002.-№ 236.- 609.
- [8] Демин Р.В., Королева Л.И., Маренкин С.Ф., Михайлова С.Г., Новоторцев В.М., Калинников В.Т., Аминов Т.Г., Шимчак Р., Шимчак Г., Баран М. // Письма в ЖГФ.-2004.- №30.- 81.
- [9] Королева Л.И., Павлов В.Ю., Запиринский Д.М., Маренкин С.Ф., Варнавский С.А., Шимчак Р., Добровольский В., Кильянский Л. // ФТТ.-2007.-№49.- 2022.
- [10] Королева Л.И., Запиринский Д.М., Хапаева Т.М., Маренкин С.Ф., Шимчак Р., Крзуманска Б., Добровольский В., Кильянский Л.// ФТТ.- 2009.- №51.- 286.
- [11] Мелихов В.Д., Пресняков А.А. Строение и свойства электронных фаз// Наука,-1973.- с.199.-Алма-Ата.
- [12] Рябиков Ю.А., Мелихов В.Д., Зашквара О.В. // ФММ.- 1996.-№81.- 36.

REFERENCES

- [1] ZuticS, DasSarma. *Rev. Mod. Phys.*,**2004**,№76,P.323. (in Eng)
- [2] OhnoH. *Science*, **1998**,№281, P.951. (in Eng)
- [3] Matsukura F., Ohno H., Shen H., Sugawara Y. *Phys. Rev. B*,**1998**,№57, P.2037. (in Eng)
- [4] Edmonds K.M., Wang K.Y., Campion R.P., Neumann A.C., Farley N.R.S., Gallagher B.L., Foxon C.T. *Appl. Phys. Lett.*,**2002**,№81, P.4991. (in Eng)
- [5] Edmonds K.M., Boguslawski P., Wang K.Y., Campion R.P., Novikov S.N., Farley N.R., Gallagher B.L., Foxon C.T., Sawicki M., Dietl T., Buongiorno Nardelli M., Bernholc J. *Phys. Rev. Lett.*, **2004**, №92, P.1.
- [6] Medvedkin Gennadiy A., Ishibashi Takayuki, Nishi Takao, Hayata Koji, Hasegawa Yoichi, Sato Katsuaki. *Jpn. J. Appl. Phys. L*,**2000**, №39, P.949.(in Eng)
- [7] MedvedkinG.A., HiroseK., IshibashiT., NishiT., VoevodinV.G., SatoK.,GrowthJ. *Cryst*,**2002**, № 236,P.609. (in Eng)
- [8] Demin R.B., Koroleva L.I., Marenkin S.F., Mikhailov S.G., Novotortsev V.M., Kalinnikov V.T., Aminov T.G., Shimchak R., Shimchak G., Baran M., *Pismav JTF*,**2004**, №30, P.81.(in Russ.)
- [9] Koroleva L.I., Pavlov V.Yu., Zashirinskii D.M., Marenkin S.F., Varnavskii C.A., Shimchak R., Dobrovolskii V., Kilansky L. *FTT*,**2007**, №49, P.2022.(in Russ.)
- [10] Koroleva L.I., Zashirinskii D.M., Hapaeva T.M., Marenkin S.F., Shimchak R., Krzumanska B., Dobrovolskii V.D., Kilansky L. *FTT*,**2009**, №51, P.286. (in Russ.)
- [11] Melikhov V.D., Presnyakov A.A. *The structure and properties of the electronic phase*, *Nauka*, **1973**,199p. Alma-Ata. (in Russ.)
- [12] Ryabikin Yu.A., Melikhov V.D., Zashkvara O.V. *FMM*,**1996**, №81, P.36. (in Russ.)

Co₅Zn₂₁ ИНТЕРМЕТАЛИД НЕГІЗІНДЕГІ СПИНТРОНИКАФА АРНАЛҒАН ҚӨЛЕМДІ МАТЕРИАЛ

Ю. А. Рябиков, О. В. Зашквара, В. В. Клименов, А. Т. Исова, С. Ж. Токмолдин

Физика-техникалық институт, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: карқындылық, қатты дене, ұшынық, жартылай өткізгіш, электр кедергі.

Аннотация. Авторлар спиритроникада жаңа материал (Co₅Zn₂₁ инерметалид негізіндегі Co-Zn корытпасын) колдануды ұсынып отыр. Құрамы стехиометриялық Co-Zn корытпа элементар ұшығында 52 атомы бар күрделі кубты торға ие. Қатты қоспаларда электрлік кедергінің температуралық коэффицентін ендіру теріс мәнге ие. Бұл осы қорытпалар жартылай өткізгіштік қасиет көрсететінінің дәлелі. ЭПР әдісі бойынша өлшеу, кобальт концентрациясы C=23-24 пайызды құрайтын үлгіде Со иондар арасында ферромагниттік байланыс пайда болатындығын көрсетті. Co₅Zn₂₁ инерметалид негізіндегі қөлемді қатты қоспалардың ферромагниттік және жартылай өткізгіштік қасиеттер ерекшеліктерінің үйлесімділігі, оларды спиритроникада колдану пайдалы болуы мүмкін.

Таратылатын ақпараттың қолемін таралу жылдамдығын жоғалтпай арттыру үшін қатты дене физикасының маңызды мәселелесі болып табылады. Бұған байланысты соңғы жылдардың қатты дене физикасының спиритроника деп аталатын жаңа саласы қарқынды дамуда.

Мақалада спинтроникаға арналған көлемді материал ретінде Co_5Zn_{21} интерметалиді негізіндегі қорытпаны белгілі бір жағдайда қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Спинтроникада әліде қолданылатын қажетті қасиеттер (жартылай өткізгішті және ферромагнитті) жыйынтығы бар материалдар, жұқа кабықша ретінде жасалатын. Бізге белгілісі әдебиеттерде әлі де спинтроникаға арналған көлемді материалдарды алу жөніндегі мәліметтер кездеспейді. Көлемді материалдарды қолдану, спинтроника мүмкіндігін біршама кеңейту мүмкін. Сонымен қатар ұсынылып отырылған материалдың Қюри температурасы, бөлме температурасынан біршама жоғары ($T_c=398K$) болғандығы ете маңызды. Бұның бәрі ұсынылып отырылған Co_5Zn_{21} интерметалиді негізіндегі көлемді материал спинтроникада қолданыс табады деген сенімге арқау болады. Бұған қоса қажет болған жағдайда Co_5Zn_{21} интерметалиді негізіндегі үлтілерді жұқа кабықша ретінде жасау мүмкіндігі бар.

Поступила 07.07.2015 г.

N E W S
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 4, Number 302 (2015), 246 – 249

EXCLUSION OF SMALL DENOMINATORS IN THE TWO-BODY PROBLEM

**M. D. Shinibaev¹, A. A. Bekov¹, E. A. Akinbekov², B. N. Rakhimzhanov³,
M. K. Baubekova⁴, G. A. Abdulaeva⁴**

¹JSC «National Center of Space Researches and Technologies», Almaty, Kazakhstan;

²South-Kazakhstan State University after M.Auezov, Shymkent, Kazakhstan;

³Kokshetausky State University after Sh.Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan;

⁴South-Kazakhstan State Pedagogical Institute, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: shinibaev_maxsut@mail.ru, bekov@mail.ru

Keywords: resonance, orbits, small denominator, the gravitational field, the force function, Earth satellite, polar coordinates.

Abstract. It is known that the problems of the mechanics of space flight in the majority cannot be solved in closed form in quadratures, therefore, apply various approximate methods for solving systems of differential equations of motion. One of the important methods of the study of perturbed motion of a space object associated with the construction of new types of intermediate orbits. All intermediate orbit, used in mechanics of space flight, can be divided into three types [1,3]:

- 1) the unperturbed Keplerian orbit;
- 2) semi-analytical intermediate orbit;
- 3) Nekipelova intermediate orbit.

Each of them has certain advantages and flaws. Give a brief description of the intermediate orbit.

The choice of the Keplerian orbit best when the eccentricity of the investigated orbit is small and the amount of time the movement is small. As soon as the eccentricity of the orbit is equal to and greater than the limit Laplace $e = 0,667$ of keplero the ellipse becomes unacceptable, so as decision submitted by the ranks, becoming divergent and to save the required accuracy of the calculations required values have to take into account a large number of members of these series.

Furthermore the orbits of type 1, 2 and type 3 can be resonant. That is, regardless of the decision of the investigator (in the odds) appear «small denominators». Therefore, as of today universal variables without «small denominators» is the question of the hour.

In the article are built such variables in the problem of two bodies.