

ЗАПИСЬ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОРФИЗМА ЖЕЛЕЗНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

*А.М. Горовой, А.Н. Малов**

Иркутский военный авиационный инженерный институт,

** Иркутский государственный технический университет*

Аннотация

Обосновывается возможность записи оптической информации в регистрирующих средах принципиально нового типа, информационный слой которых может быть выполнен с использованием полиморфных сплавов на основе термогальванического явления Зеебека.

Введение

Фотографическая и голографическая регистрация оптической информации всегда осуществляется посредством специально организованного фазового перехода в веществе. Основными требованиями, предъявляемыми к регистрирующим средам, являются высокие значения энергетической светочувствительности и пространственной разрешающей способности. Чем лучше подготовлен фазовый переход в смысле степени соответствующей инверсии молекул регистрирующей среды (если ее в первом приближении рассматривать как двухуровневую квантовую систему), тем выше значение энергетической светочувствительности. Одновременно должен быть обеспечен и пороговый характер механизма записи, что необходимо для пред- и постэкспозиционного хранения регистрирующей среды. В основе работы современных аналого-цифровых носителей информации лежит изменение различных физических свойств элементарных ячеек, входящих в состав информационной дорожки носителя [1, 2]. В магнитных носителях это реализуется изменением величины или направления намагниченности соседних информационных ячеек. В магнитооптических носителях информационные ячейки при записи обеспечивают разную величину поворота плоскости поляризации линейно-поляризованного считывающего лазерного излучения, а считывание основано на различии отражающей способности информационных ячеек. Физические свойства рабочего слоя носителя, как правило, определяются его структурным состоянием: будь то магнитная, кристаллическая или электронная структура материала, из которого выполнена информационная дорожка.

В процессе разработки носителей информации различных типов до настоящего времени не уделялось должного внимания некоторым металлам и сплавам, обладающим явлением полиморфизма – способности материалов изменять тип кристаллической решетки при различного рода воздействиях на них, в частности, температуры. Считается, что с изменением типа кристаллического строения полиморфных металлов и сплавов изменяется электронная структура их атомов, а, следовательно, и физические свойства. Это обстоятельство позволяет использовать явление полиморфизма для записи и хранения оптической информации в лазерных запоминающих устройствах.

В [3] приведены данные экспериментального исследования электронной структуры сплавов на основе железа, полученные методом рентгеноспектрального анализа. Результаты, полученные в этой работе, свидетельствуют о том, что кристаллографическое $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение, приводящее к изменению типа кристаллической решетки железоникелевого сплава, сопровождается изменениями в электронной структуре атомов его компонентов. В частности, при переходе атомов железа из α - в γ -кристаллическую модификацию в них отмечается уменьшение числа sp -электронов, то есть внутриатомное перераспределение типа $sp \rightarrow d$, сопровождающееся уплотнением электронной периферии.

Эти результаты позволили создать элементарные источники термоЭДС в проводнике неизменного химического состава [4], что является предпосылкой для разработки и термогальванических носителей информации.

При изучении полиморфных превращений наибольшее внимание уделялось сплавам на основе железа, в частности, железоникелевым сплавам с содержанием никеля до 33%. В зависимости от температуры термообработки структурное состояние этих сплавов может соответствовать двум различным кристаллическим модификациям: с объемноцентрированной кубической ОЦК-решеткой (α -фаза) или с гранецентрированной кубической ГЦК-решеткой (γ -фаза). При полиморфных превращениях железоникелевых сплавов отмечается их способность находиться в термодинамически устойчивом метастабильном состоянии как с ОЦК-, так и с ГЦК-решеткой в широком интервале температур [5].

Исследование кристаллической структуры тонких железоникелевых пленок, обладающих полиморфизмом, показало, что интервал температур устойчивого состояния одновременно для α - и γ -фаз может быть существенно расширен, в основном, в сторону низких температур для сплавов с ГЦК-решеткой [6, 7]. При этом с уменьшением толщины пленок наблюдалось расширение концентрационного интервала устойчивого состояния γ -фазы в сторону увеличения содержания железа в сплаве (рис. 1).

Данное обстоятельство позволяет расширить диапазон температур надежного сохранения информации в носителях различных типов с информационным слоем, выполненным на основе полиморфных железоникелевых сплавов.

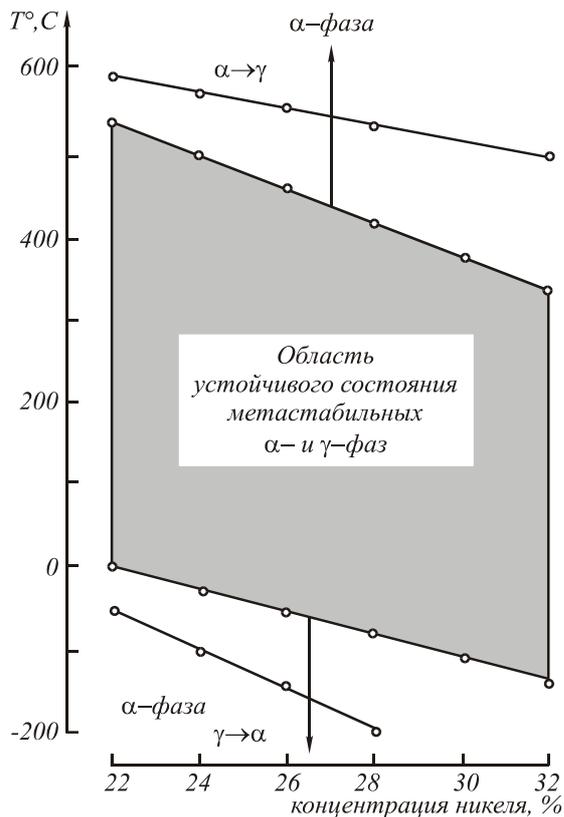


Рис. 1. Диаграмма $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращений в железоникелевых пленках толщиной 2 мкм

Магнитное считывание информации

Изучение магнитных свойств тонких пленок, содержащих от 18 до 40% никеля, в зависимости от типа их кристаллической решетки показывает, что исследуемые образцы с ОЦК-решеткой обладают высокой намагниченностью насыщения. Тонкие пленки сплавов, кристаллическая решетка которых соответствует γ -фазе, имеют ярко выраженную концентрационную зависимость намагниченности (рис. 2).

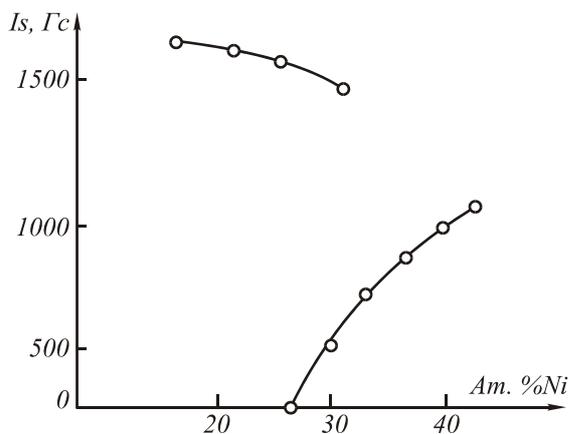


Рис. 2. Намагниченность насыщения тонких железоникелевых пленок в α - и γ -кристаллических модификациях

Из сопоставления концентрационных зависимостей намагниченностей α - и γ -фаз, представленных на этом рисунке, следует, что наиболее приемлемыми для изготовления рабочего слоя магнитных аналого-цифровых носителей информации представляются сплавы с концентрацией никеля менее 28 процентов, поскольку γ -фаза у них парамагнитная. В этом случае при цифровой записи информации различное магнитное состояние элементарных информационных ячеек можно идентифицировать с логическими «1» и «0» информации.

Накопитель информации, работающий по вышеизложенному принципу, может быть выполнен, в частности, в виде дискеты, подобно используемым в настоящее время, и адаптирован к существующим устройствам магнитного считывания. Запись на него может производиться путем отжига остросфокусированным лазерным излучением отдельных участков информационной дорожки, имеющей в исходном состоянии ОЦК решетку. Возможность подобной термообработки показана в [8]. Осуществляемое в результате лазерного отжига $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение элементарных информационных участков дорожки будет формировать в них структурное состояние в соответствии с записываемой цифровой информацией.

Аналоговая форма записи на магнитный носитель, информационная дорожка которого выполнена из полиморфного сплава, может быть основана на том, что намагниченность гетерофазного ($\alpha + \gamma$) — сплава зависит от количественного соотношения между α - и γ -фаз в нем. Необходимое количественное соотношение фаз в отжигаемых при аналоговой записи информационных участках определяется температурой перехода этих участков, величина которой лежит в интервале $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения.

Мощность лазерного излучения, используемого для записи, определяет температуру лазерного отжига, и, следовательно, фазовый состав и намагниченность последовательно расположенных участков информационной дорожки. В этом случае максимальному значению амплитуды считываемого информационного сигнала должны соответствовать информационные участки дорожки, имеющие максимальную намагниченность, то есть области, соответствующие α -фазе с ОЦК решеткой. Тогда минимальному значению амплитуды аналогового сигнала будут соответствовать информационные участки дорожки с парамагнитной γ -фазой. Промежуточным значениям амплитуды записываемого сигнала будет соответствовать широкий спектр (от 0 и до 100%) количественного соотношения α - и γ -фаз, которому будет отвечать весь диапазон изменения магнитного состояния элементарных ячеек информационной дорожки носителя.

Магнитооптическое считывание информации

Использование полиморфных сплавов для магнитооптической записи оказывается возможным в силу зависимости величины магнитооптического эффекта Керра от намагниченности материала, из которого

выполнена информационная дорожка. В случае цифровой записи информации логическим «1» и «0» будут отвечать соответственно поворот плоскости поляризации считывающего лазерного излучения при отражении от ферромагнитных информационных ячеек и его отсутствие при отражении от ячеек, состоящих из парамагнитной γ -фазы. При аналоговой форме записи на магнитооптический носитель величиной амплитуды записываемого сигнала должен определяться диапазон изменения величины угла поворота плоскости поляризации (эффект Керра), который, в свою очередь, будет зависеть от намагниченности, и, следовательно, от фазового состава отжигаемой в процессе записи информационной дорожки.

Осуществление записи на магнитооптический носитель может производиться путем отжига информационной дорожки остросфокусированным излучением, например, полупроводникового лазера. Мощность лазерного излучения, определяющая формирование структурного состояния информационной дорожки и, в конечном итоге, величину магнитооптического эффекта при считывании информации промодулирована величиной амплитуды записываемого сигнала аналогично тому, как это описано выше при магнитном считывании записанной информации записи.

В исходном состоянии, до осуществления записи, структура информационного слоя носителя должна иметь кристаллографическую α -фазу с максимальной для железоникелевого сплава намагниченностью и, соответственно, максимальным углом керровского вращения. В этом случае температура лазерного отжига должна быть в обратной пропорциональной зависимости с величиной амплитуды записываемого сигнала и находиться в интервале $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения железоникелевого сплава.

Максимальному значению амплитуды записываемого сигнала в данном случае должно отвечать структурное состояние участка дорожки, соответствующее α -фазе. Ему, в свою очередь, будет соответствовать максимальное значение намагниченности и величины магнитооптического эффекта. Минимальному значению амплитуды записываемого сигнала должно соответствовать отсутствие магнитооптического эффекта от участков дорожки, отожженных до состояния, соответствующего парамагнитной γ -фазе. Промежуточный диапазон значений амплитуды записываемого сигнала будет определяться количественным соотношением α - и γ -фаз гетерофазной ($\alpha + \gamma$)–структуры участков информационной дорожки, от которого в конечном итоге будет зависеть величина магнитооптического эффекта в этих участках.

Осуществляемая таким образом запись аналого-цифровой информации на магнитооптические носители с информационным слоем, выполненным из полиморфных сплавов, будет отличаться от используемого в настоящее время термомагнитного способа отсутствием в устройстве записи источника постоянного магнитного поля.

Оптические носители информации

Наряду с рассмотренными выше принципами создания магнитных и магнитооптических носителей информации представляется перспективным рассмотрение возможности использования явления полиморфизма для создания носителей информации, работа которых основана на различии оптических свойств элементарных участков информационной дорожки. Исследование оптических свойств полиморфных железоникелевых сплавов, находящихся в различных структурных состояниях, велось в основном в связи с изучением их электронной структуры.

В связи с этим следует отметить публикацию [9], где было показано существенное различие коэффициентов отражения для α - и γ -фаз полиморфного сплава, содержащего 30% никеля. Это, в свою очередь, может явиться основой для создания цифровых устройств записи, в которых логическим «1» и «0» информации будут соответствовать элементарные участки дорожки, имеющие α - и γ -кристаллическую структуру.

Термогальванические носители информации

В [10] рассматриваются физико-технические основы создания носителей информации принципиально нового типа, информационная дорожка которых может быть выполнена из полиморфного сплава, а их работа основана на термогальваническом эффекте Зеебека. Элементарные информационные ячейки у такого типа носителей могут находиться в структурном состоянии, отвечающем α – или γ -фазе железоникелевого сплава в соответствии с записанной информацией. Принцип работы таких носителей заключается в возникновении термоЭДС при локальном нагреве остросфокусированным лучом считывающего лазера границы раздела α - и γ -фаз, составляющих объем информационных ячеек. Наличие или отсутствие термоЭДС при этом идентифицируется с логическими «1» или «0» информации, записываемой в цифровом виде.

Экспериментально определенная величина термоЭДС для контактной пары, состоящей из ОЦК- и ГЦК- областей сплошного железоникелевого проводника, выполненного в виде как проволоки, так и тонкой пленки, составляет около 1,9 мВ/100°С (рис. 3).

В случае, когда часть контактной пары имеет гетерофазную ($\alpha + \gamma$) кристаллическую структуру, то величина термоЭДС пропорциональна количественному соотношению в ней между α - и γ -фазами. Если одна составляющая контактной пары будет находиться в структурном состоянии, соответствующем ОЦК решетке, а фазовый состав второй составляющей будет переменным, то экспериментально определенная зависимость величины термоЭДС от изменения структурного состояния второй составляющей контактной пары при $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ будет иметь линейный вид (рис. 4).

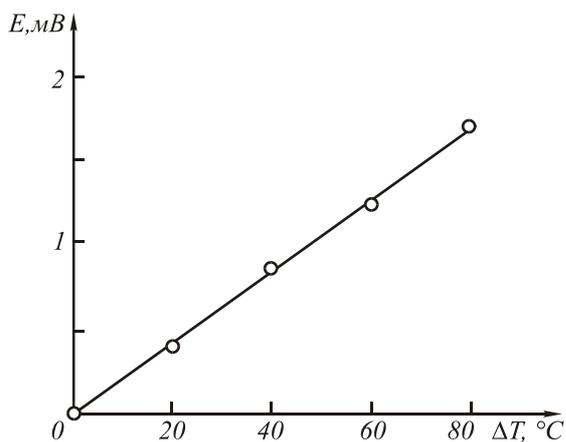


Рис. 3. Температурная зависимость термоЭДС при нагреве границы раздела α - и γ -фаз в тонкой пленке сплава 70%Fe-30%Ni

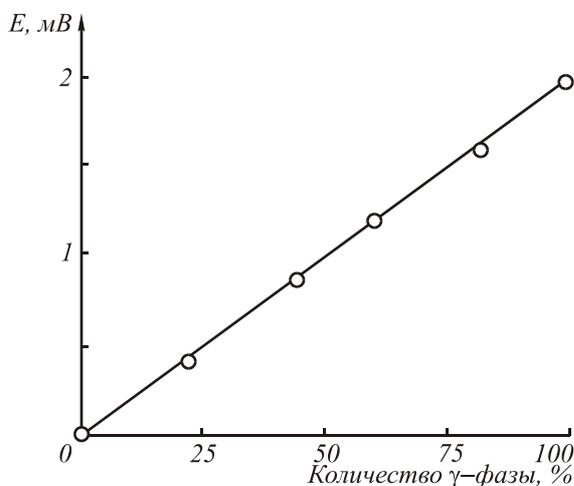


Рис. 4. Зависимость термоЭДС от фазового ($\alpha+\gamma$) состава по отношению к α -фазе

Таким образом, на протяжении всей длины информационной дорожки путем соответствующих термообработок остросфокусированным записывающим лазерным излучением можно создавать элементарные источники переменной термоЭДС, плавно меняющаяся величина, которой будет определять динамический диапазон амплитуды аналогового сигнала.

Вместе с тем, элементарные источники термоЭДС, являющиеся информационными ячейками, можно создавать путем контакта железоникелевого сплава с каким-либо другим металлом. Это было подтверждено при создании контактных пар FeNi-Cu и FeNi-Ni; причем в обоих случаях, как с медью, так и с никелем, полиморфный железо никелевый сплав, содержащий 70% железа, был отдельно представлен в ОЦК и ГЦК кристаллических модификациях. Экспериментальные данные по определению термоЭДС железоникелевого сплава по отношению к меди и никелю представлены на рис. 5 и 6.

Из этих данных следует, что в случае практической реализации термогальванического накопителя абсолютная разница в величине наводимой тер-

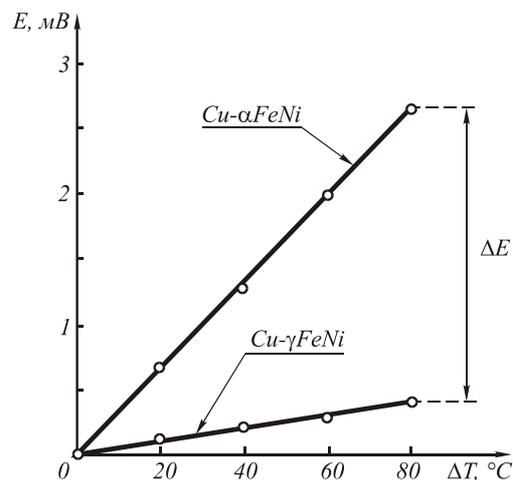


Рис. 5. Температурная зависимость термоЭДС α -FeNi и γ -FeNi по отношению к меди

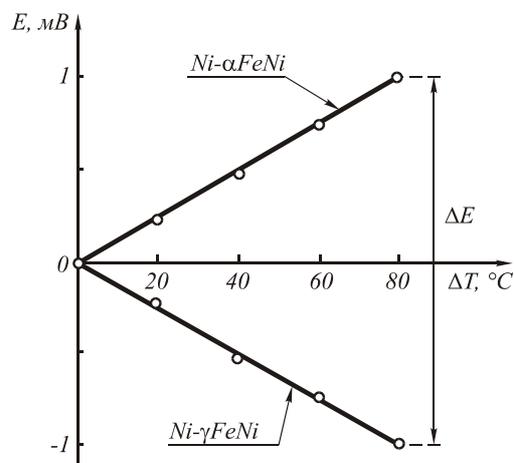


Рис. 6. ТермоЭДС ОЦК- и ГЦК-кристаллических модификаций сплава 30%Ni-70%Fe по отношению к никелю

моЭДС для контактов чистого никеля и меди с различными полиморфными модификациями железоникелевого сплава будет составлять $2,5\div 3,0$ мВ/100°C. Такое существенное различие дает основание сделать вывод о возможности практического использования полученных результатов для создания накопителей информации принципиально нового типа. Полученное различие в величине или знаке наводимой термоЭДС при контакте меди или никеля с α - и γ -фазами железоникелевого сплава можно идентифицировать с логическими «1» и «0» информации в случае цифровой формы записи.

Конструктивно термогальванические накопители информации могут быть выполнены в виде диска с концентрическими кольцевыми информационными дорожками или в виде термостойкой гибкой ленты, в которой поперечно-строчное считывание можно осуществлять путем последовательного сканирующего нагрева информационных дорожек лазерным пучком. Таким образом, накопители термогальванического типа можно адаптировать к существующим устройствам считывания информации.

Заклучение

Плотность записи на вышерассмотренные типы носителей должна быть не хуже, чем у существующих в настоящее время аналогов, так как в основном она будет определяться диаметром острогофокусированного записывающего лазерного излучения. Обратимость $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращений полиморфных железоникелевых сплавов после соответствующих термообработок [5], не сопровождающаяся их разрушением, позволяет производить на таких носителях неограниченное количество циклов записи информации. При этом, в отличие, например, от известных магнитных носителей будет иметь место полное удаление ранее произведенной записи, что может быть очень важным обстоятельством для обеспечения конфиденциальности или секретности информации.

Интервал температур надежного сохранения информации, определяемый термодинамически устойчивым состоянием α - и γ -фаз материала информационного слоя таких носителей, находится в области от -100 до 350°C . С уменьшением толщины информационной дорожки до $0,1 - 0,05$ мкм он может быть расширен в область низких температур. Кроме того, несомненным достоинством таких носителей является их невосприимчивость к электромагнитным полям, поскольку тип кристаллической решетки полиморфного железоникелевого сплава при таких воздействиях остается неизменным.

Принципиальное отличие термогальванических носителей от всех известных устройств записи заключается в том, что считывание может осуществляться путем регистрации электрических сигналов непосредственно с участка информационной дорожки без промежуточных преобразований, как это имеет место у современных магнитооптических носителей. Это позволяет существенно повысить отношение сигнал/шум и дает возможность улучшить качество считываемой информации и облегчает ее восстановление в случаях частичного разрушения.

Литература

1. Карпенков С.Х. Тонкопленочные накопители информации // М.: Радио и связь, 1993. 504с.
2. Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика // М.: Энергоатомиздат, 1990. 320с.
3. Добровольский В.Д., Каральник С.М., Коваль А.В. Рентгеноспектральное изучение полиморфизма в сплавах железа // Металлофизика, Киев: Наукова думка, 1972. №41. С. 68-73.
4. Горовой А.М. Особенности структуры и свойства железо-никелевых вакуумных конденсатов // Дисс... канд. физ.-мат. наук. Иркутск. 1986.
5. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов // М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1962. Т.2. С. 722-729.
6. Gorovoi A.M., Ushakov A.U., Kasakov V.G. Phase $\alpha \leftrightarrow \gamma$ Transformation Peculiarities in Fe-Ni Films // Proc. of the 9 Intern. Col. on Magn. Films and Surfaces, Lodz, 1979. P. 203-207.
7. Горовой А.М., Ушаков А.И., Казаков В.Г. и др. Исследование приближения к равновесному состоянию в пленках сплавов Fe-Ni // Физика металлов и металловедение, 1984. Т.58, №1. С.113-118.
8. Ушаков А.И., Горовой А.М., Казаков В.Г. и др. Фазовый $\alpha \rightarrow \gamma$ переход в Fe-Ni пленках под действием лазерного облучения // Физика металлов и металловедение, 1980. Т.50. С. 440-442.
9. Сасовская И.И., Носков М.М., Меньшиков А.З. Оптические и рентгеновские спектры сплавов Fe-30Ni в ГЦК и ОЦК структурных состояниях // Физика металлов и металловедение, 1969. Т.27. С. 272-279.
10. Горовой А.М., Портнов М.А. Термогальванический цифровой носитель информации // Сб. научных трудов 12-й Байкальской Международной конференции «Методы оптимизации и их приложения». Иркутск, 2001. С.156-161.

Recording of optical information based on polymorphism of iron-nickel alloys

A.M. Gorovoi¹, A.N. Malov²

¹ Irkutsk Military Aviation Engineering Institute

² Irkutsk State Technical University

Abstract

The paper substantiates the possibility of recording optical information in recording media of a fundamentally new type: the information layer of such media can be produced using polymorphic alloys based on the Seebeck thermal galvanic phenomenon.

Keywords: iron-nickel alloy, optical information, polymorphic alloy, Seebeck thermal galvanic phenomenon.

Citation: Gorovoi AM, Malov AN. Recording of optical information based on polymorphism of iron-nickel alloys. *Computer Optics* 2003; 25: 104-108.

References

- [1] Karpenkov SK. Thin film magnetic storage [In Russian]. Moscow: "Radio I Svyaz" Publisher; 1993.
- [2] Randoshkin VV, Chervonenkis AY. Applied magneto-optics. Moscow: "Energoatomizdat" Publisher; 1990.
- [3] Dobrovolsky VD, Karalnik SM, Koval AV. X-ray study of polymorphism in Fe alloys. *Metallofizika* 1972; 41: 68-73.
- [4] Gorovoi AM. Peculiarities of structure and properties of iron-nickel vacuum condensates. The thesis for the Candidate's degree in Physics and Mathematics. Irkutsk; 1986.
- [5] Hansen M, Anderko K. Structures of double alloys [In Russian]. Vol 2. Moscow: "GNTI on ferrous and nonferrous metallurgy" Publisher; 1962: 722-729.
- [6] Gorovoi AM, Ushakov AU, Kasakov VG. Phase $\alpha \leftrightarrow \gamma$ transformation peculiarities in Fe-Ni films. Proc 9th Intl Col on Magn Films and Surfaces (Łódź) 1979: 203-207.
- [7] Gorovoi AM, Ushakov AU, Kasakov VG, et al. Investigation of the approximation to the equilibrium state in films of Fe-Ni alloys. *Fizika Metallov i Metallovedenie* 1984; 58(1): 113-118.
- [8] Ushakov AI, Gorovoi AM, Kazakov VG, et al. Laser-induced phase $\alpha \rightarrow \gamma$ transition in Fe-Ni films. *Fizika Metallov i Metallovedenie* 1980; 50: 440-442.
- [9] Sasovskaya II, Noskov MM, Menshikov AZ. Optical and X-ray spectra of Fe-30Ni alloys in FCC and BCC structural states. *Fizika Metallov i Metallovedenie* 1969; 27: 272-279.
- [10] Gorovoi AM, Portnov MA. Thermal galvanic digital data carrier. Proc 12th Baikal International Conference "Optimization methods and their applications" 2001: 156-161.