

05

Температурная устойчивость ГЦК-структуры FeNi пленок различной толщины

© А.М. Горовой

Иркутский военный авиационный инженерный институт
E-mail: dmsafronov@yandex.ru

Поступило в Редакцию 19 мая 2004 г.
В окончательной редакции 19 августа 2004 г.

Методами рентгеноструктурного и магнитного фазового анализа исследованы полиморфные железоникелевые пленки толщиной от 0.1 до 1.3 μm , содержащие 25–30% никеля, сконденсированные методом термического испарения в вакуумной установке с турбомолекулярным способом откачки. Установлена зависимость кристаллографической устойчивости ГЦК-структуры пленок в зависимости от их толщины в интервале температур от 70 до -196°C ; сделано предположение, что подобная зависимость может определяться дефектами кристаллической решетки, плотность которых пропорциональна толщине пленок и размерам кристаллов. Выявлено, что тип подложки не влияет на область температур устойчивого состояния кристаллографических модификаций исследуемых образцов. На основании полученных результатов следует определять химический состав и толщину железоникелевых фрагментов рабочего слоя термогальванических носителей информации в широкой области температур их эксплуатации.

В [1–6] показана возможность создания термогальванических аналого-цифровых устройств записи информации принципиально нового типа, работа которых основана на явлении Зеебека, обнаруженном в полиморфных железоникелевых сплавах неизменного химического состава [7]. При этом наряду с решением проблем, связанных с разработкой конструкций термогальванических накопителей информации и адаптацией их к существующим устройствам записи-считывания, весьма актуальными представляются задачи, касающиеся существенного повышения уровня их эксплуатационных характеристик по сравнению с имеющимися в настоящее время аналогами.

Данная работа посвящена анализу факторов, влияющих на установление диапазона температур надежного сохранения записанной информации в накопителях термогальванического типа с целью максимального расширения этого диапазона по сравнению с существующими накопителями магнитного и магнитооптического типа.

Работа термогальванических носителей информации основана на способности полиморфных железоникелевых сплавов, тонкие пленки которых входят в состав информационной дорожки, находиться в двух различных устойчивых кристаллических модификациях: с ОЦК-решеткой (α -фаза) и с ГЦК-решеткой (γ -фаза) [8].

Принцип работы термогальванических цифровых носителей заключается в возникновении на участке цепи информационной дорожки термоЭДС при локальном нагреве остросфокусированным лучом считывающего лазера границы раздела элементарных информационных ячеек дорожки. В случае, если ячейки различаются по фазовому составу, наводимая термоЭДС может быть идентифицирована с логической „1“ информации. Если фазовый состав соседних ячеек одинаков, то ЭДС при нагреве их границы не наводится, что будет соответствовать „0“ информации.

Сигналы наводимой термоЭДС величиной 1.9 mV/100 K поступают непосредственно на считывающее устройство без промежуточных преобразований, как это имеет место у оптических и магнитных носителей. Это, в свою очередь, позволит существенно увеличить отношение сигнал/шум при считывании, т.е. улучшить качество считываемой информации. Данное обстоятельство, а также абсолютная устойчивость α - и γ -фаз железоникелевого сплава при воздействии на него электромагнитного поля является достоинством термогальванических носителей информации по сравнению с имеющимися в настоящее время аналогами. Описанные в [1–6] устройства могут быть выполнены в виде гибкой ленты или жесткого диска и адаптированы к существующим устройствам считывания.

Определение температурного диапазона эксплуатации носителей сводится к установлению границ устойчивого существования α - и γ -фаз, т.е. области, в которой они одновременно могут находиться в устойчивом состоянии. Нижней границей при этом будет являться температура начала $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения M_1 , а верхней — температура начала $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения A_1 . Данные, полученные при исследовании $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращений в тонких железоникелевых пленках указанного кон-

центрационного интервала, позволяют говорить о возможности существенного расширения области устойчивого состояния метастабильной высокотемпературной γ -фазы в сторону низких температур.

В исходном, после конденсации, состоянии тип кристаллической решетки пленок соответствовал α -фазе. Последующий часовой отжиг образцов в вакууме $2 \cdot 10^{-6}$ mmHg при температуре 600°C приводил к $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращению с образованием в пленках гомогенного γ -твердого раствора. Температура начала $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения M_1 определялась с использованием метода магнитного фазового анализа. Для исследуемых образцов он является наиболее чувствительным и позволяет фиксировать образования в парамагнитной γ -фазе пленок, содержащих 25 и 28% никеля, областей ферромагнитной α -фазы, суммарный объем которых составляет менее 1%. Температура M_1 в пленках, содержащих 30% никеля, фиксировалась по увеличению магнитного момента, поскольку намагниченность у α -фазы образцов данного химического состава в пять раз выше, чем у γ -фазы.

Поскольку термогальванические носители информации могут быть выполнены в виде диска с жесткой металлической основой, то исследования проводились на пленках, сконденсированных в вакууме не только на кварцевые и ситалловые подложки, но и на медные пластины с подслоем ($\approx 0.1 \mu\text{m}$) хрома, существенно улучшающего адгезию. Было установлено, что тип подложек, используемых для получения исследуемых образцов, заметно не влияет на температуру M_1 , размер кристаллов и полноту $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения при охлаждении пленок до -196°C .

Результаты проведенных исследований показывают, что область температур надежного сохранения записанной информации у термогальванических носителей определяется в основном химическим составом и толщиной железоникелевых пленок, входящих в состав информационной дорожки. На рис. 1 представлены зависимости температуры M_1 в тонких железоникелевых пленках, содержащих 25–30% никеля, от толщины пленки h . Для образцов указанных химических составов отмечается рост температуры M_1 с увеличением толщины пленок. Характер поведения кривых указывает на асимптотическое приближение температуры начала $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения с увеличением толщины пленок к значениям M_1 для массивных образцов, которые примерно равны 100, 10 и -40°C для сплавов, содержащих 25, 28 и 30% соответственно.

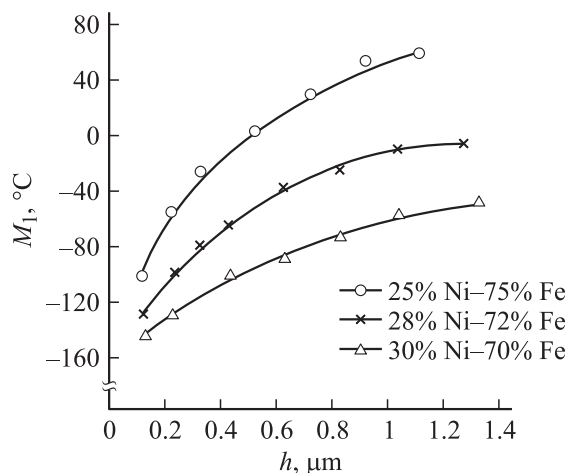


Рис. 1. Толщинная зависимость температуры начала $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения в тонких пленках.

Наряду с толщинной зависимостью температур потери устойчивости γ -фазы были получены зависимости размера кристаллов γ -фазы от толщины исследуемых пленок (рис. 2). Необходимо отметить, что, согласно данным электронной микроскопии, размеры кристаллов в тонкой железоникелевой пленке соответствуют размерам областей когерентного рассеивания L , рассчитанным с использованием стандартной методики рентгеноструктурного анализа [8,9]. Из этого следует, что кристаллы тонкой пленки не разбиваются на отдельные блоки, как это имеет место в образцах металлургического производства. В результате плотность дислокаций внутри кристаллов тонких пленок оказывается ниже, чем в кристаллах массивных образцов.

Поэтому происходит расширение температурной области устойчивого состояния γ -фазы железоникелевых пленок в область низких температур, и, следовательно, расширение температурного диапазона надежного хранения информации, которая может быть записана на носителе, имеющем в составе рабочего слоя тонкие пленки полиморфного железоникелевого сплава. Причину повышения устойчивости γ -фазы к $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -переходу следует рассматривать с позиций теории мартенситного превращения.

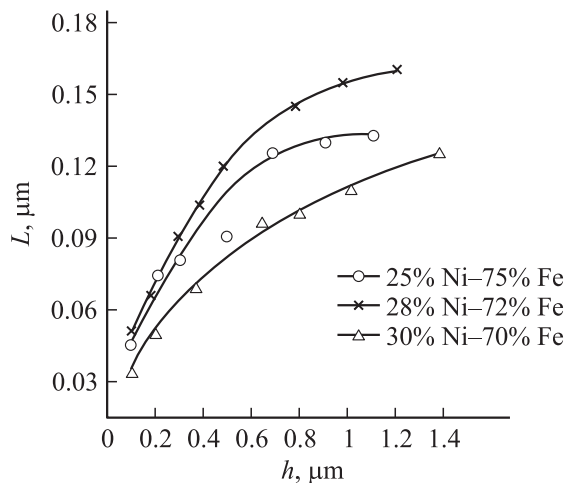


Рис. 2. Зависимость размера областей когерентного рассеяния L от толщины пленок.

Согласно теории гетерогенного зародышеобразования, в полиморфном железоникелевом сплаве α -фаза может образовываться на „подготовленных“ местах, которыми являются дефекты кристаллической решетки, в частности дислокации [10]. В рассматриваемом случае в тонких пленках степень подавления $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращения, возрастающая с уменьшением их толщины, может быть объяснена уменьшением при этом плотности дислокаций. Подобное явление было отмечено в [11], где при значительном уменьшении размеров зерна никелевой стали экспериментально было установлено снижение плотности дислокаций. По мнению [11], это явилось причиной снижения эффективности зародышеобразования и роста кристаллов α -фазы. Результаты, полученные в настоящей работе, дают основание предполагать, что устойчивость к $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращению в тонких пленках железоникелевых сплавов может быть обусловлена плотностью дислокаций, которая зависит от толщины исследуемых образцов и размеров зерна исходной кристаллографической фазы.

В пользу дислокационного механизма зародышеобразования α -фазы, наряду с зависимостью плотности дислокаций от размеров кристаллов, свидетельствует вторая возможная причина увеличения плотности дис-

локаций, связанная с увеличением толщины пленок. В процессе термообработки, приводящей к $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращению, определенная часть дислокаций в силу их подвижности может выходить на поверхность тонкой пленки. Следовательно, уменьшение толщины пленок должно в данном случае способствовать снижению в них плотности дислокаций так же, как это имеет место при уменьшении размеров кристаллитов. Поэтому расширение диапазона температур эксплуатации термогальванических носителей информации [1–6], обусловленное повышением устойчивости γ -фазы к $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -превращению с уменьшением толщины железоникелевых пленок, может быть следствием двух вышерассмотренных причин, каждая из которых вносит свой вклад в механизм понижения температуры M_1 .

Таким образом, из приведенных в данной работе результатов следует, что в процессе производства носителей информации термогальванического типа нужно исходить из того, в какой температурной области они будут эксплуатироваться, выбирая при этом химический состав и толщину железоникелевых фрагментов информационной дорожки. Нижняя температурная граница сохранения информации, записанной на термогальванические носители, будет определяться температурой M_1 для пленок различного химического состава и разной толщины (рис. 1), входящих в состав рабочего слоя носителя. Верхняя температурная граница надежной эксплуатации термогальванических носителей будет определяться устойчивостью α -фазы пленок к $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращению, т. е. температурой A_1 . Для концентрационно однородных тонких пленок железоникелевых сплавов зависимость A_1 от процентного содержания никеля совпадает с таковой для массивных сплавов и монотонно понижается от 480 до 390°C при увеличении концентрации никеля от 25 до 30%.

Список литературы

- [1] Горовой А.М., Шмидт М.В. // Тез. II Байкальской Междунар. конф. „Магнитные материалы“. Иркутск, 2003. С. 140–141.
- [2] Горовой А.М., Сафронов Д.А. // Тез. II Байкальской Междунар. конф. „Магнитные материалы“. Иркутск, 2003. С. 138.
- [3] Gorovoi A.M., Malov A.N. // Proc. SPIE. 2003. V. 5129. P. 255–260.
- [4] Gorovoi A.M., Malov A.N. // Proc. SPIE. 2003. V. 5134. P. 155–161.
- [5] Горовой А.М., Малов А.Н. // Компьютерная оптика. 2003. В. 25. С. 104–108.

- [6] Горовой А.М., Малов А.Н. // Компьютерная оптика. 2003. В. 25. С. 109–111.
- [7] Шелковников И.В., Горовой А.М., Белебеев Н.А. // Материалы 13 Всерос. науч.-тех. конф. „Проблемы повышения боевой готовности, боевого применения, технической эксплуатации и обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов с учетом климатогеографических условий Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока“. Ч. 1. Иркутск: ИВАИИ, 2003. С. 95–97.
- [8] Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1962. Т. 2. С. 750.
- [9] Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронографический анализ. М.: Металлургия, 1972. 368 с.
- [10] Петров Ю.Н. // Металлофизика. Киев.: Наук. думка, 1974. № 55. С. 11–15.
- [11] Волосевич П.Ю., Гриднев В.Н., Петров Ю.Н. // Металлофизика. Киев.: Наук. думка, 1974. № 55. С. 8–11.