

05

## Исследование влияния прекурсора на магнитостатические и динамические характеристики $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$ аморфных лент

© Е.Е. Шалыгина, Н.М. Абросимова, М.А. Комарова,  
В.В. Молоканов, Ч.О. Ким, Ч.Ж. Ким, Я.Ву. Рим

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Институт металлургии и металловедения им. А.А. Байкова РАН  
Корейский национальный университет, Тейджон, Южная Корея  
E-mail: shal@magn.ru

Поступило в Редакцию 28 января 2003 г.

Представлены результаты исследования влияния прекурсора на магнитостатические и динамические характеристики  $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$  аморфных лент. Обнаружено, что рациональный выбор прекурсора позволяет в значительной степени улучшить магнитомягкие свойства изучаемых аморфных лент и существенно повысить значение магнитоимпеданса.

Несмотря на то что аморфные магнитные материалы (АММ) были открыты более тридцати лет назад, интерес к исследованию их структурных, магнитных, кинетических и динамических свойств не ослабевает и по настоящее время. Объясняется это, в первую очередь, возможностью широкого использования этих материалов в современной микроэлектронике при относительно низкой цене их изготовления.

В последние годы большое внимание уделяется повышению стеклообразующей способности (СС) аморфных сплавов, что обусловлено стремлением улучшить в полной мере их магнитные, механические, коррозионные и другие свойства, предопределяемые особой структурой этих материалов. Известно, что число возможных составов с экстремально высокой СС невелико, поскольку оно ограничено малым числом тройных эвтектик на основе соединений-стеклообразователей. В [1,2] было доказано, что увеличение СС может быть достигнуто выбором исходной заготовки и термической обработкой расплава. Основным требованием к структуре прекурсора является отсутствие грубых вы-

деленных первичных фаз, приводящих к необходимости использовать высокий перегрев расплава до их полного растворения. Зародыши первичных фаз, являясь центрами кристаллизации, препятствуют его переохлаждению и стеклообразованию. В [3] было показано, что существенное улучшение СС аморфных сплавов может быть достигнуто путем использования в качестве прекурсора порошка магнитомягких материалов с аморфной структурой. Дополнительная, специальная термическая обработка расплава также способствовала повышению СС [2]. Очевидно, что описанная выше модернизация технологии получения аморфных материалов должна влиять на их физические свойства.

Известно также, что применение аморфных сплавов в практических приложениях основано на таких их характеристиках, как магнитосопротивление и магнитоимпеданс, которые, как доказано в [4,5], зависят от микромагнитной структуры (равновесное распределение намагниченности) этих материалов. В связи с этим микромагнитная структура (ММС) аморфных сплавов, полученных в виде лент и проволок, стала предметом изучения многих исследователей.

В данной работе представлены полученные впервые результаты изучения влияния технологии получения  $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$  аморфных лент на их приповерхностную микромагнитную структуру и магнитные свойства, а также на их динамические характеристики.

Исходная  $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{12}$  лента (образец № 1) толщиной  $20\ \mu\text{m}$  была получена методом быстрой закалки расплава слитка указанного состава в воздухе. Вторая лента того же состава (образец № 2) была получена путем быстрой закалки в атмосфере He расплавленного куска первой ленты, прошедшего специальную термическую обработку. Рентгеноструктурные исследования показали, что полученные ленты являются аморфными. Константа магнитострикции насыщения обеих лент  $\lambda_s$  была порядка  $-1 \cdot 10^{-7}$ .

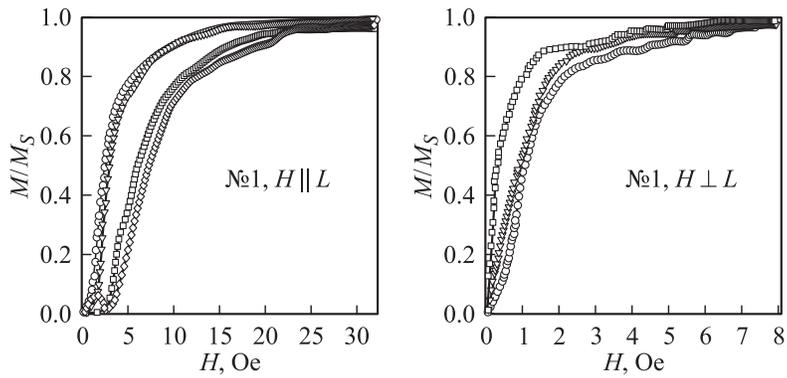
Изучение приповерхностных магнитных свойств аморфных лент было выполнено на магнитооптическом микромагнетометре, подробно описанном в работе [6]. Ленты были разрезаны на куски длиной  $20\ \text{mm}$ . Переменное магнитное поле с частотой  $f = 80\ \text{Hz}$  было приложено параллельно поверхности изучаемых образцов. При смещении светового пятна диаметром  $20\ \mu\text{m}$  вдоль длины лент  $L$  распределения плоскостных компонент намагниченности локальные кривые намагничивания и петли гистерезиса были измерены с помощью экваториального эффекта Керра (ЭЭК)  $\delta$ . Фактически были найдены зависимости  $\delta(L, H)/\delta_s \propto M(L, H)/M_s$ . Здесь  $\delta = (I - I_0)/I_0$ , где  $I$  и  $I_0$  —

интенсивности света, отраженного от намагниченного и ненамагниченного образца соответственно;  $\delta_S$  — значение ЭЭК при  $M = M_S$ ;  $M_S$  — намагниченность насыщения образца. Уместно также отметить, что длиной  $L$  обозначено направление, совпадающее с полосами роста лент.

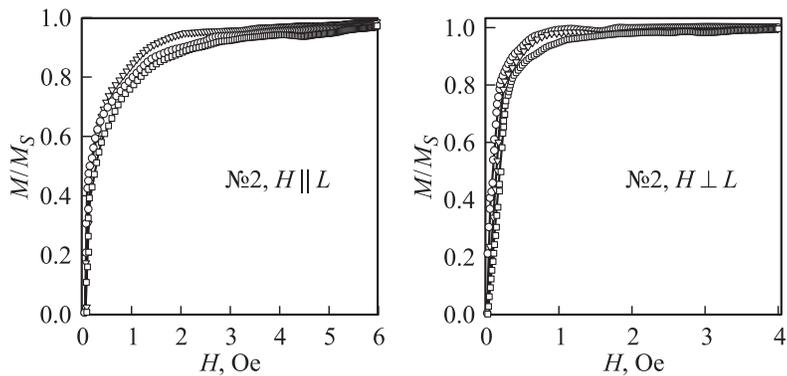
Четырехконтактная система (НР4192А) была использована для измерения зависимости магнитоимпеданса  $Z$  от внешнего магнитного поля, приложенного вдоль длины ленты  $L$  параллельно АС измерительному току  $i_{\sim} = 5$  мА. Катушки Гельмгольца позволяли получать циклическое магнитное поле. Магнитно-полевые зависимости магнитоимпеданса  $\Delta Z/Z(\%) = \{Z(H) - Z_{sat}\}/Z_{sat} \cdot 100\%$  были измерены при различных значениях частоты измерительного тока при циклическом изменении приложенного поля (от  $+H$  до  $-H$  и обратно). Здесь  $Z_{sat}$  — значение магнитоимпеданса  $Z$  при  $H = 36$  Ое.

Магнитооптические измерения усредненных по поверхности магнитных характеристик показали, что изучаемые ленты имеют плоскостную магнитную анизотропию с осью легкого намагничивания (ОЛН), перпендикулярную длине ленты  $L$ , что характерно для аморфных материалов с отрицательной магнитострикцией.

На рис. 1 и 2 приведены соответственно типичные локальные кривые намагничивания, наблюдаемые на изучаемых лентах в магнитном поле, приложенном параллельно и перпендикулярно их длине  $L$ . Из рис. 1 и 2 можно видеть, что локальные кривые намагничивания первого образца различаются очень сильно, в то время как во втором образце они практически одинаковые. Эти данные свидетельствуют о различной степени однородности локальных магнитных свойств аморфных лент № 1 и 2. Ярко выраженную неоднородность локальных магнитных свойств в образце № 1 можно объяснить сильной дисперсией магнитной анизотропии — явлением, характерным для аморфных материалов, полученных по традиционной технологии [7–10]. Высокая однородность локальных магнитных свойств, обнаруженная во втором образце, может быть объяснена улучшением стеклообразующей способности расплава благодаря рациональному выбору прекурсора и его специальной термической обработке. Следует отметить, что, несмотря на существенное различие локальных кривых намагничивания в первой ленте, достаточно четко проявляется поперечная относительно длины ленты ориентация ОЛН. Анализ полученных экспериментальных данных также показал, что коэрцитивная сила  $H_C$  и поле насыщения  $H_S$  образца № 2 примерно в 10 меньше значений  $H_C$  и  $H_S$  образца № 1.

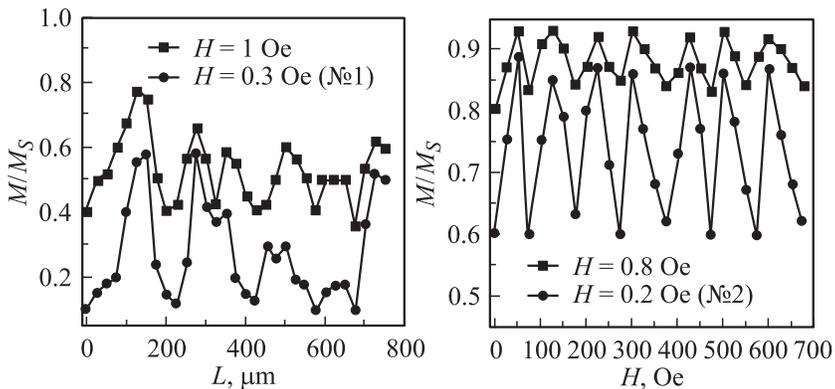


**Рис. 1.** Типичные локальные кривые намагничивания, наблюдаемые на контактной стороне образца № 1 в плоскостном магнитном поле, приложенном параллельно и перпендикулярно длине ленты  $L$  (левая и правая соответственно).



**Рис. 2.** Типичные локальные кривые намагничивания, наблюдаемые на контактной стороне образца № 2 в плоскостном магнитном поле, приложенном параллельно и перпендикулярно длине ленты  $L$  (левая и правая соответственно).

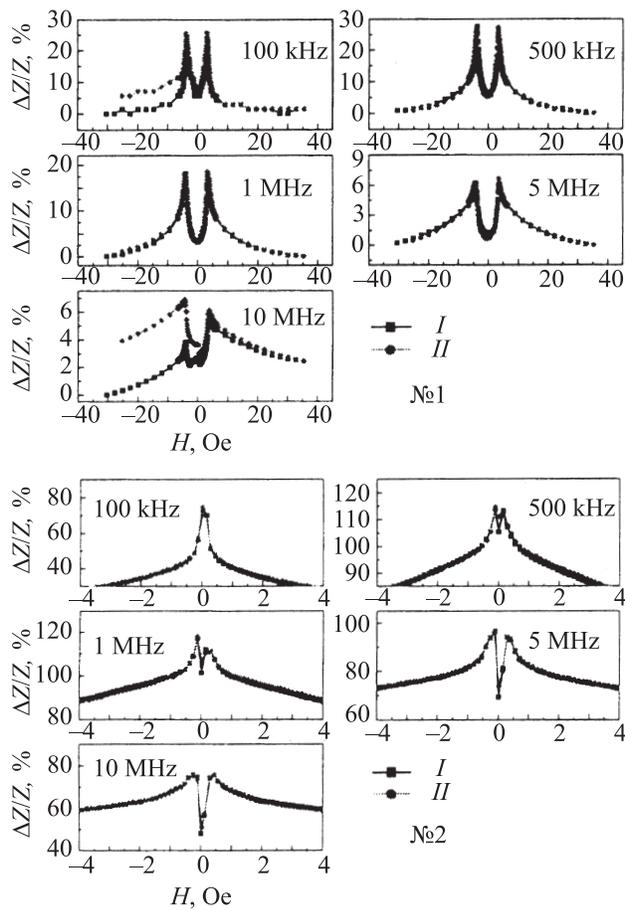
На рис. 3 приведены типичные распределения плоскостной компоненты намагниченности, параллельной приложенному вдоль длины ленты  $L$  магнитному полю, наблюдаемые для образцов № 1 и 2. Из рисунка можно видеть, что сильная дисперсия магнитной анизотропии



**Рис. 3.** Типичные распределения плоскостных компонент намагниченности, параллельных магнитному полю, приложенному вдоль длины ленты  $L$ , наблюдаемые при смещении светового пятна диаметром  $20\ \mu\text{m}$  вдоль длины ленты  $L$  по центральной линии контактных сторон образцов № 1 и 2.

и высокая однородность магнитных характеристик в первой и второй лентах обуславливают соответственно нерегулярное и периодическое распределение намагниченности в этих образцах. Используя эти данные, можно определить размер магнитных неоднородностей  $W$  в изучаемых образцах. Обычно  $W$  оценивается по расстоянию между максимумами (или минимумами) на кривых распределения намагниченности. Можно видеть, что для первой ленты  $W \sim 150\text{--}200\ \mu\text{m}$ , в то время как для второй ленты значение  $W$  не превышает  $100\ \mu\text{m}$ .

Отличие приповерхностной микромагнитной структуры в изучаемых лентах сопровождается различным полевым и частотным поведением магнитоимпеданса  $\Delta Z/Z(\%)$  (рис. 4). Из рис. 4 можно видеть, что магнитно-полевые зависимости магнитоимпеданса (МИ) имеют два пика. Вид этих кривых почти не зависит от частоты, но максимальное значение пиков наблюдается при различных частотах. Сравнение рис. 1, 2 и 4 показывает: пики МИ наблюдаются практически в тех же полях, при которых происходит перемагничивание образцов вдоль ОЛН, т.е. положение пиков МИ отражает магнитомягкость изучаемых образцов. Эти данные свидетельствуют о том, что в данном случае основной физической причиной появления МИ являются процессы вращения намагниченности. Максимальное значение МИ для образцов № 1



**Рис. 4.** Магнитно-полевая зависимость магнитоимпеданса, наблюдаемая при различных частотах на образцах № 1 и 2. Кривые *I* получены при нарастании магнитного поля от  $-H$  до  $+H$ ; кривые *II* — при спадании от  $+H$  до  $-H$ .

и 2 равно 25 и 120% соответственно. Увеличение МИ во второй ленте можно объяснить значительным улучшением однородности ее локальных магнитных свойств. Этот экспериментальный факт хорошо согласуется с теоретической работой [11], где показано, что с усилением

дисперсии магнитной анизотропии в аморфных материалах значение магнитоимпеданса должно уменьшаться.

В заключение, выполненные исследования показали, что существенное улучшение магнитомягких характеристик и значительное повышение магнитоимпеданса в аморфных лентах может быть достигнуто рациональным выбором прекурсора и специальной термической обработкой его.

Эта работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 01-03-32986 и 02-02-16627), а также Институтом политики, развития и планирования науки и технологии в Корее.

## Список литературы

- [1] *Manov V., Brook-Levinson E., Molokanov V.V., Petrzhik M.I., Mikhailova T.N.* // Proceeding of Symposium of Materials Research Society. 1999. V. 554. P. 81–86.
- [2] *Молоканов В.В., Петржик М.И., Михайлова Т.Н., Кузнецов И.В., Калинта В.И., Свиридова Т.А., Дьякова Н.П.* // Металлы. 1999. № 6. С. 100–103.
- [3] *Калинта В.И., Комлев Д.И., Молоканов В.В.* // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 1. С. 118–119.
- [4] *Panina L.V., Mohri K.* // J. Magn. Magn. Mater. 1996. V. 157–158. P. 137–140.
- [5] *Machado F.L.A., Martins C.S., Rezende S.M.* // Phys. Rev. B. 1995. V. 51. N 6. P. 3926–3929.
- [6] *Shalyguina E.E., Shin K.H., Abrosimova N.M.* // J. Magn. Magn. Mater. 2002. V. 239. P. 252–254.
- [7] *Vavassori P., Callegaro L., Puppini E., Malizia F., Ronconi F.* // J. Magn. Magn. Mater. 1996. V. 157–158. P. 171–172.
- [8] *Shalyguina E.E., Tsidaeva N.I., Bekoeva L.M.* // J. Phys. IV France. 1998. V. 8. Pr2-155–Pr-158.
- [9] *Shalyguina E.E., Tsidaeva N.I., Bekoeva L.M.* // Sens. Actuat. 2000. V. 81. P. 216–218.
- [10] *Shalyguina E.E., Bekoeva L.M., Shin K.H.* // J. Magn. Magn. Mater. 2000. V. 215–216. P. 472–475.
- [11] *Panina L.V., Mohri K., Uchiyama T., Noda M.* // IEEE Trans. on Magn. 1994. V. 31. N 2. P. 1249–1260.