

## ВЛИЯНИЕ БОМБАРДИРОВКИ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КАРБОНИЛЬНОГО ЖЕЛЕЗА МАРКИ ВК-Т

В.В. Овчинников<sup>1)</sup>, Н.В. Гущина<sup>1)</sup>, Ф.Ф. Махынко<sup>1)</sup>, Н.В. Сдобнов<sup>2)</sup>, А.В. Федяй<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Институт электрофизики УрО РАН,

ул. Амундсена 106, Екатеринбург, Россия, 620016, (343)267-87-74, [chemer@iep.uran.ru](mailto:chemer@iep.uran.ru)

<sup>2)</sup>ООО «Синтез ПКЖ», Нижегородская область, Дзержинск,  
Восточный Промрайон Синтез, Восточное Шоссе, здание 1

Исследованы магнитные характеристики сердечников, изготовленных с использованием порошков карбонильного железа марки ВК-Т, подвергнутых воздействию пучков ускоренных ионов  $Ag^+$  с энергией 30 кэВ. Установлено, что ионно-лучевая обработка порошков карбонильного железа при определенных параметрах облучения повышает его намагниченность насыщения на 1,8 % и обеспечивает 5-10-кратное увеличение добротности катушек индуктивности для радиоэлектроники с сердечником из композита «диэлектрик – карбонильное железо» в диапазоне частот 10 – 5000 кГц.

### Введение

Известно, что в направлении улучшения свойств магнитных материалов в настоящее время выполняется широкий спектр исследований. Наряду с эффектами *терромагнитной* и *термомеханической* обработки предлагается ряд альтернативных методов. Существенный прорыв в данном направлении может быть получен при использовании нетрадиционных методов, таких как лазерная [1, 2], а также *ионно-лучевая* обработка [3-5], позволяющих значительно улучшить магнитные свойства ферромагнетиков. Так, разработан и запатентован новый метод существенного повышения магнитных свойств магнитомягких материалов [6], заключающийся во включении в технологию изготовления ферромагнетиков дополнительной обработки – бомбардировки ускоренными ионами инертных газов, которую проводят перед терромагнитной обработкой. Важно, что при этом достигается существенное снижение магнитных потерь и магнитных шумов магнитомягких материалов, вследствие повышения степени совершенства их атомно-кристаллической структуры и измельчения магнитной доменной структуры. Это создает перспективы повышения чувствительности сердечников электромагнитной измерительной аппаратуры, расширения диапазона ее использования (например, в аппаратуре неразрушающего контроля структуры металлов, геофизическом, космическом и др. оборудовании). Существенно расширяются пути энергосбережения.

Следует отметить, что возможности существенного изменения структуры и физико-механических свойств магнитомягких сплавов, а также их функциональных характеристик под воздействием пучков ускоренных ионов, еще далеко не исчерпаны. Поэтому представляет интерес дальнейшее изучение влияния ионного облучения на структуру и свойства магнитных материалов.

В настоящей работе в качестве объектов исследования были выбраны порошки карбонильного железа, широко используемые в качестве ферромагнитного наполнителя при изготовлении магнитодиэлектрических материалов, применяемых в различных областях радиотехники и электроники, а также для производства изделий по

технологии инъекционного формования и в традиционной порошковой металлургии. Исследуемый материал был предоставлен фирмой ООО «Синтез-ПКЖ» (г. Дзержинск Нижегородской области), которая является основным производителем в России и одним из крупнейших производителей карбонильного железа в Европе. Сегодняшний выход предприятия на международные рынки потребовал от компании сосредоточить усилия не только на наращивании объемов, на расширении ассортимента продукции, но и подумать о развитии новых современных технологий для улучшения качества выпускаемой продукции.

### Основная часть

Карбонильное железо марки ВК-Т представляет собой малодисперсные частицы чистого металлического железа размером от 4,5 до 25 мкм. Средний насыпной вес составляет 2 г/см<sup>3</sup>.

Ионно-лучевая обработка непрерывными пучками ионов  $Ag^+$  с энергией 30 кэВ порошка карбонильного железа была проведена на имплантере ИЛМ-1, оснащенный ионным источником ПУЛЬ-САР-1М на основе тлеющего разряда с холодным полым катодом. Из пучка ионов  $Ag^+$  круглого сечения с помощью коллиматора вырезался ленточный пучок сечением 20×100 мм<sup>2</sup>, под которым перемещался лоток с порошком со скоростью 4 см/с. Толщина слоя облучаемого порошка, насыпанного на поверхность лотка из нержавеющей стали, была сравнима со средним размером его частиц. В ходе облучения варьировались плотность ионного тока  $j = 100 - 300$  мкА/см<sup>2</sup> и доза облучения  $D = 10^{15} - 10^{17}$  см<sup>-2</sup>.

Затем карбонильное железо, подвергнутое облучению в различных режимах, было использовано для получения кольцевых сердечников методом холодного прессования. Для этой цели готовили пресс-массы с содержанием карбонильного железа - 96,6%, диэлектрического компонента (порошковая эпоксидная смола фирмы Rohm&Haas) в количестве 3%, ортофосфорной кислоты 0,2% и стеарата цинка до 0,3%. Фосфатирование карбонильного железа и его гомогенизация с диэлектрическим компонентом осуществлялись в среде ацетона. Сухая пресс-масса с добавлением стеарата цинка использовалась при

прессовании сердечников двух размеров:  $20 \times 12 \times 4$  мм и  $14 \times 8 \times 3$  мм. Удельное давление прессования составляло  $6 \text{ т/см}^2$ . Полимеризация эпоксидного диэлектрика проводилась при температуре  $150^\circ\text{C}$  в течение двух часов. На подготовленные сердечники наносились обмотки медного провода марки ПЭВ диаметром 0,4 мм.

По геометрическим размерам кольцевых сердечников рассчитывались их сечение и средняя длина магнитной линии. Величины индуктивности и добротности катушки индуктивности измерялись с помощью RCL-метра Hioki 3532-50, и по значениям индуктивности проводился расчет магнитной проницаемости в широком диапазоне частот.

Во всех случаях в качестве элементов сравнения использовались катушки индуктивности, изготовленные из одной пробы карбонильного железа, не подвергнутого облучению.

Анализ результатов измерения индуктивности и добротности катушек, изготовленных из порошка карбонильного железа, показал, что при определенных режимах облучения удается значительно повысить их магнитные свойства. На рис. 2 представлены зависимости значений добротности катушек, изготовленных из исходного (без облучения) порошка карбонильного железа марки ВК-Т, а также из порошка, облученного ионами  $\text{Ar}^+$  дозой  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  при плотности ионного тока  $100 \text{ мкА/см}^2$ . На графике для сравнения приведены характеристики порошка карбонильного железа марки SQ-V-20 (производство Германии). Видно, что ионно-лучевая обработка способствует существенному повышению добротности карбонильного железа марки ВК-Т.

### Заключение

Установлено, что ионно-лучевая обработка порошка карбонильного железа при определенных параметрах облучения повышает его намагниченность насыщения на 1,8 % и обеспечивает 5-10-кратное увеличение добротности катушек индуктивности для радиоэлектроники с сердечником из композита «диэлектрик – карбонильное железо» в диапазоне частот 10 – 5000 кГц.

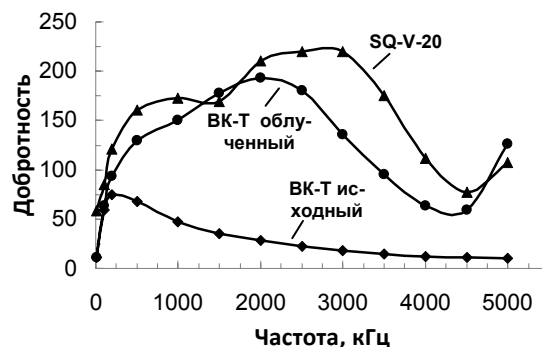


Рис. 2. Добротность катушек индуктивности с сердечниками из порошков карбонильного железа.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (ГК № П650 от 19 мая 2010 г.).

### Список литературы

1. Драгошанский Ю.Н., Соколов Б.К., Губернаторов В.В. и др. // ФММ. – 1993. – Т. 75. – Вып. 1. – С. 64-70.
2. Соколов Б.К., Губернаторов В.В., Драгошанский Ю.Н. и др. // Сталь. – 1996. – № 5. – С. 63-66.
3. Соколов Б.К., Губернаторов В.В., Драгошанский Ю.Н., Потапов А.П., Овчинников В.В. и др. // ФММ. – 2000. – Т. 89. – С. 32-34.
4. Губернаторов В.В., Сычева Т.С., Драгошанский Ю.Н., Овчинников В.В., Ивченко В.А. // ДАН. – 2006. – Т. 410. – № 2. – С. 194-196.
5. Губернаторов В.В., Сычева Т.С., Владимиров Л.Р., Гундырев В.М., Ивченко В.А., Овчинников В.В. // ФММ. – 2009. – Т. 107. – № 1. – С. 73-77.
6. Способ термомагнитной обработки магнитомягких материалов: патент РФ №. 2321644, МПК С21D 1/04 (2006.01) / Губернаторов В.В., Драгошанский Ю.Н., Ивченко В.А., Овчинников В.В., Сычева Т.С.; заявл. 03.08.06; опубл. 10.04.08, Бюл. № 10. – 5 с.

## EFFECT OF BOMBARDMENT WITH ACCELERATED IONS ON MAGNETIC PROPERTIES OF CARBONYL IRON OF THE VK-T GRADE

V.V.Ovchinnikov<sup>1</sup>, N.V.Gushchina<sup>1</sup>, F.F. Makhinko<sup>1</sup>, N.V. Sdobnov<sup>2</sup>, A.V. Fedya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electrophysics, UB RAS, ul. Amundsena 106, Yekaterinburg, 620016 Russia, (343)267-87-74, [chemer@iep.uran.ru](mailto:chemer@iep.uran.ru)

<sup>2</sup>ООО «Синтез ПКZh», Nizhni Novgorod oblast, Dzerzhinsk, Vostochnyi Promraion Sintez, Vostochnoe shosse 1

Magnetic characteristics of the cores manufactured from carbonyl iron powders of the VK-T grade have been studied after exposure with accelerated 30-keV  $\text{Ar}^+$  ion beams. It is established that the ion-beam treatment of carbonyl iron powders with certain parameters of irradiation increases its saturation magnetization by 1.8% and provides the coil quality factor enhancement of inductors 5-10 times for radio-electronic devices with a core made of "dielectric – carbonyl iron" composite in a frequency range of 10– 5000 kHz.