

УДК 620.186

Е.В. Саврук, С.В. Смирнов, А.С. Климов

Модификация поверхности Mn-Zn-феррита пучком низкоэнергетических электронов

Исследована возможность улучшения микроструктуры поверхности Mn-Zn-ферритов путем обработки пучком низкоэнергетических электронов в кислородсодержащей атмосфере. Показано, что обработка поверхности изделий из Mn-Zn-феррита потоком низкоэнергетических электронов в кислородсодержащей среде приводит к выравниванию рельефа поверхности, уменьшению межзеренных и внутризеренных пор и трещин и тем самым к повышению качества и стойкости к разрушению ферритовых изделий.

Ключевые слова: марганец-цинковый феррит, ликвация в расплаве, деферризация.

В настоящее время в устройствах микроэлектроники радиочастотного и СВЧ-диапазона широко используются различные поликристаллические ферритовые материалы со структурой шпинели. Наибольшее распространение получили марганец-цинковые ферриты (Mn-Zn-ферриты) стехиометричного состава, магнитные, электрические и механические свойства которых тесно связаны с их микро- и наноструктурой. В связи с этим особую роль играет не только объемная микроструктура материала, но и поверхностная, а ее влияние на свойства Mn-Zn-ферритов изучается весьма интенсивно. Методы лазерной и электронной обработки, обладающие высокой локальностью и селективностью воздействия, являются перспективными методами для использования в микро- и нанотехнологии материалов электронной техники. На данный момент интенсивно исследуется возможность управления микро- и наноструктурой путем обработки поверхности материалов лазерным излучением и сильноточным пучком низкоэнергетических электронов [1, 2]. Установлено, что одним из недостатков указанных методов является потеря кислорода с поверхности оксидных материалов, поэтому процесс поверхностной обработки желательно проводить в кислородсодержащей среде.

В данной работе с помощью растровой электронной и оптической микроскопии исследована возможность улучшения микроструктуры поверхности Mn-Zn-ферритов путем обработки пучком низкоэнергетических электронов в кислородсодержащей атмосфере.

В работе исследовались образцы поликристаллического Mn-Zn-феррита марки HM2000 с химическим составом $Mn_{0,6}Zn_{0,4}Fe_2O_3$ в виде пластин $15 \times 65 \times 5$ мм.

Обработка поверхности образцов пучком низкоэнергетических электронов с энергией 10–20 кэВ проводилась на экспериментальной установке с плазменным источником электронов ленточной конфигурации (без сканирования луча) при давлении в рабочей камере 5–15 Па, плотности мощности пучка 10^3 – 10^4 Вт/см² и времени воздействия 5 с [3]. Поскольку глубина проникновения электронов в материал при таких энергиях не превышает 2–3 мкм, то воздействие электронного пучка носит тепловой характер [3], а обработка поверхности проводится в режиме теплового потока, т.е. на поверхности задается тепловой поток, необходимый для достижения температуры плавления материала. В результате в образцах формируется приповерхностный слой с измененным по отношению к объему образца химическим и фазовым составом.

Исследования образовавшейся на поверхности поликристаллического Mn-Zn-феррита микроструктуры и ее элементного состава проводились на растровом электронном микроскопе TM-1000 (Hitachi, Япония) с разрешающей способностью 30 нм, оснащенном системой энергодисперсионного микроанализатора SwiftED (Bruker, Германия), и оптическом микроскопе Olympus BX 51 (Olympus, Япония).

На рис. 1, а представлена исходная микроструктура поверхности Mn-Zn-феррита с размером зерна 10–40 мкм. Поверхность характеризуется наличием большого количества межзеренных границ и пор, а также наличием внутризеренной пористости. Подобная морфология поверхности оказывает отрицательное воздействие как на структуру и свойства наносимой на поверхность изделия металлизации, так и на такие свойства ферритовых изделий, как поверхностное сопротивление, добротность и импульсные параметры.

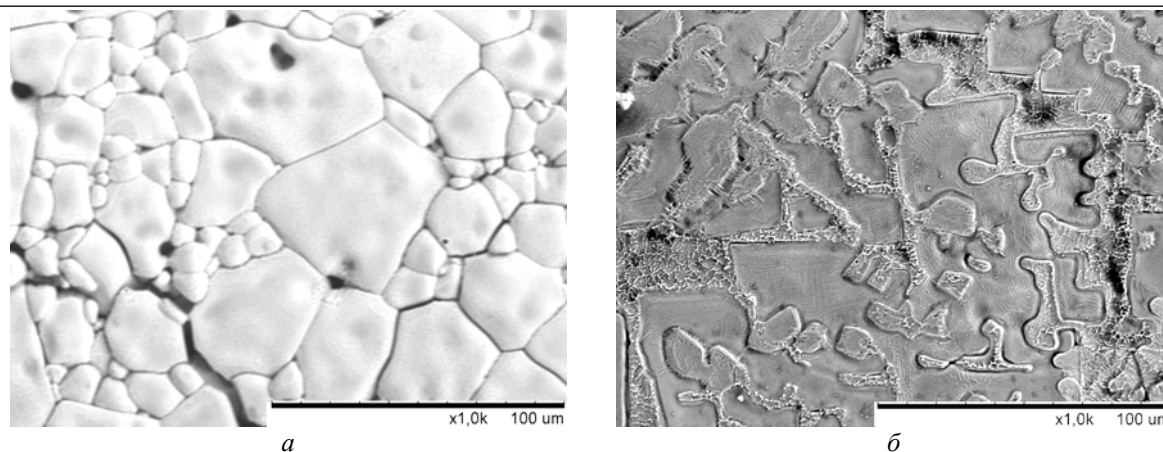


Рис. 1. Фотографии микроструктуры поверхности Mn-Zn-феррита: *a* – до обработки; *б* – после обработки

На рис. 1, *б* представлена микроструктура поверхности Mn-Zn-феррита после обработки. Из рисунка видно, что наряду с выравниванием рельефа и уменьшением пористости четко просматривается ликвационный характер затвердевания расплава.

Ликвация в расплаве происходит за счет деферритизации, обусловленной полным испарением оксида цинка в приповерхностном слое образцов. В результате чего вместо феррита цинка в расплаве появляется гематит – ромбоэдрическая $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -фаза, которая выпадает в виде призматических кристаллов (светлые участки на рис. 2, *a*).

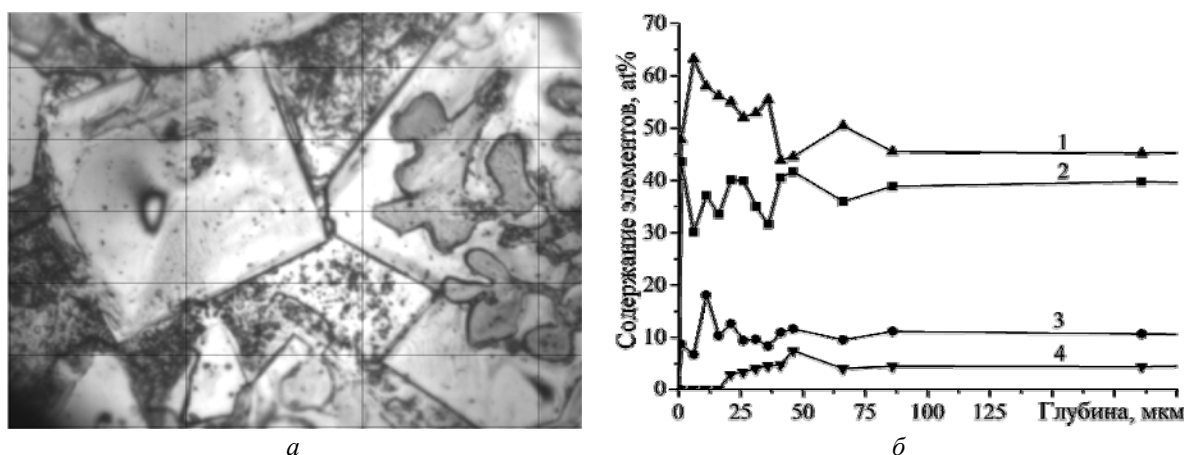


Рис. 2. Фотография микроструктуры поверхности Mn-Zn-феррита после обработки (светлые участки – гематит; серые участки – шпинельная фаза Mn-Zn-феррита) – *a*; распределение элементов по глубине образца (1 – O, 2 – Fe, 3 – Mn, 4 – Zn) – *б*

На рис. 2, *б* показан полученный на косом шлифе методом энергодисперсионного микроанализа профиль распределения химических элементов в приповерхностном слое Mn-Zn-феррита после обработки пучком низкоэнергетических электронов. Из распределения следует, что цинк полностью испаряется в слое толщиной до 18 мкм, в то время как концентрация кислорода и железа увеличивается к поверхности образца, а концентрация марганца остается без существенных изменений. В то же время содержание кислорода в приповерхностной области увеличивается за счет его диффузии из объема образца.

В результате проведенных исследований возможно сделать следующие выводы:

1. Обработка поверхности изделий из Mn-Zn-феррита потоком низкоэнергетических электронов (10–20 кэВ) в кислородсодержащей среде приводит к выравниванию рельефа поверхности, уменьшению межзеренных и внутризеренных пор и трещин и тем самым к повышению качества и стойкости к разрушению ферритовых изделий.

2. Для исключения процесса деферритизации (для уменьшения потерь цинка из приповерхностной области образцов) необходимо сократить время воздействия электронного пучка на образец, а также перейти от непрерывного режима обработки поверхности к импульсному.

3. Данный метод электронной обработки с соответствующей модификацией может быть перспективен для управления микро- и наноструктурой поверхности ферритовых подложек изделий микро- и наноэлектроники.

Литература

1. Саврук Е.В. Исследование структуры поверхности подложек ГИС СВЧ из алюмооксидной керамики после электронной и лазерной обработки / Е.В. Саврук, С.В. Смирнов // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 123–127.
2. Суржиков А.П. Радиационно-стимулированные процессы в спекаемых ферритах, инициируемые мощным пучком ускоренных электронов / А.П. Суржиков, А.М. Притулов, С.А. Гынгазов // Изв. вузов. Физика. – 2000. – № 7. – С. 92–93.
3. Бурдовицин В.А. О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений / В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35, № 11. – С. 61–66.

Саврук Елена Владимировна

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа
Тел.: 8-923-406-27-69
Эл. почта: savruk@mail.ru

Смирнов Серафим Всеволодович

Д-р техн. наук, профессор каф. физической электроники ТУСУРа
Тел.: 8-909-540-86-23
Эл. почта: center@ms.tusur.ru

Климов Александр Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. физики ТУСУРа
Тел.: 8-905-990-52-41
Эл. почта: kas3501@rambler.ru

Savruk E.V., Smirnov S.V., Klimov A.S.

The modification of Mn-Zn-ferrite surface by a low-energy electron beam

The possibility of improvement of Mn-Zn-ferrite microstructure surface by the low-energy electron beam treatment in the oxygenic ambience was investigated. It was shown, that the treatment of surface of a Mn-Zn-ferrite item by a low-energy electron beam in the oxygenic ambience makes the surface even, lessen intergranular and intragranular pores and interstice reduction. It improves quality and firmness to destruction of a Mn-Zn-ferrite item.

Keywords: Mn-Zn-ferrite, liquation in the melt, deferrization.