

## Отзыв

НА АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ Е. А. МИХАЛИЦЫНОЙ  
«Магнитная анизотропия и гистерезисные свойства аморфных и нанокристаллических плёнок Fe—M—Cu—Si—B (M: Nb, NbMo, W)»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 — Физика магнитных явлений

Одним из факторов прогресса в области электроники является миниатюризация электронных компонентов. Примером миниатюризации является использование магнитных плёнок толщиной  $\sim 100$  нм в магнитных сенсорах и накопителях. В плёнках такой толщины заметную роль играют размерные эффекты, что выражается в изменении температуры кристаллизации, увеличении коэрцитивной силы и т. д. Для эффективного использования этих преимуществ в электронных устройствах весьма важным является понимание физических механизмов, за счёт которых изменяются магнитные характеристики плёнки. Этому вопросу посвящена работа Е. А. Михалицыной, в которой предпринята попытка установления связи кристаллической структуры с магнитными свойствами аморфных и нанокристаллических плёнок на основе Fe—Cu—Si—B с атомами-ингибиторами Nb, W, Mo. В работе были поставлены задачи получения плёнок толщиной 10—200 нм, определения влияния условий их термической обработки на формирование их кристаллической структуры и магнитных свойств, а также исследование магнитной анизотропии полученных плёнок. Судя по содержанию автореферата, с поставленными задачами диссертант справилась в полной мере.

Из результатов, полученных диссертантом, наиболее важными следует признать следующие:

1. Впервые исследована кинетика процесса кристаллизации в плёнках Fe—M—Cu—Si—B с использованием методики рентгеноструктурного анализа плёнок в процессе нагрева, в результате чего показано, что кристаллизация начинается при существенно меньших температурах, чем это имеет место в аморфных лентах.
2. Впервые показано существование стохастической магнитной структуры в плёнках Fe—M—Cu—Si—B.
3. Установлен механизм, определяющий возникновение в плёнках Fe—M—Cu—Si—B наведённой одноосной магнитной анизотропии, в основе которого лежит закрепление подложкой магнитострикционной деформации плёнок.
4. Установлено, что в плёнках Fe—M—Cu—Si—B коэрцитивная сила растёт с уменьшением толщины, достигая максимума в области толщин  $\sim 30$  нм.

Таким образом, Е. А. Михалицыной получены новые научные данные и практические результаты, представляющие интерес для современной электроники, физики тонких магнитных плёнок и физики магнитных явлений в целом.

Вопросы и замечания по тексту автореферата.

1. Из результатов Главы 3 следует, что наиболее интересные свойства плёнки демонстрируют в области толщин до 100 нм, но в Главе 4 влияние толщины плёнки на структурные превращения рассматривается для значений толщины 100, 150 и 200 нм. С чем связан выбор этих точек? Далее в Главе 5 рассматривается магнитная анизотропия плёнок уже в достаточно широком диапазоне толщин (10–200 нм).
2. На странице 17 автореферата указывается, что «... кристаллическая фаза ... состоит из зерен размером 1,3 нм, объем которых составляет 79%, и зерен размером порядка 16–20 нм объемом 21%». Довольно странно, что одна часть зёрен имеет такой строгий размер (определённый с точностью до десятой доли нанометра), в то время как размеры зёрен другой части лежат в некотором интервале значений. Если это не является опечаткой, то требуют разъяснения.
3. В тексте автореферата содержатся немногочисленные опечатки: с. 11, 4-я строка сверху: «со значение» (следует читать «со значением»), 1-я строка снизу: «пленок спала» (следует читать: «плёнок сплава»). Кроме того, в тексте имеются словосочетания, которые вряд ли можно считать удачными: на с. 3 «... при уменьшении толщины плёнки меньше, чем...» (пропущены слова «до значений», т. е. «... при уменьшении толщины до значений, меньше чем...»); на с. 5 «... магнитные свойства магнитомягких нанокристаллических лент превосходят... свойства...» (превосходят друг друга не свойства, а численные характеристики); на с. 6 «... в качестве варьируемого атома-ингибитора...» (варьируется не атом как таковой, а процентное содержание атомов данного типа в сплаве).

Перечисленные замечания не сказываются на общей высокой оценке выполненной работы. Представляемый к защите материал достаточно апробирован, результаты опубликованы в отечественных и зарубежных научных изданиях. У автора есть чёткое видение дальнейшей работы по изучению свойств тонких нанокристаллических магнитных плёнок.

Структура и содержание автореферата диссертационной работы позволяет сделать вывод, что сама работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, которое удовлетворяет квалификационным признакам диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук в соответствии с требованиями п. 9 Положения о присуждении учёных степеней. Е. А. Михалицына заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 — Физика магнитных явлений.

Научный сотрудник группы физики диэлектриков

ФГБУН Институт электрофизики УрО РАН

кандидат физико-математических наук

Пунанов Иван Фёдорович

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106

Тел.: +7 (343) 267-88-26

E-mail: ivan.punanov@gmail.com

Подпись И. Ф. Пунанова заверяю  
Учёный секретарь ИЭФ УрО РАН,

Е. Е. Кокорина

14.06.2018 г.