

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Фещенко Анастасии Александровны «**Композиционирование, структура и магнитные свойства многослойных пленок на основе антиферромагнетика Cr-Mn**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений

Актуальность темы диссертации. Диссертация А.А. Фещенко посвящена исследованию антиферромагнитных сплавов Cr-Mn и многослойных структур на их основе. Данный тип антиферромагнетика по своим свойствам может быть включен в весьма ограниченное число функциональных металлических антиферромагнетиков, которые широко используются в различных магниточувствительных наноматериалах, магнитных сенсорах, элементах магнитной памяти и других элементах магнитоэлектроники и спинтроники. Такие антиферромагнетики в массивном и пленочном состоянии обладают рядом необходимых для применения свойств: высокой температурой блокировки, значительно превышающей комнатную температуру, сильной магнитной анизотропией, выраженным эффектом обменного смещения и др. Сплав Cr-Mn определенного состава обладает высокой температурой блокировки около 600 К, однако по другим свойствам он уступает таким антиферромагнетикам как FeMn, MnIr, PtMn. В сравнении с указанными антиферромагнетиками сплавы Cr-Mn остаются значительно менее исследованными. Предлагаемая диссертационная работа посвящена всестороннему изучению антиферромагнитных сплавов Cr-Mn, находящихся в тонкопленочном состоянии, с целью нахождения путей повышения их функциональных характеристик. Для определения таких характеристик в работе исследованы композиты Cr-Mn/ферромагнетик с различными типами ферромагнитных металлов. В целом, разработка новых высокотемпературных антиферромагнитных материалов, в частности, и на основе сплавов Cr-Mn, является актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 145 страниц, включая 51 рисунок и 6 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 129 наименований.

В первой главе приведена близкая к теме диссертационной работе информация о свойства антиферромагнетиков и эффекте обменного смещения. Приведены известные данные об изменении температуры Нееля Cr в зависимости от содержания различных примесей. Для решения поставленных в работе задач обоснован выбор системы Cr-Mn, демонстрирующей наибольшую температуру Нееля среди хромовых сплавов с различными примесями. Проанализированы литературные данные о структуре и магнитных свойствах системы Cr-Mn и композитов на её основе.

Во второй главе описана методика получения пленок и многослойных структур, указаны 8 серий приготовленных образцов, которые были необходимы для проведения запланированных исследований. Последовательность расположения указанных серий образцов хорошо отражает логику проведенных исследований. Описаны экспериментальные методы, использованные для исследования структуры, микроструктуры и магнитных свойств пленочных образцов.

В главе 3 представлены результаты исследований структуры, микроструктуры и магнитных свойств пленок сплавов Cr-Mn различного состава, полученных с использованием различных буферных слоев, а также пленок Cr-Mn/ФМ с различными типами ферромагнетиков, выступающих в качестве индикаторов изменения свойств антиферромагнитного слоя. Основными анализируемыми характеристиками выступали: коэрцитивная сила, поле обменного смещения, константа анизотропии и температура блокировки. В результате проведенных исследований была установлена область концентраций марганца в сплаве Cr-Mn, при которых в нем формируется поликристаллическое состояние и проявляются антиферромагнитные свойства, найдены типы ферромагнетиков при которых проявляется пороговый характер изменения коэрцитивной силы и поля обменного смещения от толщины слоя Cr-Mn. Обсуждено влияние технологических факторов получения пленок на их характеристики.

В главе 4 особое внимание уделено методу экспериментального определения медианной температуры блокировки композитов Cr-Mn/ферромагнетик с использованием «Йорк-протокола» и оценке константы кристаллографической магнитной анизотропии антиферромагнетика. Показано, что в сравнении с антиферромагнетиками PtMn и MnIr у пленок Cr-Mn наблюдается на два порядка величины более низкая константа анизотропии. Для возможного усиления анизотропии в работе проведено легирование антиферромагнитных сплавов Cr-Mn металлами с сильным спин-орбитальным взаимодействием (W, Pt) и медью. Наиболее значимое изменение константы магнитной анизотропии обнаружено при легировании сплава $\text{Cr}_{70}\text{Mn}_{30}$ 5-ю процентами Pt.

Научная новизна полученных результатов. В работе получены следующие наиболее важные экспериментальные результаты, обладающие научной новизной.

1. Получен большой объем экспериментальных данных о структуре и магнитных свойствах пленок на основе антиферромагнитного сплава Cr-Mn различного состава и систем Cr-Mn/ферромагнетик, приготовленных методом магнетронного распыления с использованием ряда буферных слоев.

2. В системах с индикаторным ферромагнитным слоем определены характерные толщины антиферромагнитного слоя Cr-Mn, при которых наблюдается наибольшее для исследованной системы обменное смещение и наибольшая температура Нееля.

3. Показано, что медианная температура блокировки, определенная с использованием «Йорк-протокола», не зависит от состава антиферромагнитного сплава $\text{Cr}_{100-x}\text{Mn}_x$ при изменении содержания марганца в диапазоне $20 \leq x \leq 40$.

4. Установлено, что слабое легирование сплава $\text{Cr}_{70}\text{Mn}_{30}$ 5-ю процентами платины приводит к двукратному повышению величины константы кристаллографической магнитной анизотропии.

Достоверность результатов, полученных А.А. Фещенко, определяется использованием современного научного оборудования, применением отработанных экспериментальных методик и проведением взаимно дополняющих экспериментов. Положения диссертационной работы всесторонне обоснованы и не противоречат экспериментальным результатам других научных групп. Научные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в реферируемых отечественных и зарубежных журналах и доложены на 17 российских и международных конференциях.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что подходы, применяемые для получения информации о магнитном и структурном состоянии антиферромагнитных сплавов Cr-Mn и модификации их свойств, могут быть использованы при изучении других типов высокотемпературных антиферромагнетиков с целью улучшения их функциональных свойств.

Вопросы и замечания.

1. На основе проведенных структурных исследований пленок $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}/\text{Fe}$, полученных с использованием различных буферных слоев (рис. 3.2), был сделан вывод о том, что буферный слой Ta менее эффективен как фактор, задающий текстуру в последующем слое Cr-Mn (стр. 60). При этом во многих образцах композитов, на которых были проведены различные исследования, в качестве буферного слоя используется тантал. Чем был обусловлен выбор именно такого буферного слоя?

2. В работе имеется много предположений, одно из которых касается образования столбчатой микроструктуры в антиферромагнитном слое Cr-Mn. На каких экспериментальных данных базируется данное предположение?

3. На рисунке 3.16 показано, что при повышении в пленке Ta/ $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ /Ta толщины слоя $\text{Cr}_{80}\text{Mn}_{20}$ от 20 до 300 нм текстура изменяется дважды, что проявляется в изменении высоты брегговских рефлексов (200) и (110). С чем может быть связано такое изменение структуры?

4. Имеется ряд замечаний, касающихся оформления текста диссертации.

– в тексте встречаются опечатки, неточности и неудачные выражения: «Cr-Ьп», стр. 3; «...приводило к смещению обмена», «варьируется состав платины в антиферромагнетике», стр. 41; $\text{Fe}_{20}\text{Co}_{20}\text{B}_{20}$, стр. 43; «расширение по вертикали», стр. 45; «зависимость полуширины FWHM дифракционной линии», стр. 95;

– на стр. 85 указано, что сплав $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ обладает ОЦК структурой, при этом на стр. 86 в таблице 3.2 указано, что тот же сплав имеет ГЦК структуру;

- имеются множественные замечания относительно оформления списка литературы.

Отмеченные замечания не снижают высокий уровень научной значимости работы. Автореферат хорошо отражает содержание диссертации. Профиль диссертации соответствует специальности 1.3.12 (физика магнитных явлений) в п. 3 «Экспериментальные исследования магнитных свойств и состояний веществ различными методами, установление взаимосвязи этих свойств и состояний с химическим составом и структурным состоянием, выявление закономерностей их изменения под влиянием различных внешних воздействий».

В целом диссертационная работа на тему «Композиционирование, структура и магнитные свойства многослойных пленок на основе антиферромагнетика Cr-Mn» отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Фещенко Анастасия Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник лаборатории квантовой наноспинтроники,
ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского
отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН),
доктор физико-математических наук

« 26 » ноября 2025 года

MD

Миляев Михаил Анатольевич

(подпись)

Контактная информация:

Тел.: +7 (343) 378-38-81

E-mail: milyaev@imp.uran.ru

Адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д.18.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН)

Подпись М. А. Миляева заверяю

Ученый секретарь ИФМ УрО РАН

И. Ю. Арапова

« 26 » ноября 2025 года

