

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Объединённого института
ядерных исследований,
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН



В.А. Матвеев

«14» сентября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Уклеева Виктора Алексеевича «Исследование неоднородных магнитных плёнок и многослойных систем взаимодополняющими методами поверхностного рассеяния нейтронного и рентгеновского излучений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Сегодня магнитные наноструктуры находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Так, существенное продвижение в развитии индустриального использования магнитных тонкопленочных структур стало возможным благодаря открытию эффекта гигантского магнитосопротивления, являющегося основой в создании элементов спинтроники. Разработка и исследование свойств новых магнитных материалов является ключевой задачей для дальнейшего прогресса в технологии их изготовления и расширения области их применения.

Целью диссертационной работы В.А. Уклеева являлось изучение структуры и магнитных свойств плёнок и многослойных структур, состоящих из ансамблей магнитных наночастиц в диэлектрических матрицах взаимодополняющими методами рассеяния синхротронного и нейтронного излучений.

Диссертационная работа Уклеева В.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Во введении сформулирована актуальность темы, определены цели и задачи исследования, определены объекты исследования и сформулированы положения, выносимые на защиту. Первая глава посвящена обзору связанных с работой исследований. В ней освещаются основные представления о магнитных наноструктурах, явлении суперпарамагнетизма, рассматриваются ключевые свойства объектов исследования – гранулированных плёнок и многослойных систем металл-диэлектрик / полупроводник. Во второй главе обсуждаются основные экспериментальные методики поверхностного нейтронного и синхротронного рассеяния, приводится их теоретическое обоснование и примеры использования из литературы. В третьей главе представлены результаты исследования гранулированных плёнок $\text{SiO}_2(\text{Co})$ на подложках GaAs и Si комбинацией рентгеновских, нейтронных и магнитометрических методов. На основании полученных результатов сделан вывод об образовании обособленного интерфейсного слоя наночастиц кобальта на границе раздела гранулированная плёнка / полупроводник и описаны его свойства. Четвертая глава посвящена исследованиям многослойных неоднородных магнитных наноструктур металл-диэлектрик / аморфный полупроводник различных составов. Показано, форма и размер магнитных наночастиц в металл-диэлектрических слоях меняются в зависимости от толщины полупроводниковой прослойки.

Наиболее интересные и важные результаты, полученные автором, заключаются в следующем:

- 1) Методом рефлектометрии поляризованных нейтронов и малоуглового рассеяния рентгеновского излучения в скользящей геометрии показано

образование слоя наночастиц кобальта на интерфейсах гранулированных плёнок $\text{SiO}_2(\text{Co})$ / полупроводник (GaAs, Si) с большим размером, чем в объёмной части плёнки. СКВИД магнитометрией и нейтронной рефлектометрией были изучены магнитные свойства отдельных слоёв плёнки.

2) Методами СКВИД магнитометрией и нейтронной рефлектометрией были изучены магнитные свойства отдельных слоёв плёнки. Показано, что температура блокировки и намагниченность насыщения интерфейсного слоя значительно отличаются от аналогичных параметров гранулированной плёнки.

3) Методами малоуглового рассеяния рентгеновского излучения в скользящей геометрии и рефлектометрии поляризованных нейтронов исследована структура многослойных систем $[(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_{35}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{65}]/\text{a-Si}]_{36}$, на основании полученных данных объяснены их магнитные и проводящие свойства.

4) Методом малоуглового рассеяния в скользящей геометрии и магнитометрии измерены структурные параметры многослойных систем $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{47}$, изучены их магнитные свойства. Показано, что морфология прослойки углерода определяет размер и форму наночастиц металл-диэлектрических слоёв.

Достоверность результатов основывается на высококачественном методическом уровне проделанной работы с применением современных экспериментальных установок и методов исследования. Практическая значимость работы обусловлена применением мощных экспериментальных методик, позволяющих получать полную информацию о магнитных наноструктурах для дальнейшего использования в разработке материалов и приборов спинтроники, хранения, записи, и считывания информации.

Обоснованы положения, выносимые на защиту, основные результаты и выводы данной работы. Материалы диссертации апробированы на российских и международных научных конференциях и семинарах, а также опубликованы в реферируемых периодических изданиях.

Диссертационная работа Уклеева В.А. не лишена некоторых недостатков и неточностей, а именно:

1) На стр.70 вызывает вопрос предложение «На установке PNR монохроматизация пучка нейтронов осуществлялась селектором скоростей, монохроматором, который относится к типу времяпролетных (англ. time-of-flight) приборов». На установках по рассеянию устанавливаются либо монохроматоры (режим монохроматизации), либо прерыватели (режим времени пролета).

2) Насколько следует из текста, в работе анализируются кривые отражения при заданной поляризации (вдоль и противоположно магнитному полю). При этом, в разделе 3.3.3 используются некорректные обозначения R^{++} и R^{-} . Правильно R^{+} и R^{-} .

3) На Рис. 3.6,*a* имеет место отрицательное значение намагниченности при нулевой температуре для 90 нм пленки Au/SiO₂/Co/GaAs. Данный факт никак не комментируется. Также в работе не представлены измерения температурной зависимости намагниченности гранулированных плёнок SiO₂(Co) на кремниевой подложке.

4) Следовало бы более подробно описать состав подложек образцов [(Co₄₅Fe₄₅Zr₁₀)₃₅(Al₂O₃)₆₅]/a-Si]₃₆, [(Co₄₀Fe₄₀B₂₀)₃₄(SiO₂)₆₆/C]₄₇. Какова полидисперсность и анизотропия наночастиц? Что определяло выбор исследуемых структур?

5) Автором представлена достаточно подробная и квалифицированная характеристика сложных, с точки зрения структурного описания, тонких коллоидных пленок. Вместе с тем, не достаточно полно представлена конкретная мотивация такого рода исследований. Несомненно, диссертация бы выиграла при более подробном освещении вопросов, почему образуются установленные структуры и как полученная информация может быть использована на практике в производстве и приложениях исследуемых систем.

Указанные недостатки не уменьшают достоверности и важности полученных результатов, выводов и в целом проделанной работы.

Несомненно, что цели диссертационной работы Уклеева В.А., поставленные диссертантом, были достигнуты, а именно проведено комплексное исследование структуры и магнитных свойств гранулированных плёнок и многослойных систем.

Из вышеизложенного следует, что диссертация Уклеева Виктора Алексеевича отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния, а сам Уклеев В.А. заслуживает присуждения данной степени.

Работа заслушана и поддержана на семинаре НЭО НИКС ЛНФ ОИЯИ по надатомным структурам.

Отзыв составил:

Начальник сектора нейтронной оптики
научно-экспериментального отдела
нейтронных исследований конденсированных сред
Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка
Объединенного института ядерных исследований

д.ф.-м.н. М.В.Авдеев



Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ



Д.Худоба