

О Т З Ы В

официального оппонента д.ф.-м.н. Успенской Л.С. на диссертационную работу Гохфельда Дениса Михайловича «Магнитный гистерезис и плотность критического тока неоднородных сверхпроводников в сильных магнитных полях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Гохфельда Д.М. посвящена исследованию намагниченности неоднородных сверхпроводящих материалов. Тема диссертационной работы актуальна из-за важности научных и прикладных аспектов решаемых задач. Сверхпроводники занимают важную нишу в прикладных областях, связанных с транспортом энергии и генерацией сильных магнитных полей. Дальнейшее применение сверхпроводящих материалов безусловно будет расширяться. Поиск путей увеличения критического тока сверхпроводников и исследование механизмов, определяющих эту характеристику, представляют интересный раздел физики сверхпроводников. При экспериментальных исследованиях магнитных свойств поликристаллических сверхпроводников возникают проблемы с интерпретацией результатов и разделением различных вкладов от подсистем, реализующихся в таких материалах. Очевидно, что для анализа данных, полученных на неоднородных сверхпроводниках, необходима специальная модель. Таким образом, работы, составляющие диссертацию Гохфельда Д.М., крайне важны и своевременны.

Диссертация состоит из введения, семи глав, приложения, заключения и списка цитированной литературы. Общий объем диссертации составляет 229 страниц.

Первая глава диссертации является обзорной и посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям магнитных свойств сверхпроводников.

Вторая глава посвящена описанию модели для намагниченности неоднородных сверхпроводников. Учитывается равновесная намагниченность

Вх.№356-03/6215-88

от 17.09.2019 г.

приповерхностного слоя образца. Также в этой главе на основе развиваемой модели вводится новый подход к описанию пик-эффекта и предлагается способ определения масштаба циркуляции токов в неоднородных образцах.

В третьей главе приведены методики приготовления и характеристики образцов, исследуемых в работе.

Результаты исследования и анализа магнитных свойств приведены в четвертой главе для высокотемпературных сверхпроводников на основе висмута, в пятой главе для высокотемпературных сверхпроводников на основе редкоземельных элементов (Y, Nd, Eu), в шестой главе для MgB_2 , допированного наночастицами Co, и $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, допированного наночастицами CuO, в седьмой главе для $\text{V}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{BiO}_3$.

Важным результатом работы является создание автором модели, позволяющей описывать асимметричные петли гистерезиса намагниченности сверхпроводников и проводить сравнение разных сверхпроводников. Использование нового параметра, отношения глубины равновесно намагниченной области к циркуляционному радиусу, позволило охарактеризовать асимметрию петель гистерезиса и связать поле необратимости с другими параметрами сверхпроводника. Достоинством работы является детальный анализ большого массива экспериментальных данных. Перечислю основные результаты, полученные в диссертации и имеющие наибольший интерес и значимость:

1. Разработана модель, которая позволила рассчитать петли гистерезиса намагниченности неоднородных сверхпроводников.

2. Разработан метод определения циркуляционного радиуса и соответствующих значений плотности критического тока сверхпроводника из измерений магнитного гистерезиса.

3. В рамках модели предложен способ описания аномального увеличения модуля намагниченности (пик-эффект) на полевых зависимостях намагниченности, как перехода между состояниями с различными значениями критического тока.

4. Применение разработанной модели показало, что магнитные свойства поликристаллических сверхпроводников $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ определяются циркуляцией токов в ab плоскостях гранул. Значительная пористость образцов не влияет на внутригранульную плотность критического тока. Причиной слабой наблюдаемой анизотропии текстурированного $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ является неидеальное упорядочение гранул в полученном текстурированном образце.

5. Увеличение содержания Nd в $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ приводит к уменьшению магнитного поля, при котором происходит пик-эффект на полевой зависимости критического тока.

6. Добавление наночастиц Co к MgB_2 и наночастиц CuO к $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ приводит к увеличению плотности внутригранульного критического тока.

7. Фазовое расслоение в сверхпроводнике $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{BiO}_3$ приводит к уменьшению масштаба циркуляции токов и к пик-эффекту на петлях гистерезиса намагниченности.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается воспроизводимостью и совпадением с известными литературными данными.

Следует отметить имеющиеся в работе недостатки. К сожалению, в разделе, посвященном модели, не рассматривается вопрос о намагниченности образцов с отличающейся топологией, например, колец, мультислойных пленок и пр. В разделе, посвященном анализу экспериментальных данных, полученных на MgB_2 , не отражен факт, что этот сверхпроводник имеет две энергетических щели и, соответственно, нетривиальное взаимодействие между вихрями Абрикосова.

Указанные замечания не уменьшают качества работы. Полученные результаты имеют большое значение для физики сверхпроводников. Результаты работы можно рекомендовать для использования в организациях, занимающихся исследованиями сверхпроводящих материалов или разработкой сверхпроводниковых устройств, например, Московский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Уральский

государственный университет, Сибирский федеральный университет, Институт физики твердого тела РАН, Физико-технический институт им. Иоффе РАН, Физический институт им. Лебедева РАН, Институт химической физики им. Семенова РАН, Курчатовский институт.

Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Гохфельда Д.М. «Магнитный гистерезис и плотность критического тока неоднородных сверхпроводников в сильных магнитных полях» соответствует профилю диссертационного совета и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», учрежденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года, а её автор Гохфельд Денис Михайлович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Успенская Людмила Сергеевна,

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния,

ведущий научный сотрудник лаборатории квантовых кристаллов Института физики твердого тела РАН

Подпись Успенской Л.С. заверяю



**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИФТТ РАН
ТЕРЕЩЕНКО А.Н.**

Успенская Людмила Сергеевна

142432 Черноголовка, Московская область

ул. Академика Осипьяна, 2 ИФТТ РАН

Тел: 84965228208 e-mail: .ru

СПИСОК избранных научных трудов

д.ф.-м.н. Успенской Людмилы Сергеевны

за 2016-2019 гг.

1. A.K. Ponomareva, S.V. Egorov, L.S. Uspenskaya. Effect of the shape and lateral dimensions on the magnetization reversal in permalloy nanofilms. *Physica B*, Volume 486, 1 April 2016, Pages 77–80.
2. L.S. Uspenskaya, S.V. Egorov. Current and field stimulated motion of domain wall in narrow permalloy stripe. arXiv:1512.01372 [cond-mat.mes-hall]
3. С. В. Егоров, Л. С. Успенская. Кинетика перемагничивания микрополосок пермаллой-ниобий под действием импульсов магнитного поля и тока. Письма ЖЭТФ, т. 103, в.4, с. 298-302 (2016);
4. Tikhomirov O.A., Red'kin B.S., Uspenskaya L.S. Magnetic properties of iron-doped gadolinium molybdate. *Ferroelectrics*. 505, 210-215, 2016
5. В.В. Больгинов, О.А. Тихомиров, Л.С. Успенская. «Двухкомпонентная намагниченность тонких пленок Pd₉₉Fe₀₁». Письма ЖЭТФ т.105 №3, стр. 153-157, 2017.
6. Л. С. Успенская, И. Н. Хлюстиков. Аномальная магнитная релаксация в тонких пленках Pd_{0.99}Fe_{0.01}. ЖЭТФ, 152, вып..5, 1029-1033, 2017.
7. Успенская Л.С., Хлюстиков И.Н. изменение магнитных свойств тонких пленок Pd₉₉Fe₀₁ при 3D-2D переходе. В сборнике: НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА Материалы XXI Международного симпозиума . 2017. С. 254-255.

8. L.S. Uspenskaya, I.V. Shashkov, Influence of $\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}$ film thickness on magnetic properties. Physica B: Condensed Matter. Volume 549, Pages 58-61 2018,
9. Успенская Л.С. "Переключение спин-поляризованным током гибридных структур на базе пермаллоя", Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника 3 (171) с.17-22, (2018)
10. Успенская Л.С., И.Н. Хлюстиков. Аномальная низкотемпературная релаксация намагниченности в тонких пленках $\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}$. В книге: Тезисы докладов 38 Совещания по физике низких температур (НТ-38) Институт физических проблем имени П. Л. Капицы РАН, Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета. 2018. С. 37-38.
11. Успенская Л.С., С.В. Егоров, О.В. Скрыбина, Д. Львов, Г. Пензяков, В. Чичков. Колоссальное магнитосопротивление в гибридных структурах ферромагнитный диэлектрик/сверхпроводник. В книге: Тезисы докладов 38 Совещания по физике низких температур (НТ-38) Институт физических проблем имени П. Л. Капицы РАН, Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета. 2018. С. 186-187.
12. Успенская Л.С., Тихомиров О.А. Особенности низкотемпературного перемagnичивания двуслойных пленок FeNi/FeMn . :ЖЭТФ Vol. 155, No. 4, p. 730-736 (2019)

Список публикаций Успенской Л.С. заверяю.

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ИФТТ РАН
ТЕРЕЩЕНКО А.Н.**

