

ОТЗЫВ официального оппонента

Моргунова Романа Борисовича

на диссертацию на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук Лю Наньнань

на тему: «Изучение механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах, перспективных для лечения рака с помощью магнитной гипертермии:

магнитотепловые свойства наночастиц феррита ZnMn»

по специальности 1.3.12 «Физика магнитных явлений»

Актуальность темы. Диссертация на тему «Изучение механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах, перспективных для лечения рака с помощью магнитной гипертермии: магнитотепловые свойства наночастиц феррита ZnMn» посвящена изучению механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах. Работа представляет собой актуальное и перспективное исследование для развития современной медицины. Автор диссертации анализирует существующие методы лечения рака и приходит к выводу о важности применения магнитной гипертермии. В работе подробно рассматриваются механизмы тепловыделения в наночастицах основе феррита ZnMn. Автор считает их перспективными для использования в магнитной гипертермии благодаря высокому тепловыделению и возможности его варьирования при изменении размеров частиц. Результаты исследования могут использоваться, как ориентир при создании магнитных сред для магнитоиндукционной гипертермической терапии.

В начале диссертации дается краткое введение в типы и характеристики магнитных сред, обычно используемых в магнитоиндукционной гипертермической терапии, с упором на анализ теории магнитных сред в однородных переменных магнитных полях и анализ формулы расчета потерь мощности. Проанализированы параметры магнитного поля и параметры магнитной среды, которые влияют на мощность потерь магнитной среды соответственно.

В экспериментальной части работы было проведено комплексное экспериментальное исследование структурных, магнитных и тепловых свойств наночастиц $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ ($x = 0.05 - 0.3$) в магнитном поле с амплитудой до 200 Э и частотой до 300 кГц.

Показано, что для более мелких наночастиц (9 нм ($x=0.25$) и 7 нм ($x=0.30$)) полевая зависимость SAR тяготеет к обычному квадратичному закону, а для более крупных наночастиц ($x = 0.1-0.2$) величина SAR демонстрирует сверхкватратичную зависимость в диапазоне амплитуды магнитного поля тока 60-100 Э.

Было изучено влияние отжига на магнитотепловые свойства наночастиц. Показано, что для крупных отожженных наночастиц (24.7 нм, 31.4 нм, 35.1 нм) значение $SAR \sim H^4$, в то время как для исследованных неотожженных частиц была обнаружена суперкватратичная зависимость $SAR \sim H^5$, начиная с 13 нм. Суперпарамагнитное поведение коллоидных наночастиц и их низкая температура блокировки (ниже комнатной температуры) могут объясняться влиянием таких факторов, как более широкое распределение по размерам, низкая магнитная анизотропия и пренебрежимо малое межчастичное диполь-дипольное взаимодействие.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Показано, что величина SAR для магнитных наночастиц $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ достигает наибольшего значения в диапазоне содержания цинка от 0,15 до 0,2. При этом оптимальное процентное содержание цинка в данном диапазоне зависит от выбора рабочей частоты магнитного поля.

2. Обнаружена нестандартная зависимость теплового выделения от амплитуды магнитного поля в наночастицах $Zn_{0,2}Mn_{0,8}Fe_2O_4$. Она оказалась сверхкватратичной и ближе к пятой степени амплитуды поля, в отличие от известной кватратичной зависимости.

3. Предложена новая стратегия повышения тепловыделения, которая существенно отличается от действующей стратегии минимизации величины

магнитного поля при одновременном увеличении его частоты. Предлагаемая методика обеспечит более рациональное использование свойства наночастиц, состоящее в том, что количество поглощаемой электромагнитной энергии в расчёте на единицу вещества увеличивается гораздо быстрее, чем нарастает энергия электромагнитного излучения источника поля.

4. В контексте критерия Брезовича было установлено, что выбор частоты внешнего поля 100 кГц и амплитуды магнитного поля 100 Э является наиболее подходящим для применения наночастиц феррита ZnMn в клинической практике.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием сертифицированных лабораторных приборов и программного обеспечения; удовлетворительным соответствием результатов работы и ее отдельных частей известным результатам (численным и экспериментальным), полученным другими авторами. Результаты исследования, представленные в диссертации, имеют **практическую ценность** для разработки новых методов терапии онкологических заболеваний. Они могут быть применены при создании новых лекарственных препаратов и в процессе разработки технологий магнитной гипертермии. Диссертация представляет собой научное исследование высокого уровня, содержащее значимые результаты и выводы, которые могут способствовать прогрессу в науке и технике. В рамках диссертации была проведена обширная работа по изучению механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах. Полученные результаты представляют собой ценный материал для специалистов в таких областях знаний, как физика, химия, медицина и других сферах науки.

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1. Для МГ токсичные материалы (такие как кобальт и хром) использоваться могут в составе сплавов, например кобальт-ферритов, которые, как широко известно, являются биосовместимыми. В составе многих сплавов или оксидов токсичность этих металлов отсутствует.
2. Определение показателя степени для полевых зависимостей SAR нуждается в построении графиков в двойных логарифмических координатах, в которых спрямление свидетельствует о справедливости степенной зависимости, а тангенс угла наклона прямых равен степени. В линейных координатах набор точек с разбросом одинаково хорошо может быть аппроксимирован разными функциями (рис. 10 и рис.5 автореферата).
3. На рис.3.4. диссертации дифрактограмма частиц не снабжена пояснениями, какие пики отвечают, каким плоскостям, не приведен референсный спектр сравнения. Непонятно также утверждение, что все образы содержат фазу, «характерную для для шпинели пространственной группой $Fd\bar{3}$ ». А какие еще фазы они содержат? Эта информация могла бы способствовать пониманию причин сверхквадратичной зависимости SAR.
4. На рис.3 автореферата определение положения максимумов зависимостей не представляется надежным при данной интервале между точками и погрешности.

Однако эти недостатки не умаляют общей положительной оценки работы.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 «Физика магнитных явлений» (по физико-математическим наукам), критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, она оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о

диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соискатель Лю Наньнань заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник, руководитель группы Магнитных и спиновых логических процессов и устройств
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН»

Моргунов Роман Борисович

Контактные данные:

тел.: 7(985)4677762, e-mail: spintronics2022@yandex.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.04.07 физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

142432, Московская обл., г. Черноголовка, г.о. Черноголовка, пр-кт акад. Семенова, д.1, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Группа магнитных и спиновых логических процессов и устройств
Тел.: +7 (496) 522-44-74; e-mail: office@icp.ac.ru

Подпись сотрудника ФИЦ ПХФ и ХФ РАН Р.Б. Моргунова удостоверяю:

Учёный секретарь ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Доктор химических наук _____ Психа Борис Львович
Психа Б.Л. М.П.