

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**  
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Физические свойства планарных полимерных микроконтейнеров**  
**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 412 группы  
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
факультета нано- и биомедицинских технологий

Анисимова Романа Андреевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ломова М. В.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Михайлов А.И.

инициалы, фамилия

Саратов 2019

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** Развитие персональной медицины, разработка новых методов лечения, повышение эффективности диагностики и мониторинга различных заболеваний является одним из ведущих направлений в области исследований современной медицины и фармацевтики. Основной проблемой, связанной с использованием наноматериалов в этой области, является создание систем адресной доставки лекарственных препаратов, способов осуществлять их контролируемое высвобождение в непосредственной близости от поражённых участков организма. Это позволит существенно повысить эффективность действия лекарственных препаратов и значительно уменьшить их общую концентрацию в организме, и, как результат, снизить побочные эффекты от их применения.

Адресная доставка может осуществляться несколькими типами нано и микроконтейнерами, микрокапсулами, пригодными для инкапсуляции биологически активных веществ. Особый интерес представляет изучение различного физического воздействия на микроконтейнеры. Способность микроконтейнеры изменять проницаемость в ответ на различные внешние воздействия: изменение pH, давление, излучением, электрическим и магнитными полями, температурой и иным воздействием вызывает сильный интерес для изучения.

### **Цели и задачи бакалаврской работы.**

Целью бакалаврской работы являлось исследование некогерентных магнитных возбуждений в планарных полимерных микроконтейнерах, содержащих гидрофильные наночастицы магнетита и микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  методом бриллюэновской спектроскопии.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- 1 Изучение научной литературы по физико-химическим основам получения и дистанционного управления свойствами полимерных планарных микроконтейнеров.

2 Изучение особенностей исследования высокочастотных колебаний намагниченности в магнитоупорядоченных средах методом бриллюэновской спектроскопии.

3 Экспериментальное формирование планарных полимерных микроконтейнеров различных конфигураций, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита.

4 Изучение и анализ полученных спектров спектров некогерентных колебаний намагниченности в планарных полимерных микроконтейнерах методом бриллюэновской спектроскопии.

**Структура бакалаврской работы.** Кроме ВВЕДЕНИЯ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ и СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ работа включает 5 основных разделов:

- 1 Системы адресной доставки
- 2 Методика формирования планарных полимерных микроконтейнеров
- 3 Исследование высокочастотных колебаний намагниченности в магнитоупорядоченных средах методом бриллюэновской спектроскопии
- 4 Формирование планарных полимерных микроконтейнеров
- 5 Описание установки и методика проведения экспериментов по изучению спектров бриллюэновского рассеяния

**Положение, выносимое на защиту.** При инкапсуляции наночастиц магнетита и микрочастицы  $\text{CaCO}_3$ , содержащих наночастицы магнетита, внутрь планарных полимерных микроконтейнеров проявляются магнитные свойства.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.**

**В разделе 1** приводится анализ современного развития медицины в области систем адресной доставки.

**В разделе 2** приведён анализ литературы, посвящённый описанию планарных полимерных микроконтейнеров. Изучены основные методы формирования, особенности и сложности при формировании микроконтейнеров,

и влияние на проницаемость оболочек микроконтейнеров различными внешними воздействиями.

**В разделе 3** приведён анализ литературы по исследованию высокочастотных колебаний намагниченности в магнитоупорядоченных средах методом бриллюэновской спектроскопии.

**В разделе 4** описывается формирование планарных полимерных микроконтейнеров. Для формирования планарных полимерных микроконтейнеров использовался 1 % раствор полилактида (ПЛА) в хлороформе  $\text{CHCl}_3$ . В качестве подложки использовалось приборное стекло. На рисунке 1 приведена схема эксперимента по получению планарных полимерных микроконтейнеров. Шаблон для микроконтейнеров кратковременно помещался в сосуд, заполненный 1 % раствором полилактида в хлороформе. После извлечения из сосуда, для инкапсуляции микро и наночастиц, на поверхность наносилась суспензия, содержащая раствор с выбранными микро и наночастицами. Затем этот раствор удалялся. Этот цикл проводился несколько раз. В результате, после последнего удаления раствора, микрочастицы осаждались внутри ячеек микроконтейнеров. Затем шаблон прикладывался плёнкой к подложке. На него оказывалось кратковременное давление, после чего шаблон удалялся с поверхности подложки, а полимерная плёнка с микроконтейнерами оставалась закреплённой на поверхности подложки.

Был описан синтез микрочастиц  $\text{CaCO}_3$ , наночастиц магнетита, инкапсуляция наночастиц магнетита внутрь микрочастиц  $\text{CaCO}_3$ .

Для визуального контроля формирования полимерных микроконтейнеров использовались изображения, полученные при помощи микроскопа. Изображение полимерной плёнки с микроконтейнерами показано на рисунке 9.

Было изготовлено 4 типа образцов:

1 образец – контрольный, чистый массив микроконтейнеров;

2 образец – в шаблон микроконтейнеров были введены наночастицы магнетита;

3 образец – в шаблон микроконтейнеров были введены микрокапсулы  $\text{CaCO}_3$  содержащие наночастицы магнетита;

4 образец – контрольный, в шаблон были введены микрокапсулы  $\text{CaCO}_3$ .

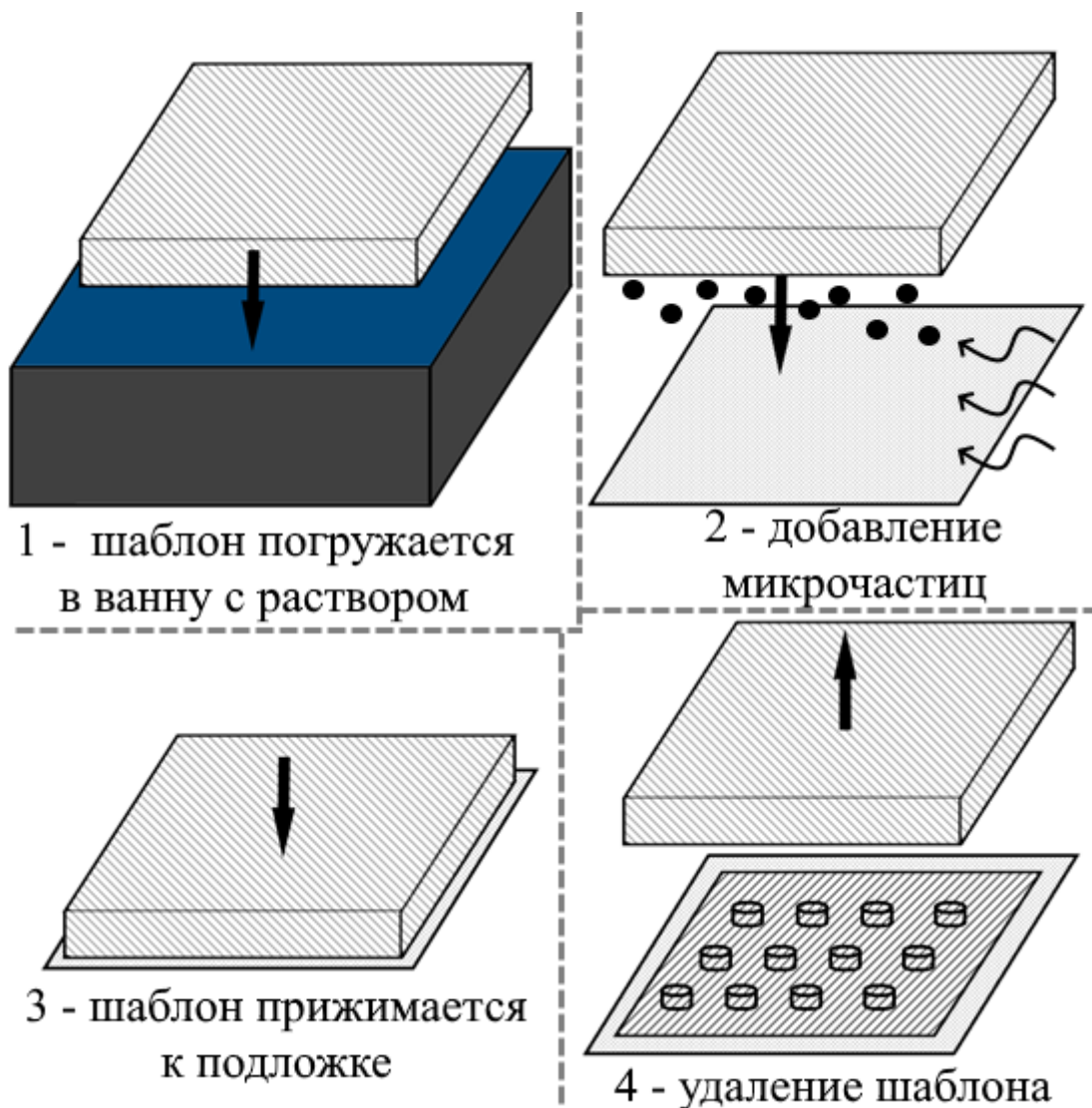


Рисунок 1 – Схема формирования планарных полимерных микроконтейнеров: 1 – шаблон опускается в 1 % раствор полилактида в хлороформе; 2 – на шаблон наносится суспензия с микрочастицами; 3 – на шаблон оказывается кратковременное давление; 4 – удаление шаблона, на поверхности подложки сформирован массив микроконтейнеров.

Для определения заполнения микроконтейнеров микро и наночастицами применялся визуальный контроль. При заполнении наночастицами полимерные плёнки приобретали светло коричневый оттенок. При заполнении микроконтейнеров микрочастицами  $\text{CaCO}_3$ , полимерные плёнки приобретали белый оттенок.

Были получены SEM изображения поверхности полученных планарных полимерных микроконтейнеров 4 типов. Контрольные образцы, не содержащие в себе никаких частиц получены на рисунке 2 (1). Плёнка была расположена обратной стороной. Плёнка целая, однако имеются некоторые складки и заломы, что обусловлено процессом переноса на подложку для проведения спектроскопии. На рисунке 2 (2) приведены изображения полимерных плёнок с микроконтейнерами, содержащие наночастицы магнетита. Размер одной ячейки (одного микроконтейнера) порядка 3-5 мкм. Микроконтейнеры сформировались ровные, чёткие. На поверхности плёнки есть незначительные дефекты.

На рисунке 2 (3) приведены изображения микроконтейнеров, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  с наночастицами магнетита. Хорошо видно, как микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  находятся внутри ячеек микроконтейнеров. Размер микрочастиц  $\text{CaCO}_3$  порядка 3-5 мкм. Изображение контрольного образца, с добавлением чистых микрочастиц  $\text{CaCO}_3$  приведено на рисунке 2 (4). Микрочастицы расположены внутри ячеек, а также на поверхности плёнки.

По краям плёнок можно обнаружить различные дефекты, разрывы и заломы. Это чаще всего связано с процессом переноса со стеклянной подложки при формировании полимерных плёнок на проводящую подложку для получения SEM изображений поверхности плёнок. Также это может быть связано с удалением шаблона, в процессе формирования микроконтейнеров.

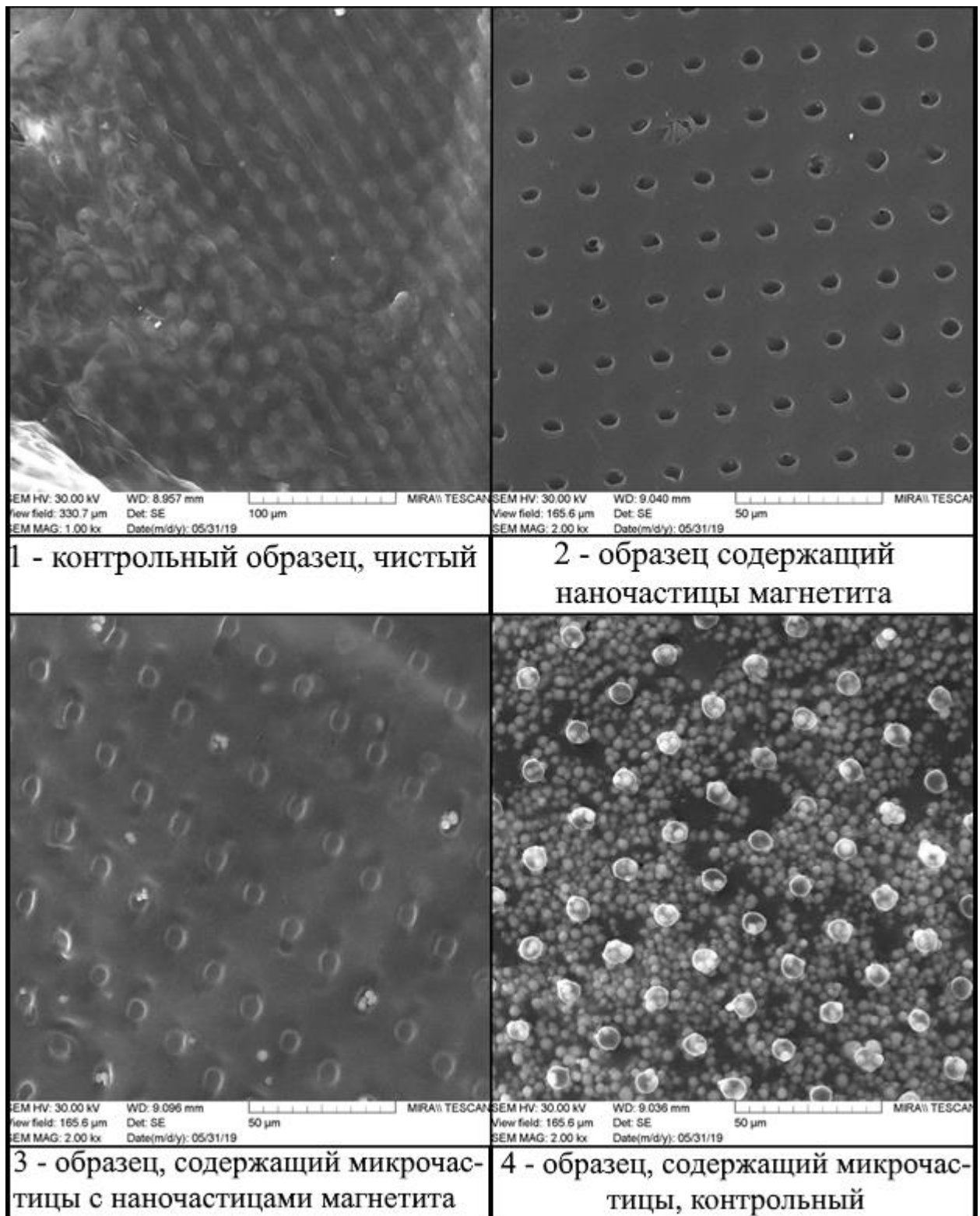


Рисунок 2 – Изображения сканирующей электронной микроскопии полученных планарных полимерных микроконтейнеров. 1 – контрольный образец, пустой; 2 – образец, содержащий наночастицы магнетита; 3 – образец, содержащий микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  с наночастицами магнетита; 4 – контрольный образец, содержащий микрочастицы  $\text{CaCO}_3$ .

В разделе 5 описывается установки и методика проведения экспериментов по изучению спектров бриллюэновского рассеяния, а также экспериментальное исследование спектров некогерентных колебаний намагниченности в планарных полимерных микроконтейнерах методом бриллюэновской спектроскопии.

Исследование некогерентных магнитных возбуждений в планарных полимерных микроконтейнерах проводилось с помощью комплекса бриллюэновской спектроскопии лаборатории «Метаматериалы» СГУ. На рисунке 3 представлена схема основных элементов комплекса и взаимосвязь между ними.

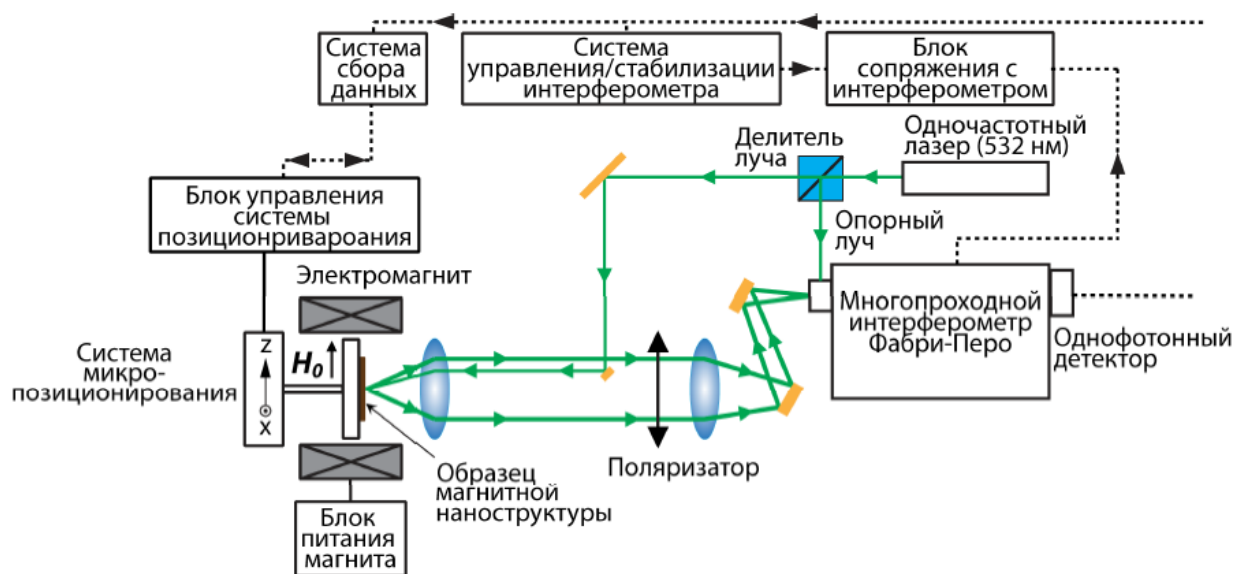


Рисунок 3 – Схема комплекса бриллюэновской спектроскопии.

Основой комплекса является многопроходный интерферометр Фабри-Перо с однофотонным детектором лазерного излучения (счетчиком фотонов). В качестве источника излучения использовался лазер, работающий в непрерывном одномодовом режиме генерации, с длиной волны излучения 532 нм с линейной поляризацией. Мощность лазерного излучения составляла 0,5 мВт. 10% исходной мощности пучка лазера использовалось в качестве опорного сигнала для стабилизации систем интерферометра. Основная часть пучка (сигнальная) через систему зеркал и линз подаётся на исследуемый образец. На рисунке 12 приведена схема БЛС (макро-БЛС), в которой фокусировка производится с помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием 50 мм. Диаметр



фокусного пятна лазерного излучения при этом составляет 30 мкм. Образцы планарных полимерных микроконтейнеров, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита, помещались в систему микропозиционирования в постоянное однородное магнитное поле. Система осуществляла фокусировку лазерного излучения на поверхности полимерной плёнки и обеспечивала пространственное перемещение фокусного пятна. Методом БЛС (диаметр фокусного пятна лазерного излучения 30 мкм) исследовались образцы планарных полимерных микроконтейнеров, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита.

На рисунках 3, 4 представлены частотные спектры некогерентных магнитных возбуждений в образцах планарных полимерных микроконтейнеров.

Измеряемая характеристика  $I(f)$  является спектром, полученным за счёт суммирования откликов от всех наночастиц магнетита, попадающих внутрь цилиндрического объёма образца с площадью основания, равного площади фокусного пятна, и высотой, определяемой степенью проникновения света в микроструктуру. Образцы были помещены в постоянное магнитное поле с напряженностью при температуре  $T = 295 \text{ K}$ . Точками отмечены экспериментальные данные, сплошной кривой – результат аппроксимации полученных данных функцией Лоренца по методу наименьших квадратов с помощью стандартным средств обработки данных. По горизонтальной оси отложена величина частотного сдвига стоксовой компоненты рассеянного света относительно опорной частоты, по вертикальной – нормированная на величину эластичного пика интенсивность стоксовой компоненты.

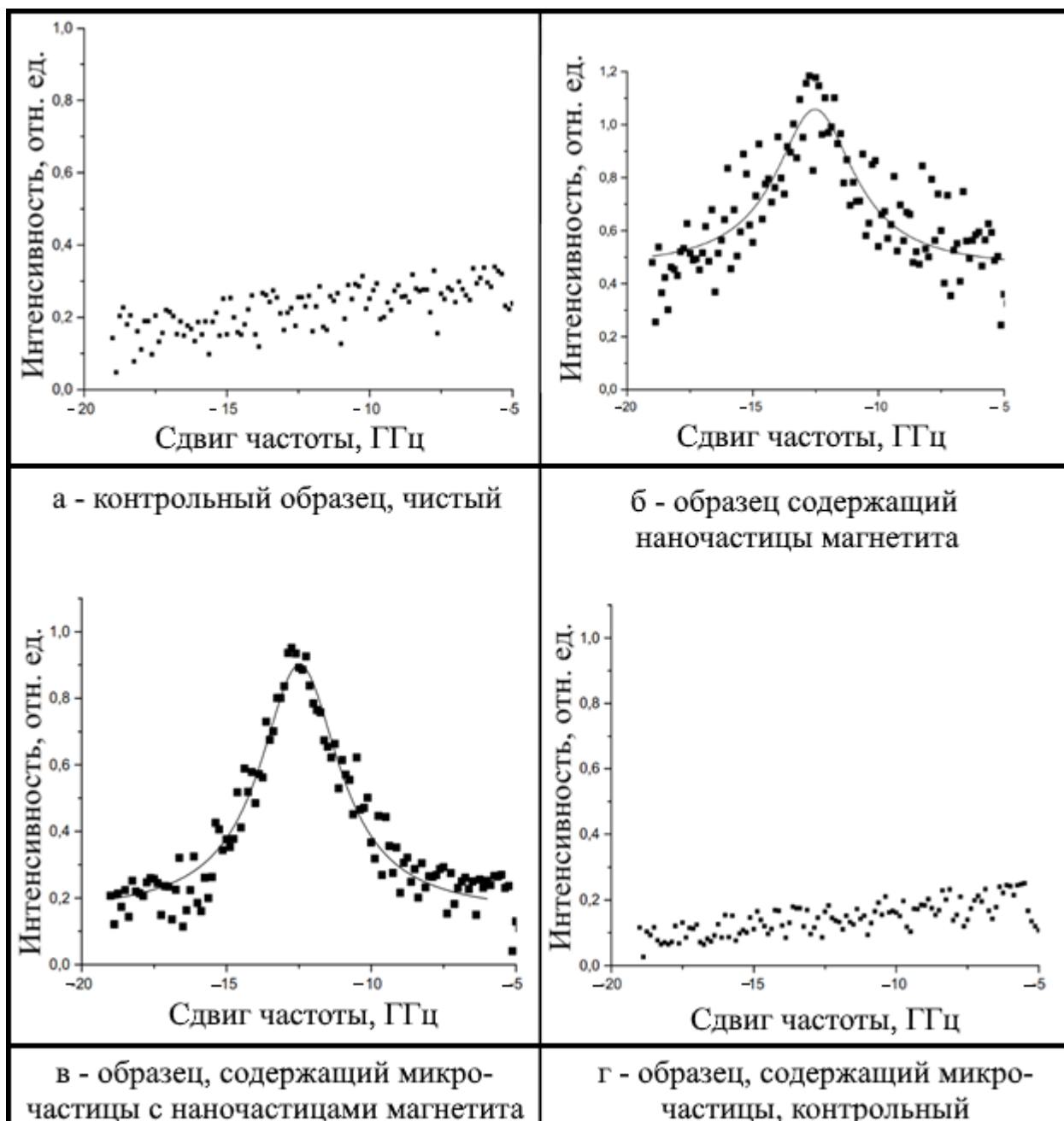


Рисунок 4 – Спектры намагниченности планарных полимерных микроконтейнеров содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита: а – контрольный образец, чистый; б – образец, содержащий наночастицы магнетита; в – образец, содержащий микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  с наночастицами магнетита; г – контрольный образец, содержащий микрочастицы  $\text{CaCO}_3$ .

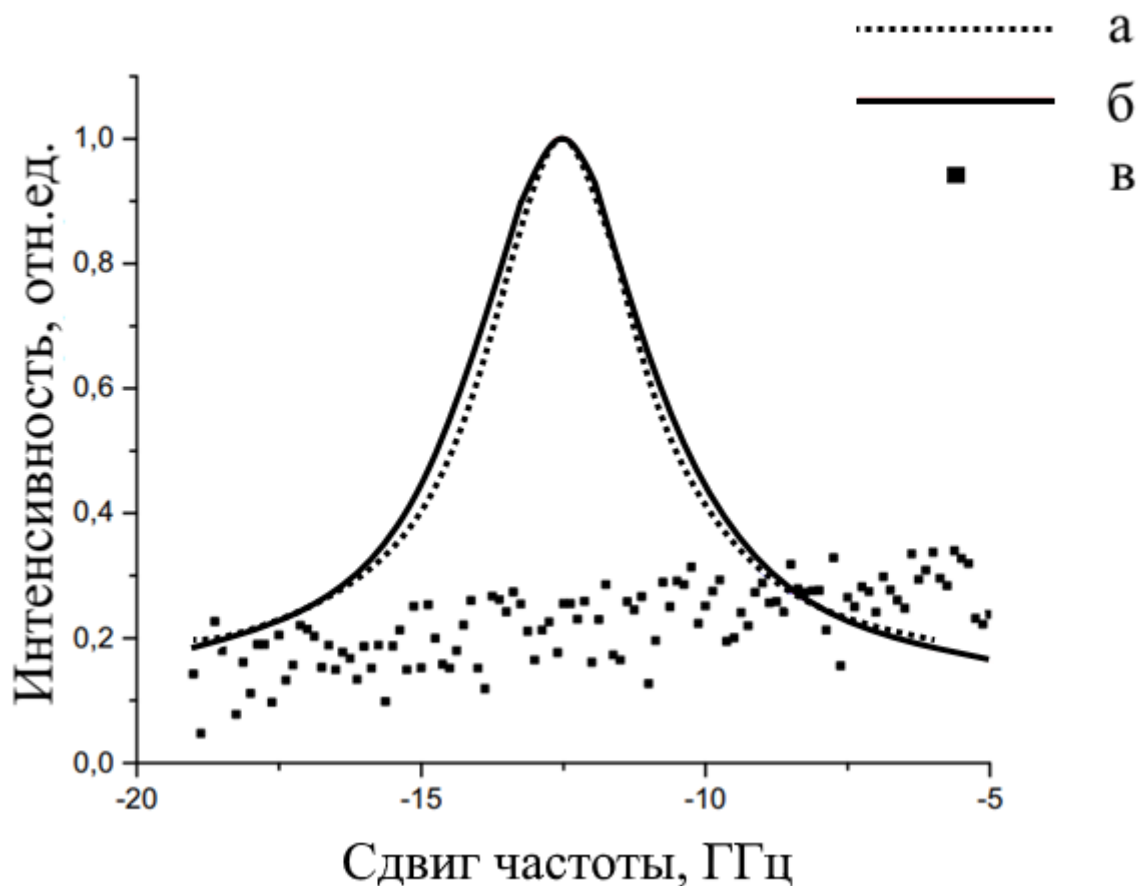


Рисунок 5 – Спектры намагниченности планарных полимерных микроконтейнеров содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита: а – образец, содержащий наночастицы магнетита; б – образец, содержащий микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  с наночастицами магнетита; в – контрольные образцы (чистый и содержащий пустые микрочастицы  $\text{CaCO}_3$ ).

Для удобства восприятия результатов, экспериментальные точки были аппроксимированы функцией Лоренца по методу наименьших квадратов с помощью стандартным средств обработки данных.

По полученным результатам можно сказать, что контрольные образцы – чистый и содержащие микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  показали слабые магнитные свойства. Образцы, содержащие наночастицы магнетита, проявили сильные магнитные свойства. Наблюдаемые спектры обладают симметричностью

склонов. При выбранных величинах внешних магнитных полей частотные максимумы спектров тепловых колебаний намагниченности лежат в области 9 – 11 ГГц. Причём, образцы, содержащие микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  с наночастицы магнетита обладают более упорядоченными усреднёнными результатами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы поставленные получены следующие основные результаты:

1 Были получены планарные полимерные микроконтейнеры различных конфигураций, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита. При помощи сканирующей электронной микроскопии были получены изображения поверхности полимерных плёнок с микроконтейнерами. Было установлено, что микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  хорошо инкапсулируются внутрь ячеек микроконтейнеров.

2 Методом бриллюэновской спектроскопии проведено исследование планарных полимерных микроконтейнеров различных конфигураций, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита.

3 Показано, что метод бриллюэновской спектроскопии может быть использован для контроля локальных параметров планарных полимерных микроконтейнеров различных конфигураций, содержащих микрочастицы  $\text{CaCO}_3$  и наночастицы магнетита и различных функциональных элементов на их основе.

Полученные знания могут быть использованы в дальнейшем при формировании планарных полимерных микроконтейнеров других форм и конфигураций. Одним из перспективных направлений в изучении физических свойств планарных полимерных микроконтейнеров является исследование воздействия электромагнитных полей на них. Помимо использования планарных полимерных микроконтейнеров как средств адресной доставки лекарственных сред, они могут быть использованы для создания сред с периодически изменяющимся показателем преломления.