

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

«Исследование спиновых волн в структуре ЖИГ – полупроводник»

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 431 группы

направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

факультета нелинейных процессов

Куликова Виталия Петровича

Научный руководитель

Доцент, д.ф.-м.н., доцент

Садовников А.В.

Зав. Кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

А.А. Короновский

Саратов 2018 год

Введение

В твердом теле распространяются волны различных классов и типов: электромагнитные — процесс распространения электромагнитного поля в пространстве, акустические — упругие волны распространяющиеся в пространстве, спиновые — волны намагниченности наблюдаемые в ферро-, ферри- и антиферромагнетиках.

Наиболее часто, значения длин магнитостатических волн находятся в пределах от микрона до миллиметра, а частоты резонаторов на основе пленок из железо - иттриевого граната(ЖИГ) определяются величиной приложенного поля, находясь в диапазоне от 1 до 40 ГГц.

Существует три отличных друг от друга класса магнитостатических волн (МСВ) могут распространяться в тонком магнитном волноводе, ПОМСВ — прямые объемные магнитостатические волны, которым соответствует поле, приложенное к структуре в направлении нормали, перпендикулярно к направлению распространения такой волны, ООМСВ — обратные объемные магнитостатические волны, вектор данных волн сонаправлен с вектором приложенного поля, ПМСВ — поверхностные магнитостатические волны, которым соответствует поле приложенное перпендикулярно к направлению распространения. Дисперсионные характеристики у каждого класса, выше перечисленных волн, сильно отличаются, поэтому они изучаются отдельно и независимо друг от друга. Локализуются ПМСВ на поверхности пленки, в которой происходит их распространение.

Ближе к 70-м годам появились сообщения о наблюдении искусственно возбужденных когерентных спиновых волн в параллельных пластинах железо - иттриевого граната(ЖИГ), уникальностью которого оказалась возможность, снижения потерь энергии, относительно других материалов.

Существует идея интегрировать спиновые волны в латерально связанных волноводах в приборы. Подложка на которой находятся пленки ЖИГ может быть из отличных друг от друга материалов и оказывать различное

воздействие на волноводы. Теоретическое исследование магнитостатических волн представляет огромный интерес в связи с перспективами миниатюризации элементной базы радиоэлектроники СВЧ на основе магнитостатических волн и колебаний.

Целью данной работы будет являться исследование влияния слоя из галлия гадолиниевого граната и слоя из арсенида галлия (GaAs) на латерально связанные волноводы из железо - иттриевого граната.

Ферриты и методы изучения спин-волн

Ферриты представляют из себя химические соединения оксида железа Fe_2O_3 с оксидами других металлов, которые обладают уникальными магнитными свойствами: высокая намагниченность, полупроводниковые или диэлектрические свойства. В связи с этим материал получил широкое использование в радиоэлектронике и вычислительной технике. Важной особенностью ферритов является зависимость величины магнитной проницаемости от приложенного к нему магнитного поля. Изменяя внешнее магнитное поле можно управлять характеристиками магнита.

Из-за открытия нового материала, резонатор на ЖИГ, пик исследований в области спин-волновых систем был между 1960 и 1980 годами. В течение этого периода были разработаны устройства на базе ЖИГ-резонатора для обработки аналоговых сигналов.

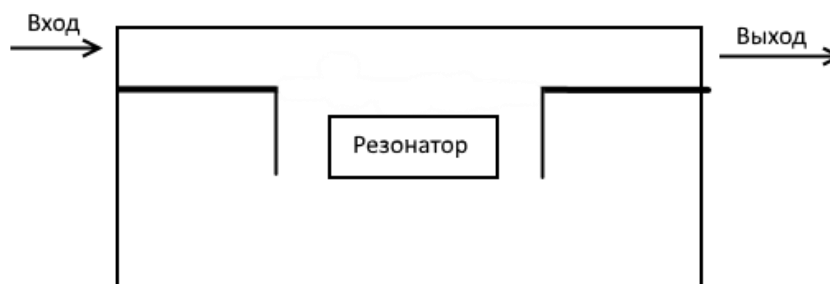


Рис.1 Полусна – пропускающий фильтр. Пример устройства на базе феррита.

Спиновая волна – это волны нарушений спинового порядка в магнитоупорядоченных средах, спины атомов при отсутствии возбуждения строго упорядочены. Как и любая волна характеризуется зависимостью частоты от волнового вектора. Можно выделить следующие методы исследования спин-волн: ферромагнитный резонанс – 1946г., рамановская спектроскопия – 1966 г., бриллюэновская спектроскопия - 1970г..

Так же один из методов исследования является метод возбуждения и детектирования с помощью микрополосковых антенн СВЧ. Для этого на

волноводе из железо – иттриевого граната по краям с разных сторон устанавливают микрополосковые антенны типа «вход-выход» и изменяют ориентацию поля, возбуждая различные классы магнитостатических волн. . Когда спин-волна доходит до выходной антенны, обратный процесс возбуждает в ней ток, детектируемый в данном методе.

Преимуществом спин – волновых устройств является возможность управления рабочими характеристиками.

Метод исследования

Для численного моделирования была выбрана программа Comsol Multiphysics — это комплексная интегрированная среда для моделирования физических явлений и разработки приложений. При решении уравнения с помощью Comsol Multiphysics, используется метод конечных элементов. Вблизи волноводов в областях локализации поля происходит уменьшения шага разбиения поверхности на треугольные полигоны, что позволяет увеличить точность вычисления волновых чисел, не критично влияя на время расчета. В результате мы получаем распределения поля собственной моды на определенной частоте.

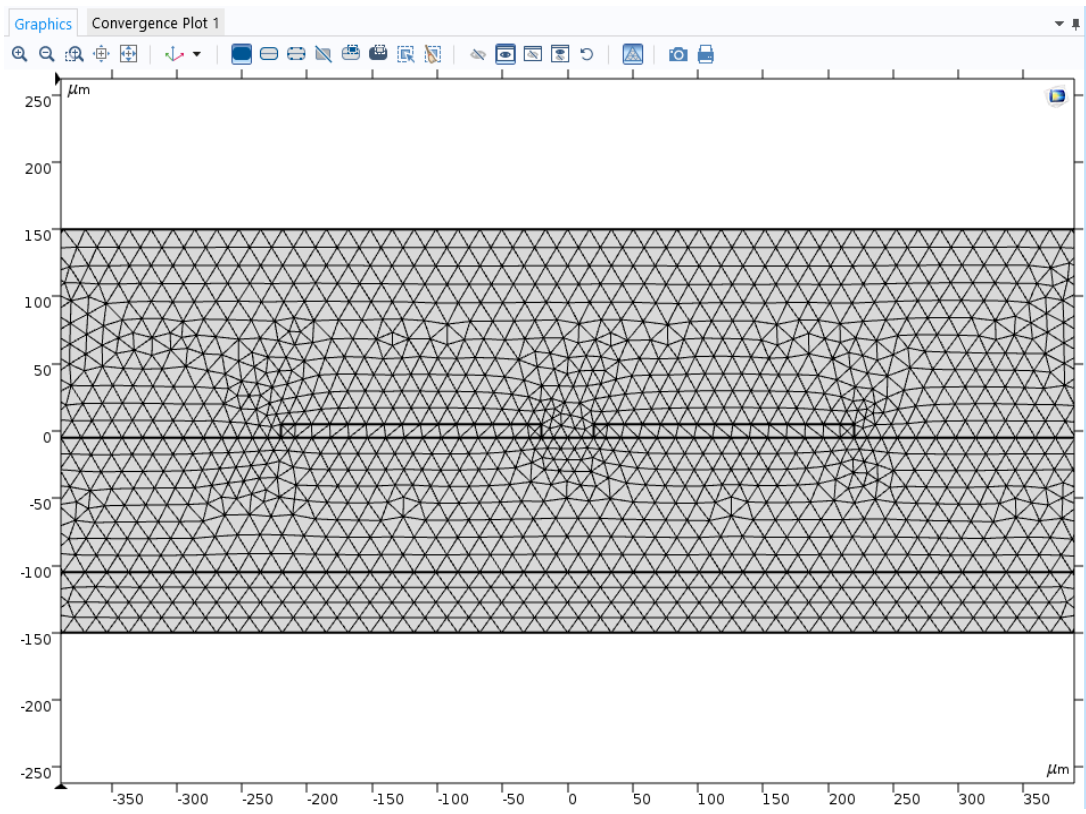


Рис.2 Распределение сетки в программе Comsol Multiphysics.

Повторяя поиск распределения поля собственных мод изменяя частоту и рассматривая их принадлежность к симметричным и асимметричным модам, можно построить дисперсионную характеристику. Важно выбирать из полученных результатов только действительные, так как только они могут распространяться по волноводам и быть измерены в ходе реальных экспериментов.

В системе Comsol решается уравнение Гемгольца, которое представлено ниже.

$$\nabla \mu^{-1} (\nabla E) - k_0^2 \left(\varepsilon - \frac{j\sigma}{\omega \varepsilon_0} \right) E = 0$$

В решаемом уравнении, μ – тензор магнитной проницаемости, E – напряженность электрического поля, ε – диэлектрическая проницаемость, j – мнимая единица, σ – проводимость, ω - частота колебаний.

Тензор магнитной проницаемости « μ » для пленок из железо - иттриевого граната, который будет справедлив для поверхностных магнитостатических волн:

$$\mu_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & i\mu_a \\ 0 & -i\mu_a & \mu \end{bmatrix}$$

Результаты расчетов

Для структуры состоящей из латерально связанных волноводов на основе пленок ЖИГ была построена дисперсионная характеристика, рисунок 4. Так же в работе показаны распределения полей полученные в программе Comsol Multiphysics.

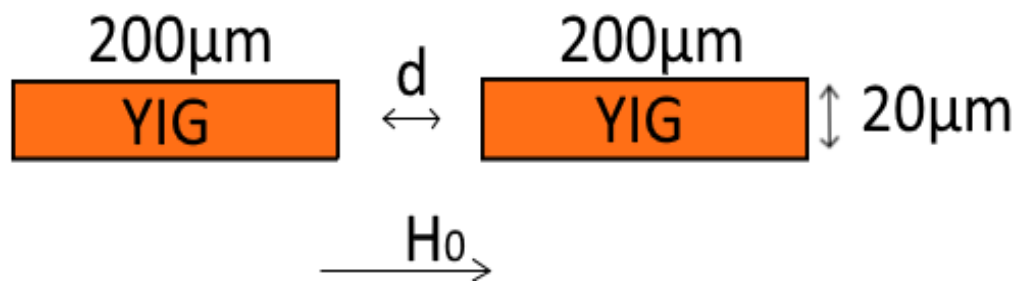


Рис. 3 Структура ЖИГ.

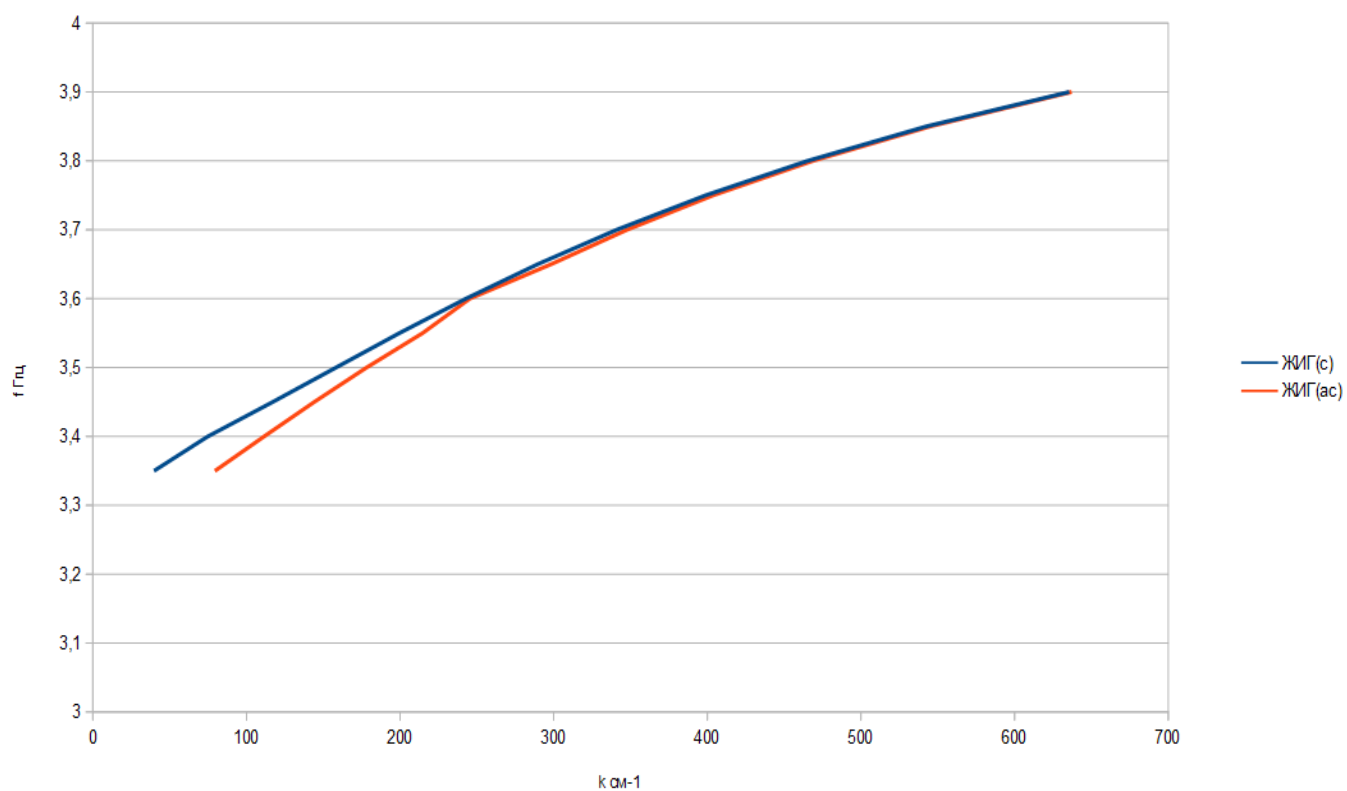


Рис.4 Дисперсионная характеристика для структуры показанной на рисунке 6. Здесь, оранжевым цветом показаны значения асимметричной моды, синим — симметричной.

Следующим шагом была построена структура, приведенная на рисунке 5, в программе Comsol Multiphysics – пленки из ЖИГ на подложке из галлий гадолиниевого граната.

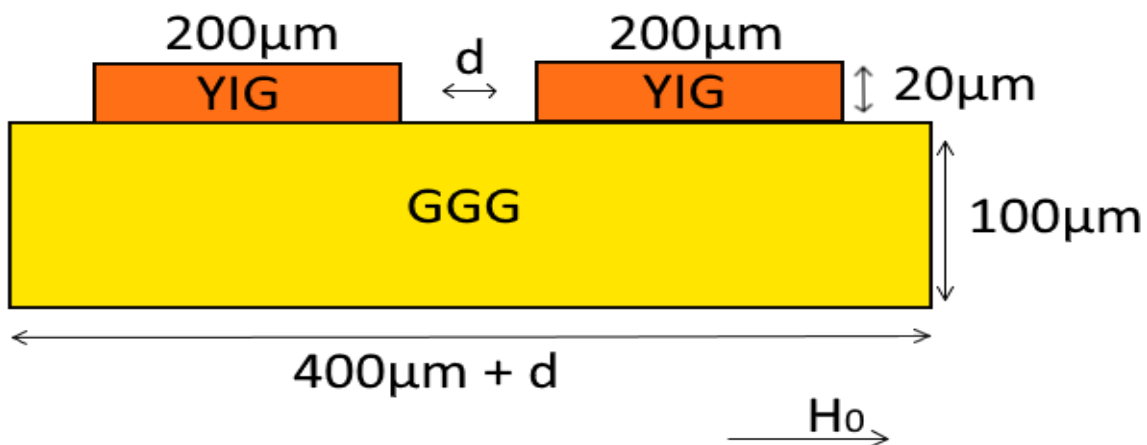


Рис. 5 Структура ЖИГ на подложке ГГГ.

Так же как и в случае с первой структурой была построена зависимость частоты от волнового числа и приведены распределения полей, рисунок 6.

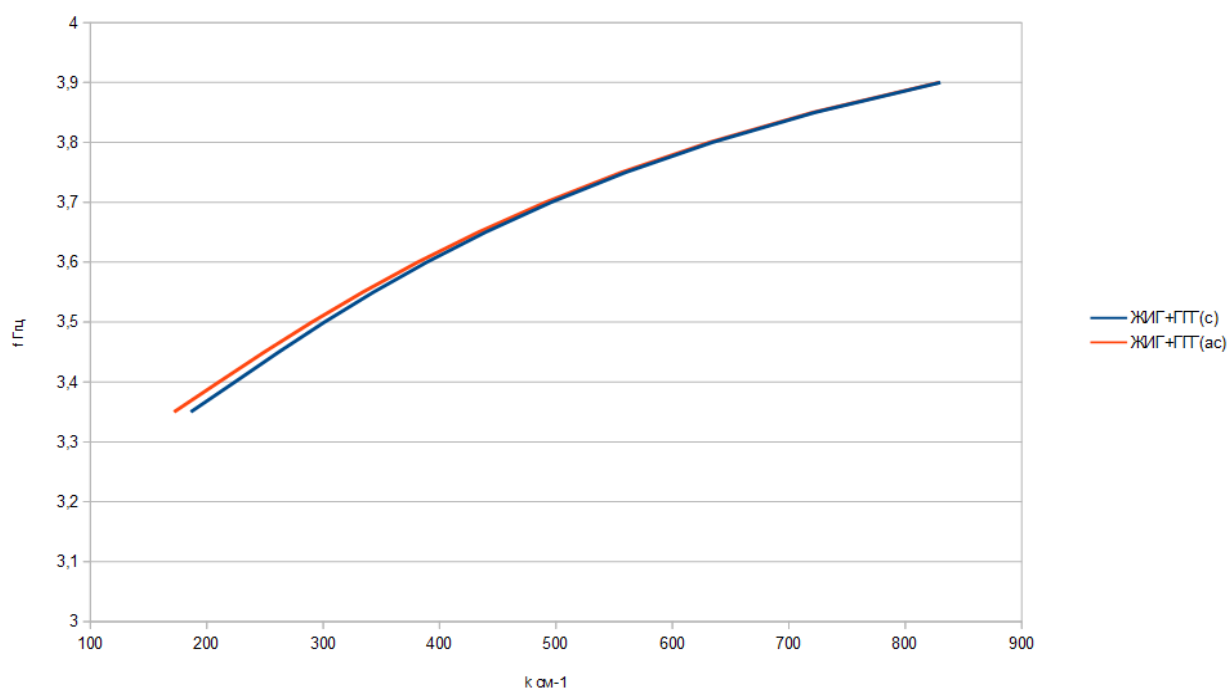
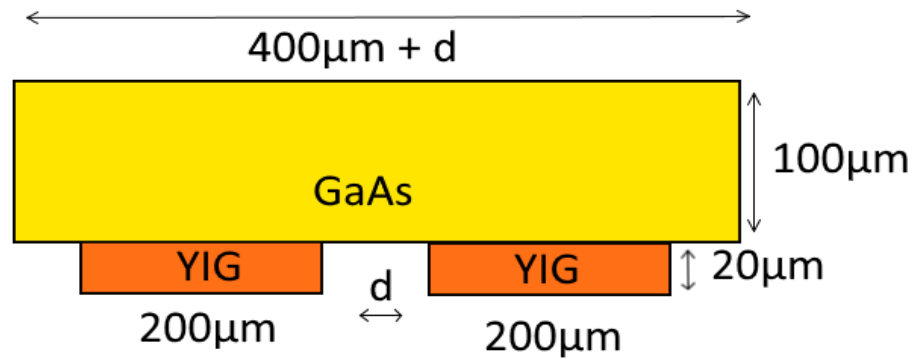


Рис.6 Дисперсионная характеристика для структуры ЖИГ+ГГГ.

Для третьей структуры состоящей из пленок ЖИГ расположенных на полупроводнике GaAs(рис.7) была построена дисперсионная характеристика(рис.8) и зависимость волнового числа от концентрации



носителей(рис.9).

Рис.7 Структура ЖИГ на подложке из GaAs.

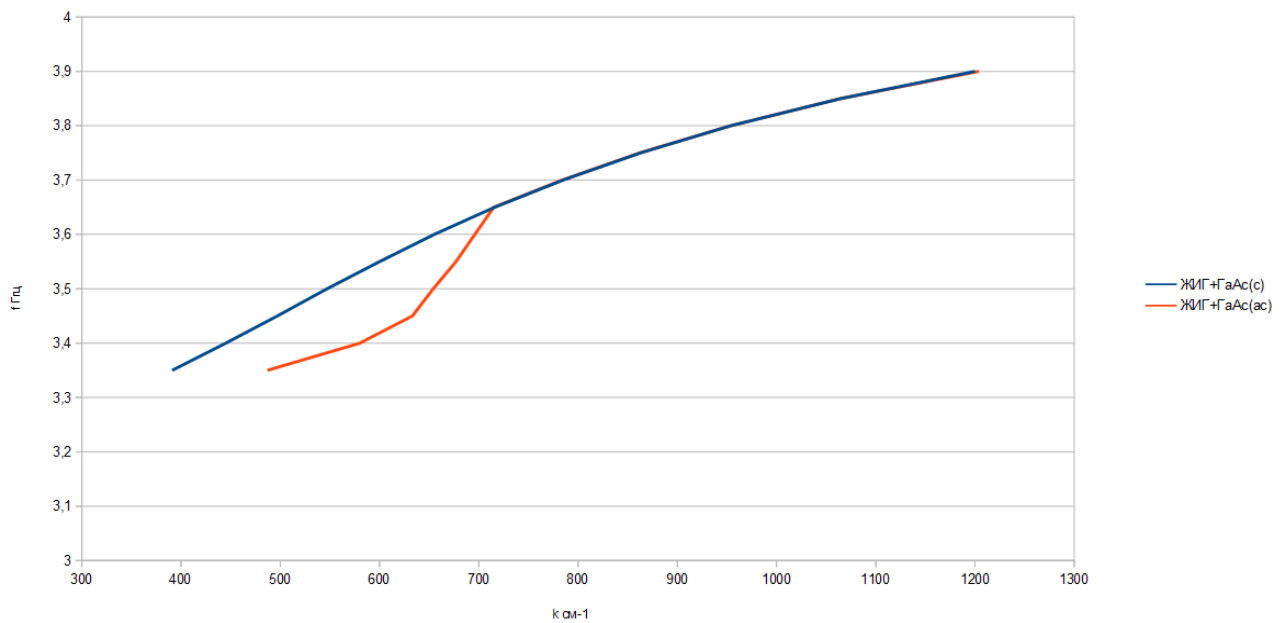


Рис.8 Дисперсионная характеристика для структуры ЖИГ+GaAs.

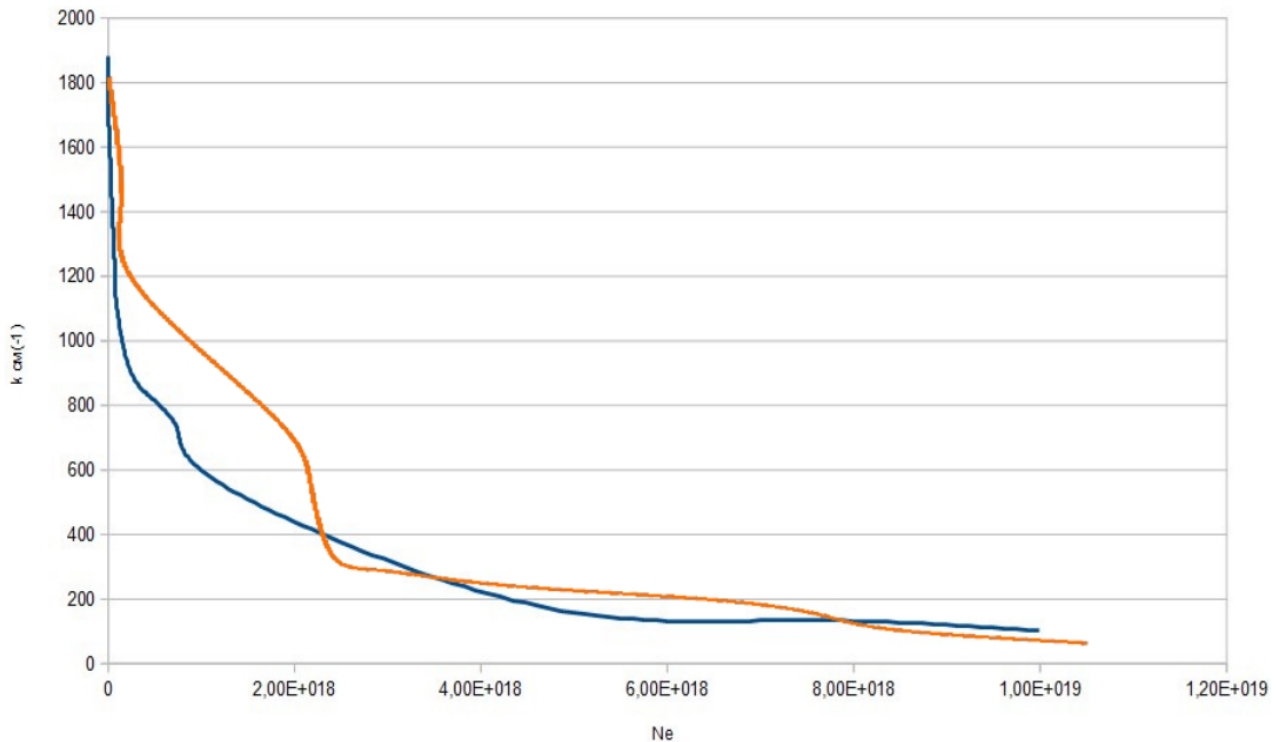


Рис.9 Зависимость волнового числа от концентрации электронов.

После численного моделирования в работе сравниваются полученные дисперсионные характеристики для каждой структуры и на основе их рассматривается изменения параметров Δk и L , где Δk – это разница волновых чисел k_1 и k_2 на определенной частоте, а L - длина связи показывающая расстояние на котором передается энергия от одного волновода другому.

Выводы

В работе проводится исследование свойств ПМСВ распространяющихся в структурах на основе латеральных волноводов железо – иттриевого граната на различных подложках. Используется метод конечных элементов для численного моделирования в программе Comsol Multiphysics. Одним из важных результатов работы явилось определение спектра связанных спиновых волн в системе латеральных структур на полупроводниковой подложке. Показано, что изменение проводимости полупроводникового слоя влияет на спектр связанных спиновых волн в исследуемой структуре, а так же, что подложка на которой могут располагаться волноводы оказывает влияние

на их рабочие характеристики, в частности на длину связи волноводов.

Список литературы

1. А. Г. Гуревич, Г. А. Мелков « Магнитные колебания и волны », Физматлит, 1994.
2. А. В. Вашковский, В. С. Стальмахов, Ю. П. Шараевский « Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот », Изд-во Саратовского университета, 1993.
3. А. В. Вашковский, В. С. Стальмахов, Ю. П. Шараевский. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот, Изд-во Саратовского университета, 1993.
4. Кайбичев И.А., Шавров В.Г. Поверхностные магнитостатические волны, обусловленные неоднородностью анизотропии с точкой поворота спектральной функции на поверхности ферромагнетика. Москва. Институт радиотехники и электроники РАН, 1998.
5. Бриллюэн Л., Пароди М. Распространение волн в периодических структурах. ИЛ, М., 1959
6. В.Е. Демидов, Б.А. Калиникос Спектр дипольно-обменных спиновых волн в касательно намагниченных слоистых структурах металл-сегнетоэлектрик-ферромагнетик-металл. СПб ГЭУ, 1999.
7. Eshbach J.R., and Damon R., W., Surface Magnetostatic Modes and Surface Spin Waves 1960 Phys. Rev. 118 1208