

Корюкин А.В., Трошкин Д.Е., Кондрашов А.В., Устинов А.Б.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

Исследование возбуждения хаотических спин-волновых импульсов в магнитных пленках

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований возбуждения хаотических импульсов в магнитных пленках. Изучено возбуждение хаотических спин-волновых солитонных последовательностей за счет развития модуляционной неустойчивости спиновых волн, а также, образование хаотических импульсных последовательностей при их параметрическом возбуждении.

Ключевые слова: нелинейные спиновые волны, хаос, солитоны, ферриты.

В последнее время актуальным направлением исследований нелинейный спиновых волн в ферромагнитных пленках является изучение солитонных и хаотических процессов. Большие перспективы использования имеют пленки изготовленные из ферритов, в частности монокристаллические пленки железо-итриевого граната (ЖИГ). В таких пленках возникает ряд нелинейных явлений при наличии какого-либо одного, например, однородного типа колебаний намагниченности. Достаточно интересными эффектами являются параметрическое возбуждение одних типов колебаний или волн под воздействием других [1], а также, развитие модуляционной неустойчивости и возникновение солитонов огибающей в тонкой пленке ЖИГ.

Целью данной работы является исследование параметрического возбуждения хаотических спин-волновых импульсов в магнитных пленках и изучение хаотической динамики солитонных образований в ферромагнитных пленках.

В силу нелинейности уравнения движения плотности магнитного момента однородные колебания связаны с неоднородными колебаниями, и поэтому однородное переменное магнитное поле может возбуждать как однородные, так и неоднородные колебания плотности магнитного момента. Это возбуждение носит характер параметрического резонанса. В ходе исследований использовались пленки ЖИГ, которые были эпитаксиально выращены на подложках галлий-гадолиниевого граната (ГГГ). Для возбуждения и приема электромагнитно-спиновых волн использовались микрополосковые антенны. Пленки намагничивались по касательной постоянным магнитным полем 1300 Э.

При исследовании параметрического возбуждения хаотических импульсов, на первом этапе измерялись частотные зависимости коэффициентов передачи спиновых волн в пленке и определялся частотный диапазон в котором возбуждались спиновые волны в линейном режиме. На втором этапе исследовалось возбуждение спиновых волн того же диапазона импульсным СВЧ-сигналом удвоенной частоты. Показано, что в результате такого возбуждения формируются СВЧ-импульсы, фаза которых случайным образом меняется на 180 градусов.

Во второй части работы исследовалось формирование хаотических последовательностей солитонных импульсов в пленках ЖИГ, а также их свойства. Исследования проводились при комнатной температуре на волноводах, изготовленных на основе пленок ЖИГ с закрепленными поверхностными спинами [2]. Для проведения ниже

описываемых экспериментов был выбран образец пленки ЖИГ шириной 2 мм и длиной 5 см (волновод спиновых волн), вырезанный из монокристаллической пленки толщиной 3.1 мкм. Чтобы избежать отражения спиновых волн от концов пленки, последние были сточены под острым углом. Пленка была выращена методом жидкофазной эпитаксии на подложке из гадолиний-галлиевого граната ориентации (111). Ее намагниченность насыщения составляла 1750 Гс.

Возбуждение и прием сверхвысокочастотных спиновых волн осуществлялись с помощью обычной конструкции типа "линии задержки", имевшей короткозамкнутые входную и выходную микрополосковые антенны длиной 2 мм и шириной 50 мкм. Расстояние между антеннами составляло 4.5 мм. Экспериментальный макет был помещен между полюсами электромагнита в однородном постоянном магнитном поле напряженностью 2435 Э. Поле было направлено перпендикулярно плоскости пленки. Таким образом, входная микрополосковая антенна возбуждала в пленке ЖИГ так называемые прямые объемные СВ.

Эксперименты по формированию хаотических солитонов проводились следующим образом. На входную антенну от СВЧ генератора подавался непрерывный синусоидальный сигнал постоянной амплитуды. Этот сигнал возбуждал спиновую волну, которая распространялась в ферромагнитной пленке и регистрировалась приемной антенной. Принятый СВЧ сигнал детектировался и поступал на осциллограф. Одновременно СВЧ сигнал с приемной антенны подавался на вход анализатора спектра. В результате выполненных исследований было обнаружено формирование хаотических последовательностей солитонов огибающей за счет одновременного развития собственной и параметрической модуляционных неустойчивостей исходной непрерывной спиновой волны. Формирование солитонов наблюдалось на частотах $f_1 = 2.2473$ ГГц и $f_2 = 2.2365$ ГГц. Аналогичное явление наблюдалось на частоте $f_2 = 2.2365$ ГГц. В этом случае период следования солитонов был гораздо больше. Он составлял 937 нс.

Экспериментальная часть работы поддержана грантами РФФИ № 14-02-00496 и № 15-32-20357 мол_а_вед, а теоретическая - грантом РНФ № 14-12-01296.

Библиографический список

1. А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, С. В. Пелетминский. "Спиновые волны", Москва, 1967 г., 368 стр.
2. А.Г. Гуревич, Г.А. Мелков, Магнитные колебания и волны, Физматлит, 1994 г.