

03; 4; 09

© 1992

ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В СТРУКТУРЕ ГЕКСАФЕРРИТ-СВЕРХПРОВОДНИК С ДЛИННЫМ ДЖОЗЕФСОНОВСКИМ ПЕРЕХОДОМ

С.В. М е р и а к р и

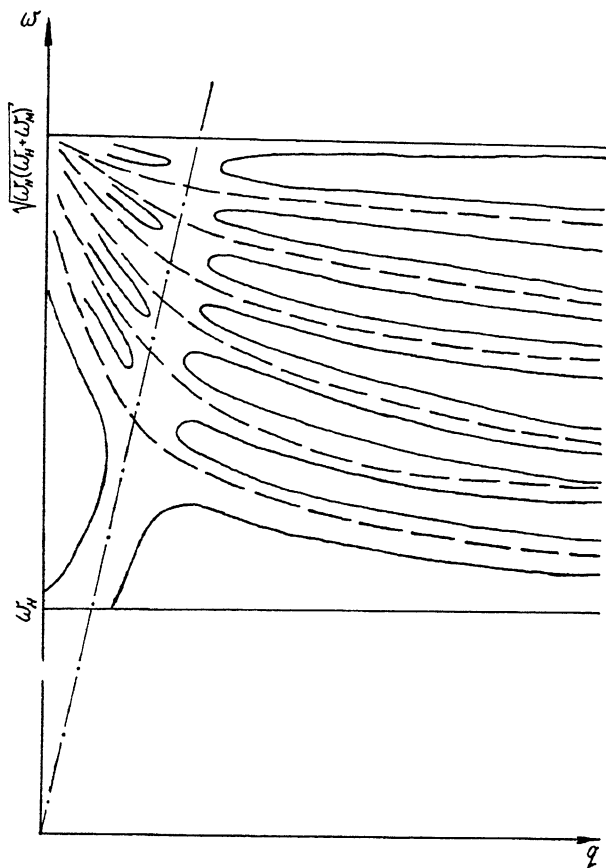
Исследование взаимодействия магнитостатических волн (МСВ) с другими типами возбуждений в магнетиках и слоистых структурах со слоем феррита весьма актуальны в настоящее время в связи с созданием приборов для обработки информации на их основе. В последнее время в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости широко исследуются СВЧ-возбуждения в сверхпроводниках и джозефсоновских переходах на их основе [1, 2]. Джозефсоновские переходы обладают рядом интересных СВЧ-свойств, и исследование взаимодействия МСВ с СВЧ-возбуждениями в сверхпроводниках с джозефсоновскими переходами может дать возможность для получения новых физических эффектов, которые могут быть использованы для создания устройств.

В настоящей работе рассматривается взаимодействие МСВ с замедленной электромагнитной волной, распространяющейся в сверхпроводнике с длинным джозефсоновским переходом. В длинных джозефсоновских переходах ($a \gg d_J$; a — длина джозефсоновского перехода, d_J — толщина прослойки) могут возбуждаться и распространяться медленные электромагнитные волны Свихарта [3]. Волны Свихарта возникают в длинных джозефсоновских переходах с очень малым затуханием, находящихся в резистивном состоянии, вблизи резонансных частот Фиске ω_n [4–7]. Скорость этих волн $\bar{c} = \lambda_j \omega_p$, где λ_j — джозефсоновская глубина проникновения поля в переход, ω_p — плазменная частота перехода. Частоты Фиске $\omega_n = (\pi \bar{c} / a) n$, a — длина перехода, $n = 1, 2, 3 \dots$. Напряжение, соответствующее частоте Фиске $V_n = (\hbar / 2e) \omega_n = n (\pi \lambda_j a^{-1}) V_p$, \hbar , e — постоянная Планка и заряд электрона, V_p — плазменное напряжение перехода.

Медленные электромагнитные волны могут взаимодействовать с МСВ. В структуре, составленной из слоев сегнетоэлектрика и феррита, МСВ, распространяющаяся в пленке феррита, и медленная электромагнитная волна (МЭМВ), распространяющаяся в слое сегнетоэлектрика как в диэлектрическом волноводе, взаимодействуют между собой. Наиболее сильным взаимодействием МСВ и МЭМВ будет в области фазового синхронизма (ФС) волн. В области ФС возникает гидридизация магнитостатической и электромагнитной волн. В этом случае в структуре распространяются гидридные электромагнитно-спиновые волны (ГЭСВ) [8–10].

В работах [8-10] исследовались волны на частотах микроволнового диапазона. В этом случае запаздыванием в феррите можно пренебречь. В [11-12] рассматривались задачи, связанные с распространением магнитной волны на частотах КВЧ-диапазона в пластинах из керамики гексаферрита бария, материала с высокой внутренней анизотропией. В рассматриваемом в [11-12] диапазоне частот, ввиду существенности запаздывания, в пластинах высокоанизотропных магнетиков будут распространяться не просто МСВ, а гибридные электромагнитно-спиновые волны (ГЭСВ). В пластинах из материалов с высокой внутренней анизотропией ГЭСВ будут распространяться и в отсутствие внешнего подмагничивающего поля. В структурах гексаферрит-диэлектрик на частотах КВЧ-диапазона в области фазового синхронизма МЭМВ, распространяющейся в слое диэлектрика, и ГЭСВ, распространяющейся в слое феррита бария, будут возникать гибридные ГЭСВ структуры гексаферрит-диэлектрик [12].

В настоящей работе рассматривается взаимодействие ГЭСВ в пластине ферромагнетика с высокой внутренней анизотропией и медленной электромагнитной волной Свихарта в сверхпроводнике с длинным джозефсоновским переходом в структуре, составленной из слоев ферромагнетика и сверхпроводника. Поле анизотропии феррита лежит в плоскости пластины (направление Ox), переход вытянут в направлении поля анизотропии, прослойка перехода направлена перпендикулярно внешнему полю (направление Oy). Волна Свихарта распространяется в направлении Ox , волновой вектор \vec{q} , частота ω . Ввиду того, что поле анизотропии гексаферрита лежит в плоскости пластины, поля рассеяния гексаферрита будут невелики и не будут вызывать разрушения сверхпроводимости в проведенном в контакт с ферритом сверхпроводнике. Пусть в контакт с ферритом приведен сверхпроводник с длинным джозефсоновским переходом с очень малым затуханием. Приложим к переходу напряжение $V_n > V_c$ (V_c - критическое напряжение, выше которого переход находится в резистивном состоянии). В таких условиях в переходе будут распространяться волны Свихарта со скоростью \bar{c} на частоте $\sim \omega_n$. Для типичных переходов длина $a \sim 100-300$ мкм, при этом первые частоты Фиске лежат в диапазоне 10-30 ГГц. Как показывают расчеты, в этом диапазоне учет запаздывания при рассмотрении взаимодействия волны в гексаферрите и волны Свихарта не вносит существенных изменений. Поэтому волну в гексаферрите можно считать магнитостатической, запаздыванием в гексаферрите можно пренебречь. В рассматриваемой геометрии в феррите может распространяться обратная объемная магнитостатическая волна (ОМСВ), эта волна может взаимодействовать с волной Свихарта. Рассматривая взаимодействие волны Свихарта и ОМСВ через границу раздела сред, используя граничные условия электродинамики, с учетом вышеизложенных приближений, получим закон дисперсии гибридных электромагнитоспиновых волн в структуре гексаферрит-сверхпроводник с длинным джозефсоновским переходом:



Д. дисперсионные кривые гибридных электромагнитно-спиновых волн в структуре гексаферрит-сверхпроводник с длинным джозефсоновским переходом. Сплошные линии – дисперсионные кривые гибридных электромагнитно-спиновых волн в структуре гексаферритсверхпроводник, пунктир – дисперсионные кривые ОМСВ, штрихпунктир – закон дисперсии волны Свихарта.

$$\left(\operatorname{ctg} \frac{qb}{2\sqrt{-\mu}} - \sqrt{-\mu} \right) \left(\operatorname{ctg} \frac{qb}{2\sqrt{-\mu}} + \sqrt{-\mu} \right) \times$$

$$\times (\omega - \bar{c}q) = (1 - \mu). \quad (1)$$

Здесь $\mu = [(\omega_H + \omega_M)\omega_H - \omega^2](\omega_H^2 - \omega^2)^{-1}$; ω, q – частота и волновое число, b – толщина феррита, $\omega_H = \gamma H_\varphi$; $H_\varphi = H_a + H_0$, H_0 – внешнее магнитное поле, H_a – поле анизотропии гексафер-

рита $\gamma = 2,83 \text{ МГц/Э}$; $\omega_M = \gamma^2 4\pi M_S$, M_S — намагниченность насыщения гексаферрита.

Два первых множителя в левой части (1), будучи приравнены к нулю, дают парциальные законы дисперсии ООМСВ в ферритовой пластине. Третий множитель в левой части (1) представляет собой закон дисперсии медленной электромагнитной волны Свихарта. ООМСВ имеют много мод. Вследствие этого возникает несколько точек фазового синхронизма ООМСВ и волны Свихарта. Член в правой части (1) соответствует связи рассматриваемых волн. Закон дисперсии гибридных электромагнитно-спиновых волн структуры гексаферрит-сверхпроводник с длинным джозефсоновским переходом имеет многомодовый характер, кривые дисперсионных зависимостей показаны на рисунке. Пунктирными линиями на рисунке показаны дисперсионные кривые ООМСВ, штрихпунктирными линиями — закон дисперсии волны Свихарта. В области фазового синхронизма парциальных волн в спектре гибридных волн возникают области запрещенных частот. При экспериментальных исследованиях в областях запрещенных частот должны возникать области непропускания сигнала.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Изюмов Ю.А. // УФН. 1991. Т. 161. В. 11. С. 2-48.
- [2] Лихарев К.К., Куприянов М.Ю. // УФН. 1990. Т. 160. В. 5. С. 49-89.
- [3] S w i h a r t J.C. // Appl. Phys. 1961. V. 32. P. 461.
- [4] F i s k e M.D. // Rev. Mod. Phys. 1964. V. 36. P. 221.
- [5] Дмитриенко И.М., Янсон И.К., Свистунов В.И. // Письма в ЖЭТФ. 1965. Т. 2. С. 17.
- [6] Кулик И.О. // Письма в ЖЭТФ. 1965. Т. 2. С. 134.
- [7] G o o n D.D., F i s k e M.D. // Phys. Rev. 1965. V. A 138. P. 744.
- [8] Анфиногенов В.Б., Вербицкая Т.Н., Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е., Мериакри С.В., Огрин Ю.Ф., Тихонов В.В. // РиЭ. 1989. Т. 23. С. 494-499.
- [9] Анфиногенов В.Б., Вербицкая Т.Н., Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е., Мериакри С.В., Огрин Ю.Ф., Тихонов В.В. // РиЭ. 1990. Т. 24. В. 4. С. 320-324.
- [10] Анфиногенов В.Б., Вербицкая Т.Н., Зильберман П.Е., Мериакри С.В., Тихонов В.В. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 9. С. 114-117.

- [11] О г р и н Ю.Ф., М е р и а к р и С.В., П е т р о в а И.И.//
ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 7. С. 130-137.
- [12] О г р и н Ю.Ф., М е р и а к р и С.В., П е т р о в а И.И.//
ФТТ. 1990. Т. 32. В. 1. С. 204-207.

Поступило в Редакцию
27 мая 1992 г.