



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014148867/07, 03.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.12.2014

(45) Опубликовано: 10.02.2016 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2013109930 А, 20.06.2003. SU
1109800 А, 23.08.1984. SU 444381 А, 28.04.1975.
US 3438016 А, 08.04.1969.

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр.
38, ИФ СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),
Тюрнев Владимир Вениаминович (RU)

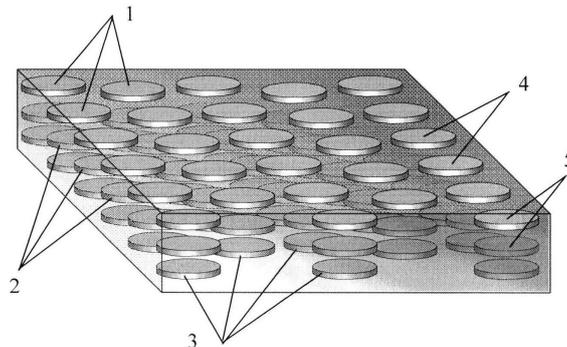
(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии
наук (RU)(54) ПЛЕНОЧНАЯ МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ
УСТРОЙСТВ СВЧ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот и предназначено для использования в качестве активного элемента в таких устройствах волноводного тракта, как управляемые магнитным полем полосовые фильтры, фазовращатели и амплитудные модуляторы. Технический результат состоит в повышении активности пленочной магнитной структуры, то есть ее способности изменять свою высокочастотную эффективную магнитную проницаемость под воздействием внешнего

управляющего магнитного поля. Структура содержит тонкопленочные металлические ферромагнитные слои, каждый из которых отделен от соседнего слоя немагнитным диэлектрическим слоем разбиением. Все тонкопленочные металлические ферромагнитные слои разбиты на множество электрически изолированных участков, размеры которых меньше одной восьмой части от длины электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01F 10/12 (2006.01)
G11C 11/14 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014148867/07, 03.12.2014
(24) Effective date for property rights:
03.12.2014
Priority:
(22) Date of filing: 03.12.2014
(45) Date of publication: 10.02.2016 Bull. № 4
Mail address:
660036, g. Krasnojarsk, Akademgorodok, 50, str. 38,
IF SO RAN, patentnyj otdel

(72) Inventor(s):
Beljaev Boris Afanas'evich (RU),
Tjurnev Vladimir Veniaminovich (RU)
(73) Proprietor(s):
FEDERAL'NOE GOSUDARSTVENNOE
BjuDZhetNOE UChREZhDENIE NAUKI
INSTITUT FIZIKI im. L. V. Kirenskogo
Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk
(RU)

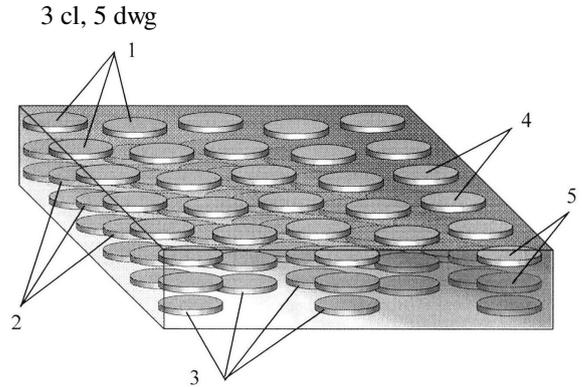
(54) **FILM MAGNETIC STRUCTURE FOR ELECTRICALLY CONTROLLED UHF DEVICES**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: structure contains thin film metal ferromagnetic layers, each of them is separated from the adjacent layer by a nonmagnetic dielectric layer. All the thin film metal ferromagnetic layers are divided to multiple electrically insulated areas, their dimensions are below one eighth of the length of the electromagnetic wave in the layer of the nonmagnetic dielectric.

EFFECT: increased activity of the film magnetic structure, ie its ability to change its HF effective magnetic permeability under the action of an external control magnetic field.



Фиг. 1

RU 2 575 123 C1

RU 2 575 123 C1

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот и может быть использовано в электрически управляемых устройствах, таких как перестраиваемые фильтры, фазовращатели и амплитудные модуляторы.

Известен полосковый элемент, описанный в патенте [Аналог 1: E. F. R. A. Schloemann. Integratable microwave devices based on ferromagnetic films disposed on dielectric substrates. US Patent 4853660, 1989, МПК H01P 1/203; H1P 1/11; H01P 7/08]. Полосковый элемент содержит диэлектрическую подложку, заземленный экран на одной из поверхностей подложки и полосковый проводник из пленочной магнитной структуры на второй поверхности подложки. Пленочная магнитная структура состоит из двух проводящих слоев. Ее первый слой обращен к диэлектрической подложке. Он является тонкой металлической ферромагнитной пленкой. Второй проводящий слой обращен наружу. Он не является магнитным. Полосковый элемент, содержащий пленочную магнитную структуру, предложено использовать в перестраиваемых режекторных полосковых фильтрах и переключателях. Пленочная магнитная структура в полосковом элементе выполняет функцию активной среды (smart material), то есть материала, изменяющего свою высокочастотную эффективную магнитную проницаемость под воздействием внешнего управляющего магнитного поля.

В статье [Аналог 2: N. Cramer, D. Lucik, D. K. Walker, R. E. Camley, Z. Celinski. Incorporation of ferromagnetic metallic films in planar transmission lines for microwave device applications. IEEE Transactions on Magnetics, Vol.7, No. 4, 2001, P. 2392-2394] подобный полосковый элемент, содержащий подобную пленочную магнитную структуру, предложено использовать и в качестве управляющего элемента перестраиваемого фазовращателя.

Недостатком пленочной магнитной структуры, используемой в известном полосковом элементе, описанном в Аналоге 1 и Аналоге 2, является ее слабое взаимодействие с окружающим высокочастотным магнитным полем электромагнитной волны, проходящей через полосковый элемент. Слабое взаимодействие обусловлено малой глубиной проникновения СВЧ- мощности вглубь металлической ферромагнитной пленки из-за экранирующего действия вихревых токов, то есть скин-эффекта.

Известно микрополосковое устройство, описанное в патенте [Аналог 3: Z.J. Celinski, R.E. Camley. High frequency magnetic thin film filter. US Patent 7583167, 2009, МПК H01P 7/00, H01P 3/08]. Это устройство выполнено на диэлектрической подложке, одна сторона которой металлизирована, а на второй расположена пленочная магнитная структура. Эта структура содержит несколько тонкопленочных металлических ферромагнитных слоев, разделенных немагнитными диэлектрическими слоями. Полосковый проводник располагается на внешнем металлическом ферромагнитном слое пленочной магнитной структуры.

Недостатком пленочной магнитной структуры, описанной в Аналоге 3, также является ее слабое взаимодействие с окружающим высокочастотным магнитным полем электромагнитной волны, проходящей через полосковый элемент.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения является LIFE композит (от слов Laminated Insulator/Ferromagnetic illuminated on the Edge - слоистый изолятор/ диэлектрик, облучаемый с краев). Исследования его свойств описаны в статье [Прототип: E. Salahun, G. Tanne, P. Queffelec, P. Gelin, A.-L. Adenot, O. Acher. Ferromagnetic composite-based and magnetically-tunable microwave devices. 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2002, Vol.2, P. 1185-1188].

LIFE композит содержит тонкие металлические ферромагнитные пленки, разделенные немагнитными диэлектрическими слоями. Важным отличительным признаком LIFE

компози́та является то, что его ширина меньше ширины линии передачи, в которую его размещают. Это значит, что при размещении LIFE компози́та в микрополосковой линии его ширина должна быть не больше ширины полоскового проводника. В LIFE структуре активно взаимодействует с магнитным полем не только тонкая область, примыкающая к внешней поверхности наружного ферромагнитного слоя, но и протяженные (по сравнению с толщиной скин-слоя в ферромагнитном материале) области по всей толщине LIFE компози́та, примыкающие к его краям.

Поэтому LIFE компози́т взаимодействует с окружающим высокочастотным магнитным полем электромагнитной волны сильнее, чем пленочные магнитные структуры с одним ферромагнитным слоем или с несколькими ферроманитными слоями, но простирающимися до области, где высокочастотное магнитное поле сильно ослабевает.

Недостатком LIFE компози́та является то, что его активность, то есть диапазон изменения его высокочастотной эффективной магнитной проницаемости под воздействием внешнего управляющего магнитного поля, оказывается все еще не достаточно высокой, чтобы использовать этот компози́т в некоторых управляемых устройствах, например в перестраиваемых полосно-пропускающих фильтрах и фазовращателях.

Для дальнейшего увеличения активности пленочной магнитной структуры необходимо максимально ослабить негативное экранирующее действие вихревых токов, возбуждающихся в металлических ферромагнитных пленках, и обеспечить условия, при которых ферромагнитные пленки по всему объему пленочной магнитной структуры могли бы взаимодействовать с окружающим высокочастотным магнитным полем управляемой электромагнитной волны.

Техническим результатом заявляемого изобретения является увеличение активности пленочной магнитной структуры, предназначенной для использования в качестве активного элемента в электрически управляемых устройствах СВЧ.

Технический результат достигается тем, что в пленочной магнитной структуре для электрически управляемых устройств СВЧ, содержащей тонкопленочные металлические ферромагнитные слои, каждый из которых электрически изолирован от соседнего металлического ферромагнитного слоя слоем немагнитного диэлектрика, новым является то, что все тонкопленочные металлические ферромагнитные слои разбиты на множество электрически изолированных участков, размеры которых меньше одной восьмой части от длины электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика.

Также тем, что зазоры между концами соседних участков, принадлежащих одному и тому же тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, выполнены такими, чтобы реактивное сопротивление межконцевой емкости соседних участков было равно активному сопротивлению самих участков.

Также тем, что ее наружный тонкопленочный металлический ферромагнитный слой электрически изолирован слоем немагнитного диэлектрика от соседнего проводника конструкции электрически управляемого устройства СВЧ, в котором эта структура размещается.

Заявляемая пленочная магнитная структура для электрически управляемых устройств СВЧ отличается от прототипа тем, что каждый ее тонкопленочный металлический ферромагнитный слой разбит на множество мелких электрически изолированных участков, размеры которых меньше одной восьмой части от длины электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика.

Кроме того, зазоры между концами соседних участков, принадлежащих одному и

тому же тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, выполняются такими, чтобы реактивное сопротивление межконцевой емкости соседних участков равнялось активному сопротивлению самих участков. Также наружный тонкопленочный металлический ферромагнитный слой заявляемой структуры дополнительно
5 электрически изолирован слоем немагнитного диэлектрика от соседнего проводника конструкции электрически управляемого устройства СВЧ.

Эти отличия позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна». Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях при изучении данной и
10 смежной областей техники и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами.

На фиг. 1 изображен пример конструкции пленочной магнитной структуры, когда электрически изолированные участки тонкопленочных металлических ферромагнитных
15 слоев имеют форму круга и упорядочены гексагонально, где 1, 2, 3 - тонкопленочные металлические ферромагнитные слои, 4 - соседние участки, принадлежащие одному и тому же тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, 5 - соседние участки, принадлежащие разным тонкопленочным металлическим ферромагнитным слоям.

На фиг. 2 изображен пример конструкции пленочной магнитной структуры, когда электрически изолированные участки тонкопленочных металлических ферромагнитных
20 слоев имеют форму овала и упорядочены прямоугольно, где 1, 2, 3 - тонкопленочные металлические ферромагнитные слои, 4 - соседние участки, принадлежащие одному и тому же тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, 5 - соседние участки, принадлежащие разным тонкопленочным металлическим ферромагнитным слоям.

На фиг. 3 и 4 изображены примеры расположения пленочной магнитной структуры в микрополосковом элементе электрически управляемого устройства СВЧ (показано поперечное сечение), где 6 - пленочная магнитная структура, 7 - экран, 8 -
25 диэлектрическая пластина, 9 - полосковый проводник.

На фиг. 5 изображена эквивалентная схема одного тонкопленочного металлического
30 ферромагнитного слоя заявляемой структуры.

В примерах на фиг. 1 и 2 устройство содержит несколько тонкопленочных металлических ферромагнитных слоев 1, 2 и 3, выполненных из магнитомягкого материала, например Fe, Co, Ni-Fe (пермаллой) или Co-Zr-Pt. Число таких слоев не менее одного. Слои имеют толщину порядка толщины скин-слоя материала на рабочей
35 частоте, то есть толщина попадает в интервал 0.1-1 мкм.

Каждый из тонкопленочных металлических ферромагнитных слоев 1, 2 и 3 изолирован от соседнего слоя слоем немагнитного диэлектрика. На фиг. 1 и 2 изолирующие немагнитные диэлектрические слои изображены сплошной полупрозрачной заливкой, они не помечены цифровыми обозначениями. Слои немагнитного диэлектрика
40 выполнены из материала, такого как SiO, SiO₂ или Si₃N₄. Их толщина равна приблизительно 5 мкм, то есть на 1-2 порядка больше, чем толщина скин-слоя материала металлических ферромагнитных слоев.

Каждый тонкопленочный металлический ферромагнитный слой 1, 2 и 3 разбит на множество мелких электрически изолированных участков размером приблизительно
45 50 мкм, то есть на порядок больше, чем толщина немагнитных диэлектрических слоев, но меньше одной восьмой части от длины электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика.

Зазор между краями соседних участков 4, принадлежащих одному и тому же

тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, приблизительно равен 5 мкм, то есть того же порядка, что и толщина диэлектрического слоя. Такое значение получается из условия, чтобы реактивное сопротивление межконцевой электрической емкости соседних участков 4 было равно активному сопротивлению самих участков.

5 Выполнение этого условия необходимо для перетекания поверхностных токов через края с внешней поверхности на внутреннюю поверхность и тем самым уменьшения негативного экранирующего действия вихревых токов. Сам факт перетекания токов на внутреннюю поверхность участков 4 является свидетельством проникновения магнитного поля вглубь пленочной магнитной структуры, а значит, и увеличения ее

10 активности.

Пленочная магнитная структура на фиг. 1 и 2 изготавливается вакуумным напылением металлических ферромагнитных и диэлектрических немагнитных слоев. Для получения мелких изолированных участков напыление металлических ферромагнитных слоев осуществляется через специальную маску. Отверстия в маске имеют круглую форму и

15 располагаются в гексагональном порядке (фиг. 1) или имеют овальную форму и располагаются в прямоугольном порядке (фиг. 2).

Пленочная магнитная структура с круглой формой магнитных участков (фиг. 1) обладает минимальной магнитной анизотропией формы в плоскости структуры. Она лучше подходит для перестраиваемых полосно-пропускающих фильтров и

20 фазовращателей, работающих вдали от частоты ферромагнитного резонанса, в которых эффективная высокочастотная магнитная проницаемость металлических ферромагнитных слоев, а следовательно, и всей пленочной магнитной структуры в целом осуществляется за счет поворота равновесной намагниченности в плоскости структуры под воздействием управляющего магнитного поля, изменяющего свое

25 направление.

Пленочная магнитная структура с овальной формой магнитных участков и прямоугольным упорядочением (фиг. 2) обладает большой магнитной анизотропией формы в плоскости структуры. Такая структура больше подходит для использования в амплитудных модуляторах и управляемых полосно-заграждающих фильтрах,

30 работающих вблизи частоты ферромагнитного резонанса, в которых изменение величины управляющего магнитного поля приводит к перестройке частоты ферромагнитного резонанса и соответственно к изменению поглощения СВЧ-мощности пленочной магнитной структурой.

Пленочная магнитная структура вместе с диэлектрической пластиной используется

35 в качестве подложки микрополоскового элемента электрически управляемого устройства СВЧ. Возможны два варианта расположения пленочной магнитной структуры.

В первом варианте (фиг. 3) пленочная магнитная структура (6) располагается между экраном (7) и диэлектрической пластиной (8), а полосковый проводник (9) размещается

40 на свободной поверхности диэлектрической пластины (8).

Во втором варианте (фиг. 4) пленочная магнитная структура (6) располагается между полосковым проводником (9) и диэлектрической пластиной (8), а экран покрывает остальную поверхность диэлектрической пластины. При этом пленочная магнитная структура (6) и полосковый проводник (9) имеют одинаковую ширину и располагаются

45 один напротив другого.

Заявляемая пленочная магнитная структура работает в составе электрически управляемого устройства СВЧ следующим образом. Управляющее магнитное поле устройства, приложенное в плоскости пленочной магнитной структуры (6), однородно

поворачивает направление вектора равновесной намагниченности в участках ферромагнитных слоев и/или меняет частоту ферромагнитного резонанса. В результате изменяется величина эффективной магнитной проницаемости подложки микрополоскового элемента, приводящая к требуемому изменению в нем фазовой скорости и/или затухания электромагнитной волны, что обеспечивает изменение режима работы управляемого устройства СВЧ.

Повышение активности пленочной магнитной структуры достигается за счет более глубокого проникновения в нее высокочастотного электромагнитного поля. Это происходит в результате перетекания высокочастотных токов с внешней поверхности металлических ферромагнитных слоев на внутреннюю поверхность через края образованных участков слоев. Повышение глубины проникновения высокочастотного электромагнитного поля проявляется как увеличение эффективного рабочего объема пленочной магнитной структуры.

Для того чтобы токи, порождаемые высокочастотным магнитным полем на внешней поверхности каждого участка металлического ферромагнитного слоя, перетекая через край участка слоя, не успевали ослабнуть на внутренней поверхности участка металлического ферромагнитного слоя и обеспечивали максимальное проникновение магнитного поля вглубь пленочной магнитной структуры, размеры этого участка должны быть меньше $\lambda/8$, где λ - длина поперечной электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика. Заметим, что величина $\lambda/8$ - это половина расстояния между пучностью и узлом тока в стоячей волне.

Подтвердим расчетом повышение активности пленочной магнитной структуры за счет более глубокого проникновения в нее высокочастотного электромагнитного поля, то есть за счет увеличения эффективного рабочего объема структуры.

Рассмотрим случай, когда толщина металлической ферромагнитной пленки велика по сравнению с толщиной скин-слоя. Это значит, что высокочастотные токи не проникают глубоко в пленку, а текут только вблизи внешней и внутренней поверхности. Поверхность пленки обладает как активным, так реактивным сопротивлением. Высокочастотные электрическое и магнитное поля E и H на поверхности проводника удовлетворяют граничному условию Леонтовича, имеющему вид

$$E = Z_s H. \quad (1)$$

Вещественная и мнимая части поверхностного импеданса Z_s выражаются формулой

$$Z_s = (1 - i) R_s, \quad (2)$$

где поверхностное сопротивление R_s связано с проводимостью δ и толщиной скин-слоя b соотношением

$$R_s = 1/(\sigma \delta). \quad (3)$$

Известно, что магнитное поле H на поверхности проводника связано с поверхностной плотностью токов J равенством

$$H = J. \quad (4)$$

Поэтому каждому металлическому слою пленочной ферромагнитной структуры можно сопоставить эквивалентную схему, представленную на фиг. 5. Каждый участок металлического слоя на этой схеме изображен в виде двух одинаковых параллельных резисторов с комплексным сопротивлением Z_r , одного источника электродвижущей силы \mathcal{E} и одной емкости C . Нижний резистор схемы отвечает фронтальной поверхности участка слоя, где существует стороннее высокочастотное магнитное поле H_1 , наводящее

высокочастотный ток I_1 . Верхний резистор отвечает тыльной поверхности участка слоя, на которую с фронтальной поверхности перетекает ток I_2 , составляющий только часть тока I_1 . Остальная его часть I_3 через межконцевую емкость C перетекает на соседний участок металлического слоя.

Так как все участки металлического слоя одинаковы и последовательно соединены между собой, то достаточно рассмотреть решение задачи только для одного участка слоя. На фиг. 5 рассматриваемый участок выделен штриховой прямоугольной рамкой. Исключая из рассмотрения остальные участки слоя, мы разрываем последовательную электрическую цепь. Чтобы этого не произошло, разомкнутые концы рассматриваемого участка следует замкнуть. На фиг. 5 такое замыкание обеспечивает проводник, изображенный пунктирной линией.

Согласно формулам (1), (2) и (4) элементы схемы на фиг.5 имеют значения

$$Z_r = \frac{l}{w} Z_s, \quad (5)$$

$$\mathcal{E} = Z_r w H_1, \quad (6)$$

где l и w - длина и ширина участка тонкопленочного металлического ферромагнитного слоя.

Уравнения Кирхгофа для рассматриваемого участка схемы имеют вид

$$Z_r I_1 + Z_r I_2 = \mathcal{E},$$

$$Z_r I_1 + \frac{i}{\omega C} I_3 = \mathcal{E}, \quad (7)$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Они имеют решения

$$I_1 = \frac{1 - i\omega C Z_r}{2 - i\omega C Z_r} \frac{\mathcal{E}}{Z_r},$$

$$I_2 = \frac{1}{2 - i\omega C Z_r} \frac{\mathcal{E}}{Z_r}, \quad (8)$$

$$I_3 = \frac{-i\omega C Z_r}{2 - i\omega C Z_r} \frac{\mathcal{E}}{Z_r}.$$

Учитывая (4) и (6), из второго уравнения системы (8) находим магнитное поле H_2 на тыльной поверхности тонкопленочного металлического ферромагнитного слоя

$$H_2 = \frac{H_1}{2 - i\omega C Z_r}. \quad (9)$$

Согласно равенствам (2) и (5) формулу (9) можно представить в виде

$$|H_2|^2 = \frac{|H_1|^2}{\left(2 - \frac{R_r}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{R_r}{X_c}\right)^2}, \quad (10)$$

где реактивное сопротивление емкости X_c и активная часть импеданса резистора R_r определены формулами

$$X_c = \frac{1}{\omega C}, \quad (11)$$

$$Z_r = R_r - iR_r. \quad (12)$$

Видно, что плотность магнитной энергии (пропорциональная $|H_2|^2$) на тыльной поверхности тонкопленочного металлического ферромагнитного слоя имеет максимум, когда

$$X_C = R_r. \quad (13)$$

Равенство (13) говорит о том, что активность заявляемой пленочной магнитной структуры будет максимальна, когда реактивное сопротивление емкости зазора между участками равно активному сопротивлению участков.

Из формул (10) и (13), в частности, следует, что активность пленочной магнитной структуры при разбиении ее тонкопленочных металлических ферромагнитных слоев на мелкие участки возрастает до 1.5 раза в случае одного тонкопленочного металлического ферромагнитного слоя, до 2.25 раза в случае двух слоев, до 2.625 раза в случае трех слоев. Следует отметить, что приведенные оценки увеличения активности структуры были получены для случая, когда толщина металлического ферромагнитного слоя больше нескольких скин-слоев. В противоположном же случае существенное увеличение активности будет достигаться только при значительно большем числе слоев в структуре.

Отметим также, что заявляемая пленочная магнитная структура хорошо интегрируется в планарные конструкции электрически управляемых СВЧ устройств, что допускает их интегральное исполнение в едином технологическом процессе.

Формула изобретения

1. Пленочная магнитная структура для электрически управляемых устройств СВЧ, содержащая тонкопленочные металлические ферромагнитные слои, каждый из которых электрически изолирован от соседнего металлического ферромагнитного слоя слоем немагнитного диэлектрика, отличающаяся тем, что все тонкопленочные металлические ферромагнитные слои разбиты на множество электрически изолированных участков, размеры которых меньше одной восьмой части от длины электромагнитной волны в слое немагнитного диэлектрика.

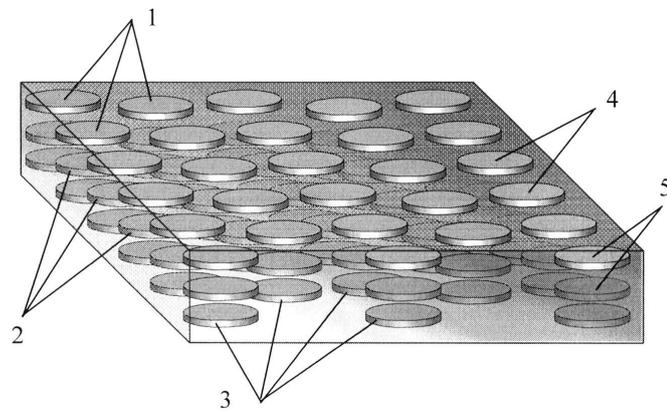
2. Пленочная магнитная структура по п. 1, отличающаяся тем, что зазоры между концами соседних участков, принадлежащих одному и тому же тонкопленочному металлическому ферромагнитному слою, выполнены такими, чтобы реактивное сопротивление межконцевой емкости соседних участков было равно активному сопротивлению самих участков.

3. Пленочная магнитная структура по п. 1, отличающаяся тем, что ее наружный тонкопленочный металлический ферромагнитный слой электрически изолирован слоем немагнитного диэлектрика от соседнего проводника конструкции электрически управляемого устройства СВЧ, в котором эта структура размещается.

40

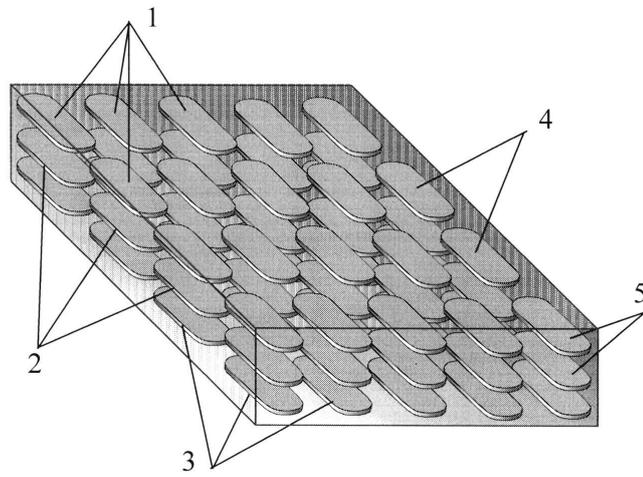
45

Пленочная магнитная структура
для электрически управляемых устройств СВЧ



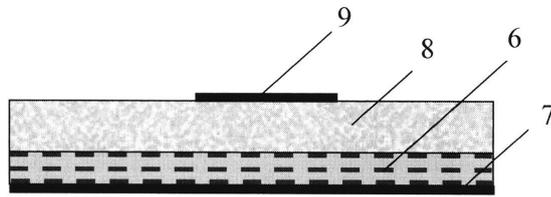
Фиг. 1

Пленочная магнитная структура
для электрически управляемых устройств СВЧ



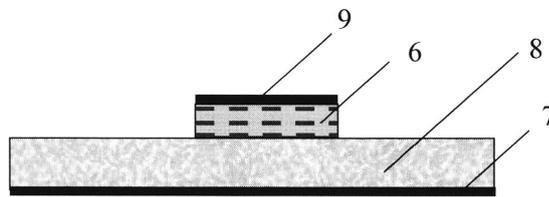
Фиг. 2

Пленочная магнитная структура
для электрически управляемых устройств СВЧ



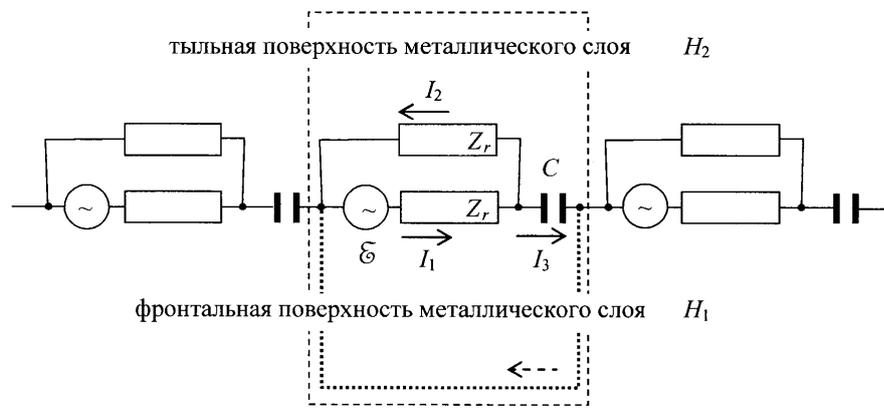
Фиг. 3

Пленочная магнитная структура
для электрически управляемых устройств СВЧ



Фиг. 4

Пленочная магнитная структура
для электрически управляемых устройств СВЧ



Фиг. 5