



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007135855/22, 28.09.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.09.2007

(45) Опубликовано: 20.01.2008

Адрес для переписки:

125057, Москва, ул. Часовая, 28, Открытое  
акционерное общество  
"Научно-производственное предприятие  
"Радий", генеральному директору  
(президенту) М.А. Конову

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),  
Дрокин Николай Александрович (RU),  
Лексиков Александр Александрович (RU),  
Сержантов Алексей Михайлович (RU),  
Конов Магомед Абубекирович (RU),  
Хахалкин Вячеслав Николаевич (RU),  
Шапотковский Юрий Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

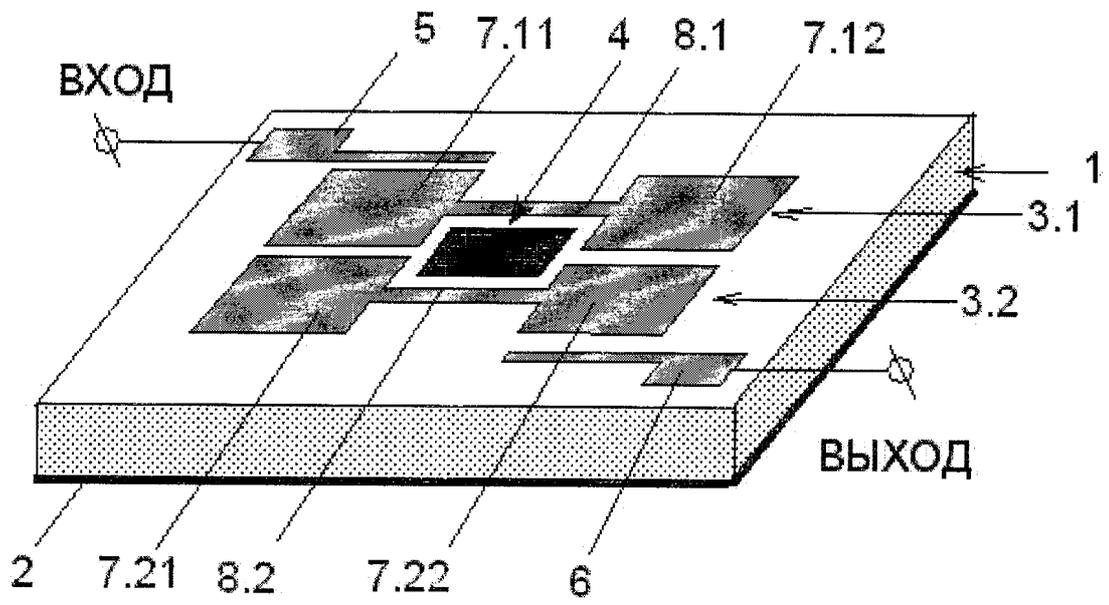
Открытое акционерное общество  
"Научно-производственное предприятие  
"Радий" (RU)

## (54) МИКРОПОЛОСКОВОЕ ЗАЩИТНОЕ УСТРОЙСТВО

## Формула полезной модели

1. Микрополосковое защитное устройство, содержащее диэлектрическую подложку, на одну сторону которой нанесено заземляемое основание, а на вторую нанесены полосковые проводники двух резонаторов, связанных между собой электромагнитно, отличающееся тем, что заземляемое основание и полосковые проводники резонаторов выполнены металлическими, а в пучности электрического или магнитного поля в области взаимодействия резонаторов, либо одновременно в пучностях обоих указанных полей между полосковыми проводниками резонаторов на поверхности подложки или над этими проводниками без гальванического контакта с ними расположена пленка из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, при этом указанные резонаторы выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии указанной пленки.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанные два электромагнитно-связанных резонатора являются любыми двумя соседними резонаторами в ряду последовательно соединенных резонаторов, металлические полосковые проводники которых нанесены на одну и ту же сторону указанной диэлектрической подложки.



RU 7 0 4 1 2 U 1

RU 7 0 4 1 2 U 1

Полезная модель относится к технике сверхвысоких частот и предназначено для защиты радиоприемных устройств, в частности, приемников радиолокационных станций от воздействия электромагнитных колебаний большой мощности в СВЧ диапазоне.

5 Известно циклотронное защитное устройство по патенту Российской Федерации №2167480, опубл. 20.05.2001[1], в основу работы которого положено взаимодействие электродинамической структуры с быстрой циклотронной волной электронного потока. Это устройство содержит входную и выходную электродинамическую  
10 структуры в виде резонаторов, диафрагму, разделяющую эти структуры, и электронную пушку, формирующую поток электронов, проходящий через входную и выходную электродинамические структуры и указанную диафрагму. Размер отверстия в последней в несколько раз меньше рабочей длины волны и меньше толщины диафрагмы. При этом все устройство помещено в однородное магнитное поле,  
15 ориентированное вдоль электронного потока. Через указанный электронный поток осуществляется однонаправленная связь входной и выходной электродинамических структур. Устройство обеспечивает надежную защиту от СВЧ мощности высокого уровня при малом времени

20 восстановления, но при этом характеризуется большими габаритами и массой.

Известно также микрополосковое защитное устройство, описанное в статье: А.Б. Козырев. Эффект быстрого переключения сверхпроводниковых пленок и возможности его использования в СВЧ микроэлектронике. Соросовский образовательный журнал, т.8, №1, 2004, с.93-100 [2]. Это устройство содержит  
25 диэлектрическую подложку, на одну сторону которой нанесено заземляемое основание, а на вторую нанесены полосковые проводники, образующие два микрополосковых резонатора, связанных между собой электромагнитно. Резонансные элементы, так же как и заземляемое покрытие на обратной стороне подложки,  
30 выполнены из пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Так как потери СВЧ сигнала в таких пленках в сверхпроводящем состоянии очень малы, то коэффициент передачи в полосе пропускания устройства близок к единице и обеспечивает передачу полезного сигнала без потерь. Под действием мощного паразитного электромагнитного импульса  
35 микрополосковые элементы переходят из сверхпроводящего состояния в нормальное, и амплитудно-частотная характеристика устройства радикально изменяется, обеспечивая большое ослабление выходного сигнала по сравнению с входным.

Недостатком данного защитного устройства является малая предельно допустимая  
40 мощность СВЧ колебаний, с которой оно может работать без выхода из строя. Это связано с недостаточно большим значением поверхностного сопротивления пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, в нормальном состоянии, которое составляет единицы Ом. Это приводит, как показывают расчеты, к  
45 виде тепла энергии принимаемой электромагнитной волны, что может стать причиной разрушения, в первую очередь, названных резонансных элементов устройства.

Устройство, описанное в [2], наиболее близко к предлагаемому.

50 Техническое решение по предлагаемой полезной модели направлено на достижение технического результата, заключающегося в увеличении предельной мощности СВЧ колебаний, с которой может работать защитное устройство.

Предлагаемое микрополосковое защитное устройство, как и наиболее близкое к

нему, известное из [2], содержит диэлектрическую подложку, на одну сторону которой нанесено металлическое заземляемое основание, а на другую сторону - полосковые металлические проводники двух резонаторов, связанных между собой электромагнитно.

5 Для достижения указанного выше технического результата в предлагаемом устройстве, в отличие от упомянутого наиболее близкого известного, заземляемое основание и полосковые проводники резонаторов выполнены металлическими, а в пучности электрического или магнитного поля указанных резонаторов в области их  
10 взаимодействия, либо в зоне, соответствующей одновременно пучностям обоих указанных полей, между полосковыми проводниками резонаторов на поверхности подложки или над этими проводниками без гальванического контакта с ними расположена пленка из материала, обладающего высокотемпературной  
15 сверхпроводимостью. При этом резонаторы выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии указанной пленки.

При описанном выполнении устройства и указанном размещении пленки последняя переходит в нормальное состояние при появлении на  
20 входе устройства СВЧ колебаний большой мощности, что приводит к восстановлению взаимной компенсации электрической и магнитной связи резонаторов. В результате СВЧ колебания испытывают сильное отражение из-за отсутствия связи между резонаторами, благодаря чему предотвращается рассеивание  
25 большой мощности на элементах устройства. Это позволяет использовать его для защиты подключенных к его выходу цепей при больших уровнях мощности СВЧ колебаний.

Указанные два электромагнитно связанных резонатора могут являться любыми двумя соседними резонаторами в ряду последовательно соединенных резонаторов,  
30 металлические полосковые проводники которых нанесены на одну и ту же сторону диэлектрической подложки, имеющей заземляемое основание.

При наличии в составе устройства более чем двух резонаторов могут быть дополнительно улучшены защитные свойства устройства и другие его показатели, в частности полоса пропускания и равномерность амплитудно-частотной  
35 характеристики в режиме пропускания в пределах рабочей полосы.

Выполнение устройства по предлагаемой полезной модели иллюстрируется чертежами фиг.1-8, на которых показано:

- на фиг.1 и фиг.2 - размещение пленки из сверхпроводящего материала в пучности  
40 магнитного поля, соответственно, между и над проводниками резонаторов, имеющих форму гантели;

- на фиг.3 и фиг.4 - размещение пленки из сверхпроводящего материала в пучности электрического поля, соответственно, между и над проводниками резонаторов,  
имеющих форму гантели;

45 - на фиг.5 и фиг.6 - размещение пленки из сверхпроводящего материала над проводниками резонаторов шпильковой формы соответственно в пучностях магнитного и электрического поля;

- на фиг.7 - размещение пленки из сверхпроводящего материала между  
50 проводниками резонаторов шпильковой формы одновременно в пучностях электрического и магнитного поля;

- на фиг.8 - выполнение устройства с четырьмя резонаторами в виде гантели при размещении пленки из сверхпроводящего материала в пучности магнитного поля над

проводниками резонаторов в виде гантели.

На фиг.9 и фиг.10 представлены экспериментальные характеристики предлагаемого защитного устройства:

5 - на фиг.9 - амплитудно-частотные характеристики потерь на прохождение в обоих режимах работы и амплитудно-частотная характеристика при отсутствии пленки из сверхпроводящего материала;

- на фиг.10 - амплитудно-частотные характеристики потерь на отражение для обоих режимов работы.

10 Предлагаемое устройство содержит диэлектрическую подложку 1. На одну ее сторону нанесено металлическое заземляемое основание 2. На другую сторону нанесены полосковые металлические проводники резонаторов 3.1, 3.2. Последние в показанных на фиг.1 - фиг.4 и фиг.8 случаях имеют форму гантели, которая состоит из  
15 двух широких полосковых проводников (7.11, 7.12 и 7.21, 7.22) и соединяющего их узкого участка (перемычки) 8.1, 8.2. При этом полосковые проводники обоих резонаторов 3.1, 3.2 расположены, например, параллельно друг другу. На фигурах показаны также элементы связи 5, 6 с входной и выходной СВЧ линиями соответственно. На фиг.5 - фиг.7 проводники резонаторов 3.1, 3.2 имеют  
20 шпильковую (П-образную) форму. На этих фигурах изображены так называемые сонаправленные шпильковые резонаторы (ориентированные в одну и ту же сторону свободными концами проводников).

Пленка 4 из сверхпроводящего материала в случае, показанном на фиг.1, расположена на поверхности подложки 1 в зоне между указанными перемычками  
25 8.1, 8.2 и концевыми участками (7.11, 7.12 и 7.21, 7.22) резонаторов, а на фиг.2 - над указанными перемычками перпендикулярно к ним и симметрично по отношению к концевым участкам. Такое расположение пленки соответствует пучности магнитного поля в области взаимодействия резонаторов.

30 На фиг.3 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена между двумя концевыми участками 7.12, 7.22 соседних резонаторов, а на фиг.4 - над этими участками, что соответствует пучности электрического поля в области взаимодействия резонаторов.

35 На фиг.5 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена над параллельными друг другу длинными участками проводников соседних шпильковых резонаторов в том месте, где такие участки каждого из резонаторов соединяются друг с другом, а на фиг.6 - над свободными концами тех же проводников, т.е. соответственно в пучностях магнитного и электрического поля в области взаимодействия резонаторов.

40 На фиг.7 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена между параллельными друг другу длинными участками проводников соседних шпильковых резонаторов по всей их длине. При таком размещении пленка охватывает области, соответствующие пучностям как электрического, так и магнитного поля в области взаимодействия резонаторов.

45 На фиг.8 изображено устройство, отличающееся от предыдущих наличием в его составе третьего и четвертого резонаторов 3.3, 3.4. Полосковые металлические проводники всех четырех резонаторов нанесены на одну и ту же сторону диэлектрической подложки 1, имеющей заземляемое основание 2.

50 Если на фиг.1-7 резонаторы 3.1, 3.2 были для устройства одновременно входным и выходным соответственно и были связаны со входной и выходной линиями через элементы связи 5, 6, то на фиг.8 те же резонаторы 3.1, 3.2 являются промежуточными в ряду последовательно соединенных резонаторов. Пленка 4 из сверхпроводящего

материала расположена над перемычками 8.1, 8.2 этих резонаторов, что соответствует пучности магнитного поля в области взаимодействия резонаторов. При этом роль входного и выходного играют резонаторы 3.3, 3.4 соответственно, и именно они имеют связь со входной и выходной СВЧ линиями через элементы связи 5 и 6, металлические полосковые проводники которых размещены на той же стороне подложки, что и проводники резонаторов.

Резонаторы 3.1, 3.2 во всех рассмотренных случаях выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства (т.е. на резонансной частоте рабочей моды колебаний резонаторов) при нормальном состоянии пленки из сверхпроводящего материала. Аналогичное условие может быть выполнено для любой пары соседних резонаторов, т.е. необязательно, как это показано на фиг.8 для резонаторов 3.1 и 3.2. Например, один из них мог бы быть входным или выходным (3.3 или 3.4), а в качестве второго при этом выступали бы соответственно резонаторы 3.1 или 3.2. Кроме того, указанные условия могут быть выполнены для нескольких пар резонаторов, например, для пары: входной резонатор 3.3 плюс резонатор 3.1 и пары: выходной резонатор 3.4 плюс резонатор 3.2.

При наличии более чем двух резонаторов в составе устройства могут быть дополнительно улучшены его защитные свойства и другие показатели, в частности, расширена полоса пропускания и уменьшена неравномерность амплитудно-частотной характеристики в режиме пропускания в пределах рабочей полосы.

Известно, что коэффициенты индуктивного и емкостного взаимодействия двух связанных микрополосковых резонаторов на частотах первой полосы пропускания могут иметь противоположные знаки, поэтому суммарный коэффициент связи резонаторов пропорционален разности модулей этих коэффициентов. При этом конструктивные параметры устройства (форму и размеры полосковых проводников резонаторов, расстояние между ними) можно подобрать таким образом, чтобы коэффициенты емкостной и индуктивной связи были равны друг другу по модулю, в результате чего полный коэффициент связи резонаторов обращается в нуль. С физической точки зрения это означает отсутствие взаимодействия резонаторов на частотах первой полосы пропускания, при этом на месте полосы пропускания наблюдается полюс затухания, и практически вся мощность на этих частотах отражается от входа устройства.

Для обеспечения взаимной компенсации электрической и магнитной связи резонаторов на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки осуществляется соответствующий выбор конкретных геометрических параметров при проектировании. Необходимые исходные данные для проектирования связанных микрополосковых пленочных резонаторов содержатся, например, в работах: Б.А.Беляев, Н.В.Лалетин, А.А.Лексиков. Коэффициенты связи нерегулярных микрополосковых резонаторов и частотно-селективные свойства двухзвенной секции на их основе. "Радиотехника и электроника", т.47, №1, 2002, с.14-23 [3]; Б.А.Беляев, А.М.Сержантов. Исследование коэффициентов связи

шпильковых резонаторов. "Радиотехника и электроника", т.49, №1, 2004, с.24-31 [4]. Подбор геометрических параметров устройства может быть произведен и экспериментально.

Предлагаемое устройство может находиться в режиме пропускания или запертом режиме и работает следующим образом.

Если мощность входного СВЧ сигнала является недостаточной для перехода

пленки, изготовленной из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, в нормальное состояние, то она находится в сверхпроводящем состоянии и оказывает существенное влияние на взаимодействие резонаторов.

5 Действительно, при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки вблизи пучности электрического поля (например, как на фиг.3, 4, 6), эта пленка в сверхпроводящем состоянии, являясь общей обкладкой двух последовательно соединенных конденсаторов, образованных ею и металлическими проводниками микрополосковых резонаторов, увеличивает емкостное взаимодействие 10 последних.

А при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки вблизи пучности магнитного поля (например, как на фиг.1, 2, 5, 8), эта пленка в сверхпроводящем состоянии уменьшает индуктивное взаимодействие резонаторов, поскольку в таком состоянии является диамагнетиком.

15 И в том, и в другом случае при малой мощности входного СВЧ сигнала нарушается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, которая имела бы место при нормальном состоянии пленки. Связь резонаторов существенно выше, чем при нормальном состоянии пленки (когда оно близко к нулю), так как коэффициент связи 20

пропорционален разности модулей коэффициентов индуктивного и емкостного взаимодействия.

Поэтому защитное устройство при малой мощности входного СВЧ сигнала работает в режиме пропускания, а амплитудно-частотная характеристика устройства 25 представляет собой характеристику полосно-пропускающего фильтра. Ослабление сигнала в полосе пропускания в режиме пропускания очень мало и не превышает в сантиметровом диапазоне длин волн долей децибела. Ширина полосы пропускания устройства в режиме пропускания определяется величиной полного коэффициента связи резонаторов и зависит от геометрии микрополосковых резонаторов, толщины 30 подложки и ее диэлектрической проницаемости, размеров пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью.

Если же мощность СВЧ колебаний на входе устройства превышает некоторое пороговое значение, то пленка, изготовленная из материала, обладающего 35 высокотемпературной сверхпроводимостью, переходит в нормальное состояние и практически не оказывает влияния на взаимодействие микрополосковых резонаторов. При этом состоянии пленки восстанавливается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, поэтому полный коэффициент связи близок к нулю. В 40 этом случае защитное устройство работает в запертом режиме, обеспечивая большое подавление сигнала на выходе за счет его высокого отражения на входе устройства.

Действительно, при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки в пучности электрического поля (фиг.3, 4, 6), пленка, переходя в нормальное состояние с повышенным поверхностным сопротивлением, уменьшает емкостную 45 (электрическую) связь резонаторов,

и коэффициент емкостной связи по модулю становится близким к коэффициенту индуктивной (магнитной) связи.

А при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки в пучности магнитного поля (фиг.1, 2, 5, 8), при переходе этой пленки в нормальное состояние ее магнитная проницаемость становится близкой к единице, и она 50 практически не оказывает ослабляющего влияния на индуктивное (магнитное) взаимодействие резонаторов, в результате чего это взаимодействие усиливается, и

коэффициент индуктивной (магнитной) связи по модулю становится близким к коэффициенту емкостной (электрической) связи.

Иначе говоря, в обоих рассмотренных случаях при высоком уровне мощности входных СВЧ колебаний восстанавливается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, так как их конструктивные параметры выбраны именно таким образом, чтобы минимизировать связь на частотах рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки. В результате и в том, и другом случае происходит практически полное отражение сигнала от входа устройства.

В случае, иллюстрируемом фиг.7, расположение пленки 4 из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, таково, что эта пленка в сверхпроводящем состоянии оказывает большее влияние по сравнению со случаями, иллюстрируемыми фиг.1 - фиг.6, 8, т.к. она изменяет и электрическое, и магнитное взаимодействие, причем в противоположных направлениях. Разнообразие возможностей размещения пленки может быть использовано для оптимизации формы и параметров амплитудно-частотных характеристик устройства и расширяет технологические возможности. Из рассмотрения принципа действия устройства следует не только разнообразие способов размещения пленки, но и возможность использования в устройстве самых различных видов микрополосковых резонаторов. Приведенные выше в качестве примеров резонаторы в виде гантели или шпилек являются наиболее распространенными.

На фиг.9 представлены экспериментальные амплитудно-частотные характеристики потерь на прохождении предлагаемого защитного устройства (коэффициент  $S_{21}$ ).

Устройство настроено на центральную частоту полосы пропускания  $f_0 \approx 4,5$  ГГц.

Кривая 41 соответствует режиму пропускания входного сигнала, при этом пленка находится в сверхпроводящем состоянии. Кривая 42 получена для запертого режима, когда пленка перешла в нормальное, несверхпроводящее состояние.

Кривая 43 соответствует амплитудно-частотной характеристике устройства при отсутствии пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Зависимость 43 доказывает, что на частотах, близких к полосе пропускания, связь между резонаторами практически отсутствует за счет вычитания близких по абсолютной величине коэффициентов емкостной и индуктивной связи, при этом в точке полной компенсации наблюдается полюс затухания.

На Фиг.10 приведены амплитудно-частотные характеристики потерь на отражение (коэффициент  $S_{11}$ ) при наличии пленки из материала, обладающего

высокотемпературной сверхпроводимостью, для режима пропускания (кривая 51) и запертого режима (кривая 52). Данные зависимости доказывают возможность работы с большими предельными уровнями мощности. В запертом режиме в рабочей полосе частот практически вся падающая мощность отражается от входа устройства, а не рассеивается в виде тепла в его элементах: значения коэффициента  $S_{11} \geq -1$  дБ

обеспечивают не менее 80% отражения мощности относительно падающей, в

то время, как показывают оценки, в наиболее близком известном устройстве [2] эта величина составляет примерно 30%.

Представленные характеристики получены на устройстве, имеющем следующие конструктивные параметры:

микрополосковые резонаторы 3.1, 3.2 выполнены на подложке толщиной 1 мм из керамики «поликор» с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=9,8$ ,

ширина концевых участков 7.11, 7.12, 7.21, 7.22 полосковых проводников

резонаторов - 2 мм,

ширина перемычек 8.1 и 8.2-0,5 мм, их длина соответственно 3,2 мм и 3,8 мм, зазор между резонаторами - 0,2 мм.

Использовалась пленка YBaCuO толщиной 1 мкм на сапфировой подложке размерами 4×2 мм<sup>2</sup>.

Благодаря применению микрополосковых резонаторов и соответствующему расположению пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, обеспечивается высокая степень миниатюризации предлагаемого защитного устройства при обеспечении высокого уровня ослабления входных СВЧ колебаний в запертом режиме за счет отражения от входа.

Предлагаемое защитное устройство может быть использовано для защиты входных цепей приемников радиолокационных станций, приемников систем радионавигации и связи, а также других СВЧ приемников, работающих в условиях, не исключающих воздействие на них СВЧ колебаний высокой мощности.

Источники информации

1. Патент Российской Федерации №2167480, опубл. 20.05.2001.

2. А.Б.Козырев. Эффект быстрого переключения сверхпроводниковых пленок и возможности его использования в СВЧ микроэлектронике. Соросовский образовательный журнал, т.8, №1, 2004. с.93-100.

3. Б.А.Беляев, Н.В.Лалетин, А.А.Лексиков. Коэффициенты связи нерегулярных микрополосковых резонаторов и частотно-селективные свойства двухзвенной секции на их основе. Радиотехника и электроника, т.47, №1, 2002, с.14-23.

4. Б.А.Беляев, А.М.Сержантов. Исследование коэффициентов связи шпильковых резонаторов. "Радиотехника и электроника", т.49, №1, 2004, с.24-31.

#### (57) Реферат

Микрополосковое защитное устройство предназначено для защиты радиоприемных устройств от воздействия электромагнитных колебаний большой мощности в СВЧ диапазоне. Оно содержит диэлектрическую подложку 1, на одну сторону которой нанесено заземляемое основание 2, а на другую - полосковые проводники двух резонаторов, связанных между собой электромагнитно.

Особенностью устройства является то, что заземляемое основание 2 и полосковые проводники резонаторов 3.1, 3.2 выполнены металлическими, а в пучности электрического или магнитного поля в области взаимодействия резонаторов, либо одновременно в пучностях обоих указанных полей между проводниками резонаторов на поверхности подложки или над этими проводниками без гальванического контакта с ними расположена пленка 4 из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Резонаторы 3.1, 3.2 выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки. Обеспечивается увеличение предельной мощности СВЧ колебаний, с которой может работать защитное устройство, благодаря улучшению отражения этих колебаний и уменьшению мощности, поглощаемой элементами устройства. 1 независимый и 1 зависимый пункт формулы, 10 фигур чертежей.

## Микрополосковое защитное устройство

### Реферат

Микрополосковое защитное устройство предназначено для защиты радиоприемных устройств от воздействия электромагнитных колебаний большой мощности в СВЧ диапазоне. Оно содержит диэлектрическую подложку 1, на одну сторону которой нанесено заземляемое основание 2, а на другую – полосковые проводники двух резонаторов, связанных между собой электромагнитно. Особенностью устройства является то, что заземляемое основание 2 и полосковые проводники резонаторов 3.1, 3.2 выполнены металлическими, а в пучности электрического или магнитного поля в области взаимодействия резонаторов, либо одновременно в пучностях обоих указанных полей между проводниками резонаторов на поверхности подложки или над этими проводниками без гальванического контакта с ними расположена пленка 4 из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Резонаторы 3.1, 3.2 выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки.

Обеспечивается увеличение предельной мощности СВЧ колебаний, с которой может работать защитное устройство, благодаря улучшению отражения этих колебаний и уменьшению мощности, поглощаемой элементами устройства.

1 независимый и 1 зависимый пункт формулы, 10 фигур чертежей.

2007135855

1

МПК<sup>7</sup> H01P1/205  
H01P1/203

### **Микрополосковое защитное устройство**

Полезная модель относится к технике сверхвысоких частот и предназначено для защиты радиоприемных устройств, в частности, приемников радиолокационных станций от воздействия электромагнитных колебаний большой мощности в СВЧ диапазоне.

Известно циклотронное защитное устройство по патенту Российской Федерации №2167480, опубл. 20.05.2001[1], в основу работы которого положено взаимодействие электродинамической структуры с быстрой циклотронной волной электронного потока. Это устройство содержит входную и выходную электродинамическую структуры в виде резонаторов, диафрагму, разделяющую эти структуры, и электронную пушку, формирующую поток электронов, проходящий через входную и выходную электродинамические структуры и указанную диафрагму. Размер отверстия в последней в несколько раз меньше рабочей длины волны и меньше толщины диафрагмы. При этом все устройство помещено в однородное магнитное поле, ориентированное вдоль электронного потока. Через указанный электронный поток осуществляется однонаправленная связь входной и выходной электродинамических структур. Устройство обеспечивает надежную защиту от СВЧ мощности высокого уровня при малом времени

восстановления, но при этом характеризуется большими габаритами и массой.

Известно также микрополосковое защитное устройство, описанное в статье: А.Б.Козырев. Эффект быстрого переключения сверхпроводниковых пленок и возможности его использования в СВЧ микроэлектронике. Соросовский образовательный журнал, т. 8, №1, 2004, с. 93 - 100 [2]. Это устройство содержит диэлектрическую подложку, на одну сторону которой нанесено заземляемое основание, а на вторую нанесены полосковые проводники, образующие два микрополосковых резонатора, связанных между собой электромагнитно. Резонансные элементы, так же как и заземляемое покрытие на обратной стороне подложки, выполнены из пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Так как потери СВЧ сигнала в таких пленках в сверхпроводящем состоянии очень малы, то коэффициент передачи в полосе пропускания устройства близок к единице и обеспечивает передачу полезного сигнала без потерь. Под действием мощного паразитного электромагнитного импульса микрополосковые элементы переходят из сверхпроводящего состояния в нормальное, и амплитудно-частотная характеристика устройства радикально изменяется, обеспечивая большое ослабление выходного сигнала по сравнению с входным.

Недостатком данного защитного устройства является малая предельно допустимая мощность СВЧ колебаний, с которой оно может работать без выхода из строя. Это связано с недостаточно большим значением поверхностного сопротивления пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, в нормальном состоянии, которое составляет единицы Ом. Это приводит, как показывают расчеты, к практически полному поглощению микрополосковыми резонаторами и выделению в виде тепла энергии принимаемой электромагнитной волны, что мо-

жет стать причиной разрушения, в первую очередь, названных резонансных элементов устройства.

Устройство, описанное в [2], наиболее близко к предлагаемому.

Техническое решение по предлагаемой полезной модели направлено на достижение технического результата, заключающегося в увеличении предельной мощности СВЧ колебаний, с которой может работать защитное устройство.

Предлагаемое микрополосковое защитное устройство, как и наиболее близкое к нему, известное из [2], содержит диэлектрическую подложку, на одну сторону которой нанесено металлическое заземляемое основание, а на другую сторону – полосковые металлические проводники двух резонаторов, связанных между собой электромагнитно.

Для достижения указанного выше технического результата в предлагаемом устройстве, в отличие от упомянутого наиболее близкого известного, заземляемое основание и полосковые проводники резонаторов выполнены металлическими, а в пучности электрического или магнитного поля указанных резонаторов в области их взаимодействия, либо в зоне, соответствующей одновременно пучностям обоих указанных полей, между полосковыми проводниками резонаторов на поверхности подложки или над этими проводниками без гальванического контакта с ними расположена пленка из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. При этом резонаторы выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии указанной пленки.

При описанном выполнении устройства и указанном размещении пленки последняя переходит в нормальное состояние при появлении на

входе устройства СВЧ колебаний большой мощности, что приводит к восстановлению взаимной компенсации электрической и магнитной связи резонаторов. В результате СВЧ колебания испытывают сильное отражение из-за отсутствия связи между резонаторами, благодаря чему предотвращается рассеивание большой мощности на элементах устройства. Это позволяет использовать его для защиты подключенных к его выходу цепей при больших уровнях мощности СВЧ колебаний.

Указанные два электромагнитно связанных резонатора могут являться любыми двумя соседними резонаторами в ряду последовательно соединенных резонаторов, металлические полосковые проводники которых нанесены на одну и ту же сторону диэлектрической подложки, имеющей заземляемое основание.

При наличии в составе устройства более чем двух резонаторов могут быть дополнительно улучшены защитные свойства устройства и другие его показатели, в частности полоса пропускания и равномерность амплитудно-частотной характеристики в режиме пропускания в пределах рабочей полосы.

Выполнение устройства по предлагаемой полезной модели иллюстрируется чертежами фиг. 1 - 8, на которых показано:

- на фиг. 1 и фиг. 2 - размещение пленки из сверхпроводящего материала в пучности магнитного поля, соответственно, между и над проводниками резонаторов, имеющих форму гантели;

- на фиг. 3 и фиг. 4 - размещение пленки из сверхпроводящего материала в пучности электрического поля, соответственно, между и над проводниками резонаторов, имеющих форму гантели;

- на фиг. 5 и фиг. 6 - размещение пленки из сверхпроводящего материала над проводниками резонаторов шпильковой формы соответственно в пучностях магнитного и электрического поля;

- на фиг. 7 - размещение пленки из сверхпроводящего материала между проводниками резонаторов шпильковой формы одновременно в пучностях электрического и магнитного поля;

- на фиг. 8 - выполнение устройства с четырьмя резонаторами в виде гантели при размещении пленки из сверхпроводящего материала в пучности магнитного поля над проводниками резонаторов в виде гантели.

На фиг. 9 и фиг. 10 представлены экспериментальные характеристики предлагаемого защитного устройства:

- на фиг. 9 - амплитудно-частотные характеристики потерь на прохождение в обоих режимах работы и амплитудно-частотная характеристика при отсутствии пленки из сверхпроводящего материала;

- на фиг. 10 - амплитудно-частотные характеристики потерь на отражение для обоих режимов работы.

Предлагаемое устройство содержит диэлектрическую подложку 1. На одну ее сторону нанесено металлическое заземляемое основание 2. На другую сторону нанесены полосковые металлические проводники резонаторов 3.1, 3.2. Последние в показанных на фиг. 1 - фиг. 4 и фиг. 8 случаях имеют форму гантели, которая состоит из двух широких полосковых проводников (7.11, 7.12 и 7.21, 7.22) и соединяющего их узкого участка (перемычки) 8.1, 8.2. При этом полосковые проводники обоих резонаторов 3.1, 3.2 расположены, например, параллельно друг другу. На фигурах показаны также элементы связи 5, 6 с входной и выходной СВЧ линиями соответственно. На фиг. 5 - фиг. 7 проводники резонаторов 3.1, 3.2 имеют

шпильковую (Π-образную) форму. На этих фигурах изображены так называемые сонаправленные шпильковые резонаторы (ориентированные в одну и ту же сторону свободными концами проводников).

Пленка 4 из сверхпроводящего материала в случае, показанном на фиг. 1, расположена на поверхности подложки 1 в зоне между указанными перемычками 8.1, 8.2 и концевыми участками (7.11, 7.12 и 7.21.722) резонаторов, а на фиг. 2 - над указанными перемычками перпендикулярно к ним и симметрично по отношению к концевым участкам. Такое расположение пленки соответствует пучности магнитного поля в области взаимодействия резонаторов.

На фиг. 3 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена между двумя концевыми участками 7.12, 7.22 соседних резонаторов, а на фиг. 4 - над этими участками, что соответствует пучности электрического поля в области взаимодействия резонаторов.

На фиг. 5 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена над параллельными друг другу длинными участками проводников соседних шпильковых резонаторов в том месте, где такие участки каждого из резонаторов соединяются друг с другом, а на фиг. 6 - над свободными концами тех же проводников, т.е. соответственно в пучностях магнитного и электрического поля в области взаимодействия резонаторов.

На фиг. 7 пленка 4 из сверхпроводящего материала размещена между параллельными друг другу длинными участками проводников соседних шпильковых резонаторов по всей их длине. При таком размещении пленка охватывает области, соответствующие пучностям как электрического, так и магнитного поля в области взаимодействия резонаторов..

На фиг. 8 изображено устройство, отличающееся от предыдущих наличием в его составе третьего и четвертого резонаторов 3.3, 3.4. Полосковые металлические проводники всех четырех резонаторов нанесены на одну и ту же сторону диэлектрической подложки 1, имеющей заземляемое основание 2.

Если на фиг. 1 - 7 резонаторы 3.1, 3.2 были для устройства одновременно входным и выходным соответственно и были связаны со входной и выходной линиями через элементы связи 5, 6, то на фиг. 8 те же резонаторы 3.1, 3.2 являются промежуточными в ряду последовательно соединенных резонаторов. Пленка 4 из сверхпроводящего материала расположена над перемычками 8.1, 8.2 этих резонаторов, что соответствует пучности магнитного поля в области взаимодействия резонаторов. При этом роль входного и выходного играют резонаторы 3.3, 3.4 соответственно, и именно они имеют связь со входной и выходной СВЧ линиями через элементы связи 5 и 6, металлические полосковые проводники которых размещены на той же стороне подложки, что и проводники резонаторов.

Резонаторы 3.1, 3.2 во всех рассмотренных случаях выполнены с возможностью взаимной компенсации электрической и магнитной связи между ними на центральной частоте рабочей полосы устройства (т.е. на резонансной частоте рабочей моды колебаний резонаторов) при нормальном состоянии пленки из сверхпроводящего материала. Аналогичное условие может быть выполнено для любой пары соседних резонаторов, т.е. необязательно, как это показано на фиг. 8 для резонаторов 3.1 и 3.2. Например, один из них мог бы быть входным или выходным (3.3 или 3.4), а в качестве второго при этом выступали бы соответственно резонаторы 3.1 или 3.2. Кроме того, указанные условия могут быть выполнены для нескольких пар резонаторов, например, для пары: входной резонатор 3.3 плюс резонатор 3.1 и пары: выходной резонатор 3.4 плюс резонатор 3.2.

При наличии более чем двух резонаторов в составе устройства могут быть дополнительно улучшены его защитные свойства и другие показатели, в частности, расширена полоса пропускания и уменьшена неравномерность амплитудно-частотной характеристики в режиме пропускания в пределах рабочей полосы.

Известно, что коэффициенты индуктивного и емкостного взаимодействия двух связанных микрополосковых резонаторов на частотах первой полосы пропускания могут иметь противоположные знаки, поэтому суммарный коэффициент связи резонаторов пропорционален разности модулей этих коэффициентов. При этом конструктивные параметры устройства (форму и размеры полосковых проводников резонаторов, расстояние между ними) можно подобрать таким образом, чтобы коэффициенты емкостной и индуктивной связи были равны друг другу по модулю, в результате чего полный коэффициент связи резонаторов обращается в нуль. С физической точки зрения это означает отсутствие взаимодействия резонаторов на частотах первой полосы пропускания, при этом на месте полосы пропускания наблюдается полюс затухания, и практически вся мощность на этих частотах отражается от входа устройства.

Для обеспечения взаимной компенсации электрической и магнитной связи резонаторов на центральной частоте рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки осуществляется соответствующий выбор конкретных геометрических параметров при проектировании. Необходимые исходные данные для проектирования связанных микрополосковых пленочных резонаторов содержатся, например, в работах: Б.А.Беляев, Н.В.Лалетин, А.А.Лексиков. Коэффициенты связи нерегулярных микрополосковых резонаторов и частотно-селективные свойства двухзвенной секции на их основе. "Радиотехника и электроника", т. 47, № 1, 2002, с. 14 - 23 [3]; Б.А.Беляев, А.М.Сержантов. Исследование коэффициентов связи

шпильковых резонаторов. "Радиотехника и электроника", т. 49, № 1, 2004, с. 24 -31 [4]. Подбор геометрических параметров устройства может быть произведен и экспериментально.

Предлагаемое устройство может находиться в режиме пропускания или запертом режиме и работает следующим образом.

Если мощность входного СВЧ сигнала является недостаточной для перехода пленки, изготовленной из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, в нормальное состояние, то она находится в сверхпроводящем состоянии и оказывает существенное влияние на взаимодействие резонаторов.

Действительно, при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки вблизи пучности электрического поля (например, как на фиг. 3, 4, 6), эта пленка в сверхпроводящем состоянии, являясь общей обкладкой двух последовательно соединенных конденсаторов, образованных ею и металлическими проводниками микрополосковых резонаторов, увеличивает емкостное взаимодействие последних.

А при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки вблизи пучности магнитного поля (например, как на фиг. 1, 2, 5, 8), эта пленка в сверхпроводящем состоянии уменьшает индуктивное взаимодействие резонаторов, поскольку в таком состоянии является диамагнетиком.

И в том, и в другом случае при малой мощности входного СВЧ сигнала нарушается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, которая имела бы место при нормальном состоянии пленки. Связь резонаторов существенно выше, чем при нормальном состоянии пленки (когда оно близко к нулю), так как коэффициент связи

пропорционален разности модулей коэффициентов индуктивного и емкостного взаимодействия.

Поэтому защитное устройство при малой мощности входного СВЧ сигнала работает в режиме пропускания, а амплитудно-частотная характеристика устройства представляет собой характеристику полосно-пропускающего фильтра. Ослабление сигнала в полосе пропускания в режиме пропускания очень мало и не превышает в сантиметровом диапазоне длин волн долей децибела. Ширина полосы пропускания устройства в режиме пропускания определяется величиной полного коэффициента связи резонаторов и зависит от геометрии микрополосковых резонаторов, толщины подложки и ее диэлектрической проницаемости, размеров пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью.

Если же мощность СВЧ колебаний на входе устройства превышает некоторое пороговое значение, то пленка, изготовленная из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, переходит в нормальное состояние и практически не оказывает влияния на взаимодействие микрополосковых резонаторов. При этом состоянии пленки восстанавливается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, поэтому полный коэффициент связи близок к нулю. В этом случае защитное устройство работает в запертом режиме, обеспечивая большое подавление сигнала на выходе за счет его высокого отражения на входе устройства.

Действительно, при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки в пучности электрического поля (фиг. 3, 4, 6), пленка, переходя в нормальное состояние с повышенным поверхностным сопротивлением, уменьшает емкостную (электрическую) связь резонаторов,

и коэффициент емкостной связи по модулю становится близким к коэффициенту индуктивной (магнитной) связи.

А при выполнении устройства, предусматривающем расположение пленки в пучности магнитного поля (фиг. 1, 2, 5, 8), при переходе этой пленки в нормальное состояние ее магнитная проницаемость становится близкой к единице, и она практически не оказывает ослабляющего влияния на индуктивное (магнитное) взаимодействие резонаторов, в результате чего это взаимодействие усиливается, и коэффициент индуктивной (магнитной) связи по модулю становится близким к коэффициенту емкостной (электрической) связи.

Иначе говоря, в обоих рассмотренных случаях при высоком уровне мощности входных СВЧ колебаний восстанавливается взаимная компенсация электрической и магнитной связи резонаторов, так как их конструктивные параметры выбраны именно таким образом, чтобы минимизировать связь на частотах рабочей полосы устройства при нормальном состоянии пленки. В результате и в том, и другом случае происходит практически полное отражение сигнала от входа устройства.

В случае, иллюстрируемом фиг. 7, расположение пленки 4 из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, таково, что эта пленка в сверхпроводящем состоянии оказывает большее влияние по сравнению со случаями, иллюстрируемыми фиг. 1 - фиг. 6, 8, т.к. она изменяет и электрическое, и магнитное взаимодействие, причем в противоположных направлениях. Разнообразие возможностей размещения пленки может быть использовано для оптимизации формы и параметров амплитудно-частотных характеристик устройства и расширяет технологические возможности. Из рассмотрения принципа действия устройства следует не только разнообразие способов размещения пленки, но и возмож-

ность использования в устройстве самых различных видов микрополосковых резонаторов. Приведенные выше в качестве примеров резонаторы в виде гантели или шпилек являются наиболее распространенными.

На фиг. 9 представлены экспериментальные амплитудно-частотные характеристики потерь на прохождение предлагаемого защитного устройства (коэффициент  $S_{21}$ ). Устройство настроено на центральную частоту полосы пропускания  $f_0 \approx 4,5$  ГГц. Кривая 41 соответствует режиму пропускания входного сигнала, при этом пленка находится в сверхпроводящем состоянии. Кривая 42 получена для запертого режима, когда пленка перешла в нормальное, несверхпроводящее состояние.

Кривая 43 соответствует амплитудно-частотной характеристике устройства при отсутствии пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью. Зависимость 43 доказывает, что на частотах, близких к полосе пропускания, связь между резонаторами практически отсутствует за счет вычитания близких по абсолютной величине коэффициентов емкостной и индуктивной связи, при этом в точке полной компенсации наблюдается полюс затухания.

На Фиг. 10 приведены амплитудно-частотные характеристики потерь на отражение (коэффициент  $S_{11}$ ) при наличии пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, для режима пропускания (кривая 51) и запертого режима (кривая 52). Данные зависимости доказывают возможность работы с большими предельными уровнями мощности. В запертом режиме в рабочей полосе частот практически вся падающая мощность отражается от входа устройства, а не рассеивается в виде тепла в его элементах: значения коэффициента  $S_{11} \geq -1$  дБ обеспечивают не менее 80% отражения мощности относительно падающей, в

то время, как показывают оценки, в наиболее близком известном устройстве [2] эта величина составляет примерно 30%.

Представленные характеристики получены на устройстве, имеющем следующие конструктивные параметры:

микрополосковые резонаторы 3.1, 3.2 выполнены на подложке толщиной 1 мм из керамики «поликор» с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 9,8$ ,

ширина концевых участков 7.11, 7.12, 7.21, 7.22 полосковых проводников резонаторов - 2 мм,

ширина перемычек 8.1 и 8.2 - 0,5 мм, их длина соответственно 3,2 мм и 3,8 мм,

зазор между резонаторами - 0,2 мм.

Использовалась пленка YBaCuO толщиной 1 мкм на сапфировой подложке размерами  $4 \times 2$  мм<sup>2</sup>.

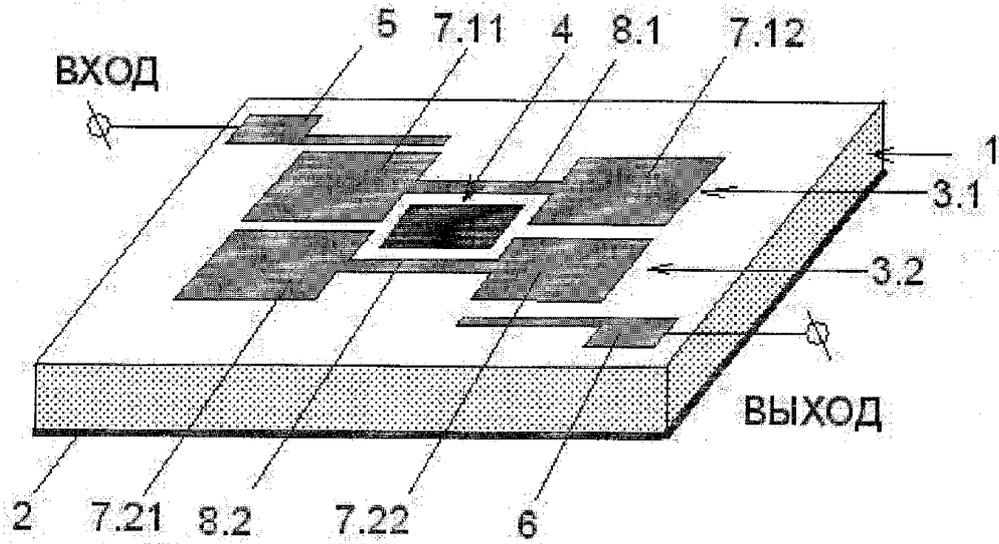
Благодаря применению микрополосковых резонаторов и соответствующему расположению пленки из материала, обладающего высокотемпературной сверхпроводимостью, обеспечивается высокая степень миниатюризации предлагаемого защитного устройства при обеспечении высокого уровня ослабления входных СВЧ колебаний в запертом режиме за счет отражения от входа.

Предлагаемое защитное устройство может быть использовано для защиты входных цепей приемников радиолокационных станций, приемников систем радионавигации и связи, а также других СВЧ приемников, работающих в условиях, не исключаящих воздействие на них СВЧ колебаний высокой мощности.

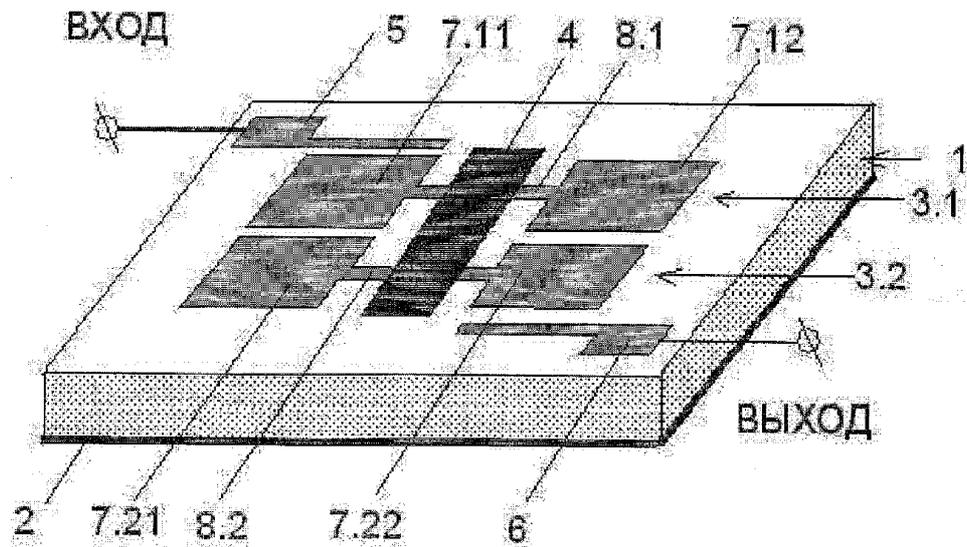
## Источники информации

1. Патент Российской Федерации №2167480, опубл. 20.05.2001.
2. А.Б.Козырев. Эффект быстрого переключения сверхпроводниковых пленок и возможности его использования в СВЧ микроэлектронике. Соросовский образовательный журнал, т. 8, №1, 2004. с. 93 - 100.
3. Б.А.Беляев, Н.В.Лалетин, А.А.Лексиков. Коэффициенты связи нерегулярных микрополосковых резонаторов и частотно-селективные свойства двухзвенной секции на их основе. Радиотехника и электроника, т. 47, № 1, 2002, с. 14 - 23.
4. Б.А.Беляев, А.М.Сержантов. Исследование коэффициентов связи шпильковых резонаторов. "Радиотехника и электроника", т. 49, № 1, 2004, с. 24 - 31.

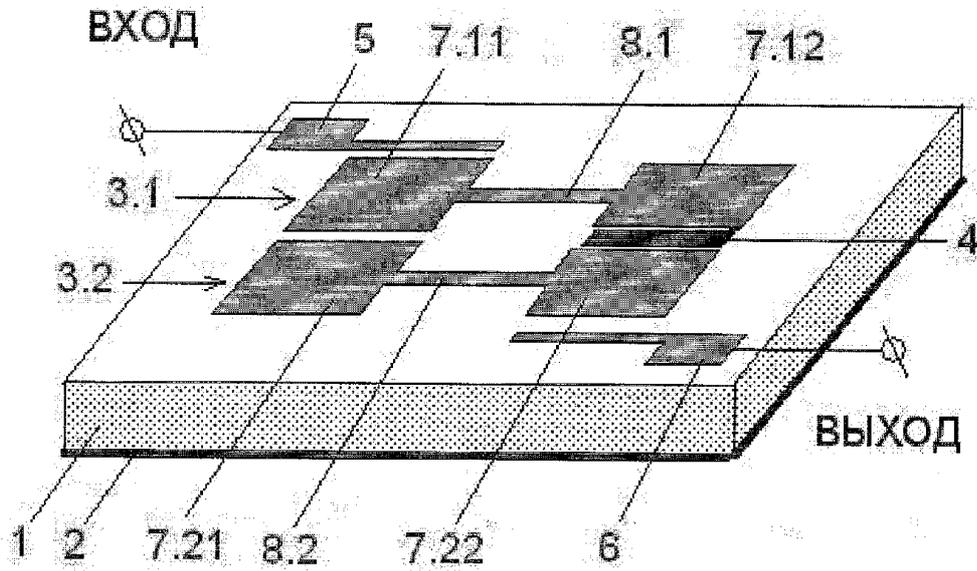
1



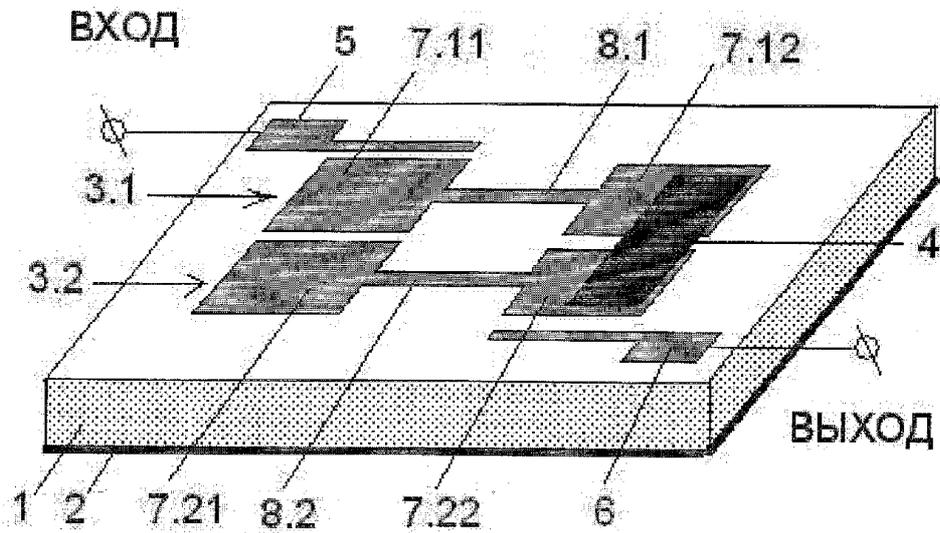
Фиг. 1



Фиг. 2

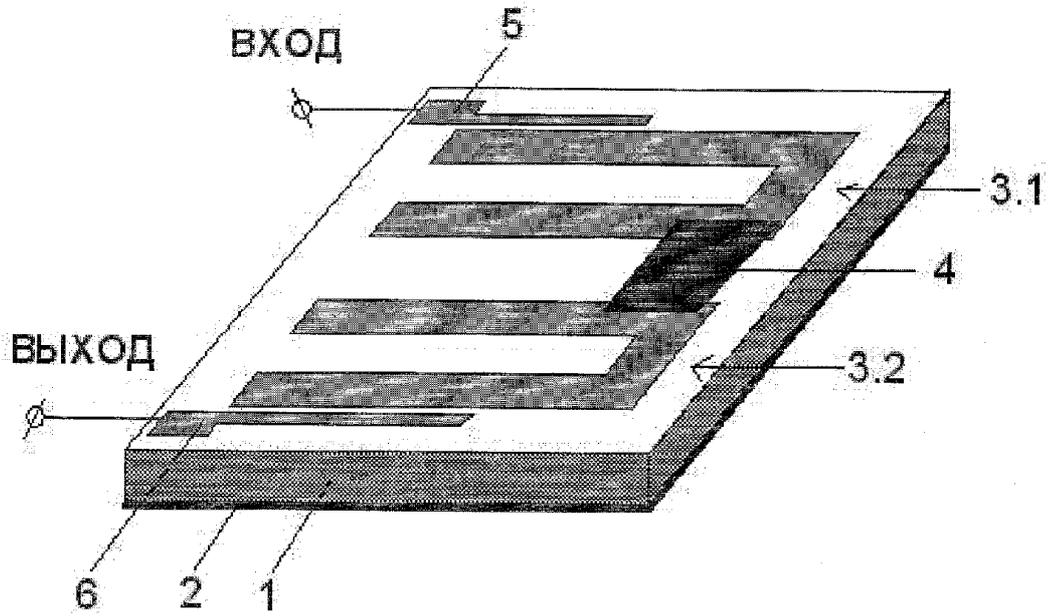


Фиг. 3

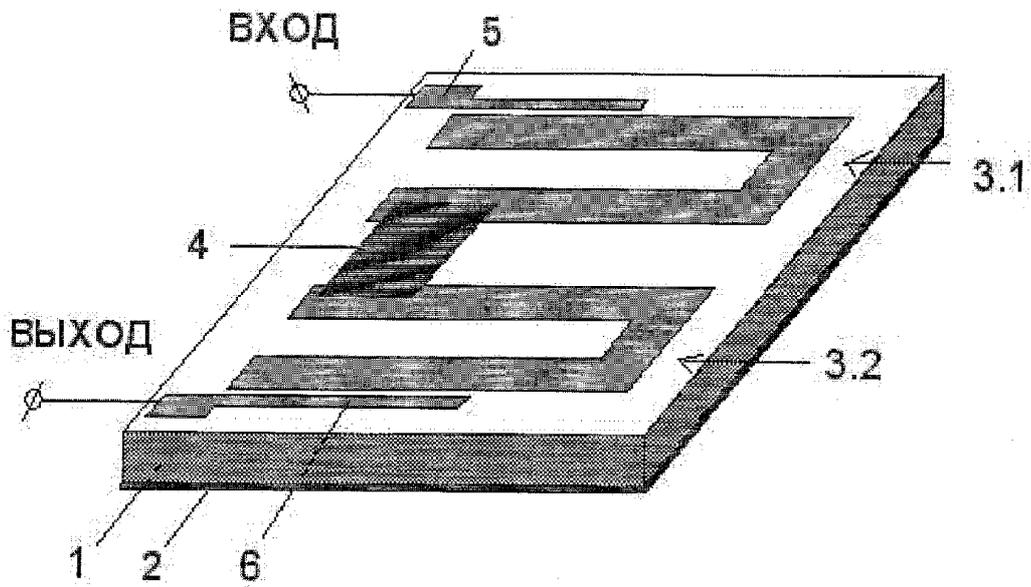


Фиг. 4

3

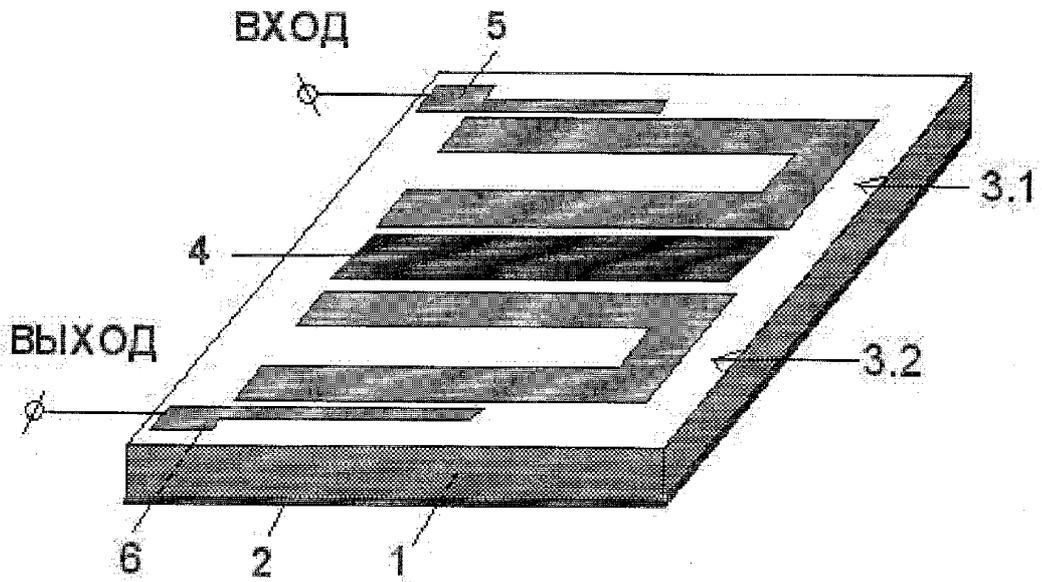


Фиг. 5

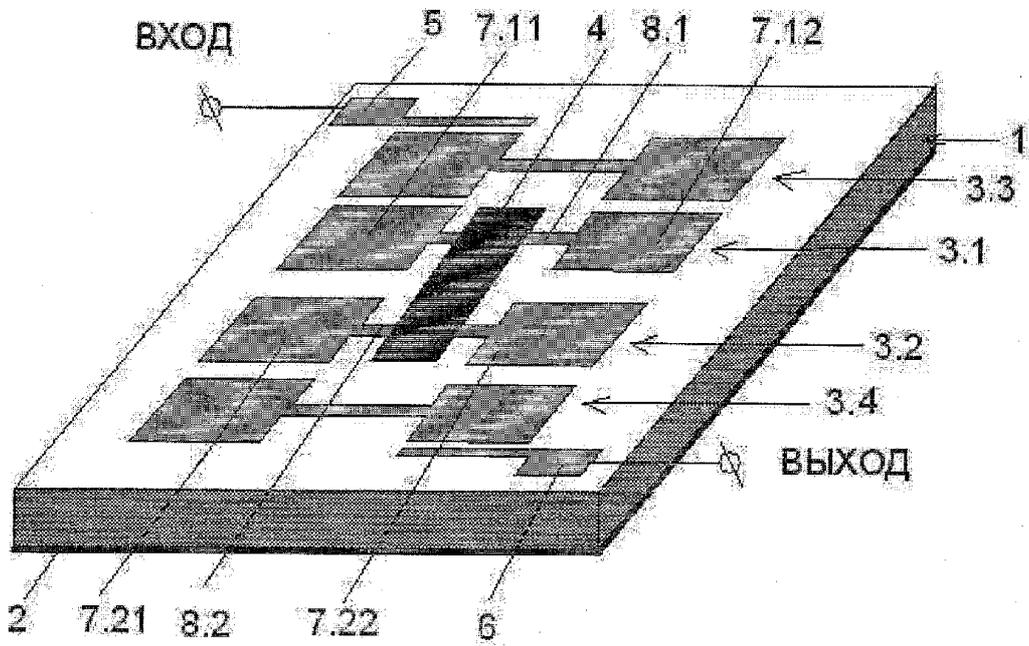


Фиг. 6

4

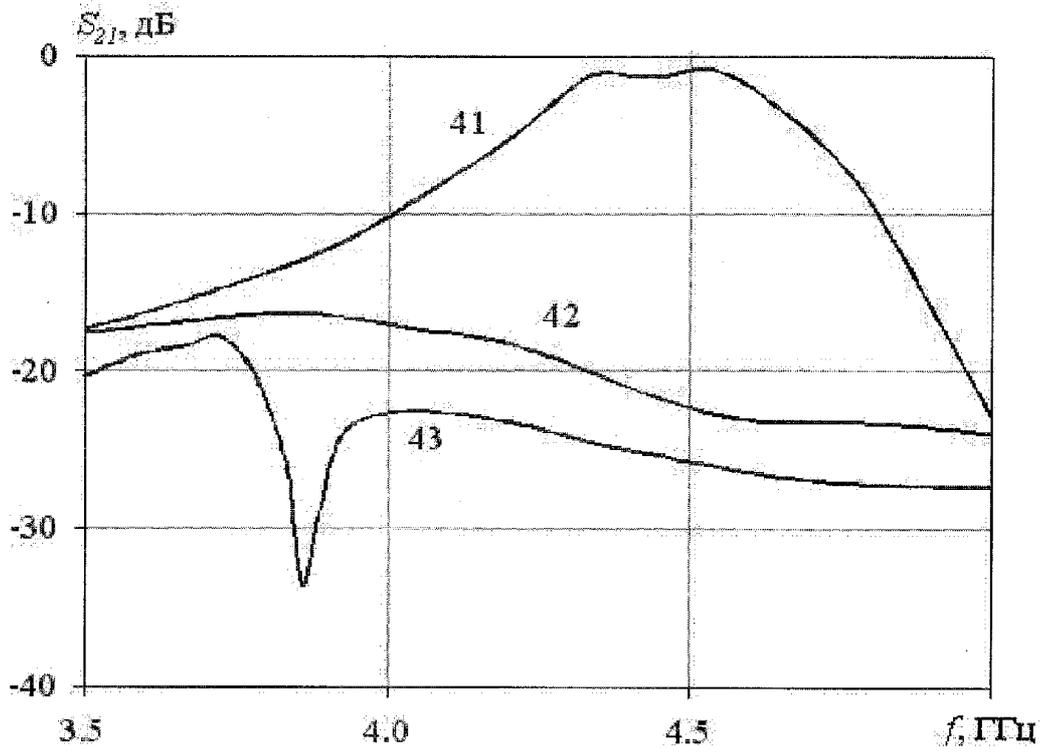


Фиг. 7

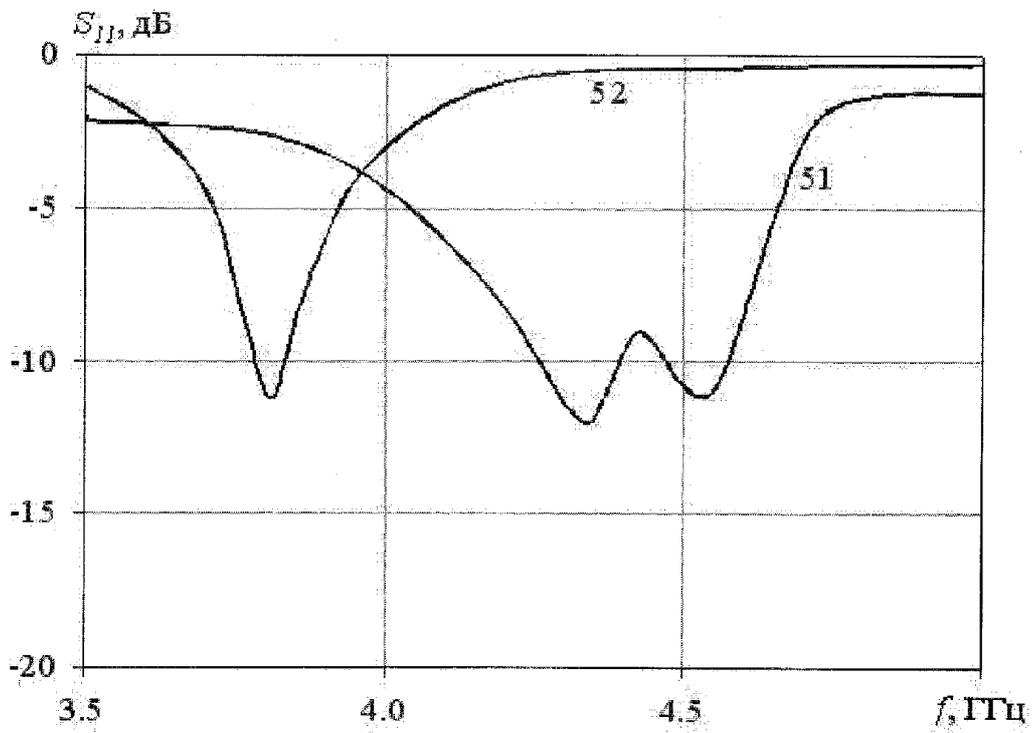


Фиг. 8

5



Фиг. 9



Фиг. 10