



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01R 33/05 (2019.05)*

(21)(22) Заявка: 2019110902, 11.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.04.2019

Дата регистрации:  
19.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.04.2019

(45) Опубликовано: 19.11.2019 Бюл. № 32

Адрес для переписки:  
660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр.  
38, ИФ СО РАН, отдел патентной и  
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Бабицкий Александр Николаевич (RU),  
Беляев Борис Афанасьевич (RU),  
Боев Никита Михайлович (RU),  
Изотов Андрей Викторович (RU),  
Клешнина Софья Андреевна (RU),  
Бурмитских Антон Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный  
исследовательский центр "Красноярский  
научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2536083 C1, 20.12.2014. RU  
2682076 C1, 14.03.2019. RU 163174 U1, 10.07.2016.  
US 20050122115 A1, 09.06.2005.

## (54) ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО МАГНИТОМЕТРА

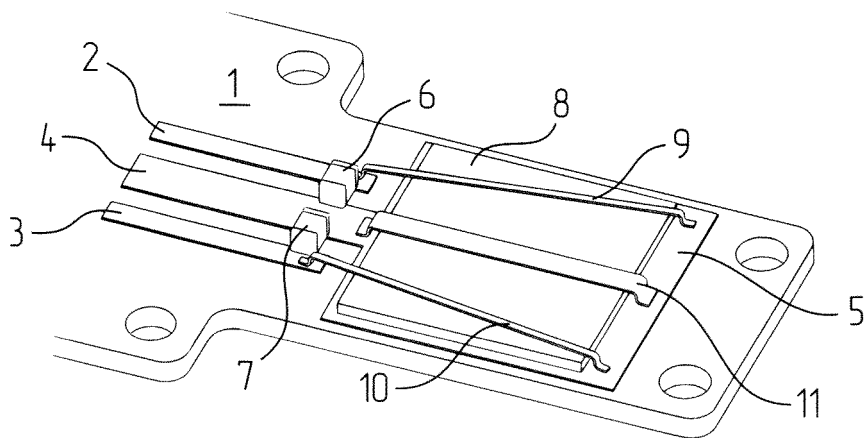
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а более конкретно - предназначено для измерения слабых магнитных полей, и может использоваться в магнитометрии. Чувствительный элемент состоит из печатной платы, на верхней стороне которой размещаются два СВЧ-резонатора, включающих одну общую диэлектрическую подложку с осажденной на ее нижней стороне тонкой магнитной пленкой. Сверху над диэлектрической подложкой

размещаются под оптимальным углом друг к другу проводники СВЧ-резонаторов. Между этими проводниками размещается короткозамкнутый с обеих сторон на землю отрезок полоскового проводника, ослабляющий связь между СВЧ-резонаторами. С помощью магнитной системы в плоскости пленки формируется постоянное магнитное поле смещения. Техническим результатом является повышение чувствительности устройства. 4 ил.

RU 2 706 436 C1

RU 2 706 436 C1



*Фиг. 1*

RU 2706436 C1

RU 2706436 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01R 33/05 (2019.05)*

(21)(22) Application: **2019110902, 11.04.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**11.04.2019**

Registration date:  
**19.11.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **11.04.2019**

(45) Date of publication: **19.11.2019 Bull. № 32**

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str.  
38, IF SO RAN, otdel patentnoj i izobretatelskoj  
raboty**

(72) Inventor(s):

**Babitskij Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Belyaev Boris Afanasevich (RU),  
Boev Nikita Mikhajlovich (RU),  
Izotov Andrej Viktorovich (RU),  
Kleshnina Sofya Andreevna (RU),  
Burmitskikh Anton Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj  
issledovatel'skij tsentr "Krasnojarskij nauchnyj  
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii  
nauk" (RU)**

(54) **SENSITIVE ELEMENT OF THIN-FILM MAGNETOMETER**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment, and more specifically – is intended for measurement of weak magnetic fields, and can be used in magnetometry. Sensitive element consists of a printed-circuit board, on the upper side of which there are two microwave resonators, which include one common dielectric substrate with a thin magnetic film deposited on its lower side. Conductors of microwave

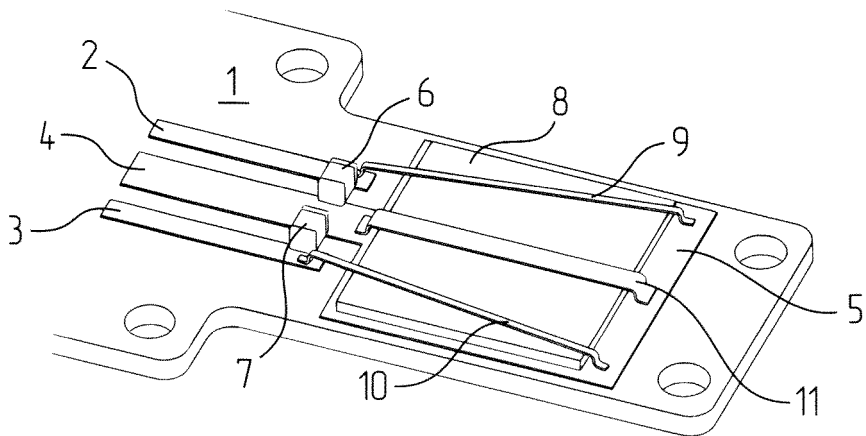
resonators are placed above the dielectric substrate at optimum angle to each other. Between these conductors there is a strip-conductor section short-circuited on both sides to the ground, which attenuates communication between microwave resonators. Using a magnetic system, a continuous bias magnetic field is formed in the film plane.

EFFECT: increased sensitivity of the device.

1 cl, 4 dwg

RU 2 706 436 C1

RU 2 706 436 C1



*Фиг. 1*

RU 2706436 C1

RU 2706436 C1

Изобретение относится к измерительной технике, а более конкретно - предназначено для измерения слабых магнитных полей и может использоваться в магнитометрии.

Известен датчик слабых высокочастотных магнитных полей [Патент РФ №2536083, МПК G01R 33/05, G01R 33/24, опубл. 20.12.2014], содержащий диэлектрическую подложку, на верхней стороне которой нанесены полосковые проводники двух микрополосковых резонаторов. На нижней стороне подложки осаждена магнитная пленка, покрытая металлическим слоем, выполняющим роль экрана. Проводники резонаторов расположены под оптимальным углом друг к другу, обеспечивающим максимальную чувствительность датчика. Сигнал от СВЧ-генератора подается одновременно на оба резонатора. К каждому резонатору подключен свой амплитудный детектор, причем амплитудные детекторы первого и второго резонаторов работают в противофазе. Выходные сигналы амплитудных детекторов поступают на суммирующий усилитель, при этом измеряемые сигналы суммируются, а амплитудные шумы генератора частично компенсируются.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является малогабаритный высокочастотный магнитометр [Патент РФ №163174, G01R 33/05, опубл. 10.07.2016 (прототип)], содержащий многослойную печатную плату, на которой размещена диэлектрическая подложка с нанесенными на ней отрезками полосковых линий двух микрополосковых резонаторов. На нижней стороне подложки, обращенной к заземляемому экрану печатной платы, осаждена тонкая магнитная пленка. Возбуждение двух резонаторов осуществляется одним общим СВЧ-генератором, размещенным на печатной плате под экраном. Амплитуды сигналов на двух микрополосковых резонаторах измеряются двумя амплитудными детекторами, причем амплитудные детекторы первого и второго микрополосковых резонаторов включены в противофазе. Выходные сигналы амплитудных детекторов поступают на суммирующий операционный усилитель, на котором происходит сложение измеряемых сигналов и частичная компенсация амплитудных шумов собственного СВЧ-генератора. Постоянное поле смещения в области размещения магнитной пленки создается системой из постоянных магнитов. Для стабилизации параметров магнитометра используется компенсационная система измерений, причем компенсационная катушка предназначена для компенсации только низкочастотных полей и выполнена в виде печатной индуктивности на нескольких слоях многослойной печатной платы.

Общим недостатком известной конструкции и конструкции-прототипа является низкая чувствительность, что обусловлено неполной компенсацией шумов собственного СВЧ-генератора. Чувствительные элементы в известных конструкциях размещены рядом, чтобы в случае измерения параметров неоднородных магнитных полей, они находились под одинаковым воздействием измеряемого поля. При этом между двумя микрополосковыми резонаторами образуется индуктивная связь, которая в значительной мере снижает возможность сложения измеряемых сигналов и компенсации амплитудных шумов собственного СВЧ-генератора на суммирующем усилителе.

Техническим результатом заявленного технического решения является повышения чувствительности устройства.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в чувствительном элементе тонкопленочного магнитометра, содержащем печатную плату, на верхней стороне которой размещены два СВЧ-резонатора, включающих одну общую диэлектрическую подложку, на нижней стороне которой осаждена тонкая магнитная пленка, а с верхней стороны размещены СВЧ-проводники резонаторов, магнитную систему, формирующую постоянное поле смещения в плоскости пленки, новым является то, что дополнительно

имеется короткозамкнутый с обеих сторон на землю отрезок полоскового проводника, расположенный по центру диэлектрической подложки между двумя СВЧ-резонаторами.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием дополнительного полоскового проводника, размещенного по 5 центру между двумя СВЧ-резонаторами. Существенным отличием является то, что этот проводник с обеих сторон замкнут накоротко на землю. Указанные отличия позволяют значительно снизить связь между СВЧ-резонаторами и, как следствие, скомпенсировать шумы собственного СВЧ-генератора на суммирующем усилителе магнитометра.

10 Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению 15 соответствие критерию «изобретательский уровень».

Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 изображен внешний вид чувствительного элемента тонкопленочного магнитометра. На фиг. 2 показан чувствительный элемент тонкопленочного магнитометра с удаленными тонкой магнитной пленкой, полосковыми проводниками и емкостями СВЧ-резонаторов. На 20 фиг. 3 показана угловая зависимость нормированной величины коэффициента преобразования чувствительного элемента тонкопленочного магнитометра. На фиг. 4 показан уровень собственных шумов заявляемой конструкции чувствительного элемента тонкопленочного магнитометра.

Чувствительный элемент тонкопленочного магнитометра содержит печатную плату 25 (1), на которой сформированы: проводник (2) от СВЧ-генератора к первому СВЧ-резонатору; проводник (3) от СВЧ-генератора ко второму СВЧ-резонатору; земляной проводник (4) от СВЧ-генератора; общий экран (5) СВЧ-резонаторов. На печатной плате (1) также размещены емкость (6) первого и емкость (7) второго СВЧ-резонаторов. Сверху над экраном (5) размещена подложка (8) с осажденной на ее нижней стороне 30 тонкой магнитной пленкой. Сверху над подложкой (8) находятся проводник (9) первого СВЧ-резонатора и проводник (10) второго СВЧ-резонатора. По центру подложки (8) размещен короткозамкнутые с обеих сторон на землю проводник (11). Направление оси легкого намагничивания тонкой магнитной пленки совпадает с направлением короткозамкнутого проводника (11). Проводники (9) и (10) СВЧ-резонаторов 35 располагаются под оптимальным углом друг к другу, обеспечивающим максимальный коэффициент преобразования чувствительного элемента [Беляев Б.А., Боев Н.М, Изотов А.В., Соловьев П.Н., Тюрнев В.В. Исследование датчика слабых магнитных полей на резонансной микрополосковой структуре с тонкой ферромагнитной пленкой // Известия высших учебных заведений: Физика. 2018. Т. 61, №8. С. 3-10], при этом коэффициенты преобразования двух СВЧ-резонаторов с пленкой имеют противоположный знак (фиг. 3). В плоскости тонкой магнитной пленки формируется постоянное магнитное поле, например, с помощью системы из постоянных магнитов, расположенной на нижней 40 стороне печатной платы (1).

Устройство работает следующим образом. Сигнал от СВЧ-генератора поступает 45 на два резонатора. Первый СВЧ-резонатор образован емкостью (6) и проводником (9), а второй СВЧ-резонатор образован емкостью (7) и проводником (10). Резонансная частота СВЧ-резонаторов подстраивается емкостями (6) и (7) и для пермалловых пленок нестрикционнного состава выбирается в диапазоне 400-800 МГц. В плоскости

тонкой магнитной пленки вдоль направления оси трудного намагничивания создается постоянное поле смещения оптимальной величины [Беляев Б.А., Боев Н.М., Изотов А.В., Соловьев П.Н., Тюрнев В.В. Исследование датчика слабых магнитных полей на резонансной микрополосковой структуре с тонкой ферромагнитной пленкой // Известия высших учебных заведений: Физика. 2018. Т. 61, №8. С. 3-10]. Измеряемое (пробное) поле подается вдоль оси легкого намагничивания тонкой магнитной пленки. Таким образом, амплитуда сигнала на СВЧ-резонаторах изменяется в соответствии с измеряемым полем, причем изменение амплитуды на первом СВЧ-резонаторе происходит в противофазе с изменением амплитуды на втором СВЧ-резонаторе. В тоже время шумы собственного СВЧ-генератора поступают в равной мере на оба СВЧ-резонатора, т. е. синфазны. Наличие короткозамкнутого проводника (11) между СВЧ-резонаторами ослабляет связь между ними. Амплитуды сигналов на СВЧ-резонаторах регистрируются с помощью амплитудных детекторов, причем детекторы включены в противофазе для инвертирования одного из сигналов. Выходные сигналы детекторов суммируются с использованием операционного усилителя, при этом полезные сигналы складываются, а шумы собственного СВЧ-генератора вычитаются.

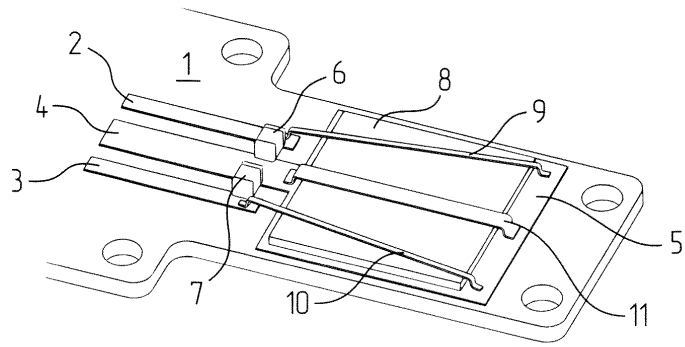
Экспериментальные исследования заявляемого чувствительного элемента тонкопленочного магнитометра показали, что по сравнению с устройством аналогичного назначения (прототип) заявляемое устройство обеспечивает меньший уровень собственных шумов (большую чувствительность). На фиг. 4 показан экспериментально измеренный уровень шума чувствительного элемента тонкопленочного магнитометра в диапазоне частот от  $10^0$  до  $10^4$  Гц. Измерения проведены в экранированной комнате с использованием низкочастотного анализатора спектра, чувствительный элемент размещался внутри четырехслойного экрана из отожженного в вакууме пермаллоя с толщиной стенок 1 мм и полезным объемом  $\sim 6$   $\text{дм}^3$ . Как видно из фиг. 4, на частоте  $10^0$  Гц чувствительность составила  $10^{-11}$  Тл/Гц $^{1/2}$ . На частотах более  $10^2$  Гц уровень собственных шумов заявляемой конструкции ниже  $10^{-12}$  Тл/Гц $^{1/2}$ , что превышает чувствительность лучших феррозондовых преобразователей, например, феррозонда Bartington Mag-13MCL100. Одновременно с этим чувствительный элемент обеспечивает широкую полосу измеряемых частот, принципиально недоступную для феррозондовых преобразователей.

Чувствительный элемент тонкопленочного магнитометра может быть использован в случаях, когда необходимо проводить измерения параметров магнитного поля в широкой полосе частот, например, от  $10^{-2}$  до  $10^6$  Гц, обеспечивая при этом высокую чувствительность - около  $10^{-13}$  Тл/Гц $^{1/2}$  на частотах выше  $10^4$  Гц.

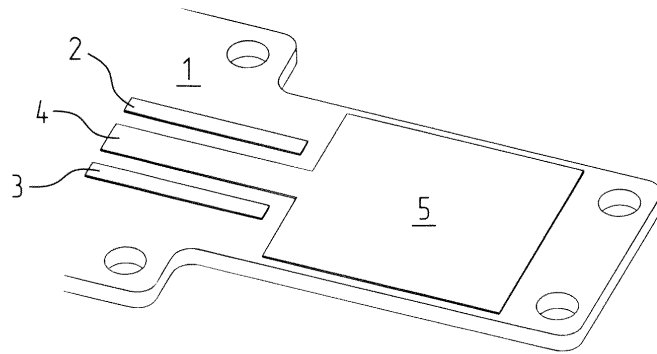
#### (57) Формула изобретения

Чувствительный элемент тонкопленочного магнитометра, содержащий печатную плату, на верхней стороне которой размещены два СВЧ-резонатора, включающих одну общую диэлектрическую подложку, на нижней стороне которой осаждена тонкая магнитная пленка, а с верхней стороны размещены СВЧ-проводники резонаторов, магнитную систему, формирующую постоянное поле смещения в плоскости пленки, отличающийся тем, что дополнительно имеется короткозамкнутый с обеих сторон на землю отрезок полоскового проводника, расположенный по центру диэлектрической подложки между двумя СВЧ-резонаторами.

1



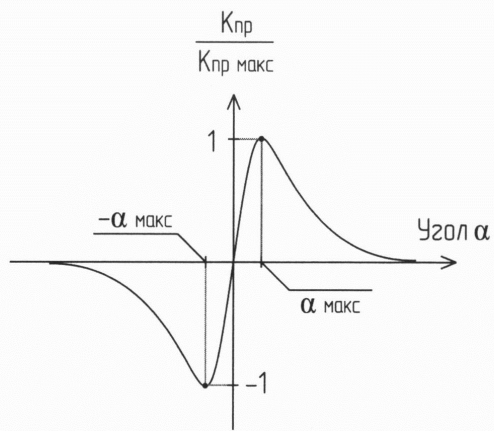
Фиг. 1



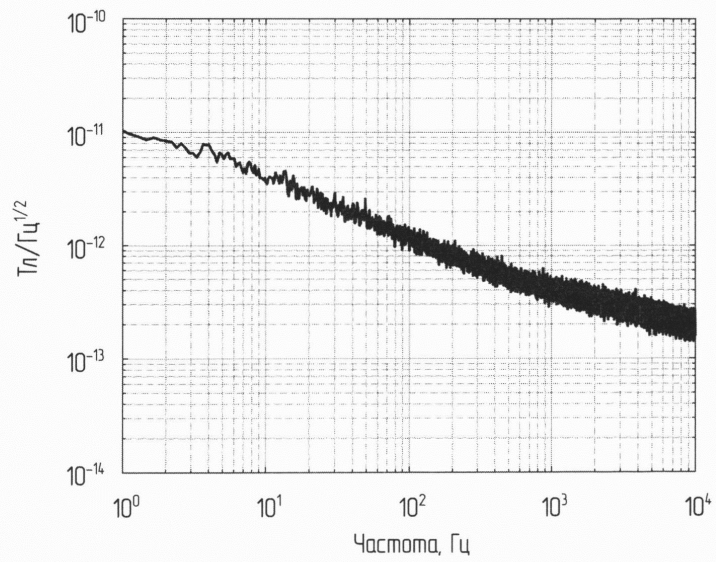
Фиг. 2

2





Фиг. 3



Фиг. 4