



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/05 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019109323, 29.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.03.2019

Дата регистрации:
25.02.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.03.2019

(45) Опубликовано: 25.02.2020 Бюл. № 6

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

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),
Боев Никита Михайлович (RU),
Изотов Андрей Викторович (RU),
Скоморохов Георгий Витальевич (RU),
Подшивалов Иван Валерьевич (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: Беляев Б.А. и др. Спектрометр
ферромагнитного резонанса. ПТЭ, 1997, 3, стр.
106-111. RU 2616854 C2, 18.04.2017. RU 114159
U1, 10.03.2012. US 5030914 A1, 09.07.1991.

(54) СВЧ-ГОЛОВКА СКАНИРУЮЩЕГО СПЕКТРОМЕТРА ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

(57) Реферат:

СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса предназначена для измерения спектров поглощения тонкопленочных магнитных образцов. Устройство содержит печатную плату, на верхней стороне которой размещены СВЧ-генератор и амплитудный детектор, а нижняя сторона служит экраном с измерительным отверстием, над которым находится одно-, двух- или многовитковый индуктивный элемент генератора. Измерительное отверстие является локализованным источником высокочастотного магнитного поля, взаимодействующего с локальным участком

исследуемого образца. Сканирование осуществляется путем перемещения и вращения образца относительно измерительного отверстия. Резонансное поглощение СВЧ-мощности образцом регистрируется амплитудным детектором по изменению амплитуды колебаний СВЧ-генератора при развертке постоянного магнитного поля. Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение чувствительности в диапазоне частот 0.1-1.5 ГГц более чем на порядок, упрощение конструкции, а также повышение технологичности изготовления и настройки. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 715 082** (13) **C1**(51) Int. Cl.
G01R 33/05 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
G01R 33/05 (2019.08)(21)(22) Application: **2019109323, 29.03.2019**(24) Effective date for property rights:
29.03.2019Registration date:
25.02.2020

Priority:

(22) Date of filing: **29.03.2019**(45) Date of publication: **25.02.2020** Bull. № 6

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Belyaev Boris Afanasevich (RU),
Boev Nikita Mikhajlovich (RU),
Izotov Andrej Viktorovich (RU),
Skomorokhov Georgij Vitalevich (RU),
Podshivalov Ivan Valerevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (RU)**(54) **UHF HEAD OF A FERROMAGNETIC RESONANCE SCANNING SPECTROMETER**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: high-frequency head of the scanning ferromagnetic resonance spectrometer is designed to measure the absorption spectra of thin-film magnetic samples. Device contains a printed-circuit board, on the upper side of which there is a microwave generator and an amplitude detector, and the lower side is a screen with a measurement hole, above which there is a single-, double- or multiple-turn inductive element of the generator. Measuring hole is a localized source of a high-frequency magnetic field interacting with a local section of the analyzed sample. Scanning is carried out

by moving and rotating the sample relative to the measuring hole. Resonant absorption of UHF power by the sample is detected by an amplitude detector from the change in the amplitude of oscillations of the microwave generator during scanning of the constant magnetic field.

EFFECT: technical result of invention is higher sensitivity in frequency range 0,1–1,5 GHz by more than an order, simplification of design, as well as improved manufacturability and adjustment.

3 cl, 3 dwg

RU 2 715 082 C1

RU 2 715 082 C1

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для неразрушающего контроля качества и однородности магнитных пленок путем регистрации (записи) спектров ферромагнитного резонанса от локальных участков тонкопленочных образцов.

5 Известно устройство [Frait Z., Kambersky V., Malek Z., Ondris M. Local variations of uniaxial anisotropy in thin films // Czechosl. Journ. Phys. 1960. Vol. 10. P. 616-617], предназначенное для измерений параметров ферромагнитного резонанса (ФМР) от различных локальных участков образца тонкой магнитной пленки (ТМП). В устройстве в качестве чувствительного элемента используется объемный резонатор на частоте ~10
10 ГГц с колебаниями типа H_{111} , который имеет в центре стенки измерительное отверстие диаметром ~0.1 мм. Образец ТМП прикладывается к отверстию с внешней стороны полости резонатора, может перемещаться и вращаться в плоскости. По угловым зависимостям параметров ФМР определяются основные магнитные характеристики локального участка исследуемого образца ТМП: эффективная намагниченность
15 насыщения, параметр затухания, магнитная анизотропия и др. Путем сканирования измерительного отверстия по образцу снимаются распределения магнитных характеристик по площади ТМП. Чувствительность устройства пропорциональна отношению Q/V [Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Том I: пер. с англ. М.: Мир, 1972. 651 с.], где Q - добротность
20 резонатора; V - эффективный объем СВЧ-резонатора.

Известен также микроволновый магнитный микроскоп, работающий на частоте ~10 ГГц [Sooho R.F. A microwave magnetic microscope // Jour. Appl. Phys., Suppl. 1962. Vol. 33 (3). P. 1276-1277], представляющий собой сканирующий спектрометр ФМР, позволяющий
25 проводить измерение резонансных параметров на локальных участках ТМП, по которым определяются магнитные характеристики этих участков. Исследуемый образец размещается с внешней стороны задней стенки резонатора, имеющей в центре небольшое отверстие, благодаря которому только малый локальный участок образца подвержен непосредственному действию микроволнового поля резонатора. Спектр ФМР снимается
30 путем изменения постоянного магнитного поля, приложенного к образцу ортогонально высокочастотному магнитному полю резонатора. Перемещая образец относительно отверстия в резонаторе, можно измерять распределения магнитных характеристик по площади ТМП.

Недостатком описанных выше устройств является низкая чувствительность, обусловленная большим объемом измерительного резонатора и, как следствие, малым
35 отношением Q/V . Чувствительность этих устройств уменьшается при снижении частоты полого резонатора за счет увеличения его объема. Например, при снижении частоты с 10 до 3 ГГц чувствительность падает больше, чем на порядок. Очевидно, что магнитные характеристики ТМП должны измеряться в частотном диапазоне, соответствующем
40 рабочим частотам пленок в конкретных устройствах. Существует ряд применений ТМП, например, в датчиках слабых магнитных полей [Бабицкий А.Н., Беляев Б.А., Боев Н.М., Скоморохов Г.В., Изотов А.В., Галеев Р.Г. Магнитометр слабых квазистационарных и высокочастотных полей на резонансных микрополосковых преобразователях с тонкими магнитными пленками // Приборы и техника эксперимента. 2016. №3. С. 96-104.], возбуждение ТМП в которых происходит на частотах в диапазоне
45 0.4-0.8 ГГц. Предельная чувствительность таких магнитометров ограничивается главным образом угловой дисперсией поля анизотропии ТМП [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.]. Существует также множество других применений ТМП, где используются частоты возбуждения в диапазоне 0.1-1.5 ГГц. Таким образом, особую важность имеет возможность проведения качественных измерений в диапазоне частот 0.1-1.5 ГГц.

5 Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса [Беляев Б.А., Лексиков А.А., Макиевский И.Я., Тюрнев В.В. Спектрометр ферромагнитного резонанса // ПТЭ. 1997. №3. С. 106-111 (прототип)], представляющая собой корпус, внутри которого размещается микрополосковый резонатор с измерительным отверстием,
10 вытравленным в металлизации его экрана. Микрополосковый резонатор является задающим контуром транзисторного СВЧ-генератора. К резонатору подключается амплитудный детектор (АД), с которого снимается сигнал, пропорциональный величине поглощения СВЧ-мощности участком пленки, расположенным под отверстием резонатора. Данная конструкция выбрана прототипом заявленного изобретения.

15 Недостатками конструкции прототипа является низкая чувствительность в диапазоне от 0.1 до 1.5 ГГц, а также сложность изготовления и настройки, что связано с трудностями изготовления компактных микрополосковых резонаторов на частоты ниже 1.5 ГГц.

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение
20 чувствительности в диапазоне частот 0.1-1.5 ГГц более чем на порядок, упрощение конструкции, а также повышение технологичности изготовления и настройки.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в СВЧ-головке сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса, содержащей резонатор с измерительным отверстием, СВЧ-генератор и амплитудный детектор, новым является то, что элементы
25 СВЧ-генератора и амплитудного детектора размещены на верхней стороне печатной платы, а нижняя металлизированная сторона платы является экраном и имеет измерительное отверстие, сверху над которым размещен одно-, двух- или многовитковый индуктивный элемент резонатора СВЧ-генератора.

А также тем, что индуктивный элемент может быть выполнен из проволоки.

30 А также тем, что индуктивный элемент может быть бескаркасным или на основе каркаса.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием печатной платы, на верхней стороне которой размещаются элементы СВЧ-генератора и АД, а на нижней стороне - экран с измерительным
35 отверстием. Существенным отличием является размещение сверху над измерительным отверстием одно-, двух- или многовитковой индуктивности, являющейся индуктивностью резонатора СВЧ-генератора.

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

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

Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 представлена электрическая
45 принципиальная схема СВЧ-головки сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса. На фиг. 2 показана печатная плата, на верхней стороне которой размещены элементы СВЧ-генератора и АД, а нижняя сторона является экраном с измерительным отверстием, сверху над которым размещается одно-, двух- или многовитковая

индуктивность. На фиг. 3 отображены результаты экспериментальных измерений магнитных характеристик тонкопленочного образца с использованием предложенной конструкции СВЧ-головки: а - распределение величины поля анизотропии и б - распределение угла поля анизотропии по площади образца.

5 СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса содержит (фиг. 1) транзисторный СВЧ-генератор (1), индуктивным элементом резонатора которого служит одно-, двух- или многовитковая индуктивность (2), размещенная над измерительным отверстием (3). Диаметр измерительного отверстия определяет площадь исследуемой локальной области образца ТМП. Амплитудный детектор (4) своим входом
10 подключен к резонатору СВЧ-генератора (1). Сигнал АД (4) является выходным сигналом устройства. Элементы СВЧ-генератора (1), АД (4) и индуктивность (2) размещены (фиг. 2) на верхней стороне печатной платы (5). На нижней стороне печатной платы (5) сформирован экран (6) с измерительным отверстием (3). Индуктивность (2) размещается точно над измерительным отверстием (3) и может быть одно- двух- или
15 многовитковой; может быть бескаркасной или на основе каркаса; может быть проволочной или сформированной в виде отрезков проводников на разных слоях печатной платы, при этом отрезки между собой могут соединяться переходными отверстиями.

Устройство работает следующим образом. Транзисторный СВЧ-генератор (1)
20 возбуждает колебания в резонаторе, индуктивная часть которого выполнена в виде одно-, двух- или многовитковой индуктивности (2), размещенной над измерительным отверстием (3) в экране (6), образованном металлизацией на нижней поверхности печатной платы (5). Вблизи измерительного отверстия (3) локализуется высокочастотное магнитное поле. ТМП размещается со стороны экрана исследуемым участком к
25 измерительному отверстию (6). Переменное магнитное поле взаимодействует с локальной областью исследуемого образца. При развертке постоянного магнитного поля, ортогонального направлению переменного поля, происходит поглощение электромагнитной энергии образцом в условиях ФМР, что приводит к изменению амплитуды колебаний генератора, фиксируемого АД (4). Выходной сигнал АД (4),
30 пропорциональный величине поглощения СВЧ-мощности образцом, поступает в блок обработки сигналов сканирующего спектрометра ФМР. Сканирование осуществляется путем перемещения и вращения исследуемого тонкопленочного образца относительно измерительного отверстия (3).

Предложенная конструкция СВЧ-головки сканирующего спектрометра ФМР может
35 быть использована для измерения различных магнитных характеристик тонкопленочных образцов на низких частотах. Пример измерений распределений магнитных характеристик по площади ТМП показан на фиг. 3: а - распределение величины поля анизотропии; б - распределение угла поля анизотропии. Измерения проведены для образца ТМП состава $Ni_{75}Fe_{25}$ с числом слоев $2 \times 1000 \text{ \AA}$. Можно отметить, что
40 наибольшие отклонения характеристик поля анизотропии наблюдаются на краях ТМП. Результаты измерений позволяют оценить дисперсию магнитных характеристик по площади образца и дают информацию, необходимую при отработке технологии получения ТМП.

Экспериментальные исследования заявленной СВЧ-головки сканирующего
45 спектрометра ФМР показали увеличение чувствительности на частотах в диапазоне 0.1-1.5 ГГц более чем в 10 раз по сравнению с известным устройством (прототипом). Кроме того, заявленное устройство является более простым и технологичным в изготовлении и в настройке.

(57) Формула изобретения

1. СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса, содержащая резонатор с измерительным отверстием, СВЧ-генератор и амплитудный детектор, отличающаяся тем, что элементы СВЧ-генератора и амплитудного детектора размещены на верхней стороне печатной платы, а нижняя металлизированная сторона платы является экраном и имеет измерительное отверстие, сверху над которым размещен одно-, двух- или многovitковый индуктивный элемент резонатора СВЧ-генератора.

2. СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса по п. 1, отличающаяся тем, что индуктивный элемент выполнен из проволоки.

3. СВЧ-головка сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что индуктивный элемент выполнен бескаркасным или на основе каркаса.

15

20

25

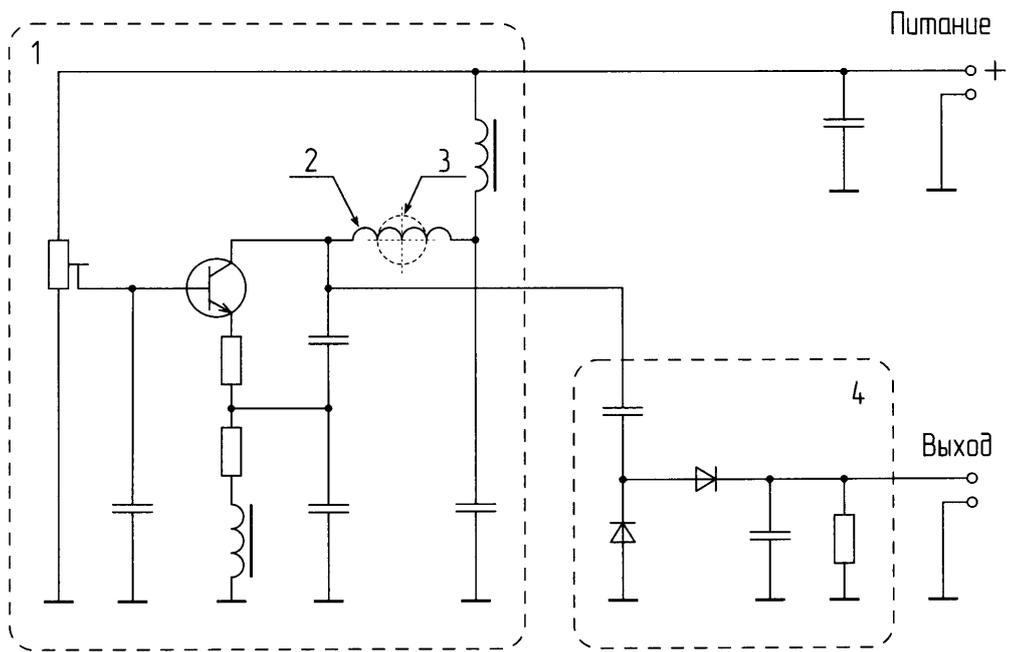
30

35

40

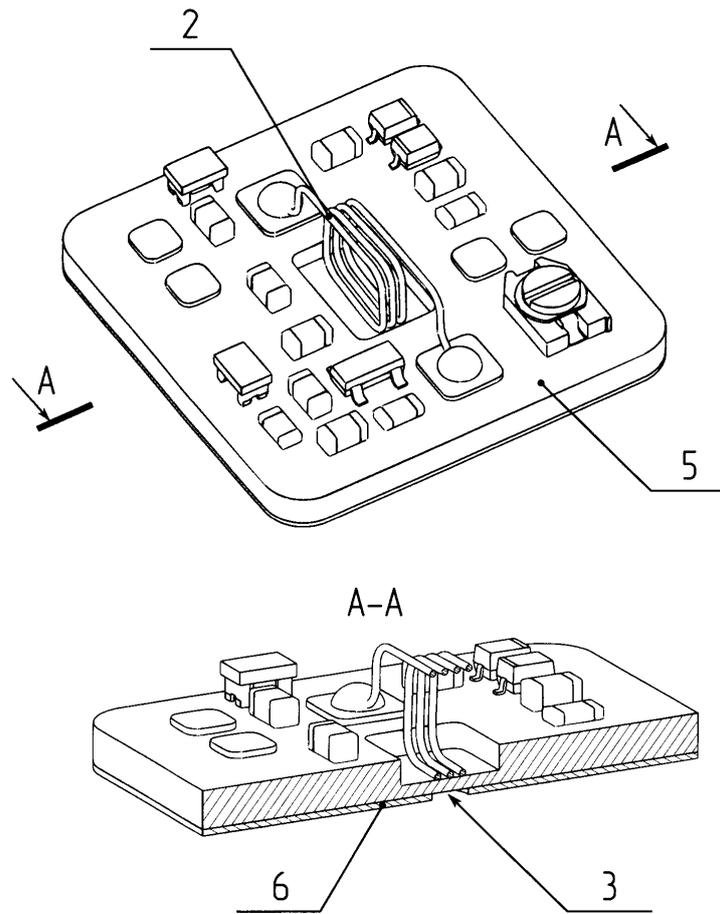
45

1

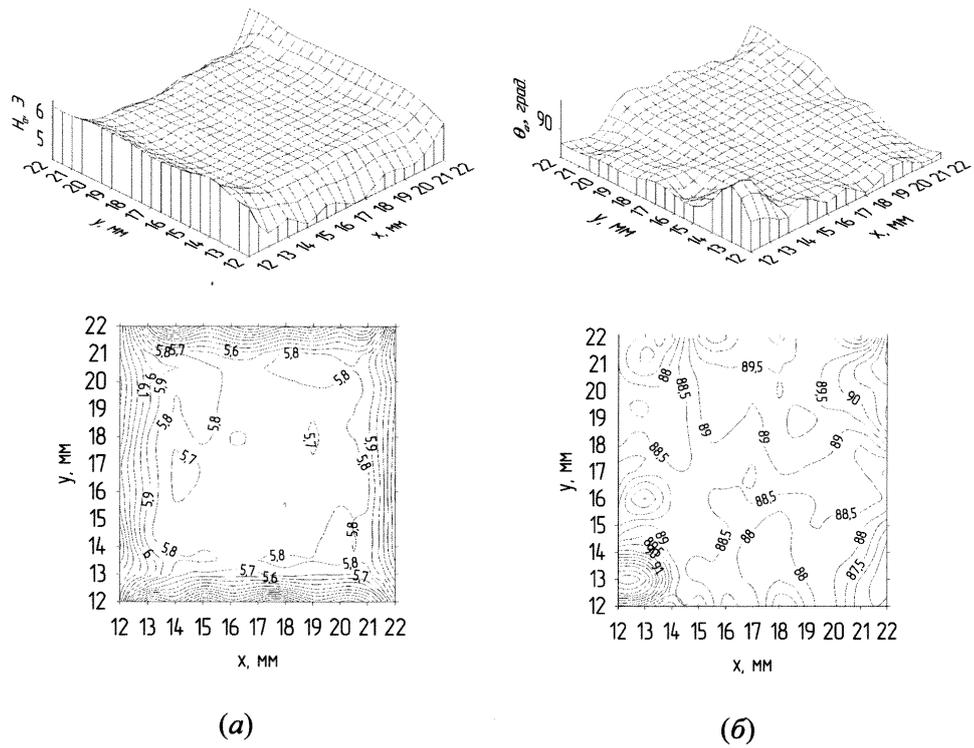


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3