



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/20 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019109336, 29.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.03.2019

Дата регистрации:
26.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.03.2019

(45) Опубликовано: 26.11.2019 Бюл. № 33

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: RU 2160441 C2, 10.12.2000. RU 114159
U1, 10.03.2012. SU 917150 A1, 30.03.1982. US
5030914 A1, 09.07.1991. US 7034550 B2,
25.04.2006.

(54) ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СКАНИРУЮЩЕГО СПЕКТРОМЕТРА ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА С ЧАСТОТНОЙ ПОДСТРОЙКОЙ

(57) Реферат:

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. Чувствительный элемент сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса с частотной подстройкой содержит СВЧ-генератор с задающим резонатором, амплитудный детектор и взаимодействующий с измеряемым участком образца элемент, выполненный в виде экрана с измерительным отверстием, размещенным под

резонатором, при этом над измерительным отверстием располагается индуктивный элемент задающего резонатора СВЧ-генератора, причем СВЧ-генератор дополнительно содержит один или более варикапов, предназначенных для подстройки частоты задающего резонатора и для регулировки коэффициента положительной обратной связи, а также дополнительно содержит вход для регулировки тока базы транзистора. Технический результат – возможность частотной подстройки чувствительного элемента сканирующего спектрометра ФМР. 2 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 33/20 (2019.05)

(21)(22) Application: **2019109336, 29.03.2019**

(24) Effective date for property rights:
29.03.2019

Registration date:
26.11.2019

Priority:

(22) Date of filing: **29.03.2019**

(45) Date of publication: **26.11.2019 Bull. № 33**

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 byudzhethoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (RU)**

(54) **SENSITIVE ELEMENT OF A FERROMAGNETIC RESONANCE SCANNING SPECTROMETER WITH FREQUENCY TUNING**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and is intended for nondestructive quality control and homogeneity of magnetic films by recording ferromagnetic resonance spectra from local sections of thin-film samples. Sensitive element of a ferromagnetic resonance scanning spectrometer with frequency tuning comprises a microwave generator with a driving resonator, amplitude detector and an element interacting with the measured sample area, made in the form of a screen with a measuring hole placed under the resonator,

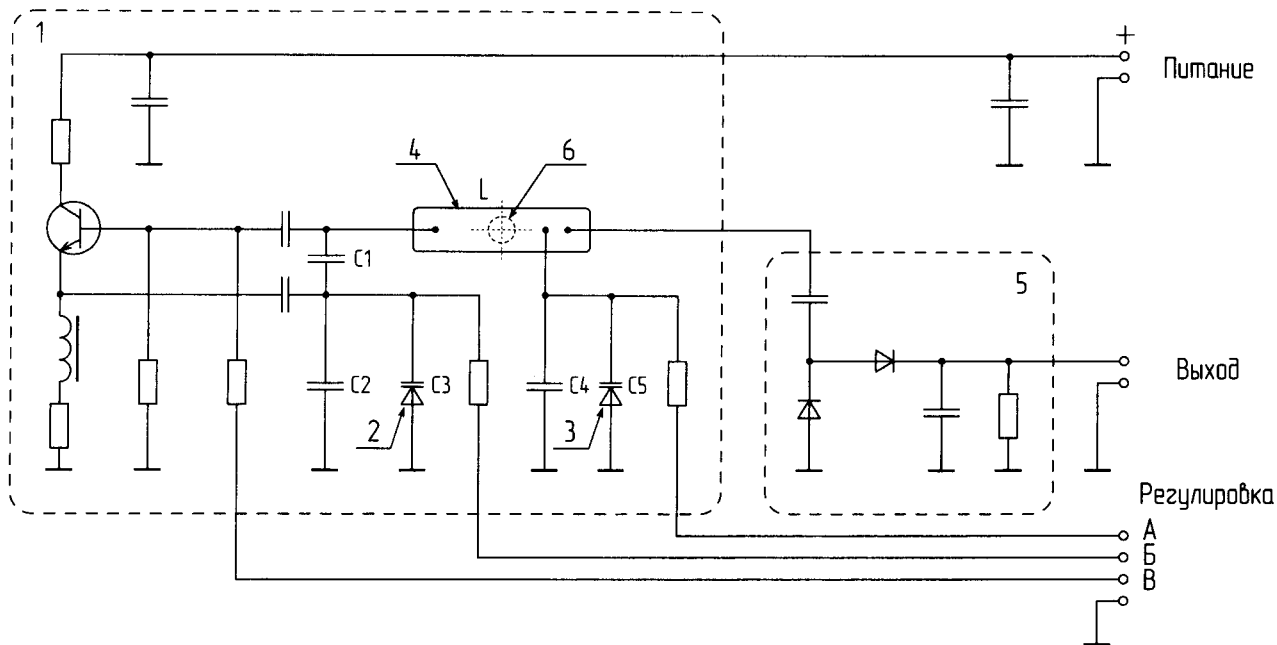
wherein above the measuring hole there is an inductive element of the driving resonator of the microwave generator, wherein the microwave generator additionally contains one or more varicaps designed to adjust the frequency of the driving resonator and to adjust the positive feedback coefficient, and additionally comprises an input for adjusting the base current of the transistor.

EFFECT: possibility of frequency adjustment of sensitive element of FMR scanning spectrometer.

1 cl, 2 dwg

RU 2 707 421 C1

RU 2 707 421 C1



Фиг. 1

RU 2707021 C1 1247021 C1

RU 2707421 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 образцов тонких магнитных пленок (ТМП). В качестве чувствительного элемента в устройстве используется объемный резонатор на частоте
10 ~ 10 ГГц с колебаниями типа H_{111} , который имеет в центре стенки измерительное отверстие диаметром около 0.1 мм. Исследуемый образец прикладывается к отверстию с внешней стороны полости резонатора. Сканирование осуществляется путем перемещения и вращения образца относительно измерительного отверстия. По угловым зависимостям параметров ФМР определяются основные магнитные характеристики
15 локального участка исследуемого образца ТМП: эффективная намагниченность насыщения, параметр затухания, магнитная анизотропия и др. 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 резонатора; V - эффективный объем СВЧ-резонатора.

20 Известен также микроволновый магнитный микроскоп, работающий на частоте ~ 10 ГГц [SooHoR. F. A microwave magnetic microscope // Jour. Appl. Phys., Suppl. 1962. Vol. 33(3). P. 1276-1277], представляющий собой сканирующий спектрометр ФМР, позволяющий проводить измерение резонансных параметров

локальных участков образцов ТМП, на основе которых определяются магнитные
25 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 высокочастотного поля резонатора. Спектр ФМР снимается путем изменения
30 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.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является чувствительный элемент сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса
35 [Беляев Б. А., Лексиков А.А., Макиевский И.Я., Тюрнев В.В. Спектрометр ферромагнитного резонанса // ПТЭ. 1997. №3. С. 106-111 (прототип)], представляющий собой корпус, внутри которого размещается микрополосковый резонатор с измерительным отверстием, вытравленным в металлизации его экрана.

Микрополосковый резонатор является задающим контуром транзисторного СВЧ-
40 генератора. К резонатору подключается амплитудный детектор (АД), с которого снимается сигнал, пропорциональный величине поглощения СВЧ-мощности участком пленки, расположенным под отверстием резонатора. Сканирование осуществляется путем перемещения и вращения исследуемого образца относительно измерительного отверстия. Данная конструкция выбрана прототипом заявленного изобретения.

45 Недостатком описанных выше устройств, в том числе конструкции-прототипа, является фиксированная частота высокочастотного магнитного поля резонатора. Для обеспечения высокой чувствительности в этих устройствах используют объемные или микрополосковые резонаторы с высокой добротностью, работающие на фиксированных

частотах, что не позволяет проводить измерения частотных зависимостей магнитных характеристик на локальных участках ТМП. Тогда как известны применения магнитных пленок, 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 оптимальной частоте в диапазоне 0.4-0.8 ГГц. Особую важность для обеспечения предельной чувствительности датчиков слабых магнитных полей имеет задача определения магнитных характеристик ТМП во всем диапазоне частот для выбора оптимальной рабочей частоты.

Техническим результатом заявляемого изобретения является обеспечение возможности частотной подстройки чувствительного элемента сканирующего спектрометра ФМР.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в чувствительном элементе сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса с частотной подстройкой, содержащем СВЧ-генератор с задающим резонатором, амплитудный детектор и взаимодействующий с измеряемым участком образца элемент, выполненный в виде экрана с измерительным отверстием, размещенным под резонатором, новым является то, что над измерительным отверстием располагается индуктивный элемент задающего резонатора СВЧ-генератора, причем СВЧ-генератор дополнительно содержит один или более варикапов, предназначенных для подстройки частоты задающего резонатора и для регулировки коэффициента положительной обратной связи, а также дополнительно содержит вход для регулировки тока базы транзистора.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием индуктивного элемента задающего резонатора СВЧ-генератора, расположенного над измерительным отверстием, а также наличием варикапов, предназначенных для подстройки частоты задающего резонатора и для регулировки коэффициента положительной обратной связи. Существенное отличие заключается в том, что одновременно с подстройкой частоты задающего резонатора осуществляется регулировка коэффициента положительной обратной связи и режима работы СВЧ-генератора - это позволяет для каждого значения рабочей частоты чувствительного элемента выбирать оптимальный режим работы по критерию максимума отношения сигнал/шум.

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 соответствие критерию «изобретательский уровень».

Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 представлена электрическая принципиальная схема чувствительного элемента сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса с частотной подстройкой, а на фиг.2 показана его конструкция.

Чувствительный элемент сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса с частотной подстройкой содержит (фиг.1) транзисторный СВЧ-генератор (1) по схеме Клаппа с общим эмиттером и заземленным коллектором. СВЧ-генератор (1) включает задающий резонатор с высокодобротными варикапами (2, 3) и индуктивным элементом (4). Амплитудный детектор (5) своим входом подключен к резонатору СВЧ-генератора

(1), а его выходной сигнал является выходным сигналом устройства. Под индуктивным элементом (4) задающего резонатора размещается измерительное отверстие (6), вытравленное (фиг. 2) в экране (7). Исследуемый образец размещается вблизи измерительного отверстия (6), диаметр которого определяет площадь исследуемой локальной области образца ТМП. Электрорадиоизделия устройства размещаются на верхней стороне печатной платы (8), закрепляемой в корпусе (9). Корпус (9) устанавливается в сканирующий спектрометр ферромагнитного резонанса с помощью полого штока, внутри которого прокладываются провода питания и провода, соединяющие выход амплитудного детектора (6) с блоком обработки сигналов сканирующего спектрометра ФМР.

Устройство работает следующим образом. Транзисторный СВЧ-генератор (1) возбуждает колебания в задающем резонаторе, индуктивная часть (4) которого размещается над измерительным отверстием (6) в экране (7). Частота возбуждения СВЧ-генератора определяется из выражения $\omega^2 = [1/C1 + 1/(C2+C3) + 1/(C4+C5)]/L$, где $C1$ и $(C2+C3)$ - емкости обратной связи, $(C4+C5)$ - емкость резонатора, L - индуктивность резонатора. Вблизи измерительного отверстия (6) локализуется высокочастотное магнитное поле. ТМП размещается со стороны экрана (7) исследуемым участком к 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 (5). Выходной сигнал АД (5), 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 (6) со стороны экрана (7). Частотное сканирование осуществляется путем подачи регулирующих напряжений на входы А, Б и В. Причем заранее для каждого значения частоты (регулируется напряжениями на варикапах (2, 3), подаваемыми на входы А и Б), определяются оптимальное значение коэффициента положительной обратной связи (регулируется напряжением на входе Б) и оптимальный режим работы СВЧ-генератора (определяется напряжением на входе В) по критерию максимума отношения сигнал/шум чувствительного элемента.

Предложенная конструкция чувствительного элемента сканирующего спектрометра ФМР с частотной подстройкой может быть использована для измерения частотных зависимостей различных магнитных характеристик тонкопленочных образцов. Экспериментальные исследования заявленного чувствительного элемента сканирующего спектрометра ФМР с частотной подстройкой показали возможность измерения частотных зависимостей в диапазоне $f_0 \pm 10\%$.

(57) Формула изобретения

Чувствительный элемент сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса с частотной подстройкой, содержащий СВЧ-генератор с задающим резонатором, амплитудный детектор и взаимодействующий с измеряемым участком образца элемент, выполненный в виде экрана с измерительным отверстием, размещенным под резонатором, отличающийся тем, что над измерительным отверстием располагается индуктивный элемент задающего резонатора СВЧ-генератора, причем СВЧ-генератор дополнительно содержит один или более варикапов, предназначенных для подстройки частоты задающего резонатора и для регулировки коэффициента положительной

обратной связи, а также дополнительно содержит вход для регулировки тока базы транзистора.

5

10

15

20

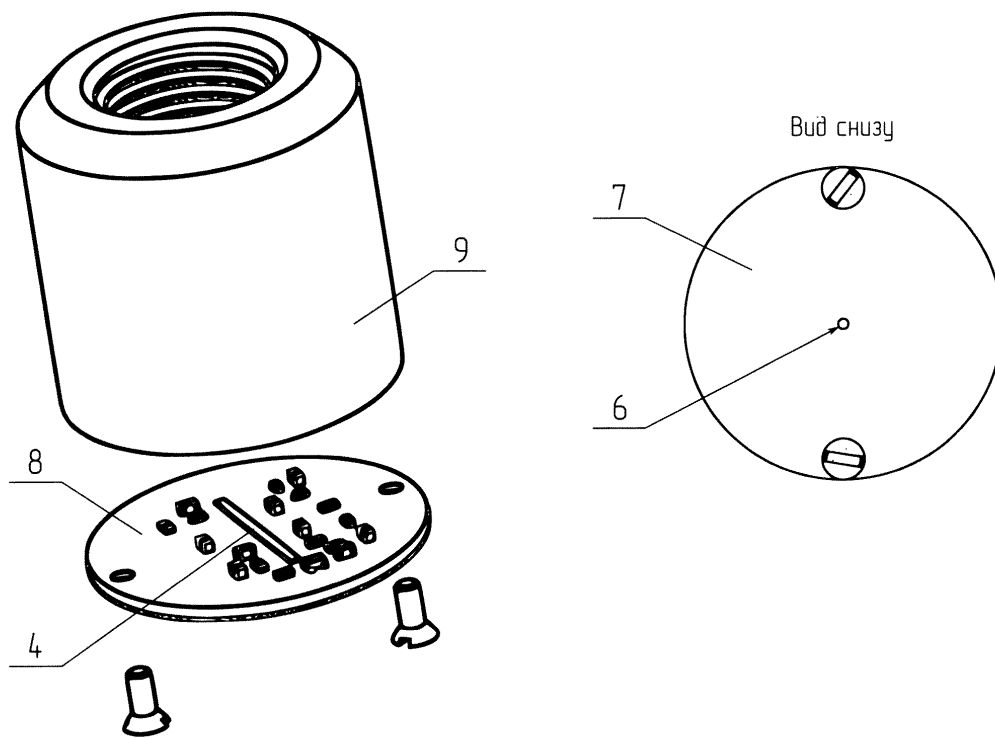
25

30

35

40

45



Фиг. 2