



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/05 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020133596, 13.10.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.10.2020

Дата регистрации:
11.05.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.10.2020

(45) Опубликовано: 11.05.2021 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

660036, Красноярский край, г. Красноярск, ул.
Академгородок, 50, Горяева Наталья
Геннадьевна

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),
Боев Никита Михайлович (RU),
Бурмитских Антон Владимирович (RU),
Изотов Андрей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

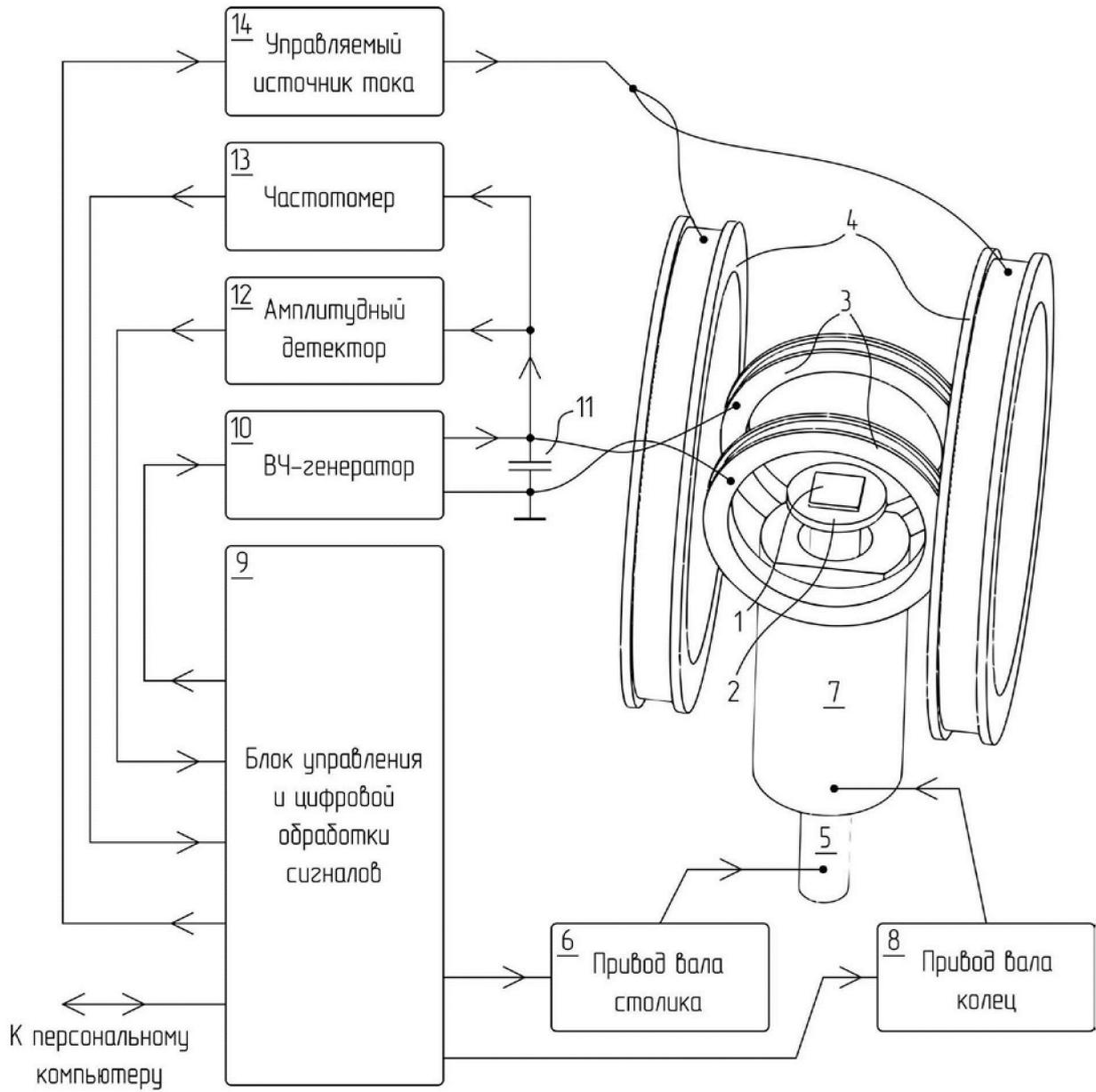
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Nasty E. Turner, Boudreaux J. Lee,
Ferromagnetic Resonance in Thin Magnetic Films
at Radio Frequencies, Journal of Applied Physics,
Vol. 32, No. 10, 1961, P. 1807. RU 2160441 C2,
10.12.2000. SU 1065750 A1, 07.01.1984. SU 411402
A1, 15.01.1974. US 3986181 A, 12.10.1976.

(54) Устройство для измерения параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах

(57) Реферат:

Использование: для измерения параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах. Сущность изобретения заключается в том, что устройство для измерения параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах содержит ВЧ-генератор, измерительные катушки, являющиеся частью резонансного контура ВЧ-генератора, кольца Гельмгольца, формирующие постоянное магнитное поле, при этом устройство дополнительно содержит блок управления и

цифровой обработки сигналов, который посредством приводов может независимо вращать столик с исследуемым образцом тонкой магнитной пленки и измерительную катушку, а также может изменять коэффициент обратной связи ВЧ-генератора, работающего в автодинном режиме. Технический результат: повышение чувствительности устройства, обеспечение возможности точной угловой подстройки положения как исследуемого образца тонкой магнитной пленки, так и измерительных колец Гельмгольца. 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 747 595** (13) **C1**(51) Int. Cl.
G01R 33/05 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
G01R 33/05 (2021.02)(21)(22) Application: **2020133596, 13.10.2020**(24) Effective date for property rights:
13.10.2020Registration date:
11.05.2021

Priority:

(22) Date of filing: **13.10.2020**(45) Date of publication: **11.05.2021 Bull. № 14**

Mail address:

**660036, Krasnoyarskij kraj, g. Krasnoyarsk, ul.
Akademgorodok, 50, Goryaeva Natalya
Gennadevna**

(72) Inventor(s):

**Beliaev Boris Afanasevich (RU),
Boev Nikita Mikhailovich (RU),
Burmitskikh Anton Vladimirovich (RU),
Izotov Andrei Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyi
issledovatel'skii tsentr "Krasnoiarskii nauchnyi
tsentr "Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii
nauk" (RU)**(54) **DEVICE FOR MEASURING PARAMETERS OF THIN MAGNETIC FILMS BY METHOD OF FERROMAGNETIC RESONANCE AT RADIO FREQUENCIES**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention is used for measuring the parameters of thin magnetic films by the method of ferromagnetic resonance at radio frequencies. The essence of the invention lies in the fact that the device for measuring the parameters of thin magnetic films by the method of ferromagnetic resonance at radio frequencies has an RF generator, measuring coils that are part of the resonant circuit of the RF generator, Helmholtz rings, forming a constant magnetic field, while the device additionally contains a control unit

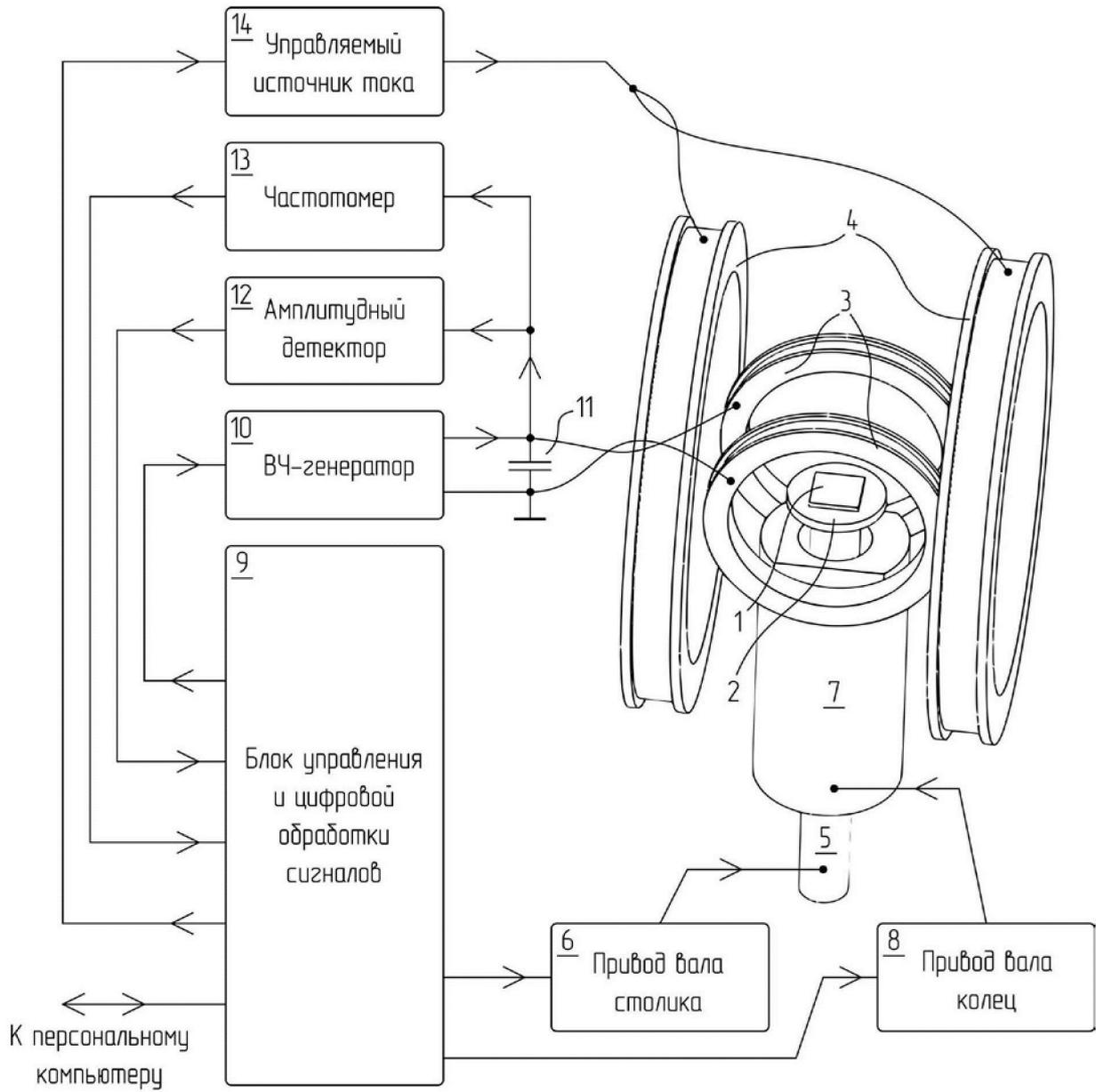
and digital signal processing, which, by means of the drives, can independently rotate the stage with the test sample of a thin magnetic film and the measuring coil, and can also change the feedback coefficient of the RF generator operating in the autodyne mode.

EFFECT: invention is aimed at increasing the sensitivity of the device, ensuring the possibility of accurate angular adjustment of the position of both the test sample of a thin magnetic film and the Helmholtz measuring rings.

1 cl, 6 dwg

RU 2 747 595 C1

RU 2 747 595 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для неразрушающего контроля качества тонких магнитных пленок путем проведения измерений их магнитных свойств методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах.

5 Известно устройство, предназначенное для проведения измерений магнитных свойств тонких магнитных пленок [Пузырев В. А. Тонкие ферромагнитные пленки в радиотехнических цепях. М.: Советское радио. 1974. 160 с.]. Устройство содержит измеритель добротности; длинную линию, соединяющую измеритель добротности с измерительной катушкой, в которую помещается исследуемый объект – тонкая
10 магнитная пленка и дополнительную систему колец Гельмгольца для намагничивания образца. Индуктивность измерительной катушки образует совместно с емкостью измерителя добротности резонансный контур. Измерения проводятся на частоте 10 МГц. Изменяя постоянное магнитное поле, создаваемое дополнительными кольцами Гельмгольца, фиксируют относительные изменения добротности резонансного контура.

15 Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является устройство для измерения комплексной магнитной восприимчивости тонкопленочных материалов на радиочастотах [Hasty E. Turner, Boudreaux J. Lee. Ferromagnetic Resonance in Thin Magnetic Films at Radio Frequencies // Journal of Applied Physics. Vol. 32. No. 10. 1961. P. 1807. (прототип)]. Исследуемый образец тонкой магнитной пленки помещается внутри
20 измерительной катушки, которая является частью резонансного контура генератора Хартли (индуктивной трехточки). Действительная часть магнитной восприимчивости исследуемого образца определяется смещением резонансной частоты контура в процессе измерений, а мнимая часть – изменением его добротности. Для проведения исследований тонких магнитных пленок на радиочастотах измерительная катушка размещается
25 внутри двух пар концентричных колец Гельмгольца. Одна пара колец используется для создания постоянного магнитного поля, а вторая – для формирования модулирующего синусоидального переменного поля частотой 30 Гц. Сигнал, снимаемый с резистора, последовательно включенного с модулирующими кольцами Гельмгольца, поступает на вход горизонтальной развертки осциллографа, а на вход вертикальной развертки
30 осциллографа подается продетектированный сигнал с резонансного контура.

Недостатками известных конструкций и устройства-прототипа является низкая чувствительность, а также отсутствие возможности в процессе измерений точной подстройки направления оси измерительной катушки относительно выбранного направления исследуемого образца.

35 Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение чувствительности устройства, обеспечение возможности точной угловой подстройки положения как исследуемого образца тонкой магнитной пленки, так и измерительной катушки.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в устройстве для измерения
40 параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах, содержащем ВЧ-генератор, измерительные катушки, являющиеся частью резонансного контура ВЧ-генератора, кольца Гельмгольца, формирующие постоянное магнитное поле, *новым является то, что* устройство дополнительно содержит блок управления и цифровой обработки сигналов, который посредством приводов
45 может независимо вращать столик с исследуемым образцом тонкой магнитной пленки и измерительную катушку, а также может изменять коэффициент обратной связи ВЧ-генератора, работающего в автодинном режиме.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство

отличается наличием блока управления и цифровой обработки сигналов, который посредством приводов может независимо вращать столик с исследуемым образцом тонкой магнитной пленки и измерительную катушку. Вращение столика с образцом и измерительной катушки позволяет точно выставить углы между направлением оси легкого намагничивания исследуемого образца, направлением магнитного высокочастотного поля и направлением постоянного магнитного поля. Это отличие позволяет повысить точность измерений и дает возможность проводить измерения как в скрещенных магнитных полях, так и в параллельных.

Существенным отличием также является то, что блок управления и цифровой обработки сигналов может изменять коэффициент обратной связи ВЧ-генератора, работающего в автодинном режиме, что позволяет автоматически настроить его перед измерением образца для достижения максимальной чувствительности.

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 показана структурная схема устройства для измерения параметров тонких магнитных пленок на низких частотах. На фиг. 2 показан внешний вид устройства, а на фиг. 3 – вид устройства сбоку со снятой крышкой. На фиг. 4 отдельно показана механическая часть устройства. На фиг. 5 и фиг. 6 показаны результаты экспериментальных измерений образца тонкой магнитной пленки пермаллоя.

Исследуемый образец (фиг. 1) тонкой магнитной пленки (1) размещается в устройстве для измерения параметров тонких магнитных пленок на столике (2) внутри измерительных катушек (3) и колец Гельмгольца (4). Столик (2) закреплен на валу столика (5) с возможностью вращения в неограниченном диапазоне углов. Вал столика (5) соединен с приводом (6). Измерительные катушки (3) закреплены на валу измерительных катушек (7) с возможностью вращения от привода (8). Диапазон угловых перемещений измерительных катушек (3) ограничен их проводами и составляет ± 200 град. Вал столика (5) находится внутри вала измерительных катушек (7). Приводы (6) и (8) подключены к блоку управления и цифровой обработки сигналов (9). Измерительные катушки (3) подключены к резонатору ВЧ-генератора (10), параллельно конденсатору (11). К резонатору ВЧ-генератора (10) подключен амплитудный детектор (12) и частотомер (13), выходы которых подключены ко входам блока управления и цифровой обработки сигналов (9). Кольца Гельмгольца (4) подключены к выходу управляемого источника тока (14), вход которого подключен к выходу блока управления и цифровой обработки сигналов (9).

Все электронные блоки, механические части, измерительные катушки (3), кольца Гельмгольца (4) закрепляются внутри и снаружи корпуса (15) устройства (фиг. 2), причем ВЧ-генератор (10) размещается в отдельном термоизолированном корпусе (16) в непосредственной близости с измерительными катушками (3) (фиг. 3).

Как показано на фиг. 4, вал столика (5) с установленным на нем столиком (2) размещается внутри вала измерительных катушек (7) и вращается на двух внутренних керамических подшипниках (на фиг. 4 не показаны), а вал измерительных катушек (7), в свою очередь, вращается на двух внешних керамических подшипниках (17). Вал столика (5) приводится в действие шаговым двигателем (18) через червячный редуктор

(19) с передаточным числом 36. Вал измерительных катушек (7) приводится в действие шаговым двигателем (20) через червячный редуктор (21) с таким же передаточным числом – 36. Шаговые двигатели (18) и (20) обладают дискретностью 0,9 град./шаг, что дает итоговую дискретность углового перемещения вала столика (5) и вала измерительных катушек (7) равную 0,025 град. в полношаговом режиме работы шаговых двигателей (18) и (20). В конструкциях механических узлов предусмотрены элементы, позволяющие регулировать величину зазоров в передачах для минимизации влияния люфтов.

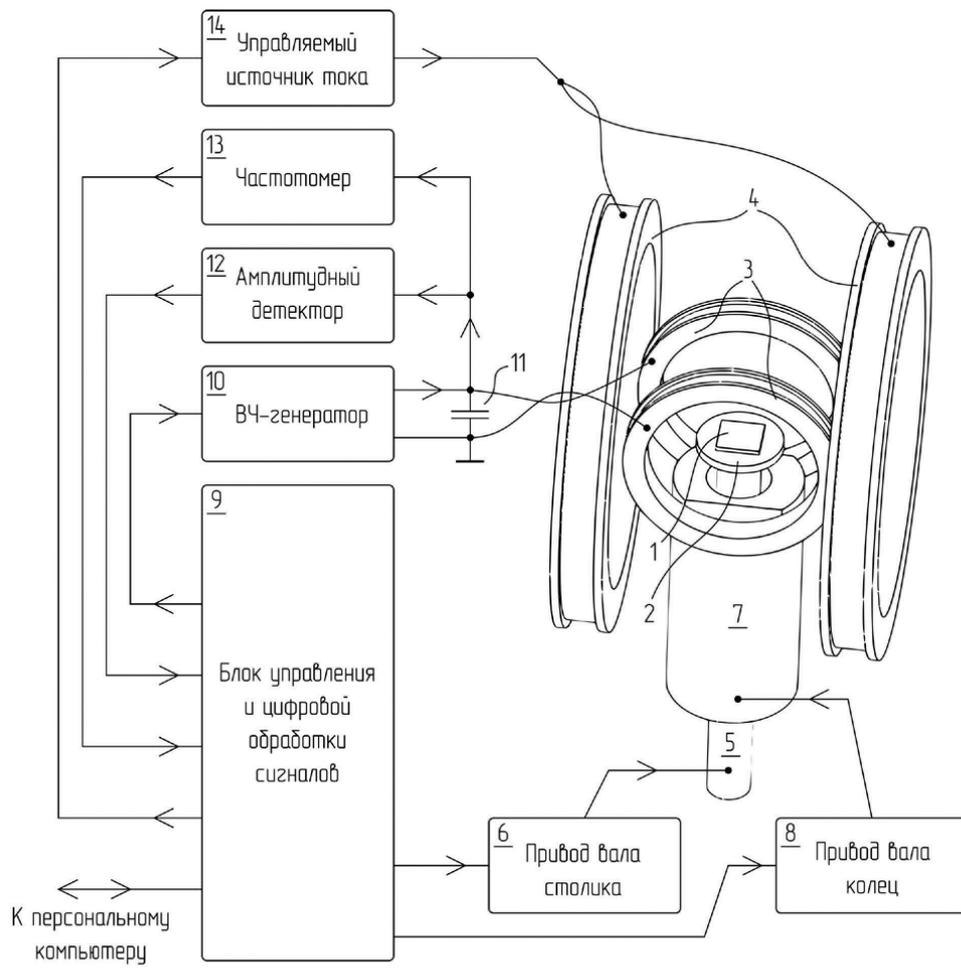
Устройство для измерения параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах работает следующим образом. Исследуемый образец тонкой магнитной пленки (1) размещают на столике (2) внутри измерительных катушек (3) и колец Гельмгольца (4). С помощью приводов (6) и (8) устанавливают пленку (1) и измерительные катушки (3) таким образом, чтобы направление оси легкого намагничивания пленки (1) совпадало с направлением поля, формируемого измерительными катушками (3), и было перпендикулярно направлению постоянного магнитного поля, формируемого кольцами Гельмгольца (4). ВЧ-генератор (10), резонатор которого образован емкостью конденсатора (11) и индуктивностью измерительных катушек (3), возбуждает колебания на частотах в диапазоне 1–30 МГц. Выбор конкретной частоты осуществляется подбором (подстройкой) емкости конденсатора (11) и изменением индуктивности, образованной измерительными катушками (3). Амплитуда колебаний измеряется амплитудным детектором (12), а частота – частотомером (13). Режим работы ВЧ-генератора (10) задается сигналом от блока (9). Перед началом измерений для каждого образца настраиваются условия максимальной чувствительности детекторного ВЧ-генератора (10), работающего в автодинном режиме. По командам от блока (9) управления и цифровой обработки сигналов управляемый источник тока (14) формирует ток в кольцах Гельмгольца (4) в заданном диапазоне, соответствующем, например, магнитному полю от минус 20 Гс до плюс 20 Гс с заданным шагом, например, 0,05 Гс. Шаг по полю может быть неравномерным, с большим числом точек вблизи предполагаемых экстремумов измеряемых зависимостей. Для каждого значения поля блок (9) фиксирует частоту, получаемую от частотомера (13) и напряжение, измеряемое с выхода амплитудного детектора (12). Полученные зависимости выводятся на экран персонального компьютера (фиг. 5 и фиг. 6). Далее с помощью приводов (6) и (8) по командам от блока (9) корректируется угловое положение столика (2) с исследуемым образцом тонкой магнитной пленки (1) и измерительных катушек (3). Таким образом осуществляется поиск точных угловых координат, при которых наблюдается максимум поглощения исследуемым образцом тонкой магнитной пленки (1) (фиг. 5). При необходимости проводят угловые измерения или измерения в параллельных полях, когда измерительные катушки (3) и кольца Гельмгольца (4) расположены соосно. В этом случае удается оценить дисперсию магнитных характеристик исследуемого образца тонкой магнитной пленки (1). Процесс измерений полностью автоматизирован и управляется с помощью программного обеспечения на персональном компьютере.

Экспериментальные исследования заявленного устройства для измерения параметров тонких магнитных пленок показали, что устройство обеспечивает высокую чувствительность и позволяет проводить измерения при любых угловых положениях исследуемого образца тонкой магнитной пленки (1), располагаемой на измерительном столике (2), и измерительных катушек (3) относительно колец Гельмгольца (4), формирующих постоянное магнитное поле. Например, проведены измерения образца

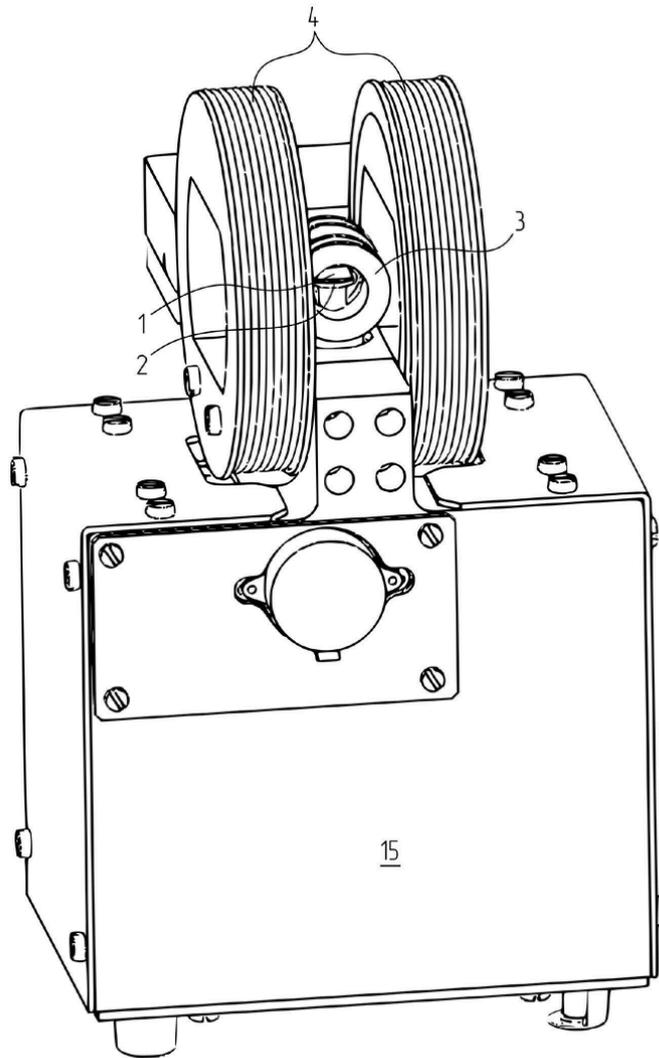
тонкой магнитной пленки пермаллоя состава $Ni_{80}Fe_{20}$ толщиной 1000 Å. Образец размещался на столике (2) таким образом, чтобы направление оси легкого намагничивания совпало с направлением высокочастотного магнитного поля, формируемого измерительными катушками (3) и было перпендикулярно направлению постоянного магнитного поля, формируемого кольцами Гельмгольца (4). Магнитное поле изменялось в диапазоне от минус 20 Гс до плюс 20 Гс с неравномерным шагом. На фиг. 5 показана зависимость относительного изменения добротности резонатора от величины магнитного поля, соответствующая изменению мнимой части магнитной проницаемости исследуемого образца. Максимальное поглощение наблюдается вблизи поля анизотропии $H_k \approx \pm 5$ Гс, однако для полей ± 5 Гс величины поглощения отличаются (22), что связано с неполной компенсацией лабораторного магнитного поля в области проведения измерений. На фиг. 6 показана зависимость изменения частоты ВЧ-генератора от величины магнитного поля. На графике показана расчетная зависимость действительной части магнитной проницаемости исследуемого образца (инвертирована). Наблюдаемые экспериментально пики (23) вблизи полей $H_k \approx \pm 5$ Гс связаны с изменением режима работы ВЧ-генератора (10) вследствие резкого возрастания потерь в резонаторе, вносимых исследуемым образцом (фиг. 5). Согласно расчетным зависимостям вблизи $H_k \approx \pm 5$ Гс должны наблюдаться максимумы (24) действительной части магнитной проницаемости, т. е. минимумы частоты ВЧ-генератора (10). Изменением режима работы ВЧ-генератора (10) добиваются уменьшения пиков (23) при сохранении приемлемого отношения сигнал/шум измеряемых зависимостей.

(57) Формула изобретения

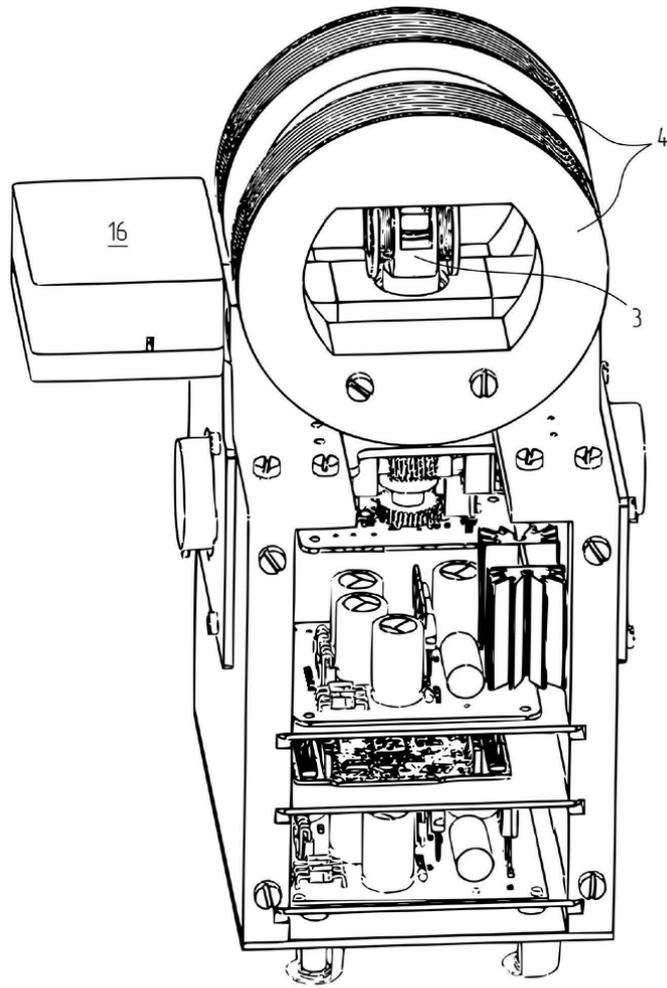
Устройство для измерения параметров тонких магнитных пленок методом ферромагнитного резонанса на радиочастотах, содержащее ВЧ-генератор, измерительные катушки, являющиеся частью резонансного контура ВЧ-генератора, кольца Гельмгольца, формирующие постоянное магнитное поле, отличающееся тем, что дополнительно содержит блок управления и цифровой обработки сигналов, который посредством приводов может независимо вращать столик с исследуемым образцом тонкой магнитной пленки и измерительную катушку, а также может изменять коэффициент обратной связи ВЧ-генератора, работающего в автодинном режиме.



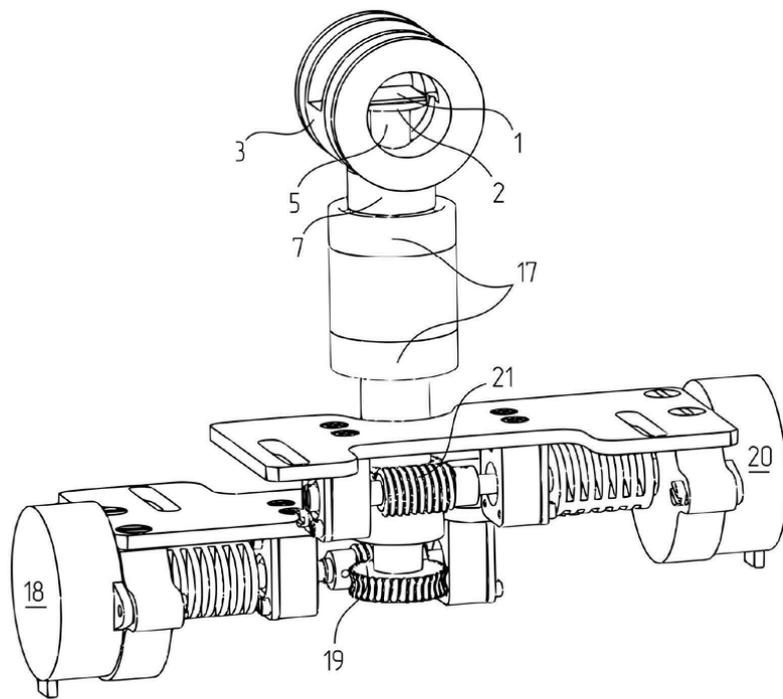
Фиг. 1



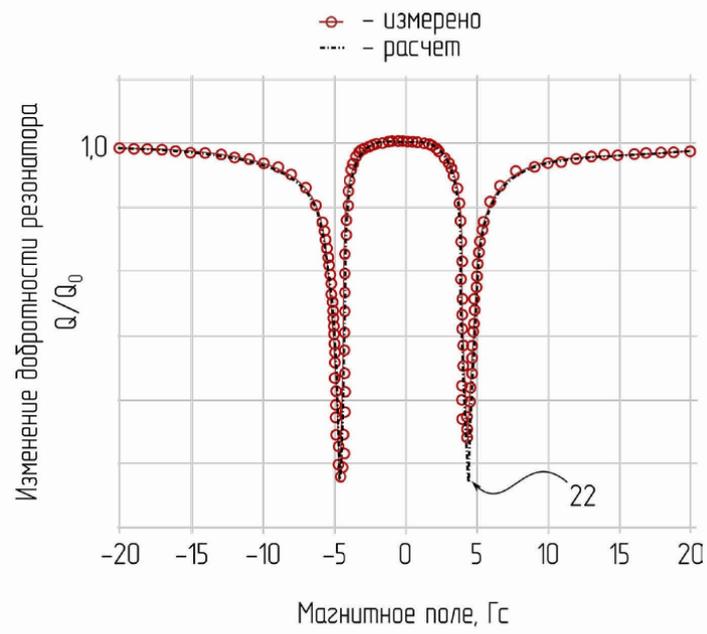
Фиг. 2



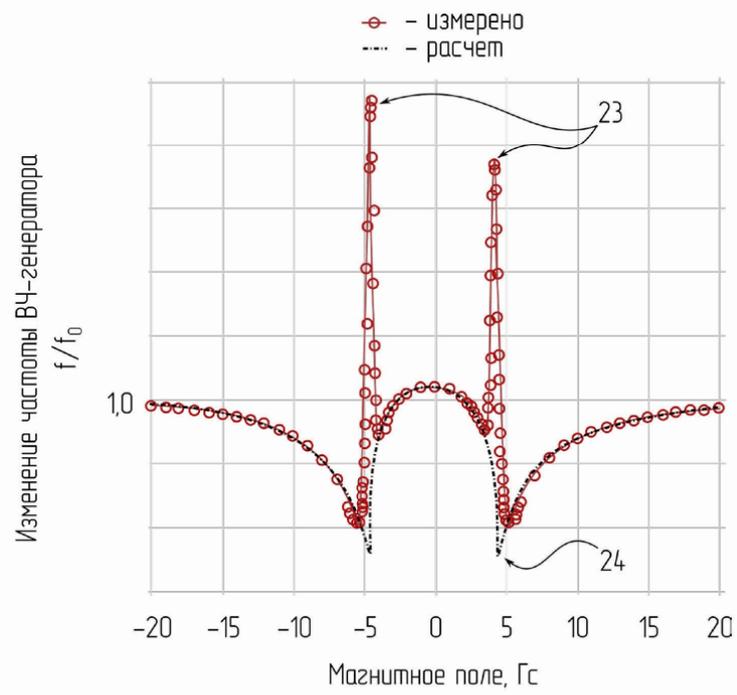
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6