



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/05 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020123119, 07.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.07.2020

Дата регистрации:
26.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.07.2020

(45) Опубликовано: 26.04.2021 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,
стр. 38, КНЦ СО РАН, отдел патентной и
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),
Горчаковский Александр Антонович (RU),
Боев Никита Михайлович (RU),
Изотов Андрей Викторович (RU),
Шабанов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Беляев Б.А., Михалев Д.Н.
Сканирующий спектрометр ферромагнитного
резонанса. Южно-Сибирский научный
вестник, N 2 (6), май 2014. Стр. 117-120. RU
2552689 C2, 10.06.2015. RU 2228208 C2,
10.05.2004. US 2004183530 A1, 23.09.2004.

(54) СКАНИРУЮЩИЙ СПЕКТРОМЕТР ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

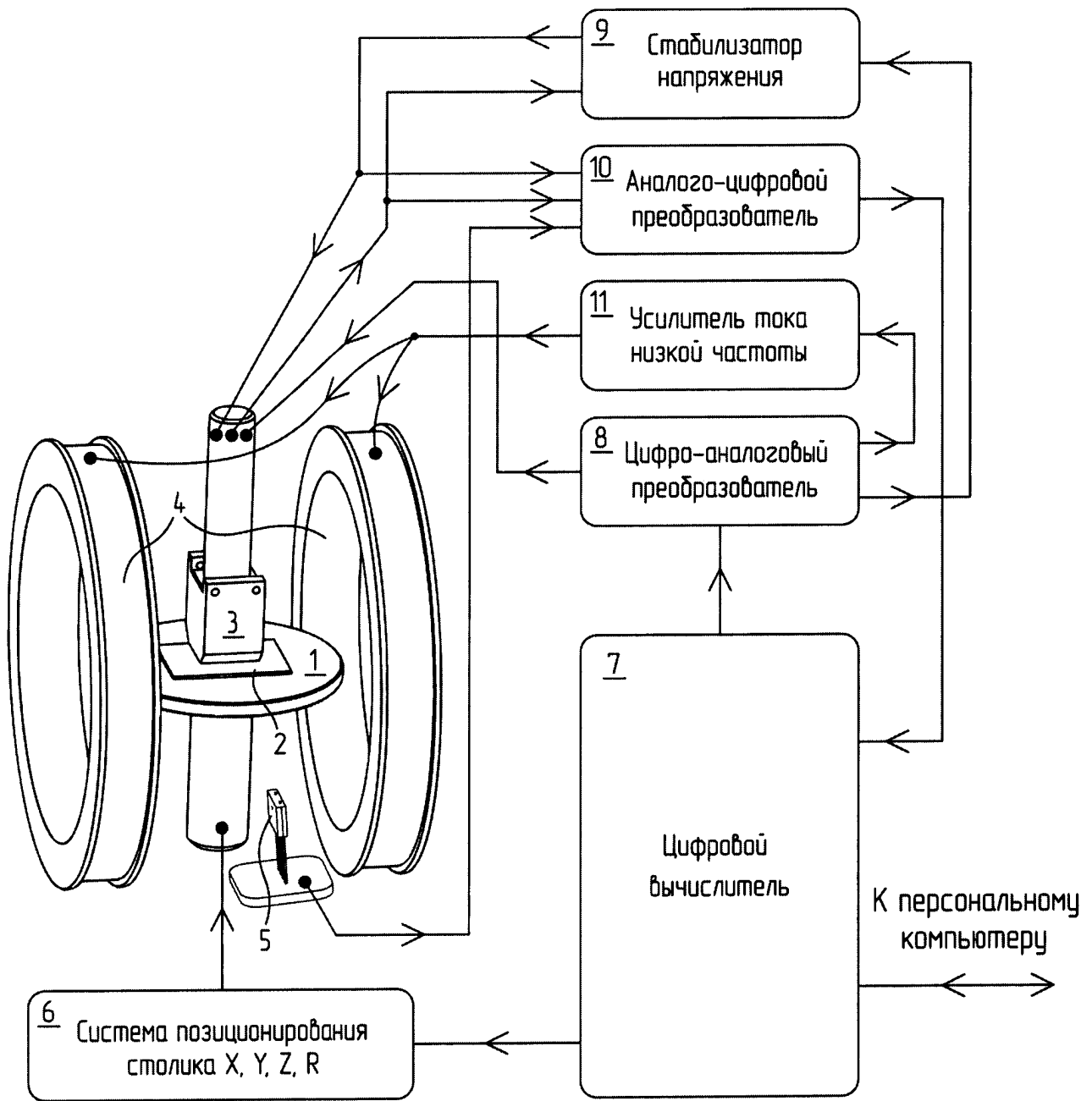
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для неразрушающего контроля качества и однородности магнитных пленок путем регистрации спектров ферромагнитного резонанса с малых участков исследуемых образцов. Сканирующий спектрометр ферромагнитного резонанса содержит чувствительный элемент – СВЧ-головку, столик, на котором размещается исследуемый образец тонкой магнитной пленки, кольца Гельмгольца, цифровой блок формирования сигнала модуляции, цифровой блок

формирования сигнала развертки, систему позиционирования столика, при этом детектирование сигнала осуществляется цифровым квадратурным синхронным детектором, для формирования модулирующего магнитного поля и магнитного поля развертки используются одни общие кольца Гельмгольца, а позиционирование столика полностью автоматизировано. Технический результат – повышение точности измерений, снижение уровня собственных шумов, повышение скорости и снижение трудоемкости измерений. 2 ил.

RU 2 747 100 C1

RU 2 747 100 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 747 100** (13) **C1**(51) Int. Cl.
G01R 33/05 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
G01R 33/05 (2020.08)(21)(22) Application: **2020123119, 07.07.2020**(24) Effective date for property rights:
07.07.2020Registration date:
26.04.2021

Priority:

(22) Date of filing: **07.07.2020**(45) Date of publication: **26.04.2021** Bull. № 12

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Belyaev Boris Afanasevich (RU),
Gorchakovskij Aleksandr Antonovich (RU),
Boev Nikita Mikhajlovich (RU),
Izotov Andrej Viktorovich (RU),
Shabanov Dmitrij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)
(RU)**(54) **FERROMAGNETIC RESONANCE SCANNING SPECTROMETER**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measuring equipment and is intended for non-destructive control of quality and homogeneity of magnetic films by recording ferromagnetic resonance spectra from small areas of the samples under study. A scanning ferromagnetic resonance spectrometer contains a sensing element - a microwave head, a table. There is a test sample of a thin magnetic film and Helmholtz coils on the table. The scanning ferromagnetic resonance spectrometer has a digital modulation signal

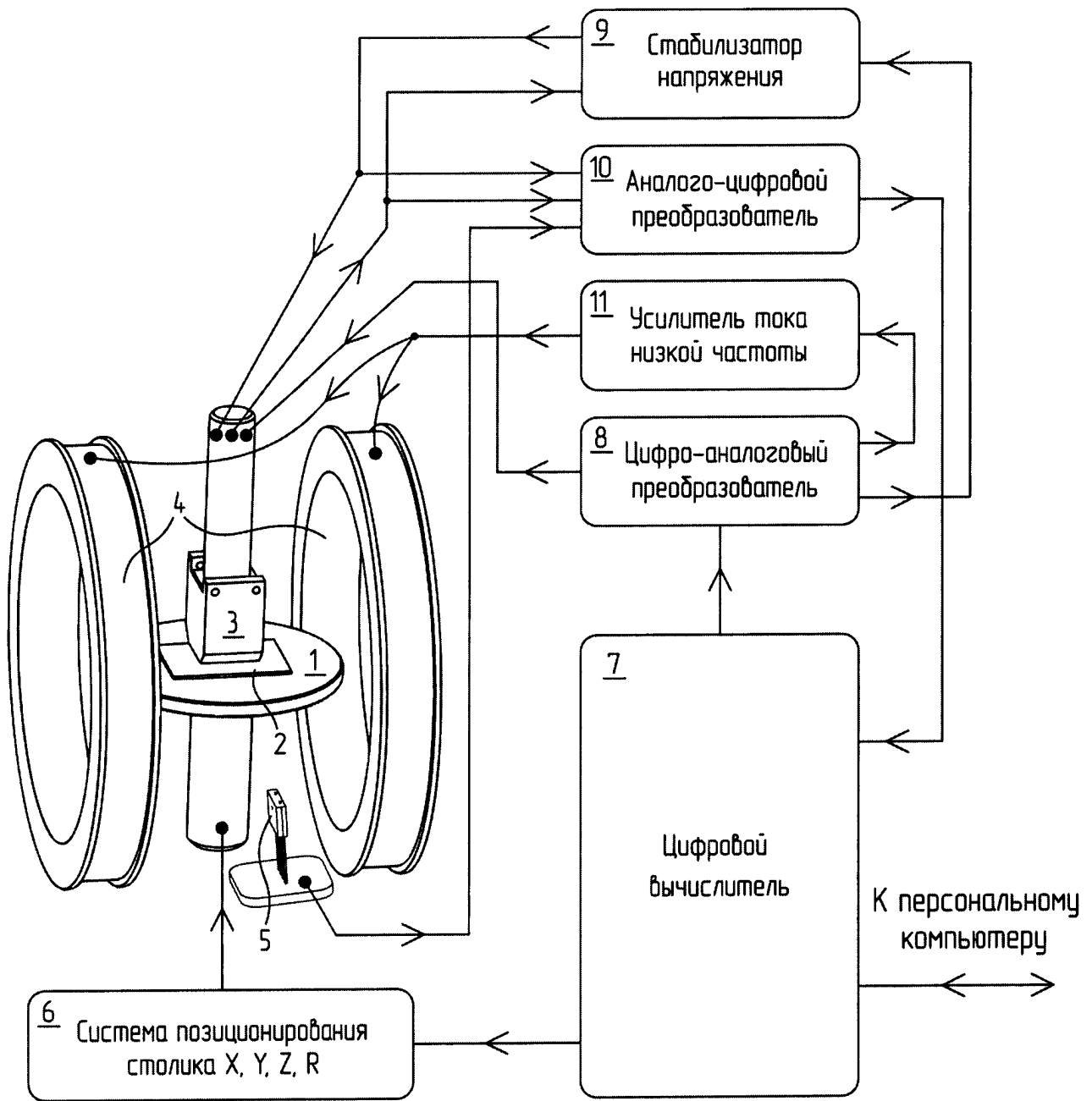
generation unit, a digital scan signal generation unit, a table positioning system, while the signal is detected by digital quadrature synchronous detector. Common Helmholtz coils are used to form the modulating magnetic field and the scanning magnetic field, and the table positioning is fully automated.

EFFECT: improved measurement accuracy, reduced level of intrinsic noise, increased speed and reduced labor intensity of measurements.

1 cl, 2 dwg

RU 2 747 100 C1

RU 2 747 100 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для неразрушающего контроля качества и однородности магнитных пленок путем регистрации спектров ферромагнитного резонанса с малых участков исследуемых 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 измерения спектра ферромагнитного резонанса (ФМР) с различных локальных участков образцов тонких магнитных пленок (ТМП). В качестве чувствительного элемента в известном устройстве используется объемный резонатор
10 на частоте около 10 ГГц с колебаниями типа H_{111} , который имеет в центре стенки измерительное отверстие диаметром около 0,5 мм. Исследуемый образец прикладывается к отверстию с внешней стороны полости резонатора, при этом обеспечивается возможность перемещения образца и вращения его в плоскости. По угловым зависимостям параметров спектра ФМР определяются основные магнитные
15 характеристики локального участка исследуемого образца ТМП: эффективная намагниченность насыщения, параметр затухания, магнитная анизотропия и другие. Путем перемещения исследуемого образца относительно измерительного отверстия снимаются распределения магнитных характеристик по площади ТМП.

Известен также микроволновый магнитный микроскоп, работающий на частоте ~10
20 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 проводить измерение параметров резонансного спектра на локальных участках ТМП. По результатам этих измерений определяются магнитные характеристики локальных
25 участков исследуемых образцов. Исследуемый образец размещается с внешней стороны задней стенки СВЧ-резонатора, имеющей в центре небольшое отверстие, благодаря которому только малый локальный участок образца подвержен непосредственному воздействию микроволнового поля резонатора. Спектр ФМР снимается путем изменения постоянного магнитного поля, приложенного к образцу ортогонально
30 высокочастотному магнитному полю резонатора. Перемещая образец относительно отверстия в резонаторе, измеряют распределения магнитных характеристик по площади ТМП.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является спектрометр ферромагнитного резонанса [Беляев Б.А., Лексиков А.А., Макиевский И.Я., Тюрнев В.В. Спектрометр ферромагнитного резонанса // ПТЭ. 1997. №3. С. 106-
35 111 (прототип)], состоящий из трех блоков. Первый блок - блок датчика, содержащий СВЧ-головку, столик, на котором размещается исследуемый образец ТМП, кольца Гельмгольца и катушки модуляции. Столик может перемещаться по двум измеряемым координатам в горизонтальной плоскости и поворачиваться вместе с исследуемым
40 образцом вокруг оси, совпадающей с осью головки. Кольца Гельмгольца создают постоянное магнитное поле развертки, модулируемое с частотой 1 кГц и с регулируемой амплитудой. Второй блок - блок формирования сигнала, состоящий из аналогового канала приема сигнала, узла развертки и модуляции, узла управления приводом столика и контроллера, осуществляющего связь с персональным компьютером. Третьим блоком
45 является персональный компьютер, на экране которого в режиме реального времени отображается измеряемый магнитный спектр.

Недостатками известных конструкций и устройства-прототипа является высокий уровень собственных шумов и низкая точность измерений, что вызвано применением аналоговых блоков синхронного детектирования, а также низкая скорость измерений

и высокая трудоемкость, что связано с необходимостью ручного перемещения столика в координатах X, Y, Z.

Техническим результатом заявляемого изобретения является повышение точности измерений, снижение уровня собственных шумов, повышение скорости и снижение трудоемкости измерений.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в сканирующем спектрометре ферромагнитного резонанса, содержащем чувствительный элемент - СВЧ-головку, столик, на котором размещается исследуемый образец тонкой магнитной пленки, кольца Гельмгольца, блок формирования сигнала модуляции, блок формирования сигнала развертки, систему позиционирования столика, новым является то, что блоки формирования сигналов модуляции и развертки выполнены в цифровом виде, детектирование сигнала осуществляется цифровым квадратурным синхронным детектором, для формирования модулирующего магнитного поля и магнитного поля развертки используются одни общие кольца Гельмгольца, а позиционирование столика полностью автоматизировано.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается цифровым исполнением блоков формирования сигналов модуляции и развертки. Это позволяет с высокой точностью на программном уровне изменять амплитуду и частоту поля модуляции, величину поля развертки; также это дает возможность реализации процесса цифрового квадратурного демодулирования сигнала, за счет чего достигается возможность измерения с высокой точностью не только амплитуды полезного сигнала на выходе СВЧ-головки, но и фазы.

Вторым существенным отличием является использование одних общих колец Гельмгольца для формирования как модулирующего магнитного поля, так и магнитного поля развертки. Это значительно повышает точность формирования заданных величин магнитных полей.

Третьим существенным отличием является применение системы позиционирования измерительного столика в четырех координатах (три декартовы координаты - X, Y, Z и вращение R), т.е. перемещение исследуемого образца полностью автоматизировано и не требует участия оператора.

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 функциональная схема спектрометра ферромагнитного резонанса. На фиг. 2 показана конструкция устройства.

Спектрометр ферромагнитного резонанса содержит (фиг. 1) измерительный столик (1), на котором размещается исследуемый образец (2). Сверху над образцом (2) размещена СВЧ-головка (3), являющаяся чувствительным элементом спектрометра ферромагнитного резонанса. Измерительный столик (1) находится внутри магнитной системы - колец Гельмгольца (4), внутри которых также расположен датчик Холла (5). Измерительный столик (1) закреплен на системе позиционирования (6), позволяющей вращать его (координата R) и перемещать в декартовых координатах X, Y, Z.

Управляющий вход системы позиционирования столиком (6) подключен к первому выходу цифрового вычислителя (7). Второй выход цифрового вычислителя (7) подключен

ко входу цифро-аналогового преобразователя (8), а вход цифрового вычислителя (7) подключен к выходу аналого-цифрового преобразователя (10). Цифро-аналоговый преобразователь (8) имеет три выхода: первый выход подключен к управляющему входу СВЧ-головки (3); второй выход подключен к усилителю тока (11) низкой частоты; 5 третий выход подключен ко входу управления стабилизатором напряжения (9) питания СВЧ-головки (3). Аналого-цифровой преобразователь (10) имеет три входа: первый вход подключен к выходу стабилизатора напряжения (9); второй вход подключен к выходу амплитудного детектора СВЧ-головки (3) [Патент РФ №2707421, МПК G01R 33/20, опубл. 26.11.2019, бюл. №33]; третий вход подключен к выходу датчика Холла 10 (5). Выход усилителя тока (11) низкой частоты подключен к кольцам Гельмгольца. Выход стабилизатора напряжения (9) подключен ко входу питания СВЧ-головки (3), а выход амплитудного детектора СВЧ-головки (3) подключен ко входу стабилизатора напряжения (9). Цифровой вычислитель (7) содержит цифровой блок квадратурного синхронного детектирования сигнала; генератор модулирующего сигнала; генератор 15 сигнала развертки, блок управления СВЧ-головкой и интерфейс связи с персональным компьютером (на фигуре не показано). Параметры цифровых блоков определяются на программном уровне и изменяются пользователем с помощью программного обеспечения на персональном компьютере. Кольца Гельмгольца (4), измерительный столик (1), система позиционирования (6), СВЧ-головка (3), датчик Холла (5) 20 размещаются (фиг. 2) на основании (12), в котором предусмотрена возможность точной регулировки соосности вращения измерительного столика (1) с СВЧ-головкой (3). СВЧ-головка (3) имеет возможность вращения, что дает возможность работать как в скрещенных постоянном и высокочастотном магнитных полях, так и в параллельных.

Устройство работает следующим образом. На измерительном столике (1) размещают 25 исследуемый образец (2) тонкой магнитной пленки. Сверху над образцом (2) находится чувствительный элемент устройства - СВЧ-головка (3). С помощью механизированной системы позиционирования (6) исследуемый образец (2) перемещают таким образом, чтобы требуемый локальный участок пленки оказался под измерительным отверстием СВЧ-головки (3) на расстоянии примерно 0,05-0,5 мм. В процессе работы 30 механизированная система позиционирования автоматически перемещает образец (2) в координатах X и Y для осуществления сканирования по площади образца (2), при этом в каждой точке проводятся угловые измерения спектров ФМР (столик вращается). В целях безопасности перед перемещением и вращением образца (2) столик (1) автоматически опускается по оси Z до расстояния 0,5-1,0 мм между образцом (2) и СВЧ- 35 головкой (3). Цифровой вычислитель (7) формирует цифровой сигнал, являющийся суммой медленно меняющегося поля развертки и модуляционного поля с фиксированной частотой в диапазоне от 0,1 до 10 кГц, который преобразуется в аналоговый вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (8), усиливается с использованием усилителя тока (11) низкой частоты и поступает на кольца Гельмгольца (4). Кольца 40 Гельмгольца (4) формируют в области размещения исследуемого образца (2) модуляционное магнитное поле и медленно изменяющееся магнитное поле развертки. Контроль величины магнитного поля, формируемого кольцами Гельмгольца (4), осуществляется датчиком Холла (5), аналоговый выходной сигнал которого поступает на аналого-цифровой преобразователь (10), а затем на цифровой вычислитель (7).

Цифровой вычислитель (7) формирует через цифро-аналоговый преобразователь (8) опорный сигнал для стабилизатора напряжения (9), который стабилизирует напряжение 45 питания СВЧ-головки (3) таким образом, что величина постоянной составляющей сигнала с выхода амплитудного детектора СВЧ-головки (3) поддерживается равной

опорной величине. Величина опорной величины регулируется программно в диапазоне от 0,1 до 10 В. Кроме этого, цифро-аналоговый преобразователь (8) по командам от цифрового вычислителя (7) формирует управляющее напряжение для СВЧ-головки (3), определяющее режим ее работы [Патент РФ №2707421, МПК G01R 33/20, опубл. 5 26.11.2019, бюл. №33]. На вход аналого-цифрового преобразователя (10) поступают напряжение питания и выходной сигнал амплитудного детектора СВЧ-головки (3). Квадратурное синхронное детектирование сигнала выполняется детектором в цифровом вычислителе (7), что позволяет адаптивно устранять фазовые погрешности измерения. Зависимость величины выходного сигнала синхронного детектора от величины 10 магнитного поля развертки является дифференциальной кривой резонансного поглощения СВЧ мощности, т.е. производной от магнитного спектра ФМР-поглощения. Вращая измерительный столик (1) с исследуемым образцом (2), получают угловые зависимости параметров спектра ферромагнитного резонанса, на основе которых рассчитывают основные магнитные характеристики исследуемого образца (1) в заданной 15 части пленки. Таким образом, по известным методикам определяют локальные магнитные характеристики образца: эффективную намагниченность насыщения, величину и направление поля одноосной анизотропии, величину и направление поля однонаправленной анизотропии [Беляев, Б.А. Исследование магнитных материалов и тонкопленочных структур методом ферромагнитного резонанса / Б.А. Беляев, А.В. 20 Изотов, С.А. Ходенков, С.М. Жарков. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2012. - 136 с.].

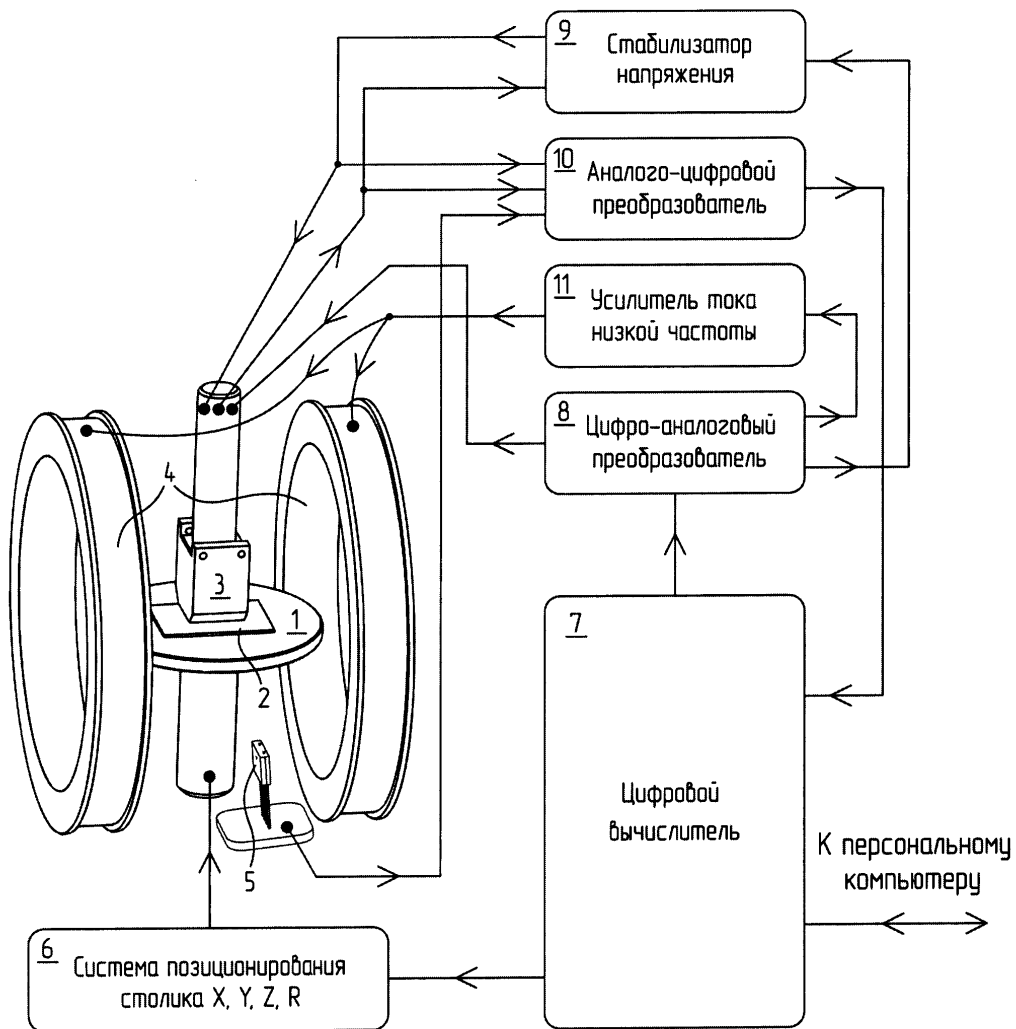
Экспериментальные исследования заявленного спектрометра ферромагнитного резонанса показали, что устройство обеспечивает более высокую в сравнении с прототипом точность измерения, низкий уровень собственных шумов и высокую 25 скорость измерений.

(57) Формула изобретения

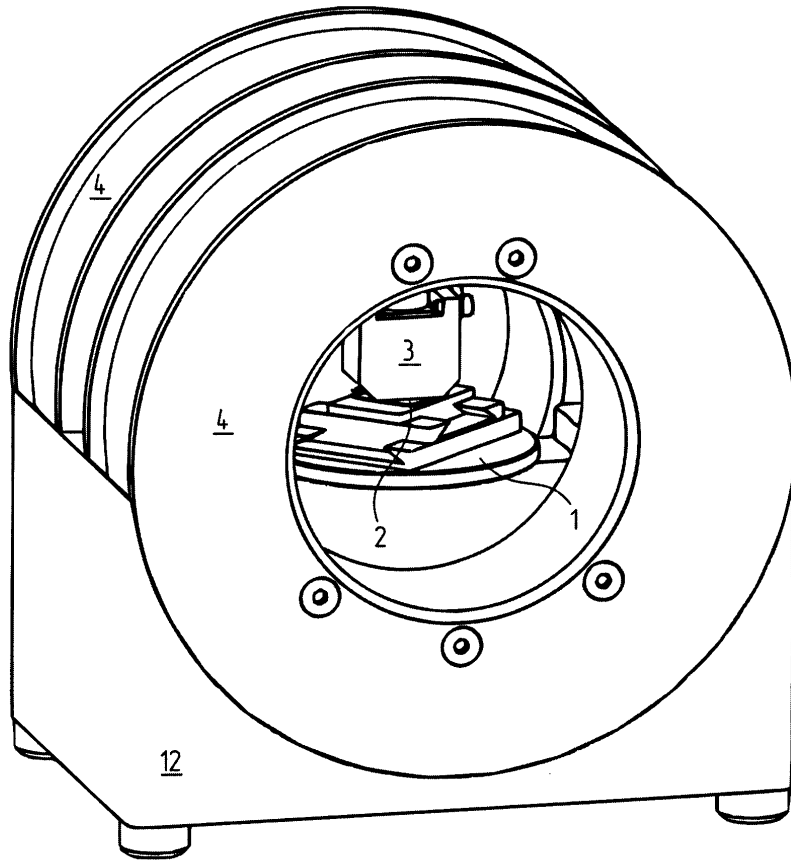
Сканирующий спектрометр ферромагнитного резонанса, содержащий чувствительный элемент – СВЧ-головку, столик, на котором размещается исследуемый образец тонкой 30 магнитной пленки, кольца Гельмгольца, цифровой блок формирования сигнала модуляции, цифровой блок формирования сигнала развертки, систему позиционирования столика, отличающийся тем, что детектирование сигнала осуществляется цифровым квадратурным синхронным детектором, для формирования модулирующего магнитного поля и магнитного поля развертки используются одни общие кольца Гельмгольца, а 35 позиционирование столика полностью автоматизировано.

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2