



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 27/90 (2019.05); G01R 27/02 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019100657, 10.01.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.01.2019

Дата регистрации:
14.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.01.2019

(45) Опубликовано: 14.08.2019 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, ФГБОУ ВО
"Алтайский государственный университет",
ЦРТПТТУИС

(72) Автор(ы):

Ишков Алексей Владимирович (RU),
Дмитриев Сергей Федорович (RU),
Маликов Владимир Николаевич (RU),
Катасонов Александр Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Алтайский государственный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 156519 U1, 10.11.2015. RU 2528130
C1, 10.09.2014. SU 1626191 A1, 07.02.1991. SU
2835522 A1, 23.08.1983. CN 101324644 A,
17.12.2008.

(54) Способ измерения электропроводности тонких металлических пленок

(57) Реферат:

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может применяться для бесконтактного измерения удельной электрической проводимости тонких металлических пленок толщиной от 0,05 до 5 мкм. Способ измерения электропроводности тонких пленок представляет собой оценку усредненной амплитуды сигнала вихретокового преобразователя с использованием измерительной системы, являющейся программно-аппаратным комплексом, включающей в себя персональный компьютер и программное обеспечение, а также блоки генерации, усиления и фильтрации. Согласно изобретению используют два вихретоковых преобразователя, причем управление сигналом на возбуждающих обмотках вихретоковых преобразователей и прием сигналов с измерительных обмоток вихретоковых преобразователей происходит с использованием микроконтроллера, позволяющего формировать сигнал, а программное обеспечение

дополнительно включает блоки задачи частоты генерации и фильтрации; при этом сигналы С1 и С2 с измерительных обмоток, несущие информацию о состоянии исследуемого материала, подвергаются усилению и фильтрации и поступают на аналого-цифровой преобразователь и амплитудный детектор, а затем поступают в программный блок обработки сигнала, после чего отображаются на мониторе персонального компьютера, при этом сигнал С1 с измерительной обмотки первого преобразователя соответствует сигналу от подложки, а сигнал С2 с измерительной обмотки второго преобразователя соответствует сигналу от тонкой металлической пленки, при этом управление частотой генерации и частотой фильтрации осуществляется синхронно за счет связи программного блока генерации и блока фильтрации, управляемого программным блоком фильтрации, а электропроводность $f(x)$ тонкой металлической пленки находят из уравнения $f(x) = 0,0809x - 0,3696$, где x - разность амплитуд двух

сигналов С1 и С2. Изобретение обеспечивает снижение погрешности измерения электропроводности тонких пленок, имеющих малый коэффициент отражения, путем

применения вихретокового метода с последующей аппаратной и программной обработкой, позволяющей проводить математическую обработку получаемого сигнала. 3 ил., 1 табл.

RU 2 6 9 7 4 7 3 C 1

RU 2 6 9 7 4 7 3 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01N 27/90 (2019.05); G01R 27/02 (2019.05)(21)(22) Application: **2019100657, 10.01.2019**(24) Effective date for property rights:
10.01.2019Registration date:
14.08.2019

Priority:

(22) Date of filing: **10.01.2019**(45) Date of publication: **14.08.2019** Bull. № 23

Mail address:

**656049, g. Barnaul, pr. Lenina, 61, FGBOU VO
"Altajskij gosudarstvennyj universitet",
TSRTPPTUIS**

(72) Inventor(s):

**Ishkov Aleksej Vladimirovich (RU),
Dmitriev Sergej Fedorovich (RU),
Malikov Vladimir Nikolaevich (RU),
Katsonov Aleksandr Olegovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Altajskij gosudarstvennyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF MEASURING ELECTROCONDUCTIVITY OF THIN METAL FILMS**

(57) Abstract:

FIELD: monitoring and measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to control and measurement equipment and can be used for contactless measurement of specific electrical conductivity of thin metal films with thickness of 0.05–5 mcm. Method of measuring electrical conductivity of thin films is an estimate of the averaged amplitude of the signal of an eddy-current converter using a measuring system, which is a software and hardware system, which includes a personal computer and software, as well as generation, amplification and filtration units. According to the invention, two eddy current converters are used, wherein signal control on exciting windings of eddy current converters and reception of signals from measuring windings of eddy current converters is carried out using a microcontroller, which enables to generate a signal, and the software additionally includes generation and filtration frequency task units; wherein signals C1 and C2 from measuring windings, which carry information on the state of the analysed material, are subjected to amplification and filtration and are transmitted to the analogue-to-digital converter and the amplitude

detector, and then go to the signal processing software unit, and then displayed on the monitor of the personal computer, wherein the signal C1 from the measuring winding of the first converter corresponds to the signal from the substrate, and the signal C2 from the measuring winding of the second converter corresponds to the signal from the thin metal film, wherein generation frequency and filtration frequency control is carried out synchronously by communication of generation software unit and filtration unit controlled by filtration software unit, and electric conductivity $f(x)$ of thin metal film is found from equation $f(x) = 0.0809x - 0.3696$, where x is amplitude difference between two signals C1 and C2.

EFFECT: invention provides reduced measurement error of electroconductivity of thin films having low reflection coefficient by using an eddy current method with subsequent hardware and software processing, which enables to perform mathematical processing of the received signal.

1 cl, 3 dwg, 1 tbl

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может применяться для бесконтактного измерения удельной электрической проводимости тонких металлических пленок толщиной от 0,05 до 5 мкм.

Актуальность данного изобретения обусловлена необходимостью оперативного и точного контроля электромагнитных параметров материалов в процессе их производства и эксплуатации.

Известно устройство, предназначенное для измерения электропроводности диэлектрического материала (в том числе тонких пленок), включающее в себя генератор, приемник и излучатель электромагнитного сигнала, волновые тройники, фазовращатель, аттенуатор, детектор и блок обработки информации (Пат. RU 2528130 C1 МПК G01N 22/04, G01R 27/26 опубл. 10.09.2014). Недостатком устройства является влияние подложки пленки на результаты измерений. Это снижает точность измерений и требует дополнительной программной обработки для устранения помех, вносимых подложкой.

Прототипом заявляемого изобретения является устройство измерения электрической проводимости материалов с кюветой для контролируемой пленки, помещаемой в датчики, входы которых соединены с питающим генератором, а выходы - с блоком обработки (Пат. RU 156519 МПК G01R 27/00, B82B 1/00 опубл. 10.11.15). Устройство бесконтактного контроля электромагнитных параметров тонких пленок и наноматериалов содержит генератор, сигнал с выхода которого приходит на излучатель электромагнитного сигнала, и блок обработки. На пути следования сигнала к объекту контроля расположен разветвитель сигнала, один из выходов которого индуктивно соединен с приемником первоначального сигнала, выход которого подключен к одному из входов измерителя амплитуды и фазы, второй вход которого подключен к выходу приемника отраженного от объекта контроля сигнала, а выход измерителя амплитуды и фазы подключен к входу блока обработки и входу блока управления, выход которого подключен к генератору. Очевидна недостаточная точность измерений при контроле пленок, имеющих малый коэффициент отражения для выбранной длины волны излучения. Это связано с тем, что отраженный сигнал несет в себе информацию не только о контролируемом материале, но и о подложке, так как прошедший через пленку зондирующий сигнал отражается также и от подложки, накладывается на сигнал, отраженный от поверхности пленки, и искажает тем самым информационную картину процедуры измерения.

Технической задачей изобретения является снижение погрешности измерения электропроводности тонких пленок, имеющих малый коэффициент отражения, путем применения вихретокового метода с последующей аппаратной и программной обработкой, позволяющей проводить математическую обработку получаемого сигнала.

Заявляемый способ измерения электропроводности тонких пленок представляет собой оценку усредненной амплитуды двух сигналов вихретокового преобразователя (первый сигнал - от исследуемого образца тонкой металлической пленки, второй сигнал - от подложки), полученных с использованием измерительной системы, являющейся программно-аппаратным комплексом, включающим персональный компьютер и программное обеспечение, а также блоки генерации, усиления и фильтрации.

Способ осуществляется следующим образом: в работе используют два вихретоковых преобразователя, причем управление сигналом на возбуждающих обмотках вихретоковых преобразователей и прием сигналов с измерительных обмоток вихретоковых преобразователей происходит с использованием микроконтроллера, позволяющего формировать сигнал, а программное обеспечение дополнительно включает блоки: задачи частоты генерации и фильтрации; при этом сигналы С1 и С2 с

измерительных обмоток, несущие информацию о состоянии исследуемого материала подвергаются усилению и фильтрации и поступают на аналого-цифровой преобразователь и амплитудный детектор, а затем поступают в программный блок обработки сигнала, после чего отображается на мониторе персонального компьютера, при этом сигнал С1 с измерительной обмотки первого преобразователя соответствует 5 сигналу от подложки, а сигнал С2 с измерительной обмотки второго преобразователя соответствует сигналу от тонкой металлической пленки, при этом управление частотой генерации и частотой фильтрации осуществляется синхронно за счет связи программного блока генерации и блока фильтрации, управляемого программным блоком фильтрации, в качестве параметра, несущего информацию об электропроводности пленки (σ , МСм/м), используют разность усредненных амплитуд ($\langle \Delta U \rangle$, мВ) двух сигналов С1 и С2, а электропроводность тонкой металлической пленки находят из экспериментально полученного уравнения вида $f(x)=0,0809x-0,3696$, где x - разность амплитуд $\Delta \langle U \rangle$ двух сигналов С1 и С2.

Блок генерации 1 (фиг. 1) осуществляет управление генератором 2, производящим формирование сигнала и, предварительно усилив с использованием усилителя 3, передающего его на возбуждающие катушки вихретоковых преобразователей 4, 5. Первый вихретоковый преобразователь размещают над электропроводящей металлической тонкой пленкой, размещенной на подложке, второй вихретоковый преобразователь размещают над подложкой (без металлической тонкой пленки). Возбуждающие катушки вихретоковых преобразователей при прохождении сигнала формируют электромагнитное поле, возбуждающее вихревые токи в тонкой металлической пленке, размещенной на подложке и в подложке. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на измерительные катушки 6, 7 вихретоковых преобразователей, наводя в них электродвижущие силы (ЭДС), несущие информацию об электропроводности подложки и тонкой металлической пленки в виде сигналов С1 и С2 соответственно. Сигналы усиливаются в усилителе 8 и проходят через блоки фильтрации 9, управляемые программным блоком фильтрации 10, связанным с программным блоком генерации 1. Изменение частоты фильтрации происходит одновременно с изменением частоты генерации. Сигналы передаются на амплитудный детектор 11, через аналого-цифровой преобразователь 12, в программный блок обработки сигнала 13, где происходит вычисление усредненной амплитуды сигнала С1 и С2, затем происходит вычисление разности усредненной амплитуды сигнала С1 и амплитуды сигнала С2, после чего результаты измерений выводятся на экран персонального компьютера в виде графика и значения разности усредненных амплитуд сигналов. Полученное значение разности усредненных амплитуд сигналов сравнивается с эталонными значениями, заложенными в программное обеспечение, после чего производится определение электропроводности исследуемой пленки и вывод значения электропроводности на экран. Заявляемый способ отличается от прототипа:

- Измерением исключительно амплитуды сигнала, производимым детектором с линейной характеристикой преобразования.
- Наличием автоматического синхронного изменения рабочих частот сигнала с генератора и частот фильтрации принимаемого сигнала.

В качестве параметра, несущего информацию об электропроводности пленки, используется значение разности усредненных амплитуд сигналов от преобразователя, расположенного над тонкой металлической пленкой и преобразователем, расположенным над подложкой.

За счет использования сигналов от двух вихретоковых преобразователей, с

возможностью быстрого и одновременного изменения рабочей частоты приборы и частоты фильтрации, удастся избавиться от влияния зазора между вихретоковым преобразователем и контролируемым изделием при проведении измерений.

Использование в качестве информативного параметра разности усредненных амплитуд сигналов позволяет реализовать измерительную систему без внесения погрешностей от подложки тонкой пленки с использованием исключительно амплитудного метода контроля. За счет вычитания амплитуд сигналов, несущих информацию о подложке и пленке, становится возможным повысить помехозащищенность сигнала, несущего информацию об объекте контроля.

Пример осуществления способа. В приспособлении для напыления первым закрепляется нагреватель, на поверхность которого наносится 0,005-0,01 г напыляемого сплава, затем над ним закрепляется Pt-Pd-подложка, которая помещается в стандартный держатель вакуумной камеры. Для улучшения электрического контакта и устранения прогибов нагревателя и подложки перед пропуском тока через образец кратковременно (200-250 мс) включается система нагружения установки, после этого закрывается крышка вакуумной камеры, производится откачка системы до остаточного давления 10⁻³-10⁻⁴ Па. После откачки камеры осуществляется нагрев испарителя и подложки до температуры белого каления платины 3200°С путем пропускания постоянного тока 100 А напряжением 4 В в течение 200-250 мс; затем система охлаждается в течение 2-5 мин, производится напуск воздуха в камеру, открывается крышка и извлекается образец. После этого образец исследовался с использованием разработанного способа.

Блок генерации 1 управляет генератором 2, который передает сигнал частотой f_1 на возбуждающие катушки 4, 5 вихретоковых преобразователей, которые создают электромагнитное поле, индуцирующее вихревые токи в электропроводящем объекте контроля. Сигналы проходят усилитель мощности 3, где их напряжение возрастает до 3 В, необходимых для проведения измерений и попадают на возбуждающие катушки 4, 5 вихретоковых преобразователей. В результате возбуждающие катушки создают магнитное поле, проникающее в исследуемую тонкую пленку и подложку. Магнитное поле наводит вихревые токи в исследуемом образце, которые, в свою очередь, наводят напряжение в измерительных катушках 6, 7. Напряжение в виде сигналов С1 и С2 несет информацию о подложке и тонкой пленке соответственно. Сигналы проходят через блок усиления 8 и переходят на блок фильтрации сигнала 9, управляемый программным блоком фильтрации 10, связанным с программным блоком генерации 1. Изменение частоты фильтрации происходит одновременно с изменением частоты генерации. Два сигнала передаются на амплитудный детектор 11, через аналого-цифровой преобразователь 12, в программный блок обработки сигнала 13 и результаты измерений выводятся на экран персонального компьютера в виде графика и значения разности усредненных амплитуд двух сигналов С1 и С2. Электропроводность (σ , МСм/м) определяется согласно экспериментально полученному уравнению $f(x)=0,0809x-0,3696$, по графику (фиг. 2.), построенному по образцам пленок с известной электропроводностью, где точка 1 соответствует образцу алюминия с электропроводностью 1 МСм/м и значения разности амплитуд сигнала 16,8 мВ, точка 2 соответствует образцу алюминия с электропроводностью 1,23 МСм/м и значения разности амплитуд сигнала 19,6 мВ. Пример распределения сигнала, полученного на образце тонкой пленки из алюминия с неизвестной электропроводностью, представлен на фиг. 3. В области А1 усредненная амплитуда сигнала составила 29 мВ, в области А2 - 10,8 мВ. Разница между амплитудой в области А1 и амплитудой в области А2 ($\Delta\langle U \rangle$)

составляет 18,2 мВ. В соответствии с фиг. 2 подставляя полученную разницу в уравнение $f(x)=0,0809x-0,3696$, вычисляют значение электропроводности тонкой пленки из алюминия - 1,10278 МСм/м. Представленный способ применялся для измерения электропроводности тонких пленок, изготовленных из других проводящих материалов. Данные измерений представлены в табл. 1. При этом, разность амплитуд $\langle AU \rangle$ соответствовала переменной x , а электропроводность σ соответствовала $f(x)$ в уравнении $f(x)=0,0809x-0,3696$.

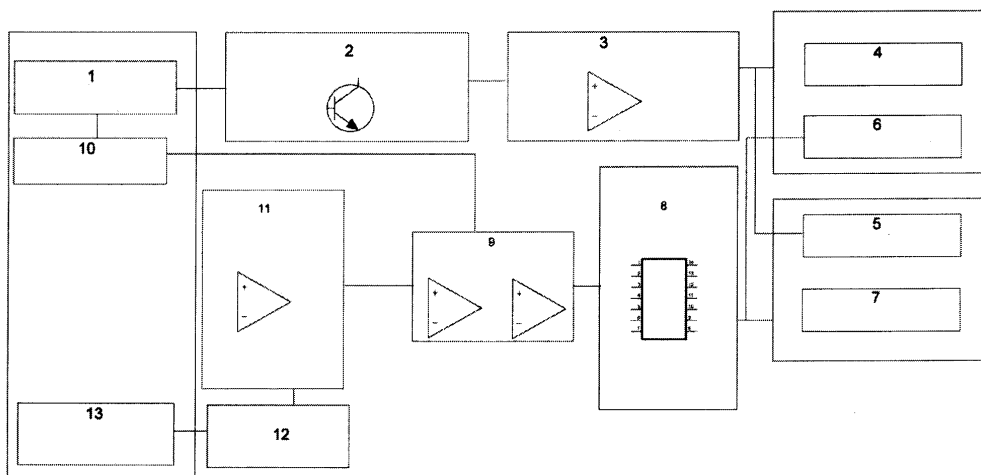
Табл. 1.

Тонкие пленки	Разность амплитуд двух сигналов С1 и С2 $\langle \Delta U \rangle$, мВ	Электропроводность σ , МСм/м
Цинк	6,34	0,1433
Алюминий	18,2	1,10278
Медь	24,13	1,5825

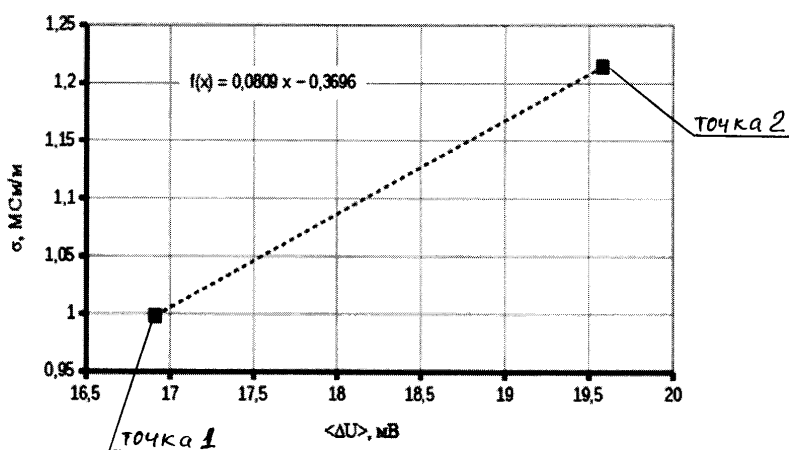
(57) Формула изобретения

Способ измерения электропроводности тонких металлических пленок, представляющий собой оценку значения разности усредненных амплитуд двух сигналов вихретоковых преобразователей с использованием измерительной системы, включающей вихретоковый преобразователь, блоки генерации, персональный компьютер и программное обеспечение, отличающийся тем, что в работе используют два вихретоковых преобразователя, причем управление сигналом на возбуждающих обмотках вихретоковых преобразователей и прием сигналов с измерительных обмоток вихретоковых преобразователей происходит с использованием микроконтроллера, позволяющего формировать сигнал, а программное обеспечение дополнительно включает блоки задачи частоты генерации и фильтрации; при этом сигналы С1 и С2 с измерительных обмоток, несущие информацию о состоянии исследуемого материала, подвергаются усилению и фильтрации и поступают на аналого-цифровой преобразователь и амплитудный детектор, а затем поступают в программный блок обработки сигнала, после чего отображаются на мониторе персонального компьютера, при этом сигнал С1 с измерительной обмотки первого преобразователя соответствует сигналу от подложки, а сигнал С2 с измерительной обмотки второго преобразователя соответствует сигналу от тонкой металлической пленки, при этом управление частотой генерации и частотой фильтрации осуществляется синхронно за счет связи программного блока генерации и блока фильтрации, управляемого программным блоком фильтрации, а электропроводность $f(x)$ тонкой металлической пленки находят из уравнения $f(x)=0,0809x-0,3696$, где x - разность амплитуд двух сигналов С1 и С2.

1

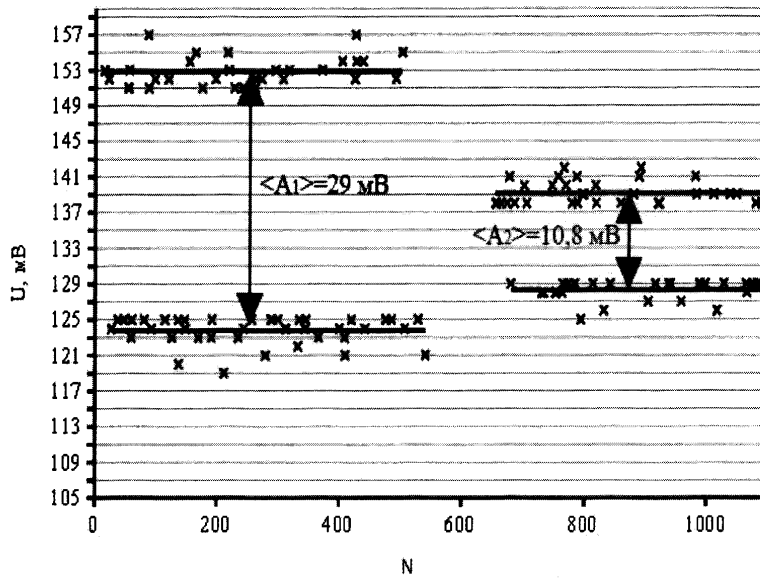


Фиг 1 Принципиальная схема устройства для измерения электропроводности тонких пленок



Фиг. 2 График, полученный по образцам тонкой пленки из алюминия с известной электропроводностью

2



Фиг. 3 Определение усредненной амплитуды сигнала,
 A_1 – амплитуда сигнала на подложке, A_2 – амплитуда сигнала от пленки A_1