



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011114390/28, 14.04.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.04.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.04.2011

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2012 Бюл. № 29

(45) Опубликовано: 20.04.2013 Бюл. № 11

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 7719694 B1, 18.05.2010. SU 1267331 A1,
30.10.1986. US 7709797 B2, 04.05.2010.

**ВАСИЛЬЕВ А.Ф. и др. Применение
спектроскопии ПЭВ для изучения и контроля
качества поверхности заготовок микросхем.
- Оптика и спектроскопия, 1987, т.63, вып.3,
с.682-684. RU 2164020 C2, 10.03.2001. US
6731388 B1, 04.05.2004.**

Адрес для переписки:

117198, Москва, ГСП, ул. Миклухо-Маклая,
6, РУДН, отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

**Никитин Алексей Константинович (RU),
Князев Борис Александрович (RU),
Жижин Герман Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

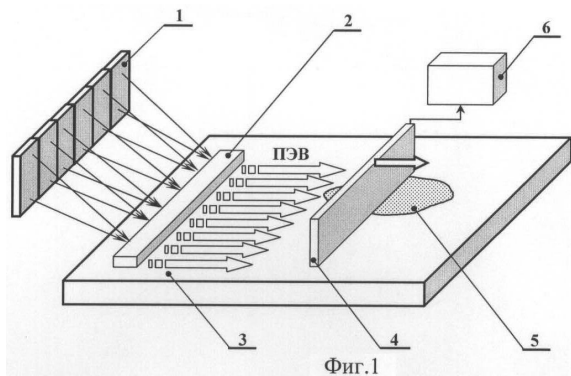
**Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Российский университет
дружбы народов" (РУДН) (RU)**

**(54) СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ
В ИНФРАКРАСНОМ ИЗЛУЧЕНИИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптическим методам контроля качества поверхностей металлов и полупроводников. Способ включает воздействие на поверхность зондирующим излучением, для которого металл имеет отрицательную действительную часть диэлектрической проницаемости, преобразование излучения в набор пучков поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), направляемых поверхностью, освещение контролируемого участка поверхности этими пучками, регистрацию пучков совокупностью приемников пучков и обработку результатов измерений. Преобразование излучения в ПЭВ завершают на прямой линии,

перпендикулярной плоскости падения. Пучки формируют параллельными и примыкающими друг к другу. Освещение участка пучками производят поочередно с двух противоположных направлений, а регистрацию пучков осуществляют над участком в ряде плоскостей, перпендикулярных трекам ПЭВ, путем измерения распределения интенсивности поля ПЭВ в окружающей среде, фиксируя в моменты регистрации расстояние, пробегаемое ПЭВ, и координаты приемников в плоскости регистрации. Изобретение обеспечивает повышение точности локализации неоднородностей металлизированной поверхности. 2 ил.



RU 2479833 C2

RU 2479833 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01N 21/88 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2011114390/28, 14.04.2011**

(24) Effective date for property rights:
14.04.2011

Priority:

(22) Date of filing: **14.04.2011**

(43) Application published: **20.10.2012 Bull. 29**

(45) Date of publication: **20.04.2013 Bull. 11**

Mail address:

**117198, Moskva, GSP, ul. Miklukho-Maklaja, 6,
RUDN, otdel intellektual'noj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Nikitin Aleksej Konstantinovich (RU),
Knjazev Boris Aleksandrovich (RU),
Zhizhin German Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Rossijskij universitet družby narodov" (RUDN)
(RU)**

(54) LOCALISATION METHOD OF NON-HOMOGENEITIES OF METAL SURFACE IN INFRARED RADIATION

(57) Abstract:

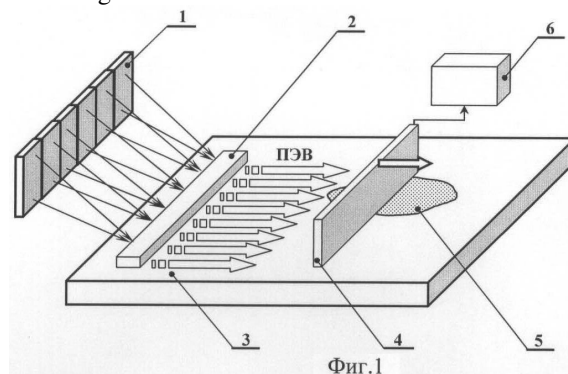
FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method involves action of sounding radiation on the surface, for which metal has negative actual part of dielectric permeability, conversion of radiation to a set of beams of surface electromagnetic waves (SEW) guided with the surface, lighting of the controlled section of surface with those beams, recording of beams with a set of beam receivers and processing of measurement results. Conversion of radiation to SEW is completed on a straight line perpendicular to the incidence plane. Beams are formed so that they are parallel and adjacent to each other. Lighting of the section with beams is performed in turn in two different directions, and recording of beams is performed above the section in row of planes perpendicular to SEW tracks by measuring the distribution of SEW

field intensity in the environment, thus fixing at the recording moments the distance covered with SEW and coordinates of receivers in the recording plane.

EFFECT: improving localisation accuracy of non-homogeneities of metal surface.

2 dwg



RU 2 479 833 C2

RU 2 479 833 C2

Изобретение относится к оптическим методам контроля качества поверхности металлов и полупроводников, а именно к инфракрасной (ИК) амплитудной рефлектометрии, в которой взаимодействие зондирующего излучения с поверхностью опосредовано поверхностной электромагнитной волной (ПЭВ), возбуждаемой падающим излучением и направляемой поверхностью. Изобретение может найти применение в микроэлектронике при производстве металлизированных плат микросхем, в лазерной технике при изготовлении металлических зеркал, в высокотехнологическом производстве для контроля качества металлических изделий и металлизированных материалов различного специального назначения.

Одна из областей применения ИК ПЭВ - абсорбционная спектроскопия поверхности твердого тела, в которой мерой поглощения излучения поверхностью является длина распространения ПЭВ, определяемая путем промера изменения интенсивности поля ПЭВ вдоль ее трека [1].

Известен оптический способ индикации конденсата на зеркальных металлических поверхностях посредством ИК ПЭВ [2]. Способ включает воздействие на поверхность зеркала монохроматическим ИК-излучением, для которого материал зеркала имеет отрицательную действительную часть диэлектрической проницаемости, преобразование излучения в пучок ПЭВ, направляемый поверхностью, мониторинг интегральной интенсивности пучка, прошедшего макроскопическое (по сравнению с длиной волны излучения) расстояние, при постепенном понижении температуры зеркала. Основным недостатком способа является невозможность локализации и определения размеров капли конденсата в связи с ограниченностью (в поперечном направлении) пучка ПЭВ и неизменностью его трека.

Известен оптический способ изучения и контроля качества поверхности заготовок микросхем с использованием ПЭВ ИК-диапазона, повышающий чувствительность рефлектометрических измерений [3]. Способ включает воздействие на поверхность заготовки монохроматическим ИК-излучением, для которого материал заготовки имеет отрицательную действительную часть диэлектрической проницаемости, преобразование излучения в пучок ПЭВ, направляемый поверхностью, последовательное освещение пучком контролируемого участка поверхности с различных направлений при одновременной регистрации трека и интегральной интенсивности пучка после преодоления им участка, а также обработку результатов измерений. Основным недостатком способа является большая трудоемкость, низкая точность и продолжительность измерений.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому способу является способ обнаружения льда и повреждений на металлизированных поверхностях авиационных иллюминаторов и внешних контрольно-измерительных систем [4]. Способ включает ламинирование контролируемого участка поверхности пленкой, текстурированной металлической сеткой, которая способна направлять ИК ПЭВ, размещение по периметру участка приемопередатчиков излучения, преобразование излучения в набор пучков ПЭВ, тотальное освещение участка этими пучками, регистрацию характеристик ПЭВ после преодоления ими контролируемого участка и обработку результатов измерений. Основным недостатком способа является низкая точность локализации неоднородностей, поскольку приемники излучения отстоят от переднего (по ходу излучения) края неоднородностей на макроскопические расстояния, что приводит к взаимному хаотическому перекрытию дифрагировавших на крае пучков и, как следствие этого, к невозможности корректно интерпретировать результаты измерений.

Техническим результатом, на достижение которого направлено изобретение, является повышение точности локализации неоднородностей металлизированной поверхности.

5 Технический результат достигается тем, что в способе локализации неоднородностей металлизированной поверхности в инфракрасном излучении, включающем воздействие на поверхность зондирующим излучением, для которого металл имеет отрицательную действительную часть диэлектрической проницаемости, преобразование излучения в набор пучков поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), направляемых поверхностью, освещение контролируемого участка 10 поверхности этими пучками, регистрацию пучков совокупностью приемников пучков и обработку результатов измерений, преобразование излучения в ПЭВ завершают на прямой линии, перпендикулярной плоскости падения, пучки формируют параллельными и примыкающими друг к другу, освещение участка пучками 15 производят поочередно с двух противоположных направлений, а регистрацию пучков осуществляют над участком в ряде плоскостей, перпендикулярных трекам ПЭВ, путем измерения распределения интенсивности поля ПЭВ в окружающей среде, фиксируя в моменты регистрации расстояние, пробегаемое ПЭВ, и координаты приемников в 20 плоскости регистрации.

Повышение точности локализации неоднородностей металлизированной поверхности достигается в результате регистрации излучения пучков ПЭВ непосредственно над неоднородностями, а не на значительном удалении от них. 25 Вследствие этого поля регистрируемых пучков не зашумлены полями объемных волн, порождаемых при дифракции ПЭВ на границах неоднородностей, что позволяет определить координаты границ по изменению глубины проникновения поля ПЭВ δ в окружающую среду с точностью до размера фотоприемного пикселя.

Выполняя промеры величины δ матрицей фотоприемников в ряде 30 последовательных (по ходу излучения) плоскостей, перпендикулярных пучкам ПЭВ, и фиксируя координаты точек поверхности, в которых значение δ претерпевает отклонение от значения δ_0 , соответствующего стандартному участку (не содержащему неоднородностей) поверхности, можно локализовать передние (по ходу пучков) границы неоднородностей с точностью, определяемой размером пикселей матрицы и 35 шагом ее смещения в направлении распространения пучков. Изменив направление освещения неоднородностей пучками на обратное, аналогичным образом локализуют их противоположные границы. Объединенные результаты измерений, выполненных при освещении неоднородностей с двух противоположных направлений, позволяют 40 осуществить полную локализацию неоднородностей поверхности.

На фиг.1 приведена схема устройства, реализующего предлагаемый способ, где цифрами обозначены: 1 - источник ИК-излучения; 2 - элемент преобразования 45 объемного излучения в ПЭВ; 3 - плоская металлизированная поверхность твердого тела, способная направлять ПЭВ; 4 - перемещаемая вдоль треков ПЭВ плоская матрица приемников излучения, размещенных в виде параллельных плоскости падения рядов, имеющих одинаковое число пикселей и примыкающих друг к другу; 5 - локализуемая неоднородность; 6 - устройство обработки электрических сигналов, поступающих с матрицы 4.

50 На фиг.2 приведены расчетные зависимости глубины проникновения поля ПЭВ с длиной волны 130 мкм в воздух δ от толщины d слоя двуокиси кремния (неоднородности) на поверхности, металлизированной напыленным золотом.

Способ осуществляется следующим образом. Излучение источника 1 направляют

на элемент 2, преобразующий излучение в набор параллельных и примыкающих друг к другу пучков ПЭВ. Эти пучки распространяются по поверхности 3 и достигают матрицы 4, установленной в исходном положении между элементом 2 и неоднородностью 5 перпендикулярно как относительно поверхности 3, так и относительно пучков ПЭВ. Каждым из своих вертикальных (относительно поверхности 3) рядов приемников матрица 4 регистрирует распределение поля ПЭВ вдоль нормали к поверхности 3. Сигналы с матрицы 4 поступают на устройство 6, которое выполняет нормировку сигналов каждого вертикального ряда на величину сигнала, поступающего с примыкающего к поверхности 3 приемника данного ряда. Если плоскость матрицы 4 не пересекает неоднородности 5, то нормированные сигналы от всех приемников любого горизонтального ряда одинаковы. Как только дискретно перемещаемая вдоль треков пучков матрица 4 пересечет границу неоднородности 5, величина δ в области пересечения изменится, что будет зафиксировано приемниками соответствующего одного или нескольких вертикальных рядов матрицы 4: нормированные сигналы с приемников таких рядов окажутся отличными от сигналов соответствующих приемников вертикальных рядов, находящихся над стандартным участком. Регистрируя расстояние, пройденное ПЭВ до матрицы 4, при котором как минимум с одного из вертикальных рядов начинают поступать сигналы, отличные от сигналов с рядов над стандартным участком, и зная координату этого ряда в матрице, получают две координаты участка границы неоднородности 5, обращенного в сторону элемента 2 и находящегося наиболее близко к нему. По мере дальнейшего перемещения матрицы 4 вдоль треков ПЭВ все новые и новые ее вертикальные ряды будут выдавать сигналы, отличные от сигналов рядов, находящихся над однородной частью поверхности 3. Совокупность координат этих рядов в плоскости матрицы 4 и расстояния от нее до элемента 2 представляют собой координаты участков границы неоднородности 5, обращенных в сторону элемента 2. Дискретное удаление матрицы 4 от элемента 2 и измерения продолжают до тех пор, пока число вертикальных рядов приемников с сигналами, отличными от сигналов с рядов над стандартным участком, не достигнет своего максимума. Затем элемент 2 перемещают на противоположный край контролируемого участка поверхности 3, а матрицу 4 размещают рядом с элементом 2 в таком месте, где нормированные сигналы со всех приемников данного ее горизонтального ряда одинаковы. Далее повторяют измерительную процедуру, описанную выше, и получают координаты противоположной границы неоднородности 5. Объединяя результаты измерений, полученных при освещении неоднородности 5 пучками ПЭВ в обоих направлениях, устройство 6 выдает информацию о ее границах и местонахождении на поверхности 3.

В качестве примера применения заявляемого способа рассмотрим возможность локализации на поверхности золотого образца неоднородности в виде слоя двуокиси кремния толщиной d при использовании монохроматического излучения лазера на свободных электронах с длиной волны $\lambda=130$ мкм [5]. Рассчитанная по модели Друде комплексная диэлектрическая проницаемость золота (с плазменной частотой, равной 72800 см^{-1} , и частотой столкновений электронов проводимости, равной 215 см^{-1}) на такой λ равна $\epsilon_1=-101641+j\cdot284090$ [6], а комплексный показатель преломления SiO_2 равен $n=1,95+j\cdot0,01$ [7]. Промер глубины проникновения поля ПЭВ в воздух будем осуществлять плоской болометрической матрицей 160×120 пикселей, размещенных с шагом 50×50 мкм [8].

На фиг.2 представлена расчетная зависимость глубины проникновения поля ПЭВ в

воздух δ от величины d в волноведущей структуре «золото - слой SiO_2 толщиной d - воздух». Из этой зависимости видно, что величина δ_0 в этом случае равна 12,5 мм.

5 Полагая точность измерения интенсивности излучения приемниками матрицы равной 1% и учитывая размер пикселей, можно утверждать, что матрица позволяет обнаруживать изменение величины δ в рассматриваемом примере с точностью до 0,1 мм. Следовательно, измеряя значение δ , можно зарегистрировать наличие на поверхности золота слоя SiO_2 толщиной вплоть до 2 нм. Латеральное же разрешение неоднородности (тонкослойного пятна SiO_2) в направлении, перпендикулярном трекам ПЭВ, определяется размером пикселя (50 мкм в рассматриваемом примере) и не зависит от паразитных дифракционных засветок приемников матрицы, возникающих при дифракции ПЭВ на краях неоднородности. Разрешение же координат границ пятна в направлении распространения ПЭВ определяется шагом смещения плоскостей регистрации в этом направлении (может быть доведено до долей микронметра) и также размером пикселя.

15 Точность локализации неоднородностей способом-прототипом значительно ниже точности, полученной в рассмотренном примере, и составляет несколько миллиметров или даже сантиметров, в зависимости от размеров неоднородностей и расположения приемопередатчиков вокруг контролируемого участка поверхности. Это обусловлено тем, что при падении ПЭВ на границы неоднородности происходит не только частичное отражение ПЭВ, но и частичная их трансформация в объемные волны, излучаемые с поверхности в широком спектре углов [9]. Эти дифракционные помехи засвечивают приемники хаотичным образом, что не позволяет однозначно интерпретировать результаты измерений и локализовать неоднородности с нерегулярными границами с точностью, сопоставимой с точностью заявляемого способа.

20 Таким образом, точность локализации неоднородности заявляемым способом определяется, главным образом, размером пикселей регистрирующей излучение матрицы, а не размерами локализуемой неоднородности и размещением приемопередатчиков вокруг нее и превышает точность способа-прототипа не менее чем на два порядка.

35 Источники информации, принятые во внимание при составлении заявки

1. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. В.М.Аграновича и Д.Л.Миллса. - М.: Наука, 1985. - 525 с.

40 2. Алиева Е.В., Жижин Г.Н., Москалева М.А., Яковлев В.А. Способ индикации конденсата на зеркальных металлических поверхностях // Автор. св. СССР №1267331, бюл. №40 от 30.10.1986 г.

3. Васильев А.Ф., Гушанская Н.Ю., Жижин Г.Н., Яковлев В.А. Применение спектроскопии ПЭВ для изучения и контроля качества поверхности заготовок микросхем // Оптика и спектроскопия, 1987, т.63, вып.3, с.682-684.

45 4. Gregoire D.J. System and method of surface wave imaging to detect ice on a surface or damage to a surface // USA Patent 7719694, Issued on May 18, 2010 (прототип).

50 5. Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A. Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements // Meas. Sci. & Techn., 2010, v.21, 054017.

6. Ordal M.A., Bell R.J., Alexander R.W., Long L. L., and Querry M.R. Optical properties of fourteen metals in the infrared and far infrared: Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Mo, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, V and W. // Applied Optics, 1985, v.24, No.24, p.4493-4499.

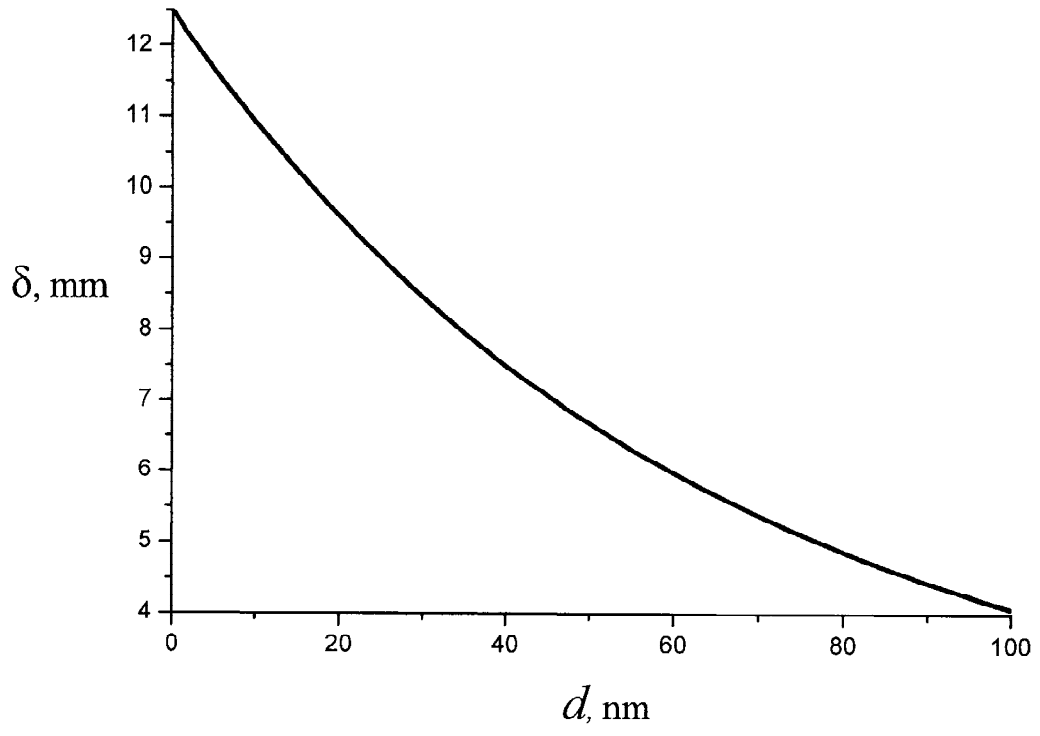
7. Handbook of optical constants of solids. Ed. by E.D.Palik // Academic Press, San Diego, USA, 1998, p.763.

8. Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Асеев А.Л., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н., Винокуров Н.А. // Оптический журнал, 2009, т.76, 12, 2009, с.5-11.

9. Shen T.P., Wallis R.F., Maradudin A.A., Stegeman G.I. Interference phenomena in the refraction of surface polaritons by vertical dielectric barriers // Applied Optics, 1984, v.23(4), p.607-611.

Формула изобретения

Способ локализации неоднородностей металлизированной поверхности в инфракрасном излучении, включающий воздействие на поверхность зондирующим излучением, для которого металл имеет отрицательную действительную часть диэлектрической проницаемости, преобразование излучения в набор пучков поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), направляемых поверхностью, освещение контролируемого участка поверхности этими пучками, регистрацию пучков совокупностью приемников пучков и обработку результатов измерений, отличающийся тем, что преобразование излучения в ПЭВ завершают на прямой линии, перпендикулярной плоскости падения, пучки формируют параллельными и примыкающими друг к другу, освещение участка пучками производят поочередно с двух противоположных направлений, а регистрацию пучков осуществляют над участком в ряде плоскостей, перпендикулярных трекам ПЭВ, путем измерения распределения интенсивности поля ПЭВ в окружающей среде, фиксируя в моменты регистрации расстояние, пробегаемое ПЭВ, и координаты приемников в плоскости регистрации.



d, nm
Фиг.2