



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1830479 A1

(51) G 01 N 22/00

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО СССР
(ГОСПАТЕНТ СССР)

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4859521/09

(22) 14.08.90

(46) 30.07.93. Бюл. № 28

(71) Белорусский политехнический институт

(72) Н.Н. Пунько, М.Г. Караваев, А.Н. Анищенко и С.Л. Смоляков

(56) Конев В.А. и др. Радиоволновая эллипсометрия. М.: Наука и техника, 1985, с.63.

Авторское свидетельство СССР

№ 1499196, кл. G 01 N 22/00, 1987.

(54) РАДИОВОЛНОВЫЙ ЭЛЛИПСОМЕТР

(57) Использование: измерение толщины покрытий. Сущность изобретения: радиоволн. эллипсометр, содержит последовательно соединенные СВЧ-генератор, первый волноводно-лучевой переход (ВЛП), поляризатор и держатель образца, поляризационный делитель, второй ВЛП, СВЧ-детектор, измеритель отношений, индикатор, последовательно соединенные третий ВЛП, связанный со вторым выходом поляризационного делителя, второй СВЧ-детектор, соединенные с вторым входом измерителя

2

отношений, первый attenuатор в канале падающей волны и второй attenuатор в канале отраженной волны. Дополнительно введены делитель с калиброванными параметрами, включенный между держателем образца и поляризационным делителем, вычислитель, включенный между измерителем отношений и индикатором, последовательно соединенные анализатор поляризации, связанный с вторым выходом делителя с калиброванными параметрами, четвертый ВЛП, третий СВЧ-детектор, соединенные с третьим входом измерителя отношений, причем ось пропускания анализатора поляризации устанавливается под определенным, например, 45° , углом к оси пропускания поляризационного делителя, измеритель отношений выполнен трехканальным, а параметры калиброванного делителя введены в память вычислителя и учитываются при восстановлении изображения поляризационного эллипса СВЧ-волны. 1 ил.

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано при измерении параметров покрытий, в частности, для определения толщины тонких металлических пленок на диэлектрических подложках и непроводящих покрытий на металлах.

Цель изобретения – повышение точности и скорости измерений.

На чертеже представлена структурная электрическая схема радиоволнового эллипсометра.

Радиоволновой эллипсометр содержит СВЧ-генератор 1, волноводно-лучевые переходы 2, поляризатор 3, держатель образца 4, делитель с калиброванными параметрами 5, поляризационный делитель 6, анализатор поляризации 7, СВЧ-детекторы 8, измеритель отношений 9, вычислительное устройство 10, индикатор 11. Attenuаторы в каналах падающей и отраженной волны могут быть установлены в различных участках в зависимости от их конструкции и на схеме не указаны.

Радиоволновой эллипсометр работает следующим образом.

(19) SU (11) 1830479 A1

Сверхвысокочастотные электромагнитные колебания, генерируемые генератором 1, формируются в квазиоптический пучок волноводно-лучевым переходом 2. После прохождения поляризатора, пучок падает под углом на контролируемый образец 4. Отраженный пучок делится на два канала делителем с калиброванными параметрами 5. Одна часть отраженного пучка разделяется на два взаимно ортогональные компоненты поляризационным делителем 6. Другая пропускается через анализатор поляризации 7, ось пропускания которого установлена под углом, например, 45° к оси пропускания поляризационного делителя. Выделенные поляризационным делителем 6 и анализатором 7 линейно поляризованные компоненты проходят через соответствующие волноводно-лучевые переходы 2, детектируются СВЧ-детекторами 8 и в виде электрических сигналов подаются на измеритель отношений 9. На выходе измерителя отношений 9 сигналы, пропорциональные величинам отношений и – сигналы с первого, второго и третьего СВЧ-детекторов, поступают на входы вычислителя (ВУ) 10. Предварительно в память ВУ введены параметры калиброванного делителя, т.е. известны поляризационные искажения, вносимые делителем в оба выходящих пучка для произвольной поляризации отраженной волны.

Вычислитель на основании измеренных отношений трех линейно поляризованных компонент отраженной волны с учетом поляризационных искажений, вносимых калиброванным делителем 5, восстанавливает изображение эллипса поляризации отраженной волны. Результат регистрируется индикатором 11.

Алгоритм вычислений построен следующим образом.

На выходе измерителя отношений 9 получаем сигналы, пропорциональные величинам отношений U_2/U_1 и U_3/U_1 , где U_1 , U_2 , U_3 – соответствуют трем линейно поляризованным компонентам, причем U_1 и U_2 – взаимно ортогональные, а U_3 составляет угол α с U_1 (угол между осью пропускания анализатора и осью пропускания поляризационного делителя).

Если начало прямоугольных координат перенесено в центр поляризационного эллипса, то уравнение эллипса имеет вид

$$a_{11}x'^2 + 2a_{12}' \cdot xy + a_{22}'y'^2 + a_{33}' = 0. (1)$$

Так как при эллипсометрических измерениях определяются относительные вели-

чины – эллипсометрические параметры, характеризующие изменение формы и ориентации поляризационного эллипса, то можем записать уравнение эллипса в виде

$$x^2 + 2a_{12} \cdot x \cdot y + a_{22} \cdot y^2 + a_{33} = 0. (2)$$

Уравнение (2) получено из (1) путем деления правой и левой части на коэффициент a_{11} . Измеряемые эллипсометрические параметры из уравнения (2) определяются следующими соотношениями: a и b – полуоси эллипса равны:

$$b = \sqrt{\frac{-l_3}{l_2 \cdot a_{11}''}}; \quad a = \sqrt{\frac{-l_3}{l_2 \cdot a_{22}''}} \quad (3)$$

где:

$$l_2 = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix}; \quad l_3 = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & 0 \\ a_{12} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{vmatrix} \quad (4)$$

Инварианты уравнения эллипса (2).

$$\left. \begin{aligned} a_{11}'' &= a_{12} \sin 2\varphi + \frac{1}{2} (1 - a_{22} \cdot \cos 2\varphi + \\ &+ \frac{1}{2} (1 + a_{22})) \\ a_{22}'' &= a_{12} \sin 2\varphi - \frac{1}{2} (1 - a_{22}) \cdot \cos 2\varphi + \\ &+ \frac{1}{2} (1 + a_{22}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где угол φ равен

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(\operatorname{arctg} \frac{1 - a_{22}}{2 a_{12}} \right) \quad (6)$$

Отношение полуосей (эллипсометрический параметр) равно

$$\frac{b}{a} = \sqrt{\frac{a_{22}''}{a_{11}''}} \quad (7)$$

где a_{22}'' , a_{11}'' определяются согласно (5).

Другой эллипсометрический параметр – угол ориентации эллипса относительно выбранной системы координат определяется значением угла φ .

Таким образом, задача определения эллипсометрических параметров сводится к нахождению коэффициентов a_{12} , a_{22} , a_{33} .

При прохождении волной делителя с калиброванными параметрами эллипс "деформируется", т.е. изменяются коэффициенты a_{12} , a_{22} , a_{33} .

Величина этих изменений определяется матрицей преобразования. Для прошедшей волны

$$|b| = |M| |a|, \quad (8)$$

где $|a|$ — матрица коэффициентов исходного эллипса;

$|b|$ — матрица коэффициентов прошедшей волны;

$|M|$ — матрица известных коэффициентов преобразования.

Для отраженной волны

$$|C| = |M'| \cdot |a|, \quad (9)$$

где $|C|$ — матрица коэффициентов поляризационного эллипса отраженной волны;

$|M'|$ — матрица известных коэффициентов преобразования.

Если совместить ось X прямоугольной системы координат с осью пропускания поляризационного делителя и ввести обозначения

$$K_{21} = \frac{U_2}{U_1}, \quad K_{31} = \frac{U_3}{U_1}$$

— сигналы на выходе измерителя отношений 9, то математически задача сводится к нахождению эллипса поляризации по известным координатам трех точек, принадлежащих исходному эллипсу с учетом матрицы преобразования. Координаты точек равны:

— точка 1 (1, 0)

— точка 2 (0, K_{21})

— точка 3 ($K_{31} \cos \alpha$, $K_{31} \sin \alpha$).

α — угол между осью пропускания анализатора поляризации и осью пропускания поляризационного делителя. Для вышеперечисленных трех точек имеем 3 уравнения

$$b_{11} + b_{33} = 0$$

$$K_{21}^2 b_{22} + b_{33} = 0$$

$$C_{11} K_{31}^2 \cos^2 \alpha + 2 C_{12} \cdot K_{31}^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + C_{22} K_{31}^2 \cdot \sin^2 \alpha + C_{33} = 0,$$

где коэффициенты b_{ij} и C_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) определяются на основании (8), (9).

$$b_{11} = M_{11} a_{11} + M_{12} a_{21} + M_{13} a_{31} = M_{11}' + M_{12}' \cdot a_{12}$$

$$b_{33} = M_{31} a_{13} + M_{32} a_{23} + M_{33} a_{33}$$

$$b_{22} = M_{21} \cdot a_{12} + M_{22} a_{22} + M_{23} a_{32} = M_{21} a_{12} + M_{22} a_{22}$$

$$C_{11} = M_{11}' a_{11} + M_{12}' a_{21} + M_{13}' a_{31} = M_{11}' + M_{12}' a_{12}$$

$$C_{12} = M_{11}' a_{12} + M_{12}' \cdot a_{22} + M_{13}' a_{32} = M_{11}' \cdot a_{12} + M_{12}' a_{22}$$

$$C_{22} = M_{21}' a_{12} + M_{22}' a_{23} + M_{23}' a_{32} = M_{21}' a_{12} + M_{22}' a_{22}$$

$$C_{33} = M_{31}' a_{13} + M_{32}' a_{23} + M_{33}' a_{33} = M_{33}' a_{33}. \quad (11)$$

Окончательно для нахождения неизвестных коэффициентов a_{12} , a_{22} , a_{33} получаем систему из трех уравнений

$$M_{11} + M_{12} \cdot a_{12} + M_{33} a_{33} = 0$$

$$K_{21}^2 M_{21} a_{12} + K_{21}^2 \cdot M_{22} a_{22} + M_{33} \cdot a_{33} = 0$$

$$K_{31}^2 \cdot \cos^2 \alpha (M_{11} + M_{12} a_{12}) + 2 K_{31}^2 x$$

$$x \sin \alpha \cdot \cos \alpha (M_{11} a_{12} + M_{12} a_{22}) +$$

$$+ K_{31}^2 \sin^2 \alpha (M_{21} \cdot a_{12} + M_{22} a_{22}) +$$

$$+ M_{33} a_{33} = 0 \quad (12)$$

Получив коэффициенты a_{12} , a_{22} , a_{33} по формулам (5), (6), (7), находим эллипсометрические параметры.

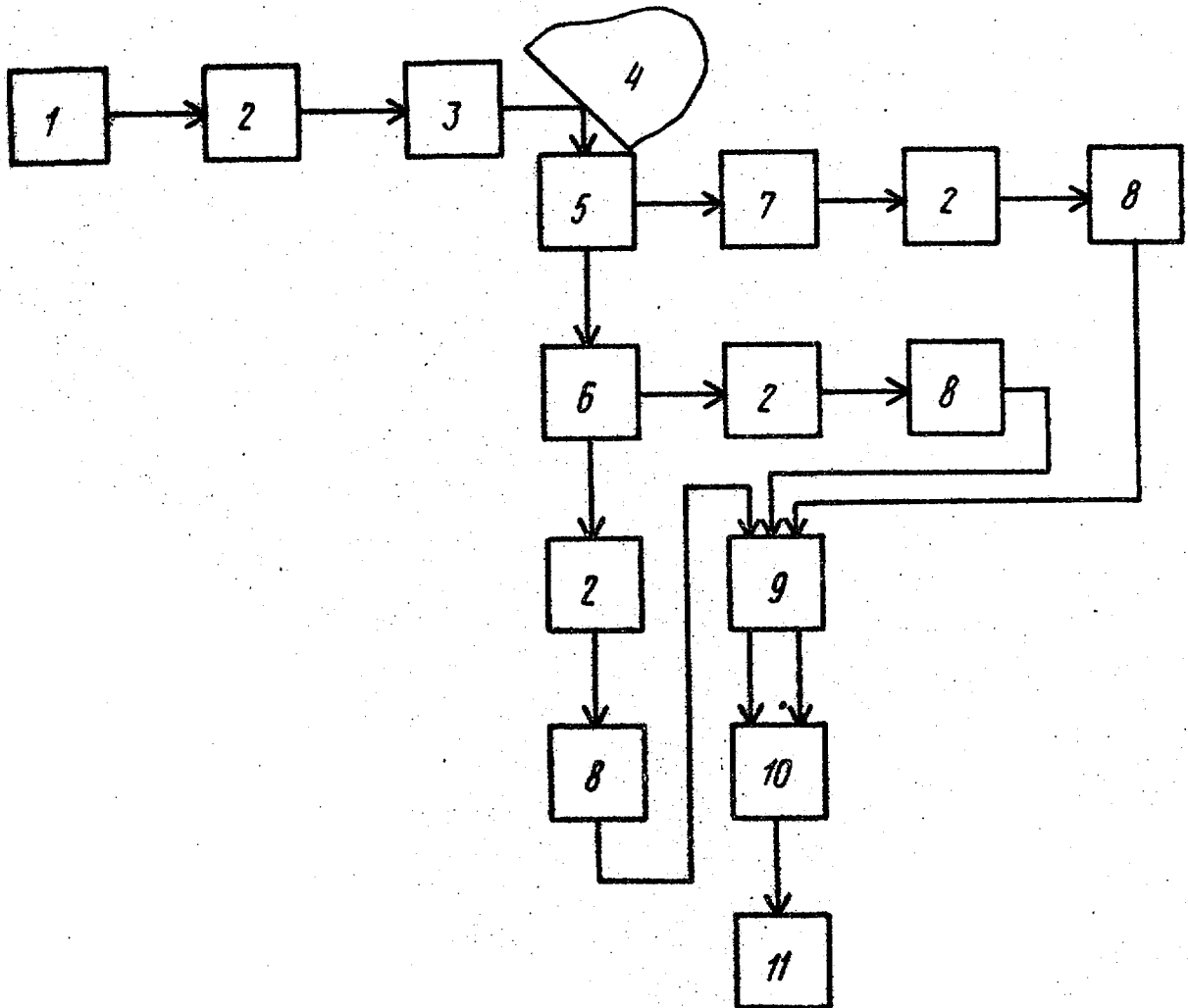
Формула изобретения

Радиоволновый эллипсометр, содержащий последовательно соединенные СВЧ-генератор, первый волноводно-лучевой переход, поляризатор и держатель образца, последовательно соединенные поляризационный делитель, второй волноводно-лучевой переход, первый СВЧ-детектор и измеритель отношений, а также последовательно соединенные третий волноводно-лучевой переход и второй СВЧ-детектор, включенные между вторым выходом поляризационного делителя и вторым входом измерителя отношений, и индикатор, отличающийся тем, что, с целью повышения точности и сокращения времени измерений, введены делитель с калиброванными параметрами, включенный между держателем образца и поляризационным делителем, последовательно соединенные анализатор поляризации, четвертый волноводно-лучевой переход и третий СВЧ-детектор, включенные между вторым выходом делителя с калиброванными параметрами и третьим

входом измерителя отношений, который выполнен трехканальным, а также вычислитель параметров эллипса поляризации отраженной волны, включенный между вы-

ходами измерителя отношений и входом индикатора, при этом ось пропускания анализатора поляризации ориентирована под углом к оси пропускания поляризационного делителя.

5



Редактор

Составитель Р.Кузнецова
Техред М.Моргентал

Корректор Л.Филь

Заказ 2520

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101