



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) За вка: **2006120282/28, 09.06.2006**(24) Дата начала отсчета срока действи патента:  
**09.06.2006**(45) Опубликовано: **27.02.2008 Бюл. № 6**(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **RU 2263923 C1, 10.11.2005. RU 2170913  
C1, 20.07.2001. RU 2173837 C1, 20.09.2001. RU  
2249813 C2, 10.04.2005.**

Адрес дл переписки:

Документ находится в Патентном отделе  
**ОКБ АСТРОН**  
140081, Московская область, г.Лыткарино,  
ул.Парковая, д.1

(54) ПЛАЗМОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРОВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

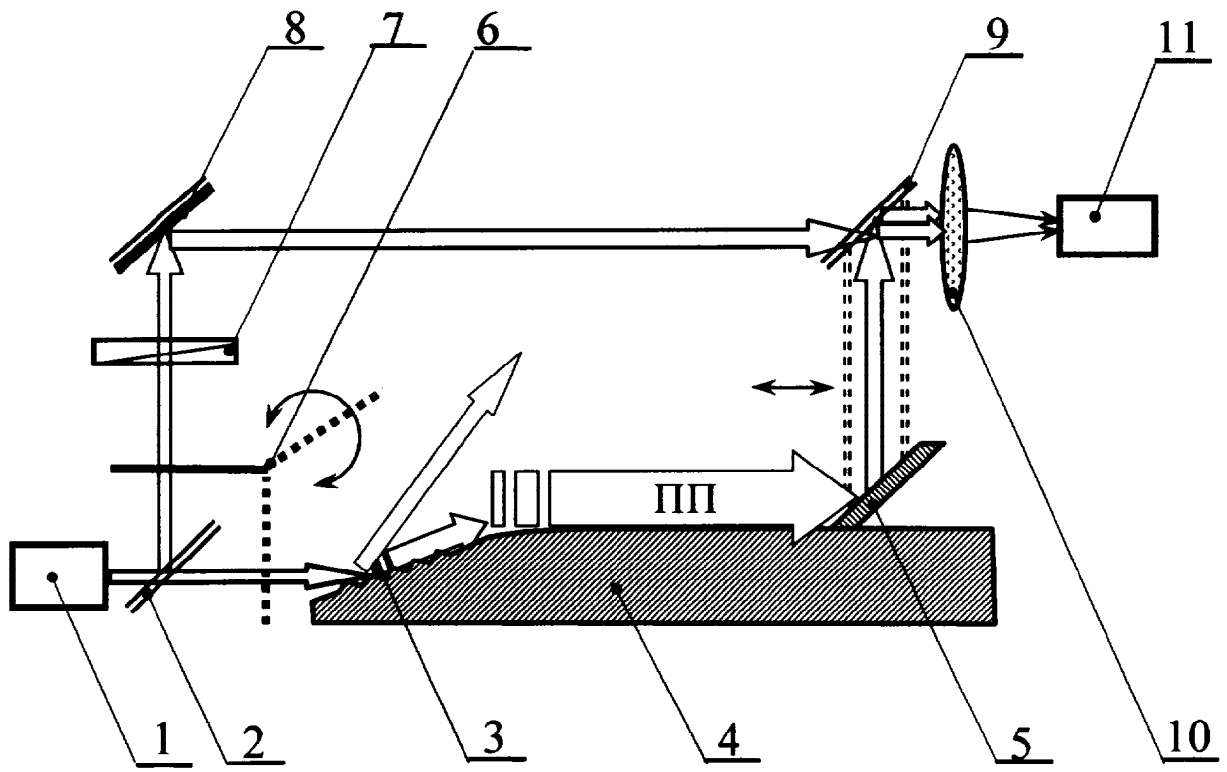
(57) Реферат:

Изобретение относитс к спектрометрии.  
Спектрометр содержит перестраиваемый по  
частоте источник монохроматического излучени с  
отличной от нул р-составл ющей, а также  
регулируемый поглотитель излучени реперного  
пучка. Исследуема поверхность образца  
выполнена двухгранной, причем элемент  
преобразовани объемного излучени в  
поверхностный плазмон (ПП) размещен на одной, а  
элемент преобразовани ПП в объемное  
излучение - на другой грани этой поверхности,  
ребро же, образованное обеими гран ми, скруглено

и имеет радиус закруглени , не менее чем на  
пор док превышающий длину волны излучени .  
Элементом преобразовани ПП в объемное  
излучение служит дополнительное плоское  
зеркало, примыкающее боковой гранью к  
поверхности образца, ориентированное наклонно к  
ней, сопр женное со вторым лучеразделителем и  
перемещаемое вместе с ним вдоль поверхности  
образца. Техническим результатом изобретени  
вл етс повышение точности определени  
комплексного показател преломлени ПП. 2 ил., 1  
табл.

RU 2 318 192 C1

RU 2 318 192 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006120282/28, 09.06.2006**

(24) Effective date for property rights: **09.06.2006**

(45) Date of publication: **27.02.2008 Bull. 6**

Mail address:

Документ находится в Патентном отделе  
**ОКБ АСТРОН**  
140081, Московская область, г.Лыткарино,  
ул.Парковая, д.1

(54) **PLASMON-BASED TERAHERTZ-RANGE SPECTROMETER FOR EXAMINATION OF CONDUCTIVE SURFACE**

(57) Abstract:

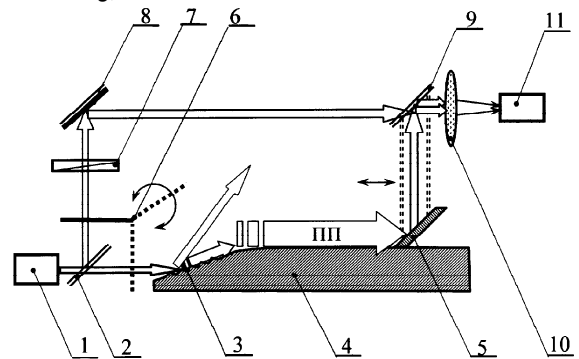
FIELD: spectrometry.

SUBSTANCE: in accordance to the invention, spectrometer contains monochromatic radiation source of adjustable frequency with p-component differing from zero, and also controllable absorber of reference beam radiation. Examined surface of the specimen is made two-sided, where element for transformation of volumetric radiation to surface plasmon is positioned on one side, and element for transformation of surface plasmon to volumetric radiation is positioned on the other side of aforementioned surface, while the rib formed by two sides is rounded and has rounding radius not less than ten times greater than radiation wave length. As element for transformation of surface plasmon to volumetric radiation, additional flat mirror is used which is adjacent with its side to specimen surface and

oriented at an angle to it, also coupled with second beam splitter and moved together with it along the surface of the specimen.

EFFECT: increased precision when determining complex refraction coefficient of surface plasmon.

2 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

RU 2 318 192 C1

RU 2 318 192 C1

Изобретение относится к бесконтактным исследованиям поверхности металлов и полупроводников оптическими методами, а именно - к определению спектров поглощения как самой поверхности, так и ее переходного слоя путем измерения характеристик (фазовой скорости и коэффициента поглощения) поверхностных плазмонов (ПП) терагерцовой (ТГц) области спектра, и может найти применение в физико-химических исследованиях процессов на поверхности твердого тела, в инфракрасной (ИК) спектроскопии окисных и адсорбированных слоев, в контрольно-измерительной технике нанотехнологий микроэлектроники, лазерной и интегральной оптики.

Оптическая спектроскопия поверхности твердого тела - одна из основных областей применения ПП [1, 2]. В первых ПП спектрометрах ИК-диапазона использовали разнесенные вдоль трека ПП элементы прямого и обратного преобразования объемной волны в поверхностную. С помощью таких устройств непосредственно измерили длину распространения ПП в определенном диапазоне длин волн дискретно перестраиваемого лазерного источника излучения [2]. Основным недостатком таких ПП-спектрометров - дискретность рабочих частот и недостаточность объема информации, получаемого в результате измерений (только длины распространения ПП).

Использование в ПП-спектроскопии плавно перестраиваемых по частоте лазеров на свободных электронах позволило преодолеть первый из перечисленных выше недостатков [3-5]. А применение интерференционной методики определения фазовой скорости ПП (точнее, действительной части  $\epsilon'$  эффективного показателя преломления ПП  $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ , где  $i$  - мнимая единица) повысило информативность метода ПП-спектроскопии, поскольку появилась возможность по длине распространения и показателю преломления ПП рассчитать, путем решения дисперсионного уравнения ПП для трехслойной структуры, два параметра переходного слоя, например, его толщину и показатель преломления, или комплексную диэлектрическую проницаемость материала образца.

ПП-спектрометр, описанный в [3], содержит перестраиваемый по частоте источник монохроматического излучения с отличной от нуля р-составляющей напряженности электрической составляющей поля, фокусирующий объектив, дифракционный элемент (край экрана) для преобразования объемного излучения в ПП, твердотельный образец, имеющий плоскую поверхность, на краю которой ПП преобразуются в объемное излучение, и фотоприемник, перемещаемый перпендикулярно поверхности образца в плоскости, содержащей трек ПП. Основным недостатком такого спектрометра является низкая точность определения  $\epsilon'$  по координатам экстремумов интерферограммы, регистрируемой фотоприемником при фиксированном положении экрана относительно образца. Этот недостаток обусловлен тем, что: 1) в результате дифракции падающего излучения на крае экрана, кроме ПП, порождается набор объемных волн, распространяющихся под углом к плоскости образца, причем диаграмма направленности этого набора носит в значительной степени случайный характер. Это приводит к непредсказуемому искажению интерферограммы и не позволяет определить координаты экстремумов с достаточной точностью; 2) скачок фазы, возникающий при срыве ПП с края образца, зависит от расстояния, пройденного ПП. Поэтому для определения  $\epsilon'$  необходимо зарегистрировать не менее двух интерферограмм при различных  $a$ . Это приводит к накоплению погрешности измерений. Таким образом, точность определения  $\epsilon'$  не превышает величину порядка  $10^{-3}$ , что сравнимо с изменением  $\epsilon'$ , обусловленным формированием переходного слоя.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному устройству является плазменный спектрометр терагерцового диапазона для определения диэлектрической проницаемости проводящих материалов, содержащий перестраиваемый по частоте источник монохроматического излучения с отличной от нуля р-составляющей, лучеразделитель, расщепляющий падающее излучение на измерительный и реперный пучки, зеркало, элемент преобразования объемного излучения измерительного пучка в ПП, твердотельный образец с плоской поверхностью, элемент преобразования ПП в объемное

излучение, непрозрачную заслонку, перекрывающую реперный пучок при регистрации интенсивности излучения измерительного пучка, лучеразделитель, совмещающий измерительный и реперный пучки, регулируемый компенсатор, фокусирующий объектив и фотоприемное устройство [6]. Основным недостатком известного устройства является

5 низкая точность определения комплексного показателя преломления ПП, что обусловлено следующими причинами: во-первых, наличием фонового излучения, возникающего в результате дифракции падающего излучения на элементе преобразования объемного излучения в ПП и создающего паразитные помехи на фотоприемнике; во-вторых,

10 неоднозначностью фазы объемной волны, излучаемой с различных участков элемента преобразования ПП в объемное излучение; в-третьих, невозможностью осуществлять регулирование интенсивности реперного пучка, а следовательно, и контраста интерференционной картины, регистрируемой при изменении расстояния, пробегаемого ПП.

Техническим результатом предложенного изобретения является повышение точности

15 определения комплексного показателя преломления ПП, а значит, - и параметров поверхности или ее переходного слоя.

Технический результат достигается тем, что плазменный спектрометр терагерцового диапазона для исследования проводящей поверхности, содержащий перестраиваемый по частоте источник монохроматического излучения с отличной от нуля р-составляющей,

20 лучеразделитель, расщепляющий падающее излучение на измерительный и реперный пучки, зеркало, элемент преобразования объемного излучения измерительного пучка в поверхностный плазмон (ПП), твердотельный проводящий образец с плоскостной поверхностью, элемент преобразования ПП в объемное излучение, непрозрачную заслонку, перекрывающую реперный пучок, лучеразделитель, совмещающий

25 измерительный и реперный пучки, фокусирующий объектив и фотоприемное устройство, дополнительно содержит регулируемый поглотитель излучения реперного пучка, а заслонка снабжена осью вращения, исследуемая поверхность образца выполнена двухгранной, причем элемент преобразования объемного излучения в ПП размещен на одной, а элемент преобразования ПП в объемное излучение - на другой грани этой

30 поверхности, ребро же, образованное обеими гранями, скруглено и имеет радиус закругления, не менее чем на порядок превышающий длину волны излучения, а элементом преобразования ПП в объемное излучение служит дополнительное плоское зеркало, примыкающее боковой гранью к поверхности образца, ориентированное наклонно к ней, сопряженное со вторым лучеразделителем и перемещаемое вместе с ним вдоль

35 поверхности образца.

Повышение точности измерений в предлагаемом устройстве достигается за счет следующих факторов: 1) устраняются фоновые засветки фотоприемника, возникающие в результате дифракции на элементе преобразования объемного излучения в ПП. Эффект

40 устранения паразитных засветок достигается за счет размещения элементов преобразования объемного излучения в ПП и обратно не на одной, а на двух смежных гранях исследуемой поверхности, расположенных в различных плоскостях; 2) обеспечивается синфазность всего фронта объемной волны измерительного пучка. Это достигается в результате использования в качестве элемента преобразования ПП в

45 объемное излучение плоского зеркала, отражающая поверхность которого примыкает к поверхности образца, обращена от него, ориентирована перпендикулярно волновому вектору ПП и параллельно плоскости лучеразделителя, совмещающего пучки. Преобразование ПП в объемное излучение происходит в результате сообщения ПП

50 зеркалом встречного (по отношению к направлению распространения ПП) отрицательного импульса. Что обеспечивает выполнение неравенства  $k_{pp} < k_o$  (где  $k_{pp}$  и  $k_o$  - модули волновых векторов ПП и плоской волны в окружающей среде соответственно), необходимого для трансформации ПП в объемную волну [1]. Отметим, что в ТГц-диапазоне, где глубина проникновения полупроводящего ПП в окружающую среду много больше длины волны излучения [5], процесс отражения ПП от плоского зеркала практически не

отличается от процесса отражения плоской волны от такого же зеркала [7, 8]. При этом преобразование ПП в объемную волну происходит не на протяжении (вдоль трека ПП) участке образца, содержащем элемент преобразования (как в устройстве-протипе), что создает разность в фазе порождаемой объемной волны, а на одной линии,

5 перпендикулярной волновому вектору ПП и образованной пересечением плоскостей поверхности образца и зеркала; 3) обеспечивает возможность повышения контраста интерферограммы вплоть до единицы, что достигается при помощи дополнительно введенного в схему спектрометра регулируемого поглотителя излучения реперного пучка, который позволяет сделать интенсивности обоих пучков одинаковыми при любом  
10 расстоянии, пробегаемом ПП по образцу.

На фиг.1 приведена схема такого устройства, на фиг.2 приведены расчетные зависимости действительной  $\epsilon'$  и мнимой  $\epsilon''$  частей диэлектрической

проницаемости  $\epsilon = \epsilon' + i \cdot \epsilon''$  алюминия от длины волны излучения  $\lambda$ . Устройство содержит 1 -

источник р-поляризованного монохроматического излучения, 2 - лучеразделитель,

15 расщепляющий пучок падающего излучения на измерительный и реперный пучки, 3 - элемент преобразования объемного излучения измерительного пучка в ПП, 4 -

твердотельный проводящий образец, имеющий две плоские смежные грани, на одной из

которых размещен элемент 3, а на другой - элемент преобразования 5 ПП в объемную

волну, 6 - заслонка, перекрывающая реперный пучок при регистрации интенсивности

20 излучения измерительного пучка или измерительный пучок при регулировании интенсивности реперного пучка, 7 - регулируемый поглотитель излучения реперного

пучка, 8 - зеркало, 9 - лучеразделитель, совмещающий измерительный и реперный пучки и

жестко сопряженный с элементом 5, 10 - фокусирующий объектив, 11 - фотоприемное устройство.

25 Спектрометр работает следующим образом. Излучение источника 1 с длиной волны  $\lambda$  направляют на лучеразделитель 2, расщепляющий падающее излучение на измерительный и реперный пучки. Излучение измерительного пучка падает на элемент 3 и

преобразуется в поверхностную волну. ПП пробегают до скругленного ребра (радиус

закругления  $R > 10\lambda$ ), образованного двумя смежными плоскими гранями образца 4,

30 преодолевают это ребро (с некоторыми радиационными потерями) и продолжают распространяться по второй грани до элемента 5 (плоского зеркала, примыкающего одним краем с поверхности образца, ориентированного наклонно к ней и сопряженного с

лучеразделителем 9). Зеркало 5 сообщает ПП отрицательный импульс, что приводит к

уменьшению модуля волнового вектора ПП до значения, меньшего величины модуля

35 волнового вектора объемной волны в окружающей среде, и, как следствие этого, - к преобразованию ПП в объемную волну, направляемую на разделитель 9. На другую

сторону разделителя 9 поступает вторая объемная волна, отраженная прежде от

разделителя 2, прошедшая мимо заслонки 6 через регулируемый поглотитель 7 (например,

полурезистор, имеющий ось вращения, совпадающую с реперным пучком) и отраженная

40 зеркалом 8. Разделитель 9 сбивает вместе обе объемные волны и направляет их через объектив 10 на фотоприемное устройство 11. Вследствие интерференции объемных волн

освещенность апертуры приемника 11, при беспрепятственном прохождении обоих пучков по описанным траекториям, определяется как амплитудами полей обоих пучков, так и

соотношением их фаз.

45 На первом этапе измерений зеркало 5 размещают у дальнего (по ходу излучения) края исследуемой поверхности образца 4 и с помощью заслонки 6 и поглотителя 7 добиваются

примерного равенства интенсивностей пучков. Затем при открытой длине обоих пучков

заслонке 6 зеркало 5 помещают на таком расстоянии  $l_1$  от края, при котором фототок на

50 выходе приемника 11 максимален, что соответствует синфазному изменению полей обоих пучков. Далее, используя заслонку 6 и поглотитель 7, добиваются точного равенства

интенсивностей пучков, когда каждый из пучков порождает фототок величиной  $I_1$ . После чего еще раз уточняют расстояние  $l_1$ , соответствующее интерференционному максимуму.

На втором этапе измерений зеркало 5 плавно перемещают в направлении элемента 3 и

региструют изменени силы фототока. Вследствие интерференции волн обоих пучков эти изменени происходят по закону  $\cos(\Delta\varphi)$ , где  $\Delta\varphi$  - разность фаз, обусловленная отлчиением фазовой скорости ПП от фазовой скорости плоской волны в окружающей среде.

По мере перемещени зеркала 5 фиксируют количество  $N$  экстремумов силы фототока.  
 5 Удалив таким образом зеркало 5 на расстояние  $|l_1|$  от кра образца, устанавливают зеркало 5 в положение  $l_2$ , соответствующее  $N$ -му экстремуму интерферограммы, и, манипулируя заслонкой 6 и поглотителем 7, добиваются равенства фототоков, порождаемых обоими пучками, в величине  $l_2$ .

По результатам измерений рассчитывают значения действительной  $\varepsilon'$  и мнимой  $\varepsilon''$  частей эффективного показателя преломлени ПП по следующим формулам:

$$\varepsilon' = n_{cp} + \Delta\varphi / (k_0 \cdot a), \quad (1)$$

$$\varepsilon'' = \frac{\ln(I_1 / I_2)}{k_0 \cdot a}, \quad (2)$$

15 где  $n_{cp}$  - показатель преломлени окружающей среды,  $k_0 = 2\pi/\lambda$ ,  $\Delta\varphi = N \cdot \pi$  и  $a = |l_2 - l_1|$ .

Подставив найденные значения  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  в дисперсионное уравнение ПП для трехслойной структуры [1-5], рассчитывают два ее параметра, например, - толщину и показатель преломлени переходного слоя, или комплексную диэлектрическую проницаемость материала образца.

20 В качестве примера применим за вл емое устройство рассмотрим возможность определени с его помощью диэлектрической проницаемости алюминия (Al) в диапазоне длин волн от 30 до 100 мкм (частота от 10 до 3 ТГц соответственно). Для этого воспользуемся известной методикой определени оптических постоянных металлов в тарагерцовой области спектра [9, 10]. Основная иде этой методики состоит в нанесении на металлический образец тонкого диэлектрического покрытия, что обуславливает увеличение обеих частей ( $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$ ) эффективного показателя преломлени ПП и позволяет измерить их значения на образцах приемлемых (для лабораторных условий) размеров.

30 Пусть мы располагаем Al образцом с плоской двухгранной поверхностью длиной 30 см, из которых 5 см приходится на элемент преобразовани объемного излучени в ПП и скругленную грань между обоими плоскими гранями поверхности, а оставшиеся 25 см - на вторую плоскую грань. В качестве диэлектрического покрытия выберем слой германия толщиной 0,5 мкм, поскольку в ТГц-диапазоне этот материал обладает малой дисперсией и пренебрежимо малыми потерями: при изменении  $\lambda$  от 100 до 30 мкм показатель преломлени германия варьируется лишь в третьем знаке после запятой: от 4,004 до 4,005; а его показатель поглощени равен  $1 \cdot 10^{-4}$  при  $\lambda = 30$  мкм и  $1 \cdot 10^{-3}$  при  $\lambda = 100$  мкм [11]. Элементом преобразовани объемного излучени в ПП выберем дифракционную решетку с периодом  $\Lambda = 0,2$  мм и глубиной гофра  $\delta = 50$  мкм. Угол между двумя гранями исследуемой поверхности образца положим равным  $10^\circ$ , окружающая среда - воздух ( $n_{cp} = 1,0002726$  [12]).

40 Пусть в исходном положении расстояние  $l_1$  равно 5 мм, при этом сила фототока приемника 11 максимальна, интенсивности пучков одинаковы и каждый из них порождает ток силой  $I_1$ . Предположим, что при плавном перемещении зеркала 5 вдоль поверхности образца на расстояние  $l_2$  от кра образца сила фототока претерпела одну осцилляцию (т.е.  $N=2$ , что соответствует  $\Delta\varphi = 2\pi$ ) и составила величину  $I_2$ . При этом результаты измерений и расчетов по формулам (1) и (2) имеют значения, сведенные в таблицу.

Таблица					
Дисперсия эффективного показателя преломлени ПП $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$ , распространяющихся в структуре "Алюминий - слой германия толщиной 0,5 мкм - воздух"					
$\lambda$ , мкм	$l_2$ , мм	$a$ , мм	$l_2/l_1$	$\varepsilon'$	$\varepsilon''$
30	10,15	5,15	1,833	1,00610	-0,000281
50	30,43	25,43	2,200	1,00220	-0,000123
75	91,77	86,77	2,660	1,00114	-0,000067
100	209,75	204,75	3,102	1,00076	-0,000044

50 Тогда после решени дисперсионного уравнения ПП для трехслойной структуры при

подстановке в него известных  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ ,  $\lambda$ , показатель преломления окружающей среды (воздуха), показатель преломления материала слоя и его толщины, искома зависимость комплексной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon = \varepsilon' + j \cdot \varepsilon''$  алюминия от  $\lambda$  может быть представлена кривыми, изображенными на фиг.2.

5 Оценим ошибку определения действительной части эффективного показателя преломления ПП  $\varepsilon'$  с помощью зазора спектрометра. Из формулы (1) имеем:  $\Delta\varphi = k_0 \cdot (\varepsilon' - n_{cp}) \cdot a$ . Полагая  $\Delta\varphi = 2\pi$  (как это имело место в выше приведенном примере), получим:  $\Delta\varepsilon' = (\varepsilon' - n_{cp}) = \lambda/a$ . Окончательно, учитывая, что точность задания  $\lambda$  составляет около 1% [13], а точность определения  $a$  - не менее 0,1 мм (т.е. тоже порядка 1%), получим, что ошибка определения  $\Delta\varepsilon'$  не превышает единиц процентов и составляет величину, не большую  $10^{-4}$  (т.е. одного порядка с превышением над единицей величины показателя преломления воздуха).

15 Оценим также, для возможности сравнения, ошибку определения  $\varepsilon'$  в рассмотренном примере с помощью устройства-прототипа.

20 Как показано в работе [14], при использовании призматических элементов преобразования объемной волны в ПП и обратно на плоской поверхности образца невозможно устранить оптическую взаимосвязь между обоими элементами, осуществляемую посредством объемных волн, порождаемых в результате дифракции падающего излучения на ребре входной призмы. Поэтому, вследствие вариации этой взаимосвязи по мере перемещения выходной призмы, наряду с полезным световым сигналом (пропорциональным интенсивности поля ПП в месте нахождения выходной призмы) на фотодетектор поступает и изменяющийся при перемещении выходной призмы шумовой сигнал (пропорциональный интенсивности дифрагировавшего на ребре входной призмы излучения). Причем интенсивность дифрагировавших волн может быть не только сравнимой, но и превосходить интенсивность поля ПП у выходной призмы, в результате чего погрешность измерений может стать неприемлемо большой (десятки процентов). Размещение элементов преобразования объемного излучения в ПП и обратно на различных гранях поверхности образца приводит к пространственному разнесению фонового излучения и поля ПП, что ликвидирует, таким образом, проблему фоновой засветки фотоприемника дифрагировавшим излучением.

35 Возможность регулирования интенсивности реперного пучка с целью повышения контраста интерферограммы до единицы при нахождении выходного элемента в любом месте второй грани исследуемой поверхности позволит повысить точность определения расстояния  $a$ , пробегаемого ПП по этой грани между двумя положениями элемента в. При большом затухании ПП (когда длина распространения ПП сравнима с  $a$ ) интенсивность измерительного пучка может измениться в десятки раз при смещении выходной призмы, поэтому погрешность измерения величины  $a$  может достигать миллиметров, что приводит к ошибке определения  $\Delta\varepsilon'$  на десятки процентов. В случае рассмотренного примера погрешность измерения  $a$  устройством-прототипом (без возможности регулирования контраста) повышается с уменьшением  $\lambda$  и при  $\lambda = 30$  мкм составляет около 1 мм, что обусловит величину ошибки определения  $\Delta\varepsilon'$  двадцатью процентами (с учетом того, что в этом случае  $a = 5,15$  мм; см. Таблицу).

45 И, наконец, использование в качестве выходного элемента призмы с размером основания 10 мм (или более) не позволит применить устройство-прототип для определения  $\varepsilon'$  в рассмотренном примере при  $\lambda < 50$  мкм вообще, поскольку при этом фазовый набег ПП, в процессе распространения под призмой, составит величину, сопоставимую с  $\Delta\varphi = 2\pi$ , приобретенной поверхностной волной на расстоянии  $a$ . Конечно, это не означает, что устройство-прототип вообще не пригодно для определения  $\varepsilon'$  при  $\lambda < 50$  мкм; просто в этом случае придется увеличить число зарегистрированных экстремумов интерферограммы, и соответственно, расстояние  $a$ . Впрочем, величина  $a$  не может быть произвольной, она ограничена длиной распространения ПП.

50 Что же касается точности определения  $\varepsilon''$  зазором устройством, то она будет



выше по сравнению с устройством-прототипом. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, ликвидацией фоновых засветок при размещении элементов прямого и обратного преобразования объемной волны в ПП на различных гранях исследуемой поверхности. Во-вторых, уменьшением размера (вдоль трека ПП) элемента преобразования ПП в объемное излучение (зеркало 5) по сравнению с призмным элементом, используемым в устройстве-прототипе, что позволяет точнее определить расстояние  $a$ , пробегаемое ПП.

Таким образом, применение в заданном устройстве регулируемого поглотителя излучения реперного пучка, наличие у исследуемой поверхности образца двух ( $a$  не одной) плоских граней и раздельное размещение элементов прямого и обратного преобразования объемной волны в ПП на этих гранях, а также выбор в качестве элемента преобразования ПП в объемное излучение плоского зеркала, позволяет повысить точность измерений в несколько раз.

Источники информации

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

2. Zhizhin G.N., Yakovlev V.A. Broad-band spectroscopy of surface electromagnetic waves // Physics Reports. - 1990. - v.194. - No.5/6. - p.281-289.

3. Zhizhin G.N., Alieva E.V., Kuzik L.A., Yakovlev V.A., Shkrabo D.M., Van der Meer A.F.G., Van der Wiel M.J. Free-electron laser for infrared SEW characterization surfaces of conducting and dielectric solids and nm films on them // Applied Physics (A). 1998. - v.67. - p.667-673.

4. Bogomolov G.D., Uk Young Jeong, Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Zavyalov V.V., Kazakevich G.M., Byung Cheol Lee. Generation of surface electromagnetic waves in terahertz spectral range by free-electron laser radiation and their refractive index determination // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (A). - 2005. - v.543. - No.1. - p.96-101.

5. Bogomolov G.D., Young UkJeong, Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Zavyalov V.V., Kazakevich G.M., Byung Cheol Lee, Rijova T.A. First experiments on application of free-electron laser terahertz radiation for optical control of metal surfaces //

Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2005. - №5. - с.57-63.

6. Жижин Г.Н., Никитин А.К., Рыжова Т.Н. Способ определения диэлектрической проницаемости металлов в инфракрасном диапазоне спектра // Патент РФ на изобретение №2263923. - Бюллетень изобретений №31 от 10.XI.2005 г.(Прототип)

7. Bell R.J., Goben C.A., Davarpanah M., Bhasin K., Begley D.L., and Bauer A.C. Two-dimensional optics with surface electromagnetic waves // Applied Optics. - 1975. - v.14. - No.6. - p.1322-1325.

8. Bell R.J., Davarpanah M., Goben C.A., Begley D.L., Bhasin K., and Alexander R.W. Measurements of standing waves and the absorption coefficients of various materials with surface electromagnetic waves on Al // Applied Optics. -1975. - v.17. - No.7. - p.1579-1584.

9. Zhizhin G.N., Nikitin A.K., Rijova T.A., et al. Aluminum optical constants in the far infrared determined from surface electromagnetic waves characteristics // Conference program ICONO/LAT (Intern. Conference on Coherent and Nonlinear Optics / Intern. Conf. on Lasers, Applications, and Technologies), May 11-15, 2005, St. Petersburg, Russia. - p.84. Report LFC3.

10. Жижин Г.Н., Никитин А.К., Богомолов Г.Д., Завьялов В.В., Джонг Юнг Ук, Ли Банг Чол, Сеонг Хи Пак, Хек Джин Ча. Поглощение поверхностных плазмонов терагерцового диапазона в структуре "металл - покровный слой - воздух" // Оптика и спектроскопия. - 2006. - Т.100. - №5. - с.817-822.

11. Handbook of optical constants of solids. Ed. by E.D. Palik // Academic Press, San Diego, USA, 1998. - 804 p.

12. Справочник "Физические величины" // М.: Энергоатомиздат, 1991. - 575 с.

13. Jeong Y.U., Kazakevitch G. M., Lee B.C., et al. Status and prospects of optical

compact FIR PEL driven by a magnetron-based microtron // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (A). - 2002. - v.483. - No.1. - p.195-199.

14. O'Hara J.F., Averitt R.D. Prism coupling to terahertz surface plasmon polaritons // Optics Express. - 2005. - v.13. - No.16. - p.6117-6126.

5

#### Формула изобретения

Плазмонный спектрометр терагерцового диапазона для исследования проводящей поверхности, содержащий перестраиваемый по частоте источник монохроматического излучения с отличной от нуля р-составляющей, лучеразделитель, расщепляющий падающее излучение на измерительный и реперный пучки, зеркало, элемент преобразования объемного излучения измерительного пучка в поверхностный плазмон (ПП), твердотельный проводящий образец с плоскогранной поверхностью, элемент преобразования ПП в объемное излучение, непрозрачную заслонку, перекрывающую реперный пучок, лучеразделитель, совмещающий измерительный и реперный пучки, фокусирующий объектив и фотоприемное устройство, отличающийся тем, что спектрометр дополнительно содержит регулируемый поглотитель излучения реперного пучка, а заслонка снабжена осью вращения, исследуемая поверхность образца выполнена двухгранной, причем элемент преобразования объемного излучения в ПП размещен на одной, а элемент преобразования ПП в объемное излучение - на другой грани этой поверхности, ребро же, образованное обеими гранями, скруглено и имеет радиус закругления не менее чем на порядок превышающий длину волны излучения, а элементом преобразования ПП в объемное излучение служит дополнительное плоское зеркало, примыкающее боковой гранью к поверхности образца, ориентированное наклонно к ней, сопряженное со вторым лучеразделителем и перемещаемое вместе с ним вдоль поверхности образца.

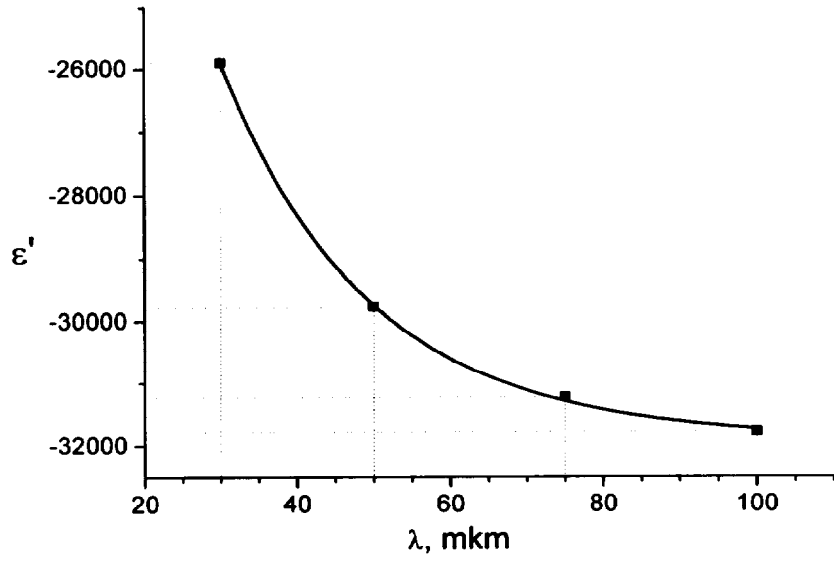
30

35

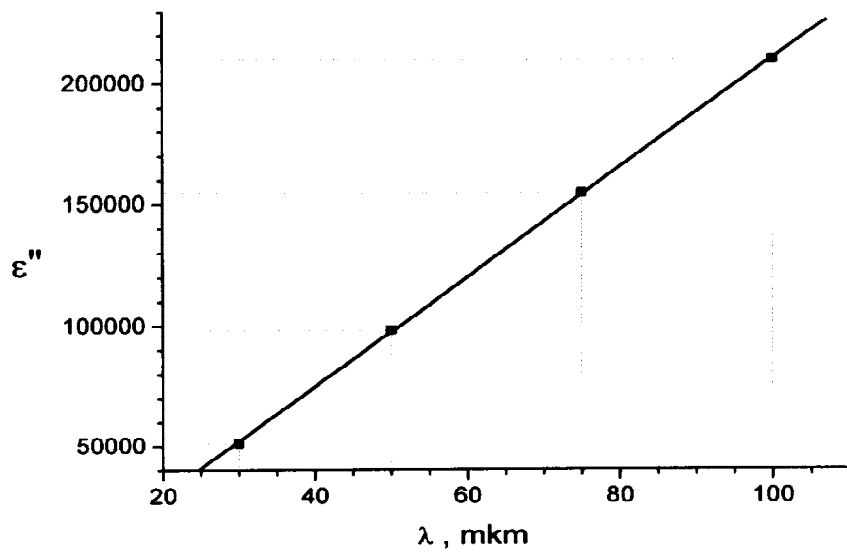
40

45

50



а)



б)

Фиг. 2