



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) За вка: 2007123801/28, 27.06.2007

(24) Дата начала отсчета срока действи патента:
27.06.2007

(45) Опубликовано: 27.01.2009 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: ЖИЖИН Г.Н. и др. Поглощение поверхностных плазмонов терагерцового диапазона в структуре «металл-покровный слой-воздух». Оптика и спектроскопи, 2006, т.100, №5, с.798-802. ЖИЖИН Г.Н. и др. Селективное поглощение ПЭВ, распростран ющейс по металлу в присутствии тонкой диэлектрической пленки. Письма в ЖЭТФ, 1976, т.24, вып.4, с.221-225. SU 1684634 (см. прод.)

Адрес дл переписки:

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

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ В ТЕРАГЕРЦОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

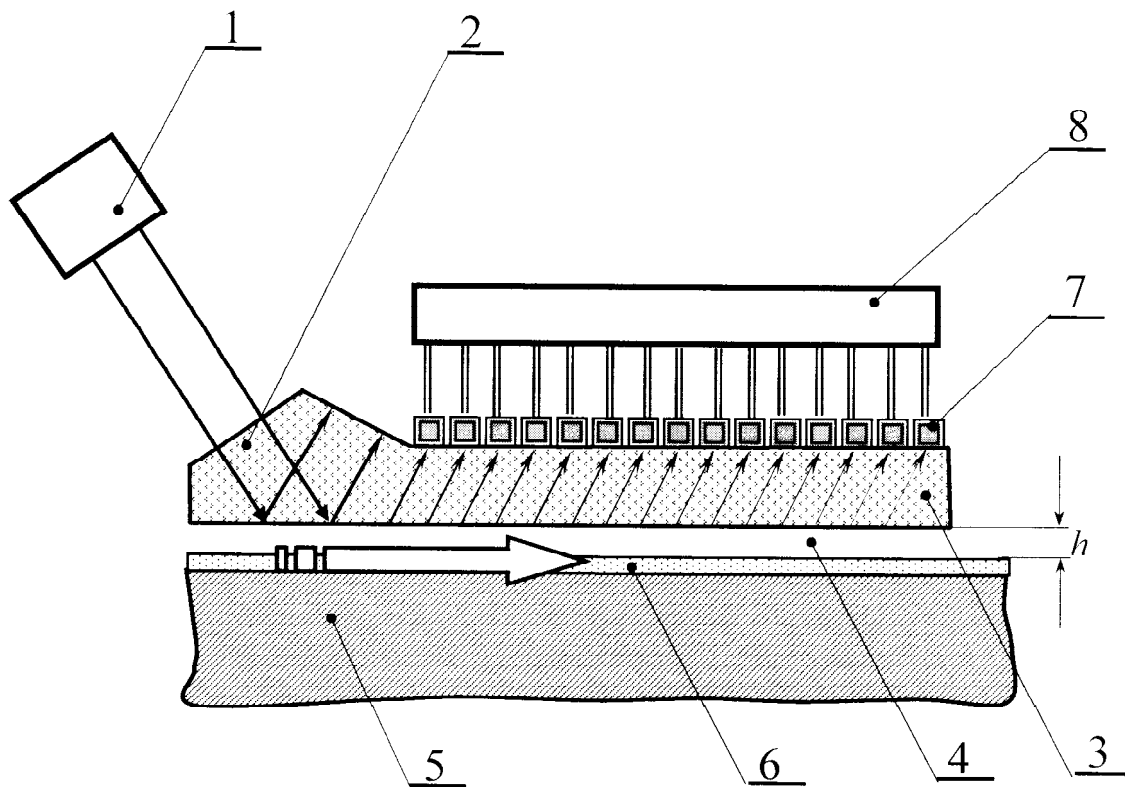
(57) Реферат:

Изобретение относитс к бесконтактным исследовани м поверхности металлов и полупроводников оптическими методами. Устройство содержит плавно перестраиваемый по частоте источник лазерного излучени, твердотельный образец с плоской поверхностью и исследуемым слоем на ней, элемент преобразовани объемного излучени (ОИ) в поверхностную электромагнитную волну (ПЭВ) и обратно, фотоприемное устройство, преобразующее ОИ в электрический сигнал, и блок обработки результатов измерений. Элемент преобразовани ОИ в ПЭВ и обратно выполнен как одно целое в виде прозрачной

плоскопараллельной пластины со скошенным торцом. Пластина своей гранью, обращенной к образцу, расположена в поле ПЭВ параллельно поверхности образца на рассто нии от нее не меньше 10λ , где λ - длина волны излучени в вакууме, и имеет длину вдоль трека ПЭВ не менее длины распространени ПЭВ. Фотоприемное устройство выполнено в виде линейки фотодетекторов и размещено на верхней грани пластины. Техническим результатом вл етс сокращение времени измерений и создание возможности дл согласовани длины распространени ПЭВ с размером поверхности образца. 2 ил.

RU 2 345 351 C1

RU 2 345 351 C1



Фиг. 1

(56) (продолжение):

A1, 15.10.1991. RU 2142621 C1, 10.12.1999. RU 2251681 C1, 10.05.2003. EP 0388874 A1, 26.09.1990.

RU 2 3 4 5 3 5 1 C 1

RU 2 3 4 5 3 5 1 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2007123801/28, 27.06.2007**

(24) Effective date for property rights: **27.06.2007**

(45) Date of publication: **27.01.2009 Bull. 3**

Mail address:
**117198, Moskva, GSP, ul. Miklukho-Maklaja, 6,
RUDN**

(72) Inventor(s):

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

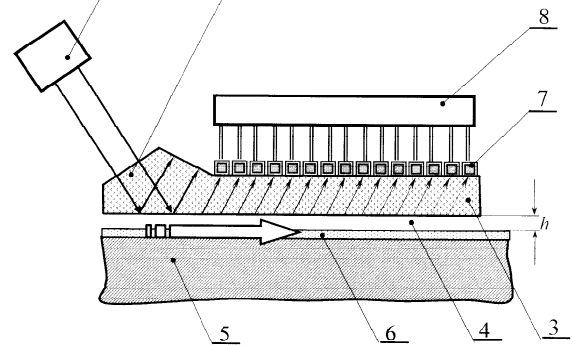
(54) **DEVICE FOR OBTAINING OF ABSORPTION SPECTRUMS OF LAMINAS IN TERAHERTZ SPECTRUM REGION**

(57) Abstract:

FIELD: physics, measuring.

SUBSTANCE: invention concerns noncontact examinations of a surface of metals and semiconductors optical methods. Device contains radiant of laser radiation smoothly reconstructed on frequency, the solid-state sample with a flat surface and an explored stratum on it, a device of transformation of volume radiation (VR) in the superficial electromagnetic wave (SEW) and back, a photointake, reformative VR in an electrical signal, and the block of processing of observed making of possibility for the coordination of datat. The device of VR in SEW transformation length of SEW distribution with the size of also is back executed as a single whole in the form of the transparent plane-parallel plate with an oblique end face. The plate the facet converted to the surface of the sample. The sample, is located in the SEW field parallelly the surface of the sample apart from it not less than 10λ where λ a radiation wave length in vacuo, and has length along the SEW track not less than length of SEW distribution. Photointake is executed in the form of a ruler of

semiconductors optical methods. Device contains photodetectors and disposed on the upper facet of a plate. The solid-state sample with a flat surface and an explored stratum on it, a device of transformation of volume radiation (VR) in the superficial electromagnetic wave (SEW) and back, a photointake, reformative VR in an electrical making of possibility for the coordination of datat. The device of VR in SEW transformation length of SEW distribution with the size of also is back executed as a single whole in the form of the transparent plane-parallel plate with an oblique end face. The plate the facet converted to the surface of the sample. The sample, is located in the SEW field parallelly the surface of the sample apart from it not less than 10λ where λ a radiation wave length in vacuo, and has length along the SEW track not less than length of SEW distribution. Photointake is executed in the form of a ruler of



Фиг. 1

RU 2 345 351 C1

RU 2 345 351 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 длины распространения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), направленных этой

5 поверхностью, в терагерцовой области спектра и может найти применение в исследованиях физико-химических процессов на поверхности твердого тела, в инфракрасной (ИК) спектроскопии окисных и адсорбированных слоев, в контрольно-измерительной технике нанотехнологий микроэлектроники, лазерной и интегральной оптики.

10 Оптическая спектроскопия поверхности твердого тела - одна из основных областей применения ПЭВ [1, 2]. Различают два основных метода выполнения ПЭВ-спектроскопии: абсорбционный [3] и фазовый [4].

Метод фазовой ПЭВ-спектроскопии используют, в основном, в видимом и ближнем ИК диапазоне, в которых длина распространения ПЭВ L не превышает 100λ (где λ - длина

15 волны излучения, возбуждающего ПЭВ, в вакууме) и непосредственное измерение L , а тем более его изменений в процессе формирования слоя, затруднительно; поэтому в этом случае измерительной характеристикой является фазовая скорость ПЭВ, характеризуемая действительной частью их показателя преломления κ' . Впрочем, были выполнены эксперименты по применению фазовой ПЭВ-спектроскопии и в дальнем ИК диапазоне [2, 5]

20 , но в связи с малым отличием κ' от показателя преломления окружающей среды (которой обычно является воздух) точность метода оказалась низкой, что в настоящее время не позволяет использовать его для количественных измерений.

Метод абсорбционной ПЭВ-спектроскопии используют, в основном, в средней и дальней

25 областях ИК диапазона (область с λ от 30 до 300 мкм получила название терагерцовой области (ТГц) спектра), где величина L составляет не менее 1000λ и может быть непосредственно измерена. Причем, так как расстояние взаимодействия излучения с переходным слоем поверхности при этом также многократно возрастает (по сравнению с отражательными методами изучения поверхности), то чувствительность абсорбционной ПЭВ-спектроскопии соответственно намного выше чувствительности иных оптических

30 методов контроля поверхности в ИК диапазоне.

Известно устройство для исследования тонких слоев на поверхности твердого тела методом абсорбционной ПЭВ-спектроскопии в средней области ИК диапазона, содержащее дискретно перестраиваемый по частоте источник лазерного излучения, твердотельный

35 образец с плоской поверхностью и исследуемым слоем на ней, фиксированный относительно поверхности элемент преобразования объемного излучения (ОИ) в ПЭВ, перемещаемый вдоль трека ПЭВ элемент преобразования ПЭВ в ОИ, фотодетектор, преобразующий ОИ в электрический сигнал, и блок обработки результатов измерений [6]. Основными недостатками такого ПЭВ-спектрометра являются: 1) большая продолжительность измерений, обусловленная необходимостью перемещения элемента преобразования (ПЭВ в ОИ) в процессе измерений; 2) дискретность перестройки частоты излучения источника.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному устройству является абсорбционный ПЭВ-спектрометр ТГц диапазона, содержащий плавно перестраиваемый по

45 частоте источник лазерного излучения, твердотельный образец с плоской поверхностью и исследуемым слоем на ней, элемент преобразования ОИ в ПЭВ в виде непрозрачного экрана, перемещаемого над поверхностью, ограниченную в направлении распространения ПЭВ ребром образца, обеспечивающим трансформацию ПЭВ в ОИ, фотоприемное устройство, преобразующее ОИ в электрический сигнал, и блок обработки результатов измерений [7]. Основными недостатками известного устройства являются: 1) большая продолжительность измерений, обусловленная необходимостью перемещения элемента преобразования (ОИ в ПЭВ) в процессе измерений; 2) невозможность осуществления

50 выбора величины L , сравнимой с размером исследуемой поверхности.

Техническим результатом, на достижение которого направлено изобретение, является

сокращение времени измерений и создание возможности для согласования длинны распространения ПЭВ с размером поверхности образца.

5 Сущность изобретения заключается в том, что в устройстве для исследования тонких слоев в терагерцовой области спектра, содержащем плавно перестраиваемый по частоте источник лазерного излучения, твердотельный образец с плоской поверхностью и исследуемым слоем на ней, элемент преобразования объемного излучения (ОИ) в поверхностную электромагнитную волну (ПЭВ) и обратно, фотоприемное устройство, преобразующее ОИ в электрический сигнал, и блок обработки результатов измерений, элемент преобразования ОИ в ПЭВ и обратно выполнен как одно целое в виде прозрачной 10 плоскопараллельной пластины со скошенным торцом, причем пластина своей гранью, обращенной к образцу, расположена в поле ПЭВ параллельно поверхности образца на расстоянии от нее не меньше 10λ , где λ - длина волны излучения в вакууме, и имеет длину вдоль трека ПЭВ не менее длины распространения ПЭВ, а фотоприемное устройство выполнено в виде линейки фотодетекторов и размещено на верхней грани 15 пластины.

Сокращение времени измерений с минут до долей секунды в предлагаемом устройстве достигается за счет одновременности регистрации интенсивности ПЭВ как минимум в двух точках ее трека.

20 Согласование длины распространения ПЭВ с размером поверхности образца достигается путем выбора необходимой величины коэффициента затухания ПЭВ при изменении расстояния h между пластиной и поверхностью образца.

Введение условия $h > 10\lambda$ обусловлено с одной стороны необходимостью обеспечения бесконтактности измерений, с другой стороны - необходимостью ограничения радиационных потерь ПЭВ.

25 На фиг.1 приведена схема предлагаемого устройства, где 1 - перестраиваемый по частоте источник р-поларизованного монохроматического излучения, 2 - скошенный торец элемента преобразования объемного излучения в ПЭВ и обратно, 3 - элемент преобразования, выполненный в виде прозрачной плоскопараллельной пластины размером больше длины распространения ПЭВ и имеющей скошенный торец 2, 4 - 30 однородный зазор толщиной $h > 10\lambda$, заполненный веществом окружающей среды и отделяющий поверхность образца 5 от нижней грани элемента 3, 5 - твердотельный образец, имеющий плоскую поверхность, 6 - исследуемый слой на поверхности образца, 7 - фотоприемное устройство, 8 - блок обработки результатов измерений.

35 На фиг.2 приведены расчетные зависимости длины распространения ПЭВ L от λ , в отсутствии исследуемого слоя (кривая 1) и при его наличии на поверхности образца (кривая 2), полученные ниже при рассмотрении примера применены для предлагаемого устройства для измерения спектра поглощения слоя двуоксида кремния (SiO_2) толщиной 10 нм на поверхности напыленного алюминия в диапазоне λ от 62,0 до 75,5 мкм.

40 Спектрометр работает следующим образом. Излучение источника 1 с длиной волны λ направляют на скошенный торец 2 пластины 3. Проникнув в пластину, излучение падает на ее нижнюю грань под углом φ , удовлетворяющим равенству $n_{\text{пр}} \cdot \sin(\varphi) = n'$. Претерпевая 45 вхождение полного внутреннего отражения на границе раздела "материал призмы - окружающая среда", излучение, экспоненциально затухая по интенсивности, проникает в зазор 4 и, достигая поверхности образца 5, возбуждает на ней ПЭВ. Поскольку поле ПЭВ переносится в четырех элементах устройства (образце 5, слое 6, зазоре 4 и пластине 3), то затухание ПЭВ определяется свойствами и взаимным расположением всех этих элементов, в том числе - и характеристиками слоя 6. Так как оптическая связь между ПЭВ и пластиной 3 неизменна вдоль всего трека поверхностной волны, то ПЭВ наряду с 50 тепловыми потерями в металле имеет постоянные радиационные потери, величина которых зависит от размера h зазора 4 и может быть оценена по формуле (16) работы [8]. Интенсивность излученной в пластину 3 объемной волны пропорциональна интенсивности поля ПЭВ в данной точке трека. Излученные из различных точек трека под углом φ объемные волны падают на элементы фотоприемного устройства под углом φ .

них ток соответствующей величины. Электрические сигналы со всех элементов устройства 7 одновременно поступают в блок обработки результатов измерений 8. По совокупности сигналов блок 8, используя известную методику [7], рассчитывает величину L при данной λ . Затем осуществляют перестройку частоты источника 1 и производят измерение L при новой λ . Выполняют с некоторым шагом по λ аналогичные измерения во всем выбранном диапазоне частот, получают спектральную зависимость $L(\lambda)$. Вычитают зависимость $L(\lambda)$, полученную при наличии на поверхности слоя 6 толщиной d , из зависимости $L_0(\lambda)$, полученной в отсутствие слоя 6, получают спектр поглощения слоя 6 на поверхности образца 5.

В качестве примера применены для вольтового устройства рассмотрим возможность измерения с его помощью спектра поглощения слоя двуокиси кремния (SiO_2) толщиной $d=10$ нм на поверхности напыленного алюминия в диапазоне λ , от 62,0 до 75,5 мкм. Материалом для пластины 3, преобразующей ОИ в ПЭВ и обратно, выберем полиэтилен с показателем преломления $n_{\text{пр}}=1,52$ и показателем поглощения $k_{\text{пр}}=10^{-3}$ во всем рассматриваемом диапазоне λ [9]. Окружающая среда - воздух. Оптические постоянные алюминия и SiO_2 взяты из [10].

Величину зазора h выберем равной 10 мм, что обеспечивает уменьшение длины распространения ПЭВ по чистой поверхности алюминия при $\lambda=62,0$ мкм примерно в 20 раз (с 3646 мм до 186 мм), а при $\lambda=75,5$ мкм - примерно в 60 раз (с 5738 мм до 97,5 мм). Поэтому размер поверхности образца и пластины 2 можно выбрать равным 20 сантиметрам.

Расчетные зависимости $L(\lambda)$ в отсутствие слоя SiO_2 (кривая 1) и при его наличии на поверхности образца (кривая 2) приведены на Фиг.2. Искомый же спектр поглощения слоя SiO_2 на алюминиевой поверхности представляет собой кривую $\Delta L(\lambda)$, где $\Delta L=L_0-L_d$ (L_0 - величина L при $d=0$; L_d - величина L при $d=10$ нм).

Таким образом, по сравнению с прототипом, для вольтового устройства позволит сократить время измерений и согласовать длину распространения ПЭВ с размером поверхности образца.

Источники информации

1. Поверхностные волноритоны. 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. Жижин Г.Н., Москалева М.А., Шомина Е.В., Яковлев В.А. Селективное поглощение ПЭВ, распространяющейся по металлу в присутствии тонкой диэлектрической пленки // Письма в ЖЭТФ. - 1976. - т.24. - Вып.4, - с.221-225.

4. Никитин А.К., Тищенко А.А. Фазовая ПЭВ-микроскопия // Письма в ЖТФ. - 1991. - т.17. - Вып.11, - с.76-79.

5. Воронов С.А., Жижин Г.Н., Киселев С.А., Кузик Л.А., Яковлев В.А. Фазовая спектроскопия поверхностных электромагнитных волн // Компьютерная оптика. - 1989. - № 4, - с.66-71.

6. Жижин Г.Н., Москалева М.А., Шомина Е.В., Яковлев В.А. Распространение ПЭВ по металлическим поверхностям // Гл.3 в [1], - с.70-104.

7. 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.798-802 (прототип).

8. Otto A. Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection // Zeitschrift für Physik. - 1968. - Bd.216, - s.398-410.

9. Liang C.Y., Krimm S. and Sutherland G. B. Infrared Spectra of High Polymers // Journal of Chemical Physics, 1956, - v.25. - No.3, - p.543-548.

10. Handbook of optical constants of solids. Ed. by E.D. Palik. Academic Press, San

Diego, USA, 1998, - 804 p.

Формула изобретения

Устройство для исследования тонких слоев в терагерцовой области спектра,
5 содержащее плавно перестраиваемый по частоте источник лазерного излучения,
твердотельный образец с плоской поверхностью и исследуемым слоем на ней, элемент
преобразования объемного излучения (ОИ) в поверхностную электромагнитную волну
(ПЭВ) и обратно, фотоприемное устройство, преобразующее ОИ в электрический сигнал, и
10 блок обработки результатов измерений, отличающееся тем, что элемент преобразования
ОИ в ПЭВ и обратно выполнен как одно целое в виде прозрачной плоскопараллельной
пластины со скошенным торцом, причем пластина своей гранью, обращенной к образцу,
расположена в поле ПЭВ параллельно поверхности образца на расстоянии от нее не
меньше 10λ , где λ - длина волны излучения в вакууме, и имеет длину вдоль трека ПЭВ не
15 менее длины распространения ПЭВ, а фотоприемное устройство выполнено в виде
линейки фотодетекторов и размещено на верхней грани пластины.

20

25

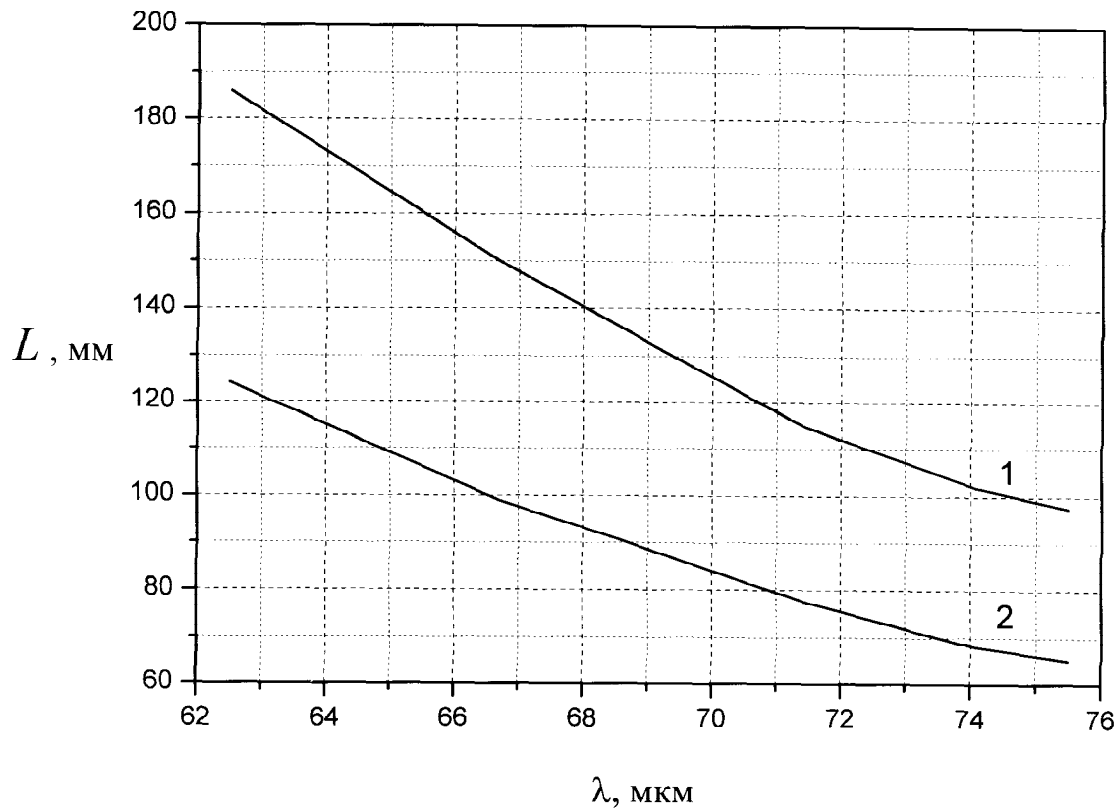
30

35

40

45

50



λ , мкм
Фиг. 2