



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013136981/28, 07.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.08.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2015 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 02086557 A2, 31.10.2002. US
2011109854 A1, 12.05.2011. EP 143070 A1,
29.05.1985

Адрес для переписки:

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1,
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Центр трансфера
технологий, Дьяченко О.Г.

(72) Автор(ы):

ГРУНИН Андрей Анатольевич (RU),
ЧЕТВЕРТУХИН Артем Вячеславович (RU),
ШАРИПОВА Маргарита Ильгизовна (RU),
ДОЛГОВА Татьяна Викторовна (RU),
ФЕДЯНИН Андрей Анатольевич (RU)

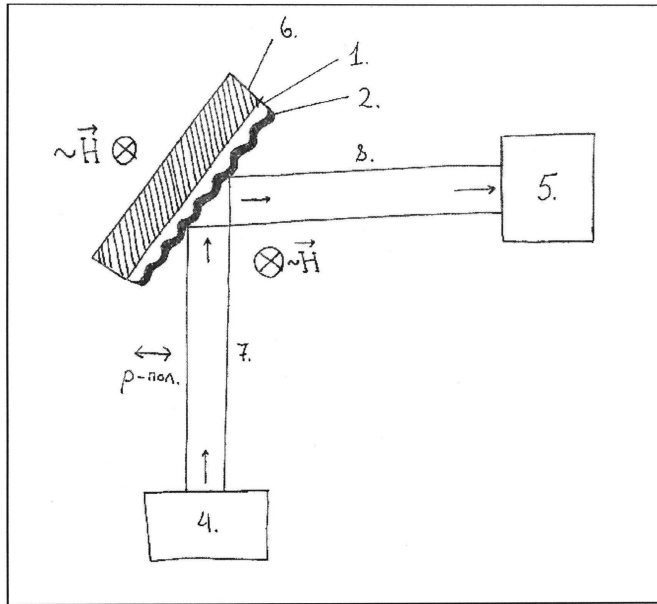
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова" (МГУ) (RU)(54) СПОСОБ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ СВЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области физики, в частности к методикам модуляции интенсивности электромагнитного излучения видимого и ближнего ИК диапазонов посредством приложения магнитного поля. Способ модуляции света включает в себя создание магнитоплазмонного кристалла на основе периодически наноструктурированной диэлектрической матрицы, с пространственным периодом d , последующее напыление на нее слоев ферромагнитных и благородных металлов, а также диэлектриков, освещение магнитоплазмонного кристалла светом и приложение магнитного поля. Модуляция

интенсивности ТМ-поляризованного отраженного света осуществляется с помощью периодически наноструктурированной пленки ферромагнитного металла толщиной $h=50-200$ нм. В качестве источника света используется ТМ-поляризованное электромагнитное излучение, падающее на поверхность магнитоплазмонного кристалла под углом, соответствующим возбуждению поверхностных плазмон-поляритонов. При этом переменное магнитное поле прикладывается в геометрии экваториального магнитооптического эффекта Керра. Технический результат - уменьшение толщины магнитооптического модулятора. 4 ил.



Фиг. 3

RU 2548046 C2

RU 2548046 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013136981/28, 07.08.2013

(24) Effective date for property rights:
07.08.2013

Priority:

(22) Date of filing: 07.08.2013

(43) Application published: 20.02.2015 Bull. № 5

(45) Date of publication: 10.04.2015 Bull. № 10

Mail address:

119991, Moskva, GSP-1, Leninskie gory, 1,
Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V.
Lomonosova, Tsentr transfera tekhnologij,
D'jachenko O.G.

(72) Inventor(s):

GRUNIN Andrej Anatol'evich (RU),
ChETVERTUKhin Artem Vjacheslavovich
(RU),
ShARIPOVA Margarita Il'gizovna (RU),
DOLGOVA Tat'jana Viktorovna (RU),
FEDJaNIN Andrej Anatol'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj universitet imeni M.V.
Lomonosova" (MGU) (RU)

(54) **METHOD FOR MAGNETOOPTICAL MODULATION OF LIGHT USING SURFACE PLASMONS**

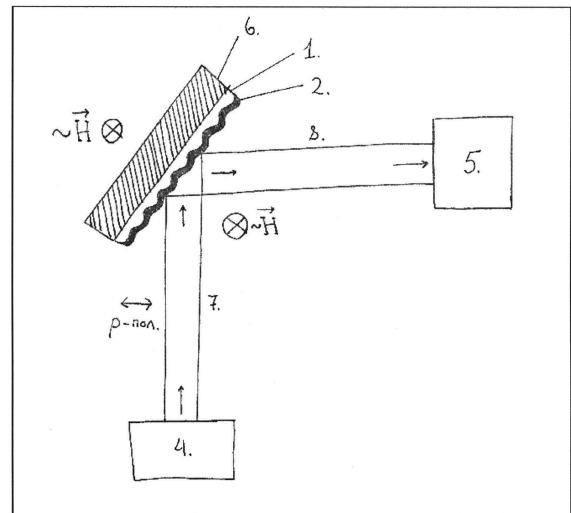
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method of modulating light includes forming a magnetoplasmon crystal based on a periodically nanostructured dielectric array with a spatial period d , sputtering thereon layers of ferromagnetic and noble metals, as well as dielectrics, illuminating the magnetoplasmon crystal with light and applying a magnetic field. Modulation of the intensity of TM polarised reflected light is carried out using a periodically nanostructured film of ferromagnetic metal with thickness $h=50-200$ nm. The light source used is TM polarised electromagnetic radiation which falls on the surface of the magnetoplasmon crystal at an angle which corresponds to excitation of surface plasmon polaritons. An alternating magnetic field is applied in the form of equatorial Kerr effect.

EFFECT: reduced thickness of the magneto-optical modulator.

4 dwg



Фиг. 3

RU 2 548 046 C2

RU 2 548 046 C2

Изобретение относится к области физики, в частности к методикам модуляции интенсивности электромагнитного излучения видимого и ближнего ИК диапазонов посредством приложения магнитного поля. Изобретение может быть использовано для модуляции интенсивности света в оптоволоконной и интегральной оптике, биосенсорике и фотонике.

Известно устройство по модулированию фазы отраженного светового сигнала на основе эффекта Керра (US 4246549, G02B 5/30, опубл. 21.02.2013). Устройство реализует управляемый контроль над фазой отраженного сигнала при отражении от слоя ферромагнитного или ферримагнитного граната, помещенного на высокоотражающую поверхность с коэффициентом отражения предпочтительно свыше 95%, которой может быть, например, набор диэлектрических слоев. В устройстве используется усовершенствование, связанное с тем, что предыдущие аналогичные устройства используют железный слой для эффекта Керра, который обладает высоким поглощением и склонностью к окислению.

Данное устройство обладает большей толщиной, включающей необходимую толщину магнитного граната, а также, отражающий слой. Также в устройстве не используются механизмов существенного усиления магнитооптического эффекта Керра.

Известно также устройство (US 5477376, G02F 1/09, опубл. 19.11.1995) для модулирования интенсивности прошедшего излучения на основе магнитооптического эффекта Фарадея, методом изменения намагниченности магнитного гранатового слоя при помощи электромагнита, либо механически смещаемого постоянного магнита. Устройство включает в себя структуру с чередующимися доменами намагниченности, с чередованием в направлении, перпендикулярном распространению модулируемого излучения. В отсутствии магнитного поля, домены с противоположным направлением намагниченности образуют дифракционную решетку, отводя часть энергии основного пучка в дифрагировавшие пучки. Таким образом достигается модуляция, либо ослабление исходного пучка.

Данное устройство не обладают выраженной селективностью по длинам волн, а также трудно приспособляемо для применения в качестве отражательного модулирующего магнитооптического элемента интегральной фотоники, обладает большими размерами, в частности толщиной, и не использует эффект существенного усиления магнитооптического эффекта Керра.

Известны устройства по считыванию магнитной информации с носителей, основанные на магнитооптическом эффекте Керра, использующие эффекты Керра (US 3545840 G02F 1/34, опубл. 8.11.1970), Фарадея (US 4609961, G11B 5/127 опубл. 2.09.1986), а также использующие оба этих эффекта для повышения чувствительности (EP 0965986 A2, G11B 11/105 опубл. 22.11.1999).

Данные устройства реализуют вариацию пробного сигнала на основе магнитооптического эффекта Керра или Фарадея, а также в них не применяется существенное усиление магнитооптического сигнала, присущее использованию перекачивания излучения в поверхностные плазмоны.

Известно устройство по управлению оптическим сигналом на основе перекачивания оптической энергии в поверхностный плазмон-поляритон (US 20130148186, G02F 1/00, опубл. 13.06.2013), в устройстве применена активная среда, оптические свойства которой могут варьироваться, в зависимости от внешнего электрического или магнитного поля. Для управления с помощью магнитного поля используется диэлектрик с примесями магнитных металлов (Ni, Co), либо ферромагнитных гранатов.

Данное устройство используется в геометрии модулируемого излучения "на

пропускание" и не пригоден для использования в качестве модулирующего отражательного элемента. Кроме того, устройство обладает большими геометрическими размерами, по сравнению с теми, которые возможно обеспечить методом, утверждающимся в настоящей работе.

5 Наиболее близким предлагаемому методу является метод усиления магнитооптического эффекта Керра за счет применения фотоннокристаллических периодических структур на поверхности (US 20130141773, G02F 1/09, опублик. 06.06.2013) и перекачки энергии падающего излучения в поверхностные плазмоны. Утверждается по крайней мере пятикратное усиление экваториального эффекта Керра по сравнению
10 с неструктурированным материалом. Экваториальный магнитооптический эффект Керра позволяет модулировать интенсивность отраженного сигнала. В отличие от предлагаемой методики, в данном методе для усиления магнитооптического эффекта Керра используется фотоннокристаллическая структура толщиной порядка 300 нм. В этом методе не было получено значительной величины магнитооптической модуляции
15 интенсивности, ввиду использования никеля в качестве ферромагнитного металла в основе. Данный метод ограниченно позволяет использовать, например, железо для магнитооптической модуляции. Также, рассматриваемая в данном методе двумерная упорядоченная наноструктура ограниченно позволяет управлять положением плазменного резонанса и сложнее интегрируется в существующие элементы фотоники,
20 чем предлагаемая одномерная.

В процессе проведенных экспериментов было выявлено новое явление по влиянию поверхностных плазмон-поляритонов на изменение величины экваториального магнитооптического эффекта Керра, в зависимости от длины волны и угла падения излучения.

25 Задачей изобретения является создание способа модуляции интенсивности оптического излучения с использованием тонкопленочных наноструктур толщиной менее 200 нм.

Решение этой задачи, то есть создание более тонких, чем существующие на сегодняшний день магнитооптических модуляторов, возможно за счет использования
30 экваториального магнитооптического эффекта Керра, усиленного возбуждением поверхностных плазмон-поляритонов, на поверхности периодически наноструктурированного металла.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения
35 требуемого технического результата.

Настоящее изобретение поясняется конкретным примером исполнения, который, однако, не является единственно возможным, но наглядно демонстрирует возможность достижения требуемого технического результата.

Для реализации данного способа используется магнитоплазмонный кристалл, схема
40 которого показана на Фиг.1. Данный магнитоплазмонный кристалл представляет собой диэлектрическую периодическим образом наноструктурированную матрицу (1) с периодом d , лежащем в диапазоне от 300 до 3000 нм, на которую нанесены слои (2) ферромагнитных металлов (железо, никель, кобальт) и благородных металлов (золото, серебро) суммарной толщиной до 150 нм, и покрытые слоем (3) пассивирующего
45 диэлектрика (например диоксида кремния) толщиной до 50 нм. Данные наноструктуры позволяют эффективно возбуждать на их поверхности поверхностные плазмон-поляритоны, при попадании на них ТМ-поляризованного оптического излучения с длиной волны $\lambda=400-3000$ нм под углом θ , позволяющим выполнить условия фазового

синхронизма между проекцией волнового вектора падающего оптического излучения, вектором поверхностного плазмон-поляритона и вектором обратной решетки магнитоплазмонного кристалла. Данное условие описывается следующей формулой:

$\lambda = d(n_{\text{spp}} + \sin\theta)$, где $n_{\text{spp}} = (\epsilon_m / (1 + \epsilon_m))^{0.5}$, где ϵ_m - диэлектрическая проницаемость металла.

Длина волны резонансного возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов определяется периодом структуры и углом падения света. Возбуждение поверхностных плазмонов на поверхности металла приводит к появлению минимума в спектре отражения, соответствующего перераспределению энергии между падающим и отраженным лучами, а также к усилению магнитооптического эффекта Керра в узком спектральном диапазоне. Экваториальный магнитооптический эффект Керра заключается в изменении интенсивности и фазы отраженного от поверхности света. Однако типичные значения данных эффектов малы для использования тонкопленочных ферромагнитных наноструктур в качестве оптических модуляторов. Усиление данного эффекта путем возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов позволяет достичь уровня заданного прикладными применениями. На Фиг.2 показано изображение образца магнитоплазмонного кристалла на основе железа с пространственным периодом наноструктурирования $d=320$ нм, слоем железа толщиной $h=100$ нм, покрытого сверху 10-нанометровым пассивирующим слоем диоксида кремния, полученное с помощью электронного микроскопа. Напыление металлов производилось методом магнетронного распыления.

На Фиг.3 представлена оптическая схема метода модуляции интенсивности оптического излучения. Для модуляции оптического отклика используется переменное магнитное поле амплитудой порядка 100 Э, лежащее в плоскости тонкой пленки и направленное перпендикулярно плоскости падения света.

На Фиг.4 показан спектр отражения ТМ-поляризованного света от изготовленного магнитоплазмонного кристалла, при угле падения света $\theta=65$ град (сплошная линия). Минимум в спектре отражения при $\lambda=625$ нм носит название аномалии Вуда и появляется вследствие возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов. Его спектральное положение определяется выполнением условий фазового синхронизма для возбуждения поверхностных плазмон-поляритонов. Спектры магнитооптической относительной модуляции коэффициента отражения δ для магнитоплазмонного кристалла (заполненные круги) и плоской пленки железа толщиной $h=100$ нм (штриховая линия) показаны на Фиг.4. Из графиков видно, что при возбуждении поверхностных плазмон-поляритонов происходит значительное усиление магнитооптического эффекта Керра в узкой спектральной области. На длине волны $\lambda=625$ нм значение экваториального магнитооптического эффекта Керра достигает значения $\delta=5\%$, где $\delta = (I(H) - I(-H)) / I(0)$, H - величина напряженности приложенного магнитного поля, $I(H)$ - величина интенсивности отраженного света при приложении магнитного поля величиной H , $I(0)$ - величина интенсивности отраженного света без приложения магнитного поля. Таким образом приложение магнитного поля позволяет изменить интенсивность отраженного света на 5%.

Таким образом, создаются возможности формирования нового способа регулирования интенсивности электромагнитного излучения, который заключается в направлении волны электромагнитного излучения на периодически наноструктурированную поверхность набора слоев ферромагнитных и благородных металлов (магнитоплазмонный кристалл), при необходимости покрытую пассивирующим слоем диэлектрика, с периодом, определяемым рабочей длиной волны излучения и приложением магнитного поля, лежащего в плоскости образца, и

перпендикулярного плоскости падения света. Изменение интенсивности отраженного света меняется изменением величины и знака приложенного магнитного поля.

5 Данный способ позволяет в прикладном плане получить возможность эффективного управления интенсивностью электромагнитного излучения при помощи устройства, активная часть которого имеет толщину менее половины длины волны используемого излучения.

Формула изобретения

10 Способ модуляции света, включающий создание магнитоплазмонного кристалла на основе периодически наноструктурированной диэлектрической матрицы с пространственным периодом d , с последующим напылением на нее слоев ферромагнитных и благородных металлов, освещение магнитоплазмонного кристалла светом и приложение магнитного поля, отличающийся тем, что модуляция интенсивности ТМ-поляризованного отраженного света оптического и ближнего ИК диапазонов
15 осуществляется с помощью магнитного поля, приложенного к периодически наноструктурированной пленке ферромагнитного металла толщиной $h=50-200$ нм в геометрии экваториального магнитооптического эффекта Керра, при угле падения света, соответствующем возбуждению поверхностных плазмон-поляритонов.

20

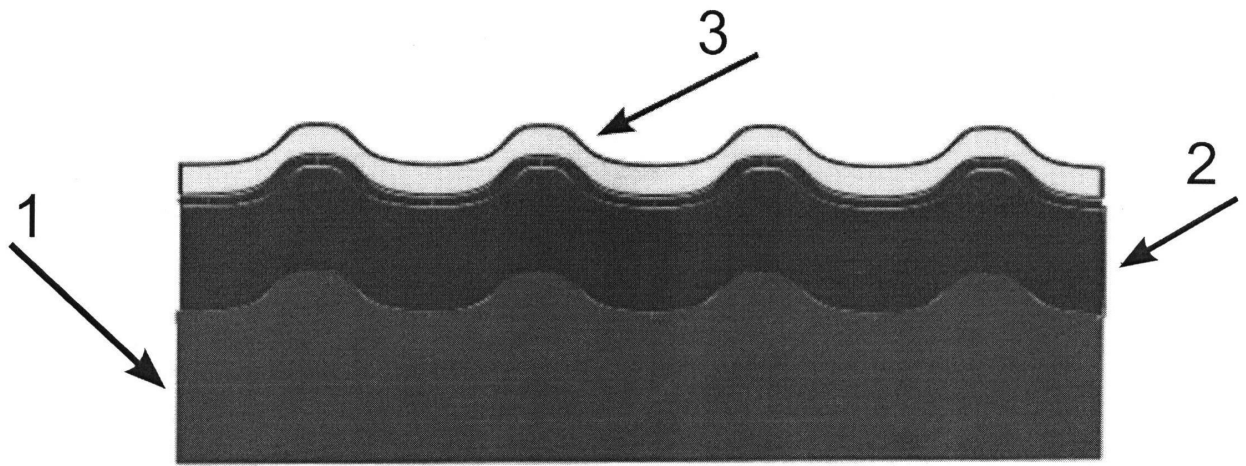
25

30

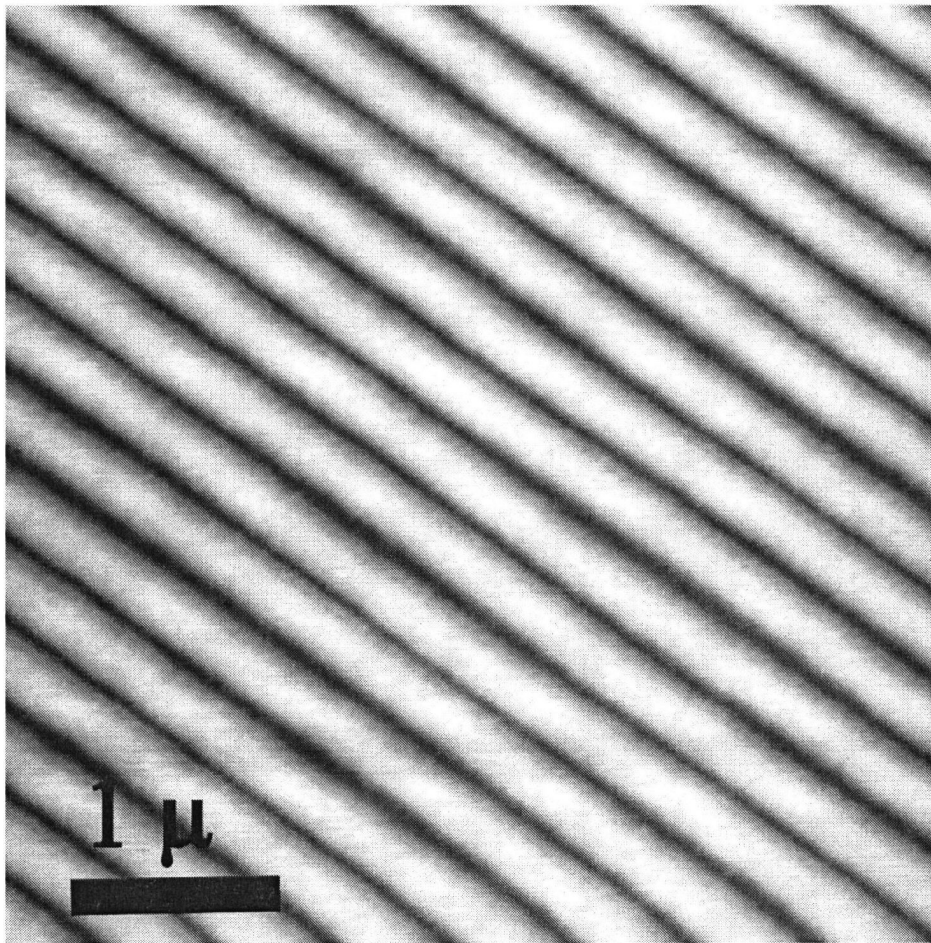
35

40

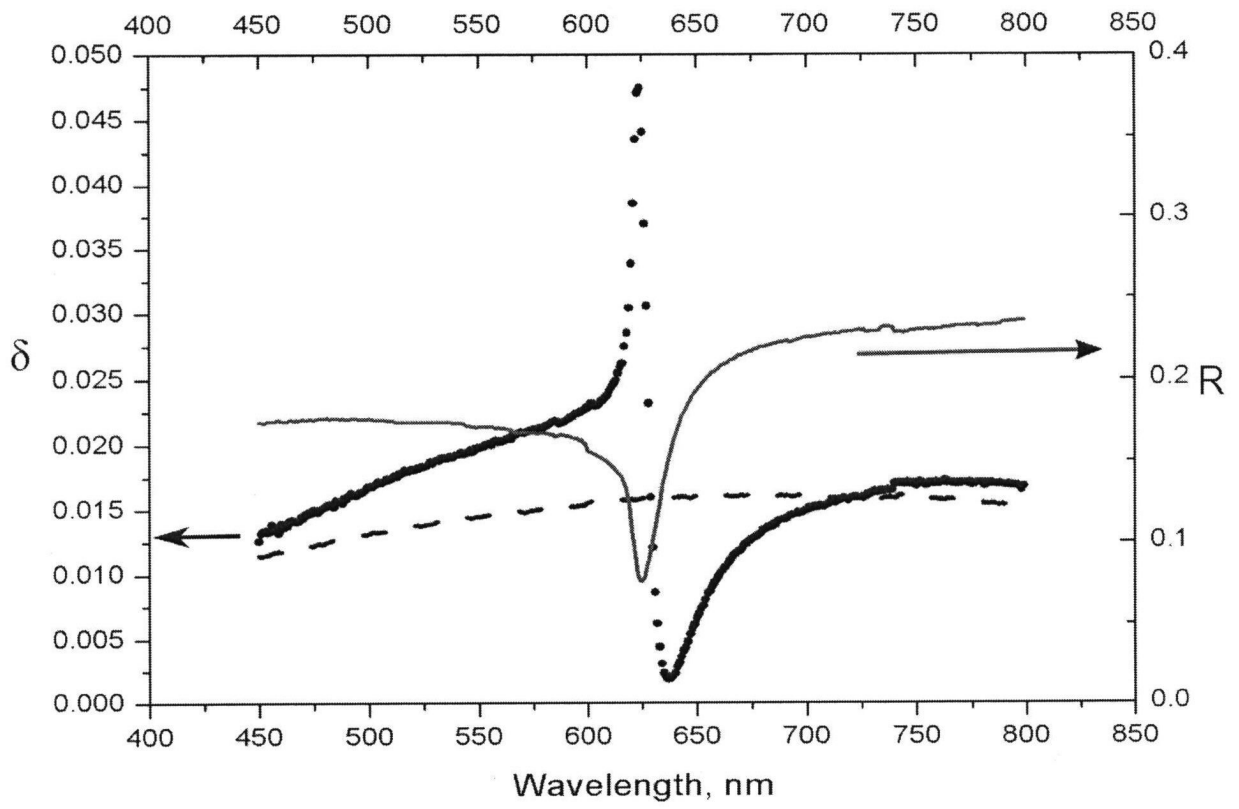
45



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 4