



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 21/49 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2021108643, 30.03.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.03.2021

Дата регистрации:
13.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.03.2021

(45) Опубликовано: 13.09.2021 Бюл. № 26

Адрес для переписки:

115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ
МИФИ, ОУИС УНИ, Бейгул Г.В.

(72) Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович (RU),
Котковский Геннадий Евгеньевич (RU),
Мартынов Игорь Леонидович (RU),
Козловский Константин Иванович (RU),
Кузищин Юрий Александрович (RU),
Максимов Евгений Михайлович (RU),
Акмалов Артем Эдуардович (RU),
Осипов Евгений Валерьевич (RU),
Пашкевич Александра Андреевна (RU),
Плеханов Андрей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Частное учреждение по обеспечению
научного развития атомной отрасли "Наука
и инновации" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 6665075 B2, 16.12.2003. US
2005156110 A1, 21.07.2005. CN 102681022 A,
19.09.2012. US 2010059677 A1, 11.03.2010. RU
2398253 C1, 27.08.2010.

(54) Устройство для формирования изображений в терагерцовой области спектра

(57) Реферат:

Предлагаемая полезная модель относится к приборам для визуализации объектов в области субмиллиметрового диапазона электромагнитных волн, конкретно, к устройствам для формирования от исследуемого объекта отраженного широкополосного терагерцового излучения.

Техническим результатом предлагаемого устройства является существенное увеличение контраста изображения объекта, причем как его поверхностного слоя, так и его структур внутри объекта в широком спектральном диапазоне ТГц частот и на различном расстоянии от устройства до объекта.

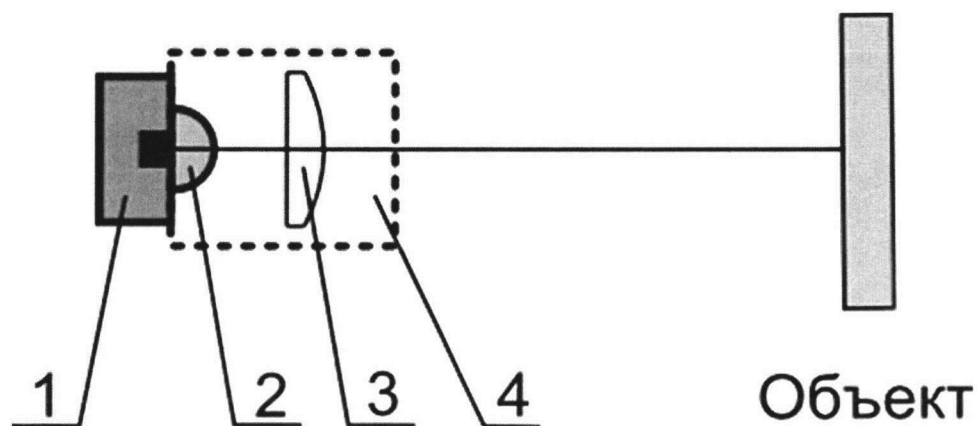
Этот результат достигается тем, что в устройстве для формирования изображений объекта в терагерцовой области спектра,

содержащем фотопроводящую антенну с гиперполусферической линзой и оптический блок ТГц облучения объекта с фокусирующей линзой, фокусирующая линза выполнена плосковыпуклой с плоскостью, обращенной к гиперполусферической линзе, причем расстояние между задними фокальными плоскостями гиперсферической линзы и фокусирующей линзы установлено в пределах от 0 до 50 см, а диаметр D фокусирующей линзы, ее числовая апертура NA₂, числовая апертура NA₁ и диаметр d гиперполусферической линзы удовлетворяют следующему соотношению:

$$\frac{d}{D} \cdot \frac{NA_1}{\sqrt{1 - (NA_2)^2}} \leq 0,05.$$

Предлагаемая полезная модель позволяет разработать и внедрить в различных технологиях безопасности устройства, в которых достигнуто существенное увеличение контраста изображения структуры различных объектов, частично прозрачных для ТГц излучения как на их

поверхности, так и в приповерхностном слое, что существенно расширяет технические возможности применения предлагаемого устройства в системах безопасности на гражданских и промышленных предприятиях.



Фиг. 1

Предлагаемая полезная модель относится к приборам для визуализации объектов в области субмиллиметрового диапазона электромагнитных волн, конкретно, к устройствам для формирования от исследуемого объекта отраженного широкополосного терагерцового излучения.

5 Известны устройства для ТГц облучения объектов на основе фотопроводящей антенны, генерирующей широкополосное терагерцовое излучение под действием фемтосекундного лазера [1]. Данное устройство состоит из фемтосекундного лазера, полупроводниковой фотопроводящей антенны с блоком питания, оптических элементов для лазерного и ТГц излучения.

10 Однако, поскольку мощность ТГц излучения лучших образцов фотопроводящих антенн не превышает 100-200 мкВт, а отраженное от объектов ТГц излучение при его неизбежном диффузном рассеянии в полусферический телесный угол имеет сверхмалую способность получения ТГц изображений объекта со спектральным анализом.

15 Этого недостатка в определенной мере лишено техническое решение, описанное в источнике [2], взятое за прототип. Устройство для формирования изображений объекта под действием широкополосного терагерцового излучения содержит также фотопроводящую антенну с гиперполусферической линзой на его торце и оптический блок ТГц облучения объекта с фокусирующей линзой. Недостатком устройства, описанного в прототипе частичное отсутствие сформированного на объекте плоского
20 фронта ТГц излучения на всех его частотах, а также возможность получения контрастного изображения структуры объекта в приповерхностном слое и далее в его теле.

Техническим результатом предлагаемого устройства является существенное увеличение контраста изображения объекта, причем как его поверхностного слоя, так
25 и его структур внутри объекта в широком спектральном диапазоне ТГц частот и на различном расстоянии от устройства до объекта.

Этот результат достигается тем, что в устройстве для формирования изображений объекта в терагерцовой области спектра, содержащем фотопроводящую антенну с гиперполусферической линзой и оптический блок ТГц облучения объекта с
30 фокусирующей линзой, фокусирующая линза выполнена плосковыпуклой с плоскостью, обращенной к гиперполусферической линзе, причем расстояние между задними фокальными плоскостями гиперполусферической линзы и фокусирующей линзы установлено в пределах от 0 до 50 см, а диаметр D фокусирующей линзы, ее числовая апертура NA₂, числовая апертура NA₁ и диаметр d гиперполусферической линзы
35 удовлетворяют следующему соотношению:

$$\frac{d}{D} \cdot \frac{NA_1}{\sqrt{1 - (NA_2)^2}} \leq 0,05.$$

40 Фокусирующая плосковыпуклая линза имеет асферическую выпуклую поверхность, позволяет сформировать коллимированный пучок ТГц излучения и сформировать на объекте увеличенное изображение фотопроводящей антенны с минимальной для однолинзового объектива сферической аберрацией.

Варьированием расстояния между задними фокальными плоскостями гиперполусферической и фокусирующей плосковыпуклой линзы формируется
45 контрастное пятно засветки диаметром d на различных расстояниях от источника. Минимальное расстояние от линзы, на котором может быть сформировано пятно засветки, равно фокусному расстоянию плосковыпуклой фокусирующей линзы. Пятно

засветки на объекте при этом имеет минимальный размер, ограниченный дифракцией. Данный режим облучения объекта, позволяет реализовать оптическую схему конфокального микроскопа для построения системы формирования ТГц изображений с предельным пространственным разрешением. Теоретически для реализации данного режима плосковыпуклая фокусирующая линза должна находиться на бесконечном удалении от мнимого изображения источника ТГц излучения, формируемого гиперполусферической линзой. Однако на практике достаточно удалить линзу от мнимого изображения источника на расстояние примерно на порядок превышающее фокусное расстояние фокусирующей плосковыпуклой линзы. В предлагаемой оптической схеме максимальное значение данного расстояния превышает 50 см. Таким образом, предлагаемое устройство заведомо позволяет реализовать систему с предельным пространственным разрешением для двух собирающих линз, гиперполусферической и фокусирующей плосковыпуклой, фокусное расстояние которых не превышает 5 см.

Для исследования объектов, удаленных от источника на расстояние в несколько метров формируется пучок ТГц излучения с низкой расходимостью. Реализация указанного выше соотношения между размерами источника ТГц излучения и параметрами гиперполусферической и собирающей линзы позволит сформировать пучок ТГц излучения с достаточной для достижения технического результата расходимостью менее 50 мрад.

Таким образом, совокупность всех трех вышеуказанных существенных признаков, связанных друг с другом причинно-следственными связями, позволяет достичь вышеуказанного технического результата - существенного увеличения возможностей получения контрастного изображения как поверхностного слоя, так и структуры внутри объекта в широком спектральном диапазоне ТГц частот путем формирования специальных характеристик луча ТГц излучения на объекте.

Предлагаемое устройство поясняется Фиг. 1, где представлены схема расположения основных элементов устройства для формирования изображений объекта в терагерцовой области спектра: 1 - фотопроводящая антенна, 2 - гиперполусферическая линза, 3 - фокусирующая плосковыпуклая линза, 4 - оптический блок ТГц облучения объекта.

Согласно схеме, представленной на Фиг. 1, устройство для формирования изображений объекта в терагерцовой области спектра работает следующим образом. Под воздействием внешнего излучения фемтосекундного лазера на фотопроводящую антенну 1 в ней генерируется широкополосное ТГц излучение. Это ТГц излучение, проходя через гиперполусферическую линзу 2, формируется в выходящий расходящийся луч с углом раствора около 15 градусов. В оптическом блоке 4 на фокусирующей плосковыпуклой линзе 3 формируется ТГц луч с плоским фронтом, необходимый для получения контрастного изображения поверхностного слоя и структур внутри тела объекта в широком спектральном диапазоне ТГц частот в следствие формирования специальных характеристик луча ТГц излучения на поверхности и внутри объекта.

Таким образом, предлагаемая полезная модель позволяет разработать и внедрить в различных технологиях безопасности устройства, в которых достигнуто существенное увеличение контраста изображения структуры объектов как на их поверхности, так и внутри объекта на различных участках ТГц спектра, прежде всего для объектов, которые частично прозрачны для ТГц излучения, что существенно расширяет технические возможности применения предлагаемого устройства в системах безопасности на гражданских и промышленных предприятиях.

Источники информации:

1. А.А. Chistyakov, К.И. Kozlovskii, G.E. Kotkovskii, Yu.A. Kuzishchin, V.A. Krivenkov,

Yu.A. Mityagin, I.N. Piryazev. The study of photocurrent and power of THz radiation photoconductive antennas based on GaAs dependence on geometry of focusing and radiation parameters of femtosecond laser. Journal of Physics: Conference Series 737 (2016) 012020.

2. United States Patent, Patent Number: 6,665,075. Date of Patent: Dec. 16, 2003.

5

(57) Формула полезной модели

Устройство для формирования изображений объекта в терагерцовой области спектра, содержащее фотопроводящую антенну с гиперполусферической линзой и оптический блок ТГц облучения объекта с фокусирующей линзой, отличающееся тем, что
10 фокусирующая линза выполнена плосковыпуклой с плоскостью, обращенной к гиперполусферической линзе, причем расстояние между задними фокальными плоскостями гиперполусферической линзы и фокусирующей линзы установлено в пределах от 0 до 50 см, а диаметр D фокусирующей линзы, ее числовая апертура NA₂, числовая апертура NA₁ и диаметр d гиперполусферической линзы удовлетворяют
15 следующему соотношению:

$$\frac{d}{D} \cdot \frac{NA_1}{\sqrt{1 - (NA_2)^2}} \leq 0,05.$$

20

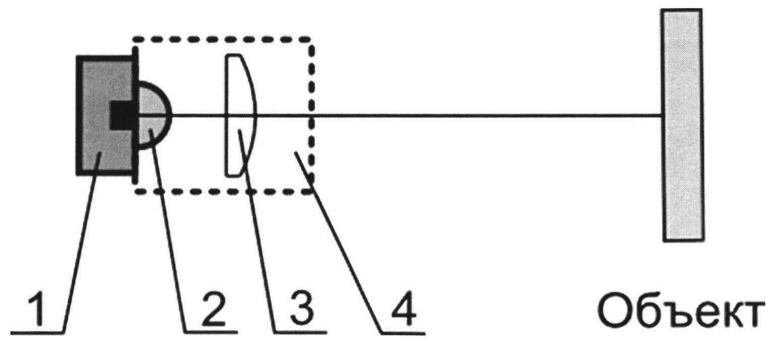
25

30

35

40

45



Фиг. 1