



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007148631/28, 27.12.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2007(30) Конвенционный приоритет:
31.12.2006 CN 200610171670.5

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2009

(45) Опубликовано: 27.10.2009 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **BARTELS A. et al. High-resolution THz spectrometer with kHz scan rates. Optics Express, 9 jan. 2006, v.14, №1, p.430-436. ZHANG XINGNING et al. THz Time-Domain Spectroscopy. Laser and Optronics Progress, July 2005, v.42, №7, p.35-38. WO 2006092874 A1, 08.09.2006. CN 1743818 A, 08.03.2006. JP 2006052948 A, 23.02.2006. RU 2057357 C1, 27.03.1996.**

Адрес для переписки:

119034, Москва, Пречистенский пер., 14, стр. 1, 4-й этаж, "Гоулингз Интернэшнл Инк.", пат.пов. Ю.В.Дементьевой, рег.№ 560

(72) Автор(ы):

ЛИ Юанджинг (CN),
ФЕНГ Бинг (CN),
ЖАО Зиран (CN),
ВАНГ Йингсин (CN),
ЙУ Донгмей (CN)

(73) Патентообладатель(и):

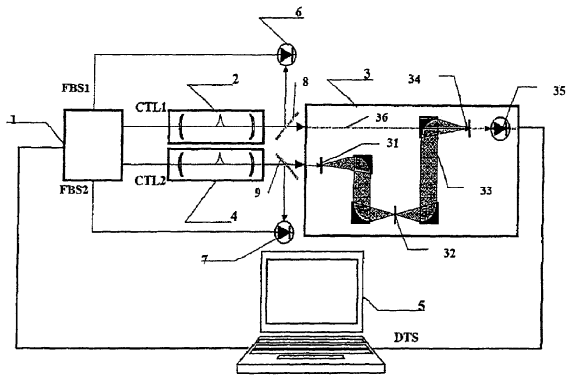
Цингхуа Университи (CN),
Нактех Компани Лимитед (CN)

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ ИМПУЛЬСОВ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерений спектров сигналов терагерцового (ТГц) диапазона. Способ включает генерацию первого луча импульсного излучения первым фемтосекундным лазерным устройством с заданной частотой повторения для получения ТГц-импульсов, генерацию второго луча импульсного излучения вторым фемтосекундным лазерным устройством, измерение интенсивностей электрического

поля ТГц-импульсов для соответствующих сдвигов фазы между первым лучом импульсного излучения лазера и вторым лучом импульсного излучения лазера и получение спектра временной области ТГц-импульса выполнением преобразования Фурье в отношении массива значений интенсивностей электрического поля. Полученный таким образом спектр импульсов ТГц-излучения имеет более высокое разрешение. 2 с. и 10 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2371684 C2

RU 2371684 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01J 3/28 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007148631/28, 27.12.2007**

(24) Effective date for property rights:
27.12.2007

(30) Priority:
31.12.2006 CN 200610171670.5

(43) Application published: **10.07.2009**

(45) Date of publication: **27.10.2009 Bull. 30**

Mail address:
**119034, Moskva, Prechistsenskij per., 14, str. 1,
4-j ehtazh, "Goulingz Internehshnl Ink.",
pat.pov. Ju.V.Dement'evoj, reg.№ 560**

(72) Inventor(s):
**LI Juandzhing (CN),
FENG Bing (CN),
ZhAO Ziran (CN),
VANG Jingxin (CN),
JU Dongmej (CN)**

(73) Proprietor(s):
**Tsingkhua Juniversiti (CN),
Naktekh Kompani Limited (CN)**

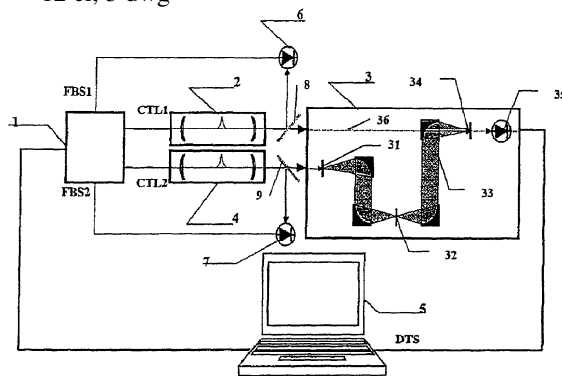
(54) METHOD AND DEVICE FOR MEASURING TIME-DOMAIN SPECTRUM OF TERAHERTZ RADIATION PULSES

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method involves generation of a first beam of pulsed radiation using a first femtosecond laser device with given repetition frequency so as to generate terahertz pulses, generation of a second beam of pulsed radiation using a second femtosecond laser device, measurement of electric field intensity of terahertz pulses for corresponding phase shifts between the first beam of pulsed laser radiation and the second beam of pulsed laser radiation and obtaining a time-domain spectrum of terahertz pulses through Fourier transformation with respect to the array of electric field intensity values.

EFFECT: pulse spectrum of terahertz radiation obtained that way has high resolution.
12 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 371 684 C2

RU 2 371 684 C2

Область техники

Настоящее изобретение относится к технологии измерений спектров сигналов терагерцевого диапазона, и более конкретно к способу и устройству для измерения спектров сигналов в терагерцевом диапазоне частот с помощью фемтосекундного импульсного лазера, обеспечивающего генерацию и измерение импульсов терагерцевого излучения (далее "ТГц-излучение").

Уровень техники

В связи с развитием технологии генерации и измерений сигналов терагерцевого излучения (частотный диапазон - 0,05-50 ТГц, в частности диапазон электромагнитных волн - 0,1-10 ТГц) быстро развиваются соответствующие технологии и прикладной анализ таких сигналов. Технология терагерцевой спектроскопии является одним из наиболее важных направлений исследований сигналов терагерцевого излучения. Спектр отражения или спектр пропускания обнаруженного объекта в терагерцевом диапазоне можно получить с использованием методов терагерцевой спектроскопии, и затем полученный спектр может использоваться для определения состава объекта, и, таким образом, технология может широко применяться в различных приложениях, таких как контроль качества, системы контроля по обеспечению безопасности, в том числе в рамках борьбы с терроризмом, и т.п.

В работе ZHANG XingNing и др. "Технологии терагерцевой спектроскопии", LASER AND OPTOELECTRONICS DEVELOPMENT, июль 2005 г., стр.35-38 раскрывается методика измерений для терагерцевой спектроскопии, в которой используется фемтосекундный лазер для генерации пучка излучения, причем полученный пучок излучения делится на две части. Одна часть луча используется для накачки терагерцевого лазерного устройства, излучающего терагерцевые импульсы, а другая часть используется в качестве луча измерения, падающего на детектор терагерцевого лазера, для измерения интенсивности электрического поля терагерцевого излучения принятого луча. Если разница длин двух оптических путей распространения постоянна, то сгенерированные терагерцевые импульсы, соответствующие каждому импульсу лазера, будут иметь постоянную временную задержку относительно импульсов измерения. Поэтому с помощью импульсов измерения может быть измерена только одна точка терагерцевых импульсов на временной оси. Интенсивность электрического поля терагерцевого излучения в других временных точках может быть измерена с использованием набора высокоточных механических устройств, которые могут изменять длину пути распространения одного луча (обычно луча измерения) для изменения разницы длин путей распространения лучей, и затем может быть получена временная форма импульсов терагерцевого излучения (зависимость амплитуды от времени). После этого спектрограмма (спектр временной формы сигнала) терагерцевых импульсов может быть получена с использованием преобразования Фурье полученных измерений интенсивности импульсов.

Однако при такой общепринятой технологии спектроскопии в терагерцевом диапазоне используются механические устройства временной задержки. Возникают трудности при проведении измерений в широком временном окне (например, 1 нс или даже больше 1 нс), поскольку смещения механических устройств задержки неизбежно приводят к изменению пути (при этом изменяется размер пятна падающего луча, смещения положения и т.п.), причем чем больше смещения, тем больше изменяется длина пути, и поэтому разрешение при использовании спектроскопии ограничено (типичные значения находятся в диапазоне 3-50 ГГц). Кроме того, скорость

сканирования системы, построенной на механических устройствах задержки, неелика. В этом случае для повышения скорости сканирования приходится мириться с ухудшением разрешения.

5 В работе А. Bartels и др. "Терагерцевый спектрометр с высоким разрешением и частотами сканирования порядка нескольких кГц", OPTICS EXPRESS, Vol.14, No.1, стр.430-437 раскрывается способ спектроскопии в терагерцевой области, в котором
10 используется асинхронная оптическая выборка. Два фемтосекундных лазера, работающие на различных частотах повторения, используются для генерации двух фемтосекундных лучей лазерного излучения. Два лазерных луча, излучаемых двумя лазерами, используются в качестве луча накачки и луча измерения соответственно. В отличие от способа, раскрытого в первой работе, в котором для регулируемого
15 изменения временной задержки между импульсами накачки и импульсами измерения используются механические устройства задержки, в данном способе задержка между импульсами двух лучей всегда изменяется, поскольку эти лучи излучаются с разными частотами повторения. Пусть частота повторения луча накачки равна f и разница частот двух лазеров равна Δf , тогда импульсы измерения сканируют импульсы ТГц-излучения один раз во временном окне $1/f$. Отношение сигнала к шуму может
20 быть улучшено путем использования повторных сканирований, и в результате будет получена временная форма сигнала (изменение амплитуды по времени). В этом случае спектрограмма импульсов терагерцевого излучения может быть получена с использованием преобразования Фурье полученных измерений интенсивности импульсов.

25 Как указано выше, в способе ТГц-спектроскопии, в котором используется асинхронная оптическая выборка, отсутствуют механические устройства временной задержки, в результате чего эффективно разрешается конфликт между разрешением и частотой сканирования, то есть система может работать на высоких частотах
30 сканирования (типичное время одного сканирования равно 0,1 мс, и типичное отношение сигнала к шуму по многим циклам сканирования равно 60 дБ для 60 с), и при этом обеспечивается высокое разрешение (типичная величина равна 1 ГГц). Однако в этом способе повышается частота повторения фемосекундного лазера (обычно до 1 ГГц от 80 МГц) для обеспечения частотной полосы измерений и
35 преодоления проблемы стабилизации частоты, в результате чего разрешение, получаемое при использовании спектроскопии, не может быть выше определенного предела (теоретическое разрешение при частоте повторения 1 ГГц равно 1 ГГц). Кроме того, для расширения частотной полосы измерений необходимо повысить
40 стабильность частоты повторения лазера, однако эту задачу чрезвычайно трудно выполнить.

СУНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Для преодоления недостатков известных технических решений в настоящем изобретении предлагается новый способ и устройство для измерения спектра
45 временной области импульсов ТГц-излучения, в которых временную задержку между двумя лучами получают регулируемым изменением начального сдвига фаз двух лучей, излучаемых двумя фемтосекундными лазерными устройствами, работающими с одной частотой повторения.

50 В одном из аспектов осуществления настоящего изобретения предлагается способ измерения спектра временной формы импульсов ТГц-излучения, содержащий следующие стадии: генерацию первого луча импульсного излучения первым фемтосекундным лазерным устройством с заданной частотой повторения для

возбуждения импульсов ТГц-излучения; генерацию второго луча импульсного излучения вторым фемтосекундным лазерным устройством с частотой повторения; измерение интенсивностей электрического поля импульсов ТГц-излучения для соответствующих сдвигов фазы между первым лучом импульсного излучения лазера и вторым лучом импульсного излучения лазера; и получение спектра временной формы импульса ТГц-излучения выполнением преобразования Фурье в отношении массива значений интенсивностей электрического поля; и дополнительно стадию управления первым и вторым фемтосекундными лазерными устройствами с использованием управления с обратной связью таким образом, чтобы они работали с одинаковой частотой повторения; и стадию регулируемого задания сдвига фаз первого импульсного лазерного излучения и второго импульсного лазерного излучения, так чтобы он был равен заданному сдвигу фаз, путем регулирования длины резонатора первого и/или второго фемтосекундного лазерного устройства.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения способ также содержит стадию преобразования сдвига фаз во временную разницу на основании частоты повторения.

В другом аспекте осуществления настоящего изобретения предлагается устройство для измерения спектра временной формы импульса ТГц-излучения, содержащее первое фемтосекундное лазерное устройство для получения первого луча импульсного излучения с заданной частотой повторения; второе фемтосекундное лазерное устройство для получения второго луча импульсного излучения с частотой повторения; измерительное устройство для измерения интенсивностей электрического поля импульсов ТГц-излучения для соответствующих сдвигов фаз между первым импульсным лазерным лучом и вторым импульсным лазерным лучом; и устройство обработки данных для получения спектра временной формы импульсов ТГц-излучения путем выполнения преобразования Фурье в отношении массива значений интенсивностей электрического поля, а также устройство управления первым и вторым фемтосекундными лазерными устройствами с использованием управления с обратной связью таким образом, чтобы они работали с одинаковой частотой повторения, при этом устройство управления обеспечивает регулируемую установку сдвига фаз первого импульсного лазерного излучения и второго импульсного лазерного излучения, так чтобы он был равен заданному сдвигу фаз, путем регулирования длины резонатора первого и/или второго фемтосекундного лазерного устройства.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения устройство обработки данных осуществляет преобразование сдвига фаз во временную разницу на основании частоты повторения.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения первое и второе фемтосекундные лазерные устройства содержат по одному источнику накачки лазера, работающему в непрерывном режиме, и по одному фемтосекундному генератору.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения источник накачки лазера, работающий в непрерывном режиме, и фемтосекундный генератор, выполнены как отдельные устройства.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения источник накачки лазера, работающий в непрерывном режиме, и фемтосекундный генератор объединены в одном устройстве.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего

изобретения первое и второе фемтосекундные лазерные устройства работают от одного источника накачки, работающего в непрерывном режиме.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения первое и второе фемтосекундные лазерные устройства работают от соответствующих источников накачки, работающих в непрерывном режиме.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения устройство содержит также первый расщепитель луча, установленный на выходе первого фемтосекундного лазерного устройства, для возвращения первого луча импульсного излучения; первый фотодетектор для преобразования возвращенного первого луча импульсного лазерного излучения в электрические сигналы, используемые как сигналы обратной связи; второй расщепитель луча, установленный на выходе второго фемтосекундного лазерного устройства; второй фотодетектор для преобразования возвращенного второго луча импульсного лазерного излучения в электрические сигналы, используемые как сигналы обратной связи.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения первый расщепитель луча и первый фотодетектор встроены в первое фемтосекундное лазерное устройство, а второй расщепитель луча и второй фотодетектор встроены во второе фемтосекундное лазерное устройство.

Кроме того, в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения первый расщепитель луча и первый фотодетектор выполнены отдельно от первого фемтосекундного лазерного устройства, и второй расщепитель луча и второй фотодетектор выполнены отдельно от второго фемтосекундного лазерного устройства.

Вышеописанный способ и устройство в соответствии с настоящим изобретением обладают следующими преимуществами по сравнению с известными техническими решениями:

1. Ослабляется проблема регулируемого изменения оптического пути, поскольку отсутствуют обычно используемые механические устройства задержки, и в результате ускоряется процесс измерений.

2. В соответствии с настоящим изобретением частота повторения лазера может быть от десятков мегагерц до нескольких гигагерц. Поэтому у пользователей имеется достаточный выбор в зависимости от требуемого разрешения при проведении спектроскопии. Например, самое высокое разрешение системы может достигать 80 МГц при частоте повторения 80 МГц.

3. По сравнению с известными технологиями спектр импульсов ТГц-излучения, полученный с использованием предлагаемых в настоящем изобретении способа и устройства, имеет более высокое разрешение и более широкий диапазон измерений, в результате чего технология, предлагаемая в настоящем изобретении, имеет более высокий потенциал по распознаванию веществ и материалов.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Вышеуказанные и/или другие особенности настоящего изобретения можно будет понять и легко оценить из нижеприведенного описания вариантов осуществления изобретения и из прилагаемых чертежей, на которых:

фиг.1 - блок-схема устройства для измерения спектра в ТГц-диапазоне в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения;

фиг.2 - более детальная схема некоторых частей устройства, схема которого представлена на фиг.1;

фиг.3 - блок-схема способа измерения спектра в ТГц-диапазоне в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Ниже дается подробное описание вариантов осуществления настоящего изобретения, которые иллюстрируются на прилагаемых чертежах, причем на всех чертежах одинаковые ссылочные номера относятся к одинаковым элементам. Ниже описаны варианты осуществления изобретения для пояснения его сущности со ссылками на чертежи.

На фиг.1 представлена блок-схема устройства для выполнения измерений спектров в ТГц-диапазоне в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения. Как показано на фиг.1, предлагаемое в настоящем изобретении устройство содержит следующие компоненты: два фемтосекундных лазерных устройства 2 и 4, работающих на одной частоте повторения, например, порядка 100 МГц; модуль 3 излучения и измерения в ТГц-диапазоне, содержащий ТГц-генератор 31, измерительный кристалл 34, фотоэлектрический преобразователь 35, оптический путь 36 для излучения фемтосекундного лазера, оптический путь 33 для ТГц-излучения и держатель для установки образца 32; два расщепителя 8 и 9 пучка излучения; два фотоэлектрических детектора 6 и 7; блок 1 управления частотой повторения и фазой, который обеспечивает стабилизацию частот повторения фемтосекундных лазерных устройств 2 и 4 на заданной опорной частоте с использованием сигналов обратной связи, получаемых из фотоэлектрических детекторов 6 и 7, и одновременно обеспечивает сдвиг фаз излучений фемтосекундных лазерных устройств 2 и 4 в соответствии с заданной величиной; и компьютерную систему 5 сбора и обработки информации.

Фемтосекундное лазерное устройство 2 или 4 содержит источник накачки лазера, работающий в непрерывном режиме, и фемтосекундный генератор, которые могут быть выполнены в виде отдельных или объединенных устройств. В случае отдельного исполнения для накачки фемтосекундных генераторов могут использоваться либо разные источники накачки, работающие в непрерывном режиме, либо общий источник накачки.

Образец 32 размещается на пути распространения ТГц-излучения, при этом могут использоваться различные держатели образца. В зависимости от качества окружающей среды в качестве держателя образца может использоваться обычное устройство или же закрытый бокс с регулировкой влажности. Расщепители 8 и 9, а также фотоэлектрические детекторы 6 и 7 могут быть интегрированы в фемтосекундные лазерные устройства 2 и 4 соответственно для стабилизации пути распространения.

Как можно видеть на фиг.1, блок 1 управления частотой повторения и фазой в соответствии с поступающими управляющими командами, сформированными в системе 5 сбора и обработки информации, управляет фемтосекундными лазерными устройствами 2 и 4 для обеспечения их работы на одной частоте повторения, например на частоте 100 МГц, и одновременно управляет сдвигом фаз излучений, генерируемых двумя фемтосекундными лазерными устройствами 2 и 4. Импульсное излучение, генерируемое фемтосекундным лазерным устройством 4, используется в качестве излучения накачки для возбуждения ТГц-излучателя 31 в компоненте 3, который генерирует импульсы ТГц-излучения. Луч импульсного излучения, генерируемого фемтосекундным лазерным устройством 2 используется в качестве луча измерения, падающего на кристалл 34 измерения в компоненте 3. То есть

ТГц-импульсы, генерируемые излучателем 31, взаимодействуют с образцом 32, и затем, следуя по пути 33 распространения ТГц-излучения, попадают на кристалл 34 измерений. Кристалл 34 измеряет интенсивности электрического поля импульсов ТГц-излучения при соответствующих заданных сдвигах фаз с использованием периферийных компонентов, таких как фотоэлектрический преобразователь 35. Кристалл 34 измерений изменяет поляризацию лазерного излучения, генерируемого фемтосекундным лазерным устройством 2, под действием электрического поля ТГц-излучения, и фотоэлектрический преобразователь 35 измеряет малейшие изменения амплитуды лазерного излучения при поляризации для получения интенсивности электрического поля ТГц-излучения в аналоговой форме, и затем измеренное значение по линии передачи данных передается в систему 5 сбора и обработки информации. Система 5 сбора и обработки информации обеспечивает синхронизацию работы всех компонентов устройства, и в ней осуществляется преобразование Фурье информации, содержащей интенсивности электрического поля ТГц-импульсов для соответствующих сдвигов фаз, которая поступает в нее из компонента 3, и соответствующая дальнейшая обработка для получения спектра временной формы импульса ТГц-излучения.

На фиг.2 представлена более детальная схема некоторых частей устройства, схема которого представлена на фиг.1. Как показано на фиг.2, система 5 сбора и обработки информации содержит следующие компоненты: блок 51 сбора данных, который преобразует поступающие значения интенсивностей электрического поля ТГц-излучения, обозначенных на фиг.2 как аналоговые сигналы DTS, в цифровые данные; устройство 52 хранения данных, в котором хранятся цифровые данные, поступившие в блок 51; блок 53 задания фазы, в котором предварительно задается несколько фаз (сдвиги фаз), таких как $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ в соответствии с информацией, введенной пользователем, например $\theta_1=0, \theta_2=2 \times 2\pi/65536, \theta_3=3 \times 2\pi/65536, \theta_N=65535 \times 2\pi/65536$; блок 54 управления, который вырабатывает команды управления для блока 1 управления частотой повторения и фазой в соответствии с предварительно заданными сдвигами фаз для стабилизации частоты повторения на заданной опорной частоте и для управления сдвигом фаз между двумя лазерными лучами в соответствии с предварительно заданными сдвигами фаз θ_i ($i=1, 2, \dots, N$) и вырабатывает команды управления на блок сбора 51 данных для получения значений S_i ($i=1, 2, \dots, N$) интенсивностей электрического поля ТГц-излучения при соответствующих сдвигах фаз; и блок 55 обработки данных, который преобразует сдвиги фаз θ_i , считанные из устройства 52 хранения данных блоком 54 управления, в соответствующие временные сдвиги T_i ($i=1, 2, \dots, N$) после получения значений F_i интенсивностей электрического поля ТГц-излучения при соответствующих сдвигах θ_i фаз и осуществляет преобразование Фурье в отношении значений интенсивностей T_i ($i=1, 2, \dots, N$) электрического поля ТГц-излучения для получения спектра временной формы ТГц-импульсов. Здесь длительность периода 2π , соответствующего частоте повторения, может быть определена, поскольку частота повторения известна. Поэтому между вышеуказанными сдвигами θ_i фаз и соответствующими временными сдвигами T_i ($i=1, 2, \dots, N$) имеется однозначное соответствие.

Как показано на фиг.2, блок 1 управления частотой повторения и фазой содержит командный модуль 11, который выдает команды CTL1 или CTL2 в блок 12 регулировки в соответствии с опорным сигналом F_{REF} , сдвигом фаз, поступающим из

блока 54 управления, сигналом обратной связи FBS1, поступающим из фотоэлектрического детектора 6, и сигналом обратной связи FBS2, поступающим из фотоэлектрического детектора 7, и в соответствии с командами, поступающими из командного модуля 11, блок 12 регулировки регулирует длину резонатора фемтосекундного лазерного устройства 2 или 4, например, с помощью пьезоэлектрического устройства таким образом, чтобы частота повторения импульсов, излучаемых лазерным устройством 2 или 4, была равна опорной частоте, а сдвиг фазы между ними был равен сдвигу фазы θ_1 , задаваемому блоком управления.

Блок 51 сбора данных получает значение S_i интенсивности электрического поля ТГц-излучения для сдвига фаз θ_1 . Затем вышеуказанные операции повторяются для получения значений интенсивностей электрического поля ТГц-излучения для соответствующих сдвигов фаз.

На фиг.3 представлена блок-схема способа измерения спектра временной формы ТГц-сигнала в соответствии с одним из вариантов осуществления настоящего изобретения.

Как можно видеть на фиг.3, пользователь задает несколько сдвигов фаз с помощью блока 53 задания фазы в системе 5 сбора и обработки информации. Например, если заданные фазы находятся в диапазоне $0 \sim 2\pi$, и $N=65536$, то определяются соответствующие сдвиги фаз $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$ (S10).

После этого выбирается первый сдвиг θ_1 для выполнения измерения (S11).

Командный модуль 11 выдает команды CTL1 или CTL2 в блок 12 регулировки в соответствии с опорным сигналом F_{REF} , сдвигом фаз, поступающим из блока 54 управления, сигналом обратной связи FBS1, поступающим из фотоэлектрического детектора 6, и сигналом обратной связи FBS2, поступающим из фотоэлектрического детектора 7, и в соответствии с командами, поступающими из командного модуля 11, блок 12 регулировки регулирует длину резонатора фемтосекундного лазерного устройства 2 или 4, например, с помощью пьезоэлектрического устройства таким образом, чтобы частота повторения импульсов, излучаемых лазерным устройством 2 или 4, была равна опорной частоте, а сдвиг фазы между ними был равен сдвигу фазы θ_1 , задаваемым блоком управления (S12).

Затем с помощью кристалла 34 измеряется мгновенная интенсивность электрического поля ТГц-импульсов при заданном сдвиге фаз с использованием периферийных компонентов, таких как фотоэлектрический преобразователь 35. После этого блок 51 сбора данных преобразует аналоговый сигнал DTS интенсивности электрического поля ТГц-излучения в цифровую форму и записывает полученную информацию в устройство 52 хранения данных (S13).

На следующей стадии блок 54 управления определяет, выполнены ли измерения для всех сдвигов фаз (S14). Если нет, то блок 54 управления выбирает следующее значение сдвига фаз (S15), и осуществляется переход на стадию S11 для повторения вышеуказанной последовательности действий.

Если измерения выполнены для всех сдвигов фаз (ответ "ДА" на стадии S14), то блок управления 54 считывает сдвиги фаз θ_i из устройства 52 хранения данных, преобразует их в соответствующие разности T_i ($i=1, 2, \dots, N$) времен и передает их в блок 54 обработки данных. После этого в блоке 55 обработки данных выполняется преобразование Фурье в отношении массива значений интенсивностей F_i ($i=1, 2, \dots, N$) электрического поля импульсов ТГц-излучения для получения спектра временной

формы ТГц-импульсов (S16). Наконец, полученный спектр временной формы импульса отображается на экране монитора или распечатывается (S17).

Как указывалось выше, поскольку частота повторения импульсов известна, то без труда можно вычислить длительность периода 2π , соответствующую частоте повторения. Поэтому между вышеуказанными сдвигами θ_i и соответствующими временными сдвигами T_i ($i=1, 2, \dots, N$) имеется однозначное соответствие. Кроме того, хотя в вышеприведенном описании интенсивность электрического поля ТГц-излучения измеряется во временном интервале $0 \sim 2\pi$, однако может быть задан определенный интервал, например временной интервал $0 \sim \pi$ или его часть (например, диапазон с центром возле пикового значения).

Хотя в описании были рассмотрены отдельные варианты осуществления настоящего изобретения, однако специалистам в данной области техники будет ясно, что в эти варианты могут быть внесены изменения без отклонения от принципов и сущности изобретения, объем которого определяется формулой изобретения с учетом эквивалентов.

Формула изобретения

1. Способ измерения спектра временной области импульсов терагерцевого излучения, содержащий стадии:

передачу первого луча импульсного излучения первым фемтосекундным лазерным устройством с заданной частотой повторения для генерации импульсов терагерцевого излучения;

передачу второго луча импульсного излучения вторым фемтосекундным лазерным устройством с частотой повторения;

измерение интенсивностей электрического поля терагерцевых импульсов для соответствующих сдвигов фаз между первым лучом импульсного излучения лазера и вторым лучом импульсного излучения лазера; и

получение спектра временной области терагерцевых импульсов путем выполнения преобразования Фурье в отношении массива значений интенсивностей электрического поля, отличающийся тем, что дополнительно содержит стадию управления первым и вторым фемтосекундными лазерными устройствами с использованием управления с обратной связью таким образом, чтобы они работали с одинаковой частотой повторения, и стадию регулируемого задания сдвига фаз первого импульсного излучения лазера и второго импульсного излучения лазера, так чтобы он был равен заданному сдвигу фаз, путем регулирования длины резонатора первого и/или второго фемтосекундного лазерного устройства.

2. Способ по п.1, который дополнительно содержит стадию преобразования сдвига фаз во временную разницу на основании частоты повторения.

3. Устройство для измерения спектра временной области импульсов терагерцевого излучения, содержащее:

первое фемтосекундное лазерное устройство для генерации первого луча импульсного излучения с заданной частотой повторения;

второе фемтосекундное лазерное устройство для генерации второго луча импульсного излучения с частотой повторения;

измерительное устройство для измерения интенсивностей электрического поля импульсов терагерцевого излучения для соответствующих сдвигов фаз между первым импульсным лазерным лучом и вторым импульсным лазерным лучом; и

устройство обработки данных для получения спектра временной области

терагерцевых импульсов путем выполнения преобразования Фурье в отношении массива значений интенсивностей электрического поля, отличающееся тем, что дополнительно содержит средство управления частотой и фазой для управления первым и вторым фемтосекундными лазерными устройствами с использованием управления с обратной связью таким образом, чтобы они работали с одинаковой частотой повторения, при этом средство управления частотой и фазой регулирует сдвиг фаз первого импульсного лазерного излучения и второго импульсного лазерного излучения, так чтобы он был равен заданному сдвигу фаз, путем регулирования длины резонатора первого и/или второго фемтосекундного лазерного устройства.

4. Устройство по п.3, в котором средство преобразования данных осуществляет преобразование сдвига фаз во временной сдвиг на основании частоты повторения.

5. Устройство по п.3, в котором первое и второе фемтосекундные лазерные устройства содержат по одному источнику накачки лазера, работающему в непрерывном режиме, и по одному фемтосекундному генератору.

6. Устройство по п.5, в котором источник накачки лазера, работающий в непрерывном режиме, и фемтосекундный генератор, выполнены как отдельные устройства.

7. Устройство по п.5, в котором источник накачки лазера, работающий в непрерывном режиме, и фемтосекундный генератор объединены друг с другом.

8. Устройство по п.6, в котором первое и второе фемтосекундные лазерные устройства работают от общего источника накачки, работающего в непрерывном режиме.

9. Устройство по п.6, в котором первое и второе фемтосекундные лазерные устройства снабжены отдельными источниками накачки, работающими в непрерывном режиме.

10. Устройство по п.3, содержащее дополнительно:

первый расщепитель луча, установленный на выходе первого фемтосекундного лазерного устройства, для возвращения первого луча импульсного излучения;

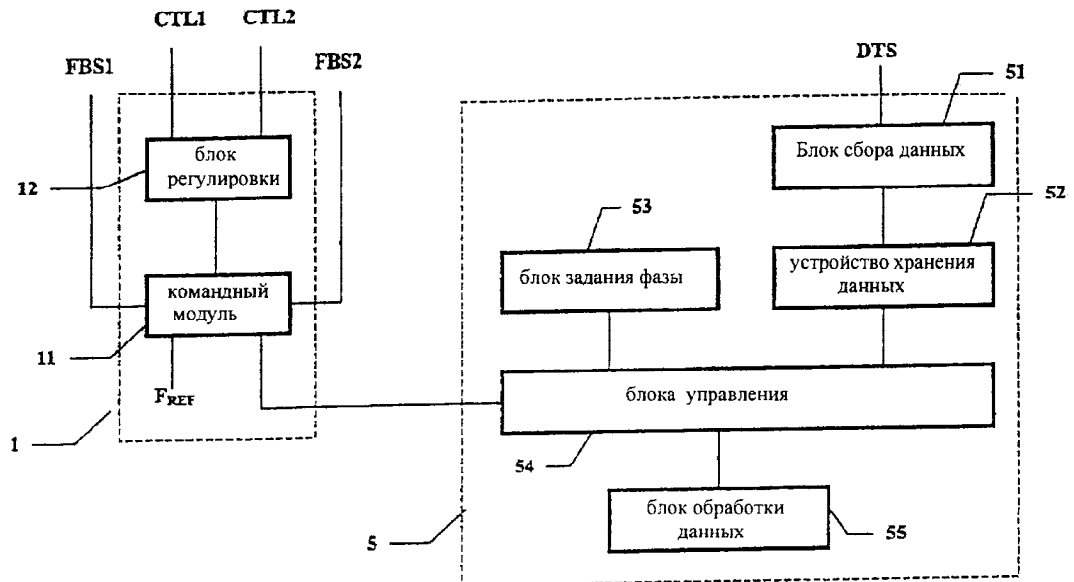
первый фотодетектор для преобразования возвращенного первого луча импульсного излучения в электрические сигналы, используемые как сигналы обратной связи;

второй расщепитель луча, установленный на выходе второго фемтосекундного лазерного устройства;

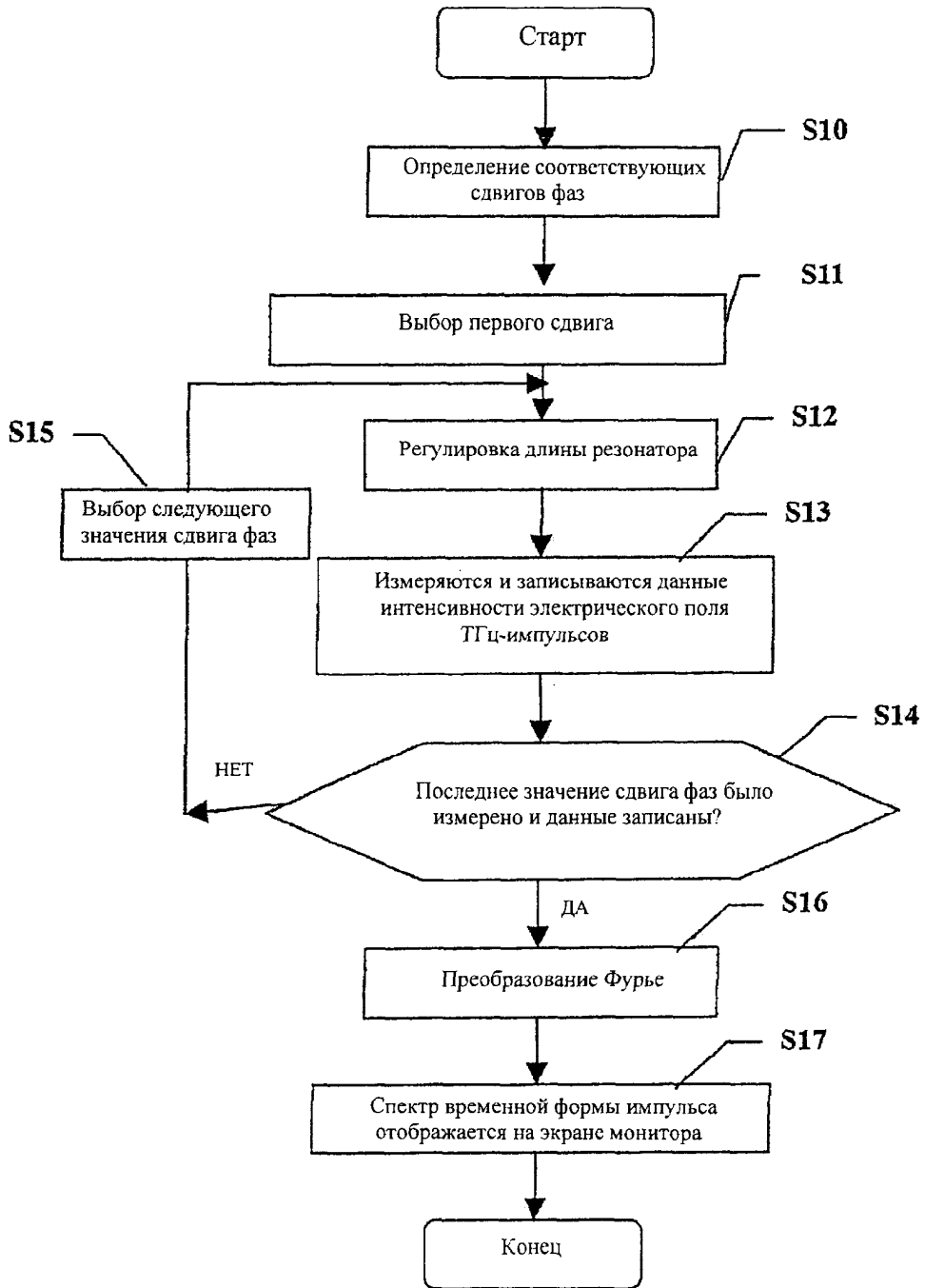
второй фотодетектор для преобразования возвращенного второго луча импульсного излучения в электрические сигналы, используемые как сигналы обратной связи.

11. Устройство по п.10, в котором первый расщепитель луча и первый фотодетектор встроены в первое фемтосекундное лазерное устройство, а второй расщепитель луча и второй фотодетектор встроены во второе фемтосекундное лазерное устройство.

12. Устройство по п.10, в котором первый расщепитель луча и первый фотодетектор выполнены отдельно от первого фемтосекундного лазерного устройства, и второй расщепитель луча и второй фотодетектор выполнены отдельно от второго фемтосекундного лазерного устройства.



Фиг. 2



Фиг. 3