

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044770**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.28

(51) Int. Cl. **G02F 1/03** (2006.01)

(21) Номер заявки
202292442

(22) Дата подачи заявки
2022.09.23

(54) **РАБОЧИЙ УЗЕЛ ДЕТЕКТОРА ИМПУЛЬСНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

(31) **2021128525**

(32) **2021.09.29**

(33) **RU**

(43) **2023.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И.
ЛОБАЧЕВСКОГО" (RU)**

(56) **MASANKO TANI et al. Efficient electro-optic sampling detection of terahertz radiation via Cherenkov phase matching. Optics Express 19.21 (2011):19901-19906, реферат, параграф 2**

WO-A1-2012096398

C.RAU et al. Prism coupled terahertz waveguide sensor. Applied Physics Letters 86.21 (2005): 211119, реферат, фиг. 1

CN-A-104515602

(72) Изобретатель:

**Бакунов Михаил Иванович, Шугуров
Александр Иванович (RU)**

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Изобретение относится к устройствам оптического измерения переменного электрического поля терагерцового излучения, функционирующим на основе эффекта Поккельса, и может быть использовано как базовый конструктивный узел в детекторах широкополосного импульсного терагерцового излучения для высокочувствительного оборудования спектроскопии, микроскопии и имиджинга. Техническим результатом является создание рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения, повышающего рабочие характеристики детектора, обеспечивающие его высокую работоспособность при одновременном упрощении оптической схемы в результате эффективного подавления негативных эффектов внутреннего двулучепреломления в электрооптическом кристалле LiNbO_3 , а также расширение диапазона допустимых к использованию источников оптического излучения.

B1

044770

044770

B1

Изобретение относится к устройствам оптического измерения переменного электрического поля терагерцового излучения, функционирующим на основе эффекта Погкельса, и может быть использовано в качестве базового конструктивного узла в детекторах широкополосного импульсного терагерцового излучения для высокочувствительного оборудования спектроскопии, микроскопии и имиджинга.

Одним из распространённых способов измерения электрического поля терагерцового излучения является электрооптическое стробирование терагерцовых импульсов фемтосекундными лазерными импульсами (см. статью на англ. яз. Q. Wu, X. and other "Ultrafast electro-optic field sensors". APPLIED PHYSICS LETTERS, 1996, v. 68, № 12, p. 1604-1606). В данном методе зондирующий оптический фемтосекундный импульс распространяется коллинеарно с импульсом терагерцового излучения в электрооптическом кристалле и испытывает изменение поляризации в результате эффекта Погкельса, состоящего в наведении электрическим полем терагерцового излучения двойного лучепреломления в электрооптическом кристалле. Измеряя изменение поляризации как функцию временной задержки между импульсами, можно отобразить временную зависимость электрического поля терагерцового излучения (см. книгу на русск. яз. авторов Чжан С.Ч., Шю Д. "Терагерцовая фотоника", М. - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016, с. 62). Поляризационные измерения проводятся с помощью стандартной схемы, включающей четвертьволновую пластинку, призму Волластона и балансный фотодетектор.

Для эффективного ЭО стробирования требуется равенство групповой скорости оптического фемтосекундного импульса и фазовой скорости импульса терагерцового излучения. Данное условие может быть выполнено только при некоторых длинах волн оптического импульса в специально подобранных кристаллах, например, в кристалле ZnTe для импульсов титан-сапфирового (Ti:sapphire) лазера с длиной волны 800 нм. Для более удобных в практическом применении волоконных лазеров с длиной волны около 1550 нм не существует кристаллов, обеспечивающих согласование скоростей оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения в стандартной коллинеарной схеме. Добиться согласования скоростей для произвольной длины волны оптического фемтосекундного импульса можно с помощью неколлинеарной схемы, в которой оптический фемтосекундный импульс распространяется под черенковским углом к направлению распространения импульса терагерцового излучения. Неколлинеарная схема ЭО стробирования была впервые описана в статье на англ. яз. M. Tani and other "Efficient electrooptic sampling detection of terahertz radiation via Cherenkov phase matching". OPTICS EXPRESS, 2011, v. 19, № 21, p.19901-19906.

Известен детектор импульсного терагерцового излучения (см., патент US 7177071, G02F 1/355, H01S 5/323, 2007), использующий в качестве рабочего узла ЭО кристалл, на входную грань которого падают по нормали зондирующий оптический фемтосекундный импульс и импульс терагерцового излучения. При этом данные импульсы будут коллинеарно распространяться внутри кристалла.

В указанном изобретении рабочим узлом детектора импульсного терагерцового излучения является электрооптический кристалл. В электрооптическом кристалле при коллинеарном распространении зондирующего оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения, под действием электрического поля терагерцового излучения и в результате эффекта Погкельса происходит изменение направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса.

Недостатком этого аналога является невозможность добиться согласования скоростей импульса терагерцового излучения и оптического фемтосекундного импульса в электрооптическом кристалле для произвольной длины волны зондирующего оптического фемтосекундного импульса. В таком случае импульсы будут смещаться друг относительно друга, что приведет к уменьшению поляризационных изменений оптического фемтосекундного импульса, и, как следствие, ухудшится соотношение сигнал-шум в измеренной временной зависимости электрического поля терагерцового излучения. Для предотвращения данного эффекта необходимо использовать кристалл с длиной, меньшей той, на которой импульсы еще не успеют существенно сместиться друг относительно друга. Ограничение длины используемого кристалла приводит к уменьшению спектрального разрешения в измеряемом импульсе. Также недостатком подобной схемы можно считать дисперсию импульсов терагерцового излучения в электрооптическом кристалле. Вследствие того, что компоненты импульса терагерцового излучения с разной частотой будут распространяться на разных скоростях, становится невозможно добиться согласования скоростей зондирующего оптического фемтосекундного импульса и всех компонент терагерцового излучения, что приводит к невозможности создать детектор импульсного терагерцового излучения работающий в широкой полосе терагерцовых длин волн.

Известен аналог заявляемого изобретения (см. патент RU2637182, G02F1/03, 2017) использующий в качестве рабочего узла кристалл GaAs и неколлинеарную схему согласования скоростей оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения внутри кристалла. Как было сказано выше, в данной схеме оптический фемтосекундный импульс распространяется под черенковским углом к направлению распространения импульса терагерцового излучения.

В данном аналоге в качестве рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения используется пластина из кристалла GaAs. Линейно поляризованный импульс терагерцового излучения фокусируется на эту пластину нормально к её поверхности. Линейно поляризованный оптический фемтосекундный импульс из волоконного лазера с длиной волны $\lambda \approx 1,56$ мкм фокусируется на указанную

пластину под углом $\approx 50^\circ$ в место падения импульса терагерцового излучения. Преломлённый оптический фемтосекундный импульс распространяется в пластине под углом 12° к направлению распространения импульса терагерцового излучения. В пластине GaAs в результате эффекта Поккельса под действием электрического поля импульса терагерцового излучения происходит изменение направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса.

Особенностью указанного аналога, как и любого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения используемого в черенковской схеме электрооптического стробирования, является его способность работать с кристаллами сантиметровой толщины, что позволяет использовать широкие временные окна измерения электрооптического сигнала, что повышает спектральное разрешение измеряемого спектра импульса терагерцового излучения до нескольких гигагерц.

Недостатком данного аналога является то, что кристалл GaAs нельзя использовать совместно с некоторыми распространенными типами источников излучения, в частности с Ti:sapphire лазером ($\lambda \approx 800$ нм), из-за оптической непрозрачности кристалла на длинах волн излучаемых данными источниками.

В качестве прототипа выбран рабочий узел детектора импульсного терагерцового излучения используемый в схеме электрооптического стробирования и содержащий электрооптический кристалл, выполненный в виде пластины, изготовленной из ниобата лития (LiNbO_3), прозрачной в терагерцовом диапазоне, и трапециевидную оптическую призму, размещённую своим большим основанием на указанной пластине для ввода в неё терагерцового излучения, обеспечивающими детектирование терагерцового излучения путём изменения направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса под действием электрического поля детектируемого терагерцового излучения за счёт эффекта Поккельса при обеспечении условий Черенковского синхронизма, задающего взаимное соответствие скоростных и пространственных характеристик импульса терагерцового излучения и указанного оптического фемтосекундного импульса (см. статью на англ. яз. M. Tani and other "Efficient electrooptic sampling detection of terahertz radiation via Cherenkov phase matching". OPTICS EXPRESS, 2011, v.19, № 21, p.19901-19906).

В прототипе зондирующий оптический фемтосекундный импульс фокусируется на пластину, выполненную из кристалла LiNbO_3 . Поляризация зондирующего фемтосекундного оптического импульса направлена под углом 45° к оси [001] кристалла LiNbO_3 . Импульс терагерцового излучения поляризован вдоль оси [001]. Для снижения влияния поглощения терагерцового излучения в LiNbO_3 , оптический зондирующий импульс направлен параллельно к кремниевой призме и находится как можно ближе к границе призмы и кристалла.

В прототипе за счёт использования черенковской схемы электрооптического стробирования повышено (до нескольких гигагерц) спектральное разрешение измеряемого спектра импульса терагерцового излучения при использовании источника фемтосекундных оптических импульсов с длиной волны 800 нм.

Однако недостатком прототипа является то, что ось [001] кристалла LiNbO_3 ориентирована перпендикулярно к направлению распространения зондирующего оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения. В такой конфигурации на поляризацию зондирующего оптического фемтосекундного импульса будет оказываться паразитное влияние собственного двулучепреломления материала LiNbO_3 . В результате распространения зондирующего оптического фемтосекундного импульса с длительностью 100 фс через кристалл LiNbO_3 толщиной 0.3 мм взаимноперпендикулярно поляризованные компоненты зондирующего оптического фемтосекундного импульса будут разделены в пространстве, что не позволит произвести эллипсометрические измерения. Компенсация эффекта внутреннего двойного лучепреломления потребует применения дополнительных оптических элементов (см. статью на англ. яз. P. Y. Han and other "Use of the organic crystal DAST for terahertz beam applications"/ OPTICS LETTERS, 2000, v. 25, № 9, p. 675-677), что усложняет схему детектора импульсного терагерцового излучения с использованием прототипа.

Кроме того, в связи с тем, что скорость компонент импульса терагерцового излучения с разной частотой в кристалле LiNbO_3 практически не зависит от частоты, прототип характеризуется значительным резервом расширения допустимого диапазона частот терагерцового излучения для детектирования детектором импульсного терагерцового излучения. А также, слабая оптическая дисперсия материала LiNbO_3 позволяет использовать кремниевую призму с тем же углом среза в схемах с Ti:sapphire ($\lambda \approx 800$ нм), Yb-легированными ($\lambda \approx 1060$ нм) и волоконными ($\lambda \approx 1560$ нм) лазерами, что было показано в статье на англ. яз. авторов J. A. Fülöp and other "Design of high-energy terahertz sources based on optical rectification". OPTICS EXPRESS, 2010, v. 18, № 12, p. 12311-12327, поэтому возникает резерв совершенствования схемы детектирования, на основе электрооптического кристалла LiNbO_3 , совместно с источниками зондирующих оптических фемтосекундных импульсов с различными длинами волн.

Наконец, следует отметить, что прототип используется в схеме детектирования совместно с источником зондирующих оптических фемтосекундных импульсов, представляющим собой Ti:sapphire лазер с длиной волны 800 нм. Однако для создания компактных и недорогих терагерцовых спектрометров предпочтительнее в качестве источников зондирующих оптических фемтосекундных импульсов использовать волоконные лазеры с длиной волны 1500 нм.

Техническим результатом, который достигается при осуществлении предлагаемого изобретения, являются создание рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения, повышающие рабочие характеристики указанного детектора, обеспечивающие его высокую работоспособность при одновременном упрощении его оптической схемы в результате эффективного подавления негативных эффектов внутреннего двулучепреломления в электрооптическом кристалле LiNbO_3 без необходимости использования для указанного подавления дополнительной оптики, которая используется в детекторе с рабочим узлом - прототипом, при сохранении высокого спектрального разрешения и обеспечении приемлемой чувствительности детектора импульсного терагерцового излучения, а также расширение диапазона допустимых к использованию источников оптического излучения.

Для достижения указанного технического результата в рабочем узле детектора импульсного терагерцового излучения, содержащем ЭО кристалл, выполненный в виде пластины, изготовленной из LiNbO_3 , прозрачной в терагерцовом диапазоне, и трапециевидную оптическую призму, размещённую своим большим основанием на указанной пластине для ввода в неё терагерцового излучения, обеспечивающими детектирование терагерцового излучения путём изменения направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса под действием электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения за счет эффекта Поккельса при обеспечении условий Черенковского синхронизма, задающего взаимное соответствие скоростных и пространственных характеристик импульса терагерцового излучения и указанного оптического фемтосекундного импульса, предлагаемый рабочий узел содержит упомянутые ЭО кристалл и оптическую призму, обеспечивающие детектирование импульса терагерцового излучения путём изменения направления вектора поляризации создаваемого лазером с длиной волны 800-1550 нм оптического фемтосекундного импульса длительностью 70-100 фс под действием электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения, причём пластина упомянутого кристалла выполнена с условием ориентации её кристаллографической оси [001] перпендикулярно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса, а оси [100] параллельно вектору поляризации электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения при одновременной ориентации последней оси параллельно или перпендикулярно вектору поляризации указанного оптического фемтосекундного импульса.

В частном случае выполнения предлагаемого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения трапециевидная оптическая призма может быть выполнена из высокоомного кремния с углом $40^\circ 30'$ между её гранями, через которые осуществляется ввод детектируемого импульса терагерцового излучения в указанную в п.1 пластину, изготовленную из LiNbO_3 .

Указанный угол рассчитан из условий Черенковского синхронизма между импульсом терагерцового излучения и оптическим фемтосекундным импульсом в кристалле LiNbO_3 .

На фиг. 1 представлено схематическое изображение предлагаемого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения (с вынесенными из кристалла LiNbO_3 осями [001] и [100]); на фиг. 2 - вид сбоку рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения, на котором изображён ход импульса терагерцового излучения и зондирующего оптического фемтосекундного импульсов в пластине из LiNbO_3 и кремниевой призме; на фиг. 3 и 4 - построены спектральные плотности электрического поля импульса терагерцового излучения, полученные в примерах 1 и 2 с помощью предлагаемого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения при использовании волоконного Er^{3+} лазера с длиной волны 1550 нм (пример 1) и при использовании Ti:sapphire лазера с длиной волны 800 нм (пример 2).

Предлагаемый рабочий узел детектора импульсного терагерцового излучения (см. фиг. 1) состоит из электрооптического кристалла LiNbO_3 в форме пластины 1 и выполняющей роль оптического соединительного элемента трапециевидной оптической призмы 2 из кремния, где местом соединения пластины 1 и призмы 2 является грань A1D1C1B1; входной гранью трапециевидной оптической призмы является грань A1D1D2A2. Соединение призмы и пластины (грань A1B1C1D1) происходит при помощи глубокого оптического контакта. Грани AA1D1D, BB1C1C, A1D1D2A2 оптически полированы.

Пластина 1 выполнена из кристалла LiNbO_3 , кристаллографическая ось [001] которого ориентирована вдоль границы раздела пластины 1 и призмы 2 и которая ориентирована перпендикулярно направлению поляризации зондирующего оптического фемтосекундного импульса, а кристаллографическая ось [100] которого ориентирована параллельно вектору поляризации детектируемого импульса терагерцового излучения и параллельно вектору поляризации указанного оптического фемтосекундного импульса (данная ориентация использована в приведённых ниже примерах проверки 1 и 2).

Оптическая призма 2 выполнена таким образом, что острый угол призмы $\alpha=40^\circ 30'$ находится между гранью A1D1C1B1 призмы 2, и её внешней гранью A1D1D2A2.

Предлагаемый рабочий узел детектора импульсного терагерцового излучения работает следующим образом:

зондирующий оптический фемтосекундный импульс фокусируется на входную торцевую грань AA1D1D пластины 1, где распространяется вдоль оптической оси. Импульс терагерцового излучения фокусируется в пластину 1, проходя сквозь грани A1D1D2A2 и A1B1C1D1 призмы 2. Рабочий узел устанавливается таким образом, чтобы падение зондирующего оптического фемтосекундного импульса на

грань AA1D1D пластины 1 и импульса терагерцового излучения на грань A1D1D2A2 призмы 2 было нормальным. Угол $\alpha=40^\circ 30'$ между примыкающей к пластине 1 гранью A1D1C1B1 и внешней гранью A1D1D2A2 подобран так, чтоб при нормальном падении импульса терагерцового излучения на грань A1D1D2A2 призмы 2 обеспечить распространение импульса терагерцового импульса под углом Черенкова относительно оптического фемтосекундного импульса в кристалле LiNbO₃.

Поляризации электрических полей оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения ортогональны оптической оси кристалла LiNbO₃, что позволяет данным импульсам распространяться внутри пластины 1 как обыкновенным волнам и не испытывать паразитного влияния собственного двулучепреломления LiNbO₃. Под действием электрического поля терагерцового излучения, за счёт эффекта Поккельса, происходит изменение поляризации оптического фемтосекундного импульса.

Вместе с тем, пластина 1 из кристалла LiNbO₃, изменяющая поляризацию зондирующего оптического фемтосекундного импульса под действием электрического поля импульса терагерцового излучения, имеет следующую ориентацию кристаллографической оси [001]: данная ось ориентирована перпендикулярно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса, что позволяет взаимноперпендикулярно поляризованным компонентам оптического фемтосекундного импульса распространяться с одинаковыми скоростями и не испытывать паразитного влияния собственного двулучепреломления LiNbO₃. При этом ориентируя кристаллографическую ось [100] пластины 1 параллельно вектору поляризации детектируемого терагерцового излучения и одновременно параллельно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса можно добиться максимальной чувствительности детектора импульсного терагерцового излучения путем максимизации измеряемых изменений поляризации зондирующего оптического фемтосекундного импульса.

Обоснование эффективной работоспособности предлагаемого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения.

Упомянутая кристаллографическая ось [001] кристалла LiNbO₃ является также оптической осью данного кристалла (см. книгу на русск. яз. авторов Ярив А., Юх П. "Оптические волны в кристаллах", М. "Мир", 1987, с. 257), следовательно взаимноперпендикулярно поляризованные компоненты оптического фемтосекундного импульса будут распространяться с одинаковыми скоростями, что не будет приводить к пространственному разделению указанных компонент оптического фемтосекундного импульса. Таким образом, удаётся избежать нежелательного влияния собственного двулучепреломления LiNbO₃. Однако при данной ориентации кристаллографической оси величина нелинейной поляризации будет пропорциональна компоненте тензора нелинейной восприимчивости d_{22} , которая меньше компоненты тензора нелинейной восприимчивости d_{33} , которой пропорциональна величина нелинейной поляризации в схеме, используемой в прототипе. Что может привести к снижению чувствительности детектора импульсного терагерцового излучения.

Для получения приемлемой чувствительности детектора импульсного терагерцового излучения кристаллографическая ось [100] была ориентирована параллельно вектору поляризации импульса терагерцового излучения и параллельно или перпендикулярно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса. Данное взаиморасположение кристаллографической оси и векторов поляризации импульса терагерцового излучения и оптического фемтосекундного импульса следует из условия максимизации значения нелинейной поляризации при условии, что кристаллографическая ось [001] кристалла LiNbO₃ ориентирована перпендикулярно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса.

При этом рассмотрение вектора нелинейной поляризации при различных поляризациях импульса терагерцового излучения охватывает случаи:

а) если вектор поляризации импульса терагерцового излучения ортогонален кристаллографической оси [100], тогда нелинейная поляризация принимает вид:

$$P_{\perp}^{NL} = 2d_{22}E_{opt}E_{THz}\sin(2\beta)\cos(\alpha_{ch}), \quad (1)$$

где d_{22} - компонент тензора нелинейной восприимчивости,

E_{opt} - напряженность электрического поля оптического фемтосекундного импульса,

E_{THz} - напряженность электрического поля импульса терагерцового излучения,

β - угол между векторами поляризаций оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения,

α_{ch} - черенковский угол;

б) если вектор поляризации импульса терагерцового излучения параллелен кристаллографической оси [100], то нелинейная поляризация принимает вид:

$$P_{\perp}^{NL} = -2d_{22}E_{opt}E_{THz}\cos(2\beta). \quad (2)$$

Очевидно, что в случае, когда вектор поляризации импульса терагерцового излучения параллелен кристаллографической оси [100], а угол β равен либо 0, либо $\pi/2$, т.е. вектор поляризации оптического фемтосекундного импульса параллелен или перпендикулярен кристаллографической оси [100], то значение нелинейной поляризации будет максимальным, таким образом, максимальными будут измеряемые поляризационные изменения в зондирующем оптическом фемтосекундном импульсе, и как следствие, чувствительность детектора импульсного терагерцового излучения.

Работоспособность предлагаемого рабочего узла детектора импульсного терагерцового излучения при использовании источников оптических фемтосекундных импульсов с длиной волны в диапазоне 800-1550 нм, обеспечивающего подавление негативных эффектов внутреннего двулучепреломления в электрооптическом кристалле LiNbO_3 при сохранении высокого спектрального разрешения, приемлемой чувствительности, и использовании стандартной схемы измерения поляризационных изменений зондирующего оптического фемтосекундного импульса, включающей четвертьволновую пластинку, призму Волластона и балансный фотодетектор, подтверждена экспериментально примерами 1, 2.

Пример 1.

Линейно поляризованный оптический фемтосекундный импульс от волоконного Er^{3+} лазера с центральной длиной волны 1550 нм и длительностью 70 фс фокусировался на пластину 1, выполненную из кристалла LiNbO_3 с размерами 10X10X2 мм. Импульс терагерцового излучения фокусировался в пластину 1, в которую попадал, проходя сквозь призму 2 из высокоомного кремния со следующими геометрическими размерами грань $\text{BB}1 - 5.4$ мм, грань $\text{B}1\text{C}1 - 10$ мм, грань $\text{A}1\text{B}1 - 10$ мм, грань $\text{A}2\text{B}2 - 4$ мм. Генерация импульса терагерцового излучения происходила в фотопроводящей антенне, накачанной импульсом от того же источника оптического излучения, что создал оптический фемтосекундный импульс. Поляризации оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения были параллельны кристаллографической оси [100] кристалла. Изменение направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса фиксировалось с помощью стандартной эллипсометрической схемы, состоящей из четвертьволновой пластины, призмы Волластона и балансного фотоприёмника. Работоспособность предлагаемого узла детектора импульсного терагерцового излучения подтверждает экспериментальный спектр терагерцового излучения, построенный на фиг. 3.

Пример 2.

Линейно поляризованный оптический фемтосекундный импульс от твердотельного Ti:sapphire лазера с центральной длиной волны 800 нм и длительностью 100 фс фокусируется на пластину 1, выполненную из кристалла LiNbO_3 с размерами 10X10X2 мм. Терагерцовый импульс фокусировался в пластину 1, в которую попадал, проходя сквозь призму 2 из высокоомного кремния со следующими геометрическими размерами $\text{BB}1 - 5.4$ мм, $\text{B}1\text{C}1 - 10$ мм, $\text{A}1\text{B}1 - 10$ мм, $\text{A}2\text{B}2 - 4$ мм. Генерация импульса терагерцового излучения происходила в кристалле ZnTe , накачанного импульсом от того же источника оптического излучения, что создал оптический фемтосекундный импульс. Поляризации оптического фемтосекундного импульса и импульса терагерцового излучения параллельны кристаллографической оси [100]. Изменение направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса фиксировалось с помощью стандартной эллипсометрической схемы, состоящей из четвертьволновой пластины, призмы Волластона и балансного фотоприёмника. Работоспособность предлагаемого узла детектора импульсного терагерцового излучения подтверждает экспериментальный спектр терагерцового излучения, построенный на фиг. 4.

Подавление негативных эффектов внутреннего двулучепреломления в кристалле-измерителе LiNbO_3 достигается в отсутствие дополнительной оптики в детекторе импульсного терагерцового излучения для подавления эффектов внутреннего двулучепреломления и получено при соблюдении предлагаемых ориентации кристаллографических осей [001] и [100] и использовании лазера с длиной волны 0,8-1,55 мкм, вырабатывающего оптический фемтосекундный импульс длительностью 70-100 фс. Причём сравнив полученные спектры, построенные на фиг. 3 и фиг. 4, со спектром полученным при использовании прототипа (см. фиг. 2(b) в статье на англ. яз. M. Tani and other "Efficient electrooptic sampling detection of terahertz radiation via Cherenkov phase matching". OPTICS EXPRESS, 2011, v.19, № 21, p.19901-19906) можно убедиться в сохранении высокого спектрального разрешения.

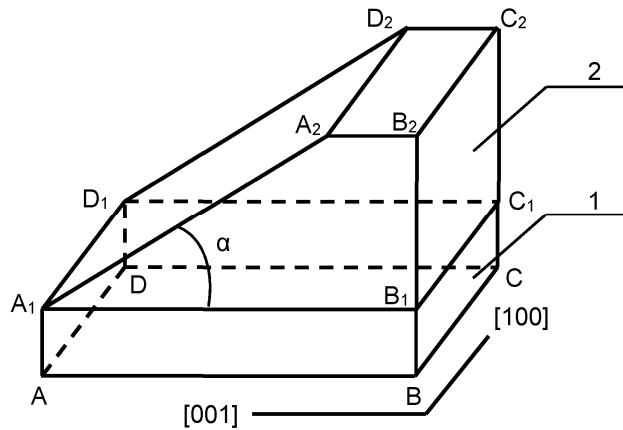
Примеры 1 и 2 подтверждают также в сравнении с прототипом полезное расширение диапазона доступных к использованию источников оптического излучения, так как в прототипе в качестве источника использовался только Ti:sapphire лазер с длиной волны 800 нм, характеризующийся более низкими потребительскими свойствами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

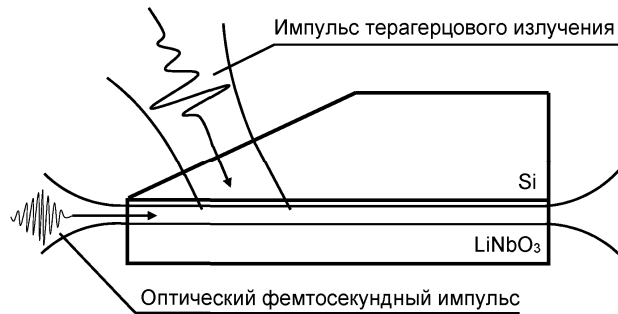
1. Рабочий узел детектора импульсного терагерцового излучения, содержащий электрооптический кристалл, выполненный в виде пластины, изготовленной из ниобата лития, и прозрачной в терагерцовом диапазоне, и трапециевидную оптическую призму, размещённую своим большим основанием на указанной пластине для ввода в неё терагерцового излучения, обеспечивающими детектирование терагерцового излучения путём изменения направления вектора поляризации оптического фемтосекундного импульса под действием электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения за счет эффекта Поккельса при обеспечении условий Черенковского синхронизма, задающего взаимное соответствие скоростных и пространственных характеристик импульса терагерцового излучения и указанного оптического фемтосекундного импульса, отличающийся тем, что предлагаемый рабочий узел содержит упомянутые электрооптический кристалл и оптическую призму, обеспечивающие детектирование импульса терагерцового излучения путём изменения направления вектора поляризации создаваемого лазером с

длиной волны 800-1550 нм оптического фемтосекундного импульса длительностью 70-100 фс под действием электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения, причём пластина упомянутого кристалла выполнена с условием ориентации её кристаллографической оси $[001]$ перпендикулярно вектору поляризации оптического фемтосекундного импульса, а кристаллографической оси $[100]$ параллельно вектору поляризации электрического поля детектируемого импульса терагерцового излучения при одновременной ориентации последней оси параллельно или перпендикулярно вектору поляризации указанного оптического фемтосекундного импульса.

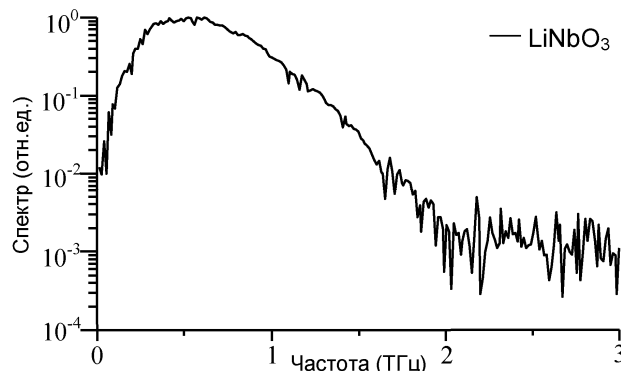
2. Рабочий узел по п.1, отличающийся тем, что трапециевидная оптическая призма выполнена из высокоомного кремния с углом $40^{\circ}30'$ между её гранями, через которые осуществляется ввод детектируемого терагерцового излучения в указанную в п.1 пластину, изготовленную из ниобата лития.



Фиг. 1

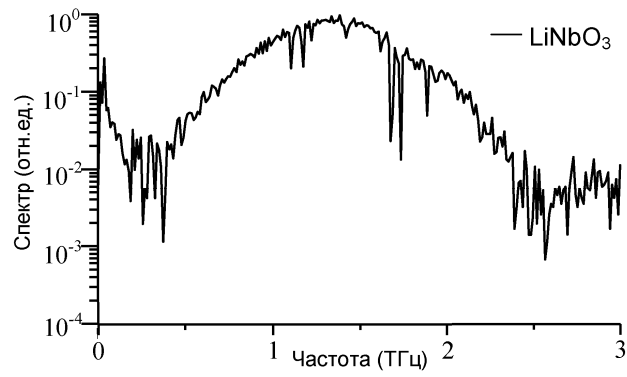


Фиг. 2



Фиг. 3

044770



Фиг. 4

