

Отечественная система досмотра в ТГц-диапазоне.

В.В. Старцев, В.К. Попов, А.В. Наумов

АО «ОКБ АСТРОН», г. Лыткарино

Что такое терагерцовое излучение?

Диапазон частот терагерцового (ТГц) излучения занимает промежуточное положение между инфракрасной (ИК) и микроволновой областями электромагнитного спектра. Условно границами ТГц-диапазона считаются частоты 0,02 ТГц и 10,00 ТГц. Этот частотный интервал часто также называют дальним ИК или субмиллиметровым диапазоном. Терагерцовое излучение является неионизирующим, в отличие от рентгеновского излучения. Различные биологические ткани обладают различным поглощением в данном диапазоне, что позволяет обеспечить контрастность снимков. В терагерцовом диапазоне лежат спектры сложных органических молекул (молекулы белков и ДНК, взрывчатых веществ и др. По сравнению с видимым и ИК-излучением, терагерцовое излучение является длинноволновым, а значит, что оно менее подвержено рассеянию. В результате, в этом диапазоне прозрачны многие сухие диэлектрические материалы, такие как ткани, дерево, бумага, пластмассы. Поэтому терагерцовое излучение можно использовать для неразрушающего контроля материалов, сканирования в аэропортах, и пр. В то же время длина волны излучения достаточно мала, чтобы обеспечить субмикронное пространственное разрешение при использовании свободно распространяющегося излучения. В терагерцовом диапазоне лежат резонансы вращательных и колебательных переходов многих молекул. Это позволяет проводить идентификацию молекул по их спектральным «отпечаткам». В сочетании с получением изображения в терагерцовом диапазоне это позволяет определить не только форму, но и состав исследуемого объекта.

Сегодня терагерцовая технология развивается в качестве абсолютно нового диагностического направления. Терагерцовые волны позволяют видеть сквозь многие оптически непрозрачные материалы. С помощью терагерцового излучения можно получить снимок, подобный рентгеновскому, без использования потенциально опасного рентгеновского излучения. Терагерцовый сенсор представляет собой пассивный датчик и абсолютно безвреден для человека, так как источником сигналов здесь является естественное излучение объектов. В аэропортах терагерцовый сенсор можно использовать для обнаружения оружия, спрятанного под одеждой. Причем, в отличие от детекторов металла, которые используются сейчас, терагерцовый сенсор способен заметить и взрывчатку без металлических компонентов, так как взрывчатое вещество также может оставлять характерный след в терагерцовом излучении.

В связи с этим, нами в АО «ОКБ АСТРОН» разработана и изготовлена система обнаружения скрытно проносимых веществ, работающая в ТГц-диапазоне.

Структура комплекса

В состав созданного на АО «ОКБ АСТРОН» терагерцового комплекса обнаружения запрещенных предметов (Рис.1) входит:

- Терагерцовая камера;
- Камера видеонаблюдения;
- Тепловизионная камера;
- Автоматическое рабочее место (АРМ) оператора;
- Средства передачи информации от средств досмотра на АРМ оператора;
- Источник бесперебойного питания.

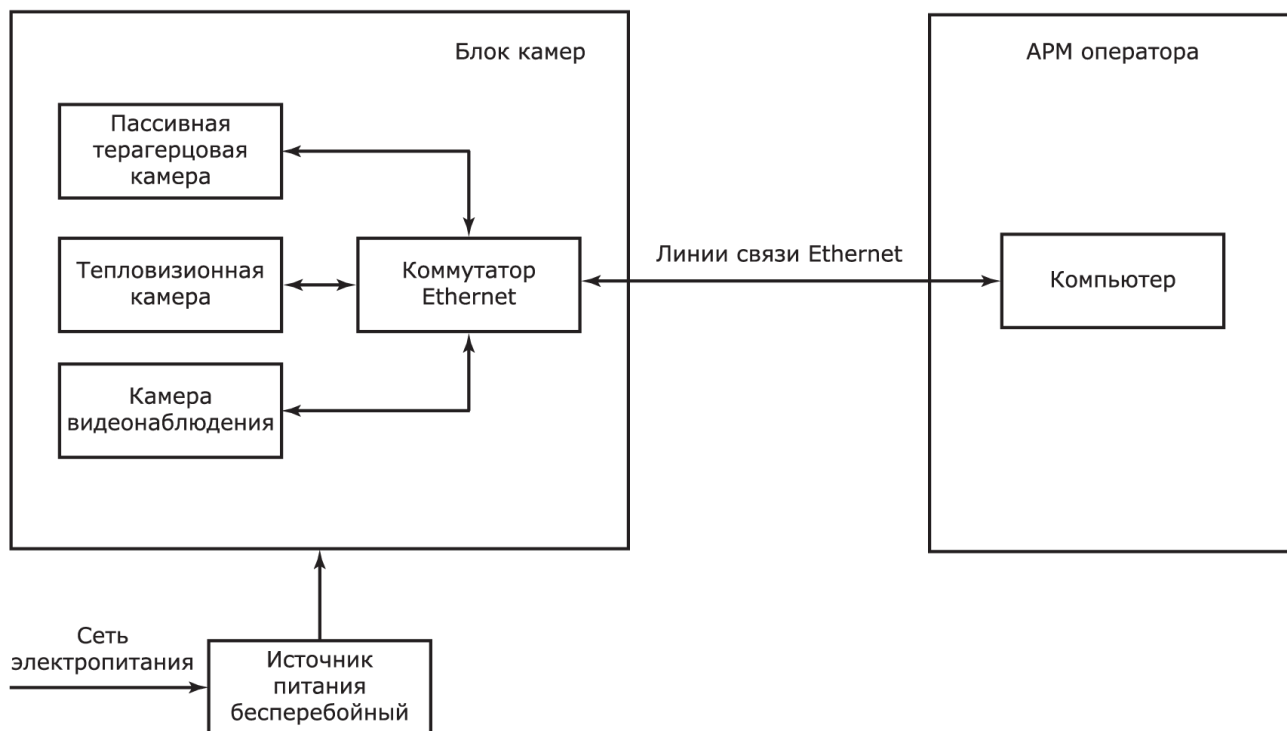


Рис. 1 Структура терагерцового комплекса обнаружения запрещенных предметов и его подсистемы

Элементная база комплекса обнаружения.

Генератор излучения - фотопроводящая антенна.

Фотопроводящая антенна (ФП-антенна, photoconducting switch) является одним из наиболее часто используемых генераторов и приемников терагерцового излучения. ФП-антенна состоит из двух металлических электродов, расположенных на некотором расстоянии друг от

друга на полупроводниковой подложке. К электродам прикладывается напряжение порядка нескольких киловольт. При освещении зазора между электродами ультракоротким лазерным импульсом концентрация носителей заряда в полупроводнике резко возрастает на короткое время (порядка единиц или десятков пикосекунд). Для эффективного поглощения лазерного излучения с освобождением носителей энергия фотона лазерного излучения должна превышать ширину запрещенной зоны полупроводника. Возникшие свободные носители ускоряются приложенным к зазору полем, в результате чего возникает кратковременный импульс тока, который и является источником терагерцового излучения. Таким образом, ультракороткий лазерный импульс служит сверхбыстрым переключателем для антенны, переводящим ее из изолирующего в проводящее состояние. Длительность импульса тока и спектр испускаемой терагерцовой волны определяется, в основном, временем жизни носителей в полупроводнике, в нашем случае - арсениде галлия (GaAs). (Рис.2)

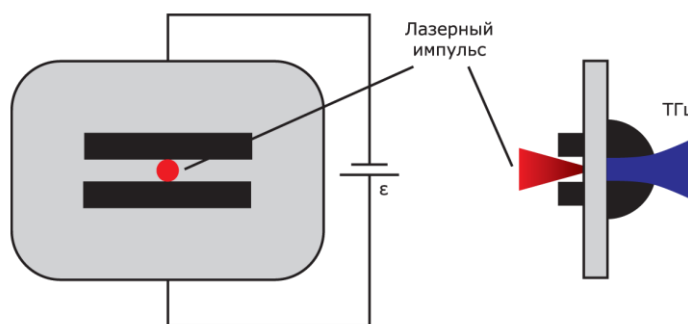


Рис.2. Фотопроводящая антенна

Приемник излучения (ПИ)

Выбор ПИ и длины волны, на которой он будет работать, определяет все остальные элементы конструкции изделия. Разработанный нами комплекс детектирует собственное терагерцовое излучение объектов без дополнительной подсветки.

Структура терагерцовой камеры.

Терагерцовая камера (Рис.3) состоит из блоков:

- Узел сканирования
- Система фокусировки
- СВЧ-блок
- Контроллер управления
- Вычислитель управления и первичной обработки изображения

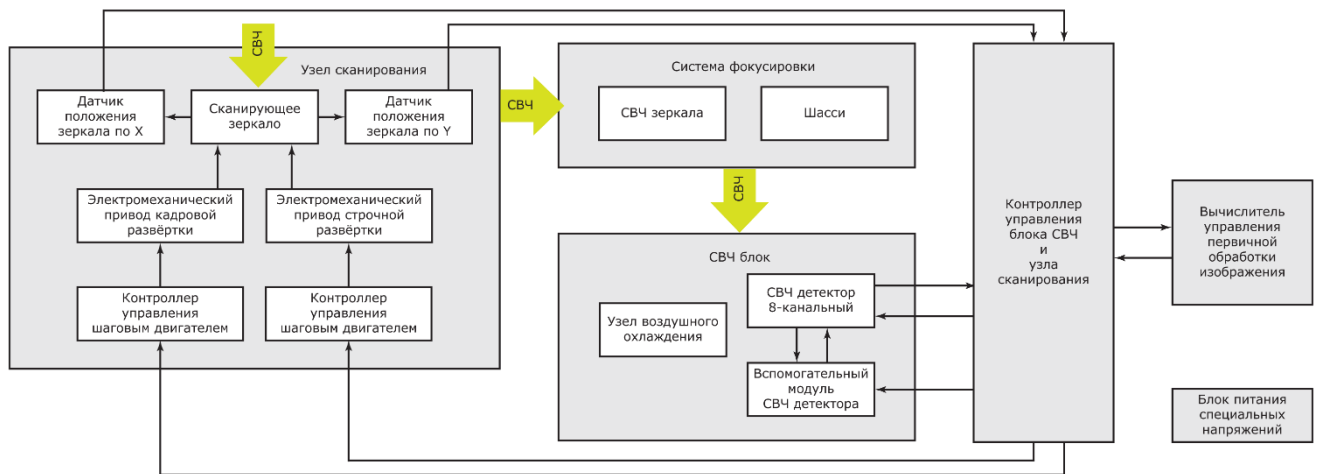


Рис. 3. Структурная схема терагерцовой камеры

Система фокусировки и оптическая схема

Зеркальные системы (ЗС) имеют значительные преимущества перед линзовыми системами. Они состоят из отражающих поверхностей, не вносящих хроматических аберраций, поэтому ЗС применяют в ультрафиолетовой (УФ) и инфракрасной (ИК) областях спектра. При сравнительно несложных конструкциях ЗС можно получить достаточно совершенную коррекцию сферической аберрации, эти системы имеют высокую светосилу и разрешающую способность. Но оптическое стекло не работает в ТГц-области спектра излучения. Поэтому компоненты оптической схемы ЗС выполнены из металла.

Система фокусировки терагерцового потока состоит из 4 алюминиевых зеркал, установленных на жёстком шасси. Входное зеркало плоское – сканирующее; узел сканирования обеспечивает механическую развёртку потока терагерцового излучения от объекта на приёмный детектор. Второе и четвёртое зеркала цилиндрические, а третье торическое. Первое зеркало является сканирующим, оно обеспечивает получение изображения необходимого пространства предметов, и передает изображение на поверхность второго зеркала, которое формирует световое пятно, передаваемое на приемник излучения. (Рис.4) Коррекция искажений оптической системы выполнена по методу гауссовской квадратуры, при которой плотность трассируемых лучей определяется числом лучей, расположенных вдоль радиуса. Максимальное число равно 18. Этого достаточно для аберраций зрачка вплоть до 36 порядка.

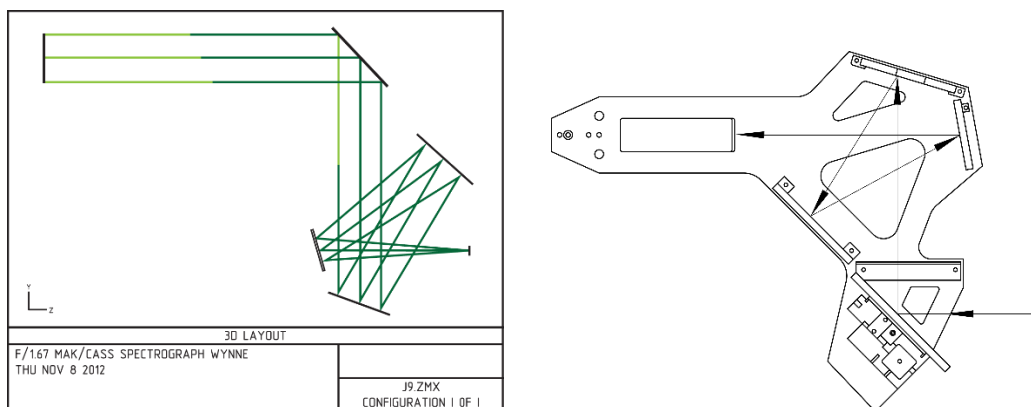


Рис. 4 Оптическая схема терагерцовой камеры и шасси оптической системы терагерцовой камеры с зеркалами.

Система фокусировки обеспечивает концентрацию потока терагерцового излучения от объекта на линейку из 8 конических волноводов приёмного детектора. Система фокусировки терагерцового потока состоит из 4 алюминиевых зеркал, установленных на жёстком шасси. Входное зеркало плоское – сканирующее; узел сканирования обеспечивает механическую развёртку потока терагерцового излучения от объекта на приёмный детектор. Второе и четвертое зеркало цилиндрические, а третье торическое.

Диаметр сфокусированного пятна потока терагерцового излучения примерно равен диаметру входного отверстия конического волновода рупорной антенны приёмного детектора, около 7 мм. Это обеспечивает приём всего терагерцового потока, поступающего от объекта на входное окно ТГЦК, что обеспечивает получение максимальной чувствительности системы.

СВЧ-блок, приемник излучения

Приёмником потока терагерцового излучения является СВЧ-блок, который получает терагерцовый сигнал от системы фокусировки. СВЧ-блок состоит из восьмиканального СВЧ - детектора, вспомогательного модуля и узла воздушного охлаждения. СВЧ-детектор выполнен на основе наноструктур GaAs и InGaAs и состоит из восьми идентичных каналов, работающих одновременно для получения восьмикратного повышения скорости сканирования.

СВЧ-приёмник выполнен по гетеродинной схеме. Частота гетеродина составляет 125 ГГц и преобразование производится на второй гармонике гетеродина в смесителе из встречно-параллельных диодов Шотки. Рабочая полоса усилителя промежуточной частоты составляет 20 ГГц. СВЧ детектор представляет собой восемь приёмных конических волноводов рупорных антенн, расположенных в линию, но со смещением в шахматном порядке. Такое расположение сделано для того, чтоб между эффективными апертурами волноводов не было просветов, так как эффективные апертуры меньше физических входных диаметров приёмных конических

волноводов. Внутри каждого приёмного волновода установлен смеситель на встречно-параллельных диодах Шотки. Сигнал гетеродина подводится к смесителям по волноводам специальной конфигурации для обеспечения распределения одинаковой мощности и одной фазы для каждого диодного смесителя.(Рис.5)

Сигнал усиливается малошумящими СВЧ усилителями и детектируется активной схемой детектирования. Вспомогательный модуль СВЧ детектора обеспечивает установку и поддержание режимов работы всех СВЧ модулей для получения оптимального усиления и динамического диапазона полезного сигнала от бьёкта. Получившийся сигнал оцифровывается и подаётся на контроллер управления и обработки для дальнейшего формирования кадра изображения.

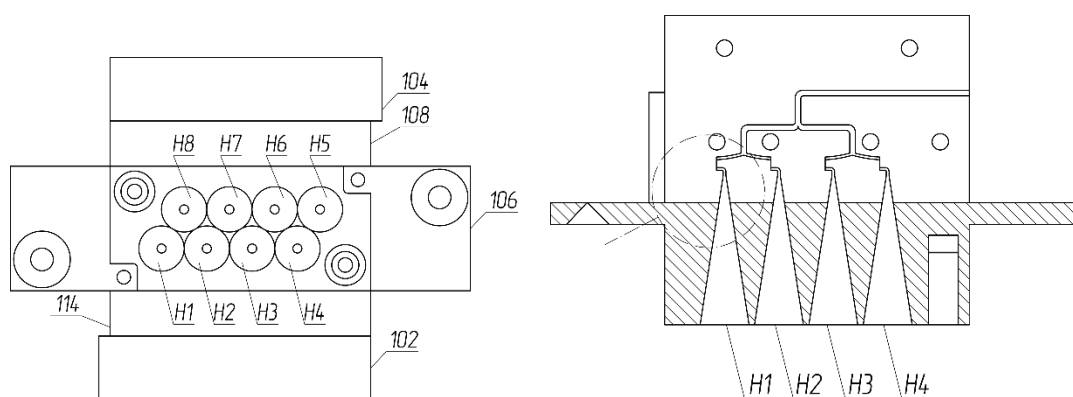


Рис. 5. Восьмиканальный СВЧ детектор, и рупорные волноводные антенны

Камера видеонаблюдения

Нами была применена камера видеонаблюдения модели AXIS M1011 со встроенным объективом компании «Axis Communications» –как готовое изделие. Камера видеонаблюдения установлена рядом с входным окном терагерцовой камеры.

Тепловизионная камера

Тепловизионная камера модели АСТРОН 384. Тепловизионный объектив из монокристалла германия с полосой пропускания 7-14 мкм и фокусным расстоянием 28 мм, IFOV 0,89 мрад производства компании АО «ОКБ АСТРОН» – используется как готовое изделие. Тепловизионная камера установлена рядом с входным окном терагерцовой камеры.

Узел сканирования

Узел сканирования предназначен для выполнения поворота первого зеркала системы фокусировки в двух плоскостях с целью последовательного обхода площади объекта и

формирования кадра изображения в терагерцовом диапазоне. Поворотное зеркало закреплено на механизме узла сканирования. Два шаговых двигателя обеспечивают механическую развёртку по вертикали и горизонтали потока терагерцового излучения от объекта. Основные детали выполнены из алюминия для снижения массы и соответственно динамических нагрузок. Каждый шаговый двигатель управляется от собственного контроллера управления. Контроллеры управления двигателями получают управляющие сигналы от контроллера управления блока СВЧ. Узел сканирования выдаёт два сигнала синхронизации в контроллер управления блока СВЧ, которые соответствуют средним положениям поворотного зеркала. По этим сигналам производится синхронизация центра кадра изображения в терагерцовом диапазоне с основной оптической осью системы фокусировки. Узел сканирования установлен на шасси системы фокусировки для обеспечения точности и стабильности работы оптической системы терагерцовой камеры.

Результаты работы терагерцового комплекса.

Тест-объекты размещались на теле человека, и закрывались различными материалами. На рис.6 приведены изображения экспериментатора с надетым муляжом пояса, скрытого под одеждой.

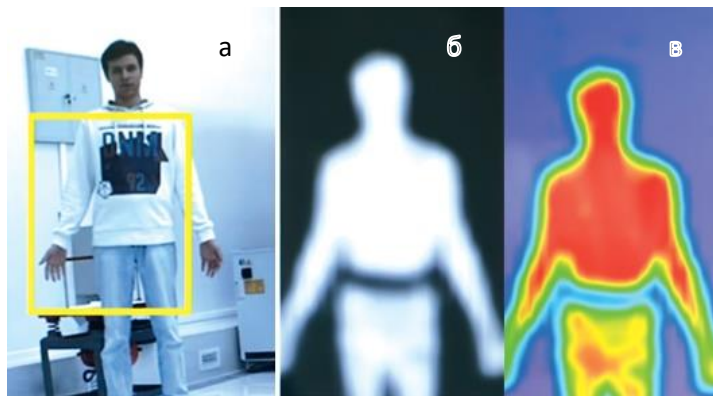


Рис.6. Изображения тест-объектов в видимом диапазоне (а), в терагерцовом диапазоне (б) и суммарное обработанное изображение (в)

На рис.6 в левой части скриншота экрана АРМа виден экспериментатор, с поясом, спрятанным под одеждой. В центральной части находится изображение, получаемое с терагерцового канала (тестируемый объект уже виден). В правой части снимка приведено комбинированное изображение, обработанное аналитическим блоком АРМ. На скриншоте видно, что комплекс уверенно обнаруживает тестируемый объект.

Заключение

В АО «ОКБ «АСТРОН» сформулирована концепция активной системы обнаружения на базе ТГц-источников и детекторов, обеспечивающей возможность обнаружения скрытно проносимых веществ, выбрана схема генерации ТГц-излучения и приема отраженного и рассеянного излучений. Также разработаны основы технологии компактных источников и приемников ТГц-излучения на базе наноструктур GaAs и InGaAs. Разработана конструкция и изготовлен макет компактного источника ТГц-излучения (до 1,2 ТГц) на полупроводниковых наноструктурах, с доставкой излучения, в том числе, и по наноструктурированному оптоволокну. Разработана конструкция и изготовлен макет приемника ТГц-излучения (до 1,2 ТГц) с чувствительностью, позволяющей регистрировать сигналы от объектов обнаружения в режиме реального времени.

В АО «ОКБ «АСТРОН» изготовлена активная система обнаружения на базе ТГц-источников и детекторов, обеспечивающая возможность обнаружения скрытно проносимых веществ. Система состоит из пассивной терагерцовой камеры, камеры видеонаблюдения и тепловизионной камеры, и изготовлена в виде моноблока. В конструкции комплекса совместно с каналом ТГц-диапазона (реализованным пассивной терагерцовой камерой) внедрены: канал видеоизображения в видимом оптическом диапазоне и канал изображения в ИК-области спектра (8-14 мкм), с возможностью последующего наложения полученных изображений и их совместной обработки;

Нами также проведены экспериментальные исследования системы обнаружения, в результате которых получены оценки влияния следующих факторов на характеристики обнаружения:

- влияние преград (одежды) на возможность получения информативного сигнала от диагностируемого объекта, включая влияние материала преграды, ее структуры (неоднородности, наличия слоев, толщины и пр.);

- зависимость эффективности обнаружения от времени измерения и мощности излучения, влажности одежды (атмосферы).

Отображение результата досмотра осуществляется в двух режимах:

- а) терагерцовой камеры;
- б) комплекта видеонаблюдения с графическим выделением зоны расположения скрытого объекта (места закладки) на изображении досматриваемого субъекта.

Разработано специальное программное обеспечение (СПО) для АРМ оператора. Оно позволяет создавать масштабную проекционную модель объекта досмотра с последующей автоматической обработкой видеосигналов получаемых от пассивной терагерцовой камеры, камеры видеонаблюдения, тепловизионной камеры, с целью обнаружения запрещенных предметов.

СПО выдаёт автоматическую сигнализацию оператору о попытках противодействия распознаванию; выдаёт фото и видеоизображения во внешнюю систему в видимом диапазоне для проведения фотоидентификации лица; определяет точное пространственное положение и соответствующие масштабные коэффициенты для проведения сравнения зарегистрированных аномалий изображений с библиотекой запрещенных к проносу предметов; производит синтез изображения субъекта – путем анализа видеосигналов полученных от пассивной терагерцовой камеры, камеры видеонаблюдения, тепловизионной камеры, с целью обнаружения запрещенных предметов.

Возросшая в последнее время террористическая угроза в отношении объектов особой важности на первый план выдвигает задачу обеспечения этих объектов современными средствами защиты с повышенными показателями эффективности. Борьба с терроризмом – одна из самых приоритетных задач, стоящих перед всеми силовыми ведомствами России.

Предлагаемая АО «ОКБ «АСТРОН» новая система досмотра позволит существенно повысить уровень безопасности важнейших объектов инфраструктуры России.