РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИДЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

И. В. Мишина, Г. С. Рогожников, Н. Н. Рукавишников

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ИЛФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Излучение миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн (терагерцовый диапазон частот – ТГц) со временем находит все больше применений в различных областях науки и техники, позволяя решать актуальные задачи в области обеспечения безопасности, медицинских и фармацевтических исследований, контроля качества и т. п. [1] Способность данного излучения проникать сквозь многие материалы, а также его сравнительно малая, по сравнению с рентгеновским и радио-излучением расходимость, позволяет создавать устройства для дистанционного зондирования объектов с целью получения их изображений и информации о химическом составе [2]. Такие устройства могут быть использованы в системах, отвечающих за обеспечение безопасности в местах массового скопления людей, контроля грузов и почтовых отправлений, обнаружения скрытых, например, под одеждой предметов с достаточным для их идентификации пространственным разрешением (~1 мм), не нанося вреда здоровью [3].

В данной работе описывается разработка системы видения миллиметрового диапазона длин волн, предназначенного для регистрации изображений предметов, находящихся за преградой, с целью их идентификации.

Экспериментальный макет системы видения

Обобщенно система видения состоит из источника излучения, приемника излучения и системы транспортировки и фокусировки. Компоновка данных узлов существенным образом зависит от используемой схемы измерений. В случае прямых измерений исследуемый объект помещается между источником и приемником – такая компоновка является самой простой, но вместе с тем довольно неудобна в практическом применении из-за ограничений по габаритам объекта. При разработке экспериментального макета была выбрана более удобная и практичная лидарная схема измерений – когда источник и приемник находятся по одну сторону объекта и регистрируется только отраженный сигнал. Конечно, в данном случае требуется бо́льшая мощность излучения для компенсации потерь на двукратное поглощение и рассеяние. Компоновка экспериментального макета системы видения представлена на рис. 1.

В качестве источника терагерцового излучения использовался диодный модуль с рабочим диапазоном частот 0,139÷0,141 ТГц, с максимальной выходной мощностью 19 мВт и шириной спектра 200 кГц. Излучение от ТГц генератора попадало на тонкую (≈500 мкм) делительную пластину из кристаллического кремния, коэффициент отражения от которой для рабочего диапазона частот генератора составлял ≈55 % для угла падения 45°. Отраженное от пластины излучение проходило через двухлинзовый телескоп из ТРХ материала с фокусным расстоянием 20 см, преграду и фокусировалось вблизи плоскости поверхности объекта. Исследуемый объект закреплялся на системе двухкоординатного механического сканирования, что позволяло получать отраженное излучение от каждой точки объекта и строить изображение. В режиме сканирования осуществлялось построчное перемещение исследуемого объекта вблизи фокуса линзы с разрешением порядка 1 мм. Отраженное от объекта излучение собралось тем же телескопом и, пройдя сквозь делительную пластину, регистрировалось приёмником. В качестве приемника использовался диодный детектор с предусилителем, с рабочим диапазоном частот 0,139÷0,141 ТГц, максимальной входной мощно-

стью < 20 мВ, минимальным измеряемым уровнем мощности 0,1 мкВт, полосой выходного сигнала (макс.) 1 МГц и регистрировался цифровым осциллографом. Нормирование и склейка осциллограмм в изображение производились при помощи комплекса Matlab.

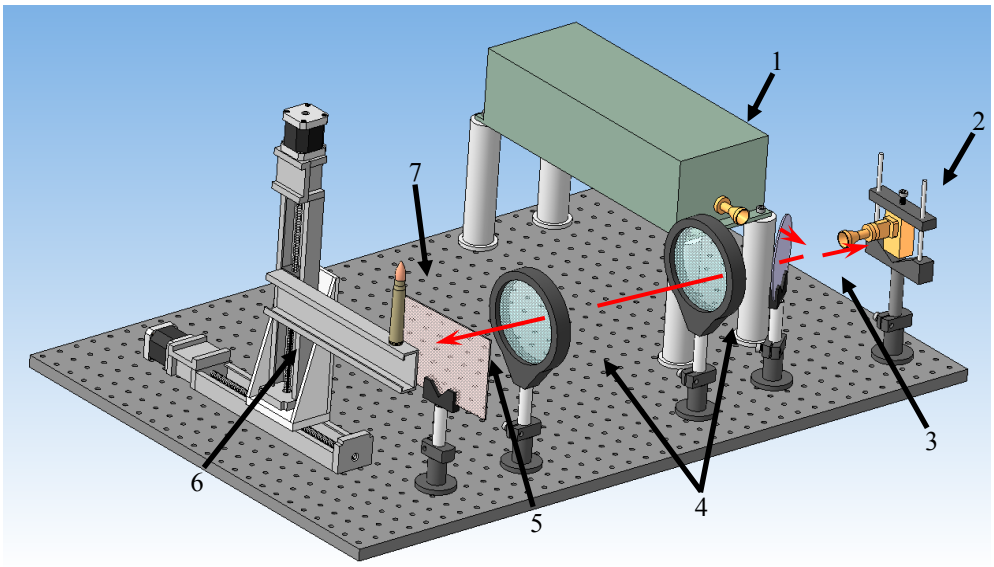
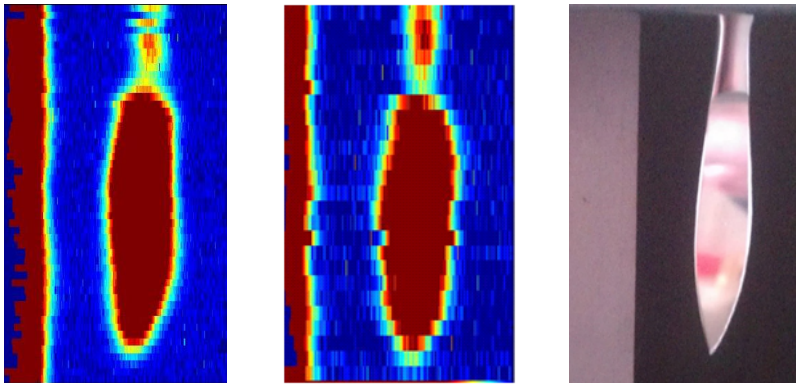


Рис. 1. Компоновка экспериментального макета системы видения: 1 – генератор ТГц излучения, 2 – приемник, 3 – делительная пластина, 4 –двухлинзовый телескоп, 5 – преграда, 6 – линия сканирования, 7 – объект сканирования. Линиями указан ход лучей

Регистрация изображений скрытых объектов

В качестве объектов, скрытых за преградой, использовались: металлический скальпель (плоский непрозрачный объект), металлическая имитация патрона (выпуклый непрозрачный объект), керамический нож (плоский прозрачный в ТГц диапазоне объект).

На рис. 2 приведены изображения скальпеля, полученные в ТГц диапазоне на описанной экспериментальной установке без преграды (а) и с преградой в виде листа полипропилена толщиной 3 мм (б). Для сравнения показано изображение скальпеля в оптическом диапазоне (в).

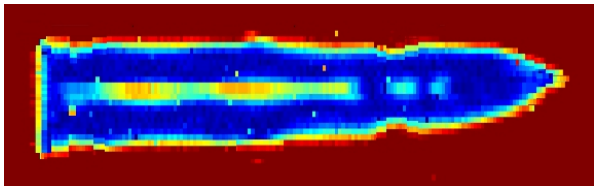


а б в

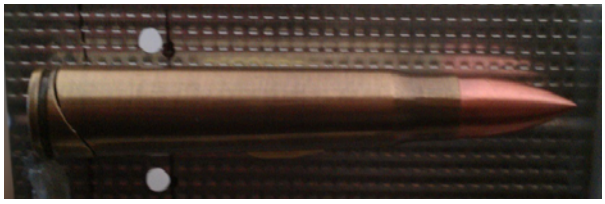
Рис. 2. Изображения скальпеля в ТГц диапазоне (а – без преграды, б – с преградой из 3 мм полипропилена), полученные при помощи системы построения изображений; фотография скальпеля в видимом диапазоне (в)

Видно, что преграда не влияет существенным образом на контрастность изображения.

На рис. 3 приведены изображения имитации патрона в терагерцовой (а) и видимой (б) областях спектра. В данном случае хорошо видно, как хорошо различается профиль патрона на фоне металлической пластины, что было бы невозможно при использовании рентгеновского излучения, традиционно использующегося в системах безопасности [4].



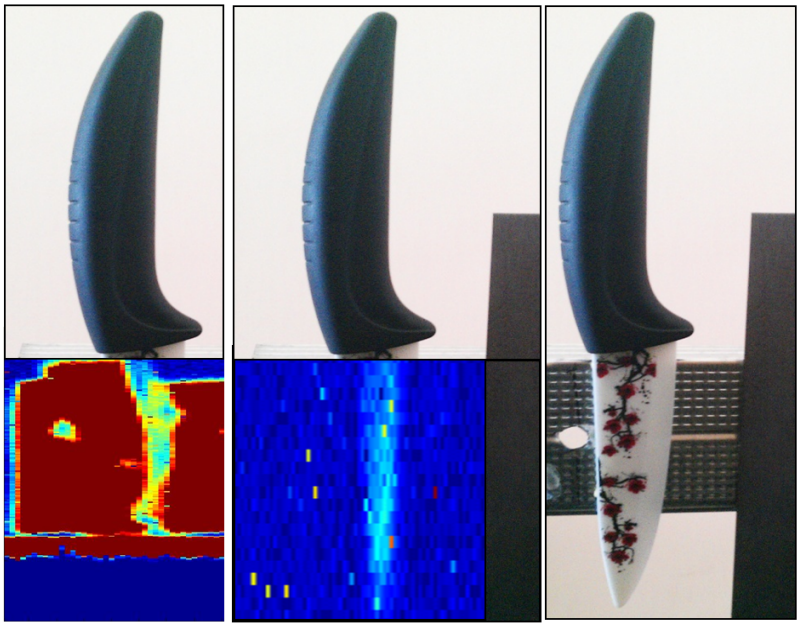
а



б

Рис. 3. Изображение имитации патрона в ТГц диапазоне (а)
и видимом диапазоне (б)

На рис. 4 приведено изображение керамического ножа в терагерцовой (а, б) и видимой (в) областях спектра. На рис. 4,а изображение получено на фоне металлической пластины, а на рис. 4,б регистрируемый сигнал отражался только от исследуемого объекта.



а б в

Рис. 4. Изображение керамического ножа в ТГц диапазоне (а, б) и видимом диапазоне (в),
полученное при помощи системы построения изображений

Видно, что для получения наилучшего контраста, регистрация таких прозрачных в ТГц диапазоне объектов, как керамика, пластики и т. п. должна происходить в присутствии металлического экрана за плоскостью сканирования. Присутствие металлического экрана также поможет получить

распределение коэффициента поглощения от частоты, необходимое для регистрации спектра сигнала в каждой точке сканирования и определения типа материала или материалов, из которых изготовлен объект. Пространственное разрешение изображений составило 1÷2 мм в зависимости от режима сканирования и типа преграды.

Заключение

Собран экспериментальный макет системы видения, работающая в схеме лидарных измерений на частоте $\nu \approx 0{,}14$ ТГц.

Зарегистрированы изображения некоторых тестовых объектов (металлический скальпель, металлический имитатор патрона, керамический нож), находящихся за преградами, в терагерцовом диапазоне частот. Показано, что наличие металлического экрана за объектом повышает контрастность изображения. Пространственное разрешение изображений составило 1÷2 мм в зависимости от режима сканирования и типа преграды.

Полученные данные позволят разработать опытный образец зондирующей системы миллиметрового диапазона длин волн для использования в целях обеспечения безопасности, а также неразрушающего контроля материалов [5].

Список литературы

1. Wang S., Zhang X-C. Pulsed terahertz tomography. J. Phys. D: Appl. Phys., 2004, + M. Exter, Ch. Fattinger, D. Grishkowski “Terahertz time-domain spectroscopy of water vapor”, Opt. Letters. 1989. Vol. 14, N 20.

2. Hu B., Nuss M. Imaging with Terahertz Waves. Opt. Letters. 1995. Vol. 20, N 16.

3. Siegel P. H. Terahertz technology in biology and medicine. IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2004. Vol. 52, N 10.

4. Schwaninger A. X-ray imagery: enhancing the value of the pixels. Aviation Security International. 2005. P. 16–21.

5. Рогожников Г. С., Мишина И. В., Рукавишников Н. Н., Костюнин Р. Ю., Козырева О. И. Высокоэнергетичные источники терагерцового излучения: проблемы и перспективы // Лазеры. Измерения. Информация, сб. трудов, 2013.