

УДК 621.372

***СОВРЕМЕННЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕРАГЕРЦОВОГО
ДИАПАЗОНА******Сухрамендо Е. Д.****Студент 2 курса,**ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,**Самара, Россия***Аннотация**

Одно из направлений современной радиоэлектроники – развитие терагерцового диапазона частот, занимающего промежуточное положение между хорошо изученной микроволновой и оптической частями электромагнитного спектра. В статье рассказано о природе ТГЧ-диапазона, проанализированы использование и метрологическое обеспечение терагерцовой технологии. Обращено внимание на источники терагерцового излучения: оротрон, лазер на свободных электронах (ЛСЭ), гиротрон и синхротрон, а также на приемники: болометр и оптико-акустический приемник. Указано их применение. На сегодняшний день терагерцовый диапазон изучен недостаточно, по сравнению с инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами, поэтому актуальна проблема дальнейшего изучения ТГЧ-диапазона, поскольку он имеет ряд особенностей, включая в себя самый главный: он безопасен для человека и других живых организмов. Это позволяет широко использовать его в различных сферах жизнедеятельности. При написании были использованы отечественные и зарубежные источники информации.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, терагерцовое излучение, электроника, фотоника, активные элементы, пассивные элементы, источники, приемники, измерения.

MODERN ELECTRONIC SYSTEMS IN THE TERAHERTZ RANGE***Sukhramendo E. D.****Student 2 course,**Volga state University of telecommunications and Informatics,**Samara, Russia***Abstract**

One of the directions of modern radio electronics is the development of the terahertz frequency range, which occupies an intermediate position between the well-studied microwave and optical parts of the electromagnetic spectrum. The article describes the nature of the THz band, analyzes the use and metrological support of terahertz technology. Attention is drawn to the sources of terahertz radiation: gyrotron, free electron laser (FEL), gyrotron and synchrotron, as well as to the receivers: bolometer and opto-acoustic receiver. Their use is indicated. To date, the terahertz range has not been sufficiently studied in comparison with the infrared and ultrahigh frequency ranges, so the problem of further study of the THz range is urgent, since it has a number of features, including the most important one: it is safe for humans and other living organisms. This allows it to be widely used in various spheres of life. Domestic and foreign sources of information were used in writing.

Keywords: terahertz range, terahertz radiation, electronics, photonics, active elements, passive elements, sources, receivers, measurements.

Частотный диапазон терагерцевого (ТГц) излучения лежит между инфракрасной (ИК) и микроволновой областями электромагнитного спектра. Частоты границ диапазона ТГц на сегодняшний день не определены в совершенстве и даются по-своему в различных источниках. Отсутствует неоднозначность в определении границ, однако частоты 100 ГГц и 10 ТГц

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

считаются более предельными для ТГЧ-диапазона (рис. 1). Этот частотный диапазон часто также называют длиной волны дальнего инфракрасного диапазона или субмиллиметровым.

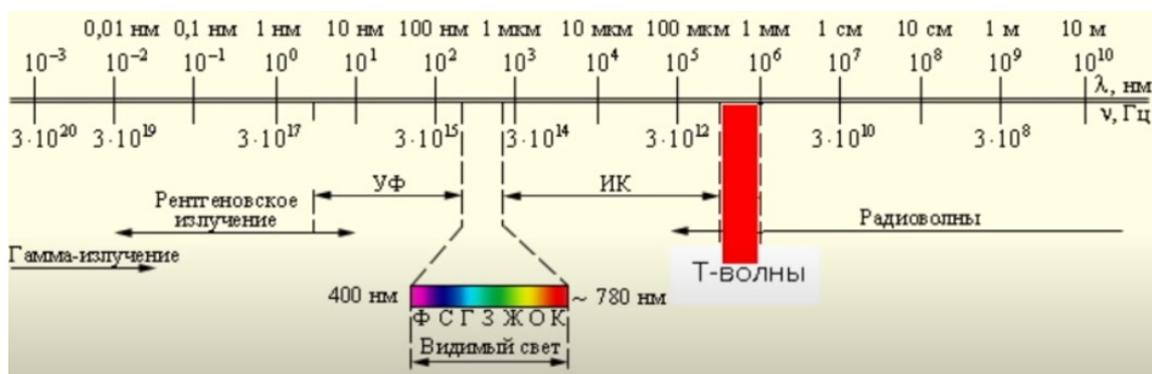


Рис. 1 – Терагерцовое излучение на шкале электромагнитных волн [12]

Сегодня ТГЧ-диапазон малоизвестен по сравнению с ИК и СВЧ-диапазонами. Он был разработан во второй середине XX века [1-2], и бурно развивается в XXI веке [3-4]. Источники инфракрасного излучения и микроволнового излучений не пригодны для генерации излучения в терагерцовый интервал. Для МК-диапазона это связано с тепловым размытием лазерных уровней, а для электронных устройств СВЧ-диапазона со временем полета электронов.

ТГЧ-излучение не ионизирует, как, например, рентгеновские лучи. Разные биологические препараты по-разному поглощаются в данном диапазоне. Это позволяет гарантировать контраст изображений. В терагерцовом диапазоне представлены спектры сложных органических соединений молекулы (белки, ДНК и т.п.) Сравнивая ТГЧ-излучение с видимым и инфракрасным излучениями, легко увидеть, что ТГЧ-излучение – длинноволновое, следовательно, оно менее подвержено рассеянию. К слову, в ТГЧ-диапазоне прозрачны многие диэлектрики, например ткань или бумага.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Следовательно, ТГц-излучение может использоваться для неразрушающего контроля материалов. В этом же случае, длина волны ТГц-излучения очень мала, чтобы обеспечивать пространственное разрешение при использовании распространяющего излучения. В ТГц-диапазоне наблюдаются резонансы вращения и колебательные переходы миллиардов молекул. Можно с легкостью идентифицировать молекулы по принадлежащим к ним «призрачным отпечаткам». Вместе с изображением ТГц-диапазона, это позволит определить как форму, так и состав тестируемого объекта.

ТГц-диапазон – это область схождения электроники и фотоники, которые различаются как по теоретическим основам, так и по методам приема и обработки электромагнитной волны (ЭВ). Традиционная электроника основана на теории электромагнетизма и теории переноса. Фотоника основана на квантово-механических принципах взаимодействия между излучением и веществом. Эта двойственность позволяет (и предполагает) использование гибридных устройств обработки сигналов в ТГц-диапазоне, основанных на классической и квантовой механике.

В рассматриваемом обзоре показаны некоторые аспекты при использовании терагерцовых волн в науке и технике, продемонстрированы современные активные и пассивные устройства для генерации и управления ТГц-излучением, его источники и приемники, а также анализ проблем метрологического обеспечения.

В настоящее время терагерцовые технологии развиваются совершенно в новых направлениях диагностики. Благодаря волнам ТГц-диапазона, можно увидеть непрозрачные материалы сквозь оптические волны. Терагерцовое излучение позволяет делать снимки, похожие на рентген, без использования опасного рентгеновского излучения – радиации. Пассивный датчик ТГц-диапазона – абсолютно безвреден для человека, поскольку источником сигнала здесь является естественное излучение от предметов. Также датчик способен

обнаруживать оружие, спрятанное под одеждой. Его можно считать прекрасной альтернативой детекторов металла, потому что он способен заметить пронесенные взрывчатые вещества.

Терагерцовой диапазон имеет особые свойства, благодаря которым он становится привлекательным для исследований в физике, химии, биологии, медицине и многих других областях (рис. 2). В археологии и искусствоведении ТГц также находит свое применение.



Рис. 2 – Области применения терагерцового излучения [13]

Разработка и внедрение терагерцовых систем разного назначения напрямую зависит от успехов в области фотоники и электроники. Активные устройства линейки ТГц делятся на три группы: генераторы, усилители и приемники. Генераторы разделены на вакуумные лампы, твердотельные устройства, лазерные и фотонные источники. Источники с высокой степенью мощности можно разделить на две категории. К первой категории относятся

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

гиротроны и ЛСЭ. К первой – клистроны, лампы бегущей волны (ЛБВ) и лампы обратной волны (ЛОВ).

Среди мощных ТГЧ-источников лидирующие позиции удерживают гиротроны, которые используются для нагрева плазм, термообработки материала, радиолокации и телекоммуникаций.

На сегодняшний день для передачи электромагнитных сигнала и энергии в устройстве ТГЧ используются разные волноведущие структуры (пассивные устройства), включая коаксиальные линии, фотонный кристалл, диэлектрики и т.д. Использование обычной коаксиальной линии неэффективно из-за больших потерь в металлах или диэлектриках.

В аппаратуре связи и радиолокации в микроволновых, миллиметровых и терагерцовых диапазонах частот широко используются разные виды поляризационных устройств. Например, сетчатые поляризаторы (СП) предназначаются для управления параметрами поляризованных ЭМ сигналов.

Одномерные периодические структуры (решетки из металлов), также успешно используются для фильтрации сигналов. Решетки на основе графена действуют как поглотители Т-волн.

Отметим источники ТГЧ-излучения. ЛОВ и оротрон – самые первые разработанные источники излучения терагерцовой мощности. Вслед за ними огромную популярность получили лазер на свободных электронах (ЛСЭ) и гиротрон. Гиротрон способен выдавать полтора киловатта мощности на частоте 1 ТГц длительностью в 50 микросекунд.

Совсем недавно стали использоваться такие источники, как синхротроны – электровакуумные установки, в которой частицы ускоряются до скорости света (рис. 3). Источники, использующие электрооптический эффект, также имеют место быть в списке источников ТГЧ-излучения [5-6].



Рис. 3 – Синхротрон – резонансный циклический ускоритель [11]

За первые приемники терагерцового излучения можно считать болометр и оптико-акустический приемник, который также имеет название «ячейка Голея». Сперва эти устройства были рассчитаны на регистрацию инфракрасного излучения. Однако без подавления тепловых шумов невозможен сигнал в области ТГЧ-волн. Таким образом, болометры нашли свое место в приеме терагерцового диапазона, и теперь используются для охлаждения температур.

Радиометры и пластинки из танталата лития также используются для обнаружения ТГЧ-излучения.

Данные приемники относятся к классу неселективных (тепловых), то есть регистрирующих мощность спектра излучения ТГЧ-волн. За селективные приемники можно считать устройства, в которых используются фотосмещение или колебания электрического поля.

На сегодняшний день продолжается активное исследование ТГЧ-диапазона и соответствующих ему терагерцовых волн (Т-волн). Солнце излучает энергию в виде Т-волн. Однако они поглощаются водными парами атмосферы и их

мощность ничтожно мала. Вследствие этого увеличивается интерес к изучению воздействия ТГЧ-излучения на живые организмы [7].

Магнитные и диэлектрические свойства ТГЧ-сред вызывают огромный интерес для изучения взаимодействий Т-волн с разными средами. В областях эллипсометрии и голографии уже заложены разработки ТГЧ-диапазона [8-9]. На сегодняшний день в плане создания находится база ТГЧ-схемотехники, и уже сделаны первые ТГЧ-транзисторы. Использование терагерцового излучения в радиолокационно-оптических средствах наблюдения может быть использовано для создания другого типа прибора ночного видения наряду с другими реализованными методами, такими как усилитель изображения, инфракрасная и ультрафиолетовая камеры. Поэтому ряд иностранных компаний уже сегодня пытаются расширить стандарты и нормы СВЧ- и оптического диапазонов до терагерцовой части спектра. Следует заметить, что ассортимент выпускаемого контрольно-измерительного оборудования ограничен [10].

В заключение можно сказать следующее: главные преимущества и особенности ТГЧ-диапазона – это отсутствие ионизирующих эффектов, способность проникать сквозь непрозрачные объекты, возможность высоконаправленного излучения и многие другие – привели к быстрому развитию терагерцовой технологии в каждом уголке нашей планеты.

Данные преимущества привлекают нас для практического применения Т-волн. Создание высокоскоростных линий связи, высокоточных РЛС, систем визуализации сверхвысокого разрешения, устройств удаленной идентификации и др. – все это находит практическое применение для терагерцового диапазона.

Приведенный выше обзор свидетельствует о больших успехах, которые были достигнуты (и будут продолжать достигаться) в развитии ТГЧ-технологий. Устройства и компоненты ТГЧ-диапазона совершенствуются, следовательно, требуется развитие метрологической базы, включая разработку

нормативно-технической документации, стандартов и методов измерения параметров терагерцовой ЭКБ. В то же время изготовление и производство компонентов ТГЧ-структур остаются сложными, поэтому их стоимость остается чрезвычайно высокой.

Библиографический список

1. Мириманов Р. Г. Миллиметровые и субмиллиметровые волны. – М.: изд. ин. литературы, 1959.
2. Валитов Р. А., Дюбко С. Ф., Камышан В. В. [и др]. Техника субмиллиметровых волн. — М.: Сов. Радио, 1969.
3. Матвеев И. В., Мишин Д. В., Осипов О. В., Панин Д. Н. Исследование отражения плоских оптических волн от неоднородной невязимно-киральной среды // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020). Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы. В 4-х томах. / под ред. С. В. Карпеева. 2020. С. 211-217.
4. Матвеев И. В., Осипов О. В., Панин Д. Н. Математическая модель неоднородного невязимного кирального метаматериала // Взаимодействие сверхчастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. Сборник статей седьмой Всероссийской научной школы-семинара. Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. – Саратов, 2020. С. 53-57.
5. G. L. Carr, Michael C. Martin, Wayne R. McKinney, K. Jordan, George R. Neil, G. P. Williams // High-power terahertz radiation from relativistic electrons. Nature, 420, 153–156, 2002.
6. Y. L. Mathis, B. Gasharova and D. Moss // Terahertz Radiation at ANKA, the New Synchrotron Light Source in Karlsruhe / Journal of Biological Physics 29: 313—318, 2003.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

7. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Усанов А. Д., Рытик А. П. Биофизические аспекты воздействия электромагнитных полей. — Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 2007.
8. T. Hofmann, U. Schade, C. M. Herzinger, P. Esquinazi, and M. Schubert., Review Of Scientific Instruments // Terahertz magneto-optic generalized ellipsometry using synchrotron and blackbody radiation. 77, 063902, 2006.
9. Ranxi Zhang, Ye Cui, Wenfeng Sun, and Yan Zhang., // Applied Optics, Polarization information for terahertz imaging. Vol. 47, No. 34, 2008.
10. Kartikeyan M.V. // Gyrotrons: High Power Microwave and Millimeter Wave Technology / M.V. Kartikeyan, E. Borie, M. K. A. - N.Y.: Springer-Verlag, 2004. – 227.
11. Синхротрон [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Синхротрон> (дата обращения: 15.11.20).
12. Факторы возникновения световой волны. Фотометрические величины и единицы их измерения [Электронный ресурс] // Display PPT file. URL: <https://en.ppt-online.org/113320> (дата обращения 15.11.20).
13. Основы спектроскопии [Электронный ресурс] // Display PPT file. URL: <https://en.ppt-online.org/134291> (дата обращения 15.11.20).

Оригинальность 87%