ВикипедиЯ

Терагерцевое излучение

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

Тераге́рцевое (или **терагерцо́вое**, также **ТГц**) **излучение** — вид электромагнитного излучения, спектр частот которого расположен между инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами. Границы между этими видами излучения в разных источниках определяются по-разному. Максимальный допустимый диапазон ТГц частот $3 \cdot 10^{11}$—$3 \cdot 10^{12}$ Гц, диапазон длин волн 1—0,1 мм соответственно. Такие волны ещё называются субмиллиметровыми.

ТГц излучение — не ионизирующее, легко проходит сквозь большинство диэлектриков, но сильно поглощается проводящими материалами и некоторыми диэлектриками. Например, дерево, пластик, керамика для него прозрачны, а металл и вода — нет.

Наука и техника ТГц (субмм) волн начала активно развиваться с 60—70-х годов XX века, когда стали доступны первые источники и приёмники такого излучения[1][2]. С начала XXI столетия это бурно развивающееся направление[3][4], имеющее большие перспективы в различных отраслях.

Содержание

Источники излучения
Приёмники излучения
ТГц спектроскопия
Применение в хозяйственной деятельности
Перспективные исследования
Слухи, домыслы и паранаучные спекуляции
Примечания
Литература

Источники излучения

Одними из первых были разработаны электровакуумные импульсные источники излучения мВт-мощности, такие как ЛОВ, оротрон. Затем более мощные источники (до десятков кВт) — ЛСЭ, гиротрон. В статье[5] описывается гиротрон, выдающий 1,5 кВт мощности на частоте 1 ТГц в импульсе длительностью 50 мкс. КПД при этом составляет 2,2 %. Новосибирский терагерцовый ЛСЭ — самый мощный в мире источник терагерцового излучения со средней мощностью 500 Вт[6][7].

В качестве ТГц источников с недавнего времени используются линейные ускорители и синхротроны[*уточнить*][8][9]. В работе[10] представлен импульсный источник ТГц излучения большой мощности (средней — 20 Вт, а в пике — ~1 МВт).

Излучение вышеперечисленных источников является тормозным, оно исходит от электронов, ускоренно движущихся в электрическом или магнитном поле специальной конфигурации в вакуумной камере.

Источником ТГц излучения малой мощности является квантовый оптический генератор (лазер). До конца XX века лазеры для дальней ИК области были громоздкими и малоэффективными, поэтому потребовалась разработка новой схемы генерации. Впервые так называемый квантово-каскадный принцип генерации ТГц лазера был реализован в 1994 г. Но проблемой было то, что активная среда, в которой возникало ТГц излучение, его же и поглощала. Спустя 8 лет эта проблема была решена введением в активную область многослойного кристалла лазера множества волноводов, выводящих ТГц излучение наружу. Таким образом, в 2002 г. был создан первый ТГц квантово-каскадный лазер, работающий на частоте 4,4 ТГц и выдающий мощность 2 мВт[11].

Также для генерации маломощного ТГц излучения применяются источники, использующие электрооптический эффект в полупроводниковом кристалле. Для этого требуются импульсы фемтосекундного (например, титан-сапфирового) лазера и полупроводниковый кристалл с заданными свойствами (часто используют теллурид цинка (ZnTe)). Рассматривается возможность создания ТГц источников на основе эффекта Дембера.

Используют диоды Ганна для создания и регистрации ТГц излучения.

Существует множество работ, посвящённых принципам генерации ТГц излучения. В работе[12], например, теоретически исследуется эмиссия ТГц излучения от Джозефсоновских переходов между сверхпроводниками при подаче тока вследствие нестационарного эффекта Джозефсона.

Приёмники излучения

Первыми приёмниками могут считаться болометр и оптико-акустический приёмник (ячейка Голея), прототип которого был создан в 30-х гг. Хэисом, а затем усовершенствован М. Голеем в 40-х гг. XX века[13].

Изначально эти устройства создавались для регистрации ИК (теплового) излучения. Было установлено, что выделение слабого сигнала в ТГц области невозможно без подавления тепловых шумов. Поэтому в качестве ТГц приёмников позже стали использовать болометры, охлаждаемые до температур в несколько кельвин.

Для детектирования ТГц излучения также применяют радиометры, чувствительный элемент которых изготовлен на основе пироэлектрика (сегнетоэлектрика). Эффективно работают пластинки из танталата лития ($LiTaO_3$). Технические характеристики современных пироприёмников и болометров можно посмотреть, например, здесь (http://www.spectrumdetector.com/)

Существует экспериментальный образец приёмной камеры, принцип действия которой основан на измерении туннельного тока от чувствительных мембран элементов приёмной матрицы[14].

Описанные выше приёмники являются неселективными (тепловыми), то есть позволяют регистрировать интегральную мощность сигнала в диапазоне, вырезаемом оптической системой перед приёмником без детализации спектра ТГц излучения. Эквивалентная мощность шума (NEP), лучших тепловых приёмников лежит в диапазоне 10^{-18}—10^{-19} Вт/Гц$^{1/2}$[15].

К селективным ТГц приемникам относятся камеры, в которых используется фотосмешение, эффект Поккельса, колебания электрического поля (в диодах Ганна). Фотосмешение осуществляют на поверхности металлических антенн[16][17], в полупроводниковых кристаллах[18], тонких сверхпроводящих плёнках. В результате получают сигнал на разностной частоте, который анализируют обычными методами. Эффект Поккельса реализуется в полупроводниковых кристаллах, например, в кристалле арсенида галлия (GaAs).

Существует достаточно большое число приёмников ТГц излучения, и по сей день идет поиск альтернативных принципов детектирования.

ТГц спектроскопия

ТГц диапазон до недавнего времени был труднодоступен, но с развитием ТГц техники ситуация изменилась. Сейчас существуют ТГц спектрометры (Фурье-спектрометры и монохроматоры), работающие во всем ТГц диапазоне.

В их конструкции используются некоторые из описанных выше источников, приёмников и ТГц оптические элементы, такие как ТГц дифракционные решетки, линзы из особой пластмассы, фокусирующие рупоры, узкополосные резонансные mesh-фильтры[19]. Возможно использование призм и других диспергирующих элементов. Техника, используемая для ТГц спектроскопии, содержит черты техник для соседних СВЧ- и ИК-диапазонов, но по-своему уникальна.

ТГц излучение является компонентой теплового излучения различных макроскопических объектов (как правило, на длинноволновом хвосте спектрального распределения). В ТГц диапазоне расположены частоты межуровневых переходов некоторых неорганических веществ (линии воды[20], кислорода, CO, например), длинноволновых колебаний решёток ионных и молекулярных кристаллов, изгибных колебаний длинных молекул, в том числе полимеров и биополимеров; характеристические частоты примесей в диэлектриках, в том числе в лазерных кристаллах; в полупроводниках это частоты, соответствующие энергии связей примесных комплексов, экситонов, зеемановским и штарковским переходам возбуждённых состояний примесей[21]. Частоты мягких мод в сегнетоэлектриках и частоты, соответствующие энергии щелей в сверхпроводниках, также находятся в ТГц диапазоне[22].

Представляет интерес изучение магнитотормозного (циклотронного и синхротронного излучения), магнитодрейфового и черенковского излучения в этом диапазоне, которые при определённых условиях дают существенный вклад в общий спектр ТГц излучения.

Применение в хозяйственной деятельности

ТГц излучение уже находит применение в некоторых видах хозяйственной деятельности и повседневной жизни людей.

В системах безопасности используется ТГц (мм) излучение для сканирования багажа и людей. В отличие от рентгеновского, ТГц излучение не наносит вреда организму. С его помощью можно разглядеть спрятанные под одеждой человека металлические, керамические, пластиковые и другие предметы на расстояниях до десятков метров, например, с помощью системы Tadar[23]. Длина волны сканирующего излучения — 3 мм.

В статье[24] описывается метод получения изображения микроскопических объектов с использованием ТГц излучения, благодаря чему авторами были получены рекордные значения чувствительности и разрешающей способности.

В медицинскую практику начинают внедряться ТГц томографы[25], с помощью которых можно исследовать верхние слои тела — кожу, сосуды, мышцы — до глубины в несколько см. Это нужно, например, для получения изображения опухолей.

Совершенствование ТГц приёмных камер позволит получать снимки поверхностей, скрытых под слоями штукатурки или краски, что, в свою очередь, сделает возможным «бесконтактное» восстановление первоначального облика произведений живописи[26].

В производстве ТГц излучение может найти применение для контроля качества выпускаемой продукции, мониторинга оборудования. Например, можно проводить осмотр продукции в пластиковой, бумажной таре, прозрачной в ТГц спектре, но непрозрачной в видимом.

Рассматривается возможность разработки высокоскоростных ТГц систем связи[27] и ТГц локации для больших высот и космоса.

Перспективные исследования

Большую важность имеют исследования в области ТГц спектроскопии различных веществ, что позволит найти для них новые применения.

На поверхность Земли практически всё ТГц излучение попадает от Солнца. Однако, из-за сильного поглощения водными парами атмосферы его мощность ничтожно мала. Поэтому особый интерес представляет исследование воздействия ТГц излучения на живой организм[28].

Представляет интерес изучение спектра ТГц излучения от астрофизических объектов, что позволит получить о них больше информации. В чилийских Андах на высоте 5100 м работает первый в мире телескоп, принимающий излучение от Солнца и других космических светил в диапазоне 0,2—1,5 мм.

Ведутся разработки в области ТГц эллипсометрии[29][30], голографии, исследования взаимодействия ТГц излучения с металлами и др. веществами. Изучается распространение и взаимодействие ТГц плазмонов в волноводах разных конфигураций. Разрабатывается база ТГц схемотехники; уже изготовлены первые ТГц транзисторы. Эти исследования необходимы, например, для повышения рабочей частоты процессоров до ТГц.[*уточнить*]

Исследование ТГц магнитотормозного излучения позволит получить информацию о структуре вещества, находящегося в сильном магнитном поле (4—400 Тл).

Также ведутся активные разработки по заказу военных и спецслужб по терагерцевым РЛС и радиолокационно-оптическим системам визуализации, работающим в терагерцевом диапазоне, в том числе персональным, представляющим собой радиолокационно-оптический прибор на основе терагерцевой РЛС, на экране которого картинка отображается в терагерцевом диапазоне. Применение терагерцевого излучения в радиолокационно-оптических средствах визуализации может быть использовано для создания очередного вида ПНВ наряду с другими реализуемыми способами, такими как ЭОП, инфракрасная камера, ультрафиолетовая камера.

Слухи, домыслы и паранаучные спекуляции

Существует слабообоснованная точка зрения[*кто?*], что человеческая кожа способна ощущать терагерцовое излучение в виде особого, специфического «тепла», осязательно отличающегося от обычного, привычного нам ближнего ИК-тепла, и что это объясняет феномен т. н. «лекарей-экстрасенсов», якобы ощущающих воспаление через кожу и даже одежду. Даже если для единиц из них это действительно так, отделить их от мошенников и поставить статистически достоверный эксперимент не представляется возможным. Более того, чувствительность современного оборудования не позволяет достоверно установить даже сам факт того, что локальное повышение температуры в очаге воспаления может быть измерено по картине ТГц-излучения в принципе.

Примечания

↑ Показывать компактно

1. *Р. Г. Мириманов.* Миллиметровые и субмиллиметровые волны. — М.: изд. ин. литературы, 1959.
2. *Р. А. Валитов, С. Ф. Дюбко, В. В. Камышан и др.* Техника субмиллиметровых волн. — М.: Сов. Радио, 1969.
3. *Yun-Shik Lee.* Principles of Terahertz Science and Technology. — Springer, 2009.
4. *Kiyomi Sakai (Ed.).* Terahertz Optoelectronics. — Springer, 2005.

5. M.Yu. Glyavin, A. G. Luchinin, and G.Yu. Golubiatnikov, PRL 100, 015101 (2008) «Generation of 1.5-kW, 1-THz Coherent Radiation from a Gyrotron with a Pulsed Magnetic Field».
6. Лазеры на свободных электронах: новый этап развития (http://www-sbras.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=573&id=15). «Наука в Сибири», N 50 (2785) 23 декабря 2010.
7. Несвободное плавание свободных электронов (http://www.sibai.ru/content/view/926/1064).
8. G. L. Carr*, Michael C. Martin†, Wayne R. McKinney†, K. Jordan‡,George R. Neil‡ & G. P. Williams‡, NATURE, VOL 420, 14 NOVEMBER 2002 «High-power terahertz radiation from relativistic electrons»
9. Y.-L. MATHIS, B. GASHAROVA and D. MOSS, Journal of Biological Physics 29: 313—318, 2003, «Terahertz Radiation at ANKA, the New Synchrotron Light Source in Karlsruhe».
10. G.L. CARR, M.C. MARTIN, W.R. MCKINNEY, K. JORDAN, G.R. NEIL and G.P. WILLIAMS, Journal of Biological Physics 29: 319—325, 2003. «Very High Power THz Radiation Sources»
11. *R. Köhler et al.* Terahertz semiconductor-heterostructure laser (http://www.nature.com/nature/journal/v417/n6885/full/417156a.html) (англ.) // Nature. — 2002. — Vol. 417. — P. 156—159. — DOI:10.1038/417156a (https://dx.doi.org/10.1038%2F417156a).
12. Masashi Tachiki,1 Shouta Fukuya,2 and Tomio Koyama, PRL 102, 127002 (2009) «Mechanism of Terahertz ElectromagneticWave Emission from Intrinsic Josephson Junctions»
13. Harold A. Zahl and Marcel J.E. Golay, Re. Sci. Inst. 17, 11, November 1946, «Pneumatic Heat Detector»
14. T. W. Kenny and J. K. Reynolds, J. A. Podosek, et al., RevSciInstrum_67_112, «Micromachined infrared sensors using tunneling displacement transducers»
15. Demonstration of high optical sensitivity in far-infrared hot-electron bolometer. Appl. Phys. Lett. 98, 193503 (2011); doi:10.1063/1.3589367 (3 pages) (http://apl.aip.org/resource/1/applab/v98/i19/p193503_s1)
16. E. N. Grossman, «Lithographic Antennas for Submillimeter and Infrared Frequencies»
17. Masahiko Tani et al.,International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 27, No. 4, April 2006, NOVEL TERAHERTZ PHOTOCONDUCTIVE ANTENNAS
18. K. A. McIntosh, E. R. Brown, ApplPhysLett_73_3824, «Terahertz photomixing with diode lasers in low-temperature-grown GaAs»
19. W. Porterfield, J. L. Hesler, et al., APPLIED OPTICS, Vol. 33, No. 25 , 1994, Resonant metal-mesh bandpass filters for the far infrared
20. Cecilie Rønne, Per-Olof Åstrand, and Søren R. Keiding, PRL,VOL 82, NUMBer 14, 1999, THz Spectroscopy of Liquid H2O and D2O
21. Grischkowsky, S0ren Keiding, et al., J. Opt. Soc. Am. B/Vol. 7, No. 10, 1990, Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors
22. Субмиллиметровая спектроскопия (http://www.femto.com.ua/articles/part_2/3943.html). Дата обращения 22 июля 2010. Архивировано (https://www.webcitation.org/67L07bZG2) 1 мая 2012 года.
23. Tadar (http://www.esa.int/esaCP/SEML1W5Y3EE_index_0.html). Дата обращения 22 июля 2010. Архивировано (https://www.webcitation.org/67L08f9Sl) 1 мая 2012 года.
24. A. J. Huber,†,‡ F. Keilmann, et. Al, NANO LETTERS 2008 Vol. 8, No. 11, Terahertz Near-Field Nanoscopy of Mobile Carriers in Single Semiconductor Nanodevices
25. S.Wang and X-C Zhang, J. Phys. D: Appl. Phys. 37 (2004), Pulsed terahertz tomography
26. Hidden Art Could be Revealed by New Terahertz Device (http://newswise.com/articles/view/537448/) Newswise, Retrieved on 21 September 2008
27. R. Piesiewicz, M. Jacob, M. Koch, J. Schoebel and T. Kürner, Performance analysis of future multi-gigabit wireless communication systems at THz frequencies with highly directive antennas in realistic indoor environments, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 14, No. 2, March/April 2008
28. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Усанов А. Д., Рытик А. П. — Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 2007., БИОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
29. T. Hofmann, U. Schade, et al., REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 77, 063902 2006, Terahertz magneto-optic generalized ellipsometry using synchrotron and blackbody radiation
30. Ranxi Zhang et al., APPLIED OPTICS, Vol. 47, No. 34, 2008, Polarization information for terahertz imaging

Литература

- *Братман В. Л., Литвак А. Г., Суворов Е. В.* Освоение терагерцевого диапазона: источники и приложения (http://ufn.ru/ru/articles/2011/8/f/) // УФН. — 2011.
- A.A. Angeluts, A.V. Balakin, M.G.Evdokimov,M.N. Esaulkov,M.M.Nazarov, I.A.Ozheredov, D.A. Sapozhnikov, P.M.Solyankin, O.P.Cherkasova, A.P.Shkurinov, «Characteristic responses of biological and nanoscale systems in the terahertz frequency range», Quantum Electronics, v. 44, N7, pp. 614—632, 2014, DOI:10.1070/QE2014v044n07ABEH015565.
- Генерация и усиление сигналов терагерцового диапазона: колл.монография / под ред. А.Е. Храмова, А.Г. Баланова, В.Д. Еремки, В.Е. Запевалова, А.А. Короновского. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. 460

c.ISBN 978-5-7433-3013-3

Источник — https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Терагерцевое_излучение&oldid=100276813

Эта страница в последний раз была отредактирована 7 июня 2019 в 16:02.

Текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike; в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.
Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации Wikimedia Foundation, Inc.