

Г 2009
331

Российская академия наук
Институт прикладной физики

**ВСЕРОССИЙСКИЙ СЕМИНАР
ПО РАДИОФИЗИКЕ
МИЛЛИМЕТРОВЫХ
И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ
ВОЛН**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Нижний Новгород
2009

доступны для многих лабораторий. Недавно традиционные гиротроны на основной и второй циклотронной гармониках преодолели важный частотный рубеж 1 ТГц. В конце 2008 г. мощное излучение на частоте 1 ТГц было впервые получено при циклотронном резонансе на третьей гармонике в разновидности гиротрона с приосевым электронным пучком. Для такого прибора требуется намного меньшее магнитное поле (менее 14 Тл), которое в настоящее время может быть получено в криомагнитах, свободных от жидкого гелия.

ТЕРАГЕРЦОВАЯ РАДИОСКОПИЯ И СПЕКТРОСКОПИЯ НА НОВОСИБИРСКОМ ЛСЭ

Б.А. Князев

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Вплоть до недавнего времени мощность источников терагерцового излучения лежала в интервале от нановатт до милливатт, а чувствительных многоэлементных детекторов не существовало. Изображения получали путем длительного (порой десятки минут) сканирования объекта сфокусированным терагерцовым лучом. Возможности для получения изображений в терагерцовом диапазоне существенно расширились с запуском импульсно-периодического новосибирского лазера на свободных электронах (далее — ЛСЭ), на котором в диапазоне 1,35–2,5 ТГц достигнута максимальная средняя мощность генерации 500 Вт при частоте следования импульсов 11,2 МГц. В настоящее время идет запуск второго электронного канала и лазерного резонатора, который будет генерировать еще более мощное излучение в диапазоне 2,5–10 ТГц.

Для решения задач, связанных с получением терагерцовых изображений в реальном времени, были разработаны детекторы, использующие тепловой эффект излучения. Простейшим способом явилось измерение распределения температуры экранов с помощью термографа. Широкоапертурные измерения были обеспечены с помощью термочувствительного люминесцентного экрана с ПЗС-камерой в качестве регистратора. Для измерения абсолютной величины плотности мощности терагерцового излучения был создан термочувствительный интерферометр видимого диапазона на основе стеклянной пластинки. Нагрев плоскопараллельной стеклянной пластинки приводит к изменению длины оптического пути для пробного излучения видимого диапазона, пропорциональному локальной плотности энергии,

поглощенной в пластинке. Существенным обстоятельством является то, что изменение длины оптического пути не зависит от толщины нагретого слоя. Последняя, однако, должна быть достаточно мала, чтобы исключить поперечную термодиффузию и обеспечить хорошее пространственное разрешение.

Для записи изображений в реальном времени был использован также разработанный в Институте физики полупроводников СО РАН высокочувствительный неохлаждаемый матричный микроболометрический приемник (ММБП). С использованием ЛСЭ и ММБП была достигнута рекордная для терагерцового диапазона скорость записи изображений, равная 90 кадрам в секунду. Вследствие большой длины волны излучения даже объекты с шероховатостью 20–40 мкм являются достаточно гладкими, и при освещении объектов лазерным излучением с малой расходимостью в изображении появлялись только те элементы поверхности объекта, зеркальное отражение от которых попадало в телесный угол оптической системы. При освещении объектов диффузно рассеянным излучением были впервые получены стоящие из спеклов изображения в терагерцовом диапазоне. Исследование статистических характеристик спекл-структур показало, что они подчиняются законам, найденным Гудменом и проверенным в видимом диапазоне. Получение изображений со спеклами позволяет расширить методы спекл-метрологии на терагерцовый диапазон. Выполнен демонстрационный эксперимент по косвенному дистанционному измерению параметров затухающих колебаний шероховатого образца методом терагерцовой спекл-фотографии.

Термочувствительный люминесцентный экран и ММБП были использованы для реализации схемы Теплера для исследований деформации объектов, прозрачных для терагерцового излучения. Были проведены эксперименты по получению голограмм и томограмм в терагерцовом диапазоне.

Способность ЛСЭ генерировать монохроматическое излучение, непрерывно перестраиваемое во всем диапазоне генерации, была использована для создания терагерцового абсорбционного спектрометра, который обеспечивает удобную работу с образцами, поглощение которых не слишком велико. Для исследования сильно поглощающих веществ и объектов был разработан однолучевой спектрометр нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). С использованием этого спектрометра были проведены исследования целого ряда биологических субстанций, в том числе костных тканей здоровых и пораженных остеопорозом лабораторных крыс. Было экспериментально показано, что для получения надежных результатов измерения в НПВО-спектрометре нужно проводить при двух углах падения, а не при двух поляризациях. Разработан и изготовлен изображающий НПВО-спектрометр.

Результаты экспериментов показали, что разработанные измерительные системы и регистраторы терагерцового излучения открывают широкие пер-

спективы для использования мощных источников терагерцового излучения в научных исследованиях и при решении прикладных задач. В качестве примера можно привести создание систем промышленного и таможенного контроля, систем безопасности, контроля качества в промышленности и производстве химических и биологических препаратов. Мощные терагерцовые системы могут быть использованы для моделирования действия радаров. Перспективными направлениями являются также медицинская диагностика поверхностей (ожоги, опухоли, зондирующая интроскопия), а возможно, и терагерцовая лазерная хирургия и терапия.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН

Г.Х. Китаева

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Освоение терагерцового диапазона частот электромагнитного излучения (0,3–10 ТГц) является важной задачей, актуальной для развития средств связи, зондирования, дистанционной диагностики содержания химических веществ, неразрушающей томографии медицинских и биологических объектов, систем охраны окружающей среды и безопасности. В настоящее время усилия многих лабораторий мира затрачиваются на поиски методов построения компактных, экономичных систем для направленного излучения и высокочувствительного детектирования волн терагерцового диапазона. В основе широкого класса таких систем лежит принцип перекачки энергии оптического лазерного излучения в терагерцовый диапазон (при генерации) и терагерцового излучения в оптический диапазон (при детектировании). Перекачка может осуществляться как в условиях сильного резонансного поглощения волн в веществе (фотопроводящие антенны, полупроводниковые и молекулярные эмиттеры и т.д.), так и в условиях относительной прозрачности используемого вещества, если оно обладает высокой нерезонансной нелинейной восприимчивостью. В последнем случае применение нелинейно-оптических кристаллов позволяет не только организовать эффективный энергообмен между волнами разных диапазонов, но и обеспечить генерацию когерентного терагерцового излучения. Генерация осуществляется за счет параметрических процессов вычитания частот (оптического выпрямления коротких лазерных импульсов, параметрической

генерации или смешения). Детектирование возможно как в процессе вычитания, так и в процессе сложения частот оптической накачки и измеряемого терагерцового излучения. Однако необходимым условием эффективного энергообмена является фазовое согласование оптических и терагерцовых волн в нелинейной среде.

В ряду различных методов фазового согласования оптических и терагерцовых волн в нелинейно-оптических кристаллах, применяющихся в современных схемах (неколлинеарный синхронизм, согласование в пределах когерентной длины, геометрия черенковского излучения, импульсная накачка с наклонным фронтом), отдельное место занимает квазисинхронизм. В основе этого метода лежит принцип согласования фаз за счет оптимально подобранной пространственной модуляции нелинейно-оптической восприимчивости среды. Периодическая модуляция квадратичной восприимчивости в периодически поляризованных кристаллах позволяет генерировать узкополосное терагерцовое излучение заданной частоты. Аперриодическая модуляция нелинейной восприимчивости в кристаллах со стохастической или заранее заданной аперриодической доменной структурой позволяет конструировать детекторы с распределенной функцией спектрального отклика и источники с заранее заданной формой спектра генерации. Отдельный интерес представляют вопросы согласования мультиспектральных спектров генерации и детектирования, детектирования изображений в терагерцовых волнах. Использование периодически и аперриодически поляризованных нелинейных кристаллов открывает возможность решения этих проблем путем конструирования доменных сверхрешеток с заранее заданной геометрией.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

М.Н. Есаулков, М.М. Назаров, Д.А. Сапожников, А.П. Шкуринов

Физический факультет и Международный лазерный центр МГУ
им. М.В. Ломоносова, Москва

Импульсная терагерцовая спектроскопия ($2\text{--}130\text{ см}^{-1}$) становится в последние годы популярным методом исследования свойств широкого класса веществ. В основном это связано с тем, что многие материалы имеют в этом диапазоне частот хорошо различимые спектральные особенности, напрямую связанные со свойствами кристалличности вещества. Эти спектральные особенности определяются в основном свойствами межмолеку-