

Российская академия наук
Институт прикладной физики

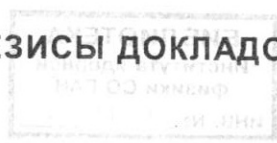
B.85

Нижегородский государственный
технический университет им. Р. Е. Алексеева

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

1–4 марта 2011 года, Нижний Новгород

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Нижний Новгород
2011

V+

НОВОСИБИРСКИЙ ЛАЗЕР НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ: ЗАПУСК ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КВАЗИОПТИКЕ

*Б.А. Князев^{1,2}, Н.А. Винокуров^{1,2}, В.М. Ведерников³, М.Г. Власенко^{1,2},
П.Д. Воблый¹, А.А. Гальт¹, В.В. Герасимов^{1,2}, Я.В. Гетманов^{1,2},
Е.Н. Дементьев¹, И.А. Довженко¹, М.А. Демьяненко⁴, Д.Г. Есаев⁴,
Н.С. Заиграева¹, Е.И. Колобанов¹, В.В. Кубарев¹, Г.Н. Кулипанов¹,
Л.Э. Медведев¹, С.В. Мизинский¹, Л.А. Мироненко¹, А.К. Никитин⁵,
В.К. Овчар¹, И.Г. Пальчикова³, Б.З. Персов¹, В.В. Пикалов⁶, В.М. Попик¹,
Т.В. Саликова¹, С.С. Середняков¹, А.Н. Скринский¹,
М.Ф. Ступак³, В.Г. Ческидов¹, В.С. Черкасский², Ю.В. Чопорова^{1,2,7},
О.А. Шевченко¹, М.А. Щеглов¹*

¹ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск

³ Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН,
Новосибирск

⁴ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск

⁵ Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва

⁶ Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск

⁷ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

В 2009 году на Новосибирском лазере на свободных электронах (НЛСЭ) в дополнение к существующему однооборотному ускорителю-рекуператору и старому ЛСЭ были смонтированы две горизонтальные дорожки и второй ЛСЭ. После их запуска НЛСЭ стал единственным в мире ЛСЭ на многооборотном ускорителе-рекуператоре. В 2010 году пользователям рабочих станций стало доступно излучение из обоих ЛСЭ, перекрывающих спектральный диапазон от 50 до 240 мкм при средней мощности излучения, достигающей 0,5 кВт. В настоящее время идет монтаж еще двух дорожек и третьего ондулятора, после запуска которых спектральный диапазон генерации будет расширен в область коротких длин волн до 5 мкм. На пяти действующих рабочих станциях исследовательскими группами ряда институтов РАН ведутся исследования, охватывающие широкую область – от физики и химии до биологии и медицины. В прошедшем году на НЛСЭ работала первая иностранная группа из Республики Кореи.

Во второй части доклада описан круг экспериментов, выполненных на рабочей станции СпИн, которые условно можно отнести к квазиоптике. Описаны разработанные для экспериментов на НЛСЭ френелевские зеркала и линзы с большой численной апертурой и показаны их преимущества при построении изображений в терагерцовом диапазоне. Дано сравнительное описание четырех методов визуализации терагерцовых изображений в реальном времени с частотой до 50 кадров в секунду, приведены результаты экспериментов по записи голограмм и томографических проекций, обсуждены способы восстановления габоровских голограмм и голограмм с опор-

ным пучком, описан модельный эксперимент по реализации с помощью НЛСЭ схемы «оптической когерентной томографии». Приведены результаты экспериментов по спекл-метрологии в терагерцовом диапазоне и методы регистрации перемещающихся объектов, освещаемых терагерцовым лазерным излучением. Описаны результаты исследования эффекта Тальбота и обсуждены возможности его применения в терагерцовой метрологии. Приведены результаты исследований по захвату и распространению поверхностных плазмонов, в том числе с визуализацией поля плазмонов с помощью матричного микроболометрического приемника.

ИМПУЛЬСНАЯ ТЕРАГЕРЦОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛ, КРИСТАЛЛОВ И НЕПОЛНОРАЗМЕРНЫХ СРЕД

А.П. Шкуринов

Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Импульсная терагерцовая (ТГц) спектроскопия – новый интенсивно развивающийся метод спектроскопии дальнего инфракрасного диапазона, который находит широкое применение, прежде всего, в молекулярной спектроскопии и при исследовании свойств новых материалов. Развитие этого метода во многом связано с широким внедрением в лабораторную практику техники генерации фемтосекундных лазерных импульсов, применение которых позволяет получать когерентное импульсное терагерцовое излучение, состоящее из нескольких колебаний поля длительностью несколько пикосекунд. Хорошо развитые методы регистрации с использованием фемтосекундных импульсов видимого или ближнего ИК-диапазона спектра позволяют из временной формы ТГц-импульса после применения фурье-преобразования восстанавливать комплексный спектр широкополосного отклика в ТГц-диапазоне частот.

Большинство объектов исследования нового метода – импульсной терагерцовой спектроскопии относится к диэлектрическим материалам. Сравнение комплексных спектров исходного излучения и излучения, прошедшего среду, позволяет получать спектры пропускания или отражения веществ, из которых можно восстановить диэлектрическую проницаемость среды в исследуемом диапазоне частот. Однако даже для однородной пластины существует достаточное количество артефактов, например наличие переотражений ТГц-импульсного излучения от границ среды, приводящих к неоднозначности решения задачи о восстановлении диэлектрических параметров среды по спектрам пропускания и отражения. Обычно эту проблему решают

одним из двух способов. Либо используют достаточно короткие импульсы и толстые образцы, для которых переотражения импульса первых порядков четко разделены во времени, либо проводят измерения с пластинками разной толщины. Однако часто возникают ситуации, когда ни один из этих методов не применим, например при решении задач дистанционного зондирования, исследования сильно неоднородных сред или сред с нерегулярной структурой.

В предлагаемой работе будет рассмотрено современное состояние исследований в области применения импульсного ТГц-излучения для решения различных задач диагностики. Будут рассмотрены применения метода для исследования сложных молекулярных систем, различных кристаллов и пористых сред.

ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНЫХ КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ СО СВИПИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ГАЗОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.Л. Вакс

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород

Исследовались возможности использования импульсных каскадных лазеров со свипированием частоты и смещения частот диодных лазеров на быстром переключателе для нестационарной газовой спектроскопии в качестве источников излучения ТГц-частотного диапазона. Для свипирования частоты излучения квантово-каскадного лазера (ККЛ) используется следующий эффект: нагрев ККЛ приводит к изменению ширины запрещённых зон слоёв структуры ККЛ, что, в свою очередь, изменяет энергетические уровни в системе и показатель преломления возбуждаемых мод структуры. При этом изменяются частоты мод, генерируемых в лазере. При приложении импульса тока частоты генерируемых мод в лазере перестраиваются в пределах импульса, что позволяет менять частоту ККЛ в диапазоне, превышающем ширину спектральной линии исследуемого газа, и получать сигнал за счёт прямого измерения поглощения. Это позволяет использовать ККЛ для спектроскопии газов.

Были исследованы температурные особенности перестройки частоты генерации ККЛ, в результате которых определены основные температурные коэффициенты, обеспечивающие плавную перестройку частоты ККЛ в течение импульса накачки. Проведены измерения частотного спектра ККЛ,

работающего в импульсном режиме. Ожидаемая частота генерации ККЛ – 2614,2 ГГц.

Разработан блок питания для управления импульсным ККЛ, включающий генератор импульсов, блок питания и драйвер для контроля тока лазера, частоты и длительности импульсов.

Полученные результаты показывают возможность использования расматриваемых ККЛ в качестве источника зондирующего излучения в ТГц-нестационарном газовом спектрометре.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: проект 10-08-01124-а, а также программы ОФН РАН «Современные проблемы радиофизики».

ТЕРАГЕРЦОВАЯ ЛОВ-СПЕКТРОСКОПИЯ ВЕЩЕСТВ

А.А. Волков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

Развитие нелинейно-оптических методов генерации терагерцового излучения, на 2–3 порядка более низкочастотного по сравнению с оптическим, расширило сферу квантовой радиофизики до границ классической – до диапазона субмиллиметровых и миллиметровых длин волн. Широко обсуждаются возможности использования излучения, рожденного квантовым методом, для постановки и решения новых научных задач. В число последних входит разработка методов измерения на терагерцовых частотах диэлектрических спектров веществ (дисперсии и поглощения). Этот подход носит название спектроскопии временного разрешения (time domain spectroscopy). Он обещает широкополосность, удобство и быстроту измерений, отказ от использования соотношений Крамерса – Кронига, вносящих в измерения принципиально неустранимую неопределенность. Главное, метод предполагает его использование в широких масштабах, возможность проведения массовых рутинных измерений

В настоящем докладе проводится аналогия современного методического наступления на терагерцовый участок спектра со стороны оптики с тем, которое состоялось несколько десятилетий тому назад со стороны радиодиапазона. Прошлое наступление основывалось на использовании в качестве генераторов субмиллиметрового (одновременно субтерагерцового) излучения ламп обратной волны. Результаты наступления были успешными. В 1980 году, в год десятилетнего юбилея, они были отмечены Государственной премией СССР.

За сорок лет методом субмиллиметровой ЛОВ-спектроскопии выполнено множество исследований по различным направлениям. В докладе дается обзор проделанной работы в области спектроскопии веществ в конденсированном состоянии. Оценивается степень реализации ожиданий, приводятся примеры наиболее успешных исследований, обсуждаются нерешенные проблемы, рассматриваются в сравнительных возможностях двух частично перекрывающихся методов – ЛОВ- и TD-спектроскопии.

ТЕРАГЕРЦОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ПОЛУПРОВОДНИКОВ, МЕТАМАТЕРИАЛОВ И СВЕРХБЫСТРОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГАЗОВ

*В.В. Кубарев, А.Э. Климов, В.С. Пащин, А.В. Чаплик, В.Я. Принци,
А.В. Наумова, А.В. Окопуб, Е.Н. Чесноков*

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

В докладе представлены результаты отдельных исследований в области твердого тела, полупроводников, метаматериалов и сверхбыстрой спектроскопии газов, выполненные на Новосибирском терагерцовом лазере на свободных электронах. В частности, рассматриваются природа Друммондова света белых окислов металлов и терагерцовые оптические параметры различных CVD-алмазов, терагерцовые детекторные свойства перспективных для производства двумерных матричных детекторов пленок PbSnTe:In, эксперименты с плазмонами в полупроводниках, терагерцовая оптическая активность киральных периодических структур на основе металлополупроводниковых микрооболочек и антенно-поляризационные свойства массива ориентированных углеродных нанотрубок. Описывается применение сверхбыстрых детекторов Шоттки, обладающих временем отклика менее 15 пс, как для исследования спектрально-временных параметров ЛСЭ, так и для сверхбыстрой спектроскопии газов.

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ КВАЗИОПТИЧЕСКИЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

С.А. Кузнецов^{1,2}, А.В. Аржанников^{1,2}, А.Г. Паулиш³,
А.В. Гельфанд³, В.В. Кубарев², М. Соройа

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск

²Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

³Новосибирский филиал института физики полупроводников СО РАН «КТИМП», Новосибирск

⁴Лаборатория миллиметровых и терагерцовых волн, Национальный университет Наварры, г. Памплона, Испания

В последнее десятилетие происходит интенсивное освоение диапазона субмиллиметровых (терагерцовых) волн электромагнитного спектра, открывающего новые возможности для фундаментальных и прикладных исследований в физике, химии, биологии, медицине, а также для систем связи, безопасности и др. [1, 2]. Данный диапазон удобно позиционирован между ИК и СВЧ, позволяя сочетать в субмиллиметровой аппаратуре инструментальные решения как оптической, так и микроволновой техники. Так, во многих случаях амплитудно-частотная, поляризационная и фазовая селекция пучков субмм-излучения наилучшим образом обеспечивается при использовании квазиоптических селективных элементов на основе планарных металлизированных микроструктур субволновой топологии, известных в микроволновой литературе как «частотно-избирательные поверхности» (ЧИП) [3].

В настоящем докладе представлен обзор результатов новосибирских разработок селективных элементов на основе ЧИП-структур традиционных и новых типов, предназначенных как для автономного применения, так и для интеграции с различными метрологическими системами, работающими в диапазоне частот от сотни гигагерц до нескольких терагерц [4, 5]. Селективные элементы включают полосовые частотные фильтры, поляризационные и фазовые преобразователи, метаструктуры, искусственные импедансные поверхности, ультратонкие резонансные поглотители, планарные фокусаторы.

В докладе последовательно изложены следующие аспекты:

а) рассмотрение электродинамических особенностей различных ЧИП-структур и их моделирование в пакетах Ansoft HFSS™ и CST Microwave Studio™;

б) литографическое изготовление микроструктурных элементов с топологическими размерами 3–500 мкм при диаметре лучевой апертуры до 80 мм;

в) широкополосная характеристика изготовленных элементов с помощью квазиоптических АВ Millimetre™, ЛОВ-, и фурье-спектрометров, последовательно перекрывающих диапазоны частот 40–260 ГГц, 0,1–1,5 ТГц и 1,5–21 ТГц соответственно;

г) применение разработанных элементов в различных задачах с использованием субмиллиметрового излучения, таких как: фильтрация гармоник Новосибирского ЛСЭ, многоканальная радиометрия турбулентной плазмы на установке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН), реализация левосторонних метаматериалов, создание болометрических матричных приемников нового поколения для получения изображений в субТГц-диапазоне и др.

1. Yun-Shik L. Principles of Terahertz Science and Technology. Springer, 2009.
2. Woolard D. L. et al. // Terahertz Sensing Technology, Selected Topics in Electronics and Systems. 2003. V. 30. P. 32.
3. Munk B. Frequency Selective Surfaces: Theory and Design. NY: Wiley, 2000.
4. Kuznetsov S. A. et al. // Key Eng. Materials. 2010. V. 437. P. 276–280.
5. Кузнецов С.А. и др. // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2010. Т. 5, вып. 4. С. 79–90.

ГЕНЕРАЦИЯ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛАЗМЕ С СИЛЬНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТЬЮ ПРИ ИНЖЕКЦИИ СИЛЬНОТОЧНОГО РЭП

А.В. Аржанников^{1,2}, А.В. Бурдаков^{1,3}, П.В. Калинин^{1,2}, С.А. Кузнецов^{1,2},
М.А. Макаров¹, К.И. Меклер¹, С.В. Полосаткин^{1,2}, В.В. Поступаев^{1,2},
А.Ф. Ровенских¹, С.Л. Сеницкий^{1,2}, В.Ф. Скляр^{1,3}, В.Д. Степанов^{1,2},
Ю.С. Суляев¹, М.К.А. Тумм^{2,4}, Л.Н. Вячеславов^{1,2}

¹Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск

³Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

⁴Технологический институт, г. Карлсруэ, Германия

В качестве одного из подходов в генерации электромагнитного излучения в субтерагерцовой области возможно использование механизма слияния двух ленгмюровских колебаний в сильно турбулентной плазме с генерацией электромагнитной волны на удвоенной плазменной частоте [1]. В экспериментах по нагреву плазмы сильноточными РЭП было показано, что плотность энергии ленгмюровских колебаний, накачиваемых таким пучком, столь велика, что потери энергии релятивистскими электронами при торможении на этих колебаниях имеют величину около 50 % на длине пути масштаба нескольких метров. Это означает, что в определенных экспериментальных условиях можно ожидать генерации электромагнитных колебаний в турбулентной плазме с уровнем мощности, сопоставимой с мощностью электронного пучка.

Для нынешних экспериментов на установке ГОЛ-3 при плотности плазмы $(3-4) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ожидаемая область частот выходящего из плазмы электромагнитного излучения лежит в районе 300–400 ГГц. Именно для

этой области частот была создана 4-канальная радиометрическая спектральная диагностика в интервале 250–450 ГГц, которая основана на использовании полосовых интерференционных фильтров. Одновременно с этим диапазоном частот предусмотрена регистрация электромагнитного излучения на частоте, соответствующей ленгмиоровской частоте, генерация которого может осуществляться за счет сильных градиентов плотности плазмы. Регистрация указанного электромагнитного излучения сопровождается измерениями локальной плотности плазмы и температуры плазменных электронов методами лазерного рассеяния и лазерной интерферометрии, а также уровня энергетических потерь электронов пучка с помощью анализатора их энергетического распределения.

Приводятся результаты регистрации излучения в указанных диапазонах частот с анализом поведения сигналов принимаемого излучения во времени [2]. Эксперименты, проведенные при двух значениях диаметра инжектируемого в плазму пучка (40 и 10 мм), продемонстрировали, что при указанном уменьшении поперечного размера области плазмы, возбуждаемой сильно-точным РЭП (ток пучка до 20 кА при энергии электронов 0,8 МэВ), сильно нарастают осцилляции выходящего из плазмы субмиллиметрового излучения. Это дает основание для количественной оценки числа локальных излучающих областей в сечении плазмы, занимаемой электронным пучком. Исходя из калибровки относительной и абсолютной чувствительности каналов регистрации излучения получена оценка плотности мощности выходящего из плазмы излучения.

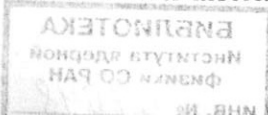
1. Кручина Е.Н., Сагдеев Р.З., Шатино В.Д. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 32, № 6. С. 419–423.
2. Аржанников А.В. и др. // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2010. Т. 5, вып. 4. С. 44–49.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ МОЩНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ В ОТКРЫТЫХ СВЕРХРАЗМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Н.С. Гинзбург

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В последнее время достигнут значительный прогресс в освоении приборами мощной электроники терагерцового диапазона длин волн. С «высокочастотной» стороны этот прогресс обеспечен продвижением в указанный диапазон лазеров на свободных электронах [1], с другой – «низкочастотной» – гиротронов, работающих как и на основной, так и на высоких гармониках гирочастоты [2, 3]. При этом использовались известные и



апробированные ранее экспериментально схемы организации электронно-волнового взаимодействия, обратной связи и селекции мод.

С целью дальнейшего повышения средней мощности и энергии когерентного терагерцового излучения в докладе рассмотрен ряд альтернативных схем. В качестве новой схемы планарных ЛСЭ исследованы генераторы [4] с модифицированными брегговскими зеркалами, основанными на связи бегущих и критических мод. Такие зеркала позволяют обеспечить селективное отражение для рабочей моды при зазоре между пластинами порядка 10–20 длин волн, достаточном для формирования канала транспортировки интенсивного ленточного электронного пучка. В отличие от уже реализованных ЛСЭ терагерцового диапазона на базе линейных высокочастотных ускорителей и микротронов, пучки которых представляют собой последовательность коротких (пикосекундных) импульсов, предлагаемая схема может быть использована при создании генераторов на базе интенсивных квазипрерывных (микросекундных) электронных пучков, формируемых линейными индукционными или электростатическими ускорителями. В этом случае зеркала резонатора ЛСЭ должны быть совмещены с каналом транспортировки пучка. Соответственно достоинством новой схемы является возможность достижения высокой (мультимегаваттной) средней мощности излучения терагерцового диапазона и высокой энергии импульса 1–10 Дж. Обсуждается совместный проект с ОИЯИ (Дубна) по реализации описанной схемы ЛСЭ. Приведены результаты тестирования модифицированных брегговских структур в 4-мм диапазоне, а также модельного эксперимента с МСЭ на базе ускорителя ЛИУ-3000, в котором в 8-мм диапазоне продемонстрирована работоспособность новой схемы [5].

Для повышения интегральной мощности излучения коротковолновых гиротронов предложена схема с поперечным (по отношению к направлению поступательного движения электронов) выводом энергии [6]. Преимуществом планарной геометрии по сравнению с традиционной цилиндрической является возможность обеспечения когерентности излучения при большем факторе сверхразмерности за счет дифракционного механизма селекции мод по открытой поперечной координате.

Для анализа описанных выше схем развиты нестационарные двух- и трехмерные квазиоптические модели электронно-волнового взаимодействия. Указанные модели приложимы к другим разновидностям коротковолновых генераторов, в частности к релятивистским генераторам поперечной волны.

1. Dem'yanenko M.A., Esaev D.G., Knyazev B.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 92. P. 131116.
2. Glyavin M.Yu., Luchinin A.G., Golubiatnikov G.Yu. // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100(1). P. 015101.
3. Bratman V.L., Kalynov Yu.K., Manuilov V.N. // Phys. Rev. Lett. 2009. 102(24). P. 245101.
4. Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Зотова И.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т. 91. С. 286.
5. Гинзбург Н.С., Голубев И.И., Голубых С.М. и др. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36, вып. 20. С. 50.
6. Гинзбург Н.С., Зотова И.В., Заславский В.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37, вып. 2. С. 62.

ных молекул и атомов среды. При переходе в возбужденные состояния под воздействием оптического импульса нелинейность среды способна возрастать на несколько порядков. Далее, в актах многофотонной или туннельной ионизации в среде появляются свободные носители заряда. При покидании атома и дальнейшем ускорении в асимметричном оптическом поле фотоэлектроны приобретают ненулевое значение импульса. Это эквивалентно возникновению в области перетяжки микроскопического импульса фототока, который порождает импульс ТГц-излучения в дальней зоне. Кроме того, при рассмотрении плазмы оптического пробоя как единого целого возникает еще один механизм генерации низкочастотного излучения. Оптический импульс, проходя сквозь ограниченную по длине ионизированную область, возбуждает в ней продольные кильватерные волны, которые при взаимодействии с границей плазмы способны излучать волны на плазменной частоте и на частоте, определяемой длительностью оптического импульса.

При распространении оптических импульсов в газе может формироваться филамент, параметры которого определяют пространственное распределение терагерцового и оптических импульсов. Их взаимная динамика также влияет на эффективность преобразования в ТГц-волну, ее поляризационные и спектральные свойства.

В зависимости от экспериментальных условий каждый из перечисленных вкладов проявляет себя в большей или меньшей степени, определяя тем самым свойства излучаемых ТГц-импульсов.

1. Thomson M.D., Kress M. et al. // Laser & Photon. Rev. 2007. V. 1, № 4. P. 349–368.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ, ГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕРАГЕРЦОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НОВОСИБИРСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

В.В. Герасимов^{1,2}, Б.А. Князев^{1,2}, А.К. Никитин³

¹ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск

³ Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва

Приведены результаты экспериментов по генерации поверхностных плазмонов (ПП) с использованием терагерцового (ТГц) излучения Новосибирского лазера на свободных электронах. Особенностью выполненных экспериментов является метод регистрации ПП. Так как в ТГц-диапазоне эффективность преобразования объемной волны в ПП мала (меньше 1%), то

для регистрации плазмонов необходимо использовать высокочувствительные приемники. Для регистрации сигнала вдоль трека ПП мы применили ячейку Голея, а для визуализации поля ПП – полупроводниковый матричный микроболометрический приёмник (ММБП), разработанный в институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН. ММБП имеет в ТГц-области большой динамический диапазон ($\sim 10^4$) и способен записывать видеофильм с частотой до 25 кадров в секунду. Было апробировано несколько способов возбуждения ПП, которые можно разделить на две группы: метод нарушенного полного внутреннего отражения (схема Кречманна) и метод дифракции на неоднородности. Во втором случае в качестве неоднородности использовались дифракционная решетка, край экрана, полуцилиндрическое зеркало или проводящая призма, образующая вместе с поверхностью образца волновод – «элемент Гришковского». Образцами служили слои золота на алюминиевой или стеклянной подложке с покровными слоями ZnS микронной толщины. Наилучший результат был достигнут с элементом Гришковского, обеспечившим наибольшую эффективность ($\sim 1\%$) генерации ПП. Ячейкой Голея было измерено экспоненциальное затухание ПП вдоль трека, а с помощью ММБП, размещённого у дальнего торца образца, визуализировано распределение поля ПП над поверхностью. Измерения позволили оценить длину распространения ПП, составившую величину порядка 10 см, а также глубину проникновения поля ПП в воздух, оказавшуюся равной нескольким миллиметрам, в зависимости от толщины слоя ZnS. Полученные результаты позволили впервые экспериментально оценить диэлектрическую проницаемость реальной поверхности напылённого золота на длине волны 130 мкм.

О ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ПРОБОЕ ГАЗОВ

Р.А. Ахмеджанов, И.Е. Иляков, В.А. Миронов, Е.В. Суворов,
Д.А. Фадеев, Б.В. Шлишкин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Интерес к проблеме генерации терагерцового излучения (ТИ) обусловлен большим количеством потенциальных приложений данного диапазона длин волн, таких как идентификация скрытых объектов для целей безопасности, неионизирующая томография биологических тканей, химический анализ веществ, дистанционное зондирование атмосферы и др. Лазерная искра, образующаяся в газе (например, в воздухе) в результате оптического пробоя сфокусированным фемтосекундным импульсом, может служить

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

Н.Г. Колганов, С.П. Марьев, А.В. Палицин, Ю.В. Родин, С.Е. Фильченков

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Представлен метод, основанный на обработке протестированных сигналов, прошедших через полосно-пропускающий перестраиваемый фильтр (фильтры). В качестве операции восстановления выбрана итерационная процедура, подобная используемым в работах [1, 2]. Основным преимуществом метода является отсутствие необходимости применения высокочастотной регистрирующей аппаратуры, достаточно обеспечить лишь измерение огибающих высокочастотных сигналов. Метод был проверен путем численного моделирования на тестовых сигналах, а также экспериментально, на примере измерения выходного излучения релятивистской лампы обратной волны (ЛОВ) 3-сантиметрового диапазона длин волн с гигаваттным уровнем мощности.

Аппаратная реализация метода обладает небольшими габаритами и весом, а также имеет точность определения спектральных характеристик не хуже чем у гетеродинного метода. Метод можно применять и в более коротковолновых диапазонах длин волн, что определяется в основном характеристиками используемых фильтров.

1. Каценеленбаум Б.З., Семенов В.В. Синтез фазовых корректоров, формирующих заданное поле // РИЭ. 1967. № 12. С. 244–251.
2. Kusikov S.V. Optimization and synthesis of passive pulse compressors based on reflectionless cavities // Int. J. IRMMW. 1998. V. 19, № 5. P. 771–784.

ЗАПИСЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГАБОРОВСКИХ ГОЛОГРАММ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Ю.Ю. Чопорова^{1,2,3}, М.Г. Власенко^{1,2}, В.В. Герасимов^{1,2}, Б.А. Князев^{1,2}, В.С. Черкасский²

¹ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Новосибирск

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск

³ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

С появлением мощных монохроматических источников излучения (квантовые каскадные лазеры, лазеры на свободных электронах и другие) и матричных регистраторов терагерцовых изображений появилась возмож-

ность реализовать классические схемы голографии в этом диапазоне. В настоящей работе исследована возможность записи и восстановления голограмм в терагерцовом диапазоне в схеме с осевой симметрией. В качестве регистратора голограмм использовался термочувствительный люминесцентный экран. Используя излучение новосибирского лазера на свободных электронах, записаны и восстановлены голограммы различных амплитудных объектов. Определены разрешающая способность голограмм, записанных при длине волны 130 мкм, и оптимальные условия восстановления голограмм. Показано, что суммирование восстановленных голограмм приводит к улучшению изображения за счет низкочастотной фильтрации.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРИМЕСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ МОДЫ НА 870 ГГц В НАТУРАЛЬНОМ (^{nat}Si) И ИЗОТОПНО-ОБОГАЩЁННОМ (²⁸Si) КРЕМНИИ

Б.П. Горшунов¹, А.С. Прохоров¹, П.С. Королёв^{1,2}, В.П. Калинушкин¹, В.В. Паршин³, П.Г. Сенников^{3,4}, Е.А. Серов³, И.Е. Снектор¹, Н. Абросимов⁵, Н. Riemann⁵, М. Dressel⁶, Н.-J. Pohl⁷

¹ Институт общей физики РАН, Москва

² Физический факультет МГУ, Москва

³ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

⁴ Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород

⁵ Leibniz Institut für Kristallzüchtung, Berlin

⁶ Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Stuttgart

⁷ VITCON Projectconsult GmbH, Jena

Известно, что монокристаллы кремния, выращенные методом Чохральского, содержат значительное (до $\sim 10^{18}$ см⁻³) количество атомов кислорода. Располагаясь в междоузлиях кристаллической решётки, кислород связывается с двумя атомами кремния и образует квазимолекулу Si₂O. Локальные колебания молекулы имеют довольно богатый спектр собственных частот, простирающийся от 29 см⁻¹ до почти 2000 см⁻¹. Как результат, кислородосодержащий кремний представляет собой модельную систему для изучения примесных колебательных мод в кристаллах. И хотя колебательные состояния молекулы Si₂O исследуются довольно давно, меньше всего внимания уделялось наиболее низкочастотной моде, расположенной на ~ 29 см⁻¹ (~ 870 ГГц). Это связано с тем, что столь низкие частоты являются труднодоступными для стандартных инфракрасных спектрометров, особенно в отношении количественных измерений. Поскольку рабочие частоты современной кремниевой микро- и оптоэлектроники оказываются близкими к