

Отзыв

**официального оппонента на диссертацию Оладышкина Ивана Владимировича
«Механизмы оптико-терагерцовой конверсии на поверхности металлов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»**

Актуальность темы исследования

Изучению нелинейно-оптических явлений при взаимодействии импульсов лазерного излучения с проводящими средами посвящено не мало работ. Благодаря значительным успехам на пути получения ультракоротких импульсов лазерного излучения высокой интенсивности заметный прогресс достигнут в экспериментальных исследованиях нелинейных эффектов в металлах. В частности, при взаимодействии фемтосекундных импульсов с металлами обнаружен целый ряд новых нелинейных эффектов в условиях конверсии лазерного излучения в низкочастотное излучение терагерцового диапазона частот. Получены интересные экспериментальные данные о спектральном составе генерируемого низкочастотного излучения, об интенсивности и поляризации генерируемого излучения, о зависимости эффективности генерации от интенсивности лазерного излучения и геометрии образцов. В разных коллективах в России и за рубежом ведутся и теоретические исследования, направленные на построение моделей адекватно описывающих экспериментальные данные. Вместе с тем, современное состояние теоретических и экспериментальных исследований явно нуждается в дальнейшей более глубокой проработке. Последнее востребовано не только логикой развития исследований в нелинейной оптике металлов, но и представляет интерес в связи с освоением важного для приложений терагерцового диапазона частот. Это позволяет утверждать, что тема диссертационной работы весьма актуальна и находится в русле современных исследований нелинейно-оптических явлений в металлах и полуметаллах.

Содержание диссертации и новые научные результаты

В первой главе диссертации исследуются теоретические модели нелинейного воздействия фемтосекундного импульса р-поляризованного лазерного излучения на типичные металлы и, частично, на полуметалл. Прежде всего, используя наглядные представления о динамике электронов в высокочастотном и низкочастотном полях, рассмотрен низкочастотный нелинейный отклик металла. Найдена зависимость генерируемого сигнала от угла падения и показано, что его длительность сравнима с длительностью воздействующего лазерного

импульса. Далее, в рамках часто используемого гидродинамического описания динамики электронов в металлах, рассмотрены низкочастотные нелинейные токи и дан анализ генерации низкочастотного сигнала этими токами. Изучены частотные и энергетические характеристики генерируемого терагерцового сигнала. Наглядно продемонстрировано, что в условиях воздействия р-поляризованного излучения наиболее эффективная генерация терагерцового сигнала реализуется тогда, когда воздействующее излучение распространяется под малыми углами к поверхности металла. Представлено доказательство того, что в полуметаллах эффективность генерации низкочастотного излучения возрастает, как из-за относительного уменьшения плотности электронов проводимости, так и из-за уменьшения их эффективной массы.

Замечания к первой главе

Два замечания к этой главе. При сравнении выражений (1.23) и (1.109) видно, что длина лазерного импульса в формуле (1.23) должна зависеть от угла падения. Если это так, то возможно небольшое изменение зависимости генерируемого сигнала от угла, которое, однако, не приведет к существенному изменению максимального значения амплитуды генерируемого сигнала. Формула (1.29) содержит иное обозначение для угла падения, которое отличается от используемого в других местах текста.

Весьма интересно смотрится содержание второй главы, в которой рассмотрены особенности генерации терагерцового излучения в модели учитывающей быстрый нагрев электронов в поле воздействующего лазерного импульса. Из-за эффективного нагрева электронов в скин-слое металла возникает градиент давления, который приводит к относительно большому низкочастотному нелинейному току, а, следовательно, и к эффективной генерации терагерцового излучения. При этом генерация сохраняется и после выключения воздействия лазерного импульса, что качественно отличает этот механизм генерации от механизмов, рассмотренных в первой главе в рамках гидродинамического описания динамики электронов. Показано, как вынос тепла из скин-слоя влияет на эффективность генерации низкочастотного сигнала. Соответствующий анализ выполнен и в том случае, когда учитывается изменение эффективной частоты столкновений электронов из-за их нагрева при поглощении лазерного излучения. Продемонстрирована возможность появления не линейной зависимости амплитуды генерируемого сигнала от интенсивности лазерного излучения, что наблюдается в экспериментах при не малой интенсивности лазерного излучения. Наконец, представлено

качественное обсуждение возможности изучения эффективных частот столкновений электронов по измерениям импульса терагерцового излучения.

Замечание ко второй главе

Некоторый вопрос вызывает утверждение о том, что тепловой механизм позволяет понять ослабление генерируемого сигнала в тонкой пленке (см. последний абзац на стр. 65 и далее начало стр.66). Конечно, тонкая пленка быстро прогревается и температура становится однородной по толщине пленки. Однако, вдоль поверхности градиент температуры остается и, в соответствии с одним из основных соотношений этой главы (см., например, формулу (2.21)) генерация сохраняется.

Несомненным украшением диссертации является третья глава, в которой представлена аналитическая модель возбуждения поверхностных плазмонов на мелко гофрированной поверхности металла. Установлена явная связь амплитуды поверхностного плазмона с напряженностью поля в лазерном импульсе. Рассмотрено затухание плазменных волн и их дифракционные потери. Возбуждение плазмонов приводит к дополнительной возможности поглощения лазерного излучения и к более эффективному нагреву электронов, что может быть причиной экспериментально наблюдаемого усиления генерации на структурированной поверхности металла. Кроме того, в третьей главе показано, что градиент температуры может приводить к генерации терагерцового излучения в наночастицах сложной формы.

Общее замечание

Одно общее замечание. Несколько раз приводится формула для коэффициента отражения p -поляризованного излучения (см. формулы (1.6), (1.98), (2.17)). В этом нужды нет.

Достоверность и новизна научных результатов

В целом диссертация производит очень хорошее впечатление и богата новыми научными результатами. Стиль диссертации отвечает современному подходу к исследованиям, распространенному в самых передовых научных центрах мира, когда экспериментальные и теоретические результаты взаимно дополняют друг друга. Предлагаемые теоретические модели излагаются с максимальной простотой обеспечивающей адекватное понимание основных закономерностей явлений, обнаруженных экспериментально. В диссертации представлен ряд важных научных результатов, которые уже получили признание специалистов. Их достоверность следует из умелого использования надежных положений теоретической физики и подтверждена в ряде весьма качественных экспериментов.

Научная и практическая ценность

Итоги теоретического исследования механизмов генерации терагерцового излучения на поверхности металлов и полуметаллов позволяют составить достаточно полное представление о перспективах использования фемтосекундных импульсов для освоения терагерцового диапазона частот и важны для развития нелинейной оптики металлов.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Все результаты диссертации опубликованы в центральных физических журналах.

Диссертация и автореферат Оладышкина И.В. соответствуют всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Оладышкин И.В. безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник ФИАН
(119991, Москва, Ленинский просп. 53)
Урюпин Сергей Александрович
Тел. 499-132-63-03
E-mail: uryupin@sci.lebedev.ru

С.А. Урюпин

подпись С.А. Урюпина заверяю
Ученый секретарь ФИАН
кандидат физико-математических наук



А.В. Колобов