



"УТВЕРЖДАЮ"

ВРИО директора

ФГБУН "Институт проблем

химической физики РАН"

д.ф.-м.н., профессор И.В. Ломоносов

7 ноября 2019 г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

ГАВАШЕЛИ ЮЛИИ ОЛЕГОВНЫ

«Теплофизические свойства хлорида натрия в поле интенсивного лазерного излучения», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность. Диссертационная работа Гавашели Ю.О. посвящена экспериментальному исследованию физических процессов взаимодействия высокоинтенсивного лазерного излучения ультракороткой длительности с прозрачными диэлектриками. При поглощении такого излучения конденсированной преградой вещество переходит в экстремальные состояния с высокой удельной плотностью энергии. Изучение этих состояний является одним из основных предметов современной физики и весьма актуально.

Научная новизна работы обусловлена выбором в качестве объекта исследования прозрачного диэлектрика (хлорида натрия), а в качестве средства воздействия на него лазерного излучения с длиной волны 800 нм длительностью 40 фс. Ранее применительно к хлориду натрия исследования проводились для длительности вдвое большей (80 фс). Также новизна работы заключается в попытке построения фазовой диаграммы NaCl в широком диапазоне изменения его плотности и с учетом структурного перехода В1 – В2 и дальнейшей металлизации. В результате исследований впервые построены зависимости пробойных напряженностей поля излучения от длительности воздействующего импульса в области ее изменения от единиц наносекунд до десятков фемтосекунд. Кроме того, впервые с использованием рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии обнаружено изменение молекулярного состава облучаемой поверхности хлорида натрия.

Практическая значимость. Оптическая прочность прозрачных диэлектриков является их важнейшей характеристикой при практических применениях. Полученные в широком диапазоне изменения длительности импульса результаты по порогу оптического повреждения представителя щелочно-голоидного кристалла (NaCl) могут быть использованы при проектировании оптико-электронной техники. В частности, на современном этапе кристаллы хлорида натрия считаются перспективным материалом для оптики мощных лазеров.

Диссертация построена по классической схеме: введение, обзор работ (первая глава) по объекту исследований (параметры ионных соединений и их фазовые диаграммы) и изучаемым физическим процессам (характеристики и закономерности разрушения хлорида натрия лазерными пучками), оригинальная часть из трех глав, заключение и список литературы, включающий 219 наименований. По теме диссертации автором опубликовано 29 статей, в числе которых 15 публикаций в рецензируемых журналах, входящих в перечень

рекомендованных ВАК. Количество тезисов докладов (25) подтверждает апробацию работы посредством ее обсуждения на международных и всероссийских конференциях. Результаты работы достаточно детально представлены и для обсуждения мировой научной общественностью (12 статей проиндексированы в Web of Science, 12 статей – в Scopus).

Содержание обзорной первой главы свидетельствует о высокой квалификации диссертанта. В обзоре на основе современной научной литературы правильно расставлены акценты важности известных результатов и верно описана физика представляющих интерес для задач диссертации процессов взаимодействия импульсного лазерного излучения с прозрачными диэлектриками (в частности, с хлоридом натрия).

Во второй главе описываются установка для проведения экспериментов и методы исследования. Диссертантом освоены и применены в своей исследовательской работе современные методы: атомно-силовая микроскопия и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Применение этих методов вносит существенный вклад в достоверность получаемых результатов. Владение диссертантом современными экспериментальными методами в сочетании с опытом работы с лазерным излучением высокой интенсивности позволяют сделать вывод, что соискатель является сложившимся научным работником.

Третья глава, по-нашему мнению, является основной. В ней экспериментально определены пороги начала оптического повреждения, в том числе, и для режима термомеханической абляции, характерной в случае воздействия высокоинтенсивного лазерного излучения. По дискретному изменению наклона зависимости этого порога от длительности лазерного импульса найдены границы реализации различных механизмов разрушения приповерхностных слоев облучаемых образцов хлорида натрия. Эти результаты применительно к хлориду натрия получены впервые и являются основным достижением работы.

Интересным и физически важным оказывается проведенное автором сравнение порогов лучевого и электрического пробоев. Обнаруженное неполное согласие данных при этом сравнении требует дальнейших исследований и теоретического объяснения, так как механизмы пробоев в сравниваемом интервале длительностей близки.

Также представляют определенный интерес данные о размерах области лучевого разрушения. Эти данные могут быть использованы при разработке физико-математических моделей термомеханической абляции и их валидации.

В заключительной части главы приведены результаты экспериментального исследования молекулярного состава приповерхностных слоев каверны, образующейся в хлориде натрия при облучении. Эти результаты получены методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Обнаружено, что воздействие интенсивного лазерного излучения меняет молекулярный состав. В частности, получено, что атомы натрия входят не только в состав молекулы NaCl, но и в диоксид натрия, образующегося при окислении натрия кислородом из окружающего воздуха. Появление свободного натрия свидетельствует о том, что фазовые переходы (плавление и испарение), инициированные облучением, могут быть неконгруэнтными (переходами с расслоением на фазы с различающимся химическим составом).

Четвертая глава посвящена попытке построения фазовой диаграммы хлорида натрия и проведения на ней фазовой траектории вещества при термомеханической абляции. При построении фазовой диаграммы ставится задача это сделать в максимально широкой области изменения плотности, учитывая возможность структурного перехода B1 – B2 и металлизации. При этом обосновать и построить детальную фазовую диаграмму не удастся в связи с отсутствием набора данных о термодинамических состояниях фазы высокого давления B2 и металлического NaCl. В связи с этим можно говорить только о попытке построить рассматриваемую диаграмму. Фазовая траектория вещества при облучении также

не может быть построена без проведения соответствующих газодинамических расчетов с учетом наличия метастабильных состояний.

Заключение в количестве пяти положений удовлетворяют критериям ясности и краткости изложения полученных результатов. В конце заключения сформулирована задача дальнейшей работы: провести аналогичные диссертационные исследования для импульсов длительности 20 фс.

В диссертационной работе можно отметить следующие недостатки.

- Третья и четвертая главы диссертации слабо связаны, поскольку при построении фазовой диаграммы не используются результаты экспериментальных исследований, проведенных в работе. Это, в частности, обусловлено тем, что в экспериментах третьей главы по облучению кристаллов хлорида натрия не измеряется ни одного термодинамического параметра среды, переводимой в экстремальное состояние.

- В диссертации не обсуждается и даже нигде не упоминается про возможную неравновесность физических процессов, сопровождающих облучение преграды импульсами лазера фемтосекундной длительности. В то же время этот вопрос является принципиальным, когда предполагается использование лазерного излучения для определения термодинамических свойств вещества в экстремальных состояниях.

- Термодинамическое состояние при поглощении лазерного излучения во многом определяется удельной поглощенной энергией, которая, в свою очередь, зависит от характерной толщины области поглощения, однако в диссертации даже нет упоминания об этих параметрах воздействия. В то же время выбранный параметр воздействия – напряженность электрического поля – является адекватным только для механизма разрушения лавиной электронов за счет ударной ионизации, который не реализуется при изучаемых в работе режимах воздействия (основной механизм при длительности 40 фс – термомеханическая абляция).

- Фазовая диаграмма NaCl строится не достаточно строго в соответствии с современными требованиями к широкодиапазонным уравнениям состояния. Так, построение бинодали и спинодали для фазовых переходов хлорида натрия жидкость – пар проводится на основе простейших уравнений Ван-дер-Ваальса и Бертелло. При построении границ области перехода от фазы низкого давления к фазе высокого давления (B1 – B2) необоснованно предполагается независимость этих границ от температуры. Области существования металлического состояния NaCl построены схематично и без должного обоснования.

- При построении фазовой диаграммы не обсуждается экспериментально обнаруженная возможность реализации неконгруэнтных фазовых переходов, которая может в принципе существенно повлиять на вид этой диаграммы.

- Построенная предполагаемая фазовая траектория вещества при его переходе к экстремальному состоянию и дальнейшему его возвращению к состоянию в нормальных условиях недостаточно обоснована. По нашему мнению, для ее построения требуется проведение газодинамических расчетов.

Отмеченные недостатки не влияют на общий положительный вывод о диссертации и, скорее, являются рекомендациями для дальнейших исследований.

Соответствие работы научной специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника для физико-математических наук в пункте: 1) Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.

Автореферат. Автореферат полностью отражает структуру, содержание и выводы диссертации.

Общая оценка работы. В целом работа представляет собой **законченное научное исследование**, в котором определены основные закономерности теплофизических явлений при термомеханической абляции хлорида натрия под действием импульса излучения фемтосекундной длительности. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных установок и экспериментальных методов в сочетании с известными законами теплофизики, а также сравнением с данными других исследователей из литературных источников.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности научно-исследовательских учреждений, занимающихся физикой взаимодействия лазерного излучения с веществом, экстремальными состояниями вещества и разработкой мощных лазеров, таких как: ФГБУН "Институт проблем химической физики РАН"; ФГБУН "Объединенный институт высоких температур РАН", ФГУП "НПО Астрофизика", РФЯЦ "Всероссийский НИИ экспериментальной физики" и др.

Заключение. Диссертация представляет собой **завершенную научно-квалификационную работу**, выполненную на актуальную тему.

Диссертационная работа Гавашели Юлии Олеговны «Теплофизические свойства хлорида натрия в поле интенсивного лазерного излучения» полностью удовлетворяет квалификационным требованиям, изложенным в пункте 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Гавашели Юлия Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Содержание диссертации докладывалось автором и обсуждалось на заседании Секции №7 ученого совета Отдела экстремальных состояний вещества. Отзыв обсуждался и утвержден на этой же секции 7 ноября 2019 г. (протокол № 4 от 7.11.19)

г.н.с. отдела Экстремальных состояний вещества
Института проблем химической физики РАН,
доктор технических наук, профессор

«7» «11» 2019 г.

Острик Афанасий Викторович

e-mail: ostrik@icp.ac.ru

служебный телефон: +7 (496-52) 2-52-44

служебный адрес:

142432, г. Черноголовка, просп. Акад. Н.Н. Семенова, д. 1, ИПХФ РАН

Я, Острик Афанасий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Гавашели Ю.О. и их дальнейшей обработкой.

Подпись А.В. Острика заверяю
ученый секретарь ИПХФ РАН
доктор химических наук

«7» «11» 2019 г.



Б.Л. Психа