

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кудряшова Сергея Ивановича
«Взаимодействие фемтосекундных лазерных импульсов в режиме абляции с металлами и полупроводниками, обладающими сильным межзонным поглощением»,

представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Фемтосекундная лазерная абляция (ФЛА) как взаимодействие интенсивных ультракоротких лазерных импульсов с поверхностью конденсированных материалов в абляционном режиме – при плотностях энергии порядка 0.1-10 Дж/см² и плотности мощности порядка 1-100 ТВт/см² – активно исследовалась как важное физическое явление в фундаментальном и практическом отношении - для генерации высокоэнергетических состояний вещества, мощных ударных волн, высокопроизводительной прецизионной нано- и микромасштабной обработки на поверхности и в объеме различных материалов. Существенно, что ФЛА демонстрирует на порядок величины более высокую (при прочих равных условиях) эффективность удаления металлов на единицу падающей энергии в сравнении с более длинными – пико- и наносекундными лазерными импульсами. Однако, до сих пор ясные представления о всех последовательных основных стадиях ФЛА поверхности материалов отсутствуют в силу их разнородности, требующей разнообразного инструментария для экспериментальных исследований. Особый, слабо-исследованный сложный случай представляют материалы с сильным межзонным поглощением, которые, тем не менее, демонстрируют достаточно универсальное для всех материалов взаимодействие с интенсивными ультракороткими лазерными импульсами. Поэтому всесторонние и информативные экспериментальные исследования для этого класса материалов с целью формирования целостной феноменологической картины фемтосекундной лазерной абляции представляют собой **актуальную** научную задачу.

Такие исследования были проведены автором диссертационной работы, в автореферате которой представлены достигнутые **новые** научные результаты. **Во-первых**, для полупроводников (включая полуметаллы) установлено, что при их сильном фотовозбуждении (плотность электрон-дырочной плазмы более 10²¹ см⁻³) запрещенная зона безынерционно, линейно и изотропно сужается, что проявляется уже в течение возбуждающего импульса в форме

«красного» спектрального сдвига для диэлектрической проницаемости материалов. При этом плазменная перенормировка зонной щели нелинейно увеличивает коэффициент оже-рекомбинации, стабилизируя плотность плазмы и ширину щели, но одновременно способствуя нагреванию и эмиссии носителей. Аналогично, для абляционного режима воздействия на металлы (алюминий, титан) сильное нагревание (~ 1 эВ) электронного газа происходит после насыщения межзонных переходов и сопровождается началом сверхбыстрой эмиссии электрон-ионной плазмы через механизм зарядки поверхности. **Во-вторых**, обнаружено, что пороговые плотности энергии одноимпульсной абляции различных металлов (алюминий, медь, железо, серебро) имеют минимум при длительности лазерных импульсов в диапазоне 1-3 пс, что соответствует характерным временам переноса энергии из электронной в ионную подсистему, но оказывается практически на порядок быстрее предсказаний теории. **В-третьих**, квазипериодическая модуляция коэффициента отражения из-за высокодобротных ревербераций акустической волны в поверхностном расплавленном слое кремния, арсенида галлия, графита с существенно отличным акустическим импедансом указывает на распространение в мишени фронта плавления в пикосекундном масштабе времени и позволяет измерить мгновенные и максимальные толщины расплава в зависимости от плотности энергии лазерного излучения в доабляционном и абляционном режимах. **В-четвертых**, показано, что откольная абляция нанометрового поверхностного слоя расплава алюминия, кремния, арсенида галлия и графита происходит после его акустической релаксации в результате субнаносекундного наномасштабного подповерхностного гомогенного вскипания, пенообразования и образования паровой полости в термически-расширенном расплаве с субнаносекундными задержками, определяющимися плотностью энергии лазерного излучения. **В-пятых**, разработанная ультразвуковая методика измерения начальных давлений мегабарного уровня и скоростей сверхзвукового разлета слабоионизованного закритического флюида позволила экспериментально продемонстрировать диссипативный и сверхупругий режимы пробега ударной волны в мишени титана варьруемой (микро-миллиметровой толщины).

Общее научное содержание реферата свидетельствует о том, что диссертационная работа Кудряшова Сергея Ивановича выполнена на высоком научном уровне. В автореферате отражены актуальность, цель работы и решаемые задачи, а также научная новизна полученных результатов. **Достоверность** результатов подтверждается их неоднократным представлением на многих международных конференциях и публикацией в

52 печатных работах в научных журналах, индексируемых в библиографической базе данных Web of Science.

Автореферат написан ясно и детально, дает представление о большом объеме выполненных исследований и их высокой научной и практической значимости.

Как замечание следует отметить следующее:

1. В автореферате диссертации недостаточно уделено внимание тому, для изготовления каких именно устройств могут быть использованы исследуемые методы микроструктурирования.

Указанное замечание не снижает высокую оценку диссертационной работы в целом, которая **полностью удовлетворяет** необходимым требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Кудряшов Сергей Иванович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Заведующий кафедрой наноинженерии
Самарского университета,
доктор физико-математических наук
«9» октября 2019 г.

Павельев Владимир Сергеевич

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)
адрес: ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
телефон: +7 (846) 267-48-43
e-mail: nano@ssau.ru

Подпись В.С. Павельева заверяю



Подпись Павельева В.С. удостоверяю.
Заведующий отделом сопровождения деятельности
Советов Самарского университета
И.П. Васильева
октябрь 2019 г.