

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кудряшова Сергея Ивановича  
«Взаимодействие фемтосекундных лазерных импульсов в режиме аблации 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 аблация является в современной лазерной физике общепризнанным методом генерации экстремальных состояний вещества с высокой электронной или тепловой степенью возбуждения, мощных ударных волн, а также прецизионной и высокоэффективной обработки материалов, как следствие, имеющим высокую фундаментальную и практическую значимость. Фемтосекундная лазерная аблация выступает эволюционным многостадийным физическим явлением, каждая из стадий которого характеризует как предшествующую, так и последующую динамику. Тем не менее, из-за проблем всестороннего, исчерпывающего экспериментального исследования определенных стадий – электронной динамики, переноса энергии в решетку, плавления – предыстория аблационного удаления материалов недостаточно изучена и понята. Поэтому разработка новых, взаимодополняющих методов экспериментального исследования различных стадий фемтосекундной лазерной аблации и формирование, проведение с их помощью широких информативных исследований и формирование в итоге целостной феноменологической картины фемтосекундной лазерной аблации является **актуальной** научной задачей.

В диссертационной работе Кудряшова Сергея Ивановича были получены **новые** результаты:

1. С помощью разработанной методики зарядо-эмиссионных измерений обнаружен новый механизм безынерционной лазерно-плазменной аблации поверхности материалов фемтосекундными лазерными импульсами, связанный с нелинейным развитием интенсивной электронной эмиссии в зависимости от плотности энергии излучения, в результате быстрого роста электронной температуры носителей после насыщения межзонного поглощения в металлах и плотности электрон-дырочной плазмы в полупроводниках.

2. Разработана простая методика оценки времен электрон-фононной термализации и выполнены соответствующие измерения для ряда основных конструкционных материалов фотоники, показывающие малые времена процесса.

3. Разработана акусто-модуляционная оптическая методика исследования плавления материалов под действием фемтосекундных лазерных импульсов, выполнены измерения для кремния, арсенида галлия и графита, и показан гетерогенный характер плавления с определением важных характеристик процесса.

4. Детально исследованы в динамике термические механизмы фемтосекундной лазерной абляции и продемонстрирован кавитационный характер откола, а также с помощью разработанной методики ультразвуковой диагностики установлены начальные давления и скорости разлета закритического флюида, непосредственно характеризующие диссипативный и сверхэластический режимы пробега ударной волны в конденсированной фазе.

5. В итоге проведенных последовательных постадийных экспериментальных исследований с использованием разноплановых взаимодополняющих методов, автором работы предложена целостная феноменологическая картина фемтосекундной лазерной абляции материалов, в том числе – материалов с сильным межзонным поглощением как более широкого и универсального класса материалов.

Приведенные в автореферате данные свидетельствуют о том, что работа Кудряшова Сергея Ивановича выполнена на высоком научном уровне. В автореферате ясно отражены актуальность, цель работы и решаемые задачи, а также научная новизна полученных результатов. **Достоверность** результатов подтверждается докладами автора на многих всероссийских и международных конференциях, а также статьями, опубликованными в 52 научных публикациях в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Автореферат написан достаточно подробно, ясно и последовательно. Из представленного в автореферате материала видно, что автором выполнен огромный объем разноплановых экспериментальных исследований, а полученные множественные результаты – в первую очередь, предложенная целостная феноменологическая картина фемтосекундной лазерной абляции материалов – имеют неоспоримое научное и практическое значение.

Как замечание следует отметить следующее:

На рис. 4 (справа) характер сигнала электронной эмиссии в зависимости от плотности вложенной энергии изменяется от квазилинейного ( $U_e \sim F^{1.16}$ ) до степенного ( $U_e \sim F^{4.1}$ ) при  $F \approx 0.8$  Дж/см<sup>2</sup>, что связывается автором со стремительным ростом вклада процессов Оже-рекомбинации и горячих электронов в случае насыщенной перенормировки зонной щели. В то же время на этом рисунке есть и другая точка несомненного изменения характера зависимости  $U_e(F)$  – при  $F \approx 4$  Дж/см<sup>2</sup>, когда характер этой

зависимости снова становится квазилинейным. Но физические причины этого изменения в автореферате не обсуждаются. Возможно, это сделано в тексте диссертации.

Указанное замечание не снижают высокую оценку диссертационной работы Кудряшова Сергея Ивановича 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 лабораторией новых функциональных материалов фотоники  
ИАПУ ДВО РАН,  
доктор физико-математических наук

Витрик Олег Борисович

«26» сентября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и проблем управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)  
адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, д.5  
телефон: +7(902)5239163  
e-mail: oleg\_vitrik@mail.ru

Подпись Витрика О.Б. заверяю,  
Учёный секретарь ИАПУ ДВО РАН  
Кандидат технических наук



Змеу С.Б.