



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
ИТМО»
(Университет ИТМО)

Кронверкский пр-т, д. 49,
Санкт-Петербург, Россия, 197101
Тел.: (812) 232-97-04 | Факс: (812) 232-23-07
od@itmo.ru | itmo.ru

22.10.2019 № 4-25/1486

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Университета ИТМО
д.т.н., проф. Никифоров В.О.



«22» окт 2019 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Пивоварова Павла Александровича

**«РОЛЬ ЭФФЕКТОВ МНОГОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
В ПРОЦЕССАХ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ И ДОАБЛЯЦИОННОЙ
МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ КОРоткими Импульсами»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Первая часть работы посвящена вопросам многоимпульсной лазерной обработки стали в абляционных режимах для прошивки глубоких отверстий. Несмотря на то, что исследования процессов лазерной абляции были начаты практически с момента создания лазеров, появление и широкое внедрение лазерных систем, позволяющих генерировать короткие (nano- и пикосекундные) импульсы при высокой частоте повторения (~ 100 кГц), ставит новые задачи по оптимизации режимов лазерного воздействия. В этой связи особый интерес вызывают явления, протекающие в промежутке между импульсами излучения как непосредственно в облучаемом материале, так и в

окружающей среде, примыкающей к области лазерного воздействия, которые в значительной мере и определяют конечную эффективность обработки. Исследованию этих процессов (на примере многоимпульсной лазерной абляции стали) и посвящена первая часть диссертации.

Вторая часть диссертации посвящена исследованию процессов многоимпульсной лазерной модификации графеновых пленок в доабляционных режимах с целью управления их физико-химическими свойствами без повреждения исходной структуры. Нет нужды отмечать, что исследование графеновых материалов вызывает повышенный интерес в научном сообществе в последние годы. Исследования возможностей управляемой локальной модификации структуры и свойств графеновых пленок важно для их успешного применения в микроэлектронике, сенсорике, медицине и т.д.

Основываясь на вышеизложенном, можно утверждать, что тематика проводимых диссидентом исследований безусловно является актуальной.

2. Научная новизна работы

В работе впервые показано, что при формировании глубоких абляционных кратеров в стали при многоимпульсной обработке короткими лазерными импульсами значительная доля падающего излучения поглощается в плазме оптического пробоя, инициированного поглощением лазерного излучения на микро и наночастицах, накапливающихся в канале отверстия. Предложен метод повышения эффективности многоимпульсной абляции стали путем увеличения частоты следования лазерных импульсов, а также приложения внешнего электрического поля. Реализован новый метод модификации свойств многослойного графена за счет многоимпульсного воздействия низкоэнергетичными наносекундными лазерными импульсами.

3. Достоверность и обоснованность исследования.

Достоверность результатов проведенного исследования подтверждается корректностью используемых экспериментальных методик, а также широкой апробацией результатов работы на престижных международных конференциях и большим количеством публикаций в рецензируемых журналах.

4. Практическая значимость работы

Результаты первой части диссертационного исследования могут быть использованы для оптимизации технологических режимов прошивки глубоких отверстий в стали (и, вероятно, других металлов), с высоким аспектным отношением. Предложенный метод модификации графеновых структур представляет интерес как инструмент контролируемого управления их физико-химическими свойствами.

5. Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 154 наименований.

В *введении* автор дает обоснование актуальности работы, формулирует цели и задачи исследования.

В *первой главе* приведен обзор литературы по проблеме лазерной абляции материалов короткими импульсами, акцентируется внимание на особенностях прошивки глубоких отверстий. Также приводятся сведения по методам получения графена, свойствам графена на подложках SiO_2/Si , по особенностям взаимодействия лазерного излучения с графеном.

Вторая глава посвящена исследованию процессов многоимпульсной лазерной абляции стали. Описаны основные экспериментальные методики, использованные автором, приведены результаты экспериментальных исследований и количественных оценок основных параметров процесса лазерной абляции.

В третьей главе исследуются процессы лазерной модификации графеновых слоев на подложке SiO_2/Si . Описаны основные экспериментальные методики и результаты экспериментов.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

6. Основные результаты работы

Основные результаты работы отражены в положениях, выносимых на защиту, и заключаются в следующем:

1. При многоимпульсной абляции стали существенная часть падающей энергии поглощается в плазме оптического пробоя воздуха, инициированного поглощением на микро- и наночастицах, накапливающихся в канале отверстия между импульсами.

2. Экранирующее действие плазмы оптического пробоя может быть существенно снижено при использовании временной задержки между импульсами менее 250 мкс.

3. Формирующиеся в абляционном канале микро- и наночастицы несут электрический заряд и могут удаляться из канала путем приложения внешнего электрического поля, что существенно повышает эффективность абляции.

4. Многоимпульсное лазерное воздействие короткими низкоэнергетичными импульсами на пленки графена на подложке Si/SiO_2 приводит к трансформации поверхности графена без его разрушения за счет перераспределения водного адсорбента на границе графен/подложка.

7. Замечания по диссертационной работе

1. Не обоснована связь между двумя частями диссертации, посвященными исследованиям многоимпульсной лазерной абляции стали и лазерной модификации графеновых структур.

2. Автором не обсуждаются причины образования положительного заряда на частицах, формирующихся в канале отверстия при многоимпульсной обработке стали короткими импульсами

3. При оценках энергии, поглощенной в графеновом слое на подложке SiO_2/Si , автор пренебрегает интерференционными явлениями.

4. Диссертация значительно бы выиграла, если бы автор указал (и обосновал), для каких конкретно приложений может быть полезен исследованный в работе метод лазерной модификации графеновых слоев.

5. Погрешности измеряемых величин на экспериментальных графиках указаны далеко не во всех случаях.

Заключение

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают значимости основных выводов диссертационного исследования. Диссертация Пивоварова П.А. является законченной научно-квалификационной работой, материалы которой отражены в статьях, опубликованных в авторитетных научных журналах. Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Таким образом, диссертационная работа «Роль эффектов многоимпульсного воздействия в процессах лазерной абляции и доабляционной модификации материалов короткими импульсами» удовлетворяет требованиям ВАК и соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018), а автор работы, Пивоваров П.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Доклад по материалам диссертационной работы был заслушан, отзыв составлен и утвержден на семинаре Международной научной лаборатории «Лазерных микро- и нанотехнологий и систем» Университета ИТМО.

Дата проведения семинара: 17.10.2019

Председатель научного семинара,
профессор факультета Лазерной фотоники и оптоэлектроники
Университета ИТМО,
д.т.н., проф.

Вейко Вадим Павлович

Секретарь научного семинара
ассистент факультета Лазерной фотоники и оптоэлектроники
Университета ИТМО,

к.т.н.

Сергеев Максим Михайлович

Кронверкский пр. 49, Санкт-Петербург, Россия, 197101

тел. +7(812)2333406, vpveiko@itmo.ru



Подпись Вейко В.П. и Сергеева М.М. удостоверяю.

17.10.2019

С отрывом ознакомлен 23.10.2019
Лев. Пивоваров Н.А.