

А.Н. Солдатов^{1,2,3}, А.В. Васильева^{1,2,3}, А.П. Ермолаев¹, Ю.П. Полуни¹,
И.В. Сидоров^{1,3}, А.Г. Филонов^{1,3}

Исследовательская лазерная установка для резонансной абляции материалов

¹ Томский государственный университет,

² Западно-Сибирский филиал Российского государственного университета
инновационных технологий и предпринимательства,

³ Сибирский физико-технический институт им. акад. В.Д. Кузнецова при ТГУ, г. Томск

Поступила в редакцию 1.12.2005 г.

Спроектирована и создана установка для исследования эффекта резонансной лазерной абляции таких материалов, как полимеры и биологические ткани. Основу лазерного оборудования составляет лазер на парах стронция, спектр которого включает следующие длины волн генерации: 6,456; 3,0665; 3,0111; 2,92; 2,69; 2,60; 1,0917 и 1,0330 мкм. Установка обеспечивает широкий диапазон изменения параметров лазерного излучения: средняя мощность варьируется в пределах от 1 до 10 Вт, частота следования импульсов — от 1 до 20 кГц, энергия в импульсе — от 0,1 до 1 мДж, плотность энергии 1–20 Дж/см². Приведены экспериментальные данные по резонансной абляции полиамида-6 и мышечной ткани.

Введение

Взаимодействие лазерного излучения с веществом — одно из важнейших научных направлений современной оптики и лазерной физики. Оно позволило существенным образом дополнить представления о фундаментальных фотофизических процессах, происходящих в веществе при взаимодействии его с лазерными пучками различных длительностей и длин волн. Кроме того, оно позволило разработать физические основы многочисленных прикладных направлений, связанных с лазерами и их технологическими применениями.

На сегодняшний день одним из активно исследуемых процессов в данной области является лазерная абляция. Механизм данного процесса во многом определяется параметрами лазерного излучения. В зависимости от длины волны взаимодействующего излучения различают инфракрасную и ультрафиолетовую, резонансную и нерезонансную абляции. Помимо этого проводят классификацию явления абляции в зависимости от длительности импульсов излучения: взаимодействие с импульсами фемто-, нано- и микросекундного диапазонов.

Особый интерес представляет лазерная резонансная абляция в ИК-диапазоне при наносекундной длительности импульсов. Анализ имеющихся литературных данных свидетельствует о том, что фундаментальные физические механизмы данного процесса до конца не выяснены. Однако исследования показывают, что резонансная абляция ИК-диапазона обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с остальными видами взаимодействия. Например, при воздействии УФ-излучения

на биологические ткани возникают побочные мутагенные эффекты, в то время как при воздействии ИК-излучения они не наблюдаются.

В данной статье представлена установка для исследования эффекта резонансной абляции биотканей и полиамидов в среднем ИК-диапазоне. Основу установки составляет лазер на самоограниченных переходах атома стронция.

1. Результаты экспериментов по лазерной абляции твердых тканей

Сравнительные эксперименты [1] по изучению резки твердых тканей Ho:YAG-, HF-, Er:YAG- и CO₂-лазерами выявили зависимость абляции от длины волны лазерного излучения и позволили ввести новый термин «резонансная абляция». Средний ИК-диапазон длин волн оказался наиболее приемлемым для резки костных тканей. Дальнейшие исследования при перестройке длины волны лазерного излучения в области 2,9 и 9,2 мкм показали, что наилучшим образом для высококачественной резки костных тканей подходит длина волны 6,45 мкм. При этом был получен максимально глубокий разрез (2,31 мм) без обугливания прилегающих к разрезу тканей. В нашем эксперименте при диаметре цилиндрического отверстия 200 мкм зона сопутствующего термического повреждения была минимальна и составляла 10–20 мкм.

Исследования показали, что глубина отверстия зависела от ИК-спектра поглощения каллогенов, воды и гидроксиапатитов кальция, содержащихся в костной ткани, в районе длин волн 2,9–3,2 мкм

и между 5,8 и 8,0 мкм, но никаким образом не согласовывалась с ИК-спектром поглощения между длинами волн 8,9 и 9,2 мкм. Для объяснения данного факта требуются дополнительные исследования.

В работе [1] было сделано предположение о том, что механизм абляции, который находится ниже плазменного порога в данном случае, происходит в результате взрывного испарения воды в замкнутом пространстве.

В работах [2, 3] также отмечалось, что на длинах волн 3 и 1 мкм происходит лазерная абляция биотканей. Авторы объясняют это сильным поглощением воды, содержащейся в них. В качестве примера можно рассматривать ИК-спектры поглощения роговицы, нервной ткани и дермы [2]. Характерной особенностью этих спектров является положение моды ОН-полосы воды вблизи 3300 см^{-1} (3 мкм). Кроме этой обнаружены еще две моды: Амид I – колебательная мода протеина при 1665 см^{-1} (6 мкм), и Амид II – колебательная мода протеина при 1550 см^{-1} (6,45 мкм). Тем не менее скорость абляции на длине волны 6,45 мкм выше, чем на 3 и 1 мкм, а термические повреждения меньше.

В качестве источника излучения в приведенных выше работах [1–3] использовался лазер на свободных электронах, генерирующий макроимпульсы длительностью 4 мкс, содержащие серию микроимпульсов 1–2 пс. Частота повторения импульсов данного лазера составляла 30 Гц, энергия в импульсе 22,5 мДж, при этом плотность энергии на поверхности образца равнялась 72 Дж/см^2 (диаметр пятна в фокусе 200 мкм). Недостатками такого лазера являются сложность конструкции, высокая стоимость и большие габариты, что не позволяет использовать его повсеместно для технологических исследований и в медицинских целях.

Для проведения исследований эффекта резонансной лазерной абляции в среднем ИК-диапазоне необходим достаточно мощный лазерный источник, излучающий на длинах волн 1, 3 и 6,45 мкм. В качестве такого источника может быть использован наносекундный лазер на самограничных переходах атома Sr с малой расходимостью, что позволяет создавать высокую плотность энергии в одиночном импульсе. Частота повторения импульсов в таком лазере может изменяться от единиц до десятков кГц, средняя мощность генерации может быть 10 Вт и более.

2. Лазер на парах стронция

В настоящей работе использовался лазер на самограничных переходах в парах стронция. О генерации на переходах SrII $\lambda = 1,03$ и $1,09$ мкм, SrI $\lambda = 6,45$ мкм, а также на переходах, соответствующих $\lambda = 3,01$ и $3,06$ мкм, сообщалось в [4, 5], а на переходах с триплетного 4^3D -уровня на триплетный уровень 5^3P^0 ($\lambda = 2,60$; $2,69$; $2,92$ мкм) – в [6]. В этих работах максимальная средняя мощность Sr-лазера составляла 1 Вт. В [7–10] описаны эксперименты по увеличению выходных параметров лазера на парах стронция, в которых максимальная

средняя мощность излучения составила 2–3 Вт. Там же была показана возможность дальнейшего повышения удельных и суммарных энергетических характеристик Sr-лазера.

Полный перечень длин волн генерации на самограничных переходах выглядит следующим образом [6]:

$$\lambda = 6,456 \text{ мкм } (5s5p^1P_1^0 - 5s4d^1D_2);$$

$$\lambda = 3,066 \text{ мкм } (5s4d^3D_1 - 5s5p^3P_2^0);$$

$$\lambda = 3,011 \text{ мкм } (5s4d^3D_2 - 5s5p^3P_2^0);$$

$$\lambda = 2,92 \text{ мкм } (5s4d^3D_3 - 5s5p^3P_2^0);$$

$$\lambda = 2,69 \text{ мкм } (5s4d^3D_2 - 5s5p^3P_1^0);$$

$$\lambda = 2,6 \text{ мкм } (5s4d^3D_1 - 5s5p^3P_0^0);$$

$$\lambda = 1,033 \text{ мкм } (4p^65p^2P_{3/2}^0 - 4p^64d^2D_{5/2});$$

$$\lambda = 1,0917 \text{ мкм } (4p^65p^2P_{1/2}^0 - 4p^64d^2D_{3/2}).$$

В работе [11] при использовании активного объема лазерной кюветы 450 см^3 достигнуты рекордные энергетические характеристики: суммарная мощность генерации 13,5 Вт, мощность генерации на длинах волн в области 3 мкм – 4,5 Вт, мощность генерации на двух длинах волн в области 1 мкм – 1,9 Вт. Максимальная суммарная энергия в импульсе генерации достигла 1,26 мДж при частоте повторения импульсов 8,6 кГц. В [11] также была показана возможность создания мощного лазера на парах стронция с высоким КПД, широким интервалом частот следования импульсов и возможностью одновременной многоволновой генерации.

3. Экспериментальная установка

Установка предназначена для выполнения фундаментальных и прикладных исследований в области лазерной физики, биологии и материаловедения, основанных на эффекте лазерной абляции в среднем ИК-диапазоне. Конструктивно установка состоит из двух частей: стенд, на котором расположены два лазерных излучателя на парах стронция для низкочастотного и высокочастотного лазерных каналов, и стенд системы регистрации лазерного воздействия на материалы. Общий вид системы представлен на рис. 1.

Поскольку интерес представляет исследование абляции при различных параметрах лазерного излучения, в установке предусмотрены два канала генерации лазерного излучения: высокочастотный (10–20 кГц) и низкочастотный (1–2 кГц). Каждый из каналов включает в себя активный элемент лазера на парах стронция, источник питания, неустойчивый резонатор и систему сканирования. В качестве активных элементов в установке используются две газоразрядные трубы: ГРТ1 диаметром 3 см, длиной 100 см и ГРТ2 диаметром 2,7 см и длиной 108 см.



Рис. 1. Внешний вид исследовательской лазерной установки для резонансной абляции полимеров и биотканей

На рис. 2 представлена оптическая схема установки, которая отражает работу двух каналов генерации. Лазерное излучение с малой расходимостью формируется неустойчивым резонатором 1. Средняя мощность излучения фиксируется измерителем мощности 4. Распределение интенсивности излучения по сечению пучка определяется с помощью ограничивающей диафрагмы 6. Расходимость излучения оценивается по диаметру его пятна в фокальной плоскости зеркала 5 с фокусным расстоянием 5 м. Излучение фокусируется линзой 7 с фокусным расстоянием 0,1 м, после чего оно попадает на мишень 11, закрепленную на координатном столе 12, режим работы которого задается блоком управления 13.

Второй канал воздействия включает в себя те же элементы, но отличается тем, что после линзы 7 ставится сканатор 8, сопряженный с компьютером 10

через блок управления 9. Сканатор задает траекторию воздействия на мишень 11, расположенной в фокусе линзы 7. Чтобы не загромождать схему, в ней не указаны дифракционные решетки, предназначенные для спектрального разделения генерационных линий лазерных источников. Однако в установке селекция длин волн возможна не только за счет оптики, но и благодаря изменению режима работы лазера. В обычном режиме генерации 90% излучения в лазере на парах стронция приходится на длину волны 6,45 мкм, однако возможны режимы работы лазера, при которых доля излучения на 3 и 1 мкм значительно возрастает.

Многоволновой характер излучения (8 длин волн) лазера на парах стронция, входящего в состав установки, является уникальным и позволяет изучать процесс абляции при взаимодействии с различными типами биологических тканей, а также полимеров, содержащих амидные группы. Подобное сочетание длин волн генерации и возможность управления процентным соотношением средней мощности на каждой из них позволяют выявить их влияние на процесс абляции.

Ниже указаны основные технические характеристики установки.

Длина волны излучения, мкм	1,03; 1,09; 2,60; 2,69; 2,92; 3,01; 3,06; 6,45
Расходимость лазерного излучения, мрад	0,5
Длительность импульса излучения, нс	30÷50
Частота следования импульсов, кГц:	
высокочастотный канал	10÷20
низкочастотный канал	1÷2
Энергия суммарного импульса излучения, мДж	
(низкочастотный канал)	1
Средняя мощность генерации, Вт	
(высокочастотный канал)	10
Плотность энергии, Дж/см ²	1–20
Потребляемая системой мощность, кВт	5
Охлаждение	воздушное

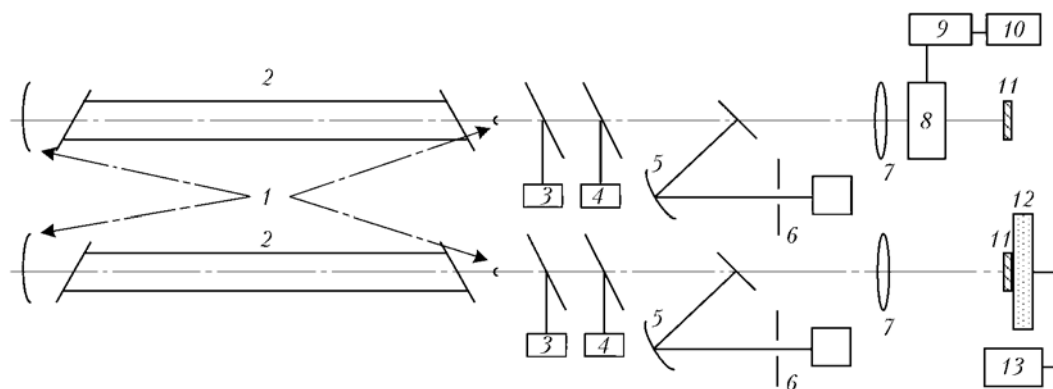


Рис. 2. Оптическая схема установки: 1 – зеркала неустойчивого резонатора; 2 – активный элемент лазера на парах стронция; 3 – фотоприемник ФСГ-22; 4 – измеритель мощности; 5 – зеркало; 6 – диафрагма; 7 – линза; 8 – сканатор; 9 – блок управления сканатора; 10 – компьютер; 11 – мишень; 12 – координатный стол; 13 – блок управления координатного стола

В целом установка включает в себя регистрирующую технику для контроля над параметрами лазерного излучения, а также 8-мегапиксельную фотокамеру с дополнительным объективом для фиксации результатов абляции.

4. Лазерная абляция при использовании Sr-лазера

4.1. Результаты исследований абляции при малой энергии генерации

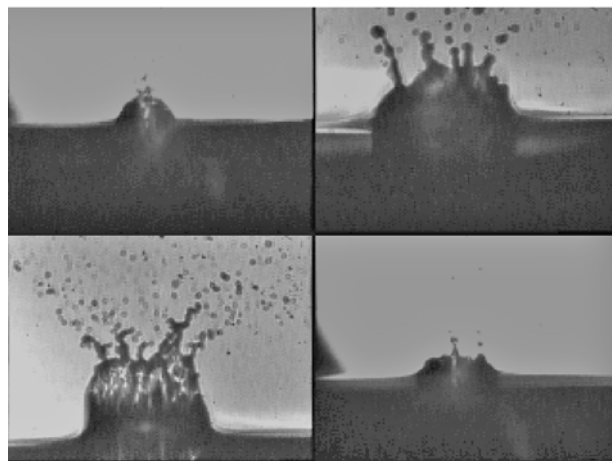
О первых экспериментах по лазерной абляции биоткани с лазером на парах стронция сообщалось в работе [11]. В данных экспериментах использовался лазер на парах стронция со средней мощностью 2,4 Вт, диапазоном частот повторения импульсов 5–20 кГц, энергией импульса <math>< 185 \text{ мкДж}</math> (диаметр фокусного пятна 130 мкм). Этот лазер является компактной установкой. Однако низкая энергия в импульсе ограничивала возможность варьирования параметров генерации.

В ходе проведения экспериментов лазер был помещен на оптический стол (Newport Inc., Irvine, California). Излучение посылалось на внеосевое параболическое зеркало с фокусным расстоянием 25,4 мм, которое фокусировало излучение на координатном столе. Для нахождения уровня энергии использовался измеритель мощности 365 Scientech (Scientech, Boulder, CO). Диаметр пятна измерялся по призменно-рычажной методике. Кювета, заполненная водой, была помещена на координатный стол, который перемещался вдоль прямой. Изображение процесса записывалось на видеопленку с помощью стандартного черно-белого фотоаппарата с кадровой скоростью 30 Гц. Затем полученные изображения были переведены в цифровую форму посредством видеокарты ATI Rage-Pro Mobility для дальнейшей обработки и исследования.

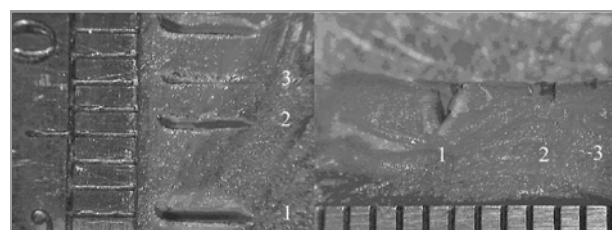
Временной ход абляции воды приведен на рис. 3,а: четыре кадра показывают начало абляции, расширение области паров, выброс воды и сокращение (коллапс) области паров.

Макроскопические исследования ткани были выполнены на бычьей мышце (рис. 3,б). Небольшие полоски ткани были помещены на координатном столе в фокусе лазерного пучка. Стол передвигался взад-вперед в течение всего процесса абляции для того, чтобы произвести узкие 4-мм рассечения ткани. Параметры лазера так же, как и скорость стола, изменялись для сравнения. Эти рассечения рассматривали под микроскопом и затем сфотографировали.

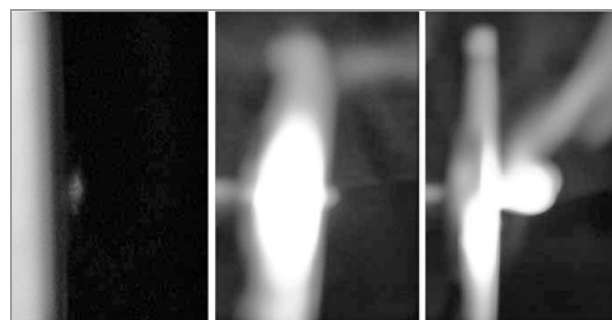
Абляция ткани происходила только в течение нескольких импульсов воздействия, вследствие чего в окружающих тканях накапливался тепловой эффект. Предполагается, что это связано с высокой частотой следования импульсов (ЧСИ) лазера. Из рис. 3,б видно, что при более высокой частоте следования импульсов лазера удаляется больше ткани, но и образует большее тепловое повреждение.



а



б



в

Рис. 3. Фотографии абляции воды лазером на парах стронция: а – ЧСИ = 13 кГц, $W_{cp} = 2$ Вт; б – увеличенные снимки бычьей мышцы (разрез 1: ЧСИ = 16 кГц, $W_{cp} = 2,4$ Вт, размер пятна 130 мкм, скорость сканирования 17 мм/с, 30 проходов; разрез 2: ЧСИ = 5 кГц, $W_{cp} = 0,9$ Вт, размер пятна 130 мкм, скорость сканирования 17 мм/с, 30 проходов; разрез 3: ЧСИ = 5 кГц, $W_{cp} = 0,9$ Вт, размер пятна 130 мкм, скорость сканирования 17 мм/с, 10 проходов); в – временное развитие парогазового облака продуктов абляции при резонансной абляции капролона

Полученные результаты свидетельствуют о том, что лазер на парах стронция может использоваться для резонансной абляции, несмотря на существенное отличие режима работы данного лазера от лазера на свободных электронах. Однако необходимо увеличить энергию в импульсе и улучшить качество пучка для минимизации побочных эффектов и повышения интенсивности абляции.

4.2. Лазерная абляция при повышенных энергетических параметрах Sr-лазера

4.2.1. Испытания исследовательской установки

Были проведены испытания установки и проверка ее работы. В ходе экспериментов изменялись условия накачки, состав активной среды лазерных излучателей обоих каналов и вывод их на рабочий режим. В табл. 1 приведен ряд конкретных результатов, полученных в ходе испытаний низкочастотного и высокочастотного каналов излучателей.

Энергетические характеристики генерации Sr-лазера на разных спектральных линиях зависят от ряда параметров: рода и давления буферного газа, давления паров Sr, напряженности электрического поля и т.д. Было установлено, что средняя мощность генерации на $\lambda = 6,45$ мкм с увеличением давления буферного газа при неизменной напряженности электрического поля постепенно растет, а мощности генерации на других линиях существенно не изменяются.

При варьировании состава буферного газа при прочих равных условиях возбуждения выявлена следующая закономерность: мощность генерации на линии 6,45 мкм и на линиях в области 3 мкм при использовании в качестве буферного газа гелия выше, чем в неоне.

На примере газоразрядной трубки объемом 618 см³ исследовано соотношение средней мощности на различных длинах волн генерации в зависимости от времени разогрева ГРТ. Как видно из рис. 4, с ростом температуры доля излучения на длине волны 6,45 мкм линейно возрастает. Зависимость

показывает, что рост мощности на этой длине волн продолжается и при дальнейшем разогреве ГРТ.

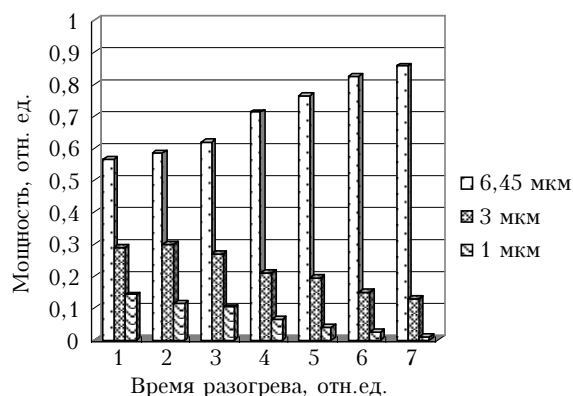


Рис. 4. Поведение мощности генерации в области спектра 6,45, ~ 3, ~ 1 мкм при нормировании суммарной мощности на единицу в зависимости от времени разогрева ГРТ на парах стронция

4.2.2. Лазерная абляция полиамидов

На представляемой установке был проведен цикл предварительных экспериментов по воздействию на полиамиды. В результате исследований была получена резонансная абляция полиамида-6 (техническое название «капролон»). Обобщенные данные экспериментов приведены в табл. 2.

Ширина полученных разрезов варьировалась от 120 до 150 мкм, причем зона плавления составляла несколько десятков нанометров. Как отмечается рядом исследователей, отличительной чертой абляции как процесса является образование пароголового облака удаляемого вещества, которое мы визуально наблюдали в ходе экспериментов (рис. 3, в).

Таблица 1
Результаты испытаний низкочастотного и высокочастотного каналов излучателей установки

ГРТ	Суммарная мощность генерации, Вт	ЧСИ, кГц	Энергия в импульсе генерации, мДж	Мощность (Вт) на отдельных длинах волн, мкм		
				6,45	~ 3	~ 1
$V = 706 \text{ см}^3$ $d = 3 \text{ см}$	6,5	—	—	4,35	1,5	0,65
	8	14,5	0,6	7	0,2	0,1
	10,5	15	0,7	—	—	—
$V = 618 \text{ см}^3$ $d = 2,7 \text{ см}$	2,6	2,2	1,2	—	—	—
	4,2	3	1,4	—	—	—
	5	—	—	3,37	1,4	0,23

Таблица 2

Экспериментальные данные по абляции полиамида-6

ЧСИ, кГц	Средняя мощность, Вт	Энергия в импульсе, мДж	Диаметр пятна в фокусе, мкм	Плотность энергии, Дж/см ²	Глубина разреза, мкм	Ширина разреза, мкм	Скорость абляции, мкм/имп.
15	5,7	0,38	100	4,8	22	150	2,2
2	1	0,5		6,4	50	130	5
15	10	0,6		7,6	55	130	5,5
1,5	2	1,3		16,6	104	120	10,4
8,6	13,5	1,56		19,8	115	120	11,5

Заключение

Лазерная резонансная абляция является особым видом абляции материалов. К ее отличительным признакам следует отнести: минимальное побочное повреждение при воздействии и максимальную интенсивность (по сравнению с нерезонансной абляцией).

Приведены результаты резонансной лазерной абляции воды и мышечной ткани при пониженных энергетических параметрах. Несмотря на то что эффект абляции наблюдался, существенными были тепловые эффекты. Это было вызвано прежде всего недостаточной энергией в импульсе генерации.

Таким образом, при использовании Sr-лазера было установлено, что для эффективного получения резонансной абляции необходимо, чтобы лазерный источник имел:

- 1) резонансную длину волны,
- 2) плотность энергии, превышающую порог абляции для данного материала,

- 3) высокое качество выходного излучения (малая расходимость, однородность лазерного пучка).

Лазер на самограничных переходах в парах стронция удовлетворяет всем этим требованиям и может с успехом применяться для получения резонансной абляции биологических тканей и полиамидов.

На основе полученных данных создана установка для исследования эффекта лазерной резонансной абляции. Особенностью данной установки является спектр генерации, включающий в себя 8 длин волн в диапазоне от 1 до 6,5 мкм, влияние которых как в совокупности, так и в отдельности представляет интерес для исследования, поскольку все они являются резонансными для биологических тканей.

Были значительно повышены энергетические параметры лазерных излучателей на парах Sr, используемых в установке. Средняя выходная мощность установки варьируется от 1 до 10 Вт. Изменение частоты повторения импульсов в широких пределах (1–20 кГц) при энергиях в импульсе от 0,1 до 1 мДж дает возможность детально изучить влияние высоких частот повторения на протекание процесса лазерной абляции. При этом за счет высокого качества выходного излучения достигается плотность энергии на уровне 20 Дж/см².

Проведенные предварительные эксперименты доказали обоснованность использования данной

системы для целей лазерной резонансной абляции. Была получена абляция биоткани (мышечная ткань) и полиамида-6 (капролон).

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках бюджетного финансирования развития приборной базы научных организаций (№ 09.255.02/065).

1. Peavy G.M., Reinisch L., Payne J.T., Venugopalan V. Comparison of Cortical Bone Ablations by Using Infrared Laser Wavelengths 2.9 to 9.2 μm // *Lasers in Surgery and Medicine*. 1999. V. 25. P. 421–434.
2. Edwards G.S., Austin R.H., Carroll F.E., Cope-land M.L., Couprie M.E., Gabella W.E., Haglund R.F., Hooper B.A., Hutson M.S., Jansen E.D. Free Electron Laser Based Biophysical and Biomedical Instrumentation // *Rev. Sci. Instrum.* 2003. V. 74. N 7. P. 3207–3245.
3. Majaron B., Plestenjak P., Lukac M. Thermo-mechanical Laser Ablation of Soft Biological Tissue: Modeling the Micro-explosions // *Appl. Phys. B*. 1999. V. 69. N 1. P. 71–80.
4. Платонов А.В., Солдатов А.Н., Филонов А.Г. Импульсный лазер на парах стронция // *Квант. электрон.* 1978. Т. 5. № 1. С. 198–201.
5. Божан П.А., Булаков В.Д. О механизме генерации на переходах $4d^3D_{1,2}-5p^3P^0_2$ атома стронция // *Квант. электрон.* 1979. № 6. С. 623–625.
6. Pan B.-L., Chen G., Zhong J.-W., Yao Z.-X. Emission of Laser Pulses due to Transitions from Metastable to Metastable Levels in Strontium Vapor // *Appl. Phys. B*. 2003. N 76. P. 371–374.
7. Soldatov A.N., Plusnin I.I., Filonov A.G. Quick-Response Laser Humidity Meter // *Proc. the 5-th Russian-Chinese Symposium on Laser Physics and Laser Technology*. Tomsk, Russia, 23–28 October 2000. Tomsk, 2001. P. 303.
8. Горбунова Т.М., Солдатов А.Н., Филонов А.Г. О механизме формирования инверсии на инфракрасных переходах атома SrI и иона SrII // *Оптика атмосф. и океана*. 2004. Т. 17. № 2–3. С. 262–265.
9. Soldatov A.N., Filonov A.G., Shumeiko A.S., Kirilov A.E., Ivanov B., Haglund R., Mendenhall M., Gabella B., Kostadinov I. A Sealed-off Strontium-Vapor Laser // *Proc. SPIE*. 2003. V. 5483. P. 252–261.
10. Soldatov A.N., Polunin Yu.P., Shumeiko A.S., Sidorov I.V. Record Output Energy Parameters of a SrI and SrII-Vapor Laser // *The 7-th Int. Symp. Laser Physics and Laser Technologies*. Tomsk, 20–24 December 2004. P. 202–207.
11. Mackanos M.A., Ivanov B., Soldatov A.N., Kostadinov I., Mendenhall M., Piston D., Haglund R., Jansen E. Duco. Ablation of Soft Tissue at 6.45 μm using a Strontium Vapor Laser // *Proc. SPIE*. 2003. V. 5483. P. 252–261.

A.N. Soldatov, A.V. Vasil'eva, A.P. Ermolaev, Yu.P. Polunin, I.V. Sidorov, A.G. Filonov. A research laser system for resonance ablation of materials.

A table-top system for experimental investigations the resonance laser ablation of biological tissues and polymers was designed and created. The laser equipment is based on a strontium-vapor laser operating at $\lambda = 6.456; 3.0665; 3.0111; 2.92; 2.69; 2.60; 1.0917$ и $1.0330 \mu\text{m}$. Laser radiation parameters of table-top system are varied in a wide range: the average output power of the system is varied between 1 and 10 W, the pulse repetition rate between 1 and 20 kHz, the pulse energy between 0.1 and 1 mJ, the energy density between 1–20 J/cm². Experimental data on resonance laser ablation of muscular tissue and polyamide-6 are presented.