

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра компьютерной физики и метаматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники
и электроники им. В. А. Котельникова РАН

РЕЖИМЫ НАГРЕВА ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА ЛАЗЕРНЫМИ
ИМПУЛЬСАМИ БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Бандурова Михаила Алексеевича,
студента 4 курса, 4022 группы,
направления подготовки 03.03.02 Физика
Института физики

Научный руководитель
д.ф.-м.н. профессор

Е.А. Романова

Заведующий кафедрой
компьютерной физики и метаматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники
и электроники им. В. А. Котельникова РАН
д.ф.-м.н. профессор

В.М. Аникин

Саратов 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Общая характеристика работы.....	3
2	Основное содержание работы	4
2.1	Введение.....	4
2.2	Первая глава.....	4
2.3	Вторая глава.....	4
2.4	Третья глава.....	5
2.5	Четвертая глава.	5
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	14

1 Общая характеристика работы

Цель данной выпускной квалификационной работы состоит изучении режимов нагрева образцов халькогенидного стекла лазерными импульсами большой интенсивности и получение зависимости размеров модифицированных областей от условий длительности импульса нестационарного лазерного пучка в образце.

Задачи данной работы:

- Изучить структурные и оптические свойства теллуритных и халькогенидных стекол системы.
- Ознакомиться с теоретическими моделями распространения лазерного импульса в среде с двухфотонным поглощением.
- Провести расчет пространственного распределения температуры в образце стекла при воздействии сфокусированного лазерного пучка при заданной пороговой интенсивности двухфотонного поглощения.
- Определить размеры областей, нагретых выше температуры плавления, в образцах сульфида и селенида мышьяка при разной длительности лазерного импульса.

С помощью теоретических методов исследования были изучены свойства халькогенидных стекол при нагревании их фемтосекундными лазерами высокой интенсивности.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) содержит введение, 4 главы, заключение, список использованных источников (10 наименований).

2 Основное содержание работы

2.1 Введение.

Во введении формулируются аспектные характеристики выпускной работы, такие как актуальность данной работы, её цель и задачи. Также описывается объект и предмет исследования - халькогенидные стекла, их применение и свойства.

2.2 Первая глава.

В первой, обзорной по характеру главе описываются инфракрасные стекла и их характеристика. В главе кратко изложены характеристики стекол и их особенности.

Основными составляющими халькогенидных стекол являются халькогены - элементы VI группы главной подгруппы периодической системы Д.И. Менделеева. К ним относятся кислород (O), сера (S), селен (Se), теллур (Te) и полоний (Po).

2.3 Вторая глава.

Во второй главе рассматривается перенос тепловой энергии в твердых телах. Так как при любом нагревании вещества однозначной характеристикой теплового действия является температура, а сам нагрев состоит в увеличении амплитуды тепловых колебаний атомарной решетки.

Перенос тепловой энергии (кинетической энергии микрочастиц) в веществе определяется процессами теплопроводности. Явление теплопроводности проявляется при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела или отдельных тел, имеющих различные температуры. В твердых телах

перенос тепловой энергии осуществляется путем упругих волн (фононов). В проводниках перенос энергии в основном осуществляется путем диффузии свободных электронов.

Процесс переноса теплоты возможен лишь тогда, когда в различных точках тела температура неодинакова. Поэтому передача теплоты в веществе сопровождается изменением температуры, как в пространстве, так и во времени.

2.4 Третья глава

В третьей главе работы описывается используемая аналитическая модель распространения и рассматривается преобразование параметров пучка тонкой линзой. Был изучен процесс двухфотонного поглощения, рассмотрен световой пучок и построено пространственно-временное распределение данного лазерного пучка в перетяжке. Также была найдена скорость многофотонного поглощения в течение времени прохождения импульса, полагая, что вся энергия поглощается в перетяжке пучка, и для каждого момента времени прохождения импульса мощность равна площади заштрихованной фигуры, представленной в работе.

В данной главе были получены основные рабочие формулы, а именно формула поглощенной энергии, формула пространственного распределения интенсивности и формула пространственного распределения температуры.

2.5 Четвертая глава.

В третьей главе работы решается задача расчета пространственного распределения температуры в образце стекла при воздействии сфокусированного лазерного пучка при заданной пороговой интенсивности двухфотонного поглощения и определения размера областей, нагретых выше температуры

плавления, в образцах сульфида и селенида мышьяка при разной длительности лазерного импульса.

Были построены двумерные распределения температуры в плоскости (r, z) в образцах хальгенидного стекла по формулам ранее полученным формулоам в области фокусировки нестационарного лазерного пучка с пиковой длиной волны $\lambda = 0.8$ мкм и энергией $E_0 = 50$ мДж.

Для пороговой интенсивности поглощения было установлено значение $I_h = 50 * 10^9$ Вт/см². Радиус лазерного пучка до линзы 0.25 см. Длительность импульса для вычислений варьировалась от $\tau_0 = 14$ нс до $\tau_0 = 50$ нс.

Были проведены расчеты для образцов стекла составов $As_{40}S_{60}$, $As_{40}S_{30}Se_{30}$ и $As_{40}Se_{60}$, теплофизические параметры которых при температуре $T_0 = 298K$ представлены в таблице в первой главе работы. Построены пространственные распределения температуры при разных длительностях импульса τ_0 сфокусированного светового пучка.

Также в данной главе представлены полученные изотермы T_g для каждого образца при различных значениях τ_0 . Внутри области, ограниченной этой изотермой, температура больше T_g , т.е. стекло находится в расплавленном (жидком) состоянии. Как видно из рисунка 2.1 при значениях $\tau_0 = 14$ нс и $\tau_0 = 16$ нс происходит значительный нагрев стекла, так что в некоторой области температура превышает T_g .

В результате расчетов было установлено, что при малых значениях τ_0 облученная область остается в твердом состоянии, поэтому для модификации стекла надо брать значения $\tau_0 > 8$ нс.

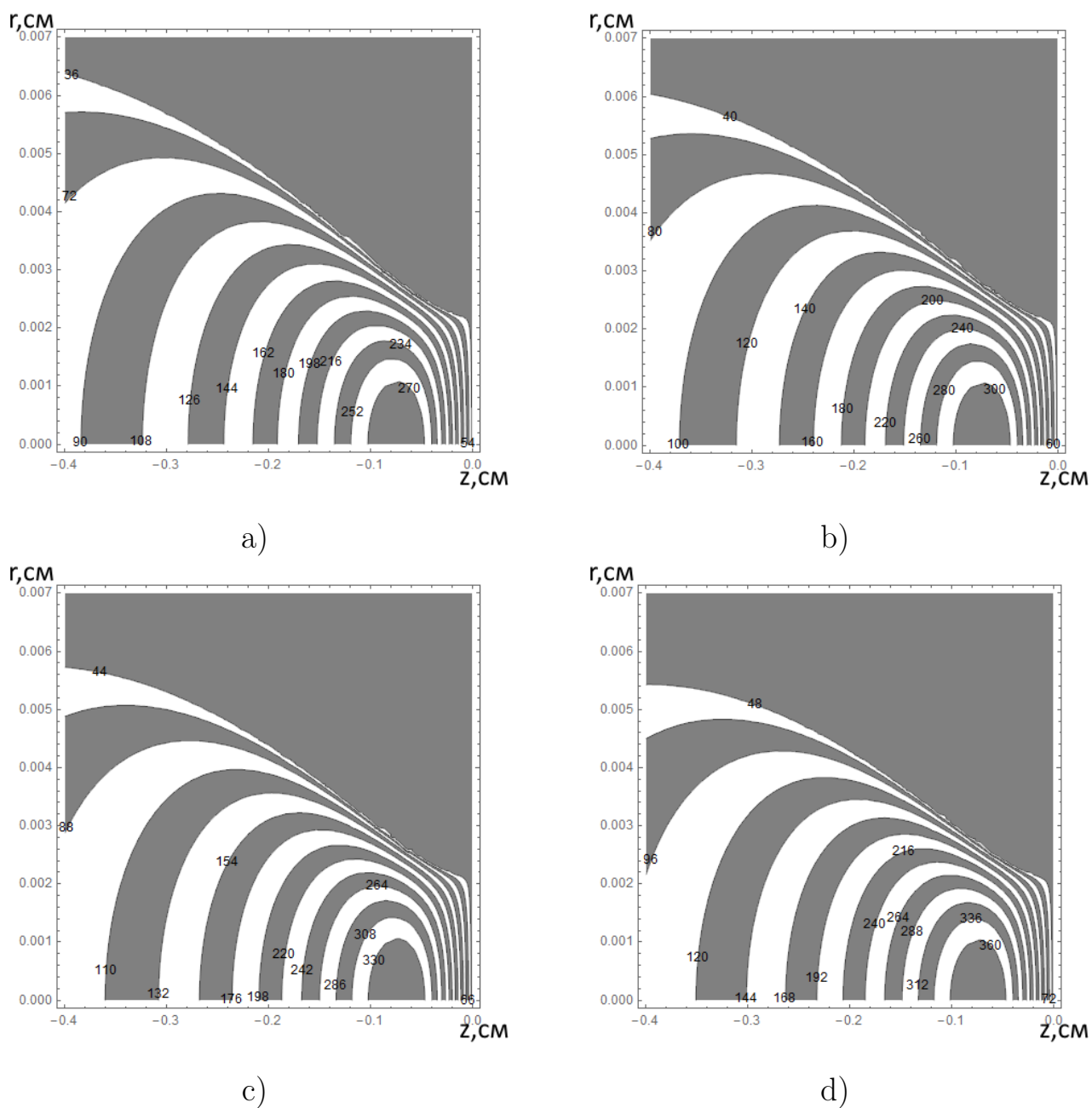
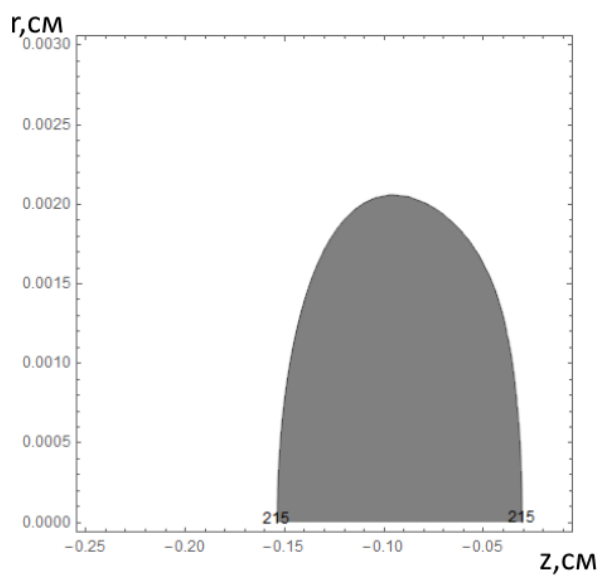
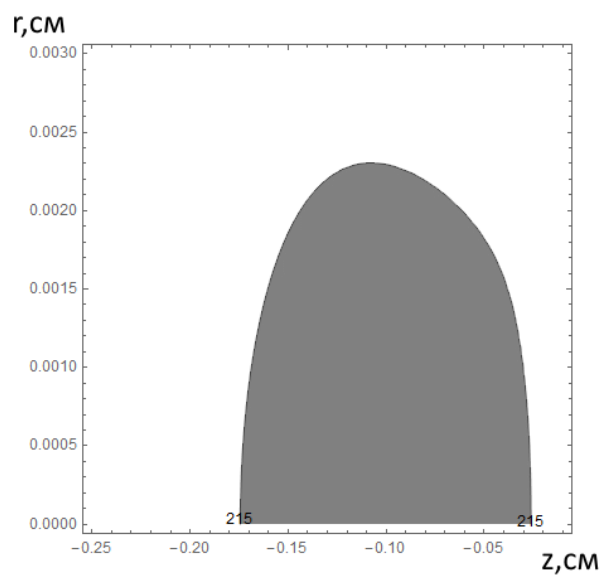


Рисунок 2.1 — Пространственное распределение температуры в образце стекла состава $As_{40}S_{60}$ при облучении лазерным пучком с $\tau_0 = 14$ нс. (а), 16 нс. (б), 18 нс. (в), 20 нс. (г). $T_0 = 25^\circ C$

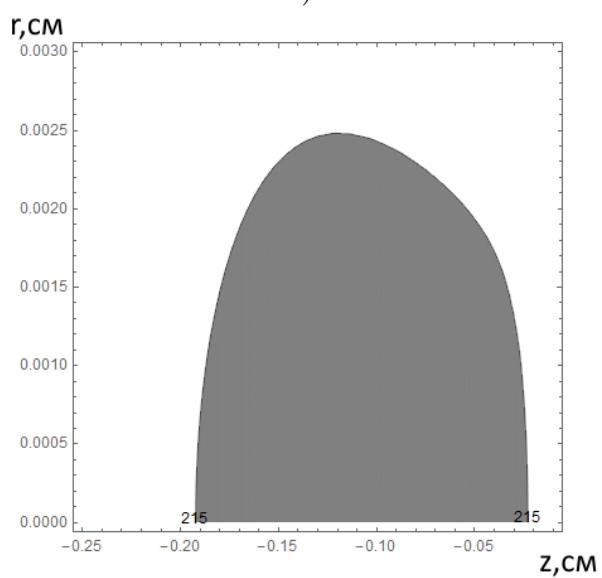
На рисунках 2.2 - 2.4 показаны изотермы T_g , рассчитанные в разных образцах стекла при $\tau_0 = 14, 16, 18, 20$ нс.



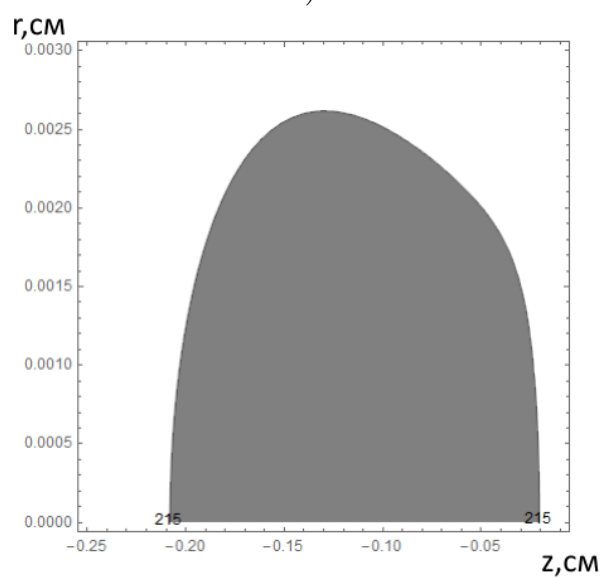
a)



b)

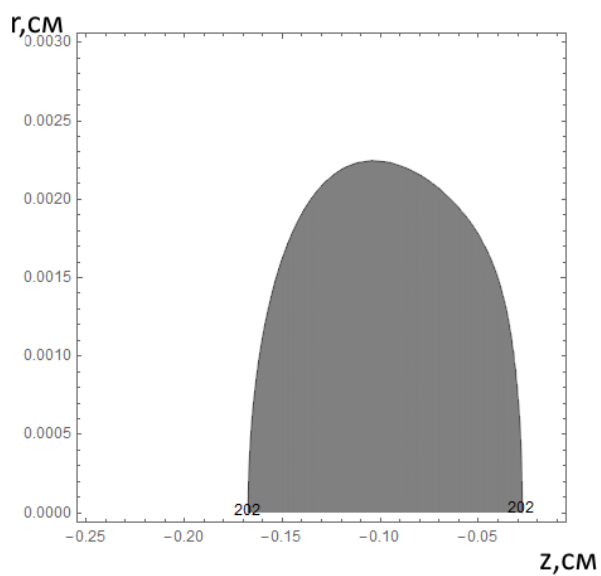


c)

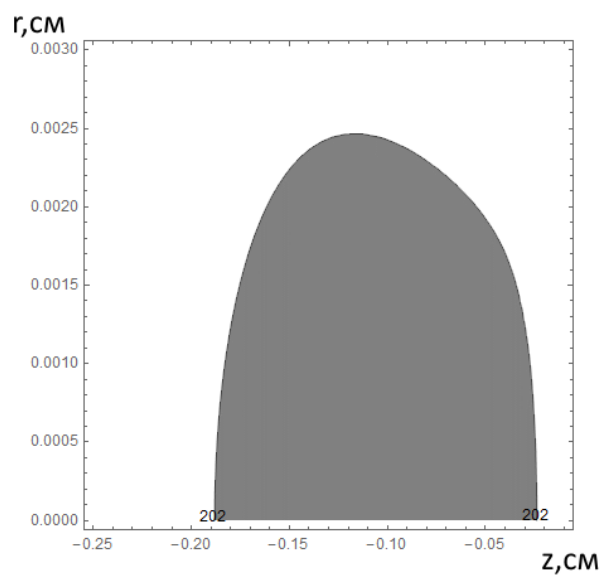


d)

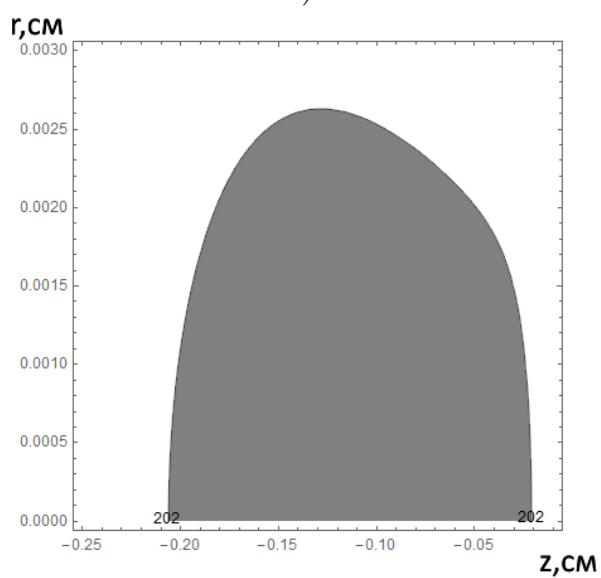
Рисунок 2.2 — Пространственная область в образце $As_{40}S_{60}$, ограниченная $T_g = 215^\circ C$ при облучении лазерным пучком с $\tau_0 = 14$ нс. (а), 16 нс. (б), 18 нс. (в), 20 нс. (г). $T_0 = 25^\circ C$



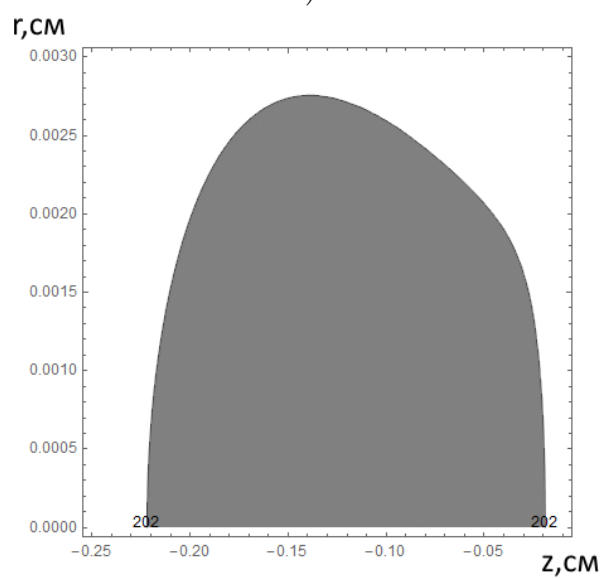
a)



b)

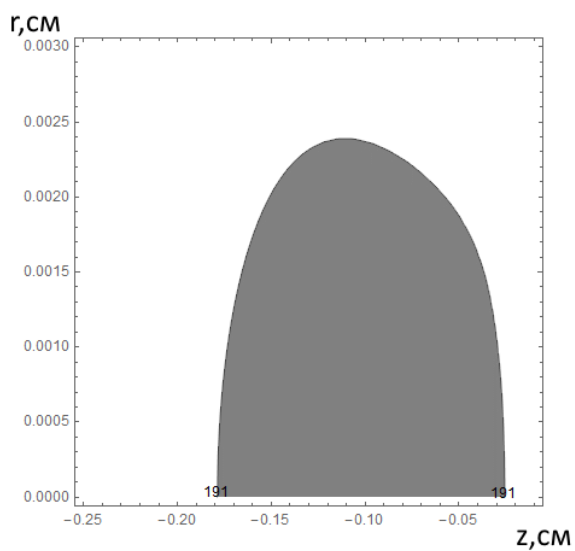


c)

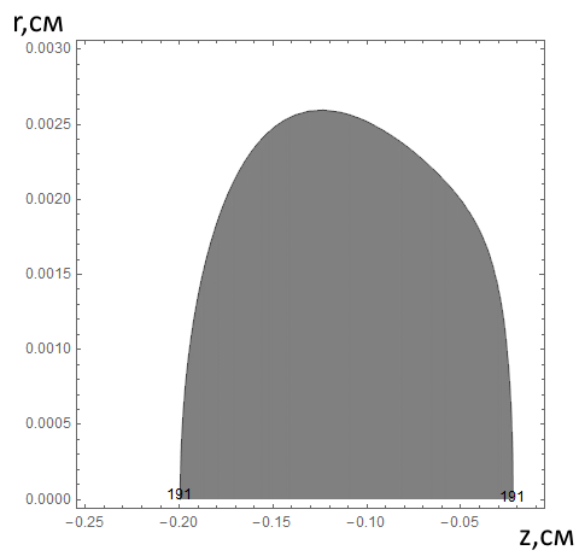


d)

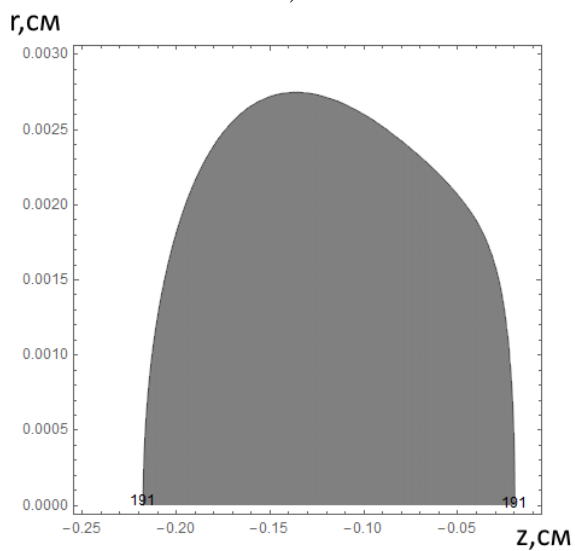
Рисунок 2.3 — Пространственная область в образце $As_{40}S_{30}Se_{30}$, ограниченная изотермой $T_g = 202^\circ C$ при облучении лазерным пучком с $\tau_0 = 14$ нс. (а), 16 нс. (б), 18 нс. (в), 20 нс. (г). $T_0 = 25^\circ C$



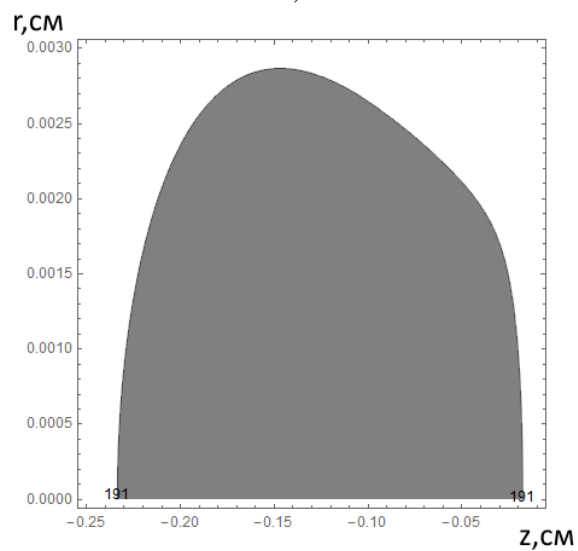
a)



b)



c)



d)

Рисунок 2.4 — Пространственная область в образце $As_{40}Se_{60}$, ограниченная $T_g = 215^\circ C$ при облучении лазерным пучком с $\tau_0 = 14$ нс. (а), 16 нс. (б), 18 нс. (в), 20 нс. (г). $T_0 = 25^\circ C$

Также в данной главе была выполнена оценка продольных Δz и поперечных Δr размеров областей, нагретых выше T_g , по графикам на рисунках 2.2-2.4, как показано на рисунке 2.5.

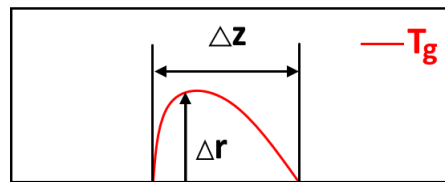
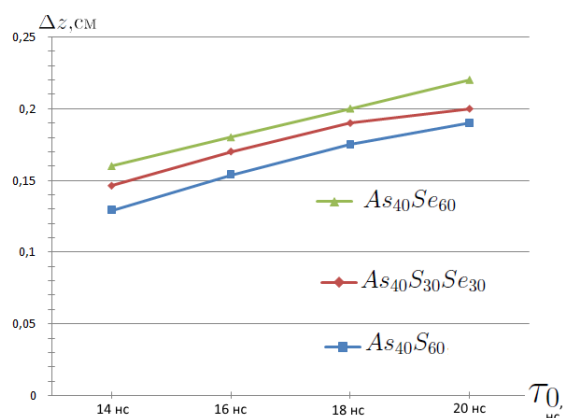


Рисунок 2.5 — Определение поперечного и продольного размера области, нагретой до температуры выше T_g

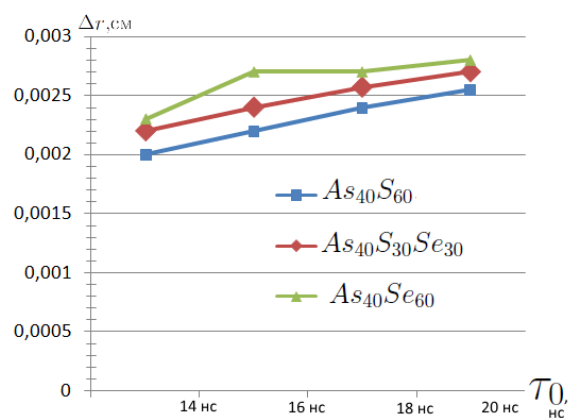
В таблице 2.1 приводятся максимальный продольный размер и максимальный поперечный размер расплавленной области для каждого образца и каждой длительности импульса пучка в образце. На рисунке 2.6 показаны Δz и Δr при разных τ_0 .

Образец	$\tau_0 = 14$ нс.		$\tau_0 = 16$ нс.		$\tau_0 = 18$ нс.		$\tau_0 = 20$ нс.	
	$\Delta z, \text{см}$	$\Delta r, \text{см}$	$\Delta z, \text{см}$	$\Delta r, \text{см}$	$\Delta z, \text{см}$	$\Delta r, \text{см}$	$\Delta z, \text{см}$	$\Delta r, \text{см}$
$As_{40}S_{60}$	0,129	0,002	0,1538	0,0022	0,175	0,0024	0,19	0,0025
$As_{40}S_{30}Se_{30}$	0,146	0,0022	0,17	0,0024	0,19	0,0025	0,20	0,0027
$As_{40}Se_{60}$	0,16	0,0023	0,18	0,0025	0,20	0,0027	0,22	0,0028

Таблица 2.1



а)



б)

Рисунок 2.6 — Зависимость длины (а) и ширины (б) модифицированной области от длительности импульса светового пучка в образце.

На основании графиков 2.7 был сделан вывод, что форма области ближе к торпедоидальной (отношение $\Delta z / \Delta r$ показывает увеличение модифицированной области, а также что длина области во множество раз больше высоты области).

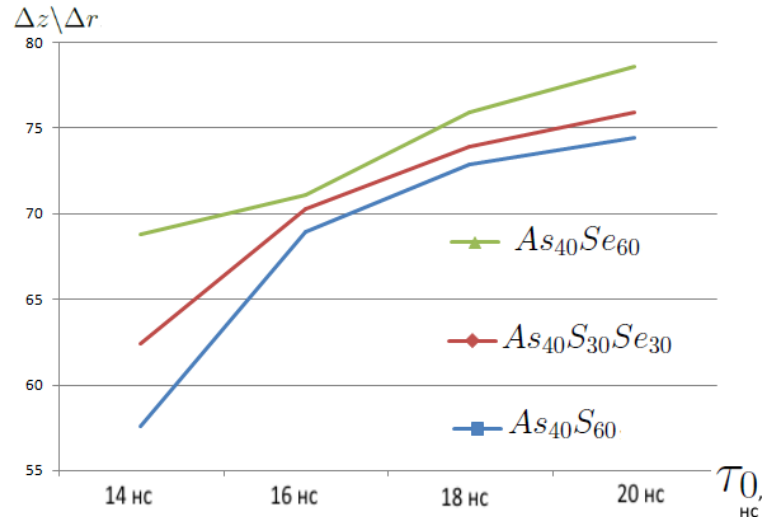


Рисунок 2.7 — График отношений $\Delta z / \Delta r$.

Таким образом, меняя длительность импульса сфокусированного светового пучка в образце, можно варьировать размеры модифицированной области для получения требуемого результата.

Из полученных результатов видно, что за счёт изменения длительности импульса светового пучка в образце изменяется "длина" и "ширина" расплавленной области.

Вывод - с увеличением τ_0 увеличиваются и параметры Δr и Δz .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы были получены следующие основные результаты:

- Изучена аналитическая модель распространения нестационарного гауссова пучка в среде с нелинейным поглощением. Детально исследован процесс поглощения энергии сверхкороткого импульса в предположении, что нелинейное поглощение имеет порог по интенсивности в виде ступенчатой функции. Определены следующие закономерности: зависимость поглощённой энергии от начальной энергии импульса при различных значениях длительности импульса, зависимость положения максимума нелинейного поглощения от превышения интенсивности над пороговым значением.
- Детально изучены зависимости в изменении размеров модифицированной области с помощью изменения длительности импульса для получения требуемого результата. Рассмотрена закономерность в изменениях длины и ширины полученной модифицированной области при разных значениях длительности импульса.
- Полученные результаты могут быть использованы для расчёта фокусирующей системы при исследовании модификации материалов фемтосекундными лазерными импульсами и при изучении роли эффекта нелинейного поглощения в таких модификациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. — М.,: Высшая школа, 1985. — С. 360. — 496 с. — ISBN 978-5-9710-1474-4.
- 2 Борисова, З.У. Халькогенидные полупроводниковые стекла. — Л., ЛГУ, 1983. — 344 с.
- 3 Постников, В.С. Оптическое материаловедение : курс лекций / В.С. Постников. — Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. — 280 с. — ISBN 978-5-398-01056-5
- 4 Ахмедиев Н., Анкевич А. Солитоны, нелинейные импульсы и пучки: Пер. с англ. М.: Физматлит, 2003.
- 5 М.Н. Либенсон, Е.Б. Яковлев, Г.Д. Шандыбина ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ (силовая оптика). ИТМО.
- 6 [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Халькогенидное стекло](https://ru.wikipedia.org/wiki/Халькогенидное_стекло)
- 7 Физико-химические основы производства оптического стекла. Под ред. Л.И. Демкиной. Химия., Л. 1976.
- 8 Физико-химические основы производства оптического стекла. Под ред. Л.И. Демкиной. Химия., Л. 1976.
- 9 Никоноров Н.В., Евстропьев С.К. Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2009
- 10 Немилов С.В. Оптическое материаловедение: оптические стекла: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2011