

XXI Конференция молодых учёных ИЭФ УрО РАН



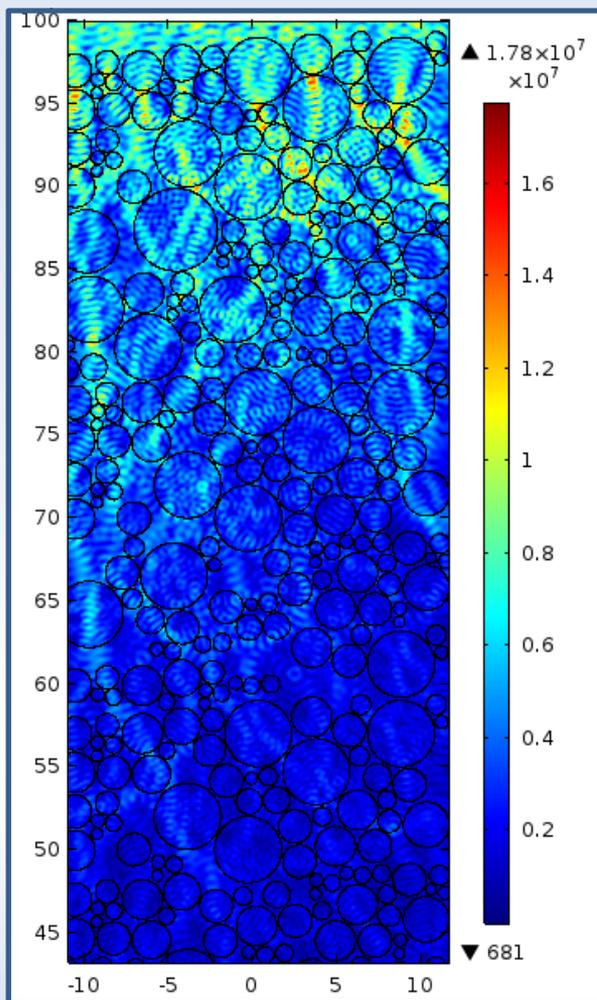
Воздействие лазерного излучения с длиной волны $\lambda=1,07 \mu\text{m}$ на прессованные порошки прозрачных оксидов

Тихонов Е.В.

16 апреля 2019г., г. Екатеринбург

Институт электрофизики УрО РАН
Лаборатория квантовой электроники
e-mail: tikhonov@iep.uran.ru

Создана модель рассеяния лазерного излучения в прозрачном пористом диэлектрике



Основные полученные положения:

В основе модели – волновое уравнение Гельмгольца $\Delta E + k^2 \varepsilon_r E = 0$

- При рассеянии лазерного излучения на частицах прессованной мишени возникают локальные максимумы, интенсивность в которых на один-два порядка выше интенсивности падающего излучения ($0,46 \text{ MW/cm}^2$)[1]

1. В.В. Осипов, В.В. Лисенков, В.В. Платонов, Е.В. Тихонов, «Квантовая электроника», 48, №3, 235-243, (2018).

- Интенсивность в локальных максимумах возрастает вместе с увеличением показателя преломления материала
- Локальный максимум интенсивности может выступать как инициатор первоначального нагрева мишени, что в дальнейшем облегчает оптический пробой и разрушение материала



Необходимо расширить модель, добавив учёт собственного поглощения материала мишени и сопоставить полученные данные с временами задержки появления лазерного факела, полученными в эксперименте

Поставленные задачи:

- 1. Экспериментально исследовать времена задержки появления лазерного факела для широкого ряда материалов с различным показателем преломления**
- 2. Расширить созданную модель, дополнив её учётом собственного поглощения исследуемых материалов**

Эксперимент по определению времени задержки появления лазерного факела от прессованной мишени из Al_2O_3

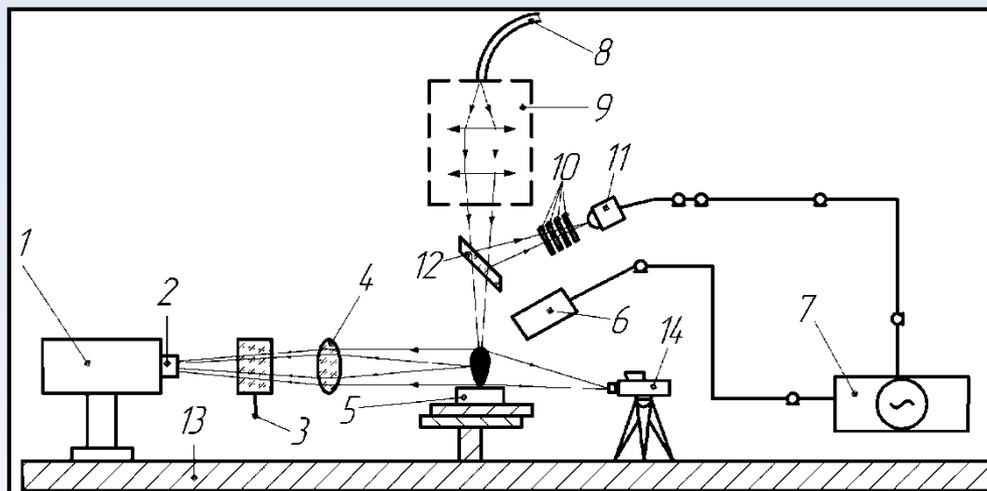
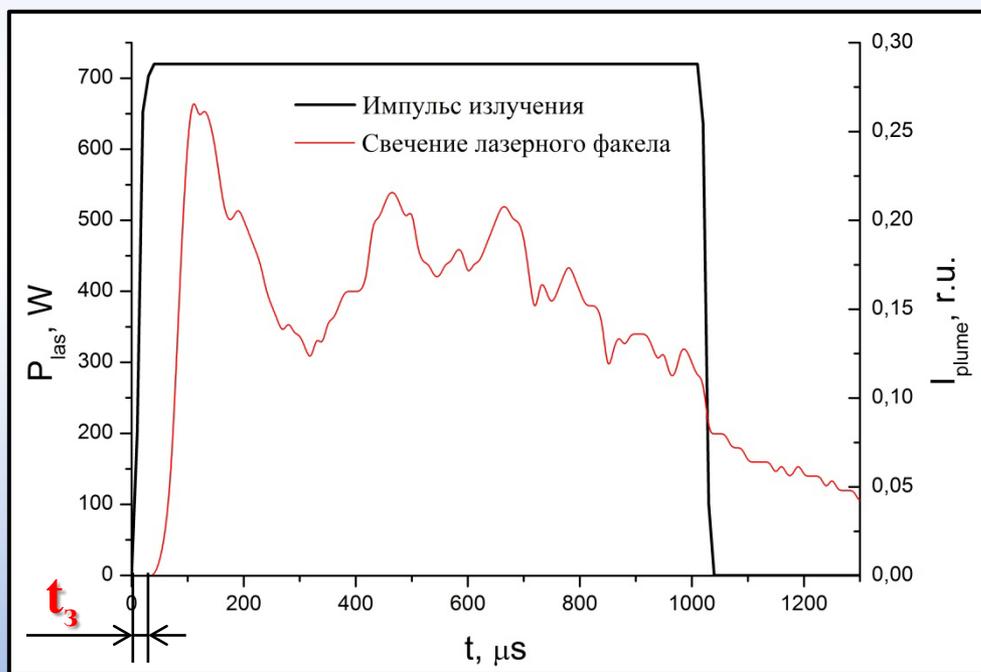
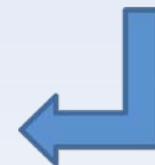


Схема экспериментального стенда для определения времени задержки появления лазерного факела

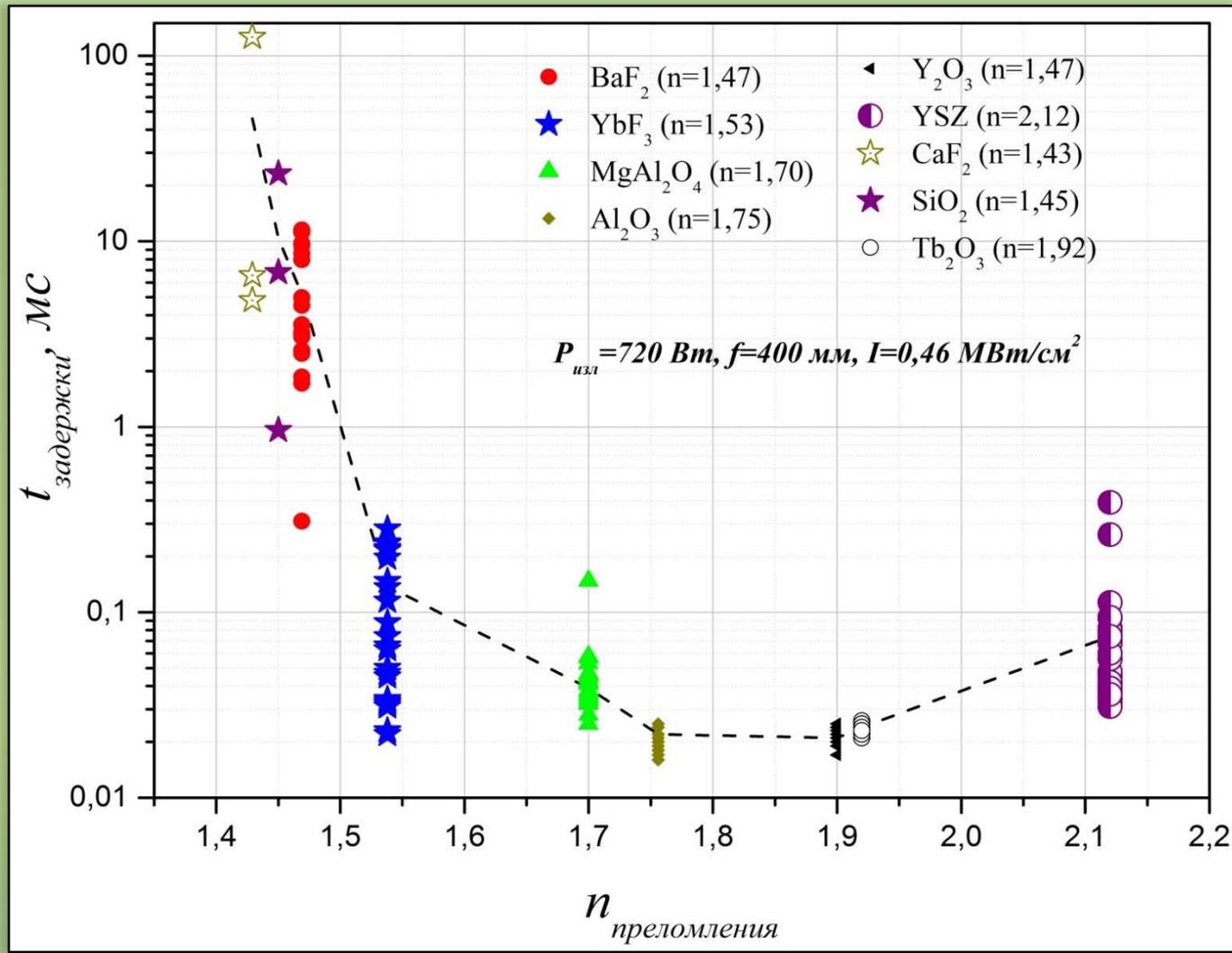


Характерная осциллограмма импульса излучения волоконного лазера ЛС-07Н и свечения лазерного факела.



Длительность импульса излучения **1 мс**
Мощность излучения **720 Вт**

Зависимость времени задержки появления лазерного факела от различных материалов от их показателя преломления



С ростом показателя преломления **возрастает интенсивность в локальных максимумах**, что приводит к более сильному нагреву и уменьшению времени задержки

Исходные данные для численного моделирования

Моделирование выполнялось при помощи программного пакета
«COMSOL Multiphysics 5.3a»

Входные параметры модели

Основные параметры излучения волоконного иттербиевого лазера ЛС-07Н

Плотность мощности излучения на мишени I _____ **0,46 МВт/см²**
Размер лазерного пятна на поверхности мишени _____ **430 μm (400 mm)**
Режим работы лазера _____ **Непрерывный**



Непрерывный волоконный иттербиевый лазер ЛС-07-Н



Математический аппарат модели

В основе разработанной модели лежит самосогласованное решение **волнового уравнения Гельмгольца** и **уравнения теплопроводности** в двумерной постановке

$$\begin{cases} \Delta E + k^2 \varepsilon_r E = 0 \\ c(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda(T) \nabla(T)) + Q_{in} \end{cases}$$

Поглощение лазерного излучения служит источником тепла в уравнении теплопроводности. Объёмная плотность мощности определяется следующим образом:

$Q_{in} = \alpha(T)I(x, y, t)$, где $I(x, y, t)$ определялось из рассчитанной структуры электромагнитного поля

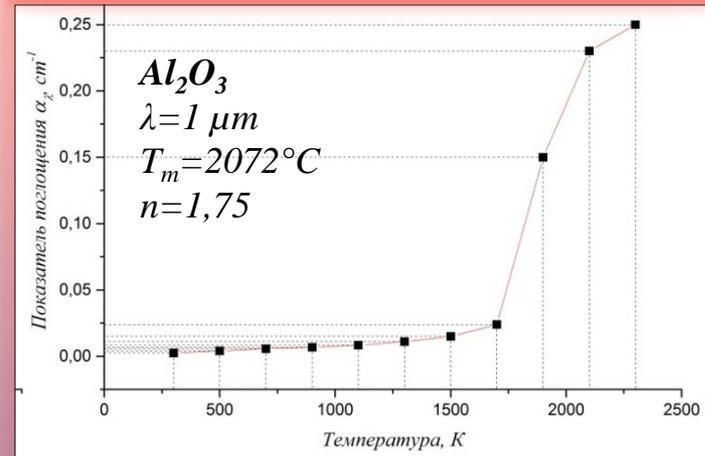
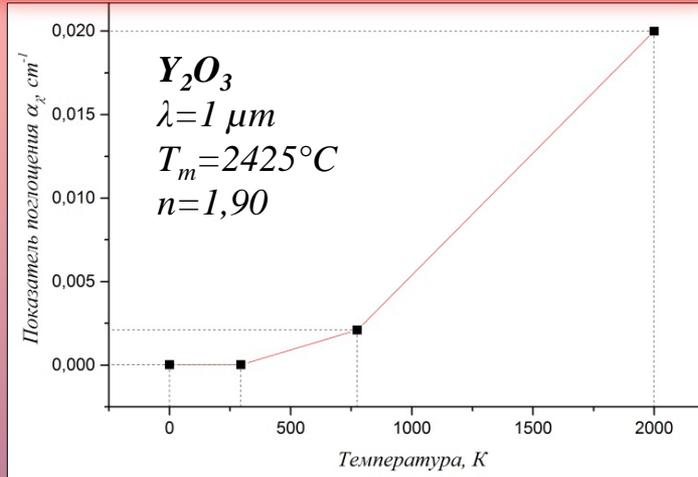
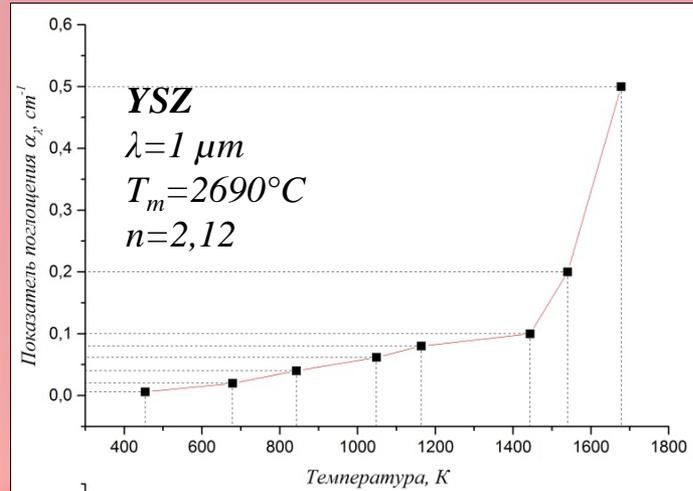
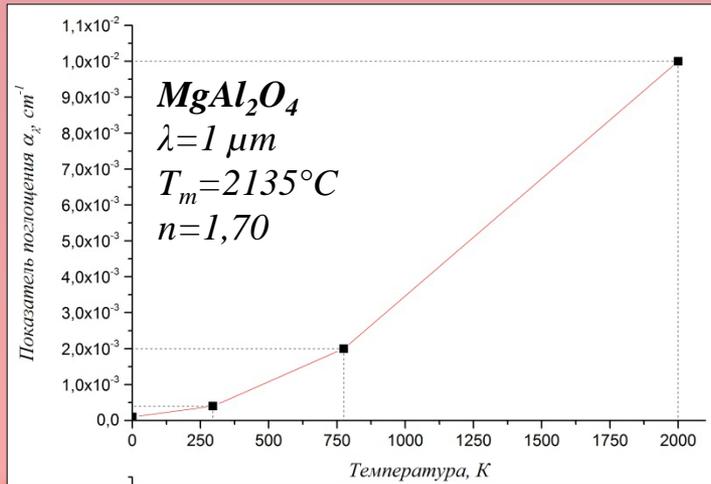
Граничные условия задачи:

$$\begin{cases} \mathbf{n} \times \mathbf{E} = \mathbf{n} \times \mathbf{E}_0 & \text{Условие сохранения тангенциальной составляющей электрического поля на границе раздела воздух-среда} \\ \mathbf{n} \times (\nabla \times \mathbf{E}) - jk\mathbf{n} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{n}) = \mathbf{0} & \text{Условие излучения Зоммерфельда, адаптированное для расчётной области конечного размера} \\ \begin{matrix} T = T_0 & \mathbf{n} \cdot \mathbf{U} < 0 \\ -\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = 0 & \mathbf{n} \cdot \mathbf{U} \geq 0 \end{matrix} & \text{Свободный тепловой поток через границы расчётной области} \end{cases}$$

Моделируемые материалы

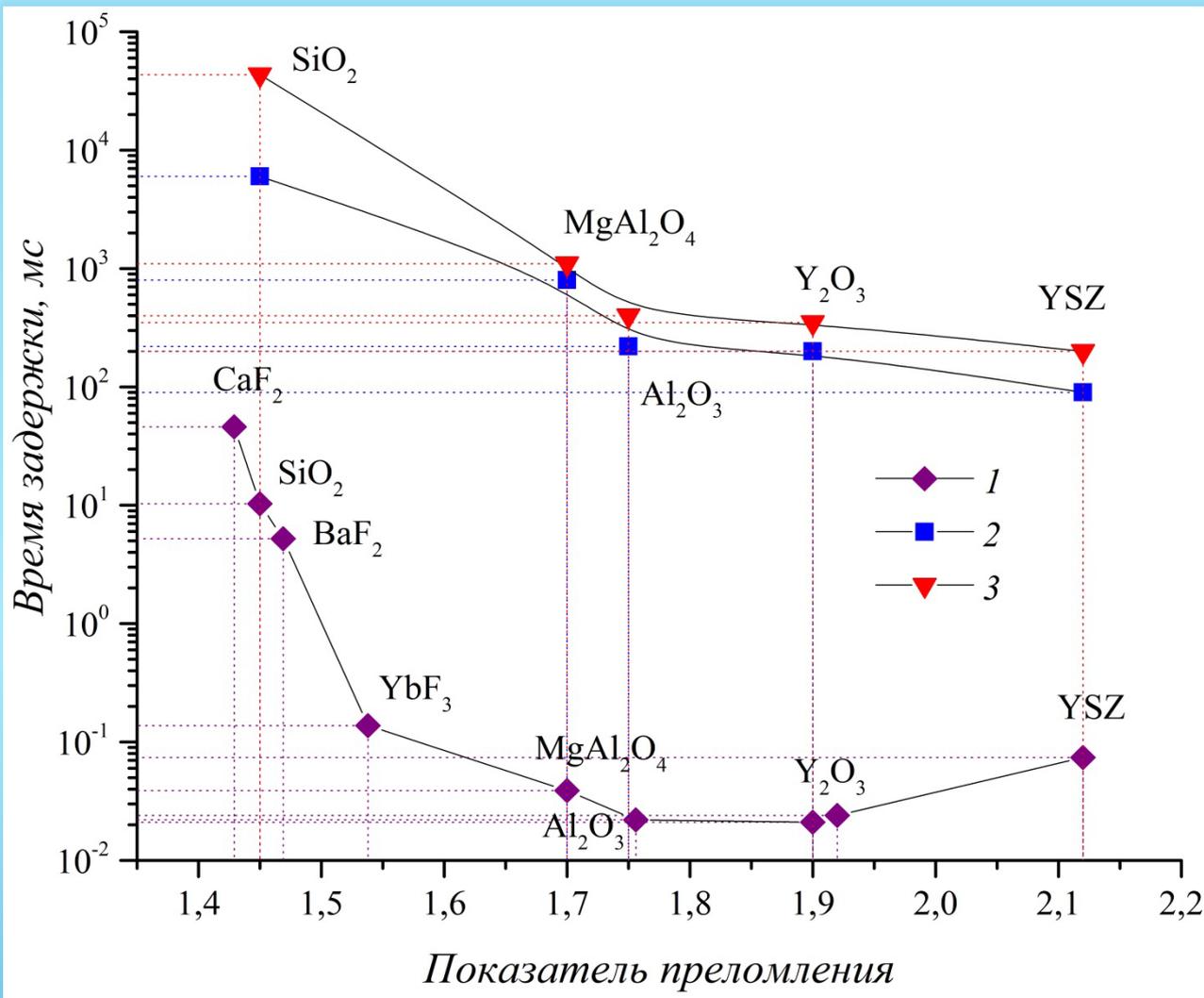
В качестве материала для моделирования были выбраны Al_2O_3 , YSZ, $MgAl_2O_4$, Y_2O_3 , SiO_2 . Причины:

1. Материалы представляют интерес для получения нанопорошков методом лазерной абляции (являются материалами для изготовления активных сред и керамических ячеек ТОТЭ)
2. Данные материалы широко известны, потому для них существует большое количество справочных данных – в частности, **температурная зависимость показателя поглощения для монокристаллов**



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

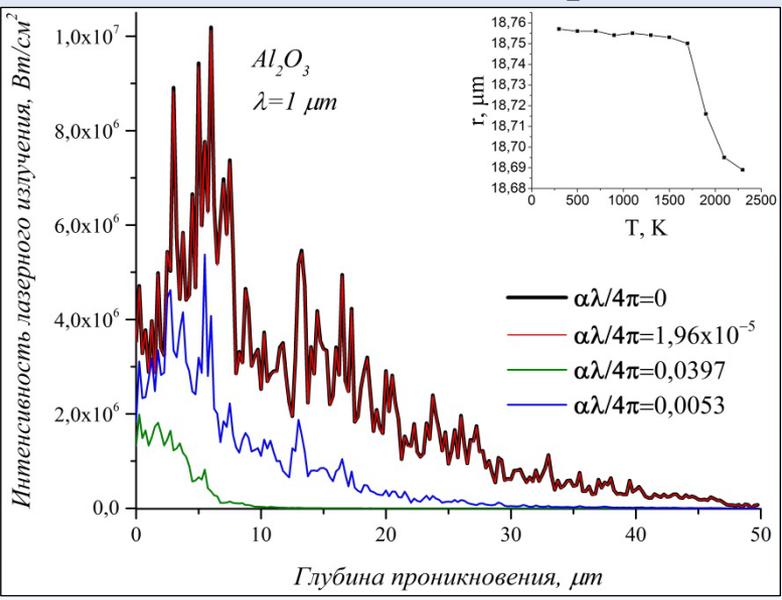
Экспериментальная и расчётные зависимости времени задержки появления лазерного факела от показателя преломления материала



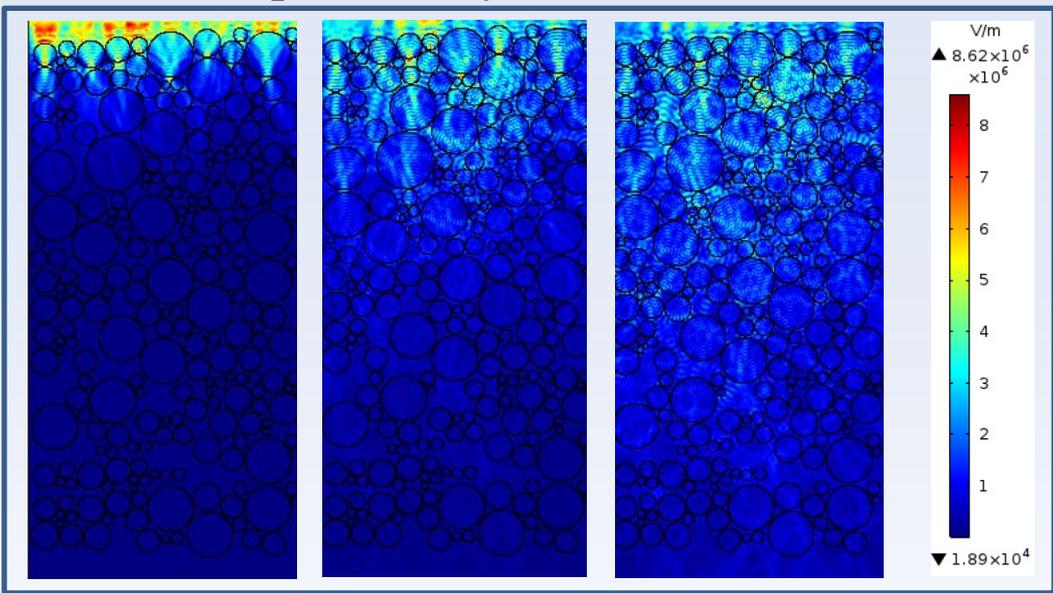
1- Экспериментальные данные
2 – Расчётные данные, полученные для порошка из монокристаллических частиц
3 – Расчётные данные, полученные для монокристалла

Температурная зависимость показателя поглощения задавалась на основе справочных данных

Исследование влияния величины показателя поглощения на распределение электромагнитного поля лазерного излучения



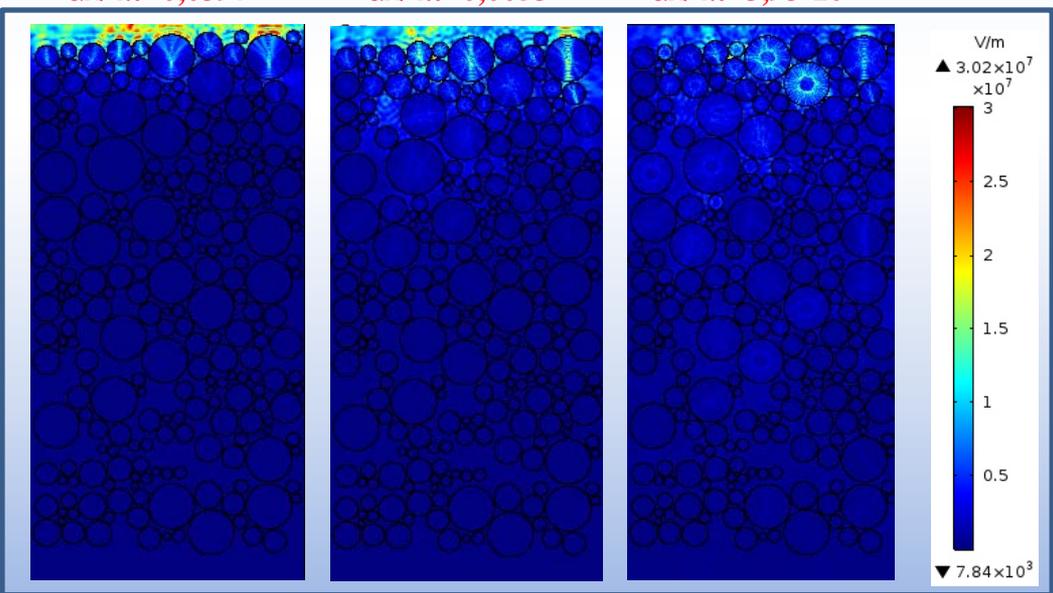
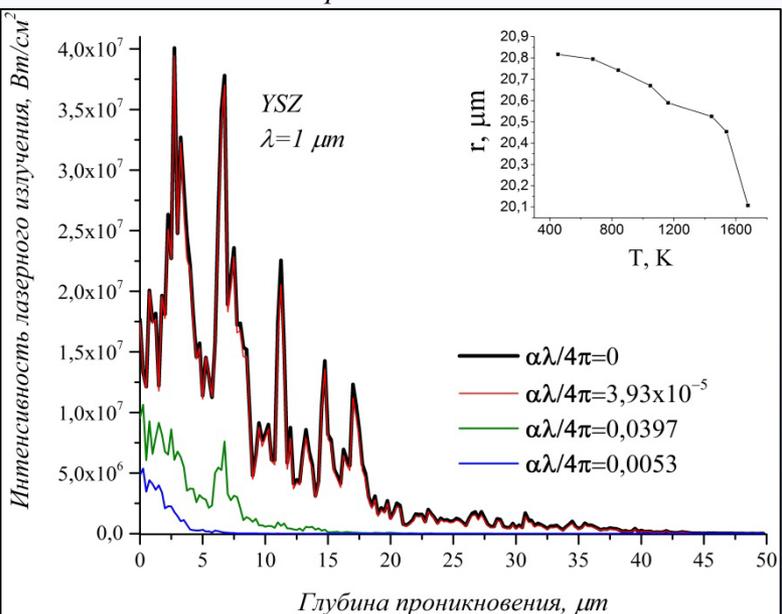
Зависимость максимальной интенсивности от глубины проникновения



$\alpha\lambda/4\pi=0,0397$

$\alpha\lambda/4\pi=0,0053$

$\alpha\lambda/4\pi=1,96 \cdot 10^{-5}$



$\alpha\lambda/4\pi=0,0397$

$\alpha\lambda/4\pi=0,0053$

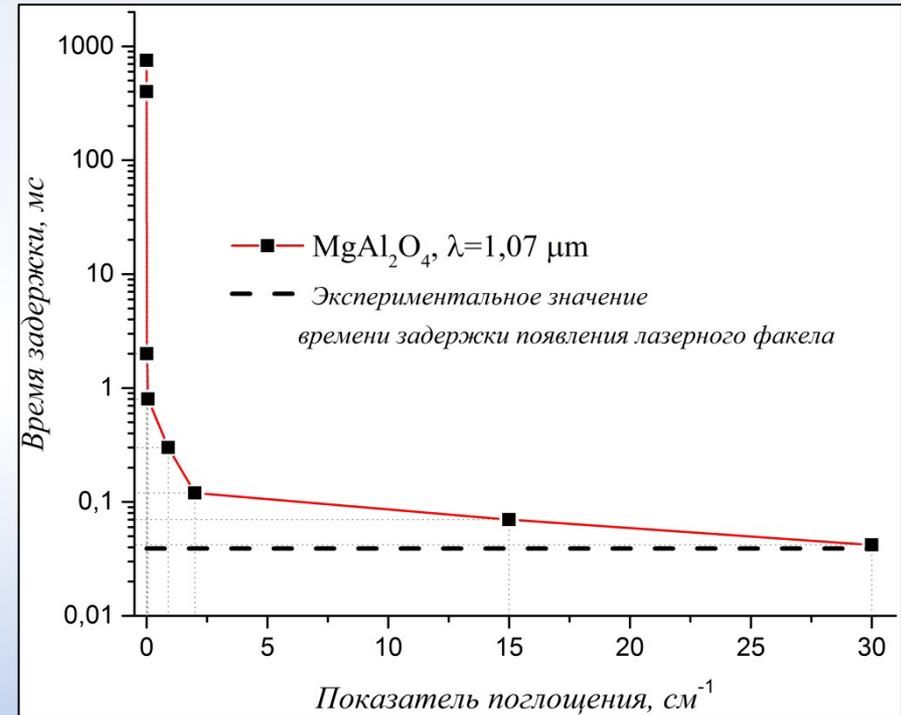
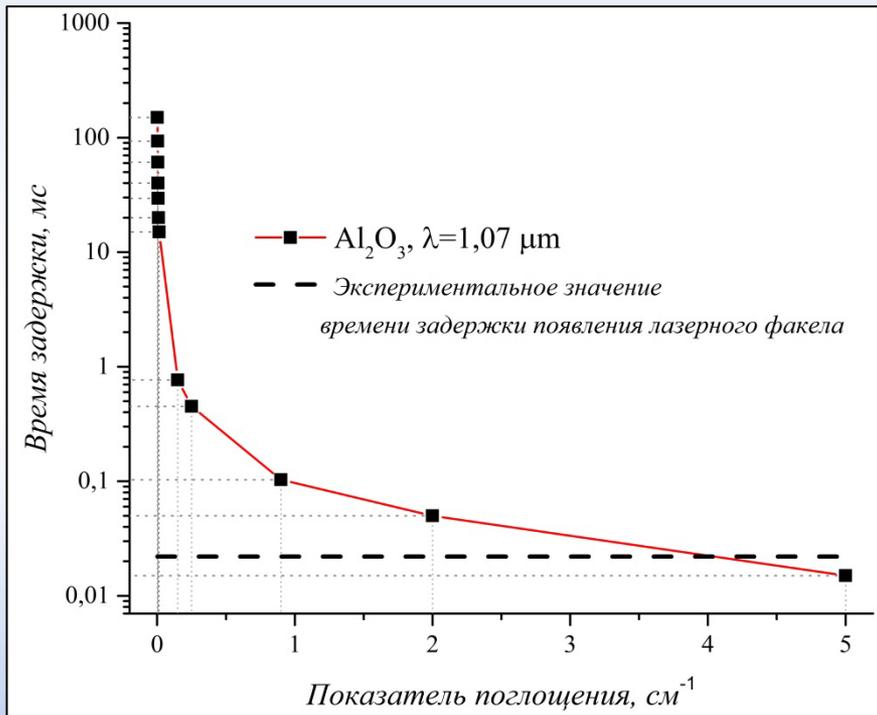
$\alpha\lambda/4\pi=3,93 \cdot 10^{-5}$

Исследование зависимости времени задержки от начального показателя поглощения материала

Аппроксимация температурной зависимости показателя поглощения в данных расчётах задавалась как:

$$\alpha(T) = \alpha_0 \cdot \exp\left(\frac{T - T_0}{T_0} \cdot \gamma\right) \quad [\text{Данилейко Ю.К., Маненков А.А., Нечитайло В.С., Прохоров А.М., Хаимов-Мальков В.Я. // ЖЭТФ. 1972. Т. 63. № 3. С. 1030–1036}]$$

где α_0 [см^{-1}] – показатель поглощения при комнатной температуре, T_0 [K] – комнатная температура, γ – коэффициент, зависящий от материала прессованной мишени



Величина α_0 пропорциональна концентрации поглощающих дефектов, величина которой растёт при нагреве материала

Выводы

1. Экспериментально и теоретически показано, что при уменьшении показателя преломления материала в условиях рассеяния излучения возрастает время задержки появления лазерного факела
2. Принципиально важно, что реальные порошковые частицы имеют существенно больший показатель поглощения, чем монокристаллические частицы. Причина этого факта пока остаётся вопросом дальнейших исследований – на наш взгляд, это может быть связано с работой нелинейных механизмов поглощения, например, многофотонного поглощения. Кроме того, множество дефектов, содержащихся в мишени, также образуют дополнительные уровни в запрещённой зоне материала, достаточно существенно увеличивая его собственное поглощение.

Спасибо за внимание!

