

УДК 535.015

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОКУСИРОВКИ ЧИРПИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСОВ В ОБЪЕМ КРЕМНИЯ

Львов К.В. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Стремоухов С.Ю.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

В работе численно исследуется влияние чирпа лазерного излучения на увеличение нелинейного поглощения в фокальной области, способствующее созданию микромодификаций в объеме Si. Определено оптимальное значение чирпа лазерного излучения (+ 10000 фс<sup>2</sup>) для достижения максимального нелинейного поглощения.

**Введение.** Проблема достижения экстремальных лазерных полей и плотности свободных электронов с целью микроструктурирования объемных полупроводников является актуальной в настоящее время. Во многом этому способствует создание новых мощных лазеров в среднем инфракрасном диапазоне. Возможность создания объемных микромодификаций внутри Si с использованием пикосекундных лазерных импульсов с длиной волны 2 мкм была недавно продемонстрирована. Были сформулированы некоторые ограничения на длительность лазерных импульсов и числовую апертуру пучка, которые позволяют снизить нелинейное поглощение лазерного излучения в префокальной области и обеспечить доставку в фокальную область энергии, необходимой для микроструктурирования объема. Такие пикосекундные импульсы не ограничены спектрально, и разность фаз между спектральными компонентами может влиять на распространение импульса. В данной работе численно исследуется роль чирпа импульса в преодолении нелинейной делокализации лазерной энергии в объеме Si. В расчетах использовались лазерные импульсы с длиной волны 1,24 мкм и длительностью от 120 фс (спектрально ограниченные) до 400 фс (чирпированные как положительно, так и отрицательно) с энергией 1 мкДж.

**Основная часть.** Для моделирования распространения лазерных импульсов в объеме Si было использовано уравнение однонаправленного распространения импульса (UPPE), которое описывает дифракцию, самофокусировку (благодаря наличию керровской нелинейности), дисперсию, дефокусировку и поглощение в генерируемой электронной плазме. Фотоионизация описывается формулой Келдыша и вместе с лавинной ионизацией включается в многоуровневую модель ионизации, которая позволяет рассчитать динамику плотности свободных электронов.

Расчеты показывают немонотонную зависимость нелинейного поглощения от чирпа импульса. Максимальное значение 0,90 достигается при положительном чирпе 10000 фс<sup>2</sup>, что соответствует длительности импульса около 150 фс. Уменьшение чирпа приводит к примерно прямо пропорциональному уменьшению нелинейного поглощения. Напротив, для положительного чирпа, превышающего оптимальное значение, поглощенная энергия импульса уменьшается быстрее. Такое поведение связано с сильной делокализацией лазерной энергии в префокальной области. Для более длительных импульсов преобладает механизм лавинной ионизации, что, как показывают расчеты, приводит к образованию более плотной электронной плазмы. Это приводит к сильному нелинейному поглощению в префокальной области. Смещение максимума поглощенной энергии импульса в сторону положительного чирпа можно объяснить уменьшением разности фаз между различными спектральными составляющими из-за совместного действия керровской и плазменной нелинейностей. Также показано, что при облучении среды парой импульсов, разделенными во времени, нелинейное поглощение второго импульса возрастает до 0,94.

**Выводы.** Было проведено исследование фокусировки лазерного излучения в объеме Si и влияние чирпа на нелинейное поглощение в фокальной области. Определено оптимальное

значение чирпа  $+ 10000 \text{ фс}^2$ , что соответствует длительности импульса 150 фс, для достижения максимального нелинейного поглощения 0.90 для одиночного импульса. Облучение среды парой импульсов позволяет незначительно увеличить нелинейное поглощение (до 0.94).

Львов К.В. (автор)

\_\_\_\_\_

Стремоухов С.Ю. (научный руководитель)

\_\_\_\_\_