

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 ($+ 10000 \text{ фс}^2$) 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^2 , 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 chirpa + 10000 фс², 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)
