

ДИФРАКЦИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Князев Б.А.^{1,2}, Чопорова Ю.Ю.^{1,2}, Герасимов В.В.^{1,2}, Власенко М.Г.^{1,2},
Павельев В.С.^{3,4}, Володкин Б.О.⁴, Агафонов А.Н.⁴, Тукмаков К.Н.⁴,
Кавеев А.К.⁵, Кропотов Г.И.⁵, Цыганкова Е.В.⁵

¹Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия

⁴Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика

С.П. Королева, Самара, Россия

⁵ЗАО «Тидекс», Санкт-Петербург, Россия

Созданы и исследованы кремниевые элементы дифракционной оптики терагерцового диапазона - бинарные линзы Френеля и дифракционные делители пучка. Проведены экспериментальные исследования энергетической эффективности и лучевой стойкости элементов при работе с высокоэнергетическими пучками Новосибирского лазера на свободных электронах (NovoFEL). Исследовано влияние полимерного антиотражающего покрытия, нанесенного на поверхность кремниевого элемента, на энергетическую эффективность элементов.

Использование дифракционных оптических элементов (ДОО) на основе кремния является одним из наиболее перспективных методов управления излучением терагерцового диапазона. Важным преимуществом кремниевых элементов является их высокая лучевая стойкость (в отличие от элементов на основе полимеров, например, полипропилена), что дает возможность работать с высокоэнергетическими пучками излучения. В настоящее время существует ряд приложений, требующих управления пучками терагерцового излучения. К ним можно отнести голографию, интерферометрию, абляцию поверхности, задачи материаловедения, и некоторые более специфичные для терагерцового диапазона приложения, например, ионизацию отдельных атомов. В данной работе описаны два типа элементов: кремниевая бинарная (двухуровневая) дифракционная линза и кремниевый делитель пучка. Данные элементы были рассчитаны и изготовлены в СГАУ (г. Самара), ЗАО «ТИДЕКС» (г. Санкт-Петербург) и ИСОИ РАН (г. Самара). Экспериментальное исследование оптических характеристик полученных элементов проводилось с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах (NovoFEL) в НИИЯФ имени Г.И. Будкера (г. Новосибирск). Параметры лазерного излучения приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметр	Значение	Ед. изм.
Длительность импульса	100	пс
Частота повторения импульсов	5,6	МГц
Радиус пучка	9	мм
Мощность излучения	50-100	Вт
Длина волны	141	мкм
Распределение интенсивности	гауссово	

Для получения информации о распределении интенсивности в пучке, прошедшем через исследуемый элемент, была использована матрица микроболометров размерами 320x240 элементов, перемещающаяся вдоль оптической оси.

В первом эксперименте была исследована бинарная (двухуровневая) дифракционная линза с диаметром апертуры 30 мм со следующими расчетными параметрами - фокусное расстояние $f=120$ мм, расчетная длина волны $\lambda=130$ мкм. Зоны Френеля были получены плазмохимическим травлением поверхности высокоомной кремниевой пластины толщиной 1 мм. Были обнаружены два фокуса на расстояниях 121 и 42 мм, что находится в очень хорошем согласии с расчетными значениями. После нанесения антиотражающего покрытия (Parilene C, показатель преломления $n=1,63$) измеренная энергетическая эффективность составила 40% для главного фокуса и 3,6% для второго фокуса. Фотография линзы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Фотография бинарной линзы Френеля

Во втором эксперименте были исследованы оптические характеристики делителя пучка (рис. 2.) с диаметром апертуры 30 мм, который представлял из себя дифракционную решетку с прямоугольным профилем, выполненную на пластине высокоомного кремния методом плазмохимического травления. Излучение, прошедшее через делитель пучка фокусировалось на микроболометрической матрице с помощью линзы из полиметилпентена (TPX) с фокусным расстоянием 50 мм. Как и в случае с линзой Френеля, на обе стороны делителя пучка наносилось антиотражающее покрытие. Результаты экспериментального исследования делителя пучка находятся в хорошем соответствии с результатами численного моделирования.



Рис 2. Фотография делителя пучка

Проведенные эксперименты показали возможность использования кремниевых дифракционных элементов в различных приложениях, требующих управления излучением терагерцового диапазона высокой мощности.