

## ТЕРАГЕРЦЕВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

## Моделирование выходных зеркал терагерцевых лазеров на основе кольцевых градиентных структур

М.И.Дзюбенко, В.А.Маслов, Е.Н.Одаренко, В.П.Радионон

*Обосновано использование градиентных периодических структур, размещенных на плоской подложке и состоящих из концентрических металлических колец с изменяющимися в радиальном направлении параметрами, в качестве выходных зеркал терагерцевых лазеров. С помощью компьютерного моделирования показано, что при определенном изменении параметров такая структура имеет свойства вогнутого зеркала и фокусирующей линзы, что важно для выходных зеркал лазеров терагерцевого диапазона.*

**Ключевые слова:** терагерцевый диапазон, азимутальная поляризация, градиентная решетка, выходное зеркало лазерного резонатора.

Градиентные периодические структуры [1–6], параметры которых изменяются в одном или в нескольких направлениях, могут изменять амплитудные, фазовые и поляризационные свойства взаимодействующего с ними электромагнитного излучения, что может использоваться в различных областях техники. Одним из перспективных применений таких структур является лазерная техника, где в качестве выходных зеркал терагерцевых (ТГц) лазеров традиционно используются различные периодические структуры. В частности, перспективной является периодическая структура в виде концентрических металлических колец, позволяющая получать лазерное излучение с азимутальной поляризацией, при которой вектор напряженности электрического поля перпендикулярен радиусу пучка [7]. В этой работе также обоснованы полезные свойства азимутальной поляризации и обнаружено, что выходное зеркало, более прозрачное в центральной части, позволяет повысить эффективность лазерной генерации. Кроме того, к существенному повышению эффективности ТГц-лазеров приводит снижение дифракционных потерь в резонаторе, чего можно достичь применением вогнутых зеркал, которые, однако, гораздо сложнее в изготовлении, чем плоские зеркала. Следовательно, перспективными являются плоские градиентные структуры, обладающие фокусирующими свойствами. Цель настоящей работы заключается в разработке и моделировании плоских периодических структур, которые при воздействии на них азимутально поляризованного лазерного

излучения обладают свойствами вогнутых зеркал и фокусирующих линз.

Особенностью периодических структур является то, что они вносят фазовый сдвиг в электромагнитную волну, величина которого зависит от параметров структуры [8]. Предложенная нами кольцевая градиентная периодическая структура [9] (рис. 1,а) состоит из концентрических металлических колец, расположенных на плоской прозрачной подложке. Параметры такой решетки изменяются в радиальном направлении, что приводит к изменению кривизны фазового фронта отраженных и прошедших сквозь решетку электромагнитных волн. Разработана методика моделирования таких изменений. При моделировании считается, что кольцевая решетка состоит из отдельных секторов, в которых проводники параллельны. Для расчета используются два диаметрально противоположных сектора, и условно считается, что длина проводников не ограничена (рис. 1,б). Это дает возможность с помощью апробированной методики расчета решеток, состоящих из параллельных проводников, определить фазовые изменения в диаметрально направлении.

Нами рассмотрена решетка диаметром 4 мм, состоящая из 21 металлического кольца шириной 20 мкм и толщиной 0.5 мкм, которые находятся на кварцевой подложке (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 4.5$ ) толщиной

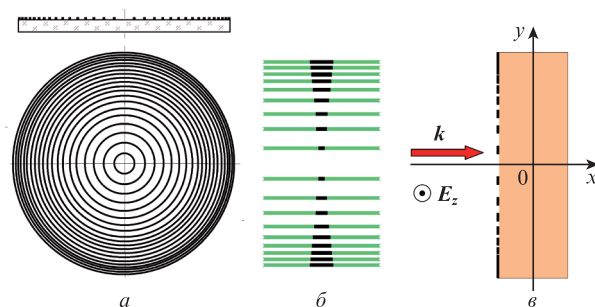


Рис. 1. Градиентная кольцевая решетка (а), модель для расчета, построенная на базе двух диаметрально противоположных секторов (б), и схема падения плоской монохроматической волны на градиентную решетку (в).

**М.И.Дзюбенко, В.П.Радионон.** Институт радиофизики и электроники им. А.Я.Усикова НАНУ, Украина, 61085 Харьков, ул. Ак. Проскуры, 12; e-mail: mid41@ukr.net, dzyubenko41@mail.ru  
**В.А.Маслов.** Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, Украина, 61022 Харьков, пл. Свободы, 4; e-mail: v.a.maslov@karazin.ua  
**Е.Н.Одаренко.** Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, 61000 Харьков, просп. Науки, 14; Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, Украина, 61022 Харьков, пл. Свободы, 4; e-mail: e.n.odarenko@gmail.com

Поступила в редакцию 21 ноября 2018 г., после доработки – 17 января 2019 г.