

## ВОЛНОВОДНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ С УПРАВЛЯЕМОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

Представлено новое оптическое устройство, трансформирующее монохроматический световой пучок в 16 параллельных пучков одинаковой интенсивности. Вводной и выводные элементы делителя выполнены в виде волноводных голограмм в халькогенидных слоях. Делитель позволяет устанавливать стабилизированные уровни интенсивности выведенных пучков. Предлагаемое устройство может быть использовано в системах адаптивной оптики и при создании оптических трехмерных интегральных схем. На его основе возможна реализация устройств отображения информации, альтернативных широко применяющимся жидкокристаллическим дисплеям.

Поиск путей повышения производительности существующих компьютеров и успехи в развитии микрооптических и микромеханических технологий стимулировали разработку оптоэлектронных устройств параллельной обработки информации. Так, в [1] предложен способ построения интегрально-оптической микросхемы ассоциативной памяти. Показано, что микросхема может быть изготовлена в виде многослойной тонкопленочной структуры, элементы которой объединены трехмерной коммуникационной сетью оптических межсоединений. Для реализации оптических связей могут быть использованы делители и интеграторы световых пучков на основе планарных волноводов и волноводных голограмм.

Как один из возможных элементов такой сети ранее был разработан планарный волноводный дифракционный делитель, преобразующий монохроматический световой луч в 16 пучков одинаковой интенсивности [2, 3]. Делитель состоит из планарного волновода и расположенных на нем вводной и выводных дифракционных решеток рельефного типа с асимметричным профилем штриха. Период решеток рассчитан таким образом, что ввод и вывод излучения осуществляются в первом порядке дифракции, а входной и выходные пучки распространяются ортогонально поверхности волновода.

Существенным недостатком вышеназванного устройства является его низкая эффективность, что обусловлено в основном природой дифракции на тонкой рельефной решетке. Такая решетка выводит энергию волноводной моды в обе прилегающие к волноводу среды, т. е. используется лишь около половины выведенной энергии. Проведенные нами исследования способов повышения эффективности делителя привели к созданию принципиально нового устройства, обладающего однонаправленным выводом и новыми

функциональными возможностями. В данной работе приводятся описание конструкции и исследование характеристик этого устройства.

В основу принципа работы однонаправленного управляемого делителя положено интерференционное сложение световых пучков, выведенных дифракционной решеткой в полупространство над волноводом и через подложку. Схематическое изображение предлагаемого устройства представлено на рис. 1. Основным элементом конструкции является волноводный дифракционный делитель, состоящий из планарного волновода и расположенных на нем одной вводной и 16 выводных дифракционных решеток. Использовались планарные волноводы, полученные диффузией ионов серебра в подложку из оксидного стекла [2, 3].

Вводной и выводные элементы делителя представляют собой тонкие дифракционные решетки рельефного типа с асимметричным профилем штриха. Процесс изготовления дифракционных решеток включает вакуумное напыление на поверхность волновода светочувствительных пленок трисульфида мышьяка, экспонирование этих пленок интерференционной картиной скрещенных пучков аргонового лазера и селективное травление в растворах. Период решеточных структур составляет 0,42 мкм, вводная решетка имеет размеры  $1 \times 1$  мм, вводные элементы шириной 0,2 мм располагаются на расстоянии 0,7 мм. Следует отметить, что размеры дифракционных решеток делителя могут быть значительно уменьшены (до размеров матричных фотоприемных элементов, получаемых по кремниевой технологии). Расчет и изготовление дифракционных решеток подробно описаны в [2, 3].

Однонаправленность вывода энергии обеспечивается за счет применения высокоотражающего зеркала, суммирующего световые пучки, дифрагированные выводными решетками в воздух и через подложку. Зеркало устанавливается на пьезокорректоре параллельно волноводной поверхности, как показано на рис. 1. Изменяя напряжение, подаваемое на пьезокорректор, можно регулировать оптическую разность хода интерферирующих пучков и изменять интенсивность выведенных пучков.

Дифракционная рельефная решетка с синусоидальным профилем штриха выводит излучение волноводной моды в обе прилегающие к волноводу среды с интенсивностями пучков, пропорциональными показателям пре-

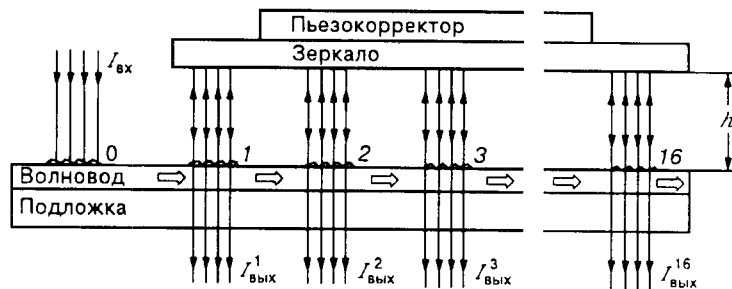


Рис. 1. Принципиальная схема предлагаемого устройства:

0 – вводная; 1, 2, 3, ..., 16 – выводные решетки;  $I_{\text{вх}}$  – интенсивность входного пучка;  $I_{\text{вых}}^i$  – интенсивность выведенного  $i$ -го светового пучка ( $i = 1, 2, \dots, 16$ ); стрелками указано направление распространения света

ломления этих сред [4]. Варьируя форму профиля штриха, можно добиться перераспределения выведенной энергии и выровнять интенсивности всех интерферирующих световых пучков, сделав их равными  $I_0$ . Тогда интенсивность выведенных пучков в минимумах будет равна нулю, а в максимумах —  $4I_0$ .

Для экспериментальной проверки предложенной конструкции был собран макет однонаправленного управляемого делителя (см. рис. 1). Изменением напряжения, подаваемого на мембранный пьезокорректор, на 3 В осуществлялся сдвиг зеркала на 0,3 мкм. Интенсивность  $I_{\text{вых}}^i$  любого из выведенных световых пучков измерялась по обычной модуляционной методике. В качестве источника излучения использовался He-Ne-лазер (длина волны  $\lambda = 0,6328$  мкм). Погрешность измерений, определяемая флуктуациями интенсивности излучения лазера и рассеянным световым фоном, составила около 5 %. На рис. 2 представлена кривая зависимости интенсивности одного из выведенных световых пучков  $I_{\text{вых}}^i$  от расстояния между поверхностями волновода и зеркала  $h$ . В эксперименте не определялось начальное расстояние до зеркала  $h_0$ , поэтому снятые экспериментальные данные были наложены на график функции  $4I_0 \sin^2 [2\pi(h - h_0)/\lambda]$  с наилучшим совпадением. Как видно на рис. 2, в минимумах кривой интенсивность не превышает погрешности измерений, а в максимумах — с такой же точностью равна  $4I_0$ . Время срабатывания делителя определялось характеристиками пьезокорректора и составляло 100 мкс. Применение ферроэлектрических жидких кристаллов для модуляции интенсивности выходных пучков позволит увеличить быстродействие устройства до 100 кГц.

Таким образом, продемонстрирована возможность создания однонаправленного управляемого делителя светового пучка. Изменение напряжения на несколько вольт позволяет изменять интенсивность выведенных пучков от нулевой до максимальной. Необходимо отметить, что в таком устройстве можно осуществить стабилизацию интенсивностей выходных пучков во времени, избавиться от флуктуаций интенсивности входного пучка и от других временных нестабильностей схемы и окружающей среды.

В течение последних нескольких лет интенсивно развиваются технологии микрооптоэлектронно-механических систем (МОЭМС). Появились сообщения о реализации линеек и матриц управляемых зеркал микронных

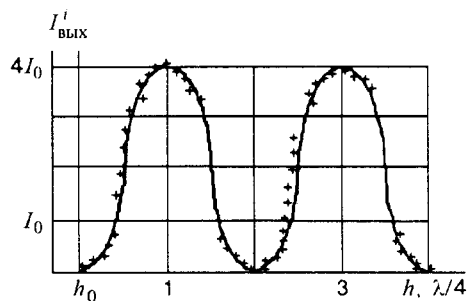


Рис. 2. График зависимости интенсивности  $i$ -го выведенного светового пучка  $I_{\text{вых}}^i$  от величины воздушного зазора  $h$ :

$I_0$  — интенсивность любого из выведенных пучков в отсутствие зеркала;  $h_0$  — начальное расстояние между поверхностями зеркала и волновода; + — экспериментальные данные

размеров [5–7]. Заменяв в предложенном нами устройстве зеркало с пьезокорректором линейкой таких зеркал, можно добиться управления каждым отдельно взятым выведенным световым пучком. Реализация поэлементного управления резко снижает требования к технологии изготовления дифракционных элементов делителя, поскольку появляется возможность изготовить все дифракционные решетки в одном цикле и установить интенсивность выведенных пучков по уровню, соответствующему выводной решетке с наименьшей дифракционной эффективностью. На основе делителя с поэлементным управлением может быть реализован матричный источник управляемых световых пучков, совмещающий в одном устройстве функции делителя и управляемого транспаранта. Применение управляемого матричного источника позволит значительно упростить конструкцию трехмерной оптической интегральной схемы ассоциативной памяти за счет сокращения числа слоев многослойной тонкопленочной структуры. Кроме того, управляемый матричный источник может быть элементом МОЭМС в устройствах адаптивной оптики, и на его основе возможна реализация устройств отображения информации, альтернативных широко применяющимся жидкокристаллическим дисплеям.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-15-98219).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козик В. И., Твердохлеб П. Е. 3-D оптические интегральные схемы ассоциативной памяти // Автометрия. 1993. № 3. С. 44.
2. Каменев Н. Н., Наливайко В. И. Дифракционные демультимплексоры для трехмерных интегрально-оптических схем // Там же. С. 114.
3. Kamenev N. N., Nalivaiko V. I. Planar waveguide diffractive beamsplitter for three-dimensional integrated optics // Proc. SPIE. 1994. 2025. P. 373.
4. Авруцкий И. А., Свахин А. С., Сычугов В. А. Высокоэффективный решеточный элемент связи // ЖТФ. 1989. 59, вып. 7. С. 61.
5. Clark R. L., Karpinsky J. A., Hammer J. A. et al. Micro-opto-electro-mechanical (MOEM) adaptive optic system // Proc. SPIE. 1997. 3008. P. 12.
6. Gustafson S. C., Little G. R., Burns D. M. et al. Micro-actuated mirrors for beam steering // Ibid. P. 91.
7. Gessner T., Dotzel W., Billep D. et al. Silicon mirror arrays fabricated by using bulk- and surface-micromatching // Ibid. P. 296.

*Поступила в редакцию 29 мая 1998 г.*