

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чихман В. Н., Макаревич А. В., Першин Ж. А., Гехман Б. И. Работа ЭВМ «Днепр-21» в реальном масштабе времени в физиологическом эксперименте.— Физиол. журн. СССР, 1974, т. X, № 4.
2. Иванов К. П., Клещев А. С. Биологический вычислительный центр.— Л.: Наука, 1975.
3. Автоматизация экспериментальных физиологических исследований: Сб. науч. тр. Вып. 2.— Л.: Наука, 1977.
4. Дудкин К. Н., Гаузьельман В. Е. Автоматизация нейрофизиологического эксперимента.— Л.: Наука, 1979.
5. Чихман В. Н. Ввод в ЭВМ импульсной активности нейронов с цифровой адаптацией.— Упр. сист. и маш., 1975, № 1.
6. Чихман В. Н. Система ввода-вывода речевых сигналов на ЭВМ М4030 для экспериментальных исследований восприятия речи.— Упр. сист. и маш., 1979, № 2.
7. Чистович Л. А., Чихман В. Н., Огородникова Е. А. Новый подход к определению фонетической близости стимулов и его проверка в автоматизированном эксперименте.— Физиол. журн. СССР, 1981, т. XVII, № 5.
8. Жаков М. Л., Першин Ж. А., Солнушкин С. Д., Чихман В. Н. Организация многомашиного комплекса для автоматизации лабораторных исследований.— Упр. сист. и маш., 1984, № 1.
9. Данилов Ю. П., Жаков М. Л., Солнушкин С. Д. и др. Автоматизация электрофизиологического эксперимента.— Упр. сист. и маш., 1984, № 4.
10. Солнушкин С. Д., Чихман В. Н. Вывод информации из ЭВМ на графопостроитель РДД-1.— ПТЭ, 1985, № 5.
11. Солнушкин С. Д., Чихман В. Н., Шупляков В. С. Автоматизация электрофизиологических исследований слухового анализатора: Сб. трудов I Международной школы «Автоматизация биотехнологических процессов и биологических экспериментов». Варна, 1984.
12. Гехман Б. И., Равкин И. А., Темов В. Л. Кросс-система для микроЭВМ «Электроника ДЗ-28».— Электрон. техника. Сер. Экономика и системы управления, 1984, вып. 3 (52).
13. Домарацкий А. Н., Каширин А. В., Костяева О. В. и др. Система автоматизации физиологических исследований.— Л., 1985.— (Препринт/АН СССР, ЛНИ ВЦ).
14. Костяев О. В., Суворов Н. Ф., Сурма С. В., Шуваев В. Т. Исследование сложных форм поведения при использовании системы автоматизации на базе микроЭВМ «Электроника-60» и технических средств КАМАК.— Л., 1985.— (Препринт/АН СССР, ЛНИ ВЦ).
15. Велихов Е. П., Выставкин А. Н. Проблемы развития работ по автоматизации научных исследований.— Упр. сист. и маш., 1984, № 4.
16. Нестерихин Ю. Е., Золотухин Ю. Н., Лившиц З. А. Автоматизация: итоги десятилетия.— Автометрия, 1984, № 4.
17. Гусев О. З., Золотухин Ю. Н., Прохожев О. В., Ян А. П. Базовые конфигурации систем «МикроКАМАКлаб».— Автометрия, 1984, № 4.

*Поступило в редакцию 13 декабря 1985 г.*

УДК 621.372.029.7

А. В. КАЗАКЕВИЧ, В. Ф. ЛАМЕКИН, А. В. МИРОНОС,  
В. Л. СМИРНОВ

(Москва)

### ВОЛНОВОДНЫЕ ГОЛОГРАММЫ НА СОСТАВНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУРАХ

Один из перспективных методов оптической обработки информации (ООИ) — обработка непосредственно в тракте оптического волновода [1]. К основным преимуществам интегрально-оптических (ИО) устройств для ООИ относятся более высокое быстродействие, меньшая энергоёмкость по сравнению с электронными процессорами, а также большая помехозащищённость и компактность по сравнению с объёмными оптическими аналогами [2, 3]. Важными элементами ИО-процессоров являются волноводные линзы и волноводные голограммы (ВГ) [4, 5].

Данная работа посвящена изучению пространственно-угловой селективности и связанной с ней оптимизации записи ВГ.

На рис. 1 представлена структура, состоящая из волновода с нанесённым на него фоточувствительным слоем (халькогенидные стекла, фотополимер). Считаем, что такая структура для формирования ВГ наиболее универсальна и перспективна с точки зрения практического использования, поскольку позволяет создавать волноводные процессоры на волноводных структурах из любых диэлектрических и полупроводниковых материалов. Более того, такая структура даёт возможность использовать запись как внешними пучками (подобную голограмме Нассенштейна и го-

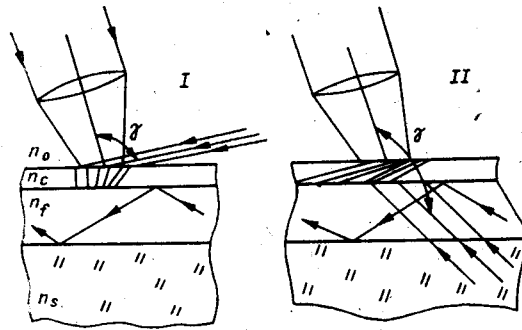


Рис. 1. Формирование ВГ в геометрии попутных I и встречных II пучков на составной волноводной структуре:

$n_0, n_c, n_f, n_s$  — показатели преломления воздуха, фоточувствительного слоя, волновода и подложки соответственно;  $\gamma$  — угол между записываемыми лучами

записи, корректируются автоматически при считывании в тракте волновода. Толщина фоточувствительного слоя выбирается, исходя из соотношения показателей преломления фоточувствительного  $n_c$  и волноводного  $n_f$  слоев. В случае  $n_f > n_c$  толщина пленки, по-видимому, ограничивается эффективной глубиной проникновения поля волноводной моды, а в случае  $n_f < n_c$  — толщиной отсечки.

Наибольший интерес представляют линзовые фокусирующие ВГ (ФГ), во-первых, как основной элемент оптического процессора, во-вторых, как различного рода ИО-согласующие устройства и, в-третьих, в силу простоты изготовления. Поэтому проанализируем избирательные свойства ФГ по углу на примере фокусирующего устройства ввода-вывода излучения (см. рис. 1).

Качественно угловая избирательность обусловлена тем, что на каждом элементарном участке голограммы зарегистрирована интерференционная картина с определенным углом наклона и частотой изофазных плоскостей. При неизменном угле падения считывающего луча для данного участка голограммы выполняется условие Брегга, и его дифракционная эффективность (ДЭ) максимальна; для соседних же участков условие Брегга не выполняется, и по мере отклонения от резонанса их ДЭ падает. Используя данное рассмотрение, а также метод, описанный в работе [6], были найдены выражения для угловой селективности  $\Delta\varphi$  по половинному уровню ДЭ

$$\Delta\varphi_n = \arccos(1 - \sqrt{2}\lambda\sqrt{\cos\gamma/\pi T n}); \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_{отр} = 2 \sqrt{\frac{\sqrt{2}\lambda(1 + \frac{\eta}{3})}{\left[\pi T n \left(\frac{\gamma^2}{2} - 1 - \frac{\lambda(1 + \eta/3)}{\sqrt{2}\pi T n}\right)\right]}} \quad (2)$$

для попутных и встречных пучков соответственно, где  $\lambda$  — длина волны при считывании;  $n$  — показатель преломления покровного слоя;  $T$  — толщина фоточувствительного слоя;  $\gamma$  — угол между записываемыми пучками. Формулы (1) и (2) получены для случая нормального падения объектного сферического пучка и малых углов падения опорного луча.

Результаты расчета избирательности ФГ от толщины  $T$  и угла  $\gamma$  представлены на рис. 2, 3. Как видно из рис. 3, рассмотренные случаи записи в попутных и встречных пучках разделяет область голограмм, сформированных модами волновода и подложки (последние в литературе называют ПВО-голограммами). Использование различной

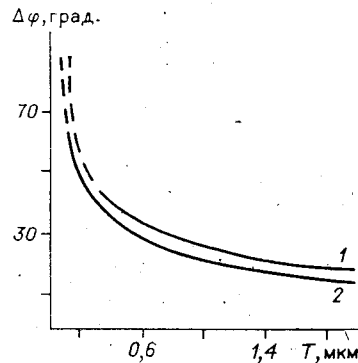


Рис. 2. Угловая селективность фокусирующей голограммы в зависимости от толщины фоточувствительного слоя по половинному уровню ДЭ:

1 —  $\Delta\varphi_n$ ; 2 —  $\Delta\varphi_{отр}$ ;  $\lambda=0,63$  мкм;  $\eta=0,05$ ;  $n=2,48$

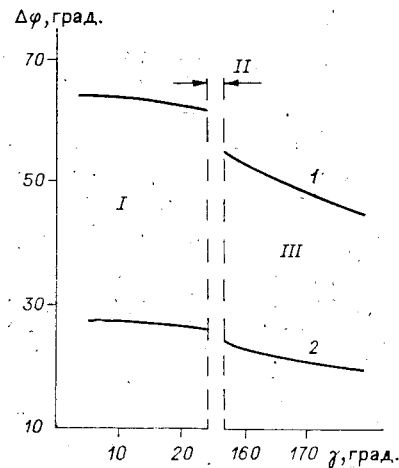


Рис. 3. Избирательность в плоскости YOZ для различных геометрий записи, рассчитанная по формулам (1) и (2):

1 —  $T=0,2$  мкм, 2 —  $T=1,0$  мкм; I — область голограмм, записанных попутными пучками, II — волноводными модами, III — встречными пучками

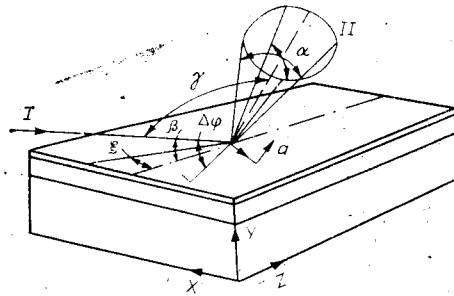


Рис. 4. Запись ФГ внешними пучками:

$I$  — плоская,  $II$  — сферическая волна;  $\beta$  — угол, дополнительный к углу падения опорного пучка;  $\Delta\varphi$  — угол в плоскости  $YOZ$ , отсчитываемый от направления падения опорного пучка;  $\gamma$  — угол между пучками при записи;  $\alpha$  — телесный угол объекта пучка;  $a$  — волноводная мода;  $\xi$  — угол отстройки в плоскости  $XOZ$

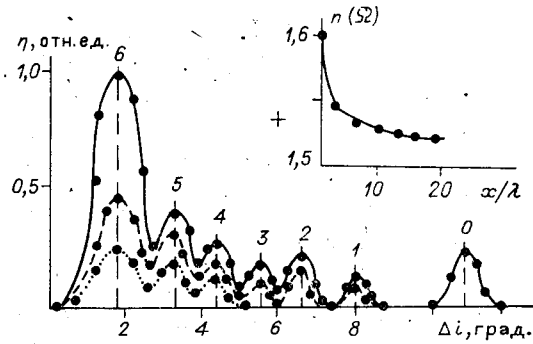


Рис. 5. Зависимость эффективности вывода из ВГ, нормированная на эффективность ввода, от угла возбуждения моды волновода  $\Delta i$  призмного элемента ввода (моды отмечены штриховыми вертикальными линиями и пронумерованы):

$\Delta n = 6 \times 10^{-3}$  (сплошная),  $\Delta n = 2 \times 10^{-3}$  (штриховая),  $\Delta n = 3 \times 10^{-4}$  (пунктирная линия).  $\beta = 30^\circ$ ,  $\gamma = 80^\circ$ . Профиль показателя диффузионного волновода, рассчитанный по алгоритму, описанному в [8], приведен на вставке

геометрии записи приводит к количественно отличающейся селективности, что связано со специфическим расположением изофазных плоскостей в объеме регистрирующего материала.

Для халькогенидных стекол, обычно используемых в ИО, толщина фоточувствительного слоя на поверхности волновода составляет 0,05–0,2 мкм, что определяет широкий диапазон углов эффективного воспроизведения голограммы, благодаря чему и возможно формирование ВГ внешними пучками. Восстановление ФГ волноводными модами будет происходить в случае, если в диапазон углов  $\Delta\varphi$  с учетом смещения угла Брегга при изменении длины волны считывающего излучения будет попадать мода волновода, как это схематично показано на рис. 4. Причем при увеличении  $\Delta\lambda$  или уменьшении угла  $\beta$  (см. рис. 4) количество волноводных мод, воспроизводимых ФГ, будет возрастать, начиная с мод высших порядков. Если ФГ представить как набор решеток, зарегистрированных в результате взаимодействия плоской волны  $I$  (см. рис. 4) и плоских волн, составляющих сферическую волну  $II$ , до ДЭ  $\eta(\varphi)$  можно показать в виде «неоднородно уширенного» брегговского резонанса с характерной шириной  $\alpha$  (см. рис. 4), быстро спадающего по краям, что обуславливается величиной фазовой записи  $\Delta\lambda$  и углом между пучками при записи  $\gamma$ . Таким образом, восстановление ФГ волноводными модами происходит как бы на «хвосте» спадающей зависимости  $\eta(\varphi)$ . Следовательно, модовая селективность (угловая избирательность в плоскости  $YOZ$  на рис. 4) определяется скоростью убывания ДЭ при изменении угла считывания.

Экспериментально исследовались избирательные свойства голографических устройств ввода-вывода излучения из волновода, сформированных внешними попутными пучками с  $\lambda = 0,44$  мкм на составной волноводной структуре, представляющей собой семимодовый диффузионный стеклянный волновод, на поверхность которого нанесена пленка халькогенидного стекла  $As_2S_3$  толщиной  $\sim 0,2$  мкм. Ввод излучения в волновод осуществляется с помощью призмного элемента связи. Экспериментальная зависимость модовой селективности ФГ от величины записи  $\Delta n$  представлена на рис. 5, из которого следует, что с уменьшением фотоиндуцированного изменения показателя преломления отсекаются моды низших порядков, начиная с нулевой. Очевидно, что изменением угла  $\beta$  при записи можно добиться аналогичного эффекта избирательности по модам. Следует отметить, что на нечетных модах, как видно из рис. 5, наблюдается уменьшение ДЭ, объясняемое уменьшением перекрытия поля моды с фазовым профилем ВГ в чувствительном покровном слое составного волновода.

Экспериментальное измерение избирательности по углу ВГ в плоскости волновода (плоскость  $XOZ$  на рис. 4), как видно из рис. 6, не превышает  $1,5^\circ$ . Фокусирующая ВГ, сформированная внешними пучками на покровном слое составного волновода, является «толстой» при ее восстановлении волновод-

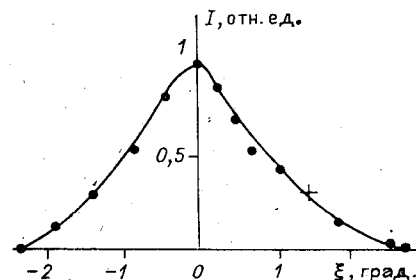


Рис. 6. ДЭ в зависимости от отстройки в плоскости волновода  $XOZ$

ными модами в плоскости волноводной структуры, но «тонкой» при считывании модами различного порядка. Причем, как было показано на примере  $\Delta\lambda$ , модовую селективность можно изменять в широких пределах, варьируя  $\Delta\lambda$  и  $\beta$ . ДЭ сформированных ФГ составляла 3—10% и может быть увеличена до 30—40% путем гофрирования поверхности волновода с помощью селективного травления [7].

ФГ могут быть использованы для последовательной и параллельной обработки информации. Последовательная ООИ может быть осуществлена путем последовательного взаимодействия мод с ВГ, расположенными вдоль траектории считывающего пучка и взаимодействующими с модами, начиная с последней. Параллельная же ООИ ряда мод на одной ВГ обеспечивается широким диапазоном  $\Delta\phi$ . Однако при параллельной обработке возможны перекрестные помехи, возникающие вследствие перекрытия каналов обработки информации (мод). Перекрестные помехи не превышали, по крайней мере, величины 30 дБ.

Таким образом, в данной работе рассмотрены избирательные свойства ВГ, сформированных внешними пучками, и отмечены возможности реализации последовательной и параллельной ООИ на основе ВГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vahey D. W., Verber C. M., Kenan R. P. Development of an integrated optics multi-channel data processor.— SPIE, 1978, v. 139, p. 151.
2. Chen J. Wave Bragg modulators for wideband integrated optic communications and signal processing.— IEEE Trans. and Circuits and Systems, 1979, v. 26, p. 1072.
3. Булатов Е. Д., Григорьев Ю. В., Колмыков И. В. и др. Применение волоконно-оптических линий связи и элементов интегральной оптики в вычислительных комплексах и сетях.— М., 1981.— (Препринт/АН СССР, ФИАН; 18).
4. Быковский Ю. А., Бородакий Ю. В., Миронос А. В., Смирнов В. Л. О возможности создания волноводных оптических процессоров на основе пленок ХСП.— Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 12.
5. Suhara T., Nishihara H., Koyama J. Waveguide holograms: a new approach to hologram integration.— Opt. Commun., 1976, v. 19, p. 353.
6. Гальперн А. Д., Парамонов А. А. О влиянии условия записи и восстановления на угловую селективность голограмм.— Опт. и спектр., 1983, т. 55, с. 910.
7. Быковский Ю. А., Миронос А. В., Смирнов В. Л., Солдатов В. И. Использование селективности растворения пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников для формирования пассивных элементов интегральной оптики.— Квант. электроника, 1985, т. 12, № 6.
8. Shamir J. Optical parameters of partially transmitting thin films. 2: Experiment and further analysis of a novel method for their determination.— Appl. Opt., 1976, v. 15, p. 120.

Поступило в редакцию 8 июля 1985 г.

УДК 621.373.826 : 621.376

А. А. АВЕТИСЯН, В. И. МИРГОРОДСКИЙ

(Москва)

#### ПРИМЕНЕНИЕ УЕДИНЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ СВЕТА

Как известно [1], быстродействие акустооптических модуляторов ограничивается трудностями обеспечения синхронизма акустооптического взаимодействия с сильно сфокусированными пучками оптического излучения, что выражается в достаточно быстром росте управляющей мощности при увеличении быстродействия  $P_{упр} \sim \tau^{-2}$  [1]. Предлагаемое сообщение посвящено исследованию возможности преодоления этих трудностей путем использования для импульсной модуляции света не цугов акустических волн, как обычно, а уединенных акустических импульсов (видеоимпульсов), представляющих собой как бы один полупериод волны. Целесообразность такой замены следует из того, что максимальная частота спектра видеоимпульсов меньше примерно в  $2N$  раз, чем для цугов волн той же длительности, состоящих из  $N$  периодов (обычно в акустооптических модуляторах используют цуги с  $N \geq 4$ ) [1]. Таким образом, при той же длительности акустический видеоимпульс имеет в  $2N$  раз большую дифракционную расходимость, чем акустический цуг из  $N$  периодов волны. Следовательно, длина акустооптического взаимодействия при использовании видеоимпульсов может быть увеличена по сравнению с традиционным случаем в  $2N$  раз, что, как известно [1], приводит к соответствующему уменьшению мощности управления также в  $2N$  раз, т. е. примерно в 8 раз. Поскольку предельное быстродействие модуляторов ограничивается допустимыми значениями управляющей мощности [1], то можно предположить, что использование акустических видеоимпульсов позволит увеличить предельное быстродействие модуляторов примерно в  $\sqrt{2N}$  раз, т. е. примерно в 3 раза.