

- [8] G o y P., R a i m o n d J.M., G r o s s M. and H a r o c h e S. // Phys. Rev. Lett. 1983. V. 50. N 24. P. 1903-1906.
- [9] Л а н д а у Л.Д., Л и ф ш и ц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1974. 752 с.
- [10] Х а я с и Т. Нелинейные колебания в физических системах / Пер. с англ. М.: Мир, 1968. 432 с.
- [11] Г р а д ш т е й н И.С., Р ы ж и к И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Наука, 1971. 1108 с.

Белорусский государственный университет им. В.И. Ленина, Минск

Поступило в Редакцию
21 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

07; 12

© 1990

ПРЕДЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ ФУРЬЕ-ПРОЦЕССОРОВ

А.И. З а в а л и н, Ю.Н. К у л ь ч и н,
В.Ф. Л а м е к и н, В.Л. С м и р н о в

Использование в волноводных оптических процессорах ультракоротких лазерных импульсов позволяет существенно повысить их информационную пропускную способность за счет временного уплотнения потока информации [1]. Однако ограниченная длина когерентности ультракоротких импульсов (УКИ) при наличии волноводной и материальной дисперсии света в интегрально-оптических схемах могут привести к ограничению обрабатываемых процессором временных и пространственных потоков информации. Прежде всего такое взаимовлияние можно связать с возникновением временных задержек и дисперсионного расплывания импульсов из-за разных оптических путей для разных пространственных частот обрабатываемых изображений [2]. В связи с этим проведение операции пространственного Фурье-анализа в схемах с УКИ будет связано с размыванием во времени переданного через процессор изображения. В волноводных устройствах обработки наряду с Фурье-линзами приходится использовать элементы ввода и вывода излучения [3], устройства пространственной фильтрации [4, 5], что также может приводить к дополнительному уширению импульсов света, размыванию изображений и искажению результатов вычислительных операций.

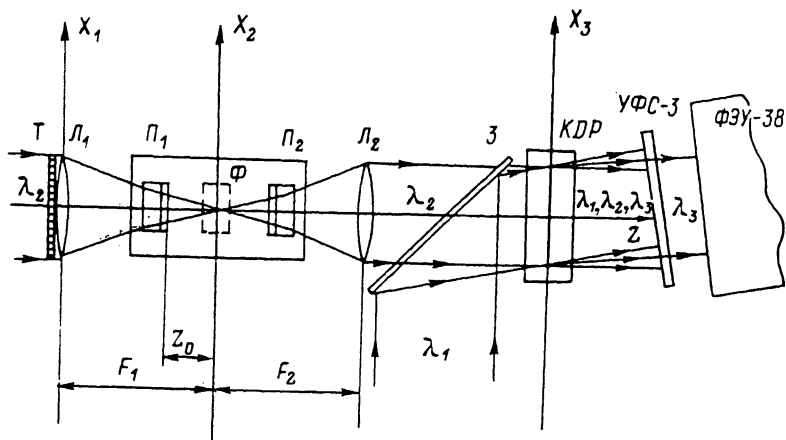


Рис. 1.

Схема обобщенного гибридного (с использованием элементов интегральной и объемной оптики) интегрально-оптического процессора, использовавшаяся в эксперименте, представлена на рис. 1. Линза L_1 с фокусным расстоянием $F=180$ мм производит Фурье-преобразование изображения транспаранта T в фокальной плоскости X_2 . Для снижения влияния апертурного эффекта транспарант T располагался вплотную к линзе L_1 . Затем линза L_2 с фокусным расстоянием F восстанавливает изображение в плоскости X_3 . Для ввода и вывода излучения из волновода ПВ использовались призмы связи Π_1 и Π_2 , изготовленные из стекла ТФ-110. Для снижения влияния на качество изображения неоднородностей зон связи [3, 4], использовались волноводы, полученные диффузией ионов K^+ в стекло К-8, имеющие верхнюю поверхность с небольшой цилиндричностью. В зазоре призма связи-волновод использовалась иммерсия. Апертурный размер зон связи составил около 8 мм, что уменьшило эффект виньетирования передаваемого изображения.

Из рассмотрения рис. 1 видно, что уже без учета материальной дисперсии в линзах (L_1 и L_2), призмах (Π_1 и Π_2), волноводе (ПВ) и фильтре (Φ), из-за различия в оптических длинах путей крайних и осевых лучей должна возникнуть дополнительная задержка УКИ, что приведет к размыванию изображения во времени. Учитывая волноводное распространение излучения, предельную величину размывания импульса из-за геометрической разности хода, можно получить, используя [2] и рис. 1, выражение

$$\Delta\tau = \frac{2L^2}{\lambda F} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{n_m^*} + \frac{F-Z_0}{F} \left(1 - \frac{1}{n_m^*} \right) - \frac{1}{2} \right]}}, \quad (1)$$

где F — фокусное расстояние Фурье-линзы, λ и ν — длина волны и частота используемого лазерного излучения, $2L$ — апертурный размер транспаранта, n_m^* — эффективный показатель преломления используемой моды планарного волновода ПВ, Z_0 — расстояние от зоны связи вводной призмы (Π_1) до Фурье-плоскости (X_2).

В том случае, когда апертура Фурье-линзы совпадает с апертурным размером входного транспаранта, а разрешение системы в Фурье-плоскости равно $\Delta R \approx L/\lambda F$ [6], то выражение (1) можно представить в виде:

$$\Delta \tau = \frac{\Delta R}{\Delta \theta} \cdot \frac{B}{\nu} \left[\frac{1}{n_m^*} + \frac{F - Z_0}{F} \left(1 - \frac{1}{n_m^*} \right) - \frac{1}{2} \right], \quad (2)$$

где $\Delta \theta$ — ширина пространственного спектра изображения транспаранта, B — база изображения [7]. Согласно [8], для представленного на рис. 1 случая предельное значение базы изображения равно

$$B = \frac{2n_m^*}{\lambda F} \cdot \frac{FdL - L^2 Z_0}{F - Z_0}, \quad (3)$$

где $2d$ — апертурный размер зоны связи вводной призмы.

Таким образом, из (2) видно, что увеличение базы обрабатываемого информационного массива приводит к размыванию импульсов во времени. В этом случае зона связи вводной призмы играет роль фильтра низких пространственных частот, который ограничивает пространственный спектр обрабатываемого изображения и разрешающую способность оптической системы. Поэтому для обеспечения оптимальных условий работы волноводных процессоров с временным уплотнением информации следует соответствующим образом подбирать соотношения параметров оптической схемы, чтобы при минимальном $\Delta \tau$ обеспечить оптимум разрешения.

В эксперименте для передачи изображения использовались УКИ второй гармоники излучения неодимового лазера длительностью 20 пс. Измерение длительности УКИ в плоскости X_3 производилось посредством измерения корреляционной функции временной огибающей УКИ [2]. В плоскости X_3 размещался кристалл КДР ($\theta = 58^\circ 50'$, взаимодействие еое), в котором производилось суммирование частот излучения второй гармоники ($\lambda_2 = 0.54$ мкм) и основного излучения лазера ($\lambda_1 = 1.08$ мкм). На выходе из кристалла после светофильтра УФС-3 располагался фотоэлектронный фотумножитель. Измерялась зависимость энергии суммарной частоты (третьей гармоники основного излучения лазера, $\lambda_3 = 0.36$ мкм) от задержки УКИ основного излучения относительно УКИ второй гармоники во времени. Неколлинеарный режим генерации третьей гармоники обеспечивал возможность суммирования для различных пространственных частот и участков передаваемого изображения, а линейный режим преобразования, обеспечивался малым коэффициентом преобразования, составлявшим 0.5–1.5%. На первом этапе

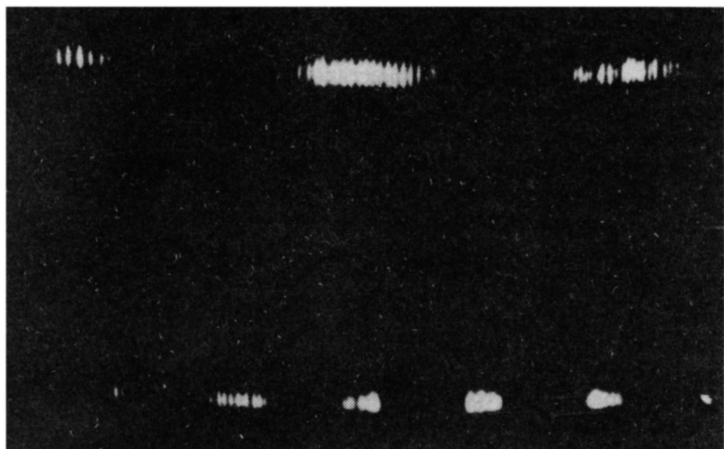


Рис. 2.

производилось измерение корреляционной функции в отсутствие транспаранта T , на втором – при передаче фрагментов миры с максимальной частотой штрихов, передаваемых без искажения. Для определения предельного разрешения изображения миры, в плоскости X_3 производилось фотографирование переданного изображения и по уровню различимости штрихов 3 дБ определялся фрагмент миры, частота штрихов которого передается без искажения. Для исследования качества передачи от индекса и поляризации мод использовалось их одновременное возбуждение и сравнение качества изображения в плоскости X_3 для каждой моды.

На рис. 2 показан снимок переданного изображения фрагментов штриховой миры. Видно, что максимальная частота штрихов переданного при помощи УКИ изображения, когда штрихи еще различимы, составляет величину 40 мм^{-1} . Как показали исследования, качество изображения слабо зависит от индекса и поляризации используемой волноводной моды (для мод $TE (TM)_0 - TE (TM)_3$), а основной вклад в искажение информационной структуры вносит неоднородность зоны связи призм и частичное подавление высоких пространственных частот в Фурье-спектре изображения.

Таким образом, если использовать апертуру транспаранта $2L = 30 \text{ мм}$ и пространственную частоту изображения выбрать равной $\Delta\nu = 40 \text{ мм}^{-1}$, то за один импульс через процессор со схемой, приведенной на рис. 1, может передаваться и обрабатываться информационный массив емкостью 1.2 Кбит. Расчет временного размывания изображения для приведенных выше параметров экспериментальной схемы, согласно (2), дает значение $\Delta\tau \approx 3.5 \text{ пс}$. При этом, как уже отмечалось, не учитывается материальная дисперсия импульса в линзах, призмах и волноводе. Полученное в эксперименте увели-

чение длительности УКИ на полувывсоте импульса составило величину 4 ± 2 пс. Как видно, экспериментальное значение достаточно хорошо согласуется с расчетным по формуле (2).

Таким образом, реально существует потенциальная возможность увеличения быстродействия интегрально-оптических процессоров за счет использования УКИ малой длительности до величин 200 Тбит/с.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 7. С. 1319-1360.
- [2] Херман Й., Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир, 1986. 368 с.
- [3] Быковский Ю.А., Кульчин Ю.Н., Смирнов В.Л. // Оптика и спектроскопия. 1981. Т. 50. В. 5. С. 941-946.
- [4] Быковский Ю.А., Кульчин Ю.Н., Смирнов В.Л. // Оптика и спектроскопия. 1982. Т. 52. В. 6. С. 1060-1062.
- [5] Завалин А.И., Кульчин Ю.Н., Мирнос А.В. Авт. свид. № 1182467 (СССР), Бюлл. изобр. № 36 от 30.09.85.
- [6] Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 364 с.
- [7] Василенко Г.И. Оптическое опознавание образов. М.: Советское радио, 1977. 328 с.
- [8] В у к о в s k y i Yu.A., Z h e r e g y V.G., K u l c h i n Yu.N. - 2nd European conference on Quantum Electronics. EQEC'89. Dresden. GDR, 1989. V. 13D. P. 11.

Поступило в Редакцию
11 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

04; 07

© 1990

ДИНАМИКА РАСШИРЕНИЯ ЭРОЗИОННОЙ ПЛАЗМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ ИЗЛУЧЕНИЕМ HeCl ЛАЗЕРА

Д.В. Г а й д а р е н к о, А.Г. Л е о н о в, Д.И. Ч е х о в

При напылении тонких пленок, создании ионных источников, лазерных атомизаторов и т.д. необходимо знание динамики расширения эрозионной плазмы на больших расстояниях ($r \gg r_0$, $U \cdot r$, где