

07; 06.3

© 1990

ЦИФРОВОЙ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИЙ
МАТРИЧНЫЙ ПРОЦЕССОР

В.Ю. Раковский, А.С. Щербakov

Оптические процессоры, обладая свойствами глобального взаимодействия и двумерного параллелизма, могут успешно применяться для выполнения операции внешнего произведения векторов [1], которая служит основой разнообразных алгоритмов линейной алгебры, используемых при обработке сигналов и изображений. Вычисление внешнего произведения двух N -мерных векторов \vec{a} и \vec{b} как в аналоговом, так и в цифровом представлении осуществляется согласно выражению

$$C = \vec{a} \vec{b} = \begin{bmatrix} a_1 b_1 & a_1 b_2 & \dots & a_1 b_N \\ a_2 b_1 & a_2 b_2 & \dots & a_2 b_N \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_N b_1 & a_N b_2 & \dots & a_N b_N \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где C — матрица размером $N \times N$, содержащая только одну линейно-независимую строку или столбец, то есть ее ранг равен 1. Поскольку точность аналоговых оптоэлектронных процессоров обычно ограничена примерно 8 разрядами [2], что не удовлетворяет требованиям многих задач алгебраической обработки сигналов, для проведения прецизионных вычислений необходимо использовать цифровое, преимущественно двоичное, представление информации. При этом операция внешнего произведения сводится к формированию матрицы парциальных произведений исходных бинарных данных. При обработке N -разрядных чисел такая матрица состоит из N^2 оптических сигналов, принимающих значения 0 или 1. Дальнейшая обработка может вестись путем суммирования парциальных произведений по диагоналям, например, при помощи цилиндрической линзы, образуя в $2N-1$ выходных каналах дискретную свертку двоичных чисел, то есть их произведение в смешанном коде [1-3]. Преобразование смешанного кода в стандартный двоичный код требует от процессора и устройств послепроцессорной обработки уверенного разрешения N уровней выходного сигнала, что может оказаться невыполнимой задачей при больших значениях N . Достоинством метода генерации матрицы парциальных произведений является то, что обработку бинарных сигналов матрицы возможно проводить только в цифровом двоичном представлении, исключая формирование дискретно-аналогового сигнала смешанного кода.

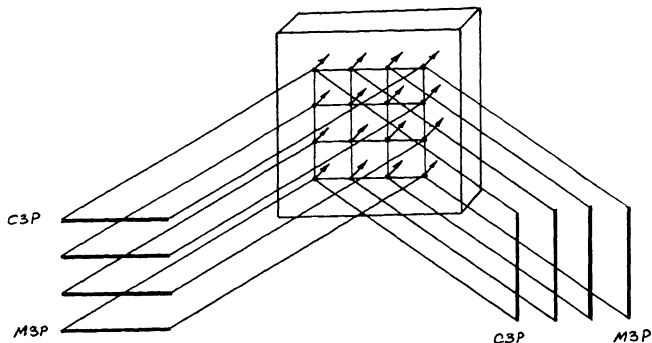


Рис. 1. Схема построения цифрового матричного оптического процессора, МЗР и СЗР – младший и старший значащие разряды соответственно.

Использование в оптических процессорах, вычисляющих внешнее произведение, акусто-, электро- или магнитооптических устройств не позволяет реализовать внешнее произведение за времена менее сотен пикосекунд. Существенного повышения быстродействия можно добиться при переходе к полностью оптическим матричным процессорам, образованных сетями оптических логических вентилей. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования полностью оптического процессора, формирующего матрицу парциальных произведений параллельно кодированных двоичных данных на основе логических умножителей, использующих явление неколлинеарной генерации второй оптической гармоники. Такие логические вентили не требуют пучка оптической накачки и характеризуются субпикосекундными временами отклика [4], что делает их использование оптимальным для реализации функциональных сетей в оптическом процессоре.

Принцип построения матричного процессора показан на рис. 1. Световые пучки, соответствующие битам двоичных чисел, коллимируются в вертикальном или горизонтальном направлении и падают под углом синхронизма на входную грань нелинейного кристалла, так что в нем осуществляется попарное неколлинеарное взаимодействие оптических сигналов, кодирующих все биты обрабатываемых чисел, то есть реализуется все множество парциальных произведений. Матрица оптических сигналов второй гармоники представляет собой, таким образом, внешнее произведение векторов с одноразрядными компонентами, или, будучи просуммирована по диагоналям, дискретную свертку двоичных многозарядных скалярных данных. Толщина нелинейного кристалла в схеме, изображенной на рис. 1, должна быть такой, чтобы в нем помещались области взаимодействия первого ряда, но не происходило последующих взаимодействий. Так, для генерации парциальных произведений 32-разрядных двоичных чисел при помощи пластинки из $LiIO_3$ размерами 30x30 мм,

вырезанной параллельно плоскости (100), ее толщина составляет 1.2 мм. Повышение разрядности обрабатываемых чисел связано исключительно с геометрическими размерами нелинейного кристалла и возможностями по формированию входных оптических каналов. Производительность процессора определяется минимальным периодом T загрузки цифровых данных, который в конечном счете обусловлен временем отклика логических вентилях, то есть в рассматриваемой схеме может составлять единицы пикосекунд и менее. Исчисляя производительность S количеством элементарных операций над битами обрабатываемых данных в единицу времени, получим

$$S = \frac{N^2}{T}, \quad (2)$$

откуда для $N = 32$, $T = 1$ пс имеем $S \approx 10^{15} \frac{\text{бит}}{\text{с}}$.

В экспериментах использовался кристалл $LiIO_3$ размерами 27×27 мм с входной гранью, параллельной плоскости (100). При этом векторное $00-E$ взаимодействие реализовывалось в плоскости (010) для входных световых пучков с длиной волны $\lambda = 1.06$ мкм, поляризованных по оси [010]. Угол синхронизма вне кристалла составил около 40° . Источником когерентного излучения служил лазер ЛИ-С801 ($\lambda = 1.06$ мкм, $T = 5 \dots 7$ пс), для настройки оптической схемы использовался лазер ЛТИ-501. Коллимированный по двум измерениям световой пучок делился полупрозрачным зеркалом на два пучка равной интенсивности, которые направлялись на нелинейный кристалл через диафрагмируемые четырехканальные маски, образуя структуру, представленную на рис. 1. Матрица выходных сигналов размером 4×4 фиксировалась на фотопленке. При установке на выходе процессора цилиндрической линзы, суммирующей оптические сигналы по диагоналям матрицы, формировался 7-разрядный смешанный код произведения двоичных чисел, считываемый линейкой фотоприемников. На рис. 2 представлены экспериментальные результаты обработки двоичных чисел в процессоре для трех примеров.

В сравнении с описанным в [5] полностью оптическим процессором на основе неколлинеарной генерации второй гармоники, формирующим дискретную свертку двоичных данных в плоскости взаимодействия, рассматриваемый матричный процессор не подвержен целому ряду ограничений на достижимую разрядность и производительность, связанных с истощением световых пучков в результате многократных взаимодействий, с дифракционной расходимостью пучков в протяженных оптических каналах и неизохронностью откликов логических вентилях. В то же время схема процессора, генерирующего матрицу парциальных произведений, включает дополнительную коллимирующую оптику и, являясь существенно трехмерной, не позволяет задействовать в ней еще одно измерение, скажем, для скалярного умножения векторов с многоразрядными компонентами, как это обсуждалось в [6].

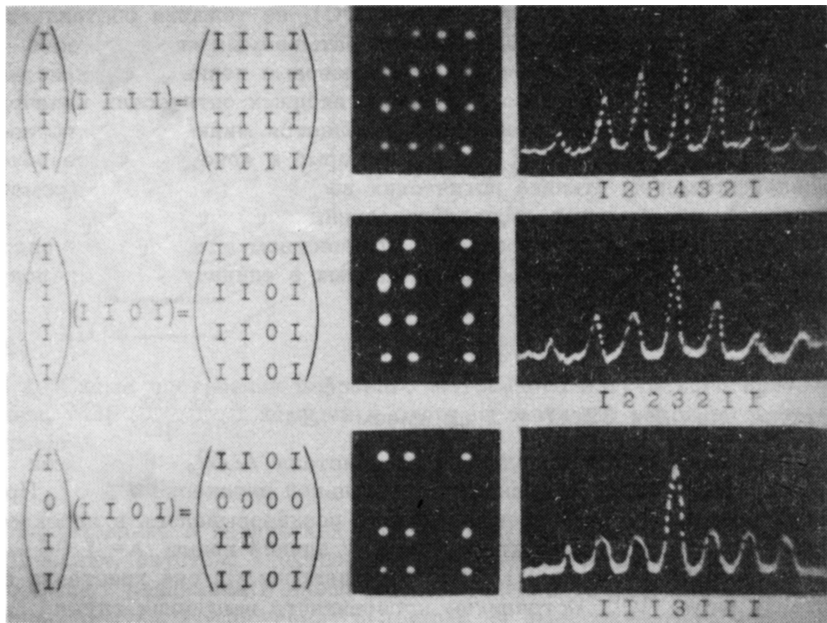


Рис. 2. Экспериментальные результаты обработки двоичных данных в матричном процессоре.

При непосредственном преобразовании сигналов парциальных произведений в стандартный двоичный код результата умножения в случае максимального распараллеливания послепроцессорной обработки нужны $N-1$ параллельных сумматоров, выполняющих суммирование за $[\log_2 N]$ стадий, и не требуется АЦП. В то же время для обработки сигнала в смешанном коде требуется меньшее число $[\log_2(N+1)]-1$ сумматоров, выполняющих суммирование за меньшее число $[\log_2(\log_2(N+1))]$ стадий, но необходимы $2N-3$ аналого-цифровых преобразователей.

Метод генерации матрицы парциальных произведений позволяет избежать формирования дискретно-аналогового сигнала и на всех стадиях вычислений сохранить двоичное представление информации, что решает проблему ограниченности динамического диапазона процессора.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А т х а л е Р.А., Л и Дж.Н. // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 7. С. 206-218.
- [2] Р о д е с У.Т., Г и л ф о й л П.С. // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 7. С. 80-91.

- [3] Li Y., Eichmann G., Alfano R.R. // Opt. Commun. 1987. V. 64. N 2. P. 99-104.
- [4] Eichmann G., Li Y., Ho P.P., Alfano R.R. // Appl. Opt. 1987. V. 26. N 14. P. 2726-2733.
- [5] Беришев И.Э., Раковский В.Ю., Селишев А.В., Щербаков А.С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 8. С. 14-18.
- [6] Раковский В.Ю., Щербаков А.С. Оптические и оптоэлектронные средства для обработки информации. Л.: ЛИЯФ-ФТИ, 1989. С. 68-76.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
16 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

05.2; 06.3

© 1990

ФИОЛЕТОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ
НА БАЗЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ
6Н/4Н-*SiC* $\langle Ga, N \rangle$, ВЫРАЩЕННЫХ СУБЛИМАЦИОННЫМ
„СЭНДВИЧ-МЕТОДОМ“

Ю.А. Водаков, Е.Н. Мохов,
А.Д. Семенов, А.Л. Роенков,
В.И. Соколов

Как известно [1, 2], *Al* и *Ga* являются активаторами люминесценции в сине-фиолетовой областях спектра, что представляет интерес в связи с разработкой коротковолновых источников света. В принципе, фиолетовые СИД могут быть получены на базе политипа 6Н-*SiC* [3], но они недостаточно эффективны. Более предпочтительным представляется использование для этой цели широкозонного политипа 4Н-*SiC* [4, 5]. Однако до последнего времени политип 4Н является редким, его распространенность среди промышленных кристаллов не превышает 1 %, что создавало препятствие на пути практического освоения производства фиолетовых СИД на его основе.

Эти трудности удалось успешно решить и получить эффективные фиолетовые СИД на подложках наиболее распространенных политипов *SiC*, таких, как 6Н или 15R, трансформируемых в политип 4Н в процессе роста [5]. В настоящей работе сообщаются параметры таких СИД.

В отличие от [4], где структуры СИД формировались жидкостной эпитаксией на базовых кристаллах политипа 4Н, в данной работе для