

05.2; 07; 12

## ДИСКРЕТНАЯ СВЕРТКА ЦИФРОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕКОЛЛИНЕАРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В КРИСТАЛЛЕ $LiIO_3$

И.Э. Б е р и ш е в, В.Ю. Р а к о в с к и й,  
А.В. С е л и щ е в, А.С. Щ е р б а к о в

В настоящее время в области обработки информации большой интерес представляют вопросы построения элементной базы полностью оптических цифровых процессоров, которые призваны соединить преимущества оптических методов по высокоскоростной параллельной обработке данных с высокой точностью проводимых вычислений. При реализации цифровых оптических вычислителей широко используется алгоритм перемножения двоичных чисел, на основе дискретной свертки, применение которого уже позволило создать акустооптические цифровые процессоры для выполнения операций линейной алгебры с акустооптическим конвольвером в качестве их активного элемента [1-3]. Однако быстродействие существующих акустооптических устройств ограничено скоростью распространения ультразвука. Значительное уменьшение времени обработки цифровых сигналов может быть поэтому достигнуто лишь при переходе к полностью оптическим методам осуществления дискретной свертки, представляемой в виде соответствующей конфигурации элементарных логических умножителей, использующих различные нелинейные оптические явления [4]. В данной работе сообщается об экспериментальном исследовании возможности реализации дискретной свертки цифровых оптических сигналов на основе явления неколлинеарной генерации второй гармоники в кристалле с квадратичной нелинейностью.

Схема неколлинеарной генерации второй гармоники может рассматриваться как полностью оптический логический вентиль „И”. Такой оптический логический вентиль имеет фемтосекундные времена отклика, не требует пучка оптической накачки, и, поскольку в приближении заданного поля лишь незначительная часть энергии входных оптических сигналов преобразуется в энергию выходного пучка второй оптической гармоники, возможно построение обширной совокупности связанных вентилях с многократным использованием исходных световых пучков в целях реализации активного элемента цифрового оптического процессора. Геометрия прохождения световых пучков в активном элементе для выполнения операции дискретной свертки на основе неколлинеарной генерации второй гармоники приведена на рис. 1. Двоичные числа кодируются параллельным набором  $N$

оптических каналов для каждого  $N$ -разрядного числа 
$$a = \sum_{l=0}^{N-1} a_l 2^l$$

и  $b = \sum_{i=0}^{N-1} b_i 2^i$ . Интенсивность светового пучка в каждом канале

принимает значения 0 или 1. При падении световых пучков под углом синхронизма  $\psi$  к входной грани нелинейного кристалла в нем возникает  $N^2$  областей неколлинеарного оптического взаимодействия. Эти области играют роль парциальных логических умножителей, интегрированных в монокристалле, которые генерируют пучки второй гармоники. При эквидистантном расположении оптических каналов интенсивности пучков второй гармоники суммируются по диагоналям и дают в выходной плоскости  $2N-1$  параллельных каналов. Сигналы в этих каналах в соответствии с выражениями, раскрывающими алгоритм перемножения на основе дискретной свертки

$$C = \alpha \cdot b = \sum_{i=0}^{2N-2} 2^i \sum_{j=0}^i \alpha_j b_{i-j}, \quad c_i = \sum_{j=0}^i \alpha_j b_{i-j},$$

представляют собой ее элементы  $c_i$ . Уверенного разрешения выходных каналов можно добиться выполнением соотношения для отмеченных на рисунке размеров  $\nu = \frac{d_1}{d} \lesssim \frac{1}{2}$ . С целью обеспечения одновременного прихода в каждую область взаимодействия оптических импульсов, кодирующих биты обрабатываемых чисел, фронты исходных цифровых оптических сигналов должны быть наклонены на угол  $\psi$ , как это показано на рис. 1. Наклон фронтов в дискретной системе легко получить, например, введением временных задержек  $\Delta t_{ij}$  между каналами, соответствующими  $i$  и  $j$  разрядам двоичного числа

$$\Delta t_{ij} = \frac{(i-j)d}{c} \sin \psi, \quad (1)$$

путем установки в каналах плоскопараллельных пластин различной толщины. Таким образом, при удовлетворении указанным условиям нелинейный кристалл в режиме неколлинеарной генерации второй оптической гармоники может служить высокоскоростным активным элементом цифрового оптического процессора при использовании параллельного кодирования обрабатываемой двоичной информации. Время на выполнение одной операции в нем определяется временем прохождения цифровыми сигналами всех областей взаимодействия и составляет

$$T = \frac{2Nd n}{c \cdot \sin 2\psi} + \tau, \quad (2)$$

где  $n$  - показатель преломления кристалла,  $\tau$  - длительность импульса одного бита. Максимальная разрядность цифровых оптических сигналов определяется как возможной величиной полной входной

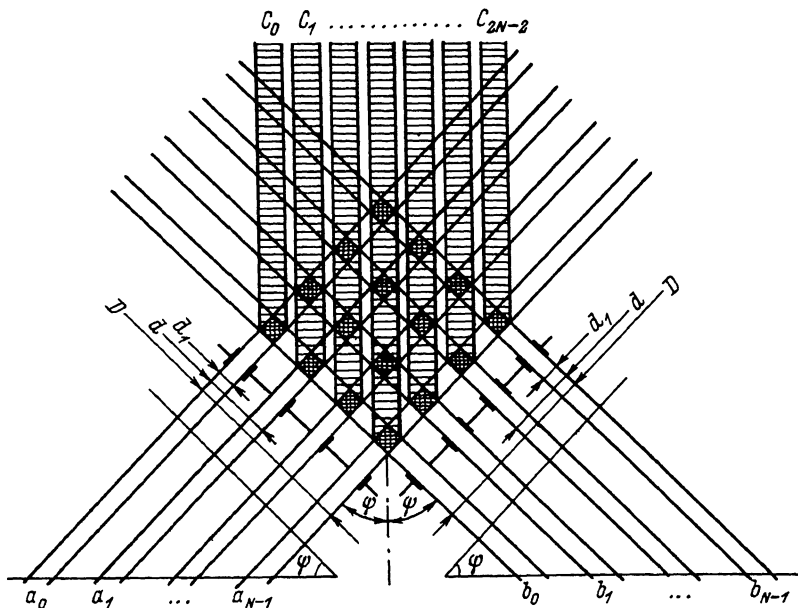
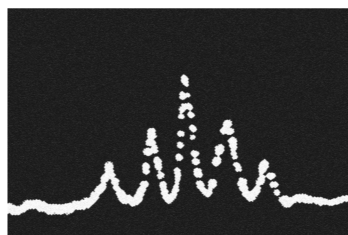


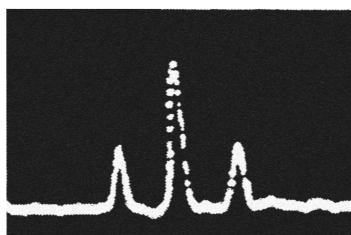
Рис. 1. Конфигурация совокупности логических вентилей „И<sup>π</sup>“, выполняющих операцию дискретной свертки цифровых оптических сигналов.

апертуры  $\mathcal{D}$ , зависящей от геометрических параметров рабочего кристалла и угла синхронизма  $\psi$ , так и минимальным значением пространственного периода входных оптических каналов  $\alpha$ , обусловленного дифракционной расходимостью света.

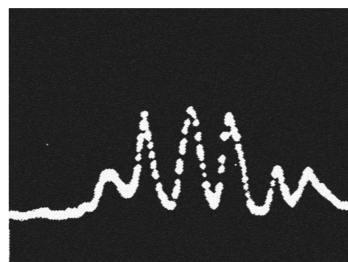
Для экспериментальных исследований использовался монокристалл  $\text{LiIO}_3$  размерами  $27 \times 27 \times 8$  мм<sup>3</sup>, вырезанный параллельно плоскости (010) с входной гранью, перпендикулярной оси [100],  $n \approx 1.8$ . Угол синхронизма составил  $\psi = 19^\circ 44'$  внутри кристалла,  $\psi_n = 39^\circ 49'$  вне кристалла, что ограничило возможные размеры входной апертуры значением  $\mathcal{D} \approx 7$  мм. Выбор рабочего материала был обусловлен высокой эффективностью нелинейного преобразования и достаточно большим значением угла синхронизма, что удобно при моделировании входных цифровых оптических сигналов, которое осуществлялось в эксперименте диафрагмированием двух симметричных масок с параметрами  $\alpha = 1.6$  мм,  $\nu = 0.5$ . При этом были организованы  $N = 4$  параллельных канала для ввода каждого двоичного числа. Для наклона волновых фронтов согласно выражению (1) использовались кварцевые пластинки толщиной 2, 4 и 6 мм в соответствующих оптических каналах. Источником когерентного излучения служил ЛИ-С801 с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм и длительностью оптических импульсов  $\tau \lesssim 10$  пс. Световой пучок от источника коллимировался в плоскости взаимодействия, и после светоделительного



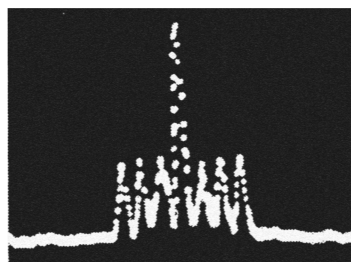
$$111 \times 111 = 12321$$



$$1001 \times 1001 = 1002001$$



$$1101 \times 111 = 122211$$



$$1101 \times 1011 = 1113111$$

Рис. 2. Сигналы дискретной свертки на выходе линейки фотоприемников ЛФ1024.

зеркала два полученных пучка, проходя через маски, направлялись под углом синхронизма на входную грань кристалла. Оптические сигналы пучков второй гармоники считывались линейкой фотоприемников ЛФ1024. На рис. 2 приведены осциллограммы дискретной свертки цифровых сигналов, иллюстрирующие работу рассмотренной схемы. Некоторое искажение импульсов дискретной свертки связано, по-видимому, с недостаточно равномерным распределением интенсивности по апертурам входных световых пучков. Быстродействие реализованного активного элемента оптического процессора составило в соответствии с (2)  $\frac{1}{T} \approx 10^{10}$  операций/с или  $\frac{N^2}{T} \approx 10^{11}$  бит/с, что на несколько порядков выше, чем у устройств, использующих акустооптический механизм получения дискретной свертки.

Технологическая и конструктивная оптимизация параметров устройства позволит, вероятно, добиться перемножения двоичных сигналов с разрядностью  $N=16$  и более при быстродействии  $10^{12}-10^{13}$  бит/с, что указывает на эффективность применения таких элементов в цифровых оптических вычислительных системах. Преобразование оптической частоты выходного сигнала в исходную для продолжения операций над ним может быть осуществлено на основе нелинейных параметрических процессов; для умножения от-

рицательных чисел возможно применение дополнительной по основанию два арифметики; использование третьего пространственного измерения и цилиндрической линзы в выходной плоскости нелинейного кристалла позволит осуществить скалярное произведение векторов с многомерными компонентами.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Goutzoulis A.P. // Appl. Opt. 1984. V. 23. N 22. P. 4095-5001.
- [2] Guilfoyle P.S. // Opt. Eng. 1984. V. 23. N 1. P. 20-24.
- [3] Петрунькин В.Ю., Раковский В.Ю., Щербakov А.С. Тезисы III Всес. конф. по вычислительной оптоэлектронике, Ереван, 1987, ч. 2, с. 236-237.
- [4] Eichman G., Li Y., Ho P.P., Alfano R.R. // Appl. Opt. 1987. V. 26. N 14. P. 2726-2733.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию  
7 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 8

26 апреля 1989 г.

04; 09

### ПЛАЗМЕННО-ФАКЕЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОЩНОГО СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭНЕРГОПИТАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Г.А. Аскарьян, Г.М. Батанов,  
И.А. Коссый

Проблема передачи и преобразования СВЧ энергии занимает ведущее место в энергетике настоящего и будущего (см. [1-2]).

Недавно был предложен и проверен экспериментально новый плазменно-факельный преобразователь (ПФП) мощного СВЧ излучения в ток [3-4], позволяющий вести эффективное преобразование на столь высоком уровне мощности, на котором старые преобразователи не могут быть использованы. В основе ПФП лежат процессы сильного нагрева плазмы факела, ускорения электронов и их выброса из плазмы при рождении электрической дуги у электрода, касающегося плазмы (см. рис. 1). Было показано, что КПД преобразования возрастает при увеличении плотности потока, и в дециметровом диапазоне длин волн были получены КПД  $\approx 20\%$  и токи больше кА при мощностях потока несколько МВт.