

- I m u r a T., O s a k a Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 4. P. L634-L635.
- [3] V e n k a t e s a n T., C h a s e E.W., W u X.D., I h a m A., C h a n g C.C. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 3. P. 243-245.
- [4] K a n a i T., K u m a g a i T., S o e t a A., S u z u k i T., A i h a r a K., K a m o T., M a t s u d a S. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N. 8. P. L1435-L1438.
- [5] Физико-химические основы получения сверхпроводящих материалов / Под ред. Е.М. Савицкого, О. Хенкеля и Ю.В. Ефимова. М.: Металлургия, 1981. 480 с.
- [6] M i n a m i T., A k a m a t s u Y., T a t s u m i s a g o M., T o h g e N., K a w a r a Y. // Jap. J. Appl. Phys., 1988, V. 27. N 5. P. L777-L777
- [7] Алексеевский Н.Е., Кузьмичева Г.М., Хлыбов Е.П., Митин А.В., Нижанковский В.И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. В. 1. С. 45-47.

Поступило в Редакцию
6 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 19 12 октября 1989 г.

06.3

**ОПТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИИ
АРИФМЕТИЧЕСКОГО СЛОЖЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МЕТОДА СИМВОЛЬНОЙ ПОДСТАНОВКИ**

Г.Г. Воеводкин, Е.М. Дианов,
А.А. Кузнецов, С.М. Нефедов

Оптические вычислительные машины (ОВМ) будут обладать высоким быстродействием. Повышения быстродействия ОВМ (по сравнению с ЭВМ) планируется достигнуть в основном за счет параллелизма их работы. Одной из возможностей использования параллелизма в оптике является недавно предложенный метод вычислений на основе символьной подстановки (СП) [1]. Этот метод состоит из двух основных этапов. На первом происходит распознавание определенных картин на исходном изображении (матрице входных данных), а на втором - замена этих картин другими в соответствии с законом преобразования. Основное отличие метода от традиционной булевой алгебры, в которой происходит распознавание некоторой входной комбинации нулей и единиц и выдача одного сигнала на выходе (0 или 1), состоит в том, что происходит распознавание не только значе-

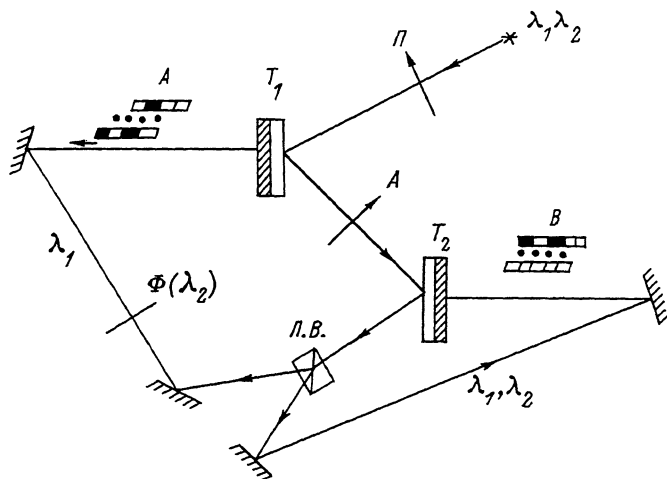


Рис. 1. Оптическая схема установки.

ний входных данных, но их взаиморасположения, и выходом является тоже некая пространственная комбинация нулей и единиц. Метод СП позволяет легко выполнить любую логическую операцию на основе простейших законов подстановки. Так, при двоянном представлении входных данных $\begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix}$ = нулю и $\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix}$ = единице [2] (такое представление позволяет одновременно распознавать нули и единицы во входном изображении) законы подстановки для выполнения логической операции **исключающие или** таковы [1]:

$$\begin{array}{cccc}
 \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} & \longrightarrow & \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} & \longrightarrow & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} & \longrightarrow & \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} & \longrightarrow & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix}
 \end{array} \quad (1)$$

Используя четыре правила подстановки, достаточно просто выполнить арифметическую операцию сложения.

Для осуществления операции СП мы предлагаем использовать оптически управляемый пространственный модулятор [3] и бихроматический источник света. Принцип работы оптически управляемого модулятора основан на переориентации анизотропных молекул в слое жидкого кристалла при приложении напряжения, причем потенциальный рельеф может быть создан оптическим путем. Интенсивность света, прошедшего такой модулятор, работающий на S эффекте и помещенный между скрещенными поляризаторами, равна

$$I = I_0 \sin^2 2\psi \sin^2 \frac{\pi \Delta n(V) d}{\lambda}, \quad (2)$$

где $\Delta n(V)$ – разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенных лучей (зависящая от напряжения V на ЖК), λ – длина волны считывающего света, φ – угол между осями поляризатора и директора ЖК, d – толщина слоя ЖК. При представлении внешних данных в виде матрицы, состоящей из прозрачных и непрозрачных ячеек, и ее проецировании на фотослой модулятора возможно получение на его выходе (после анализатора) позитивного изображения матрицы на длине волны считывающего света λ_1 и инвертированного (негатива) на λ_2 [4]. Таким образом, если A – входное изображение, то A на выходе будет красным, а \bar{A} – зеленым. т.е. происходит кодирование значений входной матрицы цветом: 1 – красный, а 0 – зеленый.

Для выполнения операции сложения двоичных чисел предлагается оптическая схема рис. 1. Входные матрицы A и B (первое и второе слагаемые) отображаются на фотослой двух модуляторов. При бихроматическом считывании после анализатора A будет присутствовать двуцветная матрица первого слагаемого и этой матрицей происходит считывание изображения второй матрицей (второго слагаемого). После призмы Волластона (являющейся выходным анализатором) будут присутствовать две разноцветные матрицы. Для матрицы одной поляризации красные ячейки соответствуют операции И, а зеленые – и с к л ю ч а ю щ и е и л и для ортогональной поляризации красные ячейки соответствуют логической операции $\bar{A}B$, а зеленые – $\bar{A}\bar{B}$, что позволяет распознавать следующие комбинации:

$$\begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \rightarrow 1 \quad \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{array} \rightarrow 1 \quad \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{array} \rightarrow 1 \quad \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \rightarrow 1. \quad (3)$$

Здесь 1 соответствует наличие света (красного или зеленого). Выполнение операции сложения двоичных чисел требует распознавания именно четырех таких комбинаций, и для метода СП обычно требуется два-три канала, в то время как в данном случае достаточно одного. Таким образом, описанное поляризационно-цветовое кодирование расширяет метод поляризационного кодирования [5].

Правила подстановки для выполнения сложения следующие:

$$\begin{array}{cccc} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \rightarrow 0 \quad \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{array} \rightarrow 0 \quad \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \rightarrow 0 \quad \begin{array}{cccc} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{array} \rightarrow 1 \quad (4)$$

$$+ \begin{array}{cccc} 10110 & 10010 & 00010 & 0000 \\ 10011 & 00101 & 100001 & 101001 \end{array}$$

Для выполнения этих правил матрица с опознанными комбинациями (3) вида $\begin{array}{c} 0 \\ 1 \end{array}$ и $\begin{array}{c} 1 \\ 0 \end{array}$ отображается на фотослой второго модулятора со сдвигом на один шаг вниз, а матрица с опознанными комбинациями вида $\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array}$ на фотослой первого модулятора со сдвигом на один шаг

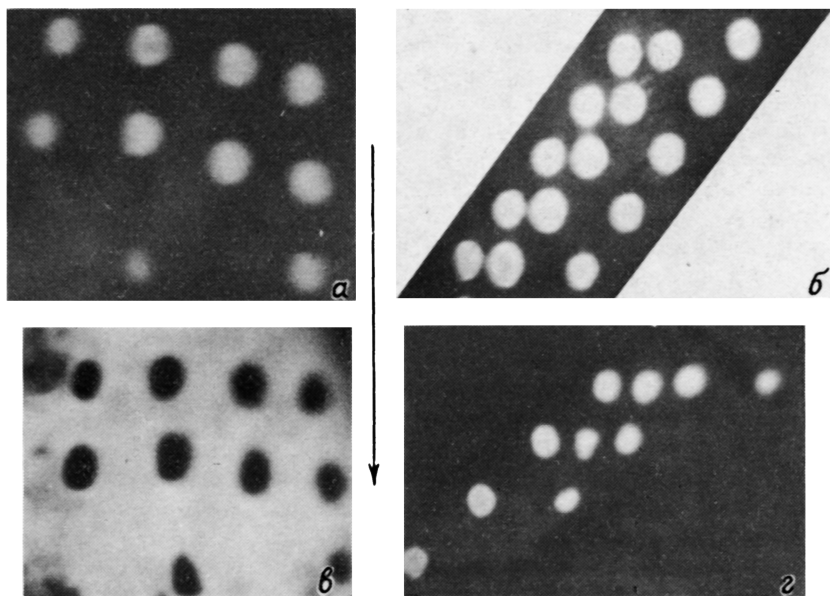


Рис. 2. Результат считывания матрицы А светом с длиной волны λ_1 (красный) и λ_2 (зеленый) (а, б). Сдвиг и перенос числа 1101 (λ_1) с использованием цепи ОС (в). Результат выполненных логических операций с использованием двух транспарантов (г).

вниз и на один шаг влево (опознанные комбинации вида $\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix}$ не отображаются, так как фильтр блокирует зеленый свет). Так происходит первая итерация. Следует отметить, что строки с входными данными отделены друг от друга на величину длины слагаемых, поскольку число итераций в общем случае равно числу знаков в слагаемом. Выполнение сложения автоматически заканчивается при отсутствии опознанных комбинаций вида $\frac{1}{1}$ (так как на первый модулятор перестает поступать матрица данных, соответствующая переносу из младшего разряда в старший). Экспериментальные результаты представлены на рис. 2.

Время на выполнение операции сложения определяется временем включения модулятора. Так, при числе независимых точек на модуляторе 1000×1000 и времени включения порядка 10 мс возможно сложение 1000 пар 32-разрядных слоев на 320 мс с эквивалентным временем на одно сложение порядка 320 мкс. Легко видеть, что после первой итерации возможно введение новых матриц

слагаемых, чем достигается увеличение производительности ОВМ на порядок.

Итак, нами предложена и реализована схема, позволяющая чисто оптически осуществить операцию арифметического сложения двоичных чисел на основе метода символической подстановки, с использованием жидкокристаллического оптически управляемого пространственного модулятора и бихроматического источника света. Дальнейшее развитие такой методики, возможно, позволит создать достаточно простые узлы (субблоки) оптической вычислительной машины.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] H u a n g A. III Internat. Optical Computing Conference. 1983, P. 13-17.
- [2] E i c h m a n n G., L i Y., A l f a n o R. // Appl. Opt. 1986. V. 25, N 18. P. 3113-3120.
- [3] Грибов Б.Г., Думаевский Ю.Д., Ковтонок И.Ф. и др. // Электронная техника, сер. Микроэлектроника. 1981. В. 5. С. 82-87.
- [4] Воеводкин Г.Г., Дианов Е.М., Кузнецов А.А., Нефедов С.М. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 10. С. 2082-2086.
- [5] B r e n n e r K.H. // Appl. Opt. 1986. V. 25. N 18. P. 3061-3064.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
3 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 19

12 октября 1989 г.

12

РЕГИСТРАЦИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ТРЕКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ ПАЛЛАДИЙ- ДЕЙТЕРИЕВО-ТРИТИЕВАЯ ВОДА

В.Д. Русов, Т.Н. Зеленцова,
М.Ю. Семенов, И.В. Радин,
Ю.Ф. Бабикова, Ю.А. Кругляк

В работах [1, 2] сообщается о наблюдении излучения нейтронов, сопровождающих процесс электролитического насыщения Pd и Ti дейтерием. На фоне общего скепсиса физиков к идее протекания реакций слияния ядер дейтерия при комнатной температуре, вызванного в особенности эффектом интенсивного тепловыделения в экспе-