

- [1] Агранович В. М., Кирсанов В. В. УФН, 1976, т. 118, № 1, с. 3—51.
 [2] Ландау Д. Л., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1965. 204 с.
 [3] Olander D. R. J. Nuclear Materials, 1980, v. 92, N 1—2, p. 163—183.
 [4] Паршин А. М. ВАНТ. Сер. физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1978, в. 3 (8), с. 34—48.
 [5] Зеленский В. Ф., Нежлодов И. М., Матвиенко Б. В. и др. В кн.: Реакторное материаловедение. М., 1978, т. 2, с. 21—43.
 [6] Горьнин И. В., Паршин А. М. Атомная энергия, 1981, т. 50, № 5, с. 319—324.
 [7] Орлов А. Н., Паршин А. М., Трушин Ю. В. ЖТФ, 1983, т. 53, № 12, с. 2362—2372.

Калининский
 политехнический институт

Поступило в Редакцию
 19 мая 1987 г.

Журнал технической физики, т. 53, в. 7, 1988

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ЯЧЕЕК ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО БРЭГГОВСКОГО ПРОЦЕССОРА

С. И. Божевольный, Е. М. Золотов, П. С. Радько

Интегрально-оптические устройства на основе индивидуально адресуемых электро-оптических брэгговских модуляторов (ячеек) являются перспективными для реализации целого ряда вычислительных операций: умножения векторов и матриц, цифроаналогового преобразования, цифрового корреляционного анализа и т. п. [1, 2]. Базовым элементом таких

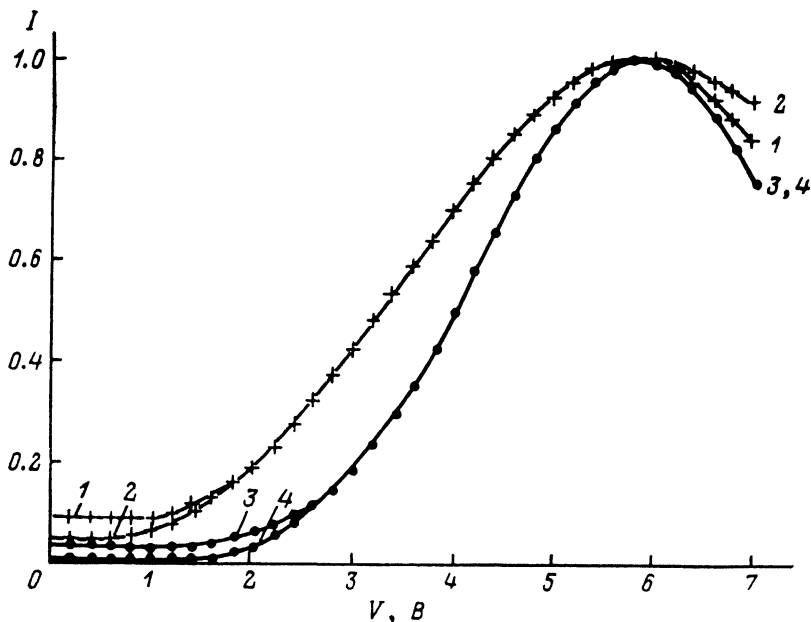


Рис. 1. Модуляционные характеристики первого ИОПМС (1), второго ИОПМС (2), всего устройства (3).

Кривая 4 представляет собой произведение характеристик 1 и 2.

устройств является интегрально-оптический пространственный модулятор света (ИОПМС), представляющий набор параллельно расположенных брэгговских ячеек, напряжение которых контролируется отдельным образом. Вследствие граничных эффектов интенсивность дифрагированного в ячейке излучения, вообще говоря, зависит от напряжения на электродах соседних ячеек, что ухудшает характеристики устройств на основе ИОПМС. Увеличение ширины ячеек уменьшает их взаимное влияние, однако при этом уменьшается число ячеек, их быстродействие и т. п.

В настоящей работе проведено исследование взаимовлияния соседних ячеек ИОПМС при реализации скалярного умножения векторов и цифроаналогового преобразования.

Амплитуда $E(x, y)$ дифрагированной волны внутри каждой ячейки удовлетворяет (при определенных условиях) известному уравнению (см., например, [3])

$$\sin^2 \theta \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \cos^2 \theta \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = \left(\frac{\pi \Delta n_m}{\lambda} \right)^2 E, \quad (1)$$

где x, y — координаты перпендикулярно и параллельно слоям индуцированной полем электродов решетки; θ — угол Брэгга ($\sin \theta = \lambda / 2n\Lambda$); λ — длина волны излучения в вакууме; n — показатель преломления кристалла; $\Lambda, \Delta n_m$ — период и амплитуда основной гармоники изменения показателя преломления решетки m -й ячейки. Из уравнения (1) следует, что амплитуда E зависит от безразмерных переменных u, v и параметров δ, γ_m

$$u = \frac{x}{H}, \quad v = \frac{y}{L}, \quad \gamma_m = \frac{\pi \Delta n_m L}{\lambda \cos \theta}, \quad \delta = \frac{H \operatorname{ctg} \theta}{2L} \approx \frac{Hn\Lambda}{\lambda L}, \quad (2)$$

где H, L — ширина и длина ячейки, а приближенное равенство справедливо при $\lambda \ll \Lambda$. Таким образом, влияние граничных эффектов на распределение амплитуды дифрагированной волны (взаимовлияние соседних ячеек) определяется величиной параметра δ и различием в γ_m соседних ячеек. Заметим, что при $\delta=1$ соседние ячейки оказывают влияние на распределение амплитуды $E(u, v=1)$, т. е. на выходе ИОПМС, при всех значениях нормированной координаты u , а с увеличением δ область значений u , подверженных влиянию соседних ячеек, уменьшается (это следует из поведения характеристик уравнения (1)).

Для экспериментального исследования взаимовлияния ячеек на поверхности тонкопленочного волновода, полученного путем термодиффузии титана в Y -срез ниобата лития, была изготовлена встречно-штыревая структура электродов, образующая два последовательно расположенных ИОПМС, по три ячейки в каждом. В первом ИОПМС период структуры электродов составлял $\Lambda_1 = 16$ мкм при длине электродов $L_1 = 2000$ мкм, по три пары электродов в каждой ячейке. Во втором ИОПМС было по четыре пары электродов в каждой ячейке с параметрами $\Lambda_2 = 12$ мкм и $L_2 = 1700$ мкм. Электроды разных ИОПМС были наклонены относительно друг друга так, что излучение на длине волны $\lambda = 0.633$ мкм, дифрагировавшее в ячейках одного ИОПМС, падало на электроды другого под углом Брэгга и отклонялось дополнительно в прежнем направлении. Поскольку мощность дифрагированного в ячейках излучения определяется величиной напряжения, подаваемого на эту ячейку, то мощность дважды дифрагированного излучения после прохождения обоих ИОПМС при работе на линейном участке модуляционных характеристик ячеек пропорциональна скалярному произведению двух векторов с компонентами, пропорциональными величинам напряжений на электродах ячеек первого и второго ИОПМС. При соответствующей организации подачи управляющего напряжения на ячейки такое устройство позволяет осуществлять перемножение двух матриц [2].

Нами были впервые использованы различные периоды структур электродов в соседних ИОПМС для того, чтобы второй дифракционный порядок решетки, образуемой ячейками первого ИОПМС, был пространственно разнесен с первым рабочим дифракционным порядком решетки ячеек второго ИОПМС. При этом различная длина электродов была подобрана для реализации одинаковых модуляционных характеристик всех ячеек (полуволновое напряжение $V_0 = 5.8$ В; рис. 1). Измерения показали, что модуляционная характеристика всего устройства при подаче одинакового напряжения на ячейки обоих ИОПМС в пределах точности измерений ($\sim 5\%$) есть произведение модуляционных характеристик, измеренных отдельно для каждого ИОПМС (рис. 1). Проводились измерения взаимного влияния соседних ячеек и связанных с этим искажений характеристик устройства. Оказалось, что при данных параметрах ячеек ($\delta_1 = 1.3, \delta_2 = 1.2$) устройство надежно обеспечивает скалярное умножение векторов, компоненты которых принимают только три значения. При объединении двух соседних ячеек в одну (ширина ячейки и параметр δ увеличиваются при этом в два

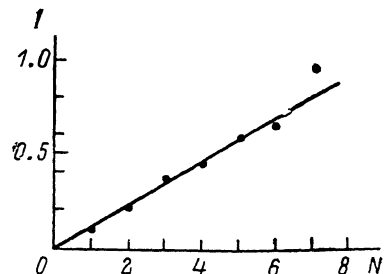


Рис. 2. Интенсивность дифрагированного излучения (в отн. ед.) на выходе трехразрядного ИОЦАП.

Линия соответствует расчетной зависимости без учета взаимовлияния ячеек.

раза) влияние граничных эффектов уменьшается и ожидается увеличение количества допустимых значений компонент векторов до семи.

Отдельный первый ИОПМС использовался для реализации цифроаналогового преобразования [4] в пределах трех разрядов, при этом 1 в ячейке старшего разряда соответствовало напряжению 5.5 В, среднего — 3 В, младшего — 1.5 В, так что интенсивности дифрагированного в ячейках излучения относились как 4 : 2 : 1. Отклонения от линейности преобразования, за исключением преобразования наибольшего числа {111}, были в пределах 5 % (рис. 2) и обуславливались взаимовлиянием соседних ячеек. Это было хорошо видно при наблюдении распределения дифрагированного излучения на выходе ИОПМС с помощью телеустановки, сопряженной с осциллографом. Увеличение числа разрядов при таком значении параметра $\delta=1.3$ уже не представляется возможным, так как отклонения аналогового сигнала от линейного будут сравнимы с разницей аналоговых сигналов для ближайших чисел. Если ширину ячейки увеличить в два раза (сделать $\delta=2.6$), то взаимовлияние ячеек соответственно уменьшается, что делает возможным увеличение числа разрядов примерно до восьми.

Таким образом, в настоящей работе показано, что взаимовлияние ячеек, которое ухудшает характеристики интегрально-оптического брэгговского процессора, определяется параметром δ : взаимовлияние уменьшается с ростом δ . Поскольку, согласно (2), можно записать $\delta=2\pi N/Q$ (N — число пар электродов ячейки, параметр Клейна $Q=2\pi\lambda L/n\Lambda^2 \geq 10$ для выполнения условия брэгговской дифракции), то увеличение δ возможно в основном за счет увеличения N . Это приводит к увеличению емкости структуры электродов и, значит, к уменьшению быстродействия процессора. В нашем устройстве емкость электродов ячейки составляла $C=4n\Phi$, что позволяет рассчитывать на высокое быстродействие, однако для реализации скалярного умножения векторов следует существенно увеличить параметр δ . Заметим, что для цифрового коррелятора [5], где также используется двойная дифракция излучения на брэгговских решетках, значение $\delta=1.3$ является вполне подходящим.

В заключение авторы выражают свою благодарность К. С. Бурицкому за помощь в изготовлении устройства.

Литература

- [1] *Toshiaki S., Hiroshi N.* IEEE J. Quant. Electron., 1986, v. 22, N 6, p. 845—867.
- [2] *Verber C. M., Kenan R. P.* Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 1983, v. 408, N 3, p. 57—64.
- [3] *Свидзинский К. К.* Квант. электр., 1980, т. 7, № 9, с. 1914—1925.
- [4] *Verber C. M., Smith B. T.* Appl. Optics, 1983, v. 22, N 23, p. 3677—3678.
- [5] *Verber C. M., Kenan R. P., Busch J. R.* Appl. Optics, 1981, v. 20, N 9, p. 1626—1629.

Ярославский
политехнический институт
Отдел научно-технической информации

Поступило в Редакцию
26 мая 1987 г.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ИСПАРЕНИЯ СЛОЯ РАСПЛАВА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ

В. А. Хохлов

Для многих применений лазерного испарения представляет интерес стационарный процесс с практически плоским фронтом. Однако такой режим испарения оказывается неустойчивым. В работе [1] было показано, что даже при отсутствии внешних причин плоский стационарный фронт испарения может быть неустойчив по отношению к возмущениям с конечной длиной волны в плоскости невозмущенного фронта. В этой работе исследован случай сублимации. Во многих же случаях на поверхности испаряемого образца образуется слой расплава, течение которого может сильно сказываться на развитии неустойчивости. Влияние гидродинамических возмущений было рассмотрено в работе [2] для бесконечно глубокой