

носителей, обеспечить слежение лазерного пучка за дорожкой гололинз и синхронизацию записи.

Предложен новый метод считывания голограмм с подвижного носителя, отличающийся от известных тем, что сигналы управления положением восстанавливающего пучка и синхронизации считывания формируются по самим информационным голограммам.

Предложена схема волоконно-оптической головки считывания голограмм, в которой осуществлена развязка элементов восстанавливающей оптики от источников излучения и фотоприемных устройств. Это позволяет резко уменьшить габариты и вес головки и упростить процесс ее юстировки.

Показана возможность создания оптического ЗУ емкостью 500 Мбайт на 150-миллиметровом диске, скоростью обмена до 200 Мбит/с и временем доступа 100 мс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вовк Ю. В., Щепеткин Ю. А. Использование частотного разделения сигналов при записи одномерных голограмм излучением полупроводниковых лазеров // *Автометрия*.—1981.— № 1.
2. Микаэлян А. А., Ванин А. Ф., Гулянян Э. Х., Прокопенко С. А. Голографический диск — накопитель информации // *Квантовая электроника*.—1987.—14, № 5.
3. Пилипович В. А., Романов А. В., Ярмолицкий В. Ф., Богданович Н. И. Запись голографических решеток на непрерывно движущийся носитель // *Тез. докл. V Всесоюз. школы по оптической обработке информации*.—Киев, 1984.
4. Satoh I., Kato M. Holographic disk recording of digital data with fringe stabilization // *Appl. Opt.*—1988.—27, N 14.—P. 2987.
5. Атаманчук Л. М., Лещенко П. Т., Петров А. А. Жидкокристаллический ПВМС с активной управляющей матрицей // *Тез. докл. VI Всесоюз. школы-семинара по оптической обработке информации*.—Фрунзе: ФПИ, 1986.—Ч. 2.
6. Блок А. А., Ванюшев Б. В., Волков А. В. и др. Устройство автоматической записи матриц голограмм цифровых данных // *Автометрия*.—1984.—№ 3.
7. La Macchia J. T., Vincelette C. J. Comparison of the diffraction efficiency of multiple exposure and single exposure holograms // *Appl. Opt.*—1968.—7, N 9.—P. 1857.
8. Блок А. А., Кучерук Р. С., Пен Е. Ф. Дифракционная эффективность частично наложенных голограмм // *Автометрия*.—1989.—№ 3.
9. Блок А. А., Домбровский В. А., Домбровский С. А. и др. Практический предел плотности записи данных в голографических ЗУ на плоских носителях // *Автометрия*.—1990.—№ 5.

Поступила в редакцию 21 октября 1991 г.

УДК 535.215.12 : 537.226.33

С. Малик

(Орсей, Франция)

АССОЦИАТИВНАЯ ПАМЯТЬ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Оптическая реализация структуры типа нейронных сетей требует высокой плотности репрограммируемых оптических связей между плоскостями нейронов. Обсуждается использование фоторефрактивных материалов для реализации этих соединений. Фоторефрактивные материалы используются в голографической ассоциативной памяти, в которой в качестве адресного сигнала применяется неполная копия одного из хранимых изображений. Наблюдаемый яркий корреляционный пик соответствует изображению, наиболее близкому к искомому. Применение фазосопряженного зеркала позволяет устранить все корреляционные пики, кроме самого интенсивного, усилить его и использовать для считывания.

Введение. Фоторефрактивные материалы обладают большими оптическими нелинейностями при облучении их достаточно слабыми свето-

выми потоками (\sim мВт/см²) [1], что может быть использовано в задачах обработки изображений. Фоторефрактивный эффект наблюдается в широком классе электрооптических кристаллов под действием как ультрафиолетового, так и видимого и инфракрасного излучений. Как известно, для создания фазосопряженных зеркал необходимы, прежде всего, большие величины модуляции показателя преломления Δn . Для таких применений хорошо подходит ВаТiО₃, у которого очень велика компонента электрооптического тензора r_{42} . В этом материале при четырехволновом смешении отражение достигает 20 без приложения к кристаллу внешнего электрического поля [2]. Основным ограничением при использовании ВаТiО₃ в качестве материала для фазосопряженного зеркала является относительно большое время отклика (0,1—1,0 с при интенсивностях \sim 1 Вт/см²), что связано в основном с большими значениями диэлектрической проницаемости. Фоторефрактивные материалы семейства силленитов, Вi₁₂SiO₂₀, имеют быстрое время отклика (миллисекунды при \sim мВт/см²), но низкие значения электрооптического коэффициента и, следовательно, малую модуляцию показателя преломления. Для увеличения Δn к кристаллу обычно прикладывают электрическое поле, которое усиливает поле пространственных зарядов и, следовательно, модуляцию Δn . Вi₁₂SiO₂₀ обладает оптической активностью, поэтому характеристики фоторефракции в нем сильно зависят от состояния поляризации записывающего и считывающего пучков [3].

Для эффективной связи двух пучков фотоиндуцированная решетка показателя преломления должна быть сдвинута по фазе на $\pi/2$ относительно системы интерференционных полос. Когда возбужденные носители заряда диффундируют из областей с высокой световой интенсивностью в области с низкой интенсивностью под влиянием градиента концентрации носителей, пространственное смещение в $\pi/2$ создается автоматически. Если носители заряда дрейфуют под действием внешнего электрического поля, то индуцируемая решетка Δn формируется практически синфазно со световой решеткой. Требуемое фазовое смещение решетки можно создавать с помощью бегущей системы полос [4] или приложением к кристаллу переменного напряжения [5]. При четырехволновом смешении в оптимальном фазовом смещении нет необходимости.

Полупроводниковые соединения типа GaAs, InP и CdTe чувствительны к излучению в ближней инфракрасной области, поэтому они широко используются в устройствах оптической связи. Эти материалы обладают короткими временами отклика и релаксации, что позволяет использовать их при высокоскоростной обработке изображений. Времена релаксации полупроводниковых соединений можно изменять от миллисекунд до пикосекунд соответствующим направленным легированием материала. Модуляция показателя преломления в этих материалах мала, а внутренне поле — это поле, приложенное к кристаллу.

Вследствие того что информация записывается в объеме, обеспечивается высокая плотность хранения и селективность считывания. При организации оптических соединений эти свойства являются очень полезными. В литературе представлен ряд методов, позволяющих осуществлять считывание хранимой информации.

В следующих двух разделах обсуждается модель Хопфилда для нейронных сетей и ее применение для ассоциативной памяти с оптической реализацией. В третьем разделе обсуждаются голографические корреляционные методы, позволяющие восстанавливать изображение по его неполной копии. В последнем разделе приводятся некоторые заключительные замечания.

1. Нейронные сети для устройств ассоциативной памяти. В последние десятилетия проявлен большой интерес к исследованию и развитию нового класса информационно-вычислительных структур, свойства которых похожи на некоторые функции мозга. Эти системы состоят из большого числа элементарных процессоров — нейронов, связанных друг с другом. Нейронные сети

могут быть использованы в устройствах ассоциативной памяти, поскольку они позволяют восстанавливать хранимую в них информацию по неполной или искаженной копии. Простая модель, описывающая принципы работы нейронной сети, предложена Хопфилдом [6, 7]. Пусть система содержит N нейронов, каждый из которых может находиться в одном из двух состояний: активном (+1) и пассивном (-1). Распределение состояний N нейронов можно представить бинарным вектором из N битов, который может использоваться для описания физической системы как функции N бинарных координат $V_1, V_2, \dots, V_j, \dots, V_N$. Предположим, что мы хотим запомнить M состояний физической системы в сетке нейронов для последующего восстановления. Эта информация может быть закодирована с помощью синаптической матрицы T , которая определяется следующим образом:

$$T_{ij} = \sum_{m=1}^M V_i^m V_j^m, \quad T_{ii} = 0.$$

показано в [8], качество системы не снижается при исключении до 40% связей. Хранимые векторы предполагаются статистически независимыми, и поэтому матричные элементы имеют малые абсолютные значения. Без заметных изменений поведения системы положительные и отрицательные значения элементов T_{ij} для простоты можно заменить значениями +1 и -1 соответственно.

Предположим далее, что мы хотим восстановить из памяти состояние, которое наиболее близко к заданному состоянию W . Задание такого условия означает, что в сетке есть N нейронов в состояниях с бинарными значениями W_1, W_2, \dots, W_N . Нейроны — нелинейные элементы. Каждый нейрон сетки получает сигналы со всех других нейронов через соединения различной мощности, суммирует их и сравнивает полный сигнал с некоторым пороговым значением. Если входной сигнал выше порога, то нейрон переходит в активное состояние, если ниже порога — в пассивное. Время опроса каждого нейрона не зависит от времен опроса всех других, и, следовательно, процесс является асинхронным. Важная характеристика рассматриваемой модели — обратная связь. Выход каждого нейрона является одним из входов всех остальных нейронов. Бинарный вектор, полученный после пороговой процедуры, становится входным вектором для синаптической матрицы на следующем шаге итерации. После нескольких итераций область активности в сетке нейронов сходится к вектору, наиболее близкому к W по критерию Хемминга. Расстояние Хемминга между двумя бинарными состояниями определяется как число мест, в которых цифры различны.

Пусть вектор W является ближайшим к вектору V_0^m , хранимому в памяти. Вектор W можно представить в виде

$$W = V_0^m + \Delta,$$

при этом большинство элементов вектора разности Δ равно нулю. Выходной вектор \hat{W} после умножения вектора на матрицу имеет вид

$$\hat{W}_i = \sum_{j=1}^N T_{ij} W_j. \quad (2)$$

Подставляя значения T_{ij} из выражения (1), получим

$$\hat{W}_i = \sum_{j \neq i}^N \left[\left(\sum_{m=1}^M V_i^m V_j^m \right) W_j \right] = \sum_{m=1}^M V_i^m \left[\sum_{j \neq i}^N V_j^m (V_j^0 + \Delta_j) \right] =$$

$$= (N - 1)V_j^{m_0} + V_j^{m_0} \sum_{j \neq i}^N V_j^{m_0} \Delta_j + \sum_{m \neq m_0}^M V_i^m \sum_{j \neq i}^N V_j^m W_j. \quad (3)$$

Первый член в правой части выражения (3) представляет собой искомое в памяти состояние, умноженное на большой множитель. Второе слагаемое обусловлено тем, что адресный вектор не идентичен ни одному из хранимых векторов. Оно было бы равно нулю, если бы W был идентичен V_0^m . В среднем сумма первых двух слагаемых в этом выражении равна

$$(N_a - N_b) V_j^{m_0},$$

где N_a — количество совпадающих, а N_b — несовпадающих битов. Разность $(N_a - N_b)$ — внутреннее произведение адресного вектора W и хранимого в памяти вектора V_0^m . Третье слагаемое в (3) представляет собой шумовой сигнал. Когда все хранимые векторы статистически независимы, т. е. независимы активные и пассивные нейроны в сетке нейронов, этот член при усреднении составляет $\sqrt{(M - 1)(N - 1)}$. Слагаемое, описывающее шум, становится очень важным, если элементы T_{ij} синаптической матрицы не ограничены по величине. Когда M и N_b много меньше N , шумовое слагаемое не оказывает заметного влияния на сигнал, а порог может ограничиваться только шумом. Выполнив моделирование, Хопфилд показал [6], что при $N = 30$; $M = 0,15N$ и $N_b = 0,25N$ восстановление информации осуществляется практически без ошибок.

При практической реализации модели Хопфилда оптическими методами активное состояние нейрона обычно представляется +1, а неактивное — 0 (вместо +1 и -1) соответственно. В этом случае синаптическая матрица приобретает вид

$$T_{ij} = \sum_{m=1}^M (2V_i^m - 1)(2V_j^m - 1); \quad T_{ii} = 0, \quad (4)$$

а слагаемое в (3), описывающее сигнал, становится равным:

$$2(V_j^{m_0} - 1)(N_a - N_b),$$

где N_a — количество совпадающих, а N_b — несовпадающих элементов в W и V_0^m . Слагаемое, описывающее шум, в этом случае равно $(M - 1)(N_a + N_b)$. При увеличении отношения сигнал/шум система становится устойчивой [9].

2. Оптическая реализация модели Хопфилда. Практическая реализация модели Хопфилда требует наличия двух основных компонент: массива нелинейных процессоров и системы связи между вычислительными элементами с устанавливаемыми мощностями связей. Гибридное оптоэлектронное устройство состоит из двумерного массива источников света (ИС) и массива приемников света. Каждый приемник получает информацию от всех источников света, а его выход связан с соответствующими излучателями через пороговое устройство (рис. 1). Совокупность источника, приемника и порогового устройства составляет нейрон. Связи между источниками света и приемниками осуществляются оптическими методами: с помощью плоских или объемных голограмм и фазосогласующих зеркал. Для получения отрицательных значений матрицы T_{ij} используется второй параллельный канал, сигналы фотоприемников которого вычитаются из токов основного (положительного) канала электронным способом. Вычитание осуществляется до реализации обратной связи с фотоприемников на массив источников света.

Для создания репрограммируемых оптических связей высокой плотности привлекательны, в частности, фоторефрактивные кристаллы. В объеме кристалла благодаря высокой селективности объемной записи можно реализовать большое количество решеток с разными периодами и ориентациями.

Для записи голографических решеток может использоваться экспериментальная установка, блок-схема которой представлена на рис. 2. Плоскости нейронов P_1 и P_2 находятся в передней фокальной плоскости линзы L_1 . Плоскость P_2 сопряжена с выходной плоскостью P_2' . Световые пучки, излучаемые нейронами A и B , коллимируются линзой L_1 , и образуемые две плоские волны интерферируют в объеме фоточувствительной среды, создавая решетку показателя преломления. Период и ориентация этой решетки зависят от местоположения нейронов A и B . При считывании этой решетки светом нейрона A дифрагированный свет будет фокусироваться в точке B' , сопряженной с точкой B . Дифракционная эффективность этой решетки (т. е. мощность связи соединения) зависит от времени экспозиции и соотношения амплитуд нейронов A и B . Для получения N^2 независимых оптических соединений эти решетки должны быть разными. Такое условие означает, что для всякой пары нейронов существует только одна решетка, обеспечивающая связь вход-выход.

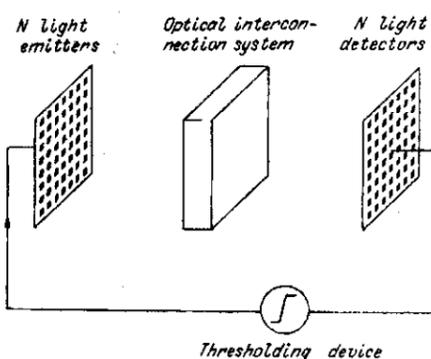


Рис. 1

Псалтис с сотрудниками [10] проанализировали способы размещения нейронов, обеспечивающие N^2 независимых соединений. Они показали, что для размещения N нейронов в этом случае необходимо $N^{4/3}$ элементов изображения, т. е. для 1000 нейронов — двумерная плоскость с количеством элементов, равным 100×100 . Следовательно, большинство элементов не занято. Такова цена, которую нужно заплатить за независимость связей. Фото-рефрактивные кристаллы пригодны для записи синаптической матрицы, поскольку они позволяют стирание старых и запись новых состояний. Однако в этих материалах каждая последующая экспозиция частично стирает информацию, записанную в предыдущих экспозициях. Поэтому очень важно при организации N^2 репрограммируемых и разных по мощности связей уметь управлять временем экспозиции и глубиной модуляции. Кроме того, следует иметь в виду, что ограниченность динамического диапазона среды для записи приводит к понижению эффективности решетки при увеличении общего числа записанных решеток, с одной стороны, а с другой — при увеличении количества решеток растет и шум, поскольку решетки не являются абсолютно независимыми.

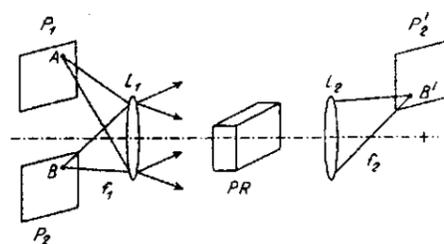


Рис. 2

Оптические каналы связи можно организовать также с помощью двойного фазосопряженного зеркала [11, 12]. В этом устройстве (рис. 3) пучки 2 и 4 падают на фоторефрактивный кристалл (обычно BaTiO_3) с противоположных сторон. Пучки пространственно промодулированы и могут создаваться двумя разными лазерами. Каждый из этих пучков образует в фоторефрактивном материале свою собственную решетку из-за интерференции с полем собственного рассеяния. При этом из всех возможных решеток существует только одна, которая усиливается накачкой обоими пучками. Пучки накачки 2 и 4, взаимо-

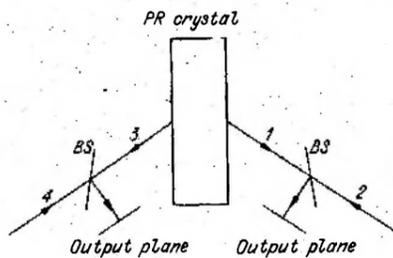


Рис. 3

действуя через эту решетку, перекачиваются в пучки 3 и 1 соответственно. Интерференция пучка 2 с его партнером 3 и соответственно пучка 4 с 1 дает единственную решетку. Пучок 3, полученный из пучка 2, находится в фазовом сопряжении с пучком 4 и не несет пространственной информации о пучке 2, хотя его энергия целиком взята из него. Аналогично пучок 1 находится в фазовом сопряжении с пучком 2. Если амплитуда 2 много больше амплитуды пучка 4, то фазосопряженный пучок 3 будет значительно мощнее

4, что приведет к повышению коэффициента отражения.

Подобное устройство фазового сопряжения может использоваться для создания многопортовых межсоединений. Пусть два пучка 2 и 4 образуются от N и M источников (или элементов изображений) соответственно. Каждый из N источников пучка 2 будет связан с каждым из M источников пучка 4, и наоборот. Для примера рассмотрим область связей, включающую два элемента изображения A_1 и A_2 на одной стороне кристалла и три элемента B_1, B_2 и B_3 , расположенных на другой стороне. Если мы хотим преобразовать A_1 в B_1 и B_2 , а A_2 в B_3 , то мы должны записать решетки с источниками A_1, B_1, B_2 , а затем с источниками A_2, B_3 . В процессе считывания A_1 и A_2 выступают как источники, а B_1, B_2, B_3 — как приемники. Соответственно свет от A_1 будет направляться решеткой в B_1 и B_2 , а от A_2 — своей решеткой в B_3 . Мощностью оптического канала связи и пространственной конфигурацией можно управлять. Важным достоинством этой системы является то, что для записи и считывания можно использовать разные источники света, причем некогерентные. Величина перекрестных помех в системе определяется степенью селективности объемных решеток.

3. Ассоциативная память с использованием голографических методов. Применение нейронной сетки для ассоциативной выборки существенно усложняется при использовании двумерных массивов большой размерности. В таких ситуациях выгоднее применять голографические корреляционные методы. Кроме того, оптическая голография позволяет обрабатывать как амплитудные, так и фазовые объекты.

На рис. 4 приведена схема записи голографической памяти. Запись фурье-голограмм объектов осуществляется с помощью опорного пучка в виде плоской волны, причем для каждого объекта используется свой угол падения опорной волны. Плоская волна, освещающая объект, проходит в направлении оптической оси, а фурье-спектр различных объектов модулируется разными несущими частотами. Пайком и Псалтисом [13] предложен другой метод записи, в котором для одновременной записи многих голограмм использовался один

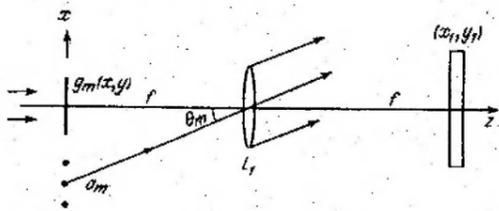


Рис. 4

наклонный опорный пучок, а объекты располагались один около другого в передней фокальной плоскости линзы, выполняющей преобразование Фурье.

Проанализируем запись и восстановление одного из объектов, амплитудное пропускание которого $g_m(x, y)$, а соответствующий источник опорного пучка находится в точке $x = -a_m$. Амплитудное пропускание голограммы t пропорционально интенсивности падающего пучка:

$$t \sim \left| G_m(x_1, y_1) + \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sin \Theta_m x_1\right) \right|^2,$$

где Θ_m — угловое смещение опорного пучка; $G_m(x_1, y_1)$ — фурье-образ для $g_m(x, y)$, вычисленный для пары частот $(x_1/\lambda f, y_1/\lambda f)$. Предполагается, что полная экспозиция от всех записываемых объектов не выходит из линейного динамического диапазона используемого материала. Проведем считывание где символ * обозначает комплексное сопряжение. В плоскости (x_2, y_2) вблизи точки $x_2 = a_m$ получим фурье-преобразование $G'_m G_m^*$. Фурье-образ $G'_m G_m^*$ является корреляцией g и g' . Если $g \equiv g'$, то в точке $x_2 = a_m$ будет наблюдаться узкий пик автокорреляции. Если g' немного отличается от g , то корреляционный пик станет меньшим по интенсивности и размытым. С помощью малой диафрагмы, помещенной в точке $x_2 = a_m$, можно выделить основной пик и подавить свет из его окрестности. Естественно, что с помощью нелинейного порогового механизма можно уменьшить рассеянный свет, а свет в области максимума не только сохранить, но и усилить. Если в плоскости (x_2, y_2) поместить зеркало, то узкий пик выполнит роль точечного источника света и плоская волна от него пройдет голограмму в обратном направлении. Поскольку голограмма содержит полную информацию о $g(x, y)$, объект восстановится полностью в плоскости (x, y) и может быть выделен с помощью делителя пучка.

Поскольку голограмма содержит фурье-спектры всех хранимых объектов, при ее восстановлении с $g'(x, y)$ во входной плоскости в плоскости (x_2, y_2) будет большое число отдельных кросскорреляционных пиков. Такая ситуация реализуется тогда, когда голограмма имеет объемный характер, а в процессе ее записи использованы соответствующие углы опорных пучков. Если $g(x, y)$ является наиболее близким к $g'(x, y)$, то пик при $x_2 = a_m$ будет наиболее узким и ярким из всех наблюдаемых пиков. Используя операцию нелинейного порогового ограничения, можно подавить все остальные пики, за исключением наиболее интенсивного.

Если голограмма тонкая, то распространяющаяся назад плоская волна будет восстанавливать все хранимые изображения. При этом в выходной плоскости изображения пространственно разделены, а искомый объект $g(x, y)$ будет находиться на оси. Когда голограмма толстая, то восстанавливается лишь искомый объект $g(x, y)$, однако необходимо учитывать, что при смещениях качество фурье-голограмм ухудшается.

При записи сложных голограмм полезно усилить элементы записываемых объектов, соответствующие низким частотам преобразования Фурье, поскольку ограниченность динамического диапазона материала приводит к их ослаблению. Усиление низких частот позволяет улучшить разрешение между записываемыми изображениями.

Ассоциативные характеристики голографии и возможности полного восстановления изображения по не-

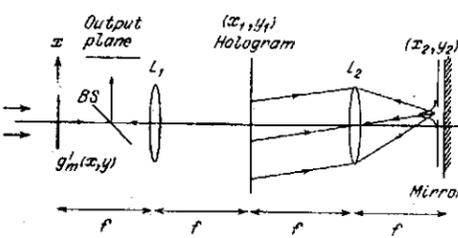


Рис. 5

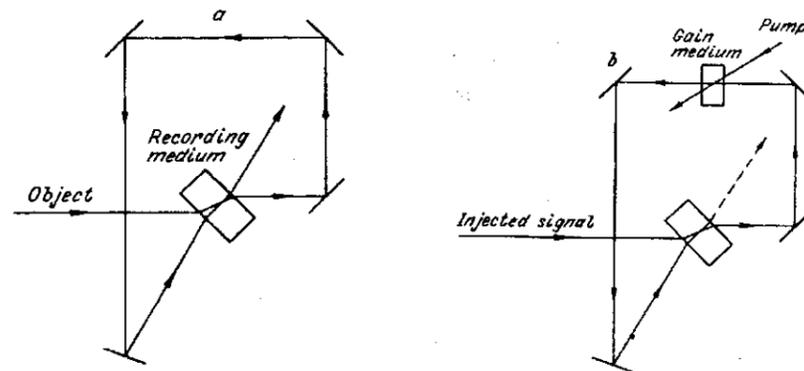


Рис. 6

полной копии на входе оценивались высоко и ранее [14—17]. Развиваемый в последнее время подход, сочетающий в себе пороговое ограничение, обратную связь, усиление и итерационность, привел к увеличению селективности записи и повышению отношения сигнал/шум. Для организации порогового ограничения, обратной связи и усиления авторы работы [18] использовали фазосопряженное зеркало после линзы L_2 . Это зеркало, создавая селективную связь, усиливает мощность в корреляционном пике при одновременном подавлении всех остальных световых потоков. Усиление, достигаемое с помощью одного зеркала, невелико, поэтому чаще всего используют резонатор из двух фазосопряженных зеркал, который позволяет обеспечить итерационность процесса. Зеркало создавалось в фоторефрактивном кристалле $BaTiO_3$ с помощью вырожденного четырехволнового смешивания. Для обеспечения максимального фазосопряженного отражения выбирались оптимальные углы между накачивающими и считывающими пучками, а также угол между волновым вектором решетки и осью с кристалла.

Другой подход предложен Андерсеном [19], использовавшим кольцевой резонатор с голограммой, на которой записаны изображения. Каждое изображение определяется собственной модой резонатора. Принцип записи показан на рис. 6, а. Запоминаемое изображение вводится в резонатор, и голограмма формируется из-за интерференции инжектированного изображения с изображением, пробежавшим по кольцу и выполняющим роль опорного пучка. Таким способом можно записывать одновременно различные объекты. Во время считывания усиливающая среда вносится в резонатор, что приводит к генерации (рис. 6, б). В качестве активной среды использовался кристалл $BaTiO_3$, накачиваемый излучением аргонового лазера на длине волны 515 нм. Если в резонатор инжектируется часть одного из хранимых изображений, то пространственная мода, соответствующая искомому изображению, усиливается, в то время как остальные моды подавляются. Восстановленное полностью изображение формируется в направлении распространения недифрагированного на голограмме света, как показано на рис. 6, б штриховой линией. Принцип работы описанного устройства продемонстрирован на двух простых изображениях — двух парах световых точек.

Заключение. Несмотря на то что фоторефрактивные материалы интенсивно исследуются уже в течение 20 лет и продемонстрирован ряд интересных применений, на свободном рынке промышленных устройств на их основе нет. Это связано, прежде всего, с тем, что в настоящее время нет материала, который бы обладал всеми необходимыми свойствами, а именно: быстрым откликом, большой модуляцией показателя преломления, низкой энергией записи, высокими оптическим и механическим качествами и т. д.

Существующие успехи и достижения по созданию новых и улучшению качества имеющихся материалов позволяют надеяться, что массовое производство таких устройств станет возможным в ближайшем будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Photorefractive Materials and their Applications /Eds P. Gunter, J. P. Huignard.—Berlin: Springer-Verlag, 1988.—V. 1, 2.
2. Feinberg J., Hellwarth R. W. // Opt. Lett.—1980.—5.—P. 519.
3. Mallick S., Rouede D., Apostolidis A. G. // JOSA.—1987.—B4.—P. 1247.
4. Huignard J. P., Marrakchi A. // Opt. Commun.—1981.—38.—P. 249.
5. Stepanov S. I., Petrov M. P. // Opt. Commun.—1985.—53.—P. 292.
6. Hopfield J. J. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA.—1982.—79.—P. 2554.
7. Hopfield J. J. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA.—1984.—81.—P. 3088.
8. Bijjani R., Das P. K. // JOSA: Proc. OSA Annual Meeting Rochester.—1987.—A4(13)—P. 118.
9. Lalanne P., Chavel P., Taboury J. // Appl. Opt.—1989.—28.—P. 377.
10. Psaltis D., Gu X. G., Brady D. // Proc. SPIE; Opt. Comput.—1988.—88.—P. 468.
11. Sternklar S., Weiss S., Segev M., Fischer B. // Opt. Lett.—1986.—11.—P. 528.
12. Cronin-Golomb M. // Appl. Phys. Lett.—1989.—54.—P. 2189.
13. Paek E. G., Psaltis D. // Opt. Eng.—1987.—26.—P. 428.
14. Vander Lugt A. // IEEE Trans. Inf. Theory.—1964.—IT-10.—P. 139.
15. Collier R. J., Pennington K. S. // Appl. Phys. Lett.—1966.—8.—P. 44.
16. Gabor D. // IBM J. Res. Dev.—1969.—13.—P. 156.
17. Collier R. J., Burckhardt C. B., Lin L. H. // Optical Holography.—N. Y.: Academic, 1971.—Ch. 14.
18. Owechko Y., Dunning G. J., Marom E., Soffer B. H. // Appl. Opt.—1987.—26.—P. 1900.
19. Anderson D. Z. // Opt. Lett.—1986.—11.—P. 56.

Поступила в редакцию 7 мая 1991 г.

УДК 621.373.826.038

Е. Г. Волков, В. А. Жмудь, З. Б. Кругляк

(Новосибирск)

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР ДЛЯ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

Описан управляемый от персонального компьютера источник когерентного света на базе серийного полупроводникового лазерного излучателя. Источник выполнен в стандарте И-41. В нем реализовано программное управление уровнями постоянной и импульсной мощностей излучения, длительностью световых импульсов (от 40 до 160 нс) и температурой активной области лазерного излучателя, что позволяет выбрать оптимальный режим работы излучателя и обеспечить воспроизводимость основных характеристик излучения: длины волны, мощности, диаграммы направленности.

Введение. Полупроводниковые лазеры инжекционного типа выгодно отличаются от газовых малыми размерами, высоким КПД, низким уровнем собственных шумов, простотой модуляции оптического излучения [1], что позволяет использовать их в устройствах магнитооптической памяти [2—4]. В то же время указанные лазеры характеризуются существенно большей зависимостью длины волны и других характеристик излучения (мощности, модового состава, диаграммы направленности) от температуры рабочей области и тока накачки [5—7].