

- [2] Mandelkorn J. - Патент США, кл. 252-62.3, N 3.409.554.
- [3] Mandelkorn J., Schwartz L., Broder Y., Kautz H., Ullman R. J. Appl. Phys., 1964, v. 35, N 7, p. 2258-2260.
- [4] Назыров Д.Э., Регель А.Р., Куликов Г.С. Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР, № 1122, 1987, 56 с.
- [5] Агеев В.В., Аксенова Н.С., Коковина В.Н., Трошина Е.П. - Изв. ЛЭТИ, 1977, в. 211, с. 80-85.
- [6] Коршунов Ф.П., Кожекина Т.В., Модорский Б.М., Юшкин Н.П. - Изв. АН БССР, сер. физ.-мат. наук, 1977, № 6, с. 108-111.
- [7] Борисенко А.И., Волокобинский Ю.М., Коковина В.Н., Трошина Е.П., Чепик Л.Ф., Фролова Т.Н. - ДАН СССР, 1982, т. 262, № 6, с. 1409-1412.
- [8] Бахадырханов М.К., Талипов Ф.М., Джурабеков У.С., Султанова Н.В., Эгамов У. - Электронная техника, сер. 6, Материалы, 1984, в. 5 (190), с. 79-80.
- [9] Усков В.А., Родионов А.И., Власенко Г.Т., Федотов А.Б. - В кн.: Легированные полупроводниковые материалы. М.: Наука, 1985, с. 80-83.
- [10] Diffusion in Crystalline Solids, ed. by G.E. Murch and A.S. Novick. Academic Press, Inc., New York et al., 1984, p. 90.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
28 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 12

26 июня 1988 г.

ОПТИЧЕСКОЕ ВЫЧИТАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ МДП-ЖК

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

Устройства оптического вычитания изображений находят широкое применение для решения ряда задач, связанных с распознаванием образов (роботехника), сокращением избыточности передаваемых изображений (дельта-модуляция), для реализации методов некогерентной пространственной фильтрации [1]. Использование для этих

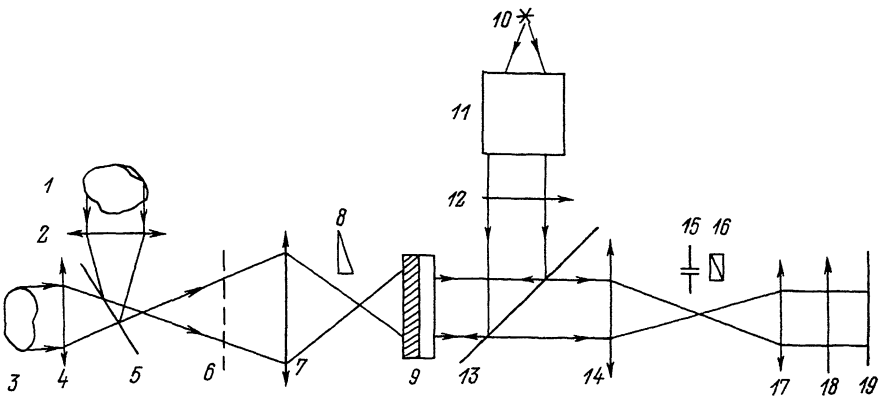


Рис. 1. Оптическая схема установки. 1, 3 - входные изображения; 2, 4, 7, 14, 17 - линзы; 5, 13 - делительная пластинка; 6 - решетка; 8 - стеклянный клин; 9 - ОУТ; 10 - источник света; 11 - коллиматор; 12, 18 - поляризаторы; 15 - щель; 16 - призма Вошластона; 19 - экран.

целей оптически управляемого жидкокристаллического транспаранта (ОУТ) [2] позволяет во многих случаях существенно упростить оптическую схему, работать в реальном масштабе времени, производить вычитание изображений реальных объектов и применять методы когерентной оптики.

Принцип работы оптически управляемого транспаранта [3] основан на переориентации анизотропных молекул в слое ЖК при приложении напряжения, причем потенциальный рельеф может быть создан оптическим путем. В этом случае падающий на фотополупроводник свет генерирует в нем носители, пространственно модулируя тем самым его проводимость, а значит и напряжение на ЖК. Интенсивность света, прошедшего через такой модулятор, работающий на S эффекте и помещенный между скрещенными поляризаторами, равна:

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

где $\Delta n(V)$ - разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей (зависящая от напряжения V на ЖК), λ - длина волны считывающего света, φ - угол между осями поляризатора и директора ЖК (для получения максимального контраста φ выбирают равным 45°), d - толщина слоя ЖК.

В нашей работе мы исследуем возможность использования ОУТ в различных оптических схемах для вычитания изображений в реальном масштабе времени. Особенностью работы является освещение сравниваемых изображений излучениями с отличающимися длинами волн.

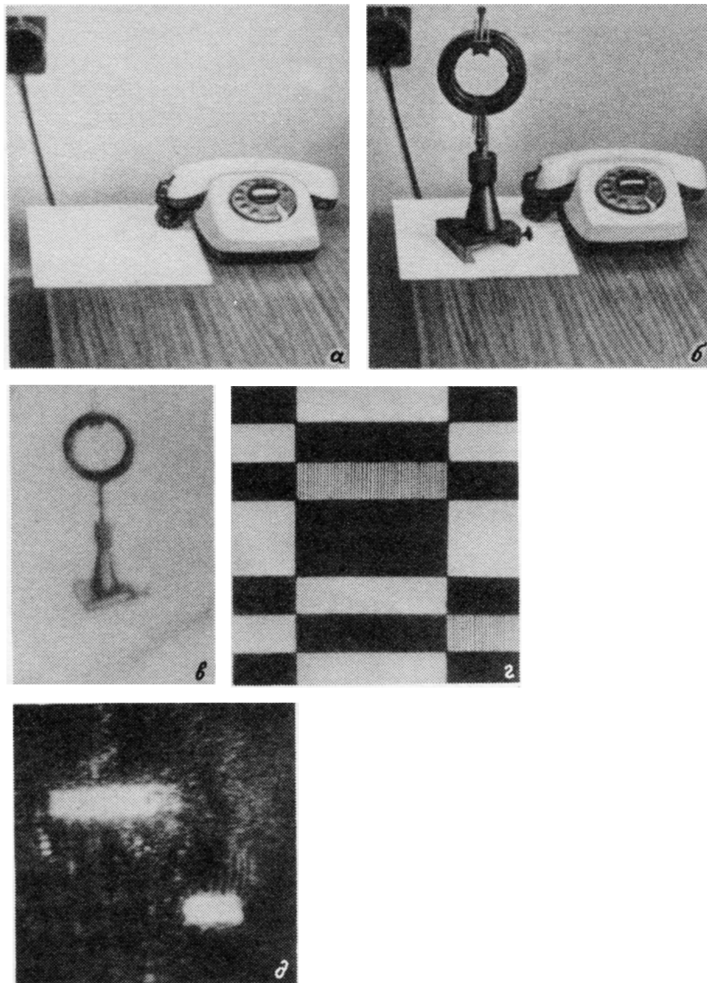


Рис. 2. а - результат вычитания бинарных объектов; б - преобразованное разностное изображение; в, г - полутоновые изображения; д - результат их вычитания; е - изображение на Ф.П. транспаранта ж - разностное изображение, полученное после фильтрации в Фурье-плоскости.

Одним из наиболее простых методов вычитания является суммирование позитивного и негативного изображений [4]. Для этой цели мы используем один ОУТ, а изображения двух объектов пространственно разносим на фотопроводящем слое ОУТ. При считывании использовались лампа накаливания и интерференционный фильтр (рис. 1). Мы применили в качестве анализатора призму Волластона, с помощью которой в плоскости регистрации формируются две пары простран-

венно разнесенных изображений (позитивное и негативное) двух картин. Перемещением изображений на фотополупроводнике друг относительно друга можно добиться совмещения позитива одной картины с негативом другой.

Аналогичные результаты получены при считывании полихроматическим светом. В этом эксперименте мы применили ртутную лампу ДРК-120, дающую две яркие линии в видимом диапазоне. При использовании источника света с двумя длинами волн возможна такая настройка транспаранта, при которой для одной длины волны изображение позитивно, а для другой — негативно. Совмещение этих изображений в плоскости регистрации производилось дифракционной решеткой.

Следует отметить, что в данной схеме разрешение определяется не только ОУТ (30 лин./мм) и спектральной шириной источника, но и различным угловым увеличением решетки для двух различных длин волн. Так, при установке решетки по автоколлимационной схеме для λ_1 и угле падения обоих излучений на решетку $\psi = 20^\circ$ (увеличение для λ_1 равно 1) изменение угла дифракции $\Delta\psi = 0.1$ для λ_2 (относительно направления дифракции λ_1) дает изменение масштаба изображения $D_2/D_1 \approx 0.97$.

Основной недостаток таких схем заключается в том, что разностное изображение наблюдается на светлом фоне, причем отличия в исходных изображениях проявляются в виде как ярких, так и темных участков. Устранить этот недостаток возможно, применяя второй транспарант, настроенный на минимум модуляционной характеристики ($I_{\text{вх}} = f(I_{\text{вх}})$) по фону, в силу симметрии которой (относительно минимума) происходит преобразование разностного изображения (темного и светлого) в яркое изображение на темном фоне. Результат вычитания полутоновых изображений 2,а и 2,б представлен на рис. 2,в.

Другим методом, позволяющим более полно использовать апертуру ОУТ, является метод кодирования вычитаемых изображений решеткой Рунки [5]. Суть этого метода заключается в том, что при суммировании двух изображений, пространственно промодулированных сдвинутыми на $1/2$ периода решетками, в результате оказываются закодированными с пространственной частотой решетки только отличающиеся участки в исходных изображениях. Действительно, если $I_1(x, y)$ и $I_2(x, y)$ — распределения интенсивности в исходных изображениях, а $G(x)$ — функция пропускания решетки с периодом d , то

$$I_{\Sigma}(x, y) = I_1(x, y)G(x, y) + I_2(x, y)G(x + \frac{d}{2}).$$

Так, в случае синусоидальной решетки

$$G(x) = 1 + \sin \frac{2\pi x}{d},$$

$$I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + (I_1 - I_2) \sin \left(\frac{2\pi x}{d} \right).$$

Выделение разностного изображения, как правило, производится либо электронным способом (фильтрацией электрического сигнала с ТВ-камеры), либо фильтрацией в Фурье-плоскости (отделением нулевого порядка — постоянной составляющей). Все модификации этого метода различаются способом кодирования изображений. Мы предлагаем для этой цели использовать вычитание разноцветных изображений. Освещая два изображения через два различных фильтра и помещая за решеткой стеклянный клин, за счет его хроматической дисперсии возможно получение цветных изображений решетки на слое фотополупроводника ОУТ, сдвинутых на $1/2$ периода. Таким образом, только разностное изображение будет пространственно промодулировано (рис. 2,г). Результат вычитания, представленный на рис. 2,д, получен путем помещения щели в один из первых порядков Фурье-спектра изображения 2,г (считывание проводилось *He-Ne* лазером). Пространственная частота решетки (10 лин./мм) должна быть по крайней мере в два раза выше максимальной пространственной частоты изображения.

В наших экспериментах использовался транспарант со структурой МДП-ЖК на основе полуизолирующего *GaAs* и нематического жидкого кристалла ЖК-654. При напряжении питания 15 В и плотности мощности записи 10^{-3} Вт/см² разрешающая способность и время переключения составили соответственно 30 лин./мм и 0.1 с. Следует отметить, что лучшие образцы транспарантов имеют время цикла перезаписи, приближающееся к единицам миллисекунд.

Предложенные схемы ввиду их высокой производительности (10^8 – 10^9 бит/с) и гибкости несомненно представляют интерес для гибридных оптоэлектронных вычислительных систем.

Л и т е р а т у р а

- [1] E b e r s o l e J.E. — Opt. Eng., 14, 436 (1975).
- [2] Р у д а к о в С.В., С у б б о т и н Ф.М. — Письма в ЖТФ, 1981, в. 24, с. 1501.
- [3] Г р и б о в Б.Г., Д у м а р е в с к и й Ю.Д., К о в т о н ю к Н.Ф. и др. — Электронная техника, сер. Микроэлектроника, 1981, в. 5, с. 82.
- [4] М а р о м Е. — Opt. commun., 1978, v. 26, p. 169.
- [5] D a s h i e l l S.R., L o h m a n n A.W. — Opt. commun., 8, 105 (1973).

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
5 октября 1987 г.
В окончательной редакции
12 апреля 1988 г.