

Ц848
А-91

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



14/16-75

1456/2-75 .

10 - 8601

А.Я.Астахов, З.Замори, И.И.Скрыль, Ю.И.Сусов

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
НА ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ
В АППАРАТУРЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ
С ОПТИЧЕСКИХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

1975

10 - 8601

А.Я.Астахов, З.Замори, И.И.Скрыль, Ю.И.Сусов

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
НА ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ
В АППАРАТУРЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ
С ОПТИЧЕСКИХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В последнее время ведутся интенсивные исследования по созданию твердотельных аналогов передающих телевизионных трубок на основе полупроводниковых МОП-структур с зарядовой связью /ПЗС/^{1,2/}. Основным принципом работы ПЗС заключается в возможности накопления и затем последовательного переноса дискретных пакетов неосновных носителей заряда потенциальными ямами посредством изменения в определенной последовательности электрических потенциалов на металлических электродах МОП-структур прибора^{3/}.

В устройствах для фотоэлектрического преобразования сигналов /ФЭП/, построенных на ПЗС-структурах, оптическое изображение при помощи набора светочувствительных элементов преобразуется в распределение зарядовых пакетов, соответствующих деталям изображения. В результате считывания на выходе прибора создается ряд импульсов определенной последовательности, амплитуда которых пропорциональна световой энергии, накопленной в каждом светочувствительном элементе. На этой основе уже созданы линейные и двумерные матрицы ФЭП на ПЗС. В частности, фирма Fairchild в 1973 году известила о создании и выпуске в продажу двух типов ФЭП на ПЗС: линейной структуры, состоящей из 500 светочувствительных элементов - CCD-101^{4/} и матрицы, состоящей из 100 x 100 светочувствительных элементов - CCD-201^{5/}.

В этой статье рассматривается возможность применения CCD-201 для визуального контроля за режимом работы стримерной камеры, а также в качестве датчика мини-скана в аппаратуре обработки камерных снимков.

Краткое описание матрицы CCD-201 /6/

Блок-схема CCD-201 приведена на рис. 1. Светочувствительная поверхность, размером $3 \times 4 \text{ мм}^2$, состоит из 10 тыс./100 x 100/ светочувствительных элементов. Размер каждого элемента - $20 \times 30 \text{ мкм}^2$. расстояние между центрами элементов - 30 и 40 мкм соответственно. Кроме набора светочувствительных элементов, в состав CCD-201 входят: 100 вертикальных 100-элементных двухтактных аналоговых сдвигающих регистров, 102-элементный горизонтальный двухтактный аналоговый сдвигающий регистр, выходной детектор - предусилитель, цепь заряда и компенсационный усилитель.

Световой поток, поступающий на входное окно матрицы, образует в светочувствительных элементах фотоэлектроны, которые накапливаются в течение времени, задаваемого управляющим потенциалом на шине Р. Количество накопленных электронов в каждом элементе является функцией освещенности и времени экспозиции /накопления/. Величина выходного сигнала при этом может изменяться непрерывным образом от уровня тепловой помехи при нулевой освещенности до максимума при насыщении.

Сигналом для считывания изображения является переключение потенциала на шине Р, в результате чего накопленные заряды передаются в вертикальные сдвигающие регистры. Под действием синхроимпульсов В1 и В2 заряды из этих регистров передаются в горизонтальный сдвигающий регистр и далее, под действием синхроимпульсов Н1 и Н2, поступают на вход детектора-предусилителя, где преобразуются в выходные напряжения, поступающие на контакт А. Детектирование заряда осуществляется на предварительно разряженном диоде. Синхроимпульсы для заряда диода подаются на контакт М; возникающий при этом импульс помехи, который искажает выходной видеосигнал, выделяется на контакте К компенсационного усилителя.

Последовательность видеосигналов на контакте А соответствует телевизионной развертке /через строку/ с двумя полукадрами.

Все элементы, входящие в состав матрицы, расположены в одном пластмассовом корпусе для больших интегральных схем с 24 выводами.

Основные светотехнические характеристики CCD-201

Экспозиция, соответствующая насыщению, равна $H = E \cdot T = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ лк} \cdot \text{с} / \text{Е}$ - освещенность отдельного элемента, Т - время экспозиции/ при освещении матрицы светом вольфрамовой лампы накаливания с цветовой температурой 2854 К, частоте тактовых импульсов сдвига вдоль строки - 500 кГц, частоте строчных импульсов - 3 кГц, частоте кадров - 30 Гц.

Динамический диапазон, равный отношению экспозиции насыщения к экспозиции, соответствующей уровню шума, - $100 \div 200$.

Диапазон спектральной чувствительности - $0,48 \div 1,1 \text{ мкм}$.

Диапазон значений частоты тактовых импульсов сдвига вдоль строки - от 0,1 до 4,0 МГц.

Разброс величины чувствительности элементов по полю матрицы - $\pm 15\%$.

Наблюдение событий в стримерной камере

Возможность применения матрицы для наблюдения событий в стримерных камерах мы рассмотрим на примере стримерной камеры СКМ-200. В работе /7/ показано, что при диаметре стримера $1 \div 2 \text{ мм}$ в рабочем объеме камеры, его яркость равна примерно $1 \text{ Мкд} / \text{м}^2$ / время для высвечивания порядка 10^{-8} с / и что этой яркости достаточно для получения нормальных почернений при регистрации событий на аэрофотопленке с чувствительностью $S_{0,85} = 2000 \text{ ед. ГОСТ}$, при относительных отверстиях объектива $1/2 \div 1/5$ и масштабах фотографирования $1/20 \div 1/75$; диаметр изображения стримера на пленке при этом равен $150 \div 50 \text{ мкм}$ соответственно.

Приведенные данные означают, что величина световой энергии, поступающей на пленку от отдельного стримера,

эквивалентна экспозиции не менее $1 \div 5 \cdot 10^{-3}$ лк·с. Для получения экспозиции, соответствующей середине динамического диапазона чувствительности элемента матрицы, достаточно световой энергии, эквивалентной величине экспозиции $0,03 \cdot 10^{-3}$ лк·с, то есть элементы матрицы примерно на два порядка более чувствительны. Хотя точность приведенной оценки невысока, по-видимому, не лучше $\pm 10 \div 20$ раз, можно с достаточной уверенностью заключить, что по светочувствительности матрица пригодна для наблюдения событий в стримерных камерах. Что касается разрешения, то очевидно, что 100×100 элементов достаточно только для наблюдения качественной картины событий. При проекции на матрицу уменьшенного примерно в 100 раз изображения рабочего объема камеры можно будет наблюдать часть камеры размером 300×400 мм², при этом размер изображения стримера будет примерно равен элементу матрицы, а среднеквадратичная ошибка определения положения отдельных стримеров будет около 2 мм в объеме камеры.

Датчик мини-скана в аппаратуре обработки снимков

Рассмотрим возможность применения матрицы CCD-201 в качестве датчика мини-скана для реализации режима автосопровождения, например, в установках СИ/8/ или БПС-3/9/.

Освещенность пленки в фильмовых каналах обоих приборов примерно одинакова и составляет $E = \approx 10^4$ лк. При проекции изображения на матрицу освещенность ее плоскости равна $E_M = K_1 K_2 E / V^2$, где K_1 - коэффициент светопропускания оптической системы, $K_1 = 0,1$; K_2 - коэффициент, равный отношению величины светового потока, используемого для проекции на матрицу, к полному световому потоку; V - увеличение изображения в плоскости матрицы.

При работе матрицы в рекомендованном фирмой режиме /частота тактовых импульсов - 500 Гц/ время экспозиции, равное примерно времени следования кадров, составляет $T = \approx 30$ мс, отсюда освещенность матрицы, необходимая для получения экспозиции насыщения, равна $E_M = 10^{-5}$ лк.

Определим коэффициент K_2 при 10-кратном увеличении V / при этом увеличении шаг элементов матрицы, приведенный к плоскости снимка, равен 3 и 4 мкм/. $K_2 = E_M V^2 / K_1 E = 10^{-6}$, то есть для освещения матрицы необходима ничтожная часть от полного светового потока, проходящего через пленку. Здесь следует заметить, что матрица в качестве датчика мини-скана используется в рекомендованном фирмой режиме, и приведенные выше цифры довольно точно отражают реальную ситуацию.

Что касается точностных характеристик, то такие ограничения существуют. В аппаратуре обработки снимков обычно цена единицы отсчета при измерении координат объективов принята равной 2,5 мкм /допустимым значением среднеквадратичной ошибки измерения считается величина ≈ 5 мкм/. Для того чтобы получить шаг светочувствительных ячеек матрицы в плоскости пленки равным примерно 2,5 мкм, необходимо на матрицу спроецировать изображение с 15-кратным увеличением. Однако в этом случае зона сканирования равна всего $0,3 \cdot 0,4$ мм², что примерно в 3 ÷ 5 раз меньше обычно принятого линейного размера мини-скана, равного $1 \div 2$ мм.

Чтобы увеличить зону мини-скана, необходимо увеличить приведенный к пленке шаг светочувствительных ячеек матрицы, обеспечив при этом необходимую точность измерения. Учитывая специфику объектов, подлежащих измерению / следы частиц, состоящие из набора непрозрачных точек вдоль траектории частицы; размер диаметра точек на пленке равен примерно $20 \div 60$ мкм/ зону мини-скана можно увеличить до величины, обеспечивающей минимум два-три отсчета на объект измерения, то есть примерно в 4 раза. Ограничение точности в этом случае будет определяться отношением полезный сигнал - шум и разбросом величины светочувствительности элементов матрицы.

Итоги и выводы

Матрица светочувствительных элементов на основе полупроводниковых приборов с зарядовой связью является

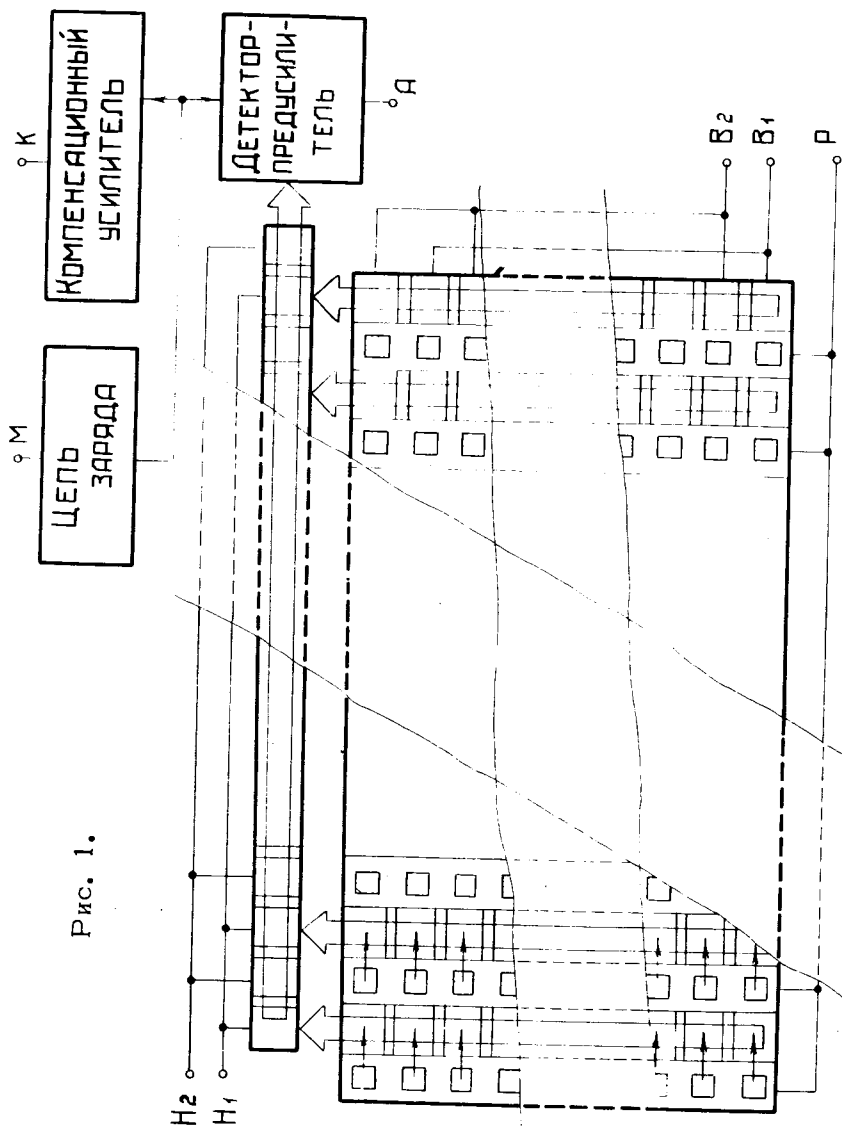


Рис. 1.

высококчувствительным преобразователем оптического изображения в электрические сигналы. По светочувствительности она превосходит лучшие сорта аэрофотопленок и может эффективно использоваться для съема оптической информации с трековых детекторов в том случае, если не требуется высокого разрешения. Уже существующие образцы матриц /например, CCD-201 / могут применяться также в качестве датчиков мини-скана в аппаратуре обработки снимков. Благодаря простоте управления и высокой надежности такие матрицы могут успешно конкурировать с устройствами мини-сканирования на основе механических, оптических или электронно-лучевых устройств.

Литература

1. П.Е.Кандыба и др. Приборы с зарядовой связью. Состояние и перспективы развития. Микроэлектроника. Сб. статей, вып. 7, 1974, Изд. "Советское радио", М., стр. 55-78.
2. В.А.Зимогляд и др. Фотоприемное устройство на приборе с зарядовой связью. Электронная техника. Серия III, вып. 2/42/, 1973. Стр. 39-42.
3. W.S.Boyle, G.H.Smith. Charge Coupled Semiconductor Device. The Bell System Technical J. 1970, v. 49, No. 4, p. 587.
4. Работы по созданию твердотельного видикона на структурах со скрытыми каналами. Электроника, №11, 1972/ стр. 15-17.
5. Реклама CCD-201. Electronics, v. 46, №22, p.44-45, 1973.
6. Проспект фирмы Fairchild-CCD-201, 1973.
7. G.A.Vardenga et al. The JINR 2-meter Streamer Chamber International Conference on Instrumentation for High Energy Physics. Frascati (Italy), 1973, p. 157.
8. А.Я.Астахов и др. Препринт ОИЯИ, P10-4943, Дубна, 1970.
9. А.Я.Астахов и др. Сообщение ОИЯИ, 10-6629, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 февраля 1975 года.