

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.383.52 : 681.785

Ю. Х. КАГАН, С. В. КРУТЛИКОВ, М. А. МАЙОРЧУК,  
Ю. А. МАНУХИН, С. И. НАЙМАРК  
(Москва)

МДП-ФОТОДИОДНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ЛИНЕЙКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ  
В СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

В последнее время широкое развитие получили разработки спектральных приборов, в которых в качестве приемников излучения используются либо электронные вакуумные трубки, в частности видиконы [1], либо полупроводниковые многоэлементные фотоприемные линейки [2]. Эти устройства, благодаря их многоканальности, дают возможность получать практически одновременно информацию о всех спектральных составляющих излучения в пределах спектрального диапазона работы прибора. Причем, как известно, полупроводниковые линейки фотоприемников обладают рядом преимуществ по сравнению с вакуумными трубками, к числу которых относятся их малые геометрические размеры, небольшие управляющие напряжения, высокая надежность и долговечность.

Наиболее привлекательны для применения в спектральных приборах МДП-фотодиодные линейки и фотоприемные линейки на основе ПЗС. Причем МДП-фотодиодные линейки обладают более высокой однородностью чувствительности по спектру, а технология их изготовления позволяет получить в интегральном исполнении как сами фотоприемники, так и системы сканирования и обработки информации. В частности, в работе [3] описывается МДП-фотодиодная линейка, имеющая на одном кристалле ряд фоточувствительных ячеек и сдвиговые регистры. Каждая из ячеек содержит светочувствительный элемент — фотодиод — и три МОП-транзистора, два из которых предназначены для коммутации, а третий используется как усилитель напряжения, снимаемого с анода фотодиода. Описание линейки и ее основные фотометрические и временные характеристики приведены в [3]. Для использования в спектральных приборах представляют интерес ее спектральная характеристика и область спектральной чувствительности, которая должна перекрывать спектральный диапазон прибора.

В данной работе описываются результаты измерения спектральной чувствительности фотолинейки, которые проводились в соответствии с разделом ГОСТа [4] путем сравнения чувствительности ячеек с фотоприемником, имеющим аттестованную спектральную характеристику.

Блок-схема установки для измерения спектральных характеристик линеек фотоприемников представлена на рис. 1. В качестве источника света 1 была выбрана лампа ленточного типа СИ 6-40. Излучение в выходной щели монохроматора 2 ДМР-4 с помощью линзы 3 и откидного зеркала 4 фокусировалось либо на свето-

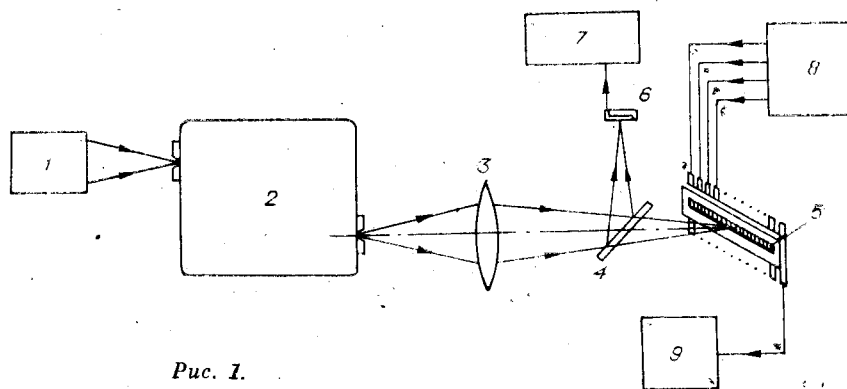


Рис. 1.

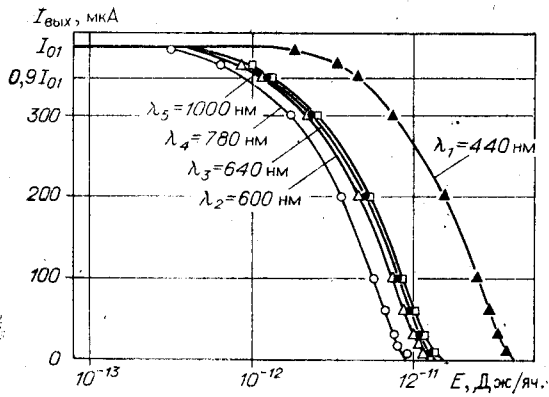


Рис. 2.

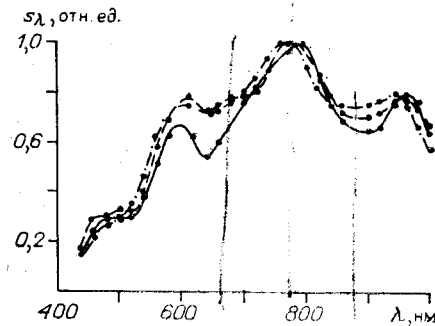


Рис. 3.

чувствительных ячеек фотоприемной линейки 5, либо на эталонном фотодиоде 6 ФД-24к, аттестованном в диапазоне длин волн 400—1000 нм. Фототок с обратного смещенного фотодиода измерялся цифровым ампервольтметром 7. Фотоприемная линейка запускалась от блока управления 8, в котором формировались тактовые импульсы, а также импульсы запуска и сброса, необходимые для работы ее сдвиговых регистров. Выходные сигналы регистрировались на осциллографе 9.

Спектральные измерения выполнялись при ширине щелей монохроматора 0,2—0,4—0,2 мм и при тактовой частоте опроса ячеек фотоприемной линейки 100 кГц. Время накопления заряда на фотодиодах составляло при этом 1—5 мс.

Для каждой из устанавливаемых на монохроматоре длин волн проводились измерения зависимости выходного тока от энергии облучения фотоячеек. Результаты измерений для некоторых длин волн представлены на рис. 2. Эти зависимости на линейном участке соответствуют аналитическому выражению для выходного тока, справедливому, когда степень разряда емкости фотодиода достаточно мала [3]:

$$I_{\text{вых}} = I_{01} - (S_{\lambda} P t g_m / C_D), \quad (1)$$

где  $S_{\lambda}$  — спектральная токовая чувствительность фотодиода;  $I_{01} = (\beta/2)(U_0 - U_{\text{отс}})^2$  — ток стока МДП-предусилителя;  $U_{\text{отс}}$  — напряжение отсечки транзистора;  $U_0$  — начальное напряжение, с которого начинается разряд фотодиода;  $g_m = \beta(U_0 - U_{\text{отс}})$  — крутизна управления транзистора по затвору;  $\beta$  — удельная крутизна транзистора;  $P$  — мощность излучения, падающего на фотодиод;  $t$  — время накопления.

Ток стока предусилителя  $I_{01}$  является одновременно темновым током фото-ячейки, так как протекает в ее выходной цепи при отсутствии излучения. При освещении фотоприемников ток уменьшается пропорционально энергии светового потока за время накопления.

Из графиков на рис. 2 легко найти относительные спектральные характеристики путем сравнения энергии световых потоков, падающих на фотодиод, необходимых для получения одинакового для всех длин волн излучения уровня выходного сигнала  $I_{\text{вых}}$ . Этот уровень выберем равным  $I_{\text{вых}0,9} = 0,9I_{01}$ . Спектральные характеристики, построенные для трех фотоприемников, выбранных с разных приборов, представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что кремниевые МДП-фотодиодные линейки могут применяться в диапазоне длин волн 450—1000 нм. Наличие, кроме основного, трех локальных максимумов объясняется интерференционными явлениями на слоях подзатворного ( $d_1 = 0,12$  мкм) и межслойного ( $d_2 = 0,38$  мкм) диэлектриков ( $\text{SiO}_2$ ). Положение экстремумов спектральных характеристик, показанных на рис. 3, согласуется со спектральными характеристиками пропускания слоев  $\text{SiO}_2$ , приведенными в работе [5]. Поскольку при проведении спектральных измерений наличие локальных максимумов нежелательно, целесообразно удаление с поверхности фотодиодов межслойного  $\text{SiO}_2$  и использование в качестве просветляющего покрытия только подзатворного диэлектрика.

При применении фотоприемной линейки в спектральных приборах на нее проецируется изображение спектра и каждый фотоприемник линейки измеряет мощность излучения одной из составляющих этого спектра. В результате опроса фото-ячеек с помощью сдвигового регистра с выхода фотоприемной линейки считывается последовательность электрических импульсов, которая адекватна спектральной характеристике излучения. Ее можно вывести на экран видеоконтрольного устройства, например осциллографа. При этом контур осциллограммы будет идентичен контуру спектрограммы излучения. Искажения, вносимые в изображение спектра на экране, и соответственно точность измерения будут ограничены в основном разбросом фотоприемных ячеек по таким параметрам, как темновой ток и фоточувствительность. Величина этого разброса не превышает 8% [3].

При работе фотоприемной линейки в широком спектральном диапазоне на ее выходной сигнал накладываются значительные искажения, связанные с неравномерностью излучения источника света по спектру, а также с неравномерностью спектральной чувствительности фотоячеек, т. е. с непостоянством  $S_\lambda$ . Для определения свободных от этих искажений спектральных характеристик пропускания (или поглощения) процесс измерений приходится усложнять. При этом исследуется спектральный состав как падающего на исследуемый образец излучения  $P_{\text{пад } \lambda}$ , так и прошедшего через него (или отраженного от него)  $P_{\text{пр } \lambda}$ , так как необходимо измерить опорный спектр и вычислить отношение  $T_\lambda = P_{\text{пр } \lambda} / P_{\text{пад } \lambda}$ . Как видно из (1), это отношение равно

$$T_\lambda = (I_{01} - I_{0п}) / (I_{01} - I_c), \quad (2)$$

где  $I_{0п}$  — выходной ток с фотоячеек при освещении фотоприемной линейки опорным спектром;  $I_c$  — выходной ток с фотоячеек при их освещении излучением, прошедшим через исследуемый образец.

Таким образом, измерение спектральных характеристик сводится к измерению и занесению в регистр памяти информации о темновых токах всех фотоячеек. Затем в фотоприемную линейку при отсутствии исследуемого образца вводится опорный спектр излучения источника и вычисляется разность  $I_{01} - I_{0п}$ , которая также запоминается в регистре памяти. Наконец, устанавливается образец, на который проецируется излучение, определяется  $I_{01} - I_c$  и вычисляется  $T_\lambda$ .

В заключение отметим следующее. Так как сдвиговые регистры МДП-фотодиодных линеек позволяют сканировать фотоячейки с частотой 9–10 МГц, то съем сигнала с них осуществляется за десятки микросекунд при числе ячеек 128 и за сотни микросекунд при числе ячеек 1024. Поэтому скорость регистрации спектров определяется в основном необходимым временем накопления и мощностью излучения, падающего на фотоприемную линейку. В автоматизированных спектральных приборах она может достигать нескольких тысяч спектров в секунду. При этом выходные сигналы фотоприемной линейки, адекватные спектру излучения, могут быть обработаны микропроцессором в реальном масштабе времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачев С. Ф., Кисловский И. Л., Нагулин Ю. Е. и др. Спектрометр с видикомом для исследования контуров спектральных линий.— Прикл. спектроскопия, 1978, т. XXVIII, вып. 5, с. 912.
2. Horlick G., Coddling E. G. Characteristics of photodiode arrays for spectrochemical measurements.— Appl. Spectroscopy, 1976, v. 30, N 2, p. 113.
3. Каган Ю. X., Кащеев Э. Л., Кругликов С. В. и др. Самосканируемая МДП-интегральная линейка фотоприемников.— Автометрия, 1984, № 3, с. 50.
4. ГОСТ 181.167-72. Определения характеристик относительной спектральной чувствительности.— Введ. 23.VI.72.
5. Ван де Виле Д. Просветляющие пленки и многослойные структуры.— В кн.: Полупроводниковые формирователи сигналов изображения/Под ред. П. Песперса и др. М.: Мир, 1979, с. 87.

Поступило в редакцию 24 октября 1985 г.

УДК 621.372.8 : 535.1

А. Я. БАЛАГУРОВ, В. И. ДОЦЕНКО, В. Н. МОРОЗОВ,  
В. И. НАЛИВАЙКО, А. Н. ПУТИЛИН, В. И. СКОБЕЛКИН

(Москва)

#### ВОЛНОВОДНЫЕ ГОЛОГРАММЫ ДВУМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Создание интегрально-оптических (ИО) схем с большой степенью интеграции — важная научная задача. Соединение достижений полупроводниковой технологии с голографическими методами формирования ИО-элементов открывает возможность получения широкого класса специализированных оптических схем [1]. Волноводные голограммы двумерных транспарантов позволяют вводить в ИО-схемы элементы голографической памяти, создавать ИО-процессоры и согласующие устройства для перехода от электронного к оптическому уровню обработки сигнала и обратно.

Обычно при воспроизведении волноводных голограмм образуются два изображения, расположенные симметрично относительно плоскости волновода [2]. При