

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВВОДА, ОБРАБОТКИ И ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.383

В. М. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ЗАЙДЕЛЬ, В. Ф. КРАСНОВ,
С. В. КУКЛЕВ, Л. А. ТУРОВСКИЙ, В. Г. ЦУКЕРМАН,
Л. Ф. ШУВАЛОВ

(Новосибирск)

МАТРИЧНЫЙ ВАКУУМНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ФОТОРЕГИСТРАТОР ДЛЯ ВВОДА ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭВМ

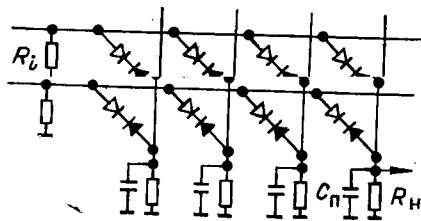
К концу 60-х годов несколькими американскими фирмами были изготовлены экспериментальные образцы вакуумно-полупроводниковых электронно-лучевых приборов [1]. Приборы, созданные на основе осциллографических трубок, на выходе, вместо люминесцентного экрана, имели полупроводниковые $p-n$ - либо $p-i-n$ -структуры. При попадании электронного луча на поверхность полупроводникового элемента в нем за счет эффекта катодоусиления [2] возникал ток, превосходящий ток луча в тысячи раз. Управление выходным током осуществлялось либо модуляцией, либо отклонением электронного луча. Приборы этого типа могли выполнять все функции электронных ламп, не уступали лампам в быстродействии и существенно превосходили их по крутизне.

Быстрое развитие вычислительной техники сделало актуальной проблему экспресс-обработки оптической информации, и за короткое время были созданы различные виды твердотельных преобразователей изображения типа «свет — электрический сигнал» (мозаичные фотодиодные структуры, фотоприемные диод-диодные матрицы, самосканирующиеся линейки и матрицы и т. п. [3]). Дополнительным стимулом для создания подобных фоторегистраторов явилась потребность техники в твердотельном аналоге передающей телевизионной трубки.

Вакуумно-полупроводниковые электронно-лучевые системы и твердотельные фоторегистраторы послужили основой для разработки приборов нового типа — гибридных преобразователей изображения. Входным элементом таких приборов является фотокатод, выходным — электронно-чувствительная полупроводниковая структура; так же, как и в электронно-лучевых гибридных приборах, здесь используется эффект катодоусиления [2, 4].

Основные преимущества гибридных фоторегистраторов по сравнению с их твердотельными аналогами:

- 1) возможность спектрального согласования прибора с источником света за счет выбора соответствующего типа фотокатода;
- 2) сочетание высокой чувствительности и быстродействия благодаря использованию в приборах практически безынерционного процесса усиления;
- 3) возможность управления электронным потоком.



генератора считывающих импульсов; R_H — нагрузочное сопротивление в цепи шины-столба; $C_п$ — полная паразитная емкость, шунтирующая нагрузочное сопротивление.

В 1972 году международным объединением «International Vision Corporation» на базе ЭОП с магнитной фокусировкой был изготовлен, по-видимому, первый прибор такого рода — преобразователь «Digicon 40» [4]. Прибор в качестве выходного элемента содержал линейную цепочку из сорока электронно-приемных диодов и предназначался для регистрации одномерных (преимущественно спектроскопических) изображений. В дальнейшем корпорация совершенствовала приборы типа «Digicon» и довела количество элементов в линейке до 1024 [5].

Ниже описаны конструкция и основные характеристики гибридного матричного прибора, предназначенного для ввода оптической информации в ЭВМ.

Разработан ряд быстродействующих электронно-приемных матриц для гибридных фоторегистраторов двумерных изображений. На основе матриц 8×8 и 16×16 элементов в настоящее время уже созданы опытные образцы гибридных приборов. Матричные структуры изготавливались на кремниевой пластине по планарной технологии. Ячейка матрицы размером 600×600 мкм² содержит два элемента: электронно-приемный диод (250×250 мкм²) и диод-ключ (40×30 мкм²). Структура размером $N \times N$ ячеек имеет N опросных (числовых) и N сигнальных (разрядных) шин. Электрическая схема матрицы показана на рис. 1.

Принцип действия матриц состоит в разряде барьерных емкостей электронно-приемных диодов обратным током, наведенным в диодах потоком ускоренных электронов в период накопления информации, и дозаряде емкостей до некоторого стандартного уровня в период считывания информации. Ключевые диоды изолируют друг от друга электронно-приемные диоды, находящиеся в различных ячейках.

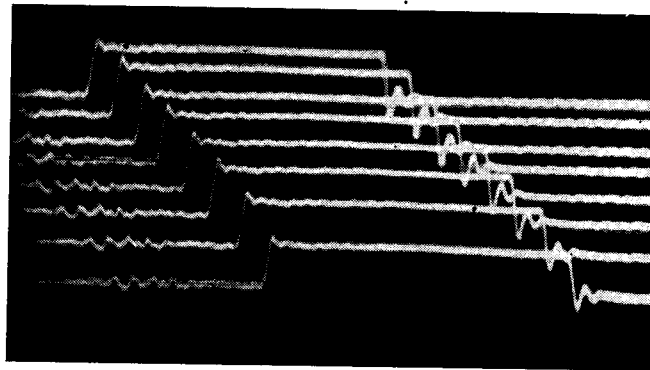


Рис. 2. Осциллограмма считывающих импульсов, сформированных 8-канальным генератором.

Основным параметром электронно-приемных диодов является зависимость коэффициента катодоусиления от энергии падающих электронов $K(E)$. Испытания, проведенные в разборном вакуумном макете, показали, что коэффициент K становится существенно больше единицы при $E=4$ кэВ и при $E=10$ кэВ достигает величины 10^3 .

Для испытания матриц и готовых приборов в режиме, близком к реальному, была разработана методика считывания информации двумя сериями опросных импульсов, разделенными временем накопления. Такая методика позволила выяснить степень влияния состояния матрицы при регистрации предыдущего изображения на выходные сигналы, регистрируемые в данный момент. Считывание осуществлялось специально изготовленными многоканальными генераторами. Опросные импульсы, формируемые в смежных каналах, смещены друг относительно друга на время опроса строки. Импульсы, сформированные 8-канальным генератором, показаны на осциллограмме (рис. 2). Длительность опросных импульсов выбиралась такой, чтобы успевало восстановиться высокое обратное сопротивление ключевых диодов.

Матрицы, прошедшие предварительные испытания, закреплялись на металлоглазной «ножке» прибора. Структуры размером 8×8

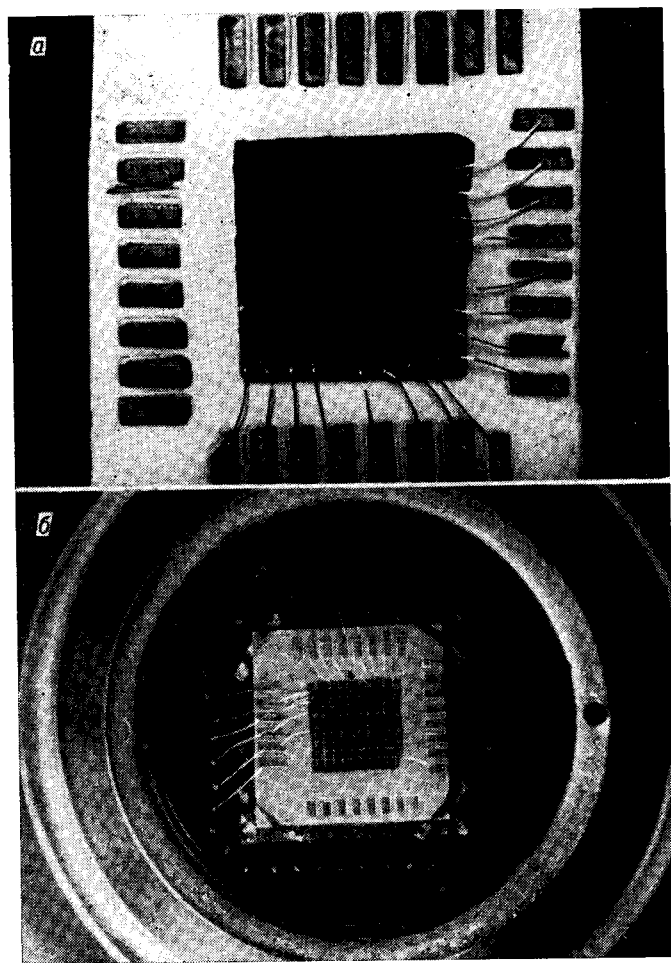


Рис. 3. Способ крепления матрицы размером 8×8 элементов в выходной плоскости прибора:

а — матрица на промежуточной сапфировой пластинке; б — общий вид выходного узла фоторегистратора с матрицей.

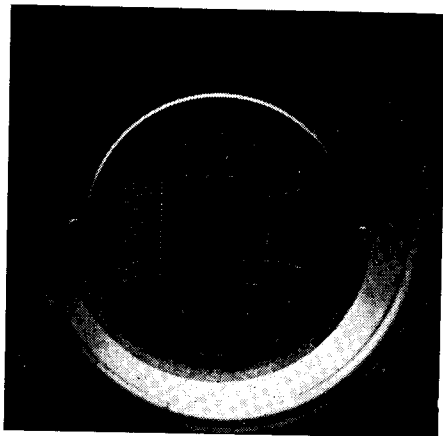


Рис. 4. Выходной узел прибора с матрицей 16×16 элементов.

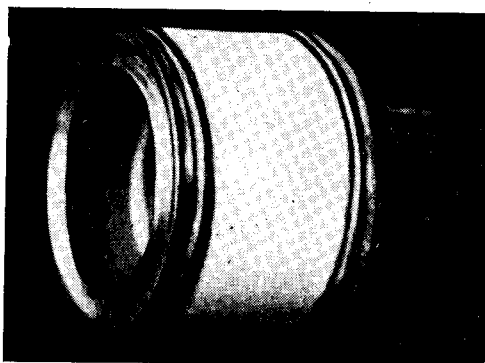


Рис. 5. Общий вид вакуумно-полупроводникового фоторегистратора.

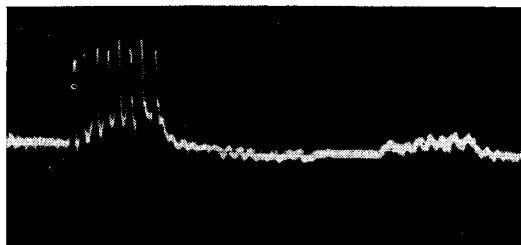


Рис. 6. Осциллограмма «световых» (слева) и «темновых» (справа) сигнальных импульсов.

элементов сначала монтировались на промежуточные ситаловые пластинки с контактными площадками (рис. 3, а), затем ситаловая пластинка закреплялась на металлической шайбе («ножке» прибора) и контактные площадки присоединялись сваркой к выводам «ножки» (см. рис. 3, б). Связь кремния с ситалом осуществлялась термостойкой эвтектикой. Матрицы размером 16×16 элементов закреплялись непосредственно на стеклянной поверхности «ножки» (рис. 4). Распайка матриц производилась алюминиевой проволокой диаметром 40 мкм (обычно применяемые золотые контакты недостаточно термостойки и часто выходят из строя в процессе изготовления прибора).

Для предотвращения накопления заряда на неэлектронно-чувствительных элементах полупроводниковой структуры над матрицей размещалась защитная молибденовая маска, изготовленная с помощью фотолитографии и травления.

Экспериментальные образцы приборов изготавливались на базе бипланарных ЭОП по технологии переноса и вакуумировались индиевым уплотнением. Общий вид прибора показан на рис. 5. На входном окне прибора формировался мультищелочной фотокатод (типичная кривая спектральной чувствительности имела максимум на длине волны $\lambda = 0,44$ мкм).

Испытания показали, что при рабочем напряжении 10 кВ энергетическая чувствительность прибора составляет 10^{-14} Дж/эл.; время считывания информации с одной строки матрицы $4 \cdot 10^{-8}$ с; осциллограмма серии «световых» и «темновых» импульсов, снятая при испытании матрицы размером 8×8 элементов, показана на рис. 6. Как видно из осциллограммы, отношение $U_{св}/U_{т} > 5$. Амплитуды «световых» импульсов при нагрузочных сопротивлениях в цепях сигнальных шин $R = 25$ Ом составили 150 мВ. Обратные токи диодов после изготовления приборов оставались на прежнем уровне $\approx 10^{-7}$ А (очевидно, благодаря пространственному разделению объема формирования фотокатода и выходного узла с полупроводниковой структурой).

Испытания, проведенные сразу после изготовления прибора и месяца спустя, дали одинаковые результаты.

Габариты приборов: $\varnothing 50 \times 40$ мм (без выводов), вес 80 г.

В настоящее время ведутся работы по созданию гибридных преобразователей с матрицами большей размерности и по введению в приборы микроканальных умножающих пластин [6], что позволит в десятки раз увеличить чувствительность приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силцарс А., Бейтс Д., Баллонофф А. Приборы с электронной бомбардировкой полупроводниковой мишени.— «ТИИЭР», 1974, т. 62, № 6, с. 93—139.
2. Климин Л. И. Явление умножения электронного потока в диодных и триодных полупроводниковых структурах.— «Обзор по электронной технике, сер. Электронно-лучевые и фотоэлектрические приборы», 1969, вып. 71 (140), с. 1—31.
3. Матиенко Б. Г. Основные характеристики и структуры больших гибридно-интегральных фотоматриц голограммных запоминающих устройств.— «Автоматрица», 1977, № 2, с. 39.
4. Beaver E. A., Mac C. E., Choisser I. P. Counting image tube photoelectrons with semiconductor diodes.— «Advance in Electronics and Electron Physics», 1972, vol. 33B, p. 863.
5. Tull R. G., Choisser J. P., Snow E. H. Self-scanned digicon: a digital image tube for astronomical spectroscopy.— «Appl. Opt.», 1975, vol. 14, N 5, p. 1182—1189.
6. Брагин Б. Н., Бутслов М. М., Иванова Л. Н., Малышева В. С., Саттаров Д. К., Степанов Б. М., Элькинсон Д. А. Некоторые характеристики микроканальных пластин.— «ПТЭ», 1975, № 1, с. 192.

Поступила в редакцию 19 сентября 1977 г.