

7. Б. Г. Матненко, С. И. Наймарк. МОП-фотодиодный элемент для полупроводниковых преобразователей «свет — код» с двухимпульсной диаграммой чтения информации.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 61—71.
8. С. И. Наймарк, В. М. Третьяков. Фотоприемный интегральный матричный элемент для считывания парафазного оптического кода.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 79—85.
9. J. Thire. Matrices de photodetection a semiconductor pour lecture de memoire holographique.— "L'onde Electrique", 1972, vol. 52, № 10, p. 452—461.
10. Г. Л. Коган, Е. Ф. Пен. К вопросу выбора оптимальных геометрических параметров фотоматриц для голограммных ЗУ.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 36—42.
11. F. Vese. N-channel MOS memories — new possibilities for microprocessor memory design.— "Microelectronics and Reliability", 1974, vol. 13, № 5, p. 387—400.
12. C. H. Sequin, E. J. Zimany, M. E. Tompsett, F. N. Fuls. All solid — state camera for the 525-line television format.— "IEEE Journal of Solid-State Circuits", 1976, vol. SC-11, № 1, p. 115—121.
13. Р. Е. Кашлатый, А. М. Кожевникова, С. В. Кругликов, Н. А. Телицын, Е. А. Фигуровский, Г. И. Хлебникова, Л. П. Юдина. Интегрально-гибридная фотоматрица для оптических ЗУ.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 50—53.
14. Конструирование микроэлектронной аппаратуры. Под ред. Б. Ф. Высоцкого. М., «Сов. радио», 1975.
15. В. К. Быховский, Г. А. Мирзоян. Оптическая настройка однородных процессоров.— В кн.: Вопросы кибернетики. Однородные микроэлектронные структуры. М., «Сов. радио», 1973, с. 118—123.
16. В. К. Быховский, Г. А. Мирзоян, И. В. Прангишвили, М. С. Сонин, М. А. Ускач. Проблемы оптической настройки интегральных микроэлектронных структур.— В кн.: Проблемы голографии. Вып. 2. М. Изд. МИРЭА, 1973.
17. В. И. Мошкин, А. А. Орликовский. Элементы оптоэлектронных систем обработки информации.— В кн.: Зарубежная электронная техника, № 13. М., ЦНИИ «Электроника», 1975, с. 109.
18. В. И. Мошкин, А. А. Орликовский. Элементы оптоэлектронных систем обработки информации.— В кн.: Зарубежная электронная техника, № 16. М., ЦНИИ «Электроника», 1975, с. 112.
19. S. G. Chamberlain. Photosensitivity and scanning of silicon image detector arrays.— "IEEE Journal of Solid-State Circuits", 1969, vol. SC-4, № 6, p. 333—342.

Поступила в редакцию 30 июня 1976 г.

УДК 621.383.52

**Р. Е. КАШЛАТЫЙ, А. М. КОЖЕВНИКОВА, С. В. КРУГЛИКОВ,
Н. А. ТЕЛИЦЫН, Е. А. ФИГУРОВСКИЙ,
Г. И. ХЛЕБНИКОВА, Л. П. ЮДИНА**
(Новосибирск)

ИНТЕГРАЛЬНО-ГИБРИДНАЯ ФОТОМАТРИЦА ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЗУ

Одна из простейших ячеек матрицы для детектирования оптических сигналов — ячейка, содержащая фотодиод и ключ на МДП-транзисторе [1], где затвор МДП-транзистора соединяется с шиной считывания, а сток — с выходной шиной. Принцип работы такой матрицы заключается в регистрации импульсов тока дозаряда емкостей обратносмещенных фотодиодов, разряжающихся при освещении последних.

Принципиальная схема фрагмента описываемой матрицы приведена на рис. 1. В состав ячейки матрицы входит фотодиод Д и МДП-тетрод (Т1, Т2). Затвор транзистора Т1 МДП-тетрода соединен с шиной считывания $U_{сч i}$, а сток — с выходной шиной $U_{вых i}$. Транзистор Т2 МДП-тетрода открыт постоянным напряжением на затворе и служит для снижения паразитного влияния проходной емкости $C_{зи}$ транзистора Т1. Фотодиод ячейки, представляющий собой увеличенную область истока транзистора Т1, работает в режиме накопления заряда [2]. Контактные площадки матрицы дублируются на противоположных сторонах кристалла с целью сборки из фрагментов матриц большей емкости.

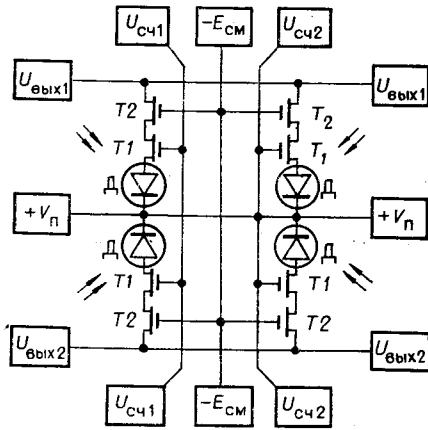


Рис. 1.

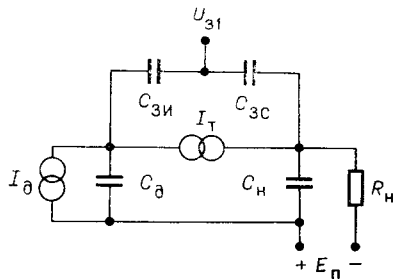


Рис. 3.

накопления, с; S_λ — чувствительность фотодиода, А/Вт; $I_{тд}$ — темновой ток диода, А; C_d — барьерная емкость $p-n$ -перехода, пФ; ΔU_d — перепад напряжения на фотодиоде в конце периода накопления, В.

На рис. 3 представлена эквивалентная схема для расчета статических и динамических характеристик ячейки матрицы, где I_t — ток МДП-тетрода; I_d — ток фотодиода; C_d — барьерная емкость диода; $C_{зп}$ — емкость затвор — исток транзистора Т2; $C_{зс}$ — емкость затвор — сток транзистора Т1; $R_n C_n$ — сопротивление и емкость нагрузки.

Пользуясь упрощенной моделью МДП-транзистора [3], выходное напряжение ячейки можно представить в следующем виде:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \frac{\beta_T}{2} [2(U_{з1} - U_{\text{пор}}) \Delta U_d - \Delta U_d^2] R_n, \quad (2)$$

где β_T — удельная крутизна МДП-тетрода; $U_{\text{пор}}$ — пороговое напряжение; $U_{з1}$ — напряжение, подаваемое на затвор транзистора Т1.

В случае слабых уровней оптических сигналов $\Delta U_d \ll U_{з1} - U_{\text{пор}}$, и выражение для выходного напряжения можно упростить:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \beta_T U'_{з1} \Delta U_d R_n \quad (3)$$

$$(U'_{з1} = U_{з1} - U_{\text{пор}}).$$

При отсутствии оптического сигнала на входе ячейки емкость фотодиода разряжается током утечки, что приводит к появлению на выходе напряжения шума

$$\Delta U_{\text{ш}} = \beta_T U'_{з1} \Delta U_{тд} R_n, \quad (4)$$

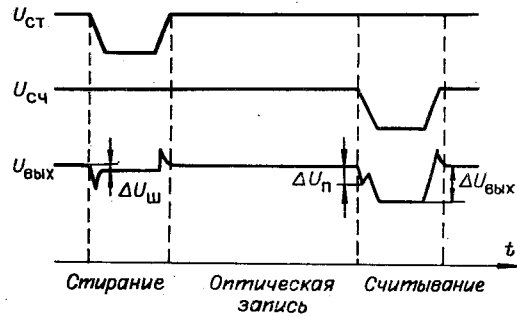


Рис. 2.

Принцип работы ячейки матрицы поясняется временной диаграммой (рис. 2). Ячейка подготавливается к записи оптической информации подачей импульса стирания на затвор транзистора Т1. Емкость фотодиода, смещенного в обратном направлении, заряжается на величину напряжения источника питания. Величина тока, протекающего через МДП-тетрод и нагрузочный резистор при считывании, зависит от величины перепада напряжения на емкости фотодиода

$$\Delta U_d = [(S_\lambda P_\lambda + I_{тд}) t_n] / C_d, \quad (1)$$

где P_λ — мощность света, падающего на отдельный фотодиод, Вт; t_n — время накопления, с; S_λ — чувствительность фотодиода, А/Вт; $I_{тд}$ — темновой ток диода, А; C_d — барьерная емкость $p-n$ -перехода, пФ; ΔU_d — перепад напряжения на фотодиоде в конце периода накопления, В.

На рис. 3 представлена эквивалентная схема для расчета статических и динамических характеристик ячейки матрицы, где I_t — ток МДП-тетрода; I_d — ток фотодиода; C_d — барьерная емкость диода; $C_{зп}$ — емкость затвор — исток транзистора Т2; $C_{зс}$ — емкость затвор — сток транзистора Т1; $R_n C_n$ — сопротивление и емкость нагрузки.

Пользуясь упрощенной моделью МДП-транзистора [3], выходное напряжение ячейки можно представить в следующем виде:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \frac{\beta_T}{2} [2(U_{з1} - U_{\text{пор}}) \Delta U_d - \Delta U_d^2] R_n, \quad (2)$$

где β_T — удельная крутизна МДП-тетрода; $U_{\text{пор}}$ — пороговое напряжение; $U_{з1}$ — напряжение, подаваемое на затвор транзистора Т1.

В случае слабых уровней оптических сигналов $\Delta U_d \ll U_{з1} - U_{\text{пор}}$, и выражение для выходного напряжения можно упростить:

$$\Delta U_{\text{вых}} = \beta_T U'_{з1} \Delta U_d R_n \quad (3)$$

$$(U'_{з1} = U_{з1} - U_{\text{пор}}).$$

При отсутствии оптического сигнала на входе ячейки емкость фотодиода разряжается током утечки, что приводит к появлению на выходе напряжения шума

$$\Delta U_{\text{ш}} = \beta_T U'_{з1} \Delta U_{тд} R_n, \quad (4)$$

где

$$\Delta U_{ТД} = (I_{ТД} t_n) / C_d \quad (5)$$

Отношение сигнал/шум на выходе схемы

$$\Delta U_{вых} / \Delta U_{ш} = (S_n P_n) / I_{ТД} \quad (6)$$

значительно ухудшается коммутационной помехой, обусловленной наличием проходной емкости $C_{зс}$ транзистора Т1. Амплитуда коммутационной помехи составляет

где $\beta_{т0}$ — удельная крутизна; C_0 — удельная емкость затвор — сток МДП-тетрода; L — длина канала транзистора Т1.

В выражение для отношения сигнал/помеха входит постоянная времени выходной цепи схемы $\tau_{вых} = R_n C_n$, поэтому значения R_n и C_n необходимо выбирать из соображений обеспечения необходимого времени считывания сигнала с выхода матрицы.

Кристаллы емкостью 2×2 элемента были смонтированы на стеклянной подложке для получения интегрально-гибридных фотоматриц емкостью 16×16 элементов. Соединения между кристаллами были выполнены с помощью контактной сварки золотыми проводниками. Матрица емкостью 16×16 элементов содержала 294 межсоединения и 35 внешних выводов. Для описываемой матрицы были измерены следующие параметры в темноте и при наличии оптического возбуждения всех ячеек: энергия светового потока, падающего на отдельный фотодиод; амплитуда выходного сигнала и амплитуда помехи; постоянная времени выходного сигнала. Формировалась временная диаграмма, приведенная на рис. 2. Длительность импульсов стирания и считывания составляла 1 мкс; частота следования импульсов стирания изменялась в пределах 2—20 кГц; амплитуда импульсов стирания и считывания составляла — 10 В; напряжение питания — 5 В; напряжение смещения подложки +5 В. Измерения выходных напряжений проводились на нагрузке с сопротивлением $R_n = 0,5$ кОм и емкостью $C_n = 40$ пФ. Плотность светового потока контролировалась калиброванным фотоприемником и составляла $1 \cdot 10^{-7}$ Вт/мм². Неоднородность светового потока не превышала 20%. Результаты измерений сведены в таблицу.

T, мкс	U, В	E, Дж	τ , мкс	$U_{вых}^1$, мВ	$U_{вых}^0$, мВ
50	0,1	$5 \cdot 10^{-12}$	140	14	8,5
100	0,2	$1 \cdot 10^{-11}$	160	28	9
200	0,4	$2 \cdot 10^{-11}$	185	56	14
300	0,6	$3 \cdot 10^{-11}$	220	84	21
400	0,8	$4 \cdot 10^{-11}$	260	112	25
500	1,0	$5 \cdot 10^{-11}$	305	140	45

Заключение. Интегрально-гибридная фотоприемная матрица емкостью 16×16 элементов была изготовлена по стандартной технологии МДП ИС. Матрица собиралась из кристаллов емкостью 2×2 элемента с помощью технологии гибридной сборки на стеклянной пассивной плате. Экспериментальные образцы фотоматриц имели следующие параметры: количество ячеек 16×16 ; шаг матрицы 1,25 мм; пло-

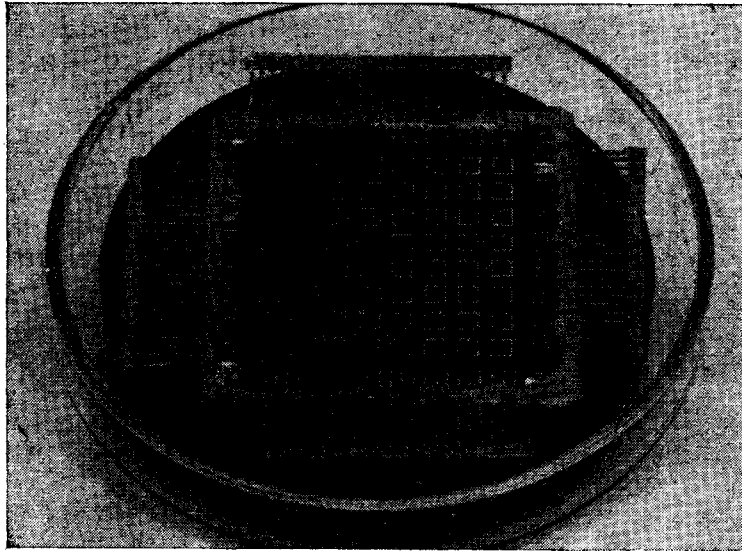


Рис. 4.

щадь фотоднода $0,5 \times 0,5$ мм²; чувствительность на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм $2 \cdot 10^{-11}$ Дж при отношении сигнал/помеха, равном 4; время считывания слова не больше 1 мкс.

Фотография внешнего вида матрицы приведена на рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nouvelles scientifiques.—“Electronique Professionnelle”, 1974, № 1474, p. 16—17.
2. G. P. Weckler. Operation of p-n junction photodetectors in a photon flux integrating mode.—“IEEE J. of Solid-State Circuits”, 1967, vol. SC-2, № 3, p. 65—75.
3. Р. Кроуфорд. Схемные применения МОП-транзисторов. М., «Мир», 1970.

Поступила в редакцию 10 июля 1976 г.

УДК 621.382.8 : 681.327

Р. Е. КАШЛАТЫЙ, Л. М. ЛОГВИНСКИЙ, Е. И. ПАЛЬЧИКОВ,
В. Э. РЯБЧЕНКО, В. Г. ЦУКЕРМАН
(Новосибирск)

КРЕМНИЕВЫЕ ФОТОДИОДЫ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ФОТОПРИЕМНЫХ МАТРИЦ

Современный уровень развития кремниевой технологии МОП-интегральных схем в принципе позволяет создать многоэлементные фотоприемные матрицы при условии совмещения процесса изготовления МОП-транзисторов и фотоприемников в единой технологии. Наиболее просто осуществить совмещение технологии, выбрав в качестве фотоприемного элемента фотодиод.