МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МДП – ФОТОДИОДНОЙ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

Н.Р.РАХИМОВ, С.Р.АЛИЕВ, Е.Ю.КУТЕНКОВА

Проанализированы математические модели компонентов МДП-фотодиода и показана необходимость построения его линеаризованной фотоэлектрической модели.

This article discusses the problems of mathematical models of the components of MSI – photodiods as well as the importance of linear photoelectrical modelling.

Многоканальные фотоэлектрические МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) – фотодиодные приемные устройства (ФПУ) предназначены для преобразования оптических сигналов в диапазоне длин волн от 0,5 до 1,1 мкм в электрические, а также для их усиления, хранения и считывания произвольной выборкой в составе герметичной оптико-электронной аппаратуры. Они выпускаются в бескорпусном исполнении. Масса ФПУ не более 15 г.

Фотоприемные устройства представляют собой матрицу, состоящую из 32 × 32 кремниевых фотоприемных ячеек с электронной схемой управления и усиления в каждой ячейке. Схема расположения фоточувствительных ячеек на кристалле в ФГТУ-14 приведена на рис. 1, а. Принципиальная электри-

ческая схема фотоприемной ячейки ФГТУ-14 приведена на рис. 1, б, обозначение выводов дано в табл. 1. Выбор информации произвольный, число разрядов 32.

Линейные размеры фоточувствительной площадки каждой фотоприемной ячейки 0,1 × 0,1 мм. Шаг размещения фоточувствительных элементов 0,28 мм.

Техническими условиями предусмотрены две модификации изделий – ФПУ-14А и ФПУ-14Б. В первой модификации изделия все фоточувствительные ячейки (1024 шт.) должны быть работающими. Во второй модификации допускается не более двух неработающих ячеек, расположенных в центральной зоне, и не более 25 ячеек – в остальной части приемной площадки. Центральная зона представляет собой центрированный квадрат, состоящий из 14 × 14 = 196 ячеек [1].

Значения фотоэлектрических параметров МДП фотодиодных матриц в первую очередь зависят от физико-технологических, конструктивных и режимных параметров базового МДП-фотодиода. В связи с этим возникает необходимость построения его математической модели. Существует два этапа проектирования интегральных приборов.

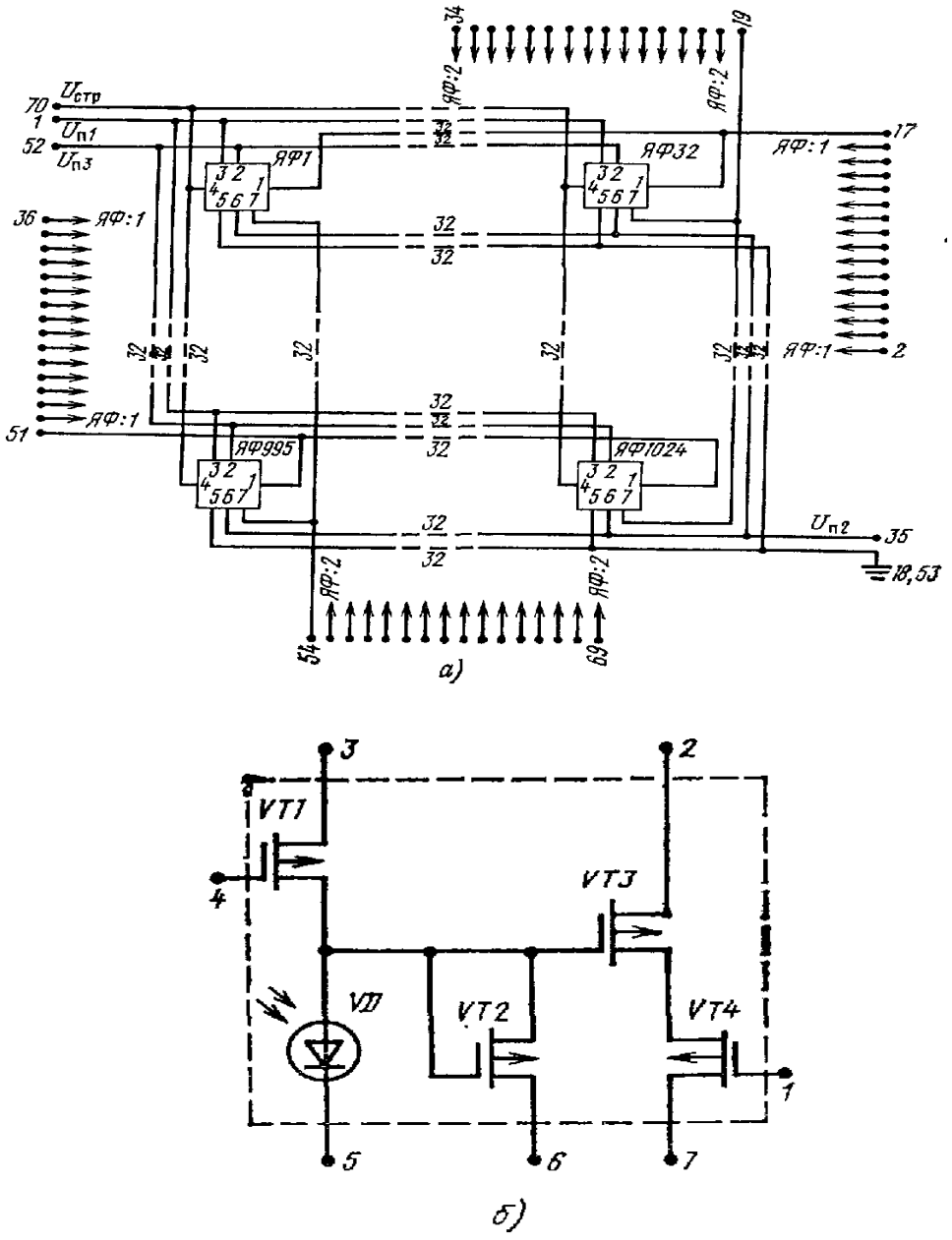

Рис. 1. *Электрическая схема ФГТУ-14:*
а — схема соединения фоточувствительных ячеек; б — схема фоточувствительной ячейки

Таблица 1

Обозначения выводов ФПУ – 14

Вывод	Наименование
1, 35, 52	Источники питания 1, 2,3
51, 2, 50, 3, 49, 4, 48, 5, 47, 6, 46, 7, 45, 8, 44, 9, 43, 10, 42, 11, 41, 12, 40, 13, 39, 14, 38, 15, 37, 16, 36, 17	Входы адресные 1,2,…, 31, 32
54, 34, 55, 33, 56, 32, 57, 31, 58, 30, 59, 29, 60, 28, 61, 27, 62, 26, 63, 25, 64, 24, 65, 23, 66, 22, 67, 21, 68, 20, 69, 19	Выходы адресные 1, 2,..., 31, 32
18, 53, 70	Корпус Вход генератора стирания

На первом этапе производится выбор схемотехнических решений из имеющегося набора решений. При этом требуется качественная и количественная оценка зависимости фотоэлектрических параметров от физико-технологических, конструктивных и режимных параметров. На этом этапе достаточно упрощенной и не очень точной модели МДП-фотодиода. На втором этапе, когда схемотехнические решения выбраны, могут быть использованы более точные модели, рассчитанные на применение ЭВМ [2].

Идеализированная математическая модель МДП-фотодиода, работающая в режиме накопления, предложенная Д.П. Веклером, имеет следующие ограничения. Во-первых, она пригодна только для фотодиода с главным p-n переходом. Исследование фотодиодов, изготовленных по технологии МДП ИС (интегральная схема), показывают, что p-n переходы являются резкими. Во-вторых, выражения, полученные Веклером, содержат нелинейную зависимость фотонапряжения от мощности оптического излучения, что затрудняет расчет МДП фотодиодных матриц аналитическим методом.

На основе математических моделей компонентов МДП-фотодиода, МДП-транзистора с изолированным затвором и фотодиода с резким p+n переходом может быть построена линеаризованная фотоэлектрическая модель МДП-фотодиода, свободная от указанных недостатков.

Рассмотрим математические модели компонентов МДП-фотодиода. В статической модели МДП-транзистора, его вольтамперная характеристика описывается различными выражениями в крутой и пологой областях:

$$J_{ck} = \frac{a\omega}{2l}\{2[U_з - (1+\eta)U_u - U_n](U_c - U_u) - (1+\eta)(U_c - U_n)^2\}, \quad (1)$$

при $|U_c| \le \frac{|U_c - U_n|}{1+\eta}$ в крутой области,

$$J_{сп} = \frac{a\omega}{2l(1+\eta)}[U_з - (1+\eta)U_u - U_n]^2, \quad (4)$$

при $|U_c| > \frac{|U_з - U_u|}{1+\eta}$ в пологой области,

где $J_{ck}, J_{сп}$ – ток стока в крутой и пологой областях, соответственно;

$U_з, U_c, U_u$ – напряжения на затворе, стоке и истоке;

U_n – пороговое напряжение;

α, ω – длина и ширина канала;

η – коэффициент влияния подложки.

Динамические параметры МДП транзистора: $C_{зи}$ – емкость затвор истока, $C_{зс}$ – емкость затвор стока, $C_{ип}$ – емкость исток подложки.

Для емкостей $C_{зик}$ и $C_{зск}$ МДП транзистора, работающего в крутой области вольтамперной характеристики, получены следующие выражения:

$$C_{зик} = C_{зск} = \frac{1}{2}C_0\omega l, \quad (3)$$

где $C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{ок}}{d_{ок}}$ – удельная емкость затвор - канала;

ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума;

$\varepsilon_{ок}$ – относительная диэлектрическая проницаемость под затворного окисла;

$d_{ок}$ – толщина под затворного окисла.

Емкости C_{un} и C_{cn} в случае резкого p+n – перехода равны:

$$C_{un} = A_u \left[\frac{q\varepsilon_0 \varepsilon_n N_n}{2(\varphi_k + U_u)}\right]^{1/2} \quad (4)$$

$$C_{cn} = A_c \left[\frac{q\varepsilon_0 \varepsilon_n N_n}{2(\varphi_k + U_c)}\right]^{1/2}, \quad (5)$$

где q – заряд электрона;

ε_n – диэлектрическая проницаемость полупроводникового материала подложки;

N_n – концентрация примеси в подложке;

φ_k – контактная разность потенциалов;

A_u – площадь истока;

A_c – площадь стока.

Составляющими полного тока $I_Д$ кремниевых фотодиодов являются фототок $I_ф$ и темновой ток $I_т$:

$$I_Д = I_ф + I_т, \quad (6)$$

$$I_ф = S_\lambda + \Phi, \quad (7)$$

$$I_т = A_u \frac{q n_i}{\tau_p} \left[\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon_n (\varphi_k + U_u)}{q N_n}\right]^{1/2}, \quad (8)$$

где n_i – концентрация собственных носителей;

τ_p – время жизни неосновных носителей;

S_λ – токовая монохроматическая чувствительность;

Ф – поток.

Таким образом, для расчета фотоэлектрических параметров МДП-фотодиодных матриц используют нелинейную модель МДП-фотодиода. Большое число физико-технологических, конструктивных и режимных параметров, влияющих на фотоэлектрические параметры МДП-фотодиодных элементов и матриц, вызывает необходимость их предварительной качественной и количественной оценки [2].

Использование нелинейной модели затрудняет такую оценку. В связи с этим необходимо построение линеаризованной фотоэлектрической модели базового элемента, обеспечивающей возможность расчета фотоэлектрических параметров методами анализа линейных электронных цепей.

Литература:

1. Аксененко М.Д. Приемники оптического излучения /М.Д.Аксененко, М.Л.Бараночников.Справочник. - М.: Радио и связь, 1987

2. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Многоэлементные приемники изображения. / М.Д.Аксененко, М.Л.Бараночников – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991

Сибирская государственная геодезическая академия,
Андижанский государственный университет
Принято 6 января 2012 года
(Рецензент: проф. Р.Алиев)