

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ НА ОСНОВЕ Me-Se-Me

С.И. Коняев, А.И. Мишин
(Новосибирск)

В работе [1] представлены электрические характеристики двухэлектродного переключающего элемента на основе селена, полученного методом вакуумного осаждения. В настоящей работе показана возможность применения указанного переключающего элемента в конкретных схемах цифровых устройств.

Прежде чем перейти к рассмотрению использования переключающего элемента в схемах, укажем основные статистические параметры, представляющие наибольший интерес с точки зрения их применения.

Основными параметрами элемента являются: напряжение переключения из состояния низкой проводимости в состояние высокой проводимости ($U_{\text{вкл}}$), напряжение переключения из состояния высокой проводимости в состояние низкой проводимости ($U_{\text{выкл}}$), положительное дифференциальное сопротивление (R^+), величина тока выключения $I_{\text{удер}}$ и ток утечки I_0 . Перечисленные параметры контролировались на постоянном токе и их величины представлены в таблице.

В качестве отсчетного уровня для измерения тока I_0 удобно использовать значение напряжения равное:

$$U_{\text{выкл}} + \frac{U_{\text{выкл}} + U_{\text{вкл}}}{2}.$$

Выбор такого отсчетного уровня для измерения тока обусловлен следующими соображениями. Переключение элемента из одного устойчивого состояния в другое осуществляется сигналом,

накладываемым на постоянное смещение, значение которого определяется по выше приведенному выражению. Ключевые свойства элемента удобно оценивать отношением сопротивления в непроводящем состоянии к сопротивлению в проводящем состоянии, значение которого, как правило, больше 10^8 . Время перехода из состояния низкой проводимости в состояние высокой проводимости и обратно в значительной степени зависит от параметров входных сигналов переключающего элемента.

На рис. 1а изображена схема статического триггера, имеющего два устойчивых состояния, которые характеризуются соответственно низким и высоким напряжением на "аноде" переключающего элемента. Режим работы триггера иллюстрируется рис. 1б. Переключение схемы из состояния "а" (рис. 1в) в состояние "б" осуществляется импульсом отрицательной полярности, и обратно — положительным импульсом.

Таблица

$U_{\text{вкл}}$ [в]	0,5–0,7
$U_{\text{выкл}}$ [в]	0,2–0,25
R^+ [ом]	50–100
$I_{\text{удар}}$ [а]	10^{-5} – 10^{-11}
I_o [а]	$\leq 10^{-12}$

Осциллограмма напряжений схемы в режиме переключения представлена на рис. 1г. Длительность пусковых импульсов — 5 микросекунд, частота следования — 15 кГц.

При подаче на вход схемы выключающих импульсов пороговое напряжение включения увеличивается. Это обусловлено зависимостью порогового напряжения включения от напряжения обратного смещения [1]. Сказанное иллюстрируется рис. 2, где $U_{\text{вкл}1}$ — напряжение срыва, если на переключающий элемент

не действовало обратное смещение, и $U_{\text{вкл}2}$ — напряжение срыва после воздействия на элемент обратного смещения. Эта зависимость нелинейная и при работе схемы в переключающем режиме должно выполняться условие $|U_{\text{выкл}}| < |U_{\text{вкл}}|$, т.е. напряжение выключающего импульса должно быть несколько меньше значения:

$$U_{\text{выкл}} + \frac{U_{\text{выкл}} + U_{\text{вкл}}}{2} + U_{\text{и}},$$

где $U_{\text{и}}$ - значение напряжения, превышающего напряжение срыва для надежного включения элемента.

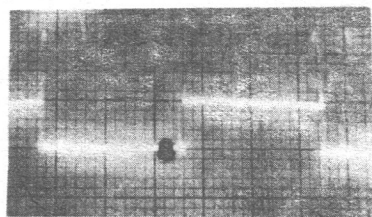
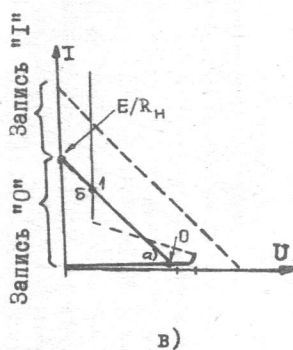
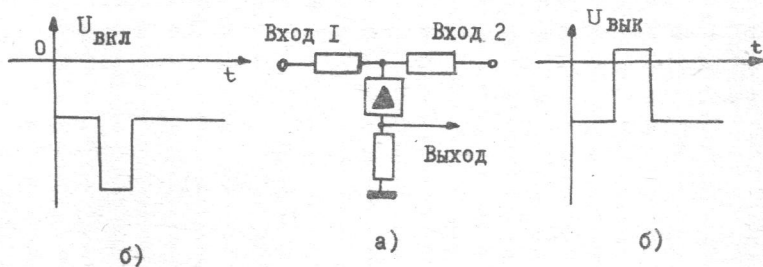


Рис.1.

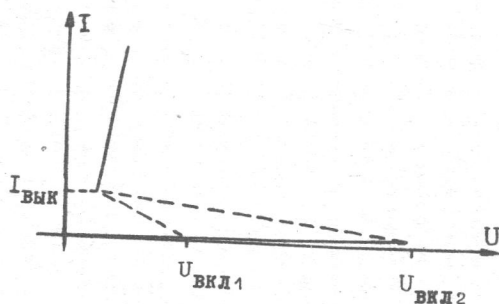


Рис.2.

Повышенное пороговое напряжение после действия обратного смещения может сохраняться длительное время. При работе элемента в таком режиме повышается и стабильность порогового напряжения включения.

На основе схемы триггера изготовлялось долговременное запоминающее устройство. Принципиальная схема ДЗУ представлена на рис.3а. Осциллограммы рис. 3б, 3в, 3г иллюстрируют считывание информации с ДЗУ.

На рис. 3б-осциллограмма импульса считывания "1" на вертикальной шине, на рис.3в на той же шине считывание-"0". Воз-

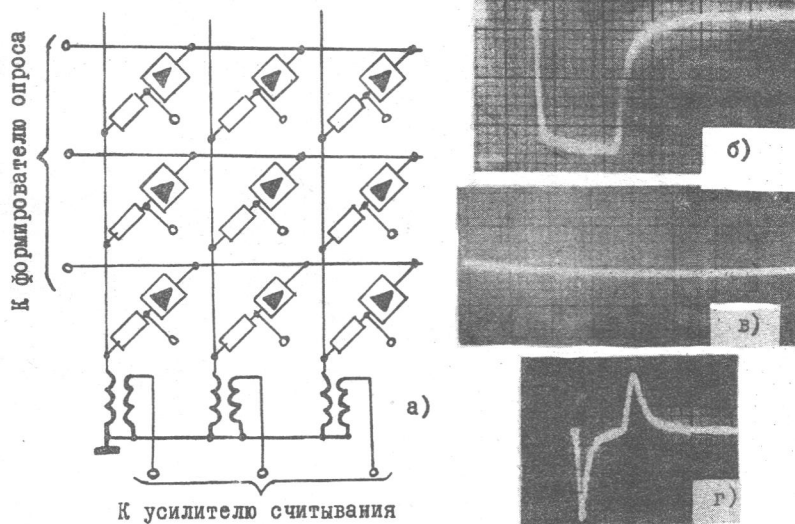


Рис. 3.

можно также считывание с использованием статической емкости C_0 . Осциллограмма рис. 3г иллюстрирует считывание "0" в виде положительного пика продифференцированного импульса опроса, единица же может быть считана, как показано на рис. 3 б. Благодаря этому улучшается соотношение "сигнал-помеха". Длительность импульса считывания-1 микросекунда.

Считывание информации может осуществляться с разрушением и без разрушения и определяется выбором режима. Считывание информации без разрушения может осуществляться импульсами как положительной, так и отрицательной полярности. При этом долж-

но выполняться условие: при отрицательной импульсе:

$$E_a + |-U_{\text{и}}| < U_{\text{выкл}},$$

при положительном импульсе:

$$E_a + U_{\text{и}} < U_{\text{вкл}},$$

где E_a - постоянное напряжение питания, $U_{\text{и}}$ - амплитуда импульса считывания. Частота следования опрашивающих импульсов может составлять десятки мегагерц.

Записанная информация в ДЗУ может сохраняться и при снятом питании. Для этого необходимо перед отключением питания на полюса переключающих диодов, находящихся в непроводящем состоянии, подать выключающие импульсы отрицательной полярности, после чего выключить источник питания. После включения источника питания необходимо на короткое время увеличить питающее напряжение E_a в соответствии с неравенством

$$U_{\text{вкл}2} > E_a + \Delta E_a > U_{\text{вкл}1},$$

что приведет к восстановлению ранее записанной информации, т.е. в состояние высокой проводимости переключаются только те элементы, которые находились в этом состоянии до выключения источника питания.

Рассмотрим схему одновибратора, изготовленного методом вакуумной тонкопленочной технологии, активным элементом которого является тонкопленочный переключающий элемент. Принципиальная схема одновибратора представлена на рис. 4а. Принцип работы схемы иллюстрируется рис. 4б. В исходном состоянии переключающий элемент находится в проводящем состоянии (точка "I" на рис. 4б). При подаче пускового положительного импульса на вход схемы элемент переходит в непроводящее состояние, что приводит к переключению тока в цепь конденсатора. Благодаря сравнительно невысокому значению порогового напряжения включения элемента можно получить высокую линейность пилообразного напряжения. Это обеспечивается при работе переключающего элемента в режиме генератора тока, что легко достигается при выполнении условий

$$E_a > U_{\text{вкл}}, \quad R_1 > R^* + R_2,$$

где R_1 и R_2 - сопротивления нагрузки, R^* - положительное дифференциальное сопротивление переключающего элемента. В

этом случае напряжение на конденсаторе в процессе заряда изменяется по закону

$$U_c(t) \approx U_0 + \frac{I}{C} t,$$

где

$$I \approx \frac{E}{R_1}.$$

Нестабильность параметров схемы определяется в основном разбросом напряжения включения элемента, которое в режиме переключения с обратным смещением удастся существенно улучшить.

Осциллограмма входных и выходных импульсов представлена на рис. 4в. Развертка III - входные прямоугольные импульсы длительностью 0,5 микросекунды. Развертка IV - прямоугольные выходные импульсы, развертка V - выходные пилообразные импульсы. Цена деления по оси X = $1 \frac{\text{мксек}}{\text{дел}}$, по оси Y = $0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$. Частота следования импульсов может составлять десятки килогерц.

Четыре схемы одновибратора, выполненных на подложке 20x16 мм, представлены на рис. 4г.

Переключающие элементы на основе Me-Se-Me работают в микроомном режиме при токах включения $10^{-(11+12)}$ а и токах удержания $10^{-(10+6)}$ а. Благодаря этому они позволяют коммутировать в цепи базы транзистора токи в несколько микроампер. На рис. 5а представлена схема статического триггера. Сопро- тивления схемы и переключающий элемент получены методом вакуумной технологии. С целью простоты обеспечения однонаправленного потока информации и снижения требований к стабильности параметров переключающего элемента в схеме используется навесной микротранзистор 2Т319.

Триггер удовлетворительно работает при напряжении коллектора около двух вольт. Но в схеме применено повышенное напряжение коллектора 5-6 вольт, вызванное тем, что для надежного переключения элемента следующего каскада, необходима амплитуда входного импульса 3-4 вольт. Частота следования импульсов составляет десятки килогерц.

Осциллограмма работы схемы представлена на рис. 5б, где развертка III - пусковые импульсы длительностью 1 мксек, развертка II - импульсы на выходе триггера.

При указанных номиналах схемы потребляемая мощность триггером в состоянии "0" ~ 30 микроватт, в состоянии "1" ~ 200 микроватт.

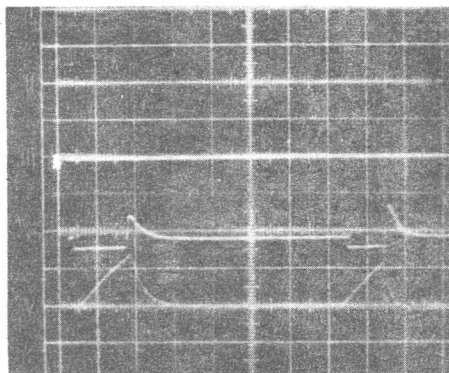
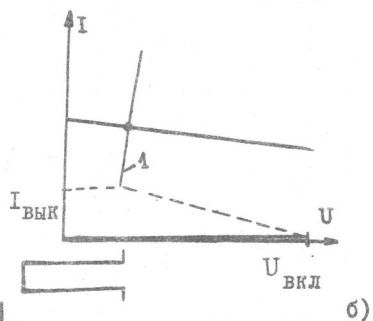
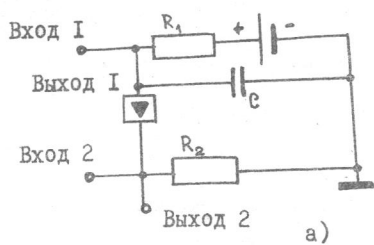


Рис. 4.

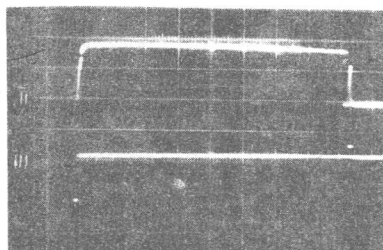
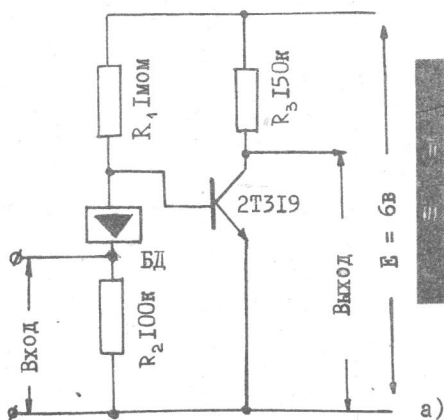
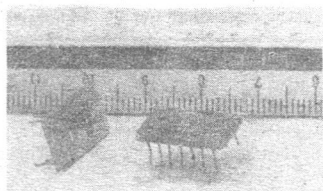
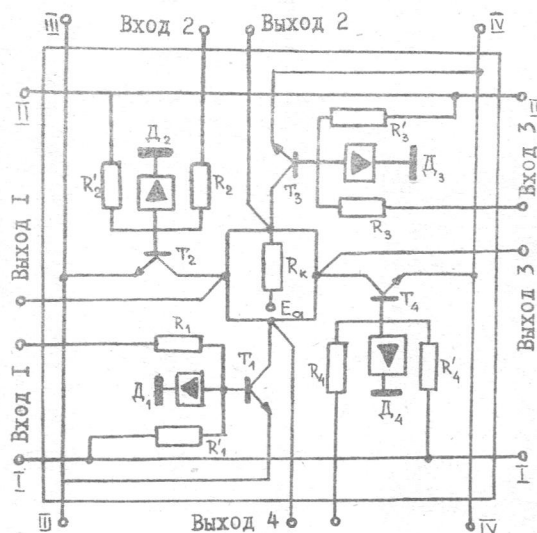


Рис. 5.

На рис. 6а представлена схема элемента вычислительной среды [4]. Эта схема по сути дела состоит из четырех схем микроваттного триггера, что позволяет характеризовать её примерно такой же потребляемой мощностью на один инвертор. Благодаря использованию перехода база-эмиттер схема позволяет



б)

Рис. 6

производить координатную запись информации в элементы $D_1 - D_4$. Схема имеет рабочие входы I-4, на которые поступают сигналы с рабочих выходов соседних элементов вычислительной среды или извне, выходы I-4 отождествлены, шины I-I, II-II, III-IV, IV-IV - каналы, по которым подаются сигналы перенастройки ЭВС на выполнение заданной функции. $D_1 - D_4$ - переключающие элементы, которые управляют транзисторными инверторами. Если переключающий тонкопленочный элемент, например, D_1 находится в состоянии высокой проводимости, в этом случае запрещается прохождение сигнала с входа I на выход I-4, т.е. транзистор T_1 не управляется входным сигналом благодаря шунтирующему действию переключающего элемента D_1 . В случае, если элемент D_1 находится в состоянии низкой проводимости, сигнал с входа I проходит на выход I-4, усиливаясь транзистором T_1 .

Переключающие элементы $D_1 - D_4$ вместе с инверторами, выполненными на транзисторах $T_1 - T_4$, служат для выполнения

логических функций от четырех переменных, функции памяти, настройки и соединений между рабочими входами и выходами соседних элементов вычислительной среды.

Сопротивления $R_1 - R_4$ служат для подачи входных переменных, сопротивления $R'_1 - R'_4$, переходы база-эмиттер, а также шины настройки служат для задания состояний переключающихся элементов, выполняющих функции запоминания настроечной информации.

Элемент вычислительной среды, выполненной на подложке 10×16 мм, представлен на рис. 66. Сопротивления и переключающие элементы также как и в триггере получены методом вакуумного осаждения. В ЭВС используются транзисторы 2Т-319.

Результаты, полученные при исследовании схем с использованием тонкопленочных переключающих диодов на основе металл-пелен-металл, показывают, что описанные схемы принципиально работоспособны и их характеристики в дальнейшем могут быть существенно улучшены. Представляется также интересным изготовление схем полностью методом вакуумной технологии. Таким методом могут быть изготовлены схемы одновибраторов и матриц ЭУ без нарушения вакуума, если обеспечить напыление нескольких материалов в одной вакуумной установке, при этом также необходимо обеспечить и совмещение масок в вакууме. Для схем ЭУ и одновибратора необходимо обеспечить точность совмещения масок $\pm 0,1$ мм.

Этим методом может быть изготовлен целый ряд схем цифровых устройств, содержащих сопротивления, конденсаторы, и в качестве активных элементов рассматриваемые переключающие элементы с S - образной вольтамперной характеристикой.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.И. Коняев, А.И. Мишин. Тонкопленочный переключающий диод с S -образной вольтамперной характеристикой. "Вычислительные системы", № 26, Новосибирск - фирск. 1967, стр. 139.
2. Микромошная электроника. Сб. статей под ред. Е.И. Гальперина. М., "Советское радио", 1967.
3. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Изд-во "Наука", 1966.
4. А.И. Мишин. О реализации вычислительной среды на элементах с совмещенными функциями, "Вычислительные системы", № 26, Новосибирск, 1967, стр. 83.