

## МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.382.82

Б. А. БЕЗБОРОДНИКОВ, М. И. ЛУКАСЕВИЧ, И. М. БОГДАНОВ,  
Г. И. БАРАНОВА

## РАЗРАБОТКА СЕРИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СРЕДНЕГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Излагаются основные результаты работы по созданию серии полупроводниковых интегральных логических схем среднего быстродействия, приводятся технические характеристики полученных схем и кратко обсуждаются перспективы разработанной базовой технологии. Особое внимание уделено системе обеспечения качества выпускаемых схем.

Среди выпускаемых и разрабатываемых интегральных схем особое место занимают логические схемы средней мощности и среднего быстродействия ( $P \leq 15$  мвт,  $t_{\text{зад}} \leq 50$  нсек). Схемы с такими параметрами применяются в самых разнообразных устройствах переработки дискретной информации, поэтому они должны быть надежными, технологичными и дешевыми. Исходя из этих требований, была разработана серия схем в составе: основной логический элемент П2113; логический элемент с повышенной нагрузочной способностью П2121; диодная сборка П2131.

В основу разработки положен планарно-эпитаксиальный метод с изоляцией компонентов схемы обратными смещенными  $p$ - $n$  переходами. Отличительная черта разработанной технологии — использование низкоомного ( $\rho = 0,1$  ом·сек) эпитаксиального слоя с исходной толщиной  $\sim 22$  мкм, что позволило исключить необходимость создания специальных «скрытых»  $n^+$ -слоев для уменьшения сопротивления тела коллектора. Для производства интегральных схем с такой простейшей эпитаксиальной структурой требуется гораздо меньше технологических операций, чем при использовании более сложных эпитаксиальных структур. Появляется возможность одни и те же эпитаксиальные пленки применять для изготовления любых схем серии и относительно просто расширить номенклатуру выпускаемых схем без расширения номенклатуры эпитаксиальных структур. Кроме того, такой подход позволяет централизовать производство эпитаксиальных пленок на специализированном предприятии и получать эти пленки как обычные исходные материалы для производства схем. Следует отметить, что использование низкоомной эпитаксиальной пленки и, как следствие, повышенная концентрация примесей в базе и эмиттере, а также легирование золотом обуславливают повышенную устойчивость схем на основе таких структур к дестабилизирующим факторам. В то же время данная структура обеспечивает хорошие электрические параметры схем. Для иллюстрации приведем типовые реализуемые параметры выходного транзистора

схемы П2113, у которого  $U_{эб\text{ проб}} \geq 6\text{ в}$ ,  $U_{кб\text{ проб}} \geq 22\text{ в}$ ,  $U_{кэ\text{ проб}} \geq 8\text{ в}$ ,  
 $U_{кэ\text{ нас}} = 0,25 - 0,30\text{ в}$  при  $I_k = 10\text{ ма}$ ,  $I_b = 1\text{ ма}$ ,  $C_э = 5 - 7\text{ пф}$  при  
 $U_{эб} = 1\text{ в}$ ,  $C_k = 5 - 7\text{ пф}$  при  $U_{кб} = 1\text{ в}$ ,  $C_{к\text{ параз}} = 8 - 10\text{ пф}$  при  
 $U_{к\text{ подл}} = 1\text{ в}$ ,  $\tau_p = 20 - 40\text{ нсек}$  при  $I_{б1} = -I_{б2} = 1\text{ ма}$ ,  $I_{к1} = 3\text{ ма}$ ;  $H_{21э} =$   
 $= 20 - 50$  при  $I_k = 5\text{ ма}$ ,  $U_{кэ} = 3\text{ в}$ ;  $f_T = 200 - 250\text{ Мгц}$  при  $I_k = 5\text{ ма}$ ,  
 $U_{кэ} = 3\text{ в}$ .

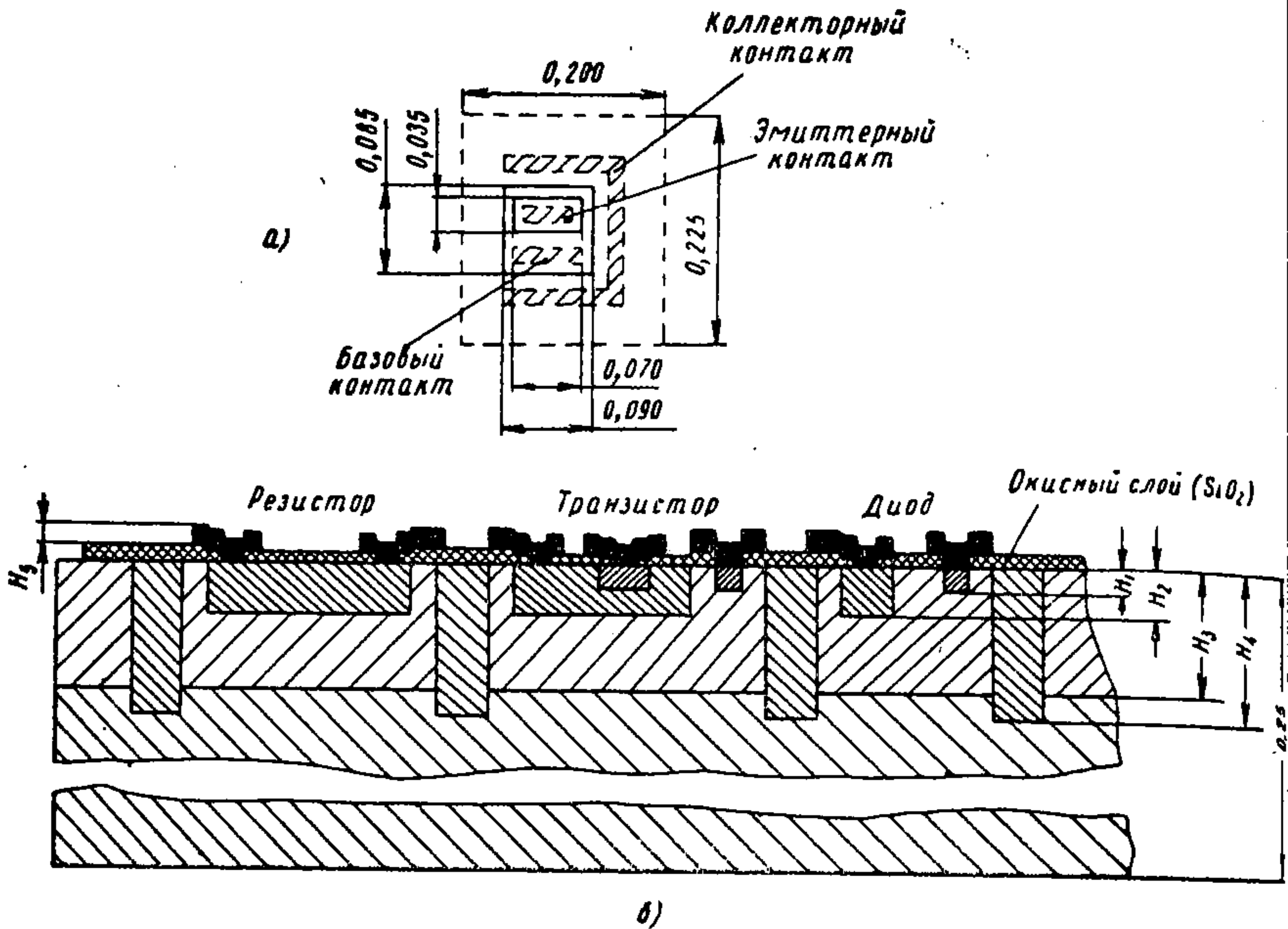


Рис. 1. Конфигурация транзистора (а) и структура интегральных твердых схем серии П21 (б). Форма областей, выполненных методом диффузии, показана условно.

Структура компонентов интегральных схем и конфигурация такого транзистора показаны на рис. 1. Параметры отдельных элементов структуры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элементы структуры кристалла	Тип проводимости	Используемый диффузант	Обозначение слоя	Толщина, мкм	Удельное сопротивление, ом/квадрат
Эмиттерная область	$n+$	Фосфор	$H_1$	1,9—2,1	2,0—3,5
Базовая область	$p$	Бор	$H_2$	2,7—3,0	180—220
Коллекторная область	$n$	—	$H_3$	18,7—25,3	—
Разделительная область	$p+$	Бор	$H_4$	28—32	2—8
Слой металлизации	—	—	$H_5$	1,0—1,5	—

Для создания транзистора и вообще всех элементов серии используются фотошаблоны с минимальным размером элементов 15 мкм и запасом на совмещение элементов на разных фотошаблонах 10 мкм, в то время как размер элементов 10 мкм и запас 5 мкм уже считаются освоенными в серийном производстве.

Высокое качество централизованно изготовляемых эпитаксиальных пленок, минимальное количество технологических операций, для выполнения которых требуется только типовой комплект оборудования для планарной технологии, большие технологические запасы на фотошаблоны и фотолитографию обеспечивают высокую технологичность производства разработанных схем, а следовательно, высокий процент выхода годных схем и их низкую стоимость.

Необходимо отметить, что возможности разработанной базовой технологии далеко не исчерпаны. Совершенствование технологии и оборудования, а также уменьшение геометрических размеров позволило в настоящее время на основе этой базовой технологии получить следующие параметры транзистора:  $C_{\text{с}} = 3-4$  пф,  $C_{\text{к}} = 3-4$  пф,  $f_{\text{T}} = 350-400$  Мгц. Отдельные транзисторы имели  $f_{\text{T}}$  более 500 Мгц.

Принципиальные электрические схемы выпускаемых элементов серии П21 представлены на рис. 2.

Основной элемент серии П2113, выполняющий логическую функцию И—НЕ для положительных сигналов, построен на основе модифицированной диодно-транзисторной логики, что обеспечивает надежное переключение при отрицательных температурах. Диод  $D_5$  находится под обратным смещением и обеспечивает рассасывание заряда при выключении выходного транзистора. Это особенно важно при высоких температурах, когда время рассасывания возрастает. Таким образом, элемент П2113 оказывается сбалансированным по статическим и динамическим характеристикам во всем рабочем диапазоне температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Логический элемент П2121, также выполняющий функцию И—НЕ для положительных сигналов, обладает повышенной нагрузочной способностью (допускается подключение к его выходу до 16 входов схем

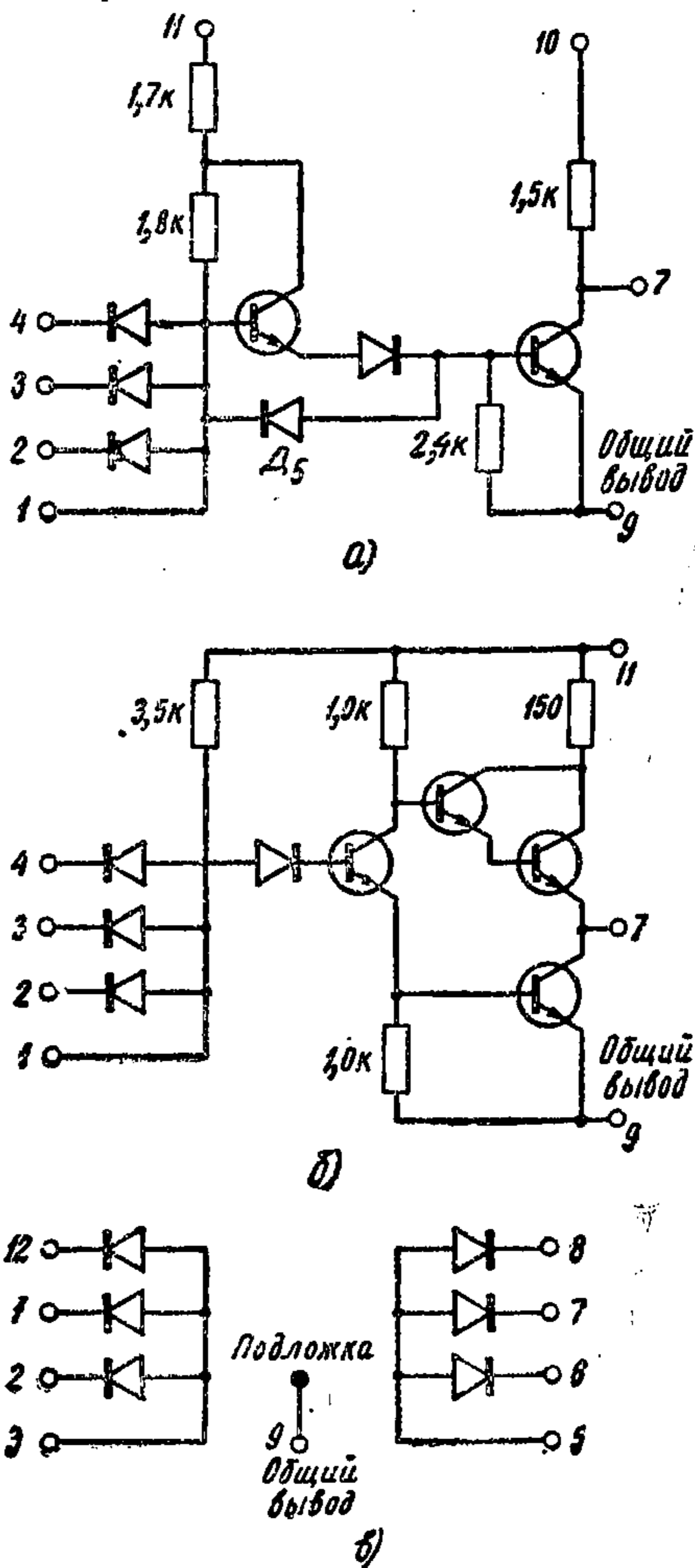


Рис. 2. Принципиальные электрические схемы и нумерация выводов элементов серии П21:

а — основной логический элемент; б — логический элемент повышенной нагрузочной способности; в — расширитель по входу И.

данной серии). Это обеспечивается как конфигурацией схемы, так и использованием более мощного выходного транзистора, имеющего меньшее, чем у транзистора, приведенного на рис. 1, сопротивление тела коллектора.

Элемент П2131 представляет собой две сборки по три диода с общей базой и предназначен для использования в качестве расширителя числа входов элементов П2113 и П2121.

Все элементы серии изготовлены на кристаллах размером  $1,0 \times 1,0$  мм, количество используемых компонентов на кристалле от 6 до 12. Столь малый размер кристалла схемы позволяет на пластине диаметром 25 мм обрабатывать сразу 360—400 схем. В настоящее время начинают использоваться эпитаксиальные пластины диаметром 35 мм, на которых размещаются 700—800 схем. Для разработки и выпуска на основе данной базовой технологии схем с большой степенью интеграции и более сложных функционально нет никаких принципиальных ограничений. В качестве эксперимента на этой технологии получены образцы двоичного счетчика, имеющего логические уровни 0,2 и 0,9 в и работающего на частотах до 10 МГц. На основе этой технологии завершается разработка магистрального усилителя для работы на нагрузку 75 ом. Эта схема, содержащая на кристалле  $1,2 \times 1,2$  мм 20 компонентов, выполняет функцию И для положительных сигналов и дополнит серию схем П21. Кроме того, осваивается выпуск сдвоенного трехходового элемента И—НЕ (кристалл  $1,2 \times 1,2$  мм, 22 компонента). Изучается возможность выпуска в составе серии JK триггера и ждущего мультивибратора.

Кристаллы элементов серии, изготовленные по базовой технологии, можно разместить в корпусах различного типа. В настоящее время осуществляется выпуск схем в круглых двенадцатывыводных корпусах типа Т0-5 (серия схем П21) и в плоских четырнадцатывыводных металлоглазанных корпусах (серия схем 21). Ведутся работы по подготовке производства для сборки в пластмассовые корпуса с 14 вертикальными выводами типа «DIP». В этих корпусах схемы будут иметь ограниченный диапазон рабочих температур  $-10 \div +70^\circ\text{C}$ .

При разработке схем и технологии их производства, а также при составлении ТУ на схемы проведен ряд мероприятий, направленных на обеспечение высокого качества и надежности выпускаемой продукции. Наиболее существенные из них следующие:

обеспечение большого запаса по основным электрическим характеристикам при расчете схем и компонентов;

установление максимально допустимых размеров компонентов и запасов на совмещение и растравливание при проектировании топологии схем серии;

установление в контрольных картах технологического процесса жестких допусков на отдельные технологические операции;

введение при цеховом контроле и контроле ОТК проверки 100% схем по параметрам, сверх указанных в ТУ, а также отбраковка схем в цехе и ОТК по более жестким, чем в ТУ, нормам;

обязательная выдержка приборов в течение 10 сут после их изготовления и термоциклирование 100% схем (4 термоцикла от  $-60^\circ\text{C}$  до  $+125^\circ\text{C}$ );

разработка и реализация широкой программы испытаний, в которую кроме приемо-сдаточных входят периодические, конструктивные, контрольно-выборочные испытания, испытания на надежность, долговечность и сохраняемость.

В табл. 2 представлены основные эксплуатационные параметры элементов серии П21 в диапазоне температур  $-60 \div +125^\circ\text{C}$  при наилучшем сочетании питающих напряжений, тока и емкости нагрузки.

Таблица 2

Эксплуатационные параметры элементов П2113 и П2121 в диапазоне температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  при наилучшем сочетании питающих напряжений, тока и емкости нагрузки

Параметр	Предельное значение	
	П2113	П2121
Количество объединений по входу	$\leq 6$	$\leq 6$
Количество объединений по выходу	$\leq 3^*$	—
Допустимая амплитуда статической помехи по входу без объединения выходов, в	0,4	0,3
Допустимая амплитуда статической помехи по входу с объединением выходов, в	0,3	—
Выходное напряжение закрытой схемы, в	$\geq 2,4$	$\geq 2,4$
Выходное напряжение открытой схемы, в	$\leq 0,3$	$\leq 0,4$
Входной ток закрытой схемы, ма	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
Входной ток открытой схемы, мка	$\leq 5$	$\leq 5$
Максимальный ток нагрузки, ма	$\leq 6,0$ группа А $\leq 4,5$ группа Б $\leq 3,0$ группа В $\leq 1,5$ группа Г	24,0 группа А 18,0 группа Б
Время задержки включения схемы, нсек	$\leq 40^*$	$\leq 50^*$
Длительность фронта включения схемы, нсек	$\leq 50^*$	$\leq 50^*$
Время задержки выключения схемы, нсек	$\leq 80^*$	$\leq 80^*$
Длительность фронта выключения схемы, нсек	$\leq 250^*$	$\leq 120^*$
Мощность, потребляемая закрытой схемой от источников питания, мвт	$\leq 11$	$\leq 11$
Мощность, потребляемая открытой схемой от источников питания, мвт	$\leq 22$	$\leq 38$

\* Значение параметра может быть уточнено в сторону улучшения характеристик.

В связи с тем, что контроль 100% схем производится только при нормальной температуре, для того чтобы гарантировать соответствие схем параметрам табл. 2 в диапазоне температур при наихудшем сочетании питающих напряжений, тока и емкости нагрузки, разбраковка схем производится по завышенным нормам. Так, для приборов П2113А в табл. 2 указан допустимый ток нагрузки 6 ма, что соответствует 4 нагрузкам при наихудшем сочетании внешних условий, а отбраковка схем этой группы ведется при  $I=13,1$  ма (при нормальной температуре это соответствует 10 типовым нагрузкам). Измерение схем в диапазоне температур при периодических испытаниях подтверждает достаточность установленных запасов для гарантии параметров табл. 2. Нормы на параметры при цеховой отбраковке, в свою очередь, завышены относительно стандартных. Например, норма на входной ток при цеховых испытаниях установлена 1,3 ма вместо 1,5 ма при стандартных. Для других параметров элемента П2113 соответствующие нормы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Норма отбраковки	
	цеховая	стандартная
$U'_{\text{вых}}, \text{ в}$	$> 2,6$ (при $U_{\text{вх}} = 1,2 \text{ в}$ )	2,5 (при $U_{\text{вх}} = 1,1 \text{ в}$ )
$I'_{\text{вх}}, \text{ мка}$	$< 0,5$	1,5
$I'_{\text{вых}}, \text{ мка}$	$\leq 5$	20
$t_3^-, \text{ нсек}$	$\leq 20$	40
$t_{\phi}^-, \text{ нсек}$	$\leq 30$	40
$t_3^+, \text{ нсек}$	$\leq 50$	80
$t_{\phi}^+, \text{ нсек}$	$\leq 180$	220

Измерение динамических параметров производится на высокопроизводительном измерителе временных параметров (ИВП-1) с цифровым отсчетом. На рис. 3 показаны эпюры напряжения и уровни отсчета при измерении временных параметров схем П2113 и П2121.

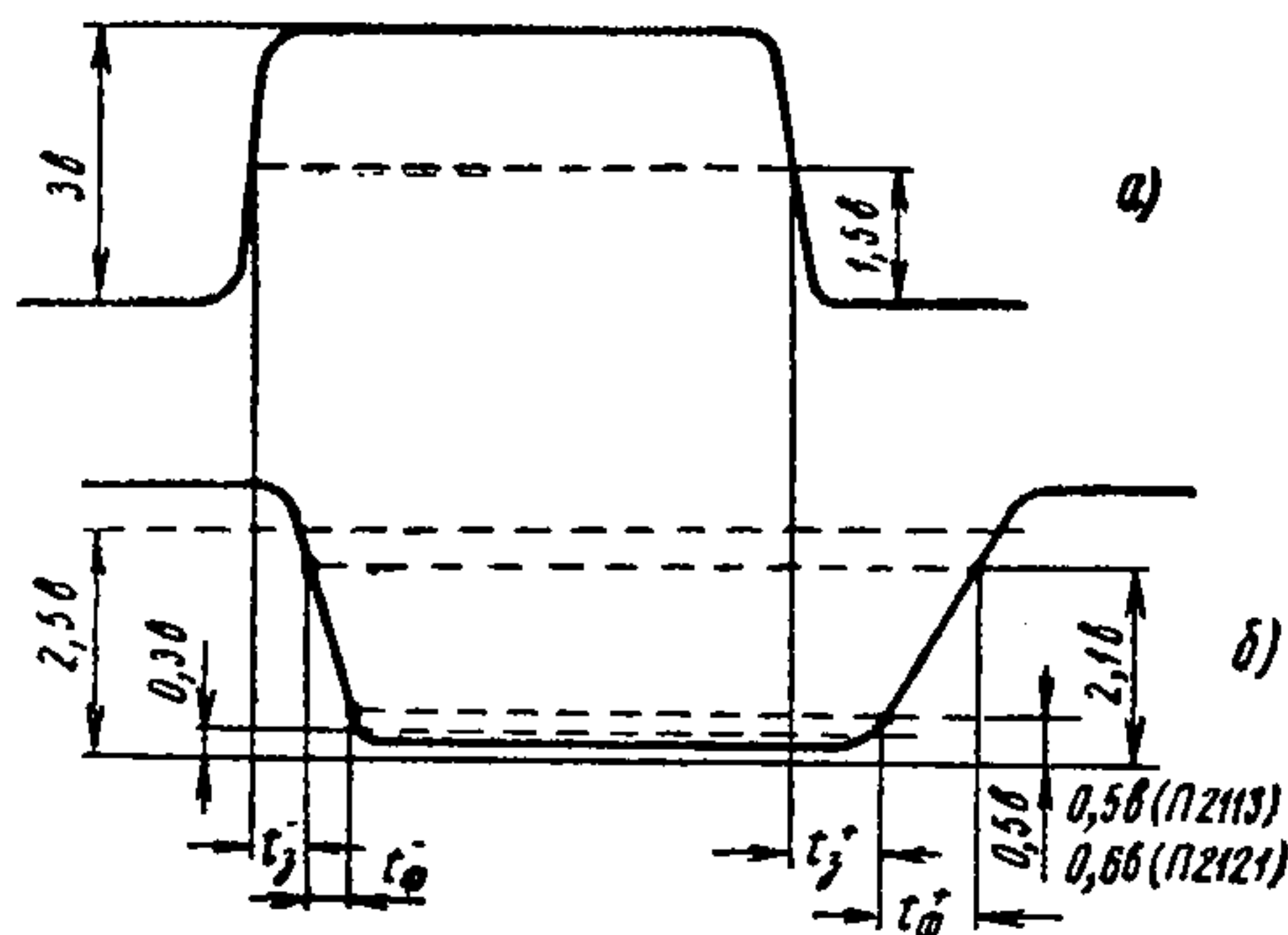


Рис. 3. Эпюры входного (а) и выходного (б) импульсов и уровни отсчета при измерении динамических параметров элементов П2113 и П2121. Длительность входного импульса  $\geq 300$  нсек, фронта  $\leq 10$  нсек.

Проводимые в соответствии с ТУ испытания схем подтверждают их высокую надежность. На основании изучения причин отказов разработана и осуществляется система технологических мероприятий, направленная на дальнейшее повышение надежности. Одновременно продолжаются работы по улучшению технических характеристик схем и повышению процента выхода годных схем.

Неуклонно снижается стоимость выпускаемых схем. Снижение стоимости комплектующих изделий, увеличение процента выхода годных схем, повышение производительности труда на основных технологических и измерительных операциях позволило установить следующие цены на схемы: П2113—6,75 руб; П2121—9,60 руб; П2131—5,75 руб. Стоимость схем для ограниченного диапазона рабочих температур еще меньше.

Для сравнения укажем, что стоимость схем П2113 в 1968 году была равна 12,3 руб. При освоении в производстве эпитаксиальных пластин диаметром 35 мм стоимость схем будет еще более снижена.

Приведенные данные позволяют утверждать, что задача создания серии логических схем широкого применения успешно решена.

*Статья поступила 24 марта 1969 г.*