

**ЯВЛЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ
ОБРАТНЫХ ТОКОВ ДРЕЙФОВЫХ
ТРАНЗИСТОРОВ
ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Л. Н. МИХАЙЛОВ

В. Т. ПАОМЕТС

Таллин 1965

ARH

1 XI
1А-12856

ТАЛЛИНСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД

ИМЕНИ Х. ПЕГЕЛЬМАНА

УДК 621.382.333.33

ЯВЛЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ОБРАТНЫХ ТОКОВ
ДРЕЙФОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Л.Н. Михайлов и В.Т. Паометс

Центральное бюро технической информации СНХ ЭССР

Таллин 1965

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

196792

ARHIIVKOGU

ЯВЛЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ОБРАТНЫХ ТОКОВ ДРЕЙФОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

ВВЕДЕНИЕ

Основным типом высокочастотного транзистора, нашедшего в последнее время массовое применение, является дрейфовый транзистор.

Перспективность применения дрейфовых транзисторов и в будущем обуславливает то, что в нем удалось в наиболее полной мере удовлетворить требования получения высокого усиления β , высоких предельных частот f_{α} малого сопротивления базы r_b и малой емкости коллекторного перехода C_K при обеспечении сравнительно высоких пробивных напряжений коллекторного перехода.

Основной отличительной особенностью дрейфовых транзисторов является экспоненциальное распределение примесей в базе, в результате чего в базе образуется ускоряющее электрическое поле, под действием которого осуществляется дрейф носителей от эмиттера к коллектору и сокращается время пролета носителей через базу.

Достаточно хорошо отработана технология дрейфовых транзисторов, изготовленных методом сплавления-диффузии /транзисторы типов П-401, П-402, П-403, П-416, П-415, П-423/.

Благодаря наличию тонкой базы и дрейфового поля внутри нее, а также вследствие того, что примыкающий к эмиттеру на поверхности базовый n слой сильно легирован, можно ожидать для этих транзисторов более слабого, чем для сплавных транзисторов, воздействия на параметры различных факторов, изменяющих состояние поверхности кристаллика $sr-n$ переходами. В то же время все возрастающие из года в год требования по стабильности параметров заставляют производить дальнейшее изучение и экспериментальные исследования поведения параметров под воздействием различных внешних факторов.

Как известно, основным параметром, характеризующим качество дрейфовых транзисторов, является обратный ток коллекторного перехода $I_{ко}$.

В литературе имеется достаточно много экспериментального материала и сведений по поведению параметра $I_{ко}$ при действии влаги на $p-n$ переход. Твердо установлено губительное действие влаги, вызывающее нестабильность и резкое возрастание тока $I_{ко}$.

В последних конструкциях отечественных транзисторов достигнуты значительные успехи по защите $p-n$ переходов от действия влаги и от влияния окружающей атмосферы путем защиты переходов лаками или кремнийорганическими вазелинами, а также применением влагопоглотителей (молекулярные сита), из которых наиболее опробованным и распространенным является цеолит.

Однако, данные результатов по надежности в отечественной и зарубежной практике (Л-1) показывают, что имеется основание с недоверием относиться к конструкциям транзисторов с лаковыми покрытиями $p-n$ переходов. В связи с этим широкое распространение в производстве транзисторов получает применение влагопоглотителей, в частности, цеолитовых структур, создающих внутри корпуса транзисторов атмосферу сильно пониженной влажности.

Наличие сухой атмосферы внутри корпуса еще не решает в полной мере задач обеспечения стабильности параметра $I_{ко}$. Так, при поддержании сухой атмосферы внутри корпуса дрейфовых транзисторов (П-401+403, П-416) посредством влагопоглотителя в виде порошкообразного цеолита на поверхности кристаллика с $p-n$ переходами создаются условия, при которых наблюдается нестабильность и возрастание обратного тока $I_{ко}$.

В настоящей статье даются описание и выявление причины эффекта нестабильности обратного тока коллекторного перехода $I_{ко}$, замеченного авторами экспериментальным путем у дрейфовых транзисторов (типов П-401, 402, 403; П-416) при механических воздействиях.

1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ И КОНСТРУКТИВНОГО УСТРОЙСТВА СПЛАВНЫХ-ДИФфуЗИОННЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

П-40I+403, П-4I6

На пластине p -германия ($\rho = 0,75$ ом.см) диффузией сурьмы из газовой фазы создается соединительный n -слой толщиной 13+18 мк. Далее на поверхности пластин путем применения техники фотолитографии образуется выступ или столик. На столик помещается кусочек эмиттерного сплава (состав сплава: $Pb - 48.7\%$ $Jn - 40\%$; $Bi - 7\%$; $Au - 3\%$; $Sb - 1\%$; $Ca - 0,3\%$), содержащий как донорные, так и акцентарные примеси. Столик, с помещенным на него кусочком сплава, подвергается термообработке в атмосфере водорода при температуре около $+800^{\circ}C$, в результате чего происходит процесс сплавления-диффузии и образование двух переходов. При этой температуре имеет место сначала проплавление соединительного n слоя, расплавление германия в сплаве, которое продолжается до достижения насыщенного раствора $Jn - g_a - Sb - g_e$.

Затем происходит диффузия сурьмы и галлия из расплава в твердый германий, причем диффузия сурьмы происходит значительно быстрее, чем диффузия галлия. При последующем охлаждении происходит рекристаллизация германия из расплава.

При диффузии из рекристаллизованного слоя распределение примесей имеет вид, показанный на рис. 1.

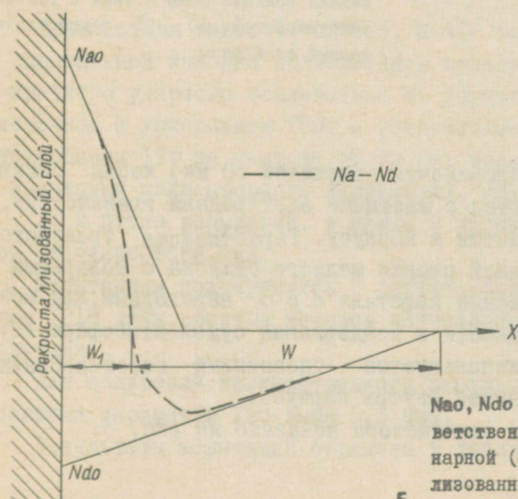


Рис. 1.

Na_0, Ndo - начальные концентрации соответственно акцентарной (галлий) и донорной (сурьма) примесей в рекристаллизованном слое

Область дырочной проводимости шириной W_I используется как эмиттер транзистора, область электронной проводимости шириной W - в качестве базы транзистора. Исходная область p -германий используется как коллекторная область транзистора.

Для создания вывода базы применяют базовый сплав составом: $Pb-65\%$; $Sn-30\%$; $Sb-5\%$. Кусочек сплава помещают на столик, и столик подвергается термообработке в атмосфере водорода при температуре $560^{\circ}C$, где происходит впавление капли сплава в германий (олово - сурьма - германий с образованием омического контакта с соединительным слоем). Структура переходов диффузионно-сплавного транзистора показана на рис. 2.

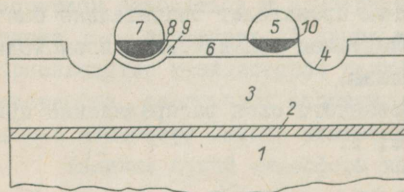


Рис. 2.

Рис. 2: 1 - коллекторный сплав; 2 - P^+ рекристаллизованный слой коллектора; 3 - исходный германий p типа; 4 - разделительная канавка; 5 - базовый сплав; 6 - соединительный слой n типа; 7 - эмиттерный сплав; 8 - P^+ рекристаллизованный слой эмиттера; 9 - активная область базы p типа с убывающей концентрацией; 10 - P^+ рекристаллизованный слой базы.

С помощью золотой проволоочки (толщиной 30 мк) капли сплавов эмиттера и базы соединяются с внешними электродами транзистора. Вывод коллектора приваривается к корпусу. Герметизация транзистора производится путем холодной сварки медного баллона с коваровым основанием, на котором припаян кристалл с $p-n$ переходами. Для обеспечения постоянства влажности и поддержания сухой атмосферы внутри корпуса транзистора используется циолитовый порошкообразный влагопоглотитель, засыпаемый внутрь корпуса.

Устройство готового транзистора показано на рис. 3.

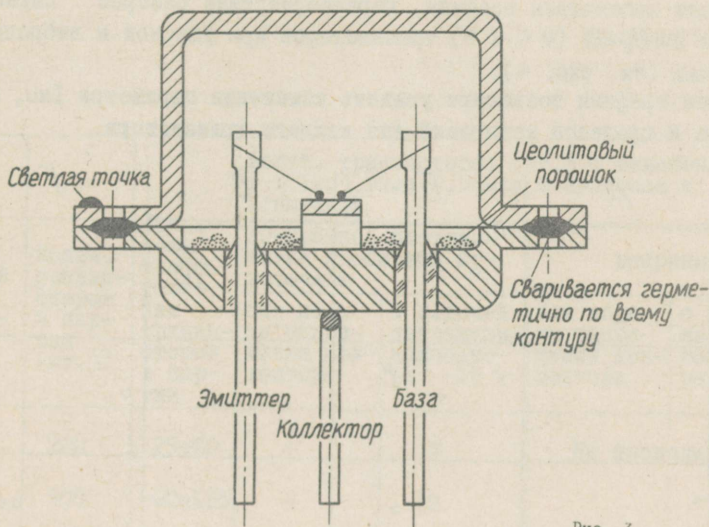


Рис. 3.

П. ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА НЕСТАБИЛЬНОСТИ ОБРАТНОГО ТОКА $I_{ко}$

Транзисторы типов П-40Г+40З, П-416 вышеописанной конструкции на специальной колодке подвергались механическим испытаниям путем 10-кратного ударного воздействия по корпусу транзисторов пробковым молоточком с ускорением 150g и воздействием вибрационной нагрузки с ускорением 15g на частоте 50 гц без подачи и с подачи в процессе испытаний коллекторного напряжения, равного -15 в.

До и после испытаний, а также в процессе испытаний фиксировалось значение тока $I_{ко}$.

Испытаниям подвергались 5 партий транзисторов, общим количеством 1210 штук, взятых методом случайного отбора из выпускаемой продукции.

Для получения количественного результата был принят критерий изменения параметра $I_{ко}$ выше 0,5 мка.

Результаты испытаний отражены в таблице I.

Были составлены графики, характеризующие разброс параметра $I_{ко}$ для 2 партий (№ 4 и 5) транзисторов при ударной и вибрационной нагрузках (см. рис. 4).

Эти графики позволяют увидеть изменения параметра $I_{ко}$, происходящие в процессе испытаний для каждого транзистора.

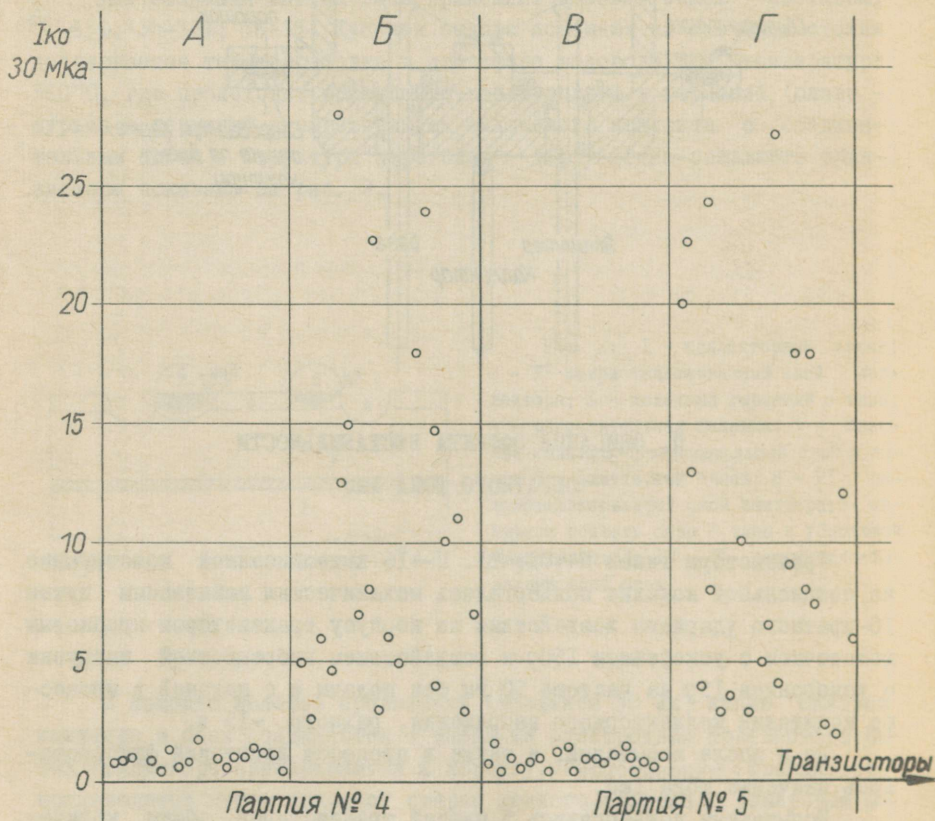


Рис. 4. Фактические значения обратного тока $I_{ко}$ для 40 транзисторов партий 4 и 5 при механических испытаниях при комнатной температуре $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$: А - до постукивания пробковым молоточком, Б - после постукивания с подачей $U_{к}=-15$ в, В - до вибрации, Г - при вибрации с подачей $U_{к}=-15$ в.

Таблица I

№ партий по порядку	Колич. транзисторов в партии (шт.)	Диапазоны коэфф. усиления транзисторов в партии	Колич. транзисторов (шт.) с изменением $I_{к0}$ ($\Delta I_{к0}$) выше 0,5 мка в процессе и после испытаний			
			10-кратное постукивание пробковым молоточком		вибрация	
			без подачи напряжения коллектора	с подачей напряжения коллектора -15 в	без подачи напряжения коллектора	с подачей напряжения коллектора 15 в
I	200	25+80	-	9	Не проводилась	
2	300	60+125	-	58	"	"
3	500	100+200	I	108	"	"
4	110	100+200	-	20	"	"
5	100	100+200	Не проводилась			2I

Следует отметить, что в процессе испытаний нестабильность и возрастание обратного тока $I_{ко}$ ("эффект нестабильности") имеет характер плавного или скачкообразного изменения, причем после снятия с транзисторов механической нагрузки нестабильность тока $I_{ко}$ сохраняется. В дальнейшем для сокращения под термином "эффект нестабильности" будем считать изменение и возрастание обратного тока $I_{ко}$, вызванное действием на транзисторы механических нагрузок (ударной или вибрационной) с подачей во время действия нагрузки коллекторного напряжения.

Примечание. Все вышеописанные испытания проводились при комнатной температуре $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$.

А. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ "ЭФФЕКТ НЕСТАБИЛЬНОСТИ" ОБРАТНОГО ТОКА $I_{ко}$

Было произведено исследование чувствительности транзисторов к "эффекту нестабильности" при температурах окружающей среды в диапазоне $-60^{\circ}\text{C} + 70^{\circ}\text{C}$. Две партии (6 и 7), скомплектованные из транзисторов, не чувствительных при температуре $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$ к "эффекту нестабильности", подвергались механическим воздействиям методом 10-кратного постукивания по корпусу транзисторов пробковым молоточком с ускорением $150g$ с подачей во время действия ударной нагрузки коллекторного напряжения ($U_{кб}$), равного -15 и -20 в. При испытаниях фиксировалось изменение тока $I_{ко}$. Чувствительными к "эффекту нестабильности" считались транзисторы с изменением тока $I_{ко}$ более $0,5$ мка.

Другие две партии (№ 8 и 9), скомплектованные из транзисторов, предварительно пораженных при температуре $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$ "с эффектом нестабильности", помещались в камеры холода (при -60°C) и тепла (при $+70^{\circ}\text{C}$), при этом фиксировалось изменение тока $I_{ко}$ и определялась степень чувствительности транзисторов к "эффекту нестабильности". Результаты испытаний отражены в таблице 2 и на графиках, приведенных на рис. 5 и 6. Графики позволяют сравнивать поведение и уровень тока $I_{ко}$ на крайних температурах -60°C и $+70^{\circ}\text{C}$ для транзисторов, предварительно пораженных "эффектом нестабильности", и транзисторов, не чувствительных к нему.

Таблица 2

№ партии	Колич. (шт.)	Диапазон усиления транзисторов	Колич. транзисторов, чувствительных к "эффекту неустойчивости" при					
			$t = -60^{\circ}\text{C} \div 20^{\circ}\text{C}$		$t = 20^{\circ}\text{C} \div 70^{\circ}\text{C}$		-60°C	$+70^{\circ}\text{C}$
			$U_{кб} = -15 \text{ В}$	$U_{кб} = -20 \text{ В}$	$U_{кб} = -15 \text{ В}$	$U_{кб} = -20 \text{ В}$	$U_{кб} = -15 \text{ В}$	$U_{кб} = -15 \text{ В}$
6	100	100 + 200	-	-	-	-	-	-
7	100	"	-	-	-	-	-	-
8	50	"	-	-	-	-	-	-
9	50	"	-	-	-	-	-	-

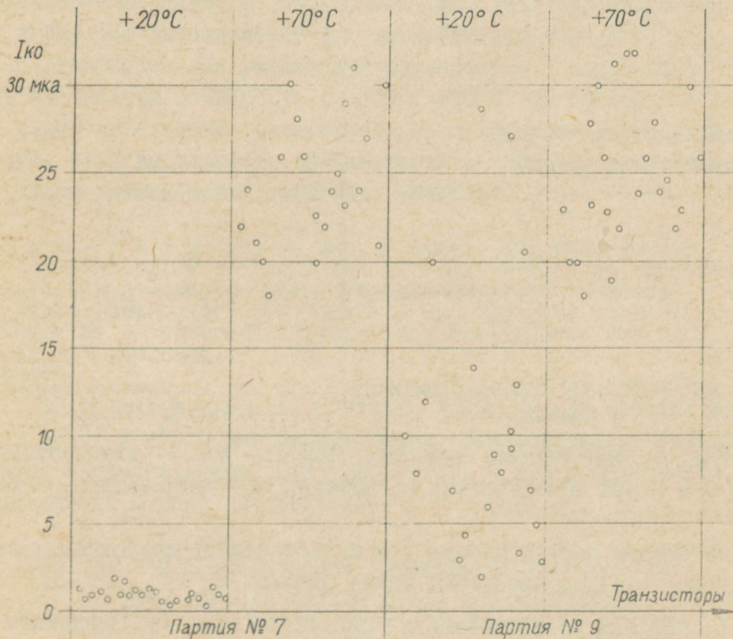


Рис. 5. Фактические значения тока I_{ko} для 44 транзисторов партий № 7 и 9 при механических испытаниях при температуре $t = +70^{\circ}\text{C}$.

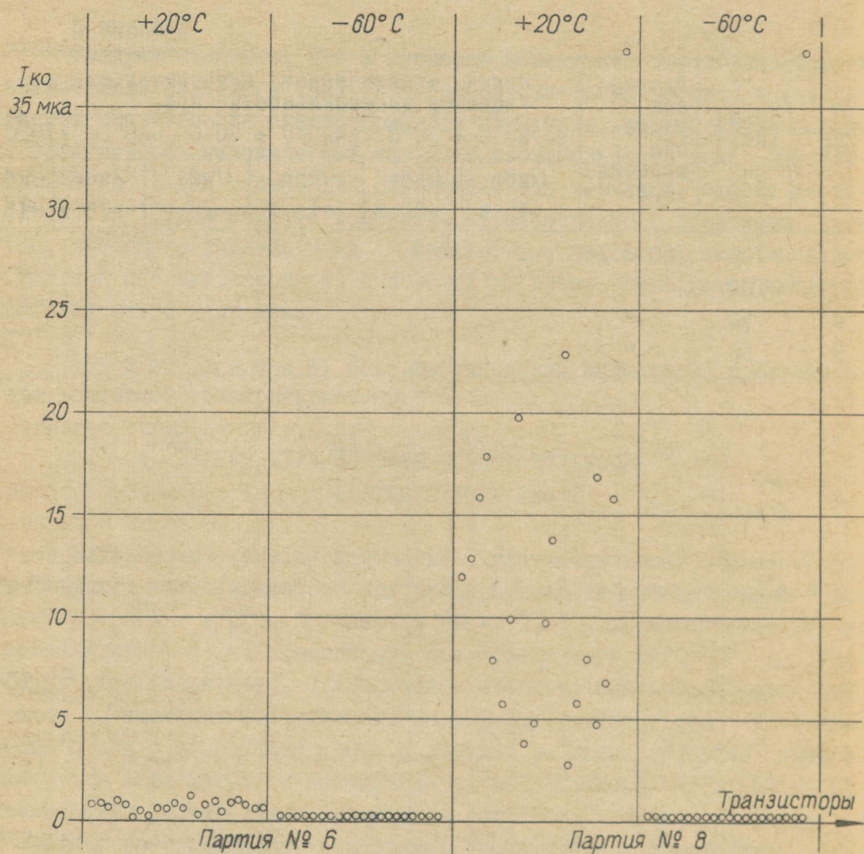


Рис. 6. Фактические значения тока I_{co} для 44 транзисторов партий № 6 и 8 при механических испытаниях при температуре $t = -60^{\circ}\text{C}$.

На основе данных таблиц I и 2 и графиков, приведенных на рис. 4 и 5, можно сделать следующие общие выводы.

I. "Эффект нестабильности" обратного тока I_{co} возникает в случае, если во время действия механической нагрузки подано коллекторное напряжение; без подачи коллекторного напряжения при механических воздействиях заметного изменения тока I_{co} не происходит.

2. "Эффект неустойчивости" сравнительно одинаково проявляется как при ударной, так и при вибрационной нагрузках.

3. Наблюдается корреляция между чувствительностью транзисторов к возникновению "эффекта неустойчивости" и величиной коэффициента усиления; транзисторы, имеющие больший коэффициент усиления β , сильнее подвержены к возникновению "эффекта неустойчивости", чем транзисторы, имеющие меньший коэффициент усиления.

4. При подаче коллекторного напряжения, равного -15 в (максимально допустимое по техническим условиям напряжение), "эффектом неустойчивости" поражаются не все, а только часть транзисторов.

5. При возникновении "эффекта неустойчивости" наблюдается превышение максимального уровня тока $I_{ко}$, установленного техническими условиями изготовителя при температурах $t=20 \pm 5^\circ\text{C}$.

6. Увеличение или уменьшение температуры окружающей среды вплоть до крайних температур (-60°C и $+70^\circ\text{C}$) не приводит к увеличению чувствительности транзисторов к "эффекту неустойчивости", наоборот, чувствительность транзисторов к "эффекту неустойчивости" при крайних транзисторах полностью исчезает.

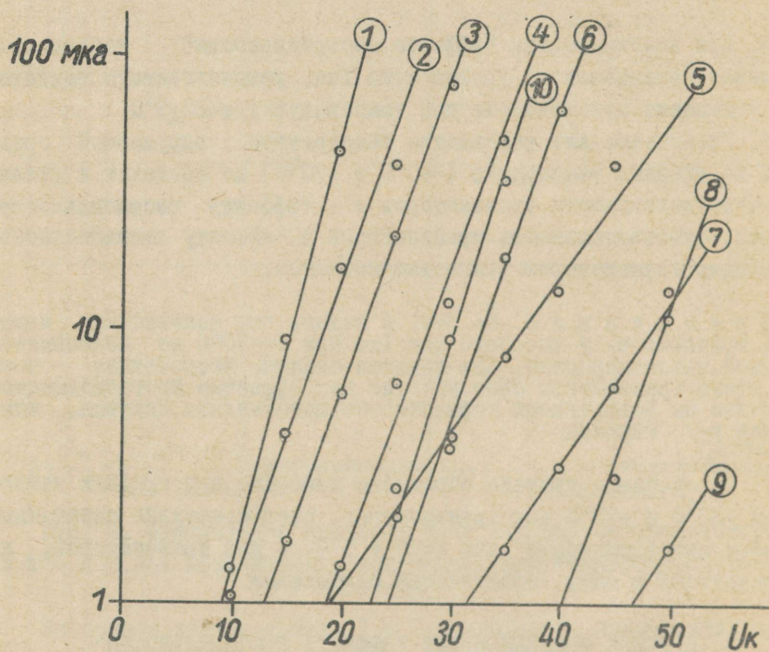
П р и м е ч а н и е. Из рис. 6 видно, что исключением является I транзистор, у которого ток $I_{ко}$ при $t=-60^\circ\text{C}$ не подчиняется указанной закономерности. Как показал анализ, возрастание тока $I_{ко}$ у этого транзистора было вызвано не "эффектом неустойчивости", а наличием на поверхности германиевого кристаллика частицы, шунтирующей p-n переход

7. Поведение и уровень обратного тока $I_{ко}$ при крайних температурах -60°C и $+70^\circ\text{C}$ для транзисторов, предварительно пораженных "эффектом неустойчивости" при $t=20 \pm 5^\circ\text{C}$, и для транзисторов, не чувствительных к нему, практически одинаковые.

III. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ "ЭФФЕКТА НЕУСТОЙЧИВОСТИ" ТОКА $I_{ко}$ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Вышеизложенные экспериментальные данные показывают, что "эффект неустойчивости" тока $I_{ко}$ представляет собой явление, которое не вызвано проводимостью или шунтированием какими-либо частицами

коллекторного р-п перехода. Для выяснения механизма возникновения "эффекта неустойчивости" было исследовано поведение "избыточных токов" (Изб.). Под термином "избыточный ток" будем подразумевать максимальную разность значений токов $I_{ко}$ до возникновения "эффекта неустойчивости" и после его возникновения. Были сняты вольтамперные характеристики коллекторного перехода до и после возникновения "эффекта неустойчивости" в широком диапазоне напряжений коллектор-база ($U_{кб}$) от 0 до -50 в и получены графики зависимости избыточных токов (в логарифмическом масштабе) от приложенного коллекторного напряжения (см. рис. 7).



№	1	2	3	4	5	6	7	8	10
$U_{\alpha=1}$	14,5	14	14,5	15	14	23	19	19	20

Рис. 7. Зависимость Изб от коллекторного напряжения.

Как видно из рис. 7, функция $\log I_{изб.} = f(U_{кб})$ близка к прямолинейной зависимости.

Исследование избыточных токов показало, что характерными особенностями их поведения являются следующие:

1. Возникновение избыточных токов сопровождается появлением флуктуаций обратных токов, наблюдаемых на экране осциллографа.

2. Избыточные токи уменьшаются при охлаждении транзисторов и уже при температуре -60°C полностью исчезают.

3. Избыточные токи исчезают при добавлении в корпус транзистора небольшого количества влаги или при уменьшении активности цеолитового влагопоглотителя. Так, при разгерметизации 80 транзисторов, пораженных "эффектом нестабильности", путем просверливания в их корпусе отверстия порядка $100+500$ мк через 2-5 сек наблюдаются резкое уменьшение обратного тока $I_{ко}$ до его нормального значения и полное исчезновение "эффекта нестабильности" ($I_{изб.} = 0$).

В таблице 3 приведены данные по чувствительности к "эффекту нестабильности" для транзисторов, изготовленных с различной степенью активности влагопоглотителя.

Таблица 3

№ партии и тип	Колич. транзисторов (шт.)	Активность цеолита	Колич. транзисторов, чувствительных к "эффекту нестабильности" (шт.)	Диапазон усиления
I0	I56	23,8%	I6	I10+I80
II	I04	I,5%	3	"
I2	I04	0,5%	I	"

Данные поведения "избыточных токов" показывают, что их появление связано с поверхностным состоянием германиевого кристаллика, а именно с образованием в области базы инверсионного слоя (канала). Известно, что на П-германии в сухой атмосфере при присутствии кислорода и электрического поля имеется возможность возникновения каналов [2]. В корпусе транзисторов типов П-40I+403, П-4I6 эти ус-

ловия выполнимы при попадании цеолитового порошка на р-п переход. Порошок цеолита, представляющий собой диэлектрические зерна порядка 2-8 мк, легко заряжается трением и в корпусе транзистора находится в заряженном состоянии. При механических воздействиях под напряжением (обычно от 10 в и более) отрицательно заряженные частицы цеолита полностью покрывают активную область кристаллика ("столик") (см. рис. 8 и 9). Для наблюдения за поведением цеолитового порошка при механических воздействиях были изготовлены транзисторы в корпусе, имеющем в верхней части баллона стеклянное окно. Через это остекленное окно производилось фотографирование области кристаллика германия. На рис. 8 изображена область кристаллика при ударных воздействиях без подачи коллекторного напряжения.

На рис. 9 изображена область кристаллика при ударных воздействиях с подачей коллекторного напряжения, равного -15 в. Видно, как захваченные полем коллекторного перехода частицы цеолитового порошка осели на активной области ("столике") и полностью покрыли ее (на рис. области кристаллика белого цвета представляют частицы цеолитового порошка). Цеолит активно поглощает воду и создает достаточно сухую поверхность германия. В сухой атмосфере при наличии кислорода внутри корпуса транзисторов, а также при концентрации отрицательно заряженных частиц цеолитового порошка на поверхности германиевого кристаллика происходит образование инверсионного слоя (канала) р типа в области базы п типа. Обычно пробивное напряжение перехода канал - основной материал порядка 10 в, поэтому избыточные токи до напряжений 10 в малы и практически равны 0. При повышении коллекторного напряжения более 10 в избыточные токи растут и одновременно появляются флуктуации обратного тока. Флуктуация обратного тока характерна предпробойной области р-п перехода. Рост избыточных токов с увеличением напряжения происходит гораздо медленнее, чем возрастание обратного тока $I_{ко}$ при пробое перехода коллектор-база, что показывает на передвижение области пробоя перехода канал - основной материал с конца к началу канала. Уже при токах порядка 500-1000 мка (область пробоя перехода коллектор-база) избыточные токи уменьшаются до 0 и вольтамперная характеристика переходит в обычную характеристику при пробое

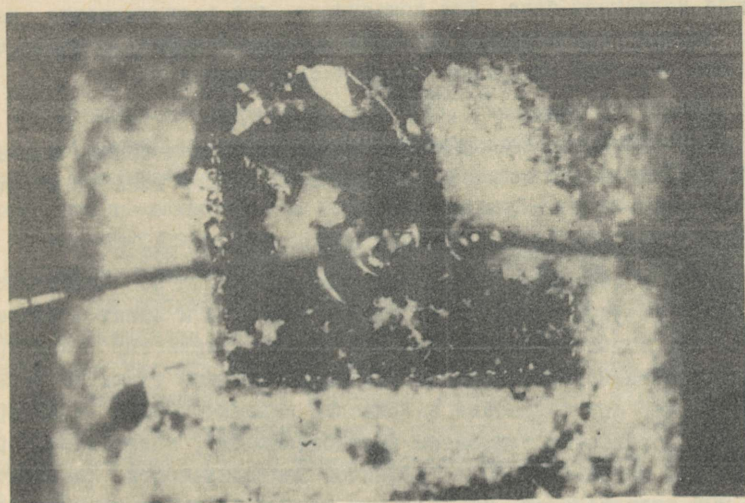


Рис. 8.

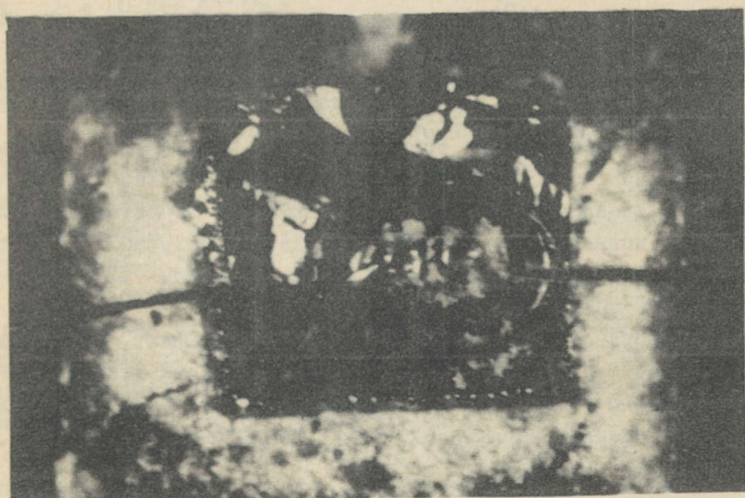


Рис. 9.

TRU Raamatukogu

перехода коллектор-база. Это показывает, что возникновение каналов не уменьшает пробивного напряжения транзисторов. Избыточный ток можно выразить следующей эмпирической формулой:

$$I_{\text{изб}} = e^{a(U_{\text{кб}} - U_0)}$$

где a — коэффициент, определяемый наклоном прямых линий, показанных на графике зависимости логарифма избыточного тока от напряжения (см. рис. 7), $a = 0,25 \pm 0,3$;

U_0 — величина напряжения, при которой $I_{\text{изб.}} = I_{\text{мкА}}$.

U_0 зависит от состояния обработки поверхности, от концентрации примесей в полупроводнике и от других факторов и лежит в пределах $8+50$ в. Чем больше величина U_0 , тем меньше транзистор подвержен "эффекту нестабильности" и тем меньше избыточные токи. Из формулы вытекает, что при повышении напряжения коллектор-база число транзисторов, поражаемых "эффектом нестабильности", возрастает. Практически при напряжении 30 в "эффектом нестабильности" поражается около 90% транзисторов. При больших положительных и отрицательных температурах изменяется действие канала. Так, при $t = -60^\circ\text{C}$ каналы исчезают и "эффект нестабильности" не наблюдается. При повышении температуры до $+70^\circ\text{C}$ увеличивается обратный ток перехода и уменьшается сечение канала, что приводит к уменьшению чувствительности транзисторов к "эффекту нестабильности" и практически при $+70^\circ\text{C}$ она сводится к нулю.

Следует отметить, что транзисторы без применения порошкообразного цеолита не подвергаются "эффекту нестабильности". Изготовленные 100 транзисторов без порошкообразного цеолитового влагопоглотителя подвергались воздействию ударных нагрузок с подачей коллекторного напряжения от 15 до -50 в, при этом "эффекта нестабильности" не возникло.

Таким образом, все приведенные факты показывают, что "эффект нестабильности" связан с поверхностным состоянием кристаллика германия, а именно с образованием инверсии базы (каналов) при концентрации отрицательно заряженных частиц цеолитового порошка на активной области кристаллика.

IV. ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ И "ЭФФЕКТ НЕСТАБИЛЬНОСТИ"

За исключением обратного тока $I_{к0}$, остальные параметры транзисторов при возникновении "эффекта неустойчивости" не претерпевают заметных изменений от своих первоначальных значений. В отдельных случаях при продолжительном действии ударной нагрузки у транзисторов, пораженных "эффектом неустойчивости", наблюдается незначительное изменение коэффициента усиления β , обычно не превышающее 10%.

Так, при испытаниях 400 транзисторов на удар с ускорением 150g и общим количеством ударов 100000 у 13 транзисторов наблюдалось незначительное уменьшение коэффициента, не превышающее 10%.

Было установлено, что изменение коэффициента усиления наблюдается только у незначительной части транзисторов, имеющих большой коэффициент β (более 150) и малое напряжение переворота фазы базового тока $U_{\alpha} = I$.

Напряжение U_0 , входящее в формулу для избыточных токов, в сильной степени зависит от величины $U_{\alpha} = I$. Практически величина напряжения $U_0 = (0,8 \pm 1,6) \cdot U_{\alpha} = I$.

Чем больше $U_{\alpha} = I$, а следовательно и U_0 , тем меньше избыточные токи и наоборот, чем меньше $U_{\alpha} = I$, тем чувствительнее транзисторы к "эффекту неустойчивости".

Между напряжением $U_{\alpha} = I$ и величиной коэффициента усиления наблюдается заметная корреляция, а именно: транзисторам с большим усилением соответствует меньшая величина $U_{\alpha} = I$. В связи с этим вытекает существенный вывод: чем больше усиление транзисторов, тем они чувствительнее к "эффекту неустойчивости".

Следует отметить, что при использовании транзисторов в импульсных схемах одним из важных параметров является начальный ток коллектора $I_{кн}$. Поэтому представляет интерес поведение тока $I_{кн}$ при механических воздействиях. Как показали исследования, ток $I_{кн}$ в процессе механических нагрузок изменяется и возрастает гораздо больше, чем обратный ток $I_{к0}$. Это связано с изменением плавающего потенциала эмиттера при механических воздействиях, в связи с чем величина тока $I_{кн}$ может приближаться к величине сквозного тока $I_{к0}$, характерного для цепи с обрывом базы.

Как показала статистика испытаний, величина тока $I_{кн}$ при механических воздействиях может доходить до $150+200$ мка.

На практике от этого явления нетрудно избавиться подачей на базу транзистора запирающего напряжения $+1,5+2$ в. В таком случае токи $I_{кн}$ будут одного порядка с токами $I_{к0}$.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие практические выводы:

1. При изготовлении транзисторов для обеспечения меньшей чувствительности транзисторов к "эффекту нестабильности" необходимо исходить из получения возможно большей величины напряжения переворота фазы базового тока $U_{\alpha} = I$.

2. При использовании транзисторов в схемах, в которых предъявляются жесткие требования к величине обратного тока $I_{к0}$, целесообразно применять напряжение коллектор-база не более 10 в, т.е. меньше максимально допустимого коллекторного напряжения, равного -15 в.

3. При конструировании импульсных схем необходимо учитывать, что надежной является схема с запертым эмиттером, так как без запирающего эмиттера начальные токи коллектора могут превышать обратные токи $I_{к0}$ в $6+8$ раз.

4. При практическом использовании транзисторов необходимо учитывать, что более надежными транзисторами являются транзисторы с меньшим коэффициентом усиления (типы П-416, П-416А).

5. В связи с тем, что "эффект нестабильности" при крайних температурах (-60°C и $+70^{\circ}\text{C}$) полностью исчезает, работа схем при этих температурах не нарушается.

6. Практически максимальный уровень обратных токов $I_{к0}$ транзисторов, пораженных "эффектом нестабильности" при температуре $t=20\pm 5^{\circ}\text{C}$, лежит в пределах $25+30$ мка при максимально допустимом напряжении коллектор-база, равном -15 в.

Примечание. У некоторой части транзисторов, подвергавшихся механическим воздействиям с подачей во время действия механической нагрузки коллекторного напряжения, равного -15 в, наблюдалось резкое возрастание обратного тока $I_{к0}$ до величин, достигающих $100+200$ мка. Как показали анализ и исследование этих транзи-

сторов, причиной возрастания тока $I_{ко}$ являлось не возникновение "эффекта неустойчивости", а наличие на поверхности кристаллика иностранных частиц, металлических и других загрязнений, шунтирующих $p-n$ переход.

7. В конструкциях транзисторов без применения порошкообразного цеолитового влагопоглотителя "эффекта неустойчивости" не наблюдается.

У. ВЫЯВЛЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К "ЭФФЕКТУ НЕУСТОЙЧИВОСТИ"

Отбраковка в массовом производстве транзисторов, чувствительных к "эффекту неустойчивости", является пассивной мерой и не повышает процент выхода годных транзисторов, но тем не менее помогает повышению надежности. В результате изложенных исследований был предложен и внедрен в массовое производство метод контроля и обнаружения транзисторов, чувствительных к "эффекту неустойчивости" тока $I_{ко}$. Все транзисторы включаются в схему для измерения тока $I_{ко}$ с подачей коллекторного напряжения, равного -15 в. Транзисторы закрепляются на специальной колодке баллоном кверху. По корпусу транзисторов с помощью автоматического молоточка с пробковым наконечником наносится 5-10 терированных ударов с ускорением $150 g$

В процессе и после ударных воздействий на микроамперметре фиксируется изменение тока $I_{ко}$. Отбраковываются транзисторы, у которых возникло изменение $I_{ко}$ от своего первоначального значения.

Методика отбраковки обеспечивает высокую производительность и сохранность приборов.

Методика обладает тем недостатком, что не позволяет стопроцентно гарантировать выявление транзисторов, способных быть чувствительными к "эффекту неустойчивости", но тем не менее позволяет выявлять транзисторы, наиболее чувствительные к "эффекту неустойчивости". Так из партии транзисторов 1100 шт. по этой методике было отбраковано 120. При повторном цикле проведения отбраковки по данной методике было обнаружено из оставшихся 980 транзисторов только 8 чувствительных к "эффекту неустойчивости", при этом неустойчивость и возрастание тока у этих транзисторов были значительно меньшими, чем у 120 первоначально отбракованных транзисторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из вышеизложенного следует, что "эффект неустойчивости" не представляет опасности для нормальной работы схем, так как обратные токи транзисторов при возникновении "эффекта неустойчивости" не превышают обратных токов при температуре $+70^{\circ}\text{C}$, на величину которых рассчитываются схемные устройства.

Изучение свойств "эффекта неустойчивости", знание природы его возникновения помогает решать многие вопросы по повышению устойчивости параметров в производстве, а также дает возможность изготовителю принимать наилучшее решение в выборе оптимальной конструкции транзисторов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Файнштейн С. М. О связи состояния поверхности со стабильностью полупроводниковых приборов. М-Л. Госэнергоиздат. 1961.

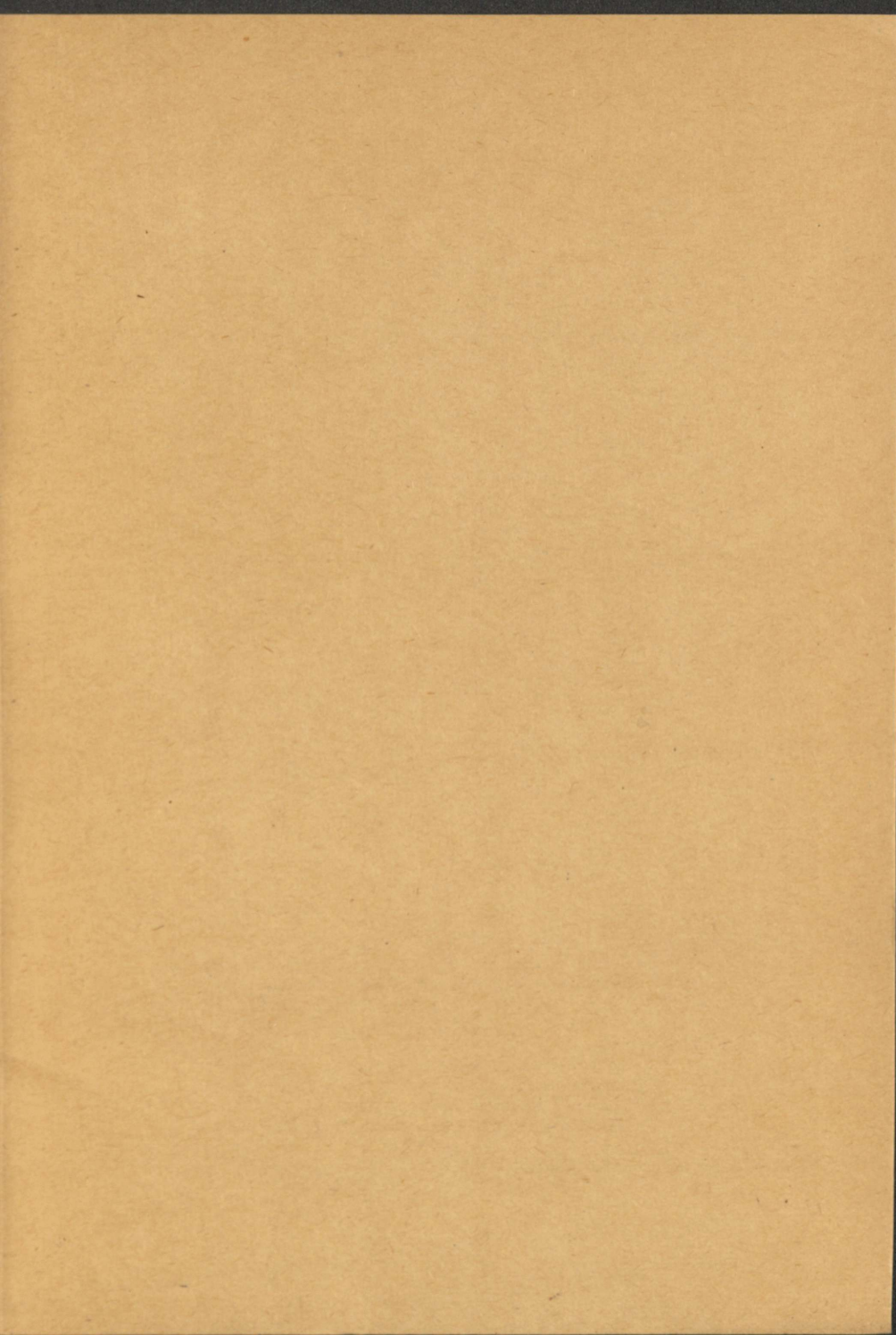
Центральное бюро технической информации СНХ ЭССР
Таллин, ул. Ломоносова, 29

Редактор С. Нигуль

Подписано в печать 25/XI 1965 г. Тираж 350 экз.
Бумага 30x41. Физ. печ. л. 6. Усл. печ. л. 1,38.

№В-10569. Заказ № 2682-8016

Ротапринт ЦБТИ СНХ ЭССР. Таллин, ул. Пикк, 68
Цена 5 коп.



Цена 5 коп.

XI

A-12856

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00647358 3