

# МОЩНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНЗИСТОР СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ КП926А, Б

Юрий Максименко (violamaksimenko@yandex.ru)

В этой статье представлены характеристики транзистор со статической индукцией КП926, разработанного ещё во времена СССР, но до сих пор вполне конкурентоспособного по технологическим характеристикам и себестоимости, а в некоторых применениях даже превосходящего современные силовые полупроводниковые приборы.

Транзистор со статической индукцией КП926 был разработан в 1990 году, но до сих пор его основные параметры не были представлены в литературе, хотя он был первым высоковольтным транзистором данного класса, способным работать как в полевом, так и в биполярном режиме. Транзистор предназначен для использования в источниках вторичного электропитания с бестрансформаторным входом, устройствах электропривода постоянного и переменного тока, регуляторах, стабилизаторах, усилителях мощности и другой радиоэлектронной аппаратуре. Сегодня автором данной статьи предложены конструктивно-технологические доработки транзистора КП926, которые обеспечивают снижение эффективной ёмкости затвора более чем в 30 раз, снижение сопротивления канала почти на три порядка, позволяют в несколько раз повысить максимально допустимое рабочее напряжение и коэффициент усиления, обеспечить выход годных по кристаллу, соизмеримый с биполярным транзистором.

Представляет интерес сравнение параметров транзистора КП926 разработки 1990 года с параметрами транзистора после конструктивных доработок.



Рис. 1. Внешний вид транзистора серии КП926

Разработанный в 1990 году высоковольтный транзистор со статической индукцией (СИТ) КП926 с развитой металлизацией затвора был первым прибором, способным работать как в полевом, так и в биполярном режиме. Транзистор n-канального типа с вертикальной структурой канала изготавливается по планарно-эпитаксиальной технологии с использованием метода самосовмещения областей истока и затвора [1]. Конструктивно он выполнен в металлокерамическом корпусе КТ-9 (рис. 1). Транзистор произвёл целую революцию в преобразовательной технике. Он имел супернизкое сопротивление канала в открытом состоянии (в корпусе КТ-9 менее 22 мОм) и высокое быстродействие (способен был работать на частоте до 1 МГц).

Активная область транзистора КП926 состоит из параллельно соединённых элементарных транзисторных ячеек с суммарной протяжённостью канала 127,5 см и девяти периферийных делительных колец для обеспечения высоких пробивных напряжений стока. Затвор формируется диффузией примеси p-типа на глубину 4,8 мкм и выполнен в виде ячеистой структуры, охватывающей n<sup>+</sup>-области истоков (длина каждой

области составляет 250 мкм). Управление транзистором при запираии осуществляется перекрытием проводящего канала областью пространственного заряда обратно-смещённого p-n-перехода затвор-исток и изменением высоты потенциального барьера полем затвора и стока, открывание – закачкой тока в затвор.

Основные электрические параметры транзистора КП926А, Б приведены в табл. 1.

Максимально допустимые электрические параметры приведены в табл. 2.

На рис. 2 приведены выходные вольтамперные характеристики для двух режимов работы: полевого и биполярного. На рис. 3 представлена зависимость  $R_{си\ отк}$  от тока затвора при различных значениях тока стока, на рис. 4 – зависимость  $R_{си\ отк}$  от температуры на корпусе, а на рис. 5 и 6 – соответственно зависимость ёмкостей затвор-исток и затвор-сток от прикладываемых напряжений [2].

Полевой транзистор КП926 со статической индукцией, разработанный в 1990 году, и сегодня обладает рядом преимуществ по сравнению с наиболее распространёнными транзисторами IGBT:

- гораздо меньшее сопротивление в открытом состоянии, так как на пути протекания тока нет ни одного p-n-перехода (у IGBT их три);
- большая плотность тока в канале и, соответственно, больший коэффициент усиления;
- более высокое быстродействие, так как выключается через затвор;

Таблица 1. Основные электрические параметры транзистора КП926

Тип транзистора КП926	Полевой режим								Биполярный режим			
	$I_{з\ ут}$ , mA		$I_{с\ ут}$ , mA		$U_{зи\ отс}$ , В		$R_{си\ отк}$ , Ом		$S$ , A/B	$\beta^*$	$\mu^*$	$R_{си\ отк}$ , Ом
	тип	не >	тип	не >	тип	не <	тип	не >	тип	не <	тип	не >
А	0,1	1,0	0,1	1,0	-10	-15	0,25	0,5	3,0	30	45	0,02
Б	0,1	1,0	0,1	1,0	-10	-15	0,25	0,5	2,0	30	45	0,02

Условные обозначения:  $I_{з\ ут}$  – ток утечки затвор-исток;  $I_{с\ ут}$  – ток утечки затвор-сток;  $U_{зи\ отс}$  – напряжение отсечки;  $R_{си\ отк}$  – сопротивление в открытом состоянии;  $S$  – крутизна характеристики;  $\beta^*$  – коэффициент усиления по току;  $\mu^*$  – коэффициент усиления по напряжению.

• более высокая перегрузочная способность, так как имеет отрицательную температурную зависимость тока стока от температуры (рис. 4).

По сравнению с появившимися за рубежом полевыми транзисторами, выполненными на SiC, он также имеет ряд существенных преимуществ:

- более высокое быстродействие (из-за более высокой подвижности основных носителей тока);
- более простое управление.

Кроме того, технология изготовления транзистора КП926, освоенная в серийном производстве, намного проще, чем технология производства транзисторов IGBT и, особенно, транзисторов на SiC, так как SiC по твёрдости соизмерим с алмазом [3].

Сегодня конструкция кристалла КП926 доработана [4], что позволило уменьшить эффективную ёмкость затвора на порядок, а современное корпусирование кристалла позволит уменьшить сопротивление прибора до 2...3 мОм.

В работе [5] предложена принципиально новая конструкция КП926, которая основана на использовании Trench технологии [6] и базовой технологии создания СИТ [1]. Данная конструкция позволяет снизить эффективную ёмкость более чем в 30 раз, обеспечить сопротивление канала в открытом состоянии менее 1 мОм (в современном корпусе) и увеличить коэффициент усиления по току в 2 раза.

Во всех конструкциях КП926 можно вместо p<sup>+</sup>-истока сформировать изотипный гетеропереход, что позволит повысить в канале плотность основных носителей на три порядка [7]. Это позволит работать транзисто-

Таблица 2. Максимально допустимые электрические параметры транзистора КП926

Параметр	Тип транзистора КП926	
	А	Б
$U_{си макс}$ , В	450	400
$U_{зс макс}$ , В	475	420
$U_{зи макс}$ , В	-25	-20
$I_{с макс}$ , А	16,5	16,5
$I_{с им макс}$ , А	30	30
$I_{пр з им макс}$ , А	2	2
$I_{пр з им макс}$ , А	4	4
$P_{ макс}$ , Вт	50	50

- $U_{си макс}$  – максимально допустимое напряжение сток-исток;
- $U_{зс макс}$  – максимально допустимое напряжение затвор-сток;
- $U_{зи макс}$  – максимально допустимое напряжение затвор-исток;
- $I_{с макс}$  – максимально допустимый ток стока;
- $I_{пр з макс}$  – максимально допустимый прямой ток затвора;
- $I_{пр з им макс}$  – максимально допустимый прямой ток затвора импульсный;
- $P_{ макс}$  – максимальная мощность при температуре корпуса от -60 до +25°C.

ру только в полевом режиме и иметь при этом сопротивление канала менее 0,01 мОм. Такая высокая плотность в канале основных носителей позволит увеличить толщину эпитаксиальной структуры и тем самым увеличить рабочее напряжение в несколько раз без особого ущерба сопротивлению и быстродействию. Ожидается, что тран-

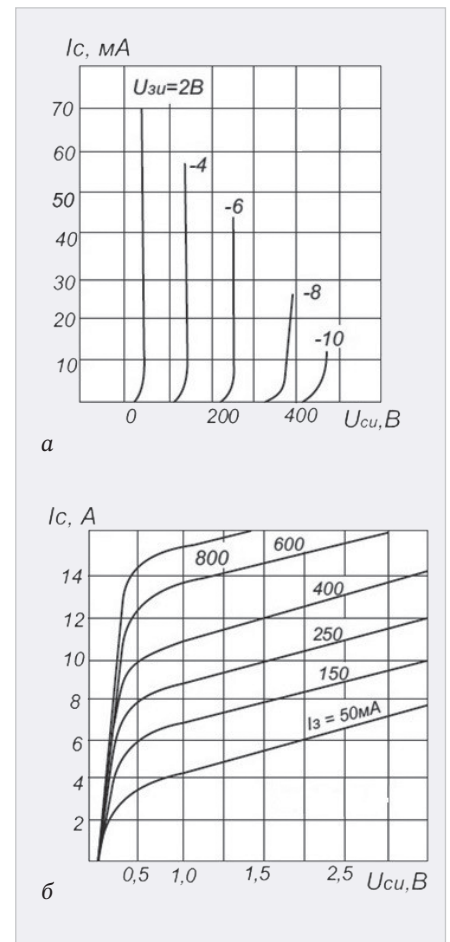


Рис. 2. Вольтамперные характеристики транзисторов КП926А, Б для полевого (а) и биполярного (б) режима работы

зистор КП926 с такими доработками будет способен работать на частотах до 10 МГц и по основным параметрам значительно превосходить транзисторы на SiC и GaN. Также его достоинством перед транзисторами на SiC и GaN будет то, что кристалл изготавливается по довольно простой, хоро-

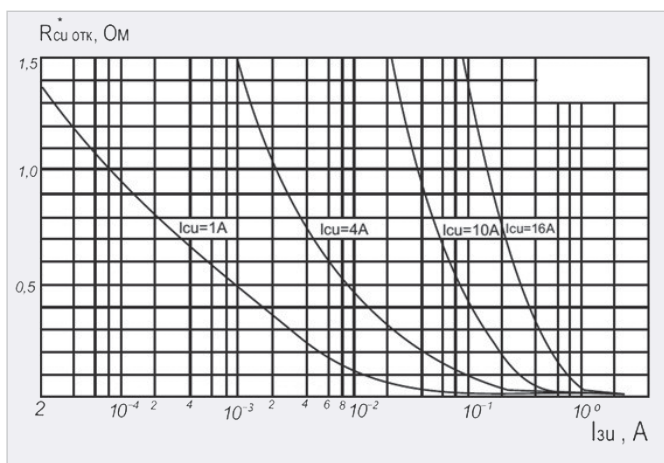


Рис. 3. Зависимость сопротивления канала транзисторов КП926А, Б от тока затвора при различных значениях тока стока

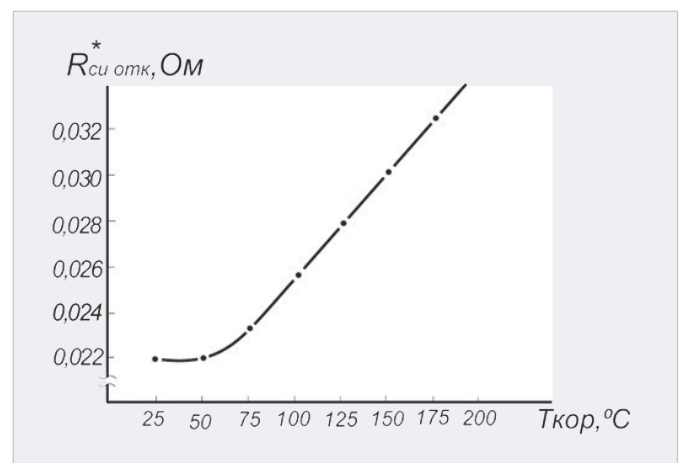


Рис. 4. Зависимость сопротивления канала в открытом состоянии в режиме  $I_c = 10$  А и  $I_{зг} = 1$  А от температуры на корпусе

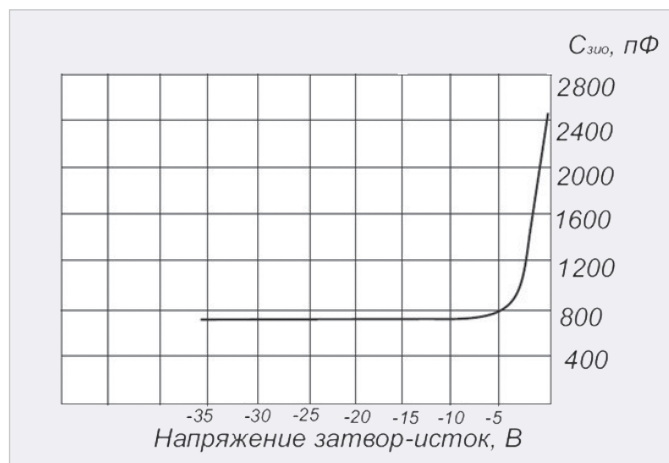


Рис. 5. Зависимость ёмкости затвор-исток от напряжения затвор-исток транзисторов КП926А, Б

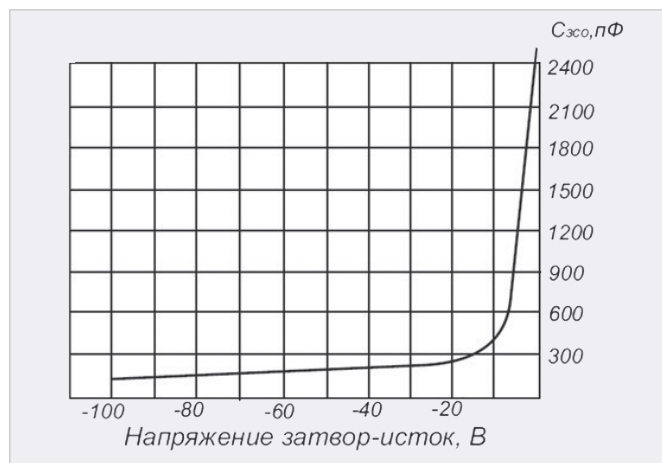


Рис. 6. Зависимость ёмкости затвор-сток от напряжения затвор-сток транзисторов КП926А, Б

шо отработанной в серийном производстве технологии.

### Литература

1. Максименко Ю.Н., Корнилова С.Н., Жуковский Н.М. Авторское свидетельство № 1215546 СССР, МКИ НОИ 21/18. Способ изготовления полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом и вертикальным каналом: № 3052227 : заявл. 22.06.1982 : зарег. в Госреестре изобретений СССР 01.11.1985.

2. Агафонов С.М., Бономорский О.И., Макаров В.А. и др. Исследование вольфарадных характеристик транзисторных структур с электростатической // Сб. науч. трудов № 76. М.: Моск. энерг. ин-т, 1985. С. 111–113.
3. Войтович В.Е., Гордеев А.И. Эскизы контуров силовой электроники середины текущего века // Современная электроника. 2015. № 5.
4. Максименко Ю.Н. Транзистор со статической индукцией КП926 с повышенным быстродействием // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2022. № 3.

5. Максименко Ю.Н. Мощный высоковольтный идеальный полупроводниковый ключ // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2022. Вып. 4. С. 165–166.
6. Колпаков А. Технология построения силовых модулей IGBT-NPT, Trench, SPT... Что дальше? // Силовая электроника. 2006. № 3.
7. Максименко Ю.Н. Мощные полупроводниковые приборы со статической индукцией: монография. Новосибирск: PVN, 2022. 214 с.



## НОВОСТИ МИРА

### Разработан транзистор, который имитирует работу синапсов человеческого мозга

Учёные французского исследовательского центра CEA-Leti EA-Leti разработали транзистор, который имитирует работу синапсов человеческого мозга, – инновация, которая, возможно, является наиболее близкой к имитации того, как работают нейроны мозга. Этот транзистор имеет много общего с человеческими синапсами: принцип работы, сверхнизкое энергопотребление и аналогичный уровень миниатюризации. Он открывает дверь в будущее с более мощными схемами, которые будут соответствовать потребностям искусственного интеллекта.

Транзистор, представленный ЦЭА-Лети, является аналоговым. Другими словами, вместо двух возможных состояний, открытого и закрытого, у него около 50 возможных состояний. Это позволяет ему воспроизводить работу синапсов. Синапсы действуют как связь между нейронами головного мозга, которые активируются, когда их синапсы зафиксировали определённое количество электрических импуль-

сов. Такое поведение может имитировать транзистор с несколькими десятками состояний.

#### Потребление энергии, равное синапсу

Ещё одно сходство между этим новым транзистором и синапсом заключается в том, что оба являются ионными. Транзистор использует ту же электрохимическую реакцию, что и в синапсе. В случае транзистора его канал состоит из оксида титана, по которому текут ионы лития. В зависимости от их количества они модулируют электронную проводимость канала.

Эта биотехнологическая функция позволяет транзистору устанавливать новые рекорды энергоэффективности: транзистор потребляет 1 фемтоджоуль на квадратный микрон, столько же, сколько синапс. Его энергопотребление до 100 раз меньше, чем у других компонентов, таких как резистивная память, которые в настоящее время используются для тех же приложений.

#### 200-мм пластины и совместимость с CMOS

Этот новый транзисторный слой является ультратонким (толщиной 200 нм) и прочным (более 100 000 циклов). При интеграции в нейроморфную схему он добил-

ся отличных результатов во время эталонного теста распознавания изображений MNIST. CEA-Leti разработала транзистор с расчётом на массовое производство: он изготавливается на 200-мм пластинах с использованием технологий, совместимых с КМОП.

«Все эти элементы обнадёживают, но мы находимся только на первых этапах процесса оценки. Мы должны продолжать доводить транзистор до зрелости и обеспечивать всестороннюю оценку его долговечности и надёжности», – объясняет Сами Оукасси из CEA-Leti.

#### Ориентация на глубокие нейронные сети

Как только транзистор будет полностью оценен и подтверждён, его низкое энергопотребление позволит интегрировать его в нейроморфные схемы. Эти схемы предназначены для распознавания изображений и голоса. На этапах обучения эти схемы используются интенсивно, и любая экономия с точки зрения энергопотребления особенно ценна в этот момент. CEA-Leti подала три патентные заявки на защиту этой многообещающей технологии.

[russianelectronics.ru](http://russianelectronics.ru)

## НОВОСТИ МИРА

### В Минцифры заявили о новом способе стимулировать развитие отечественного ПО

Заместитель министра цифрового развития связи и массовых коммуникаций Максим Паршин сообщил о планах Минцифры по новым формам поддержки российских компаний – разработчиков программного обеспечения (ПО), сообщила ИТ-ассоциация «Руссофт».



– Мы планируем сконцентрировать внимание на привлечении негосударственных инвестиций в ИТ. В частности, через реализацию механизма «рынок в обмен на инвестиции», когда компания берёт ответственность за развитие продукта, а государство обеспечивает на него гарантированный спрос. Также планируется работа с инвестиционными фондами, которые заинтересованы в финансовых вложениях в цифровые технологии, – заявил Паршин на заседании комитета «Руссофт» по взаимодействию с органами государственной власти.

Он добавил, что в настоящее время министерству необходимо «настроить регуляторику», и Минцифры ждёт поддержки «Руссофт» в работе над этим вопросом.

Максим Паршин подтвердил готовность министерства оказывать поддержку экспорту ПО и услуг по его разработке, говорится в сообщении.

#### «Рынок в обмен на инвестиции»

Ранее Паршин рассказывал, что механизм «рынок в обмен на инвестиции» предусматривает заключение соглашений между разработчиками и правительством. В рамках соглашения разработчик должен будет взять на себя обязательства по развитию собственного продукта под требования промышленных заказчиков.

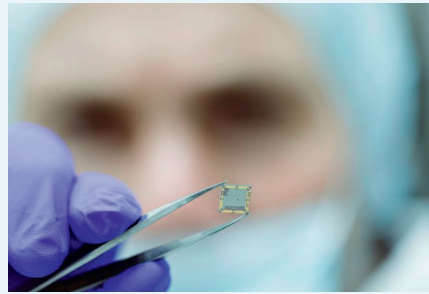
В соглашении должен быть закреплён функционал разрабатываемого ПО и определённый график его разработки. Минцифры и Центр компетенций по импортозамещению в сфере ИКТ (ЦКИТ) при этом готовы выступить арбитром в случае возможных сложностей.

Правительство, в свою очередь, в рамках соглашения возьмёт на себя обязательство по предоставлению определённых преференций по доступу на рынок.

*industry-hunter.com*

### Представлен чип для квантовых компьютеров, работающий при температуре ниже, чем в открытом космосе

Нью-йоркский стартап SEEQC, который занимается квантовыми компьютерами, заявил о создании цифрового чипа, который может работать при температурах ниже, чем в открытом космосе, поэтому его можно использовать с квантовыми процессорами, которые часто находятся в криогенных камерах.



Квантовые компьютеры, основанные на квантовой физике, смогут однажды выполнять вычисления в миллионы раз быстрее, чем самый мощный суперкомпьютер сегодня. Одна из сложностей заключается в том, что квантовые процессоры с квантовыми битами, или кубитами, часто необходимо хранить при очень низких температурах, близких к нулю по Кельвину, или  $-273,15$  по Цельсию. С другой стороны, классические компьютеры работают при обычных температурах.

Сегодня провода соединяют квантовый процессор в морозильной камере с классическими компьютерами при комнатной температуре, но изменение температуры может замедлить скорость и вызвать другие проблемы. Таким же образом SEEQC построила свой квантовый компьютер и теперь пытается модифицировать его с помощью своих новых чипов.

– Если вы пытаетесь построить центр обработки данных, если это ваша цель, то недостаточно взять такие ранние проекты прототипов и попытаться масштабировать их методом грубой силы, – сказал Джон Леви, соучредитель и генеральный директор SEEQC.

Первый чип, представленный на этой неделе, находится непосредственно под кван-

товым процессором, управляет кубитами и считывает результаты. По крайней мере, два других чипа, которые всё ещё находятся в стадии разработки, будут находиться в чуть более тёплой части криогенной камеры. Они могут дополнительно обрабатывать информацию, необходимую для квантовых вычислений.

По словам Леви, эта технология может упростить создание более мощных квантовых компьютеров, поскольку каждая криогенная камера сможет поддерживать большее количество кубитов. Современные сверхпроводящие квантовые компьютеры имеют сотни кубитов, но, по некоторым оценкам, для создания квантового компьютера для запуска полезных алгоритмов могут потребоваться тысячи или даже миллион кубитов.

По словам Леви, цифровые чипы SEEQC производятся на заводе SEEQC в Элмсфорде с использованием кремниевых пластин, но без использования транзисторов.

*industry-hunter.com*

### Россия может начать производство процессоров с дружественными странами уже в этом году

Президент ассоциации отечественных разработчиков программного обеспечения «Руссофт» Валентин Макаров в Telegram-канале подтвердил, что Россия сможет запустить в течение полугода-года производство процессоров по итогам переговоров с дружественными странами.

Для создания производства процессоров необходимо вести переговоры с «дружественными странами», где есть необходимые технологии и производственные мощности, договариваться с ними о совместных проектах, делить вместе с ними стадии разработки и производства продукта. В течение полугода-года у нас есть возможность запустить этот процесс и добиться первых результатов. А одновременно с этим учиться у наших партнёров, как производить процессоры, перенимать их опыт, готовить свои кадры, наращивать компетенции и технологии для строительства собственных фабрик.

К таким странам относят Малайзию, Китай, Индию и, возможно, Южную Корею, добавил Валентин Макаров, отметив, что к каждой из стран нужно искать свои подходы.

Он напомнил, что в России разрабатываются собственные 18-нм процессоры, однако после начала специальной военной операции поставки процессоров с Тайваня прекратились.

*ixbt.com*