



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2009126199/22, 08.07.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.07.2009

(45) Опубликовано: 10.02.2010

Адрес для переписки:
430001, Республика Мордовия, г.Саранск, ул.
Пролетарская, 126, ОАО
"Электровыпрямитель"

(72) Автор(ы):

Конюхов Андрей Васильевич (RU),
Веселова Инна Михайловна (RU),
Марквичева Валентина Сергеевна (RU),
Елисеев Вячеслав Васильевич (RU),
Мартыненко Валентин Александрович (RU),
Хапугин Алексей Александрович (RU),
Чумаков Геннадий Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ОАО "Электровыпрямитель" (RU),
ГУП ВЭИ (RU)

(54) ФОТОТИРИСТОР С САМОЗАЩИТОЙ ОТ ПРОБОЯ В ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАПИРАЮЩИХ СВОЙСТВ

Формула полезной модели

1. Фототиристор с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств, выполненный на основе многослойной полупроводниковой структуры, содержащей четыре слоя с чередующимися р- и n-типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями, образующие основную тиристорную структуру, фоточувствительную область в центре полупроводниковой структуры, окруженную вспомогательной тиристорной структурой, распределенную объемную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода основной тиристорной структуры со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода основной тиристорной структуры со стороны вспомогательной тиристорной структуры, отличающийся тем, что пороговое напряжение вспомогательной тиристорной структуры меньше порогового напряжения основной тиристорной структуры на величину $R_3 \times I_{H \text{ втс}}$, где R_3 - сопротивление участка полупроводниковой структуры между катодными металлизированными поверхностями основной и вспомогательной тиристорных структур, $I_{H \text{ втс}}$ - ток удержания вспомогательной тиристорной структуры, а критический заряд основной тиристорной структуры больше критического заряда вспомогательной тиристорной структуры и время выключения основной тиристорной структуры меньше времени выключения вспомогательной тиристорной структуры.

2. Фототиристор по п.1, отличающийся тем, что вспомогательная тиристорная структура не содержит распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода со стороны фоточувствительной области.

3. Фототиристор по п.1, отличающийся тем, что плотность, поперечные размеры, уровень легирования объемных и поверхностных шунтов вспомогательной тиристорной структуры меньше, чем основной тиристорной структуры.

4. Фототиристор по п.1, отличающийся тем, что между основной и вспомогательной тиристорными структурами содержатся дополнительные вспомогательные тиристорные структуры в количестве одной и более с распределенной поверхностной шунтировкой со стороны фоточувствительной области.

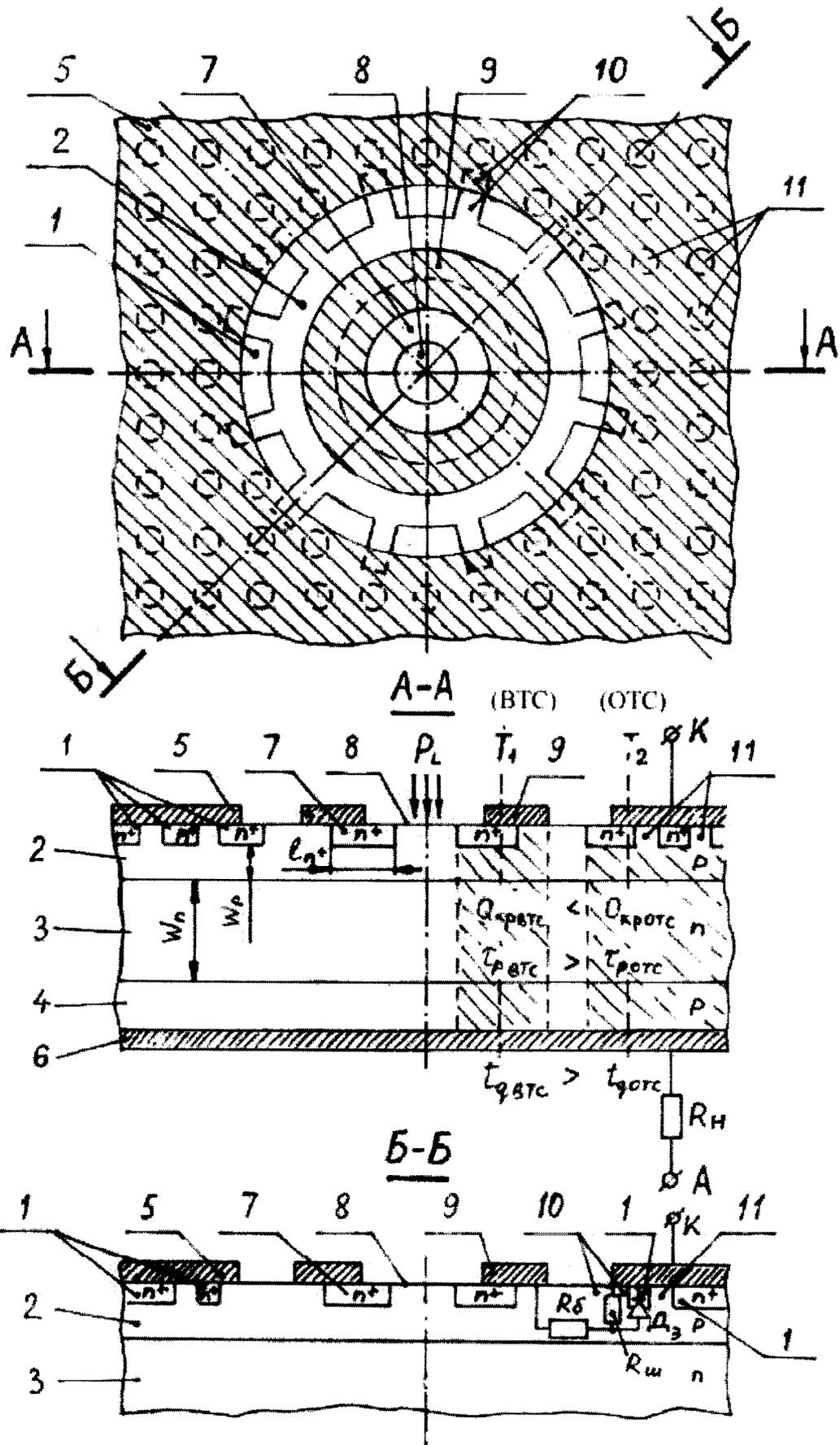
5. Фототиристор по п.4, отличающийся тем, что ширина n^+ -эмиттера вспомогательной тиристорной структуры, граничащей с фоточувствительной областью, больше, чем аналогичный параметр других вспомогательных структур.

6. Фототиристор по пп.1-5, отличающийся тем, что толщина p -базового слоя вспомогательной тиристорной структуры, граничащей с фоточувствительной областью, меньше, чем аналогичный параметр основной тиристорной структуры.

7. Фототиристор по пп.1-5, отличающийся тем, что толщина n -базового слоя вспомогательной тиристорной структуры, граничащей с фоточувствительной областью, меньше, чем аналогичный параметр основной тиристорной структуры.

R U 9 1 4 7 3 U 1

R U 9 1 4 7 3 U 1



Полезная модель относится к конструкции полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n-типа электропроводности (тиристоров, фототиристоров, оптронных тиристоров, симисторов, динисторов и др.) с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Известна конструкция фототиристора с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств [1] на основе полупроводниковой структуры (ПС), содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями, образующие основную тиристорную структуру (ОТС), фоточувствительную область в центре ПС, окруженную четырьмя концентрическими вспомогательными тиристорными структурами (ВТС). Время жизни неосновных носителей заряда (τ_p) в n - базе ОТС меньше, чем в n - базе ВТС. В p^+ -эмиттере под ВТС созданы островки n^+ -эмиттера посредством имплантации фосфора.

Механизм защитного включения фототиристора в период восстановления запирающих свойств обусловлен инжекцией и усилением тока электронов из островков n^+ -эмиттера в фазе протекания обратного тока через ПС с последующим процессом последовательного включения ВТС и ОТС при подаче прямого напряжения.

Недостатком конструкции является наличие в ПС встроенного симметричного переключателя типа n-p-n-p-n.

Следствием этого является:

- ограничение условий реализации защитной функции, связанное с необходимостью создания режима протекания обратного тока до подачи прямого повторного напряжения;

- риск переключения прибора в обратном направлении с последующим пробоем.

Все это отрицательно сказывается на надежности фототиристора.

Известна также конструкция фототиристора с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств [2] на основе ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодной и катодной металлизацией, образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, три последовательно соединенные ВТС для включения ОТС оптическим сигналом управления, импульсом перенапряжения и импульсом быстро нарастающего напряжения (эффект dU/dt) и две последовательно соединенные ВТС для защитного включения ОТС в период восстановления запирающих свойств. Вторая группа ВТС конструктивно выполнена следующим образом. Первая ВТС является небольшой селективной зоной включения (СЗВ) с τ_p , большим, чем в ОТС, расположенной от нее на расстоянии порядка четырех длин диффузионного смещения (L_p). Вторая ВТС примыкает к СЗВ и расположена на расстоянии менее одной L_p от ОТС.

Принцип действия данного варианта самозащиты в период восстановления запирающих свойств прибора основан на использовании явления диффузионного растекания подвижных носителей заряда из канала проводимости в р-базе, определяемого границей n^+ -эмиттера, в смежную область базы. В открытом состоянии фототиристора определенная доля неравновесных носителей заряда диффундирует из ОТС в СЗВ. В процессе коммутации (при уменьшении тока) концентрация избыточных носителей заряда медленнее убывает в области с большим τ_p , т.е. в СЗВ. В таком состоянии при подаче на прибор прямого напряжения ток, обусловленный сохранившимся в СЗВ зарядом, включает СЗВ, которая включает ВТС. В свою

очередь, ВТС включает ОТС, тем самым защищая фототиристор от пробоя в неконтролируемой области.

Недостатками этой конструкции являются:

- сложность топологии области управления с параллельными группами ВТС;
- сложность контроля процессов переноса носителей тока в конструкции, содержащей элементы с объемной зарядовой связью;
- сложность оптимизации конструкции и ее технической реализации.

Следствием этого является:

- снижение эффективности самозащиты от пробоя в ряде режимов, в частности при низкой скорости спада прямого тока или при малом прямом токе на уровне тока удержания (I_H);
- риск пробоя прибора в неконтролируемой области.

Все это отрицательно влияет на надежность прибора.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является тиристор [3], выполненный на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями, образующие ОТС, участок управляющего р-базового слоя в центре полупроводниковой структуры с металлизированной поверхностью, окруженный ВТС, распределенную объемную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку эмиттерных n^+ -р-переходов ОТС и ВТС со стороны катодной металлизации и управляющего электрода.

Достоинством конструкции является простота технического решения, высокие динамические параметры и помехозащищенность.

Недостатки конструкции:

- отсутствие фоточувствительной области для оптического управления;
- отсутствие встроенных элементов самозащиты от пробоя в несанкционированных режимах эксплуатации.

Следствием этого является ограничение функциональных возможностей и областей применения тиристоров.

Все это сказывается на качестве и надежности приборов.

Техническим результатом предлагаемого решения является:

1. Функция самозащиты фототиристора от пробоя в период восстановления запирающих свойств;

2. Дополнительная функция самозащиты от пробоя при воздействии напряжения, нарастающего со скоростью, превышающей критическую;

3. Повышение качества и надежности фототиристора.

Технический результат в предлагаемой конструкции фототиристора, выполненного на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися р- и n-типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, окруженную ВТС, распределенную объемную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р-эмиттерного перехода со стороны ВТС, достигается тем, что пороговое напряжение ВТС ($U_{TO\ ВТС}$) меньше порогового напряжения ОТС ($U_{TO\ ОТС}$) на величину $R_3 \times I_H\ ВТС$, где R_3 - сопротивление участка

полупроводниковой структуры между катодными металлизированными поверхностями ОТС и ВТС, $I_{Н ВТС}$ - ток удержания ВТС, а критический заряд ОТС ($Q_{кр. ОТС}$) больше критического заряда ВТС ($Q_{кр. ВТС}$) и время выключения ОТС ($t_{q ОТС}$) меньше времени выключения ВТС ($t_{q ВТС}$).

К признакам, отличающим предлагаемое техническое решение, относятся:

а - разница $U_{ТО ОТС} - U_{ТО ВТС} = \Delta U_{ТО} > 0$;

б - функциональная связь $\Delta U_{ТО}$, R_3 и $I_{Н ВТС}$ в виде $\Delta U_{ТО} \geq R_3 \times I_{Н ВТС}$;

в - разница $Q_{кр. ОТС} - Q_{кр. ВТС} = \Delta Q_{кр} > 0$;

г - разница $t_{q ВТС} - t_{q ОТС} = \Delta t_q > 0$.

Положительный эффект достигается за счет:

1. Увеличения плотности, поперечных размеров, уровня легирования объемных и поверхностных шунтов ВТС;

2. Увеличения ширины n^+ -эмиттерного слоя ВТС (I_{n+});

3. Уменьшения толщины р- и n-базовых слоев ВТС (W_p, W_n);

4. Уменьшения τ_p в n-базовом слое ОТС ($\tau_{p ОТС}$) относительно τ_p в n-базовом слое ВТС ($\tau_{p ВТС}$).

Степень изменения параметров по п.1-4 определяется конкретной конструкцией ПС.

На фиг.1а показан вариант ПС фототиристора предлагаемой конструкции в плане со стороны катодной металлизации.

На фиг.1б,в показаны сечения полупроводниковой структуры по А-А и Б-Б.

Полупроводниковая структура фототиристора предложенной конструкции (фиг.1а,б,в) содержит четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, где 1-ый слой n^+ -типа, 2-ой слой р-типа, 3-ий слой n-типа, 4-ый слой р-типа. Слои 1 и 4 являются эмиттерными, а слои 2 и 3 - базовыми. Все слои сформированы между двумя металлическими слоями 5 и 6, являющимися катодом и анодом ПС соответственно.

Четырехслойная р-n-р- n^+ -структура в совокупности с катодом 5 и анодом 6 образуют ОТС (тиристор T_2) с распределенной объемной (11) и поверхностной (10)

шунтировкой эмиттерного n^+ -р-перехода. В центре ПС находится фоточувствительная область 8, окруженная кольцевым слоем 7 n^+ -типа. Четырехслойная р-n-р- n^+ -структура под катодной металлизацией 9 образует ВТС (тиристор T_1).

На фиг.2а показана эквивалентная схема ПС на дискретных элементах с сосредоточенными параметрами.

Статическая вольт - амперная характеристика (ВАХ) ПС (Т) и ее составляющих T_1 и T_2 показана на фиг.2б.

R_6 - сопротивление участка р-базы между 9 и 10 (рис.1).

$R_{ш}$ - распределенная поверхностная шунтировка 10.

Д - диод (эмиттерный n^+ -р-переход ОТС).

R_H - сопротивление нагрузки в цепи тиристора Т (ПС).

I_1 - ток тиристора T_1 (ВТС).

I_2 - ток тиристора T_2 (ОТС).

I_T - ток тиристора Т (ПС) (суммарный ток ОТС и ВТС).

$R_3 = R_6 + \frac{R_{ш} \cdot R_d}{R_{ш} + R_d}$ - эквивалентное сопротивление участка цепи 3-2 (на фиг.1 -

сопротивление между 9 и 5),

R_d - сопротивление диода Д.

$R_3 \approx R_6 + R_{ш}$ - ВАХ участка цепи 1-2 при отключенном T_2 ,

I_{H1} - ток удержания T_1 ,

I_{H2} - ток удержания T_2 .

Сущность механизма защитного включения фототиристора в период восстановления запирающих свойств заключается в том, что при выполнении требований (а-г) в конструкции ПС реализуется условия, при которых в процессе коммутации тока первой включается и последней выключается ВТС. Это означает, что в любых режимах ВТС работает наравне с ОТС как параллельный канал проводимости.

При «медленных» (квазистатических) процессах ($f \leq 50$ Гц) достаточно выполнения (а, б). Для объяснения физического смысла этих требований эквивалентная схема ПС (фиг.2а) приведена к варианту, представленному на фиг.3. После включения фототиристора оптическим сигналом управления все возможные варианты проводящего состояния ПС приведены на фиг.2б.

При заданном сопротивлении нагрузки R_H с ростом анодного напряжения и тока в цепи рабочая точка на ВАХ фототиристора проходит по траектории (а-б-в-г). Участок (а-б) с повышенным дифференциальным сопротивлением обусловлен протеканием тока I_1 по участку цепи ($T_1 R_3$) с относительно высоким R_3 . Наличие отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) на участке (б-в) отражает процесс включения ОТС. На участке (в-г) фототиристор полностью включен. Стрелки на ВАХ показывают направление изменения тока через ПС.

На этапе уменьшения тока (при снижении U) рабочая точка на ВАХ проходит по другой траектории (г-д-е-а). В этом случае появление участка ОДС (д-е) связано с выключением T_2 (ОТС) при I_{H2} . Рабочая точка возвращается на исходную траекторию, обусловленную протеканием тока I_1 по участку цепи ($T_1 R_3$).

Участки (б-в') и (д-е') на фиг.2б отражают процессы включения и выключения T_2 в режиме источника тока ($R_H = \infty$). Участки (б-в'') и (д-е'') относятся к процессам включения и выключения T_2 в режиме источника напряжения ($R_H = 0$). Приведенные данные показывают, что функционирование механизма самозащиты не нарушается во всем диапазоне изменения R_H .

Для функционирования самозащиты в режиме восстановления запирающих свойств более критичным является сопротивление R_3 , которое должно быть не более определенного значения $R_{3 \max}$. Согласно (б) $R_{3 \max} = \Delta U_{TO} / I_{H1}$. При $\Delta U_{TO} = \text{const}$ значения $R_{3 \max}$ и I_{H1} связаны гиперболической зависимостью (фиг.4)

$$R_{3 \max} = f(I_{H1}) = \frac{\Delta U_{TO \text{const}}}{I_{H1}}$$

В случае постоянства I_{H1} значения $R_{3 \max}$ линейно зависит от ΔU_{TO} :

$$R_{3 \max} = f(\Delta U_{TO}) = \frac{1}{I_{H1}} \cdot (\Delta U_{TO})$$

При $R_3 > R_{3 \max}$ пороговое напряжение участка цепи ($T_1 R_{3 \max}$) будет больше порогового напряжения T_2 (фиг.2, точка а'). В результате T_1 будет выключаться первым, что противоречит основному требованию (б), т.е. нарушает функционирование механизма самозащиты.

При «быстрых» процессах коммутации для устойчивого функционирования рассматриваемого механизма самозащиты необходимо выполнение дополнительных требований (в) и (г). Это обусловлено необходимостью гарантированного сохранения остаточного заряда в n-базе ВТС на последней стадии выключения ПС.

Выполнение требования (в) сообщает прибору дополнительную функцию

самозащиты от пробоя при воздействии напряжения, нарастающего со скоростью, превышающей критическую. В этом случае первой включается ВТС, анодный ток которой является током управления ОТС.

Предложенное техническое решение распространяется на варианты ПС с количеством ВТС больше одной при условии выполнения требований (а-г).

Предложенное техническое решение распространяется на варианты ПС с встроенной самозащитой от пробоя при переключении вследствие перенапряжения.

Была изготовлена партия фототиристоров по предлагаемому техническому решению с фоточувствительной областью в центре ПС и тремя ВТС на кремнии диаметром 56 мм с удельным сопротивлением 350 Ом.см на напряжение переключения 6-7 кВ.

Исследование функции самозащиты фототиристоров в режиме коммутации при неполном восстановлении запирающих свойств проводилось на установке, содержащей источник оптического управления, регулируемого постоянного тока (0-10 А), регулируемых силовых импульсов тока (0-1000 А) синусоидальной формы с длительностью 10 мс. Сначала фототиристор включался оптическим сигналом управления на постоянный ток 1-2 А. Затем постоянный ток снижался до уровня $(1,5 \div 2)I_H$ и на постоянную составляющую тока проводился «наброс» силового импульса тока. Реакция фототиристора фиксировалась по виду ВАХ на экране осциллографа. Наблюдения велись при амплитуде силового тока до 10 А и постоянном токе, близком к I_H . На фиг.5 показана типичная ВАХ фототиристора с характерным гистерезисом, тремя участками ОДС на этапе нарастания силового тока и двумя участками с малым и большим дифференциальным сопротивлением на этапе уменьшения силового тока. На фиг.5 дополнительно нанесена ВАХ первой ВТС (T_1). Каждый участок ОДС является показателем включения очередной ВТС. Наличие участка ВАХ с большим дифференциальным сопротивлением вблизи I_H на этапе уменьшения силового тока доказывает на практике функционирование механизма защиты от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Предложенная конструкция может быть использована при проектировании различных полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n-типа электропроводности.

Заявляемые фототиристоры применяются в современных мощных высоковольтных преобразовательных устройствах линий электропередачи, компенсаторах реактивной мощности, мощных импульсных генераторах и др.

Источники информации.

1. F.-J.Niedernostheide, H.-J.Schulz, U.Kellner-Werdenhausen. Self-protected High-Power Thyristors. - Proceedings PCIM, Nürnberg, 2001, p.51-56).

2. P.A.Mawby and M.S.Towers, Modelling of self-protected light-triggered thyristors. - IEE Proc. - Circuits Devices Syst. Vol.148, №2, April 2001, p.56-63.

3. Ю.А.Евсеев, А.Н.Думаневич, Ю.М.Локтаев, П.Г.Дерменжи и А.В.Конюхов, Авторское свидетельство СССР №363410, Кл. НОЛ 11/10, опубл. 28.09.1972.

(57) Реферат

Полезная модель относится к конструкции полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n-типа электропроводности (тиристоров, фототиристоров, оптронных тиристоров, симисторов, динисторов и др.) с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Технический результат в предлагаемой конструкции фототиристора, выполненного на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися р- и n-типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, окруженную ВТС, распределенную объемную шунтировку n⁺-р-эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n⁺-р-эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n⁺-р-эмиттерного перехода со стороны ВТС, достигается тем, что пороговое напряжение ВТС ($U_{ТО ВТС}$) меньше порогового напряжения ОТС ($U_{ТО ОТС}$) на величину $R_3 \times I_{Н ВТС}$, где R_3 - сопротивление участка полупроводниковой структуры между катодными металлизированными поверхностями ОТС и ВТС, $I_{Н ВТС}$ - ток удержания ВТС, а критический заряд ОТС ($Q_{кр. ОТС}$) больше критического заряда ВТС ($Q_{кр. ВТС}$) и время выключения ОТС ($t_q ОТС$) меньше времени выключения ВТС ($t_q ВТС$).

Предложенная конструкция может быть использована при проектировании различных полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n-типа электропроводности.

Заявляемые фототиристоры применяются в современных мощных высоковольтных преобразовательных устройствах линий электропередачи, компенсаторах реактивной мощности, мощных импульсных генераторах и др.

Реферат

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**

Полезная модель относится к конструкции полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n- типа электропроводности (тиристоров, фототиристоров, оптронных тиристоров, симисторов, динисторов и др.) с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Технический результат в предлагаемой конструкции фототиристора, выполненного на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися р- и n - типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, окруженную ВТС, распределенную объемную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода со стороны ВТС, достигается тем, что пороговое напряжение ВТС ($U_{то\ ВТС}$) меньше порогового напряжения ОТС ($U_{то\ ОТС}$) на величину $R_3 \times I_{н\ ВТС}$, где R_3 – сопротивление участка полупроводниковой структуры между катодными металлизированными поверхностями ОТС и ВТС, $I_{н\ ВТС}$ – ток удержания ВТС, а критический заряд ОТС ($Q_{кр.\ ОТС}$) больше критического заряда ВТС ($Q_{кр.\ ВТС}$) и время выключения ОТС ($t_{q\ ОТС}$) меньше времени выключения ВТС ($t_{q\ ВТС}$).

Предложенная конструкция может быть использована при проектировании различных полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n- типа электропроводности.

Заявляемые фототиристоры применяются в современных мощных

высоковольтных преобразовательных устройствах линий электропередачи, компенсаторах реактивной мощности, мощных импульсных генераторах и др.



МПК: H01L 29/74

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**

Полезная модель относится к конструкции полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и n-типа электропроводности (тиристоров, фототиристоров, оптронных тиристоров, симисторов, динисторов и др.) с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

Известна конструкция фототиристора с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств [1] на основе полупроводниковой структуры (ПС), содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями, образующие основную тиристорную структуру (ОТС), фоточувствительную область в центре ПС, окруженную четырьмя концентрическими вспомогательными тиристорными структурами (ВТС). Время жизни неосновных носителей заряда (τ_p) в n - базе ОТС меньше, чем в n - базе ВТС. В p⁺- эмиттере под ВТС созданы островки n⁺- эмиттера посредством имплантации фосфора.

Механизм защитного включения фототиристора в период восстановления запирающих свойств обусловлен инжекцией и усилением тока электронов из островков n⁺- эмиттера в фазе протекания обратного тока через ПС с последующим процессом последовательного включения ВТС и ОТС при подаче прямого напряжения.

Недостатком конструкции является наличие в ПС встроенного симметричного переключателя типа n-p-n-p-n.

Следствием этого является:

- ограничение условий реализации защитной функции, связанное с необходимостью создания режима протекания обратного тока до подачи прямого повторного напряжения;

- риск переключения прибора в обратном направлении с последующим пробоем.

Все это отрицательно сказывается на надежности фототиристора.

Известна также конструкция фототиристора с самозащитой от пробоя в период восстановления запирающих свойств [2] на основе ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодной и катодной металлизацией, образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, три последовательно соединенные ВТС для включения ОТС оптическим сигналом управления, импульсом перенапряжения и импульсом быстро нарастающего напряжения (эффект dU/dt) и две последовательно соединенные ВТС для защитного включения ОТС в период восстановления запирающих свойств. Вторая группа ВТС конструктивно выполнена следующим образом. Первая ВТС является небольшой селективной зоной включения (СЗВ) с τ_p , большим, чем в ОТС, расположенной от нее на расстоянии порядка четырех длин диффузионного смещения (L_p). Вторая ВТС примыкает к СЗВ и расположена на расстоянии менее одной L_p от ОТС.

Принцип действия данного варианта самозащиты в период восстановления запирающих свойств прибора основан на использовании явления диффузионного растекания подвижных носителей заряда из канала проводимости в р- базе, определяемого границей n^+ - эмиттера, в смежную область базы. В открытом состоянии фототиристора определенная доля неравновесных носителей заряда диффундирует из ОТС в СЗВ. В процессе коммутации (при уменьшении тока) концентрация избыточных носителей заряда медленнее убывает в области с большим τ_p , т.е. в СЗВ. В таком состоянии при подаче на прибор прямого напряжения ток, обусловленный сохранившимся в СЗВ зарядом, включает СЗВ, которая включает ВТС. В свою очередь, ВТС включает ОТС, тем самым защищая фототиристор от пробоя в неконтролируемой области.

Недостатками этой конструкции являются:

- сложность топологии области управления с параллельными группами ВТС;
- сложность контроля процессов переноса носителей тока в конструкции, содержащей элементы с объемной зарядовой связью;
- сложность оптимизации конструкции и её технической реализации.

Следствием этого является:

- снижение эффективности самозащиты от пробоя в ряде режимов, в частности при низкой скорости спада прямого тока или при малом прямом токе на уровне тока удержания (I_H);
- риск пробоя прибора в неконтролируемой области.

Все это отрицательно влияет на надежность прибора.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является тиристор [3], выполненный на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями, образующие ОТС, участок управляющего р- базового слоя в центре полупроводниковой структуры с металлизированной поверхностью, окруженный ВТС, распределенную объемную шунтировку n^+ - р- эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку эмиттерных n^+ - р- переходов ОТС и ВТС со стороны катодной металлизации и управляющего электрода.

Достоинством конструкции является простота технического решения, высокие динамические параметры и помехозащищенность.

Недостатки конструкции:

- отсутствие фоточувствительной области для оптического управления;

отсутствие встроенных элементов самозащиты от пробоя в несанкционированных режимах эксплуатации.

Следствием этого является ограничение функциональных возможностей и областей применения тиристоров.

Все это сказывается на качестве и надежности приборов.

Техническим результатом предлагаемого решения является:

1. Функция самозащиты фототиристора от пробоя в период восстановления запирающих свойств;
2. Дополнительная функция самозащиты от пробоя при воздействии напряжения, нарастающего со скоростью, превышающей критическую;
3. Повышение качества и надежности фототиристора.

Технический результат в предлагаемой конструкции фототиристора, выполненного на основе многослойной ПС, содержащей четыре слоя с чередующимися р- и п - типами электропроводности, сформированные между анодным и катодным металлическими слоями образующие ОТС, фоточувствительную область в центре ПС, окруженную ВТС, распределенную объемную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода ОТС со стороны катодной металлизации, распределенную поверхностную шунтировку n^+ -р- эмиттерного перехода со стороны ВТС, достигается тем, что пороговое напряжение ВТС ($U_{ТО ВТС}$) меньше порогового напряжения ОТС ($U_{ТО ОТС}$) на величину $R_3 \times I_{Н ВТС}$, где R_3 – сопротивление участка полупроводниковой структуры между катодными металлизированными поверхностями ОТС и ВТС, $I_{Н ВТС}$ – ток удержания ВТС, а критический заряд ОТС ($Q_{кр. ОТС}$) больше критического заряда ВТС ($Q_{кр. ВТС}$) и время выключения ОТС ($t_{q ОТС}$) меньше времени выключения ВТС ($t_{q ВТС}$).

К признакам, отличающим предлагаемое техническое решение, относятся:

- а - разница $U_{ТО ОТС} - U_{ТО ВТС} = \Delta U_{ТО} > 0$;
- б - функциональная связь $\Delta U_{ТО}$, R_3 и $I_{Н ВТС}$ в виде $\Delta U_{ТО} \geq R_3 \times I_{Н ВТС}$;
- в – разница $Q_{кр. ОТС} - Q_{кр. ВТС} = \Delta Q_{кр} > 0$;

γ - разность $t_{q\text{ ВТС}} - t_{q\text{ ОТС}} = \Delta t_q > 0$.

Положительный эффект достигается за счет:

1. Увеличения плотности, поперечных размеров, уровня легирования объемных и поверхностных шунтов ВТС;
2. Увеличения ширины n^+ - эмиттерного слоя ВТС (l_{n^+});
3. Уменьшения толщины р- и п - базовых слоёв ВТС (W_p, W_n);
4. Уменьшения τ_p в п - базовом слое ОТС ($\tau_{p\text{ ОТС}}$) относительно τ_p в п - базовом слое ВТС ($\tau_{p\text{ ВТС}}$).

Степень изменения параметров по п. 1-4 определяется конкретной конструкцией ПС.

На фиг. 1а показан вариант ПС фототиристора предлагаемой конструкции в плане со стороны катодной металлизации.

На фиг. 1б,в показаны сечения полупроводниковой структуры по А-А и Б-Б.

Полупроводниковая структура фототиристора предложенной конструкции (фиг. 1а,б,в) содержит четыре слоя с чередующимися типами электропроводности, где 1-ый слой n^+ - типа, 2-ой слой р - типа, 3-ий слой п - типа, 4-ый слой р - типа. Слои 1 и 4 являются эмиттерными, а слои 2 и 3 - базовыми. Все слои сформированы между двумя металлическими слоями 5 и 6, являющимися катодом и анодом ПС соответственно. Четырехслойная р-п-р- n^+ - структура в совокупности с катодом 5 и анодом 6 образуют ОТС (тиристор T_2) с распределенной объемной (11) и поверхностной (10) шунтировкой эмиттерного n^+ -р - перехода. В центре ПС находится фоточувствительная область 8, окруженная кольцевым слоем 7 n^+ - типа. Четырехслойная р-п-р- n^+ - структура под катодной металлизацией 9 образует ВТС (тиристор T_1).

На фиг. 2а показана эквивалентная схема ПС на дискретных элементах с сосредоточенными параметрами.

Статическая вольт - амперная характеристика (ВАХ) ПС (Т) и её составляющих T_1 и T_2 показана на фиг. 2б.

R_6 – сопротивление участка p- базы между 9 и 10 (рис.1).

$R_{ш}$ – распределенная поверхностная шунтировка 10.

Д – диод (эмиттерный n^+ -p – переход ОТС).

R_H – сопротивление нагрузки в цепи тиристора Т (ПС).

I_1 – ток тиристора T_1 (ВТС).

I_2 – ток тиристора T_2 (ОТС).

I_T – ток тиристора Т (ПС) (суммарный ток ОТС и ВТС).

$$R_э = R_6 + \frac{R_{ш} \times R_Д}{R_{ш} + R_Д} \quad - \text{ эквивалентное сопротивление участка}$$

цепи 3-2 (на фиг. 1 – сопротивление между 9 и 5),

$R_Д$ – сопротивление диода Д.

$R_э \approx R_6 + R_{ш}$ – ВАХ участка цепи 1-2 при отключенном T_2 ,

I_{H1} – ток удержания T_1 ,

I_{H2} – ток удержания T_2 .

Сущность механизма защитного включения фототиристора в период восстановления запирающих свойств заключается в том, что при выполнении требований (а – г) в конструкции ПС реализуется условия, при которых в процессе коммутации тока первой включается и последней выключается ВТС. Это означает, что в любых режимах ВТС работает наравне с ОТС как параллельный канал проводимости.

При «медленных» (квазистатических) процессах ($f \leq 50$ Гц) достаточно выполнения (а, б). Для объяснения физического смысла этих требований эквивалентная схема ПС (фиг. 2а) приведена к варианту, представленному на фиг. 3. После включения фототиристора оптическим сигналом управления все возможные варианты проводящего состояния ПС приведены на фиг. 2б.

При заданном сопротивлении нагрузки R_H с ростом анодного напряжения и тока в цепи рабочая точка на ВАХ фототиристора проходит по траектории (а-б-в-г). Участок (а-б) с повышенным дифференциальным сопротивлением обусловлен протеканием тока I_1 по участку цепи ($T_1 R_э$) с

относительно высоким R_3 . Наличие отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) на участке (б-в) отражает процесс включения ОТС. На участке (в-г) фототиристор полностью включен. Стрелки на ВАХ показывают направление изменения тока через ПС.

На этапе уменьшения тока (при снижении U) рабочая точка на ВАХ проходит по другой траектории (г-д-е-а). В этом случае появление участка ОДС (д-е) связано с выключением T_2 (ОТС) при I_{H2} . Рабочая точка возвращается на исходную траекторию, обусловленную протеканием тока I_1 по участку цепи ($T_1 R_3$).

Участки (б-в') и (д-е') на фиг. 2б отражают процессы включения и выключения T_2 в режиме источника тока ($R_H = \infty$). Участки (б-в'') и (д-е'') относятся к процессам включения и выключения T_2 в режиме источника напряжения ($R_H = 0$). Приведенные данные показывают, что функционирование механизма самозащиты не нарушается во всем диапазоне изменения R_H .

Для функционирования самозащиты в режиме восстановления запирающих свойств более критичным является сопротивление R_3 , которое должно быть не более определенного значения $R_{3\text{ макс}}$. Согласно (б) $R_{3\text{ макс}} = \Delta U_{TO} / I_{H1}$. При $\Delta U_{TO} = \text{const}$ значения $R_{3\text{ макс}}$ и I_{H1} связаны гиперболической зависимостью (фиг. 4)

$$R_{3\text{ макс}} = f(I_{H1}) = \Delta U_{TO\text{const}} \times \left[\frac{I}{I_{H1}} \right]$$

В случае постоянства I_{H1} значения $R_{3\text{ макс}}$ линейно зависит от ΔU_{TO} :

$$R_{3\text{ макс}} = f(\Delta U_{TO}) = \frac{1}{I_{H1}} \times (\Delta U_{TO})$$

При $R_3 > R_{3\text{ макс}}$ пороговое напряжение участка цепи ($T_1 R_{3\text{ макс}}$) будет больше порогового напряжения T_2 (фиг. 2, точка а'). В результате T_1 будет выключаться первым, что противоречит основному требованию (б), т.е. нарушает функционирование механизма самозащиты.

При «быстрых» процессах коммутации для устойчивого функционирования рассматриваемого механизма самозащиты необходимо выполнение дополнительных требований (в) и (г). Это обусловлено необходимостью гарантированного сохранения остаточного заряда в p - базе ВТС на последней стадии выключения ПС.

Выполнение требования (в) сообщает прибору дополнительную функцию самозащиты от пробоя при воздействии напряжения, нарастающего со скоростью, превышающей критическую. В этом случае первой включается ВТС, анодный ток которой является током управления ОТС.

Предложенное техническое решение распространяется на варианты ПС с количеством ВТС больше одной при условии выполнения требований (а-г).

Предложенное техническое решение распространяется на варианты ПС с встроенной самозащитой от пробоя при переключении вследствие перенапряжения.

Была изготовлена партия фототиристоров по предлагаемому техническому решению с фоточувствительной областью в центре ПС и тремя ВТС на кремнии диаметром 56 мм с удельным сопротивлением 350 Ом.см на напряжение переключения 6-7 кВ.

Исследование функции самозащиты фототиристоров в режиме коммутации при неполном восстановлении запирающих свойств проводилось на установке, содержащей источники оптического управления, регулируемого постоянного тока (0-10 А), регулируемых силовых импульсов тока (0-1000 А) синусоидальной формы с длительностью 10 мс. Сначала фототиристор включался оптическим сигналом управления на постоянный ток 1-2 А. Затем постоянный ток снижался до уровня $(1,5 \div 2) I_H$ и на постоянную составляющую тока проводился «наброс» силового импульса тока. Реакция фототиристора фиксировалась по виду ВАХ на экране осциллографа. Наблюдения велись при амплитуде силового тока до 10 А и постоянном токе, близком к I_H . На фиг. 5 показана типичная ВАХ фототиристора с ха-

рактрным гистерезисом, тремя участками ОДС на этапе нарастания силового тока и двумя участками с малым и большим дифференциальным сопротивлением на этапе уменьшения силового тока. На фиг. 5 дополнительно нанесена ВАХ первой ВТС (T_1). Каждый участок ОДС является показателем включения очередной ВТС. Наличие участка ВАХ с большим дифференциальным сопротивлением вблизи I_n на этапе уменьшения силового тока доказывает на практике функционирование механизма защиты от пробоя в период восстановления запирающих свойств.

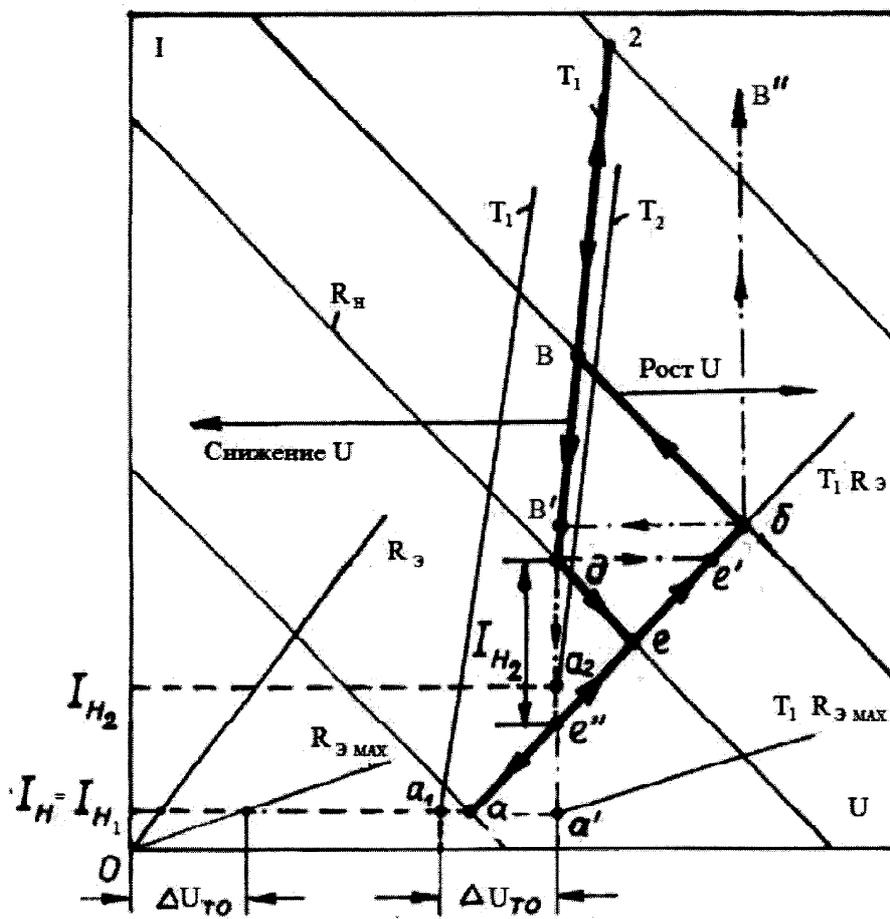
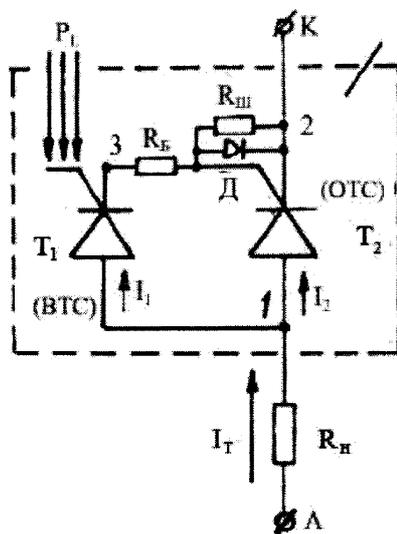
Предложенная конструкция может быть использована при проектировании различных полупроводниковых приборов на основе многослойных структур с чередующимися слоями р- и п- типа электропроводности.

Заявляемые фототиристоры применяются в современных мощных высоковольтных преобразовательных устройствах линий электропередачи, компенсаторах реактивной мощности, мощных импульсных генераторах и др.

Источники информации.

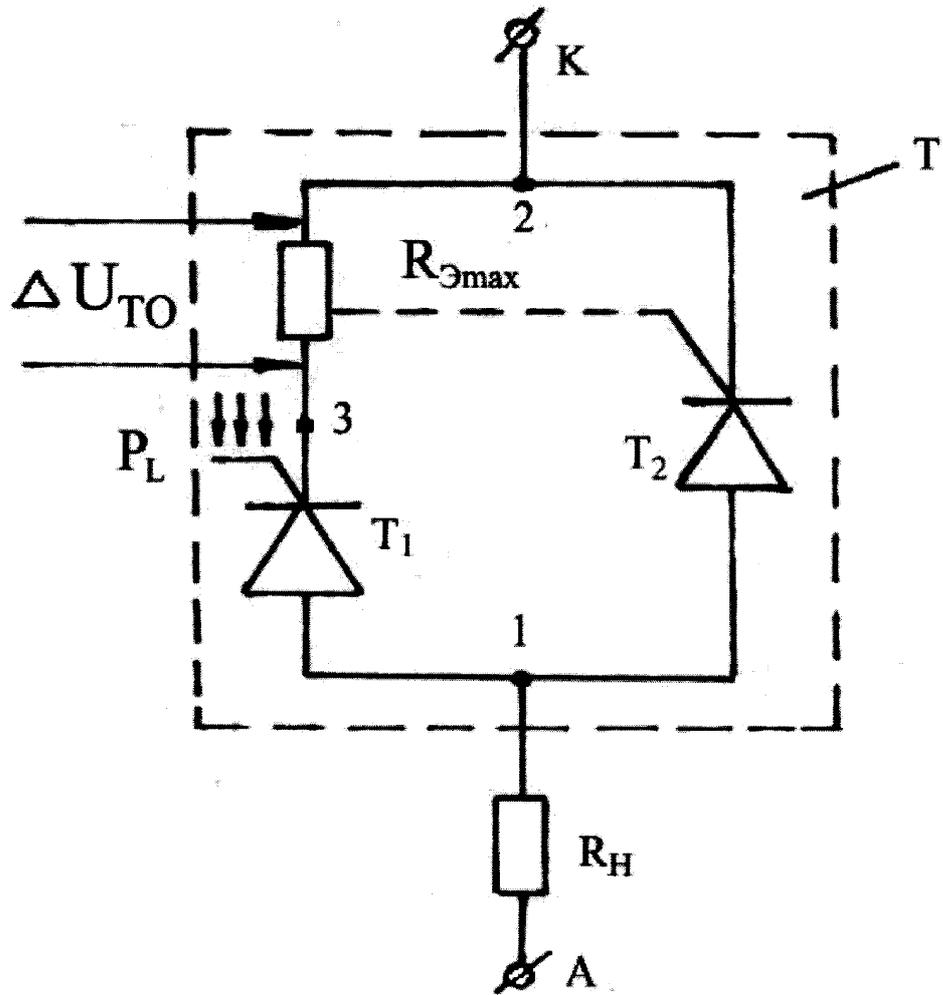
1. F.-J. Niedernostheide, H.-J. Schulz, U. Kellner-Werdenhausen. Self-protected High-Power Thyristors. – Proceedings PCIM, Nürnberg, 2001, p. 51-56).
2. P. A. Mawby and M. S. Towers, Modelling of self-protected light-triggered thyristors.- IEE Proc.- Circuits Devices Syst. Vol. 148, №2, April 2001, p. 56-63.
3. Ю.А. Евсеев, А. Н. Думаневич, Ю. М. Локтаев, П. Г. Дерменжи и А. В. Конюхов, Авторское свидетельство СССР №363410, Кл. НОЛ 11/10, опубл. 28.09.1972.

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**



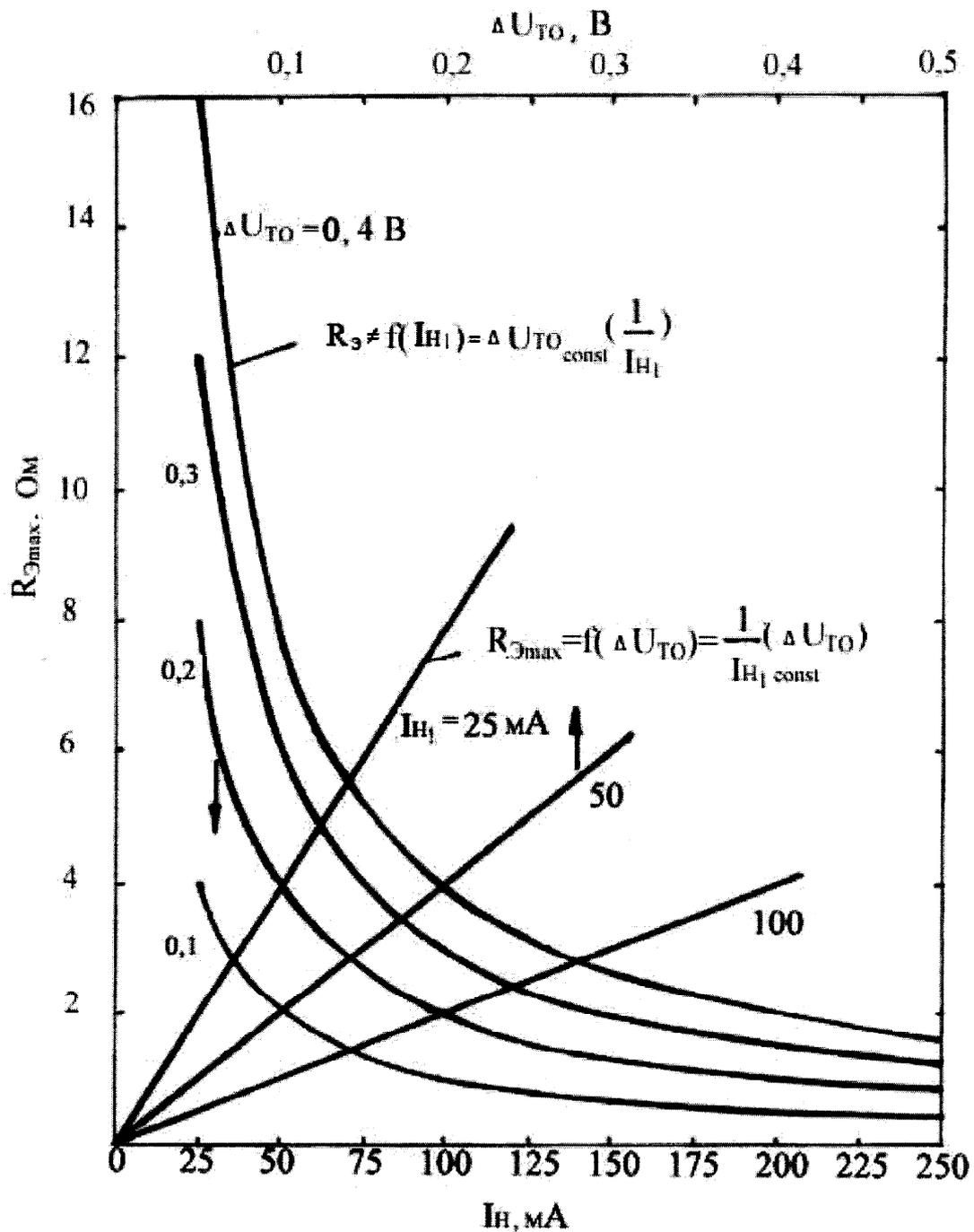
Фиг. 2-1

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**



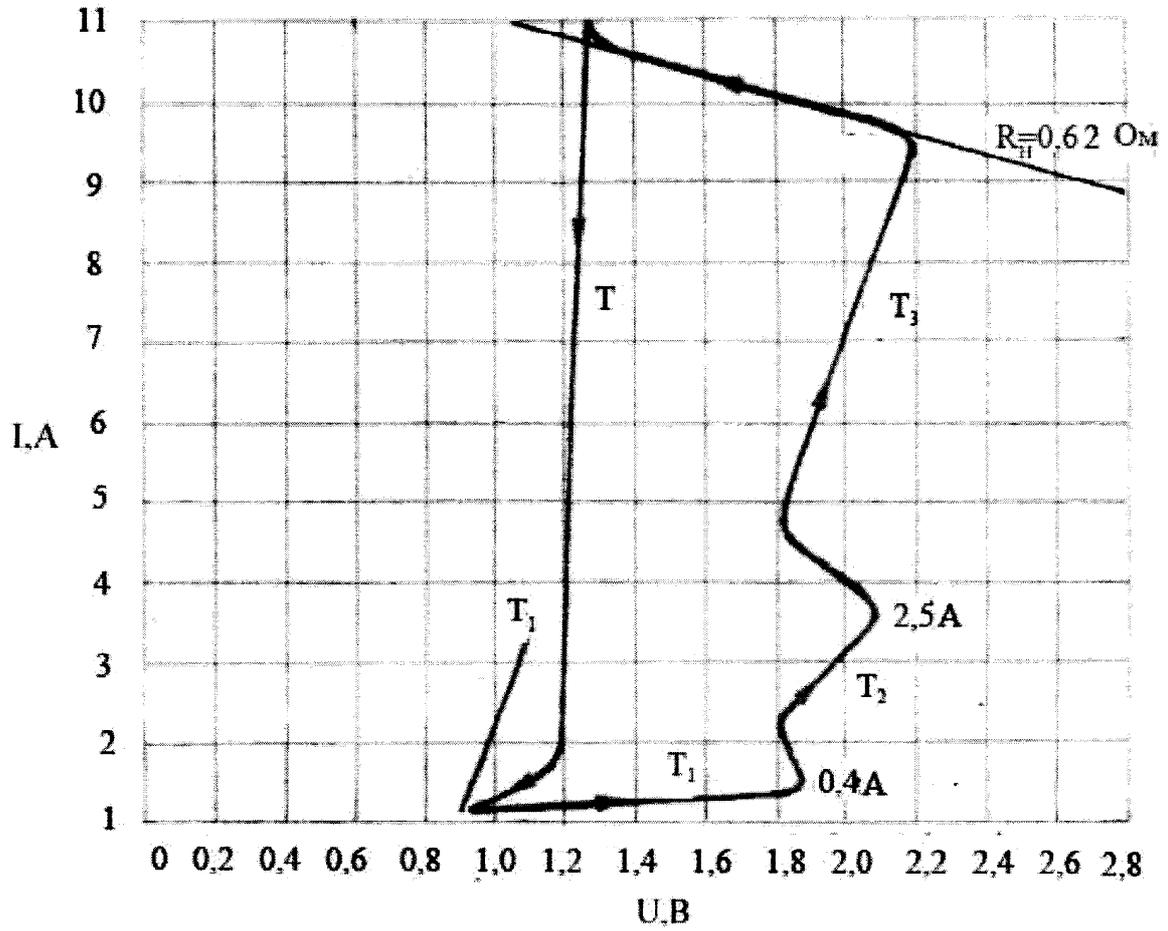
Фиг. 3

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**



Фиг. 4

**Фототиристор с самозащитой от пробоя
в период восстановления запирающих свойств**



Фиг.5