

# Диод лавинный

**Роман Рыбак**, нач. бюро планирования новой техники ООО «Элемент-Преобразователь»

**Алевтина Коляда**, нач. бюро диодов ООО «Элемент-Преобразователь»

**Владимир Гутин**, коммерческий директор ООО «Фирма ТКД»

E-mail: tkd@iptelecom.net.ua

**В статье показано основное преимущество использования лавинных диодов в электрических схемах с перенапряжением, дано объяснение механизма лавинного пробоя, требования к конструкции и технология изготовления лавинных диодов. В частности, речь идет о новых приборах ДЛ151-160, ДЛ152-160, выпускаемых ООО «Элемент-Преобразователь»**

## ВВЕДЕНИЕ

Предприятие ООО «Элемент-Преобразователь» расширило ряд лавинных диодов с жестким и гибким выводом на токи до 160 А и напряжении до 1800 В, освоив производство приборов ДЛ151-160 и ДЛ152-160, которые другими предприятиями Украины и России в настоящий момент не выпускаются.

Лавинные диоды используются в выпрямительных агрегатах для металлургической и химической промышленности, железнодорожного транспорта и других электрических схемах, в которых наблюдается перенапряжение. Основное преимущество лавинных диодов перед силовыми выпрямительными диодами в том, что они не разрушаются при значительных перенапряжениях и после снятия напряжения восстанавливают свои параметры [1].

## МЕХАНИЗМ ЛАВИННОГО ПРОБОЯ

Электрические параметры лавинного диода представлены в табл. 1, а габаритно-присоединительные размеры приведены на рис. 1.

Лавинные диоды могут выдерживать значительные напряжения в обратном направлении. При увеличении обратного напряжения, приложенного к р-п-переходу лавинного диода, напряженность электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) увеличивается и может до-

рождения новых электронно-дырочных пар, вследствие чего наступает лавинный пробой р-п-перехода.

Высоковольтные р-п-переходы имеют лавинный пробой при оптимальном сочетании конструкции и технологии их производства.

Известно [1], что лавинный пробой р-п-переходов носит микроплазменный характер. При детальном исследовании лавинного пробоя было установлено, что ток пробоя формируется вдоль серии хаотично расположенных каналов проводимости, пронизывающих р-п-переход и называемых микроплазмами. Причинами микроплазм являются всякого рода несовершенства и нарушения кристаллической решетки и включения, на которых электрическое поле превышает среднее значение, характерное для объемного заряда всего р-п-перехода.

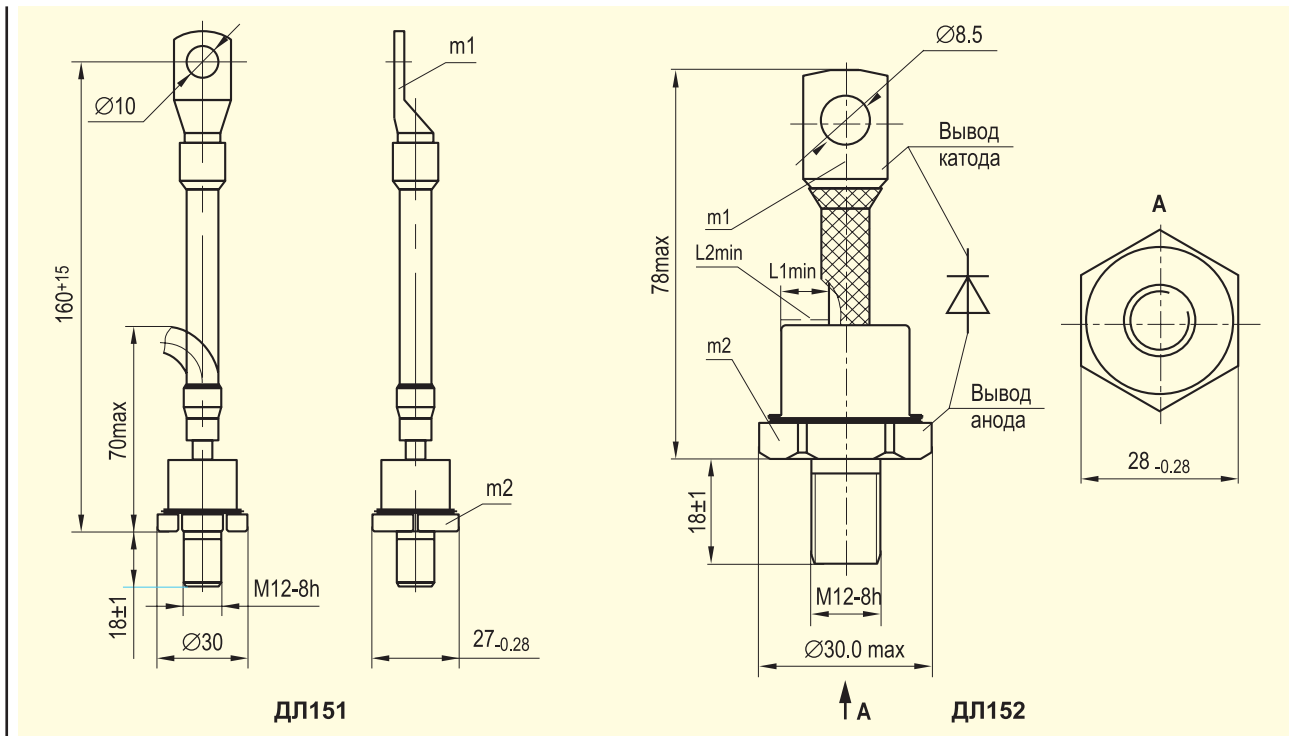
В области лавинного пробоя вольт-амперная характеристика  $U(I)$  выпрямительного элемента описывается следующей зависимостью:

стигнуть значений, при которых будет наблюдаться заметная ударная ионизация [2]. В ударной ионизации могут принимать участие носители как инжектированные в ОПЗ из базовых областей, так и генерированные в самой ОПЗ. Электроны и дырки образуют при ударной ионизации вторичные электронно-дырочные пары, которые умножаются в р-п-переходе. Количественной характеристикой этого процесса является коэффициент умножения носителей.

В сильных электрических полях, превышающих  $10^4$  В/см, носители заряда приобретают энергию, достаточную для ударной ионизации атомов кристалла и

**Таблица 1. Электрические параметры лавинного диода**

Наименование параметра	Значение (обозначение) параметра	
Тип диода	ДЛ152-160, ДЛ151-160	
Максимально допустимый средний прямой ток, А, при температуре корпуса (Тк, °С)	160 (160) (Тк=100 °С)	
Повторяющееся импульсное обратное напряжение, В, (класс)	800 (8); 1000 (10), 1100 (11), 1200 (12), 1300 (13); 1400 (14), 1500 (15); 1600 (16), 1800 (18)	
Климатическое исполнение	У2, УХЛ2.1, Т2	
Ударный прямой ток, кА	4.0	
Ударная обратная рассеиваемая мощность, кВт, при (tn=100 мкс)	12	
Повторяющийся импульсный обратный ток, мА, не более, (Tj=150 °С)	20.0	
Импульсное прямое напряжение, В, не более	1.35	
Тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт, не более	0.25	
Температура перехода, °С	минимальное значение	-60
	максимальное значение	+150
Температура хранения, °С	минимальное значение	-50 (-60 для исполнения УХЛ2.1; -10 для исполнения Т2)
	максимальное значение	+50 (+60 для исполнения Т2)



**Рисунок 1** По требованию потребителей возможны заказные конструктивные исполнения

$$U(I) = U_{проб}(I_0)(1 + \beta_T \Delta T) + \int_{I_0}^I \frac{dU}{dI} dI$$

где  $U_{проб}(I_0)$  — напряжение загиба вольт-амперной характеристики или, иначе, напряжение, при котором появляются первые микроплазмы;  $I_0$  — ток, соответствующий напряжению  $U_{проб}$ ;  $\Delta T = T_2 - T_1$  — перегрев р-п-перехода за счет протекания обратного тока  $I$ ;  $\beta_T$  — температурный коэффициент пробного напряжения.

Величина  $dU/dI = R_g$  представляет собой динамическое сопротивление р-п-структуры в области лавинного пробоя. Величина  $R_g$  определяется сопротивлением микроплазм и их количеством. Число микроплазм растет с увеличением обратного напряжения, обратного тока. Зависимость динамического сопротивления лавинных диодов от обратного тока описывается формулой  $I R_g = A$ . Величина  $A = 4 \div 100$  для р-п-переходов с  $U_{проб} = 400 \div 1000$  В. Величина  $A$  характеризует степень однородности лавинного пробоя.

Изотермическая вольт-амперная характеристика р-п-перехода в области лавинного пробоя описывается выражением

$$I = I_0 \cdot e^{\frac{U(I) - U_{проб}(I_0)}{A}}$$

При больших обратных токах  $R_g$  стремится к некоторому насыщению.

### ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В процессе разработки лавинных диодов выработаны требования к качеству исходного материала, технологической обработке и элементам конструкции, максимально снижающими внесение механических напряжений в кремний. В общих чертах это следующие требования:

- ограничение плотности дислокаций вплоть до  $N_g \leq 10^2$  см<sup>-2</sup> при их равномерном распределении по площади. Это относится к дислокациям, возникающим в дислокационном исходном кремнии особенно большого диаметра (60 мм и выше), в процессе изготовления приборов;
- исключение свирл-дефектов, дефектов упаковки;
- ограничение содержания O<sub>2</sub> и C в кремнии, преобразующихся в сложные комплексы Si-O и Si-C включения;
- уменьшение примесной атмосферы, особенно, примесей тяжелых и щелочных металлов на дислокациях и других кристаллических дефектах кремния.

Особо следует отметить отрицательное воздействие на ВАХ приборов «звездных» дефектов. Эти дефекты чаще возникают в процессе изготовления приборов и ухудшают ВАХ вплоть до потери р-п-переходом запирающих свойств.

Детальное изучение этих дефектов позволяет предположить, что это микротрещины, образовавшиеся в напряженном кремнии в процессе термической обработки. При определенном сочетании геометрических размеров элементов, при термообработках могут возникнуть упругие деформации в структуре кремния вплоть до перехода их в пластическую деформацию (микротрещины). Эти механические напряжения в микроструктуре проявляются «звездами» и служат центрами локального пробоя р-п-перехода и разрушения кремния.

Однородность удельного сопротивления кремния является важным условием изготовления лавинных диодов.

Таким образом, для создания лавинных р-п-переходов необходимо:

- использование качественного кремния, характеризующегося отсутствием структурных дефектов (дислокаций, свирл-дефектов и других дефектов кристаллической решетки) или, по крайней мере, ограниченной плотностью равномерно расположенных дислокаций; минимальным содержанием примесных атомов O<sub>2</sub>, C и других элементов; минимальным разбросом удельного сопротивления;
- технологическая обработка при создании р-п-переходов не должна вносить значительных повреждений

кристаллической решетки кремния, максимально ограничить диффузию тяжелых и щелочных металлов, создавать примесные атмосферы и включение, генерировать локальные области дислокаций и упругих напряжений;

- конструкция диодов штыревая, в металлостеклянном корпусе с гибким выводом и прижимными контактами, должна исключить возникновение значительных механических напряжений в кремнии, соответствует зарубежным аналогам и международным стандартам;
- геометрические размеры структуры и фаска должны исключить смыкание ОПЗ с приконтактной областью;
- геометрия фаски, травление и защита ее должны исключить поверхностный пробой р-п-перехода, т.е. обеспечить более низкую напряженность электрического поля на поверхности фаски, чем в объеме кремния.

## УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

При эксплуатации диодов рекомендуется применять охладители

по ТУ16-729.377-83. Допускается использовать другие средства и способы охлаждения, при этом допустимые электрические режимы в конкретных условиях должны быть определены в соответствии с информационными материалами на диоды.

Для обеспечения теплового и электрического контакта шероховатость контактной поверхности охладителя должна быть не более 3.2 мкм.

Не допускается одновременная эксплуатация диода при максимально допустимой температуре перехода и рабочем импульсном обратном напряжении с амплитудой более 0.8 значения повторяющегося импульсного обратного напряжения, или постоянного обратного напряжения величиной более 0.6 значения повторяющегося импульсного обратного напряжения.

## ВЫВОДЫ

Использование лавинного диода в выпрямительных агрегатах позволяет увеличить надежность электрических схем и дает возможность уменьшить мощность используемого диода, так как защитную

роль от пробоя будет играть лавинный ток, а не дополнительный запас по обратному напряжению силового диода.

**Заказать и получить со склада в Киеве эти приборы можно в ООО «Фирма ТКД», которое осуществляет комплексные поставки силовых полупроводниковых приборов:**

**г. Киев, бул. И. Лепсе, 8,  
тел./факс: (044) 497-72-89,  
454-11-31, 408-70-45,  
e-mail: tkd@iptelecom.net.ua,  
www.tkd.com.ua**

**Филиал в Харькове:**

**тел./факс: (057) 717-11-82,  
716-48-76;  
e-mail: tkd@ukr.net**

Литература:

1. Грехов И.В., Сержкин Ю.И. Лавинный пробой р-п-перехода в полупроводниках. — Л.: «Энергия», Л.О., 1980.
2. Кюрегян А.С. Об ударной ионизации в полупроводниках в сильных электрических полях — ФТП, 1976, т10.

# Реклама