

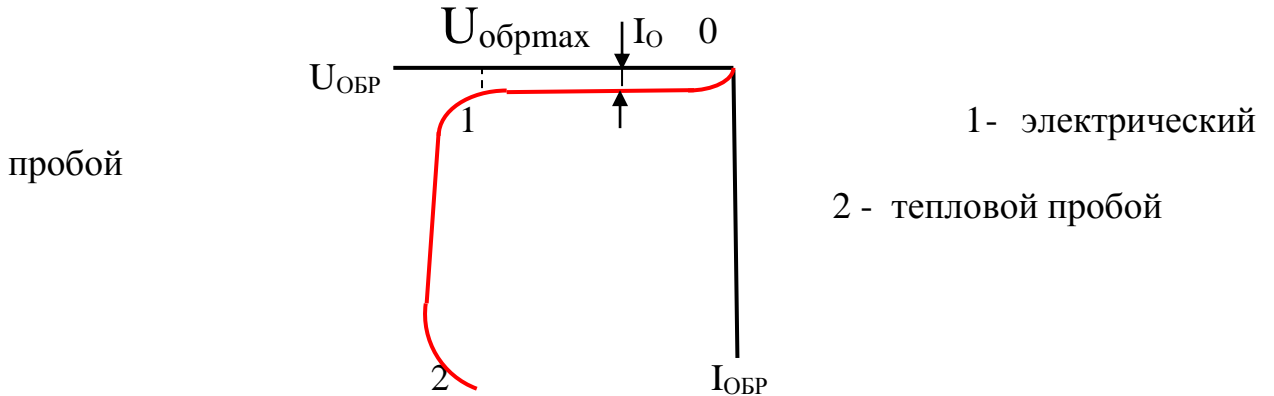
3.3 Пробой p-n перехода

Пробой – это резкое возрастание обратного тока перехода при условии, что обратное напряжение превысит максимально допустимое значение, т.е.

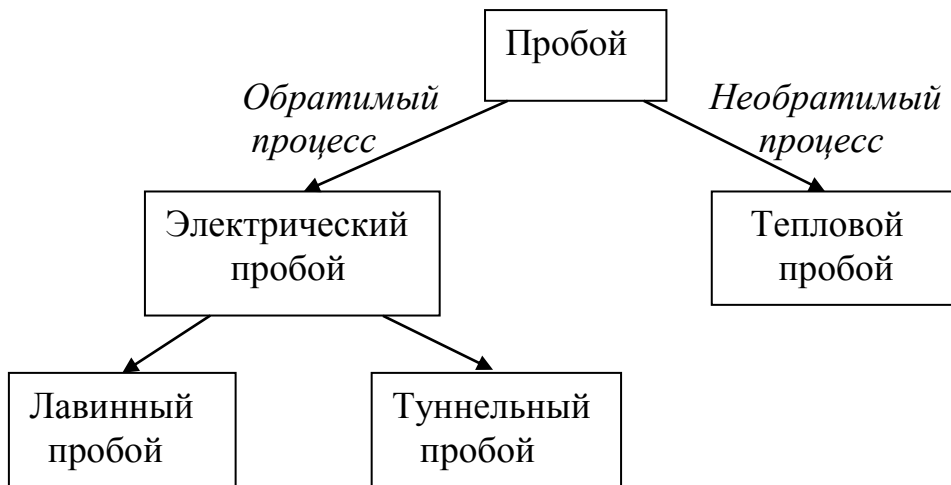
$$I_{OBR} \uparrow\uparrow \text{ при } U_{OBR} > U_{OBRmax}$$

справочная величина

Обратная ветвь ВАХ при пробое:



Виды пробоев:



3.3.1 Тепловой пробой

Тепловой пробой возникает за счет нарушения теплового баланса между теплом, которое выделяется в переходе, и теплом, которое отводится (рассеивается корпусом прибора):

$$Q_{ВЫД} > Q_{ОТВОД} \quad (Q - \text{количество теплоты})$$

С ростом обратного напряжения выделяемая в переходе мощность увеличивается ($P = I_{OBR} \cdot U_{OBR} \uparrow \Rightarrow P \uparrow$), что приводит к разогреву перехода и усилению термогенерации (генерация, вызванная повышением температуры) пар носителей заряда, т.е. к увеличению концентрации ННЗ, а,

следовательно, к росту обратного тока. Рост обратного тока сопровождается дальнейшим увеличением выделяемой мощности, т.е. большим разогревом перехода и более интенсивной термогенерацией и т.д., т.е. идет нарастающий процесс:

$$U_{OBR} \uparrow \Rightarrow P \uparrow \Rightarrow t^o \uparrow \Rightarrow I_{OBR} \uparrow \Rightarrow P \uparrow \uparrow \text{ и т.д.}$$

В итоге переход перегревается и разрушается (разрушается кристаллическая решетка) – процесс необратимый.

Процесс называется обратимым, если при уменьшении обратного напряжения до допустимого значения восстанавливается нормальный режим работы перехода, т.е. обратный ток принимает стационарное значение теплового тока I_0 .

Для обеспечения теплового режима полупроводниковых приборов используются радиаторы, изготавливаемые из материалов с высокой теплопроводностью (например, Al, Cu).

3.3.2 Электрический пробой

Тепловому пробое предшествует электрический пробой.

При электрическом пробое **обратный ток перехода резко возрастает под действием сильного электрического поля**.

а) Лавинный пробой

Лавинный пробой возникает в так называемых «толстых» переходах. Под действием сильного электрического поля электроны, двигаясь с большой скоростью, приобретают кинетическую энергию, достаточную для **ударной ионизации нейтральных атомов** кристаллической решетки.

Механизм ударной ионизации: свободный электрон, обладающий большой кинетической энергией, ударяясь о нейтральный атом, передает валентным электронам этого атома часть своей энергии, и они отрываются от атома, становясь свободными. Атом при этом ионизируется.

Возникшие в результате ионизации свободные электроны также разгоняются электрическим полем, ударяются о новые атомы кристаллической решетки и выбивают из них следующую партию электронов. **Процесс нарастает лавинообразно** (как снежный ком) – отсюда и название пробоя – «лавинный».

Для ударной ионизации необходимо поле с напряженностью:

$$E = (80 \div 120) \text{кВ/см}$$

В результате ударной ионизации возникает размножение НЗ, и обратный ток резко возрастает – возникает лавинный пробой.

На лавинном пробое работают такие полупроводниковые приборы, как стабилитроны, тиристоры, лавинные транзисторы и др.

б) Туннельный пробой

Если напряженность электрического поля достигнет значения $E \cong 200 \text{кВ/см}$ и переход будет очень тонкий (с толщиной запирающего слоя $d \cong 0,01 \text{мкм}$), возможен **туннельный пробой** – **переход электронов из валентной зоны (ВЗ) одного полупроводника в зону проводимости (ЗП) другого полупроводника без изменения энергии.**

Механизм туннельного пробоя:

Электрон, движущийся в сторону очень узкого перехода, под действием очень сильного поля пройдет через переход, как через туннель, и займет свободный уровень с такой же энергией по другую сторону перехода.

Таким образом, **обязательным условием туннельного пробоя**, кроме сильного поля и тонкого перехода, **является наличие свободного уровня по другую сторону перехода.** При этом **ВЗ одного полупроводника должна находиться на одном уровне с ЗП другого полупроводника.**

На туннельном пробое работают туннельные диоды.

Туннельный и лавинный пробой обратимы – снятие обратного напряжения полностью восстанавливает свойства р-п перехода.