



Лекция 8

Тема Лекции: Влияние температуры на характеристики диодов

*к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы*

Цель лекции:

Изучить, как изменение температуры влияет на физические процессы в р–n переходе, определить зависимость вольтамперных характеристик (ВАХ) диода от температуры, рассмотреть основные температурные коэффициенты и механизмы деградации параметров диодов при нагревании.

Основные вопросы:

1. Физические основы температурной зависимости характеристик р–n перехода.
2. Температурная зависимость тока насыщения.
3. Обратные токи и пробой при повышенных температурах.
4. Температурная зависимость сопротивления и ёмкости р–n перехода
5. Температурная компенсация и практические применения.

Как уже отмечалось, при прямом смещении ток диода **инжекционный**, большой по величине и представляет собой диффузионную компоненту тока основных носителей. При обратном смещении ток диода маленький по величине и представляет собой **дрейфовую** компоненту тока неосновных носителей. Зависимость тока от напряжения определяется соотношением:

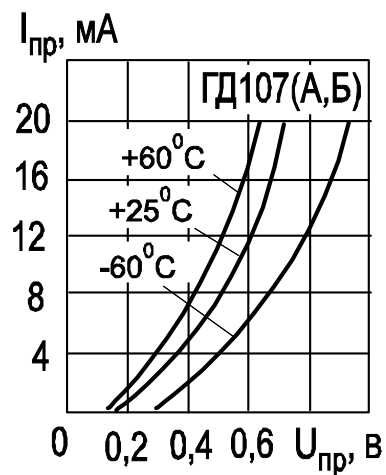
$$J = J_s (e^{\beta V_G} - 1)$$

Для несимметричного p - n^+ перехода $N_A \ll N_D$ концентрация неосновных носителей **в p -области** существенно выше, чем **в n -области** $n_{p0} \gg p_{n0}$. Обратный ток в этом случае обусловлен дрейфовой электронной компонентой

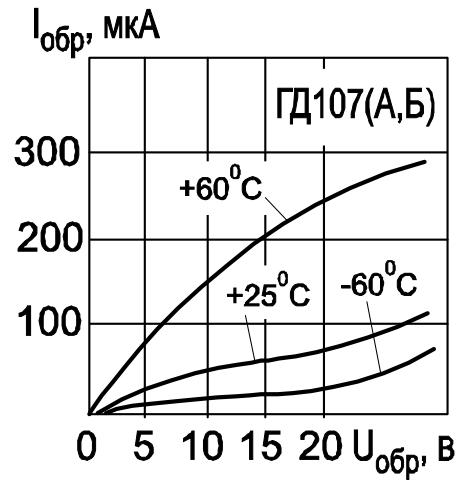
$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} \sim e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

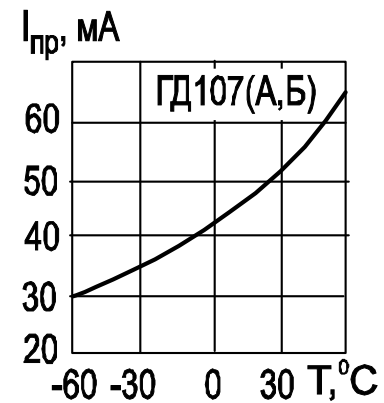
Вольт-амперные характеристики диода ГД107



а



б



в

Вольт-амперные характеристики диода ГД107

а) при прямом смещении;

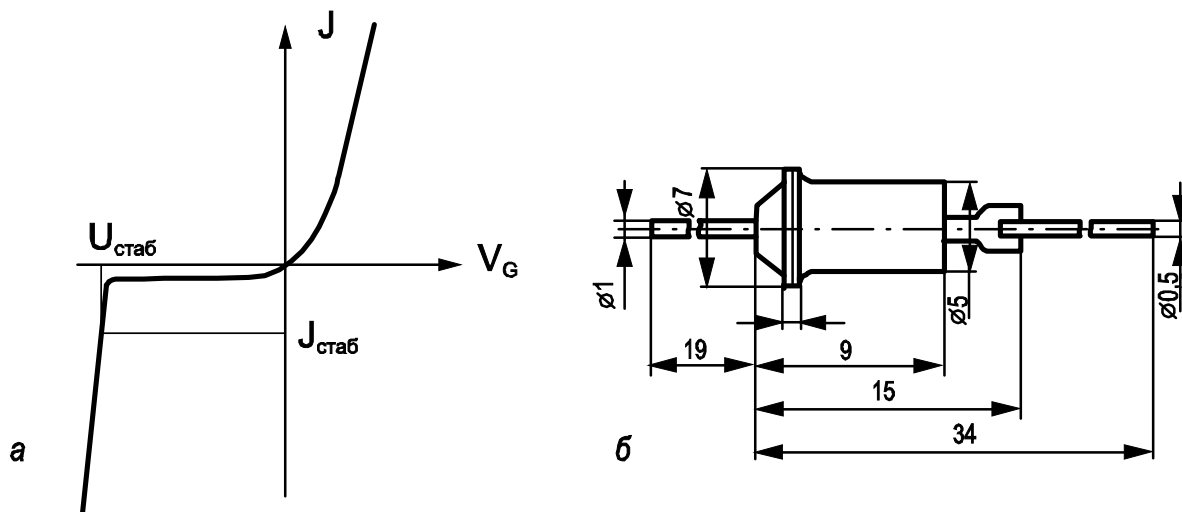
б) при обратном смещении;

в) температурная зависимость прямого тока диода

Стабилитроны

Стабилитроном называется **полупроводниковый диод**, вольт-амперная характеристика которого имеет область резкой зависимости тока от напряжения на обратном участке вольт-амперной характеристики.

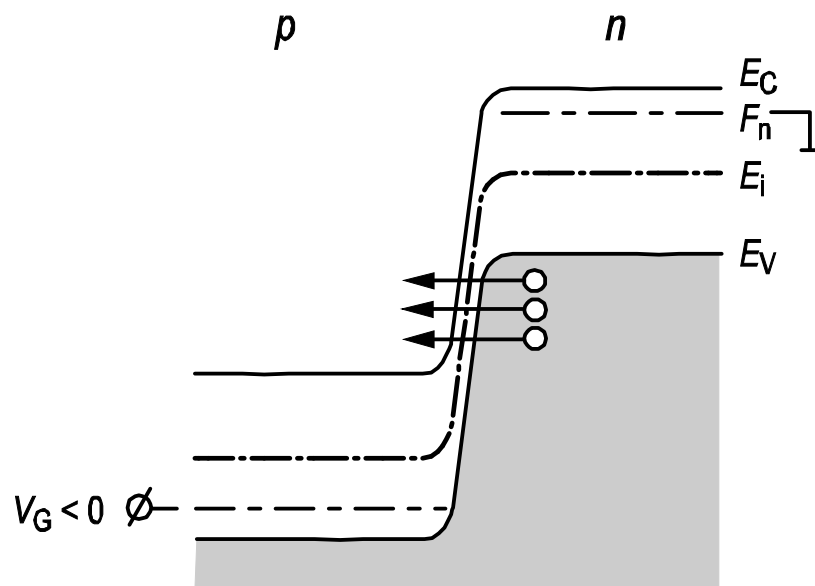
ВАХ стабилитрона имеет вид, представленный на рисунке



Вольт-амперная характеристика (а) и конструкция корпуса (б) стабилитрона

Туннельный пробой в полупроводниках

Рассмотрим зонную диаграмму диода с p - n переходом при обратном смещении при условии, что области эмиттера и базы диода легированы достаточно сильно

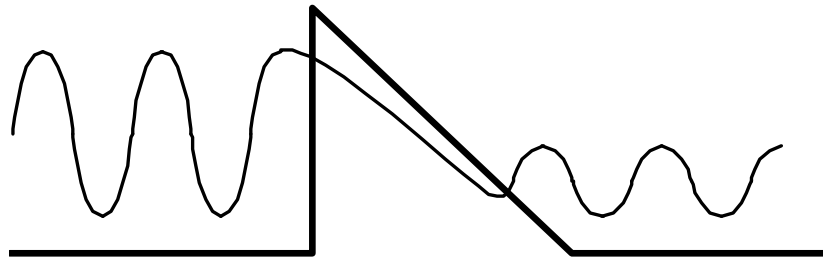


Зонная диаграмма диода на базе сильнолегированного p - n перехода при обратном смещении

Туннельный пробой в полупроводниках

Квантово-механическое рассмотрение туннельных переходов для электронов показывает, что в том случае, когда геометрическая ширина потенциального барьера сравнима с дебройлевской длиной волны электрона, возможны туннельные переходы электронов между заполненными и свободными состояниями, отделенными потенциальным барьером.

Форма потенциального барьера обусловлена полем p - n перехода. На рисунке схематически изображен волновой пакет при туннелировании через потенциальный барьер треугольной формы.



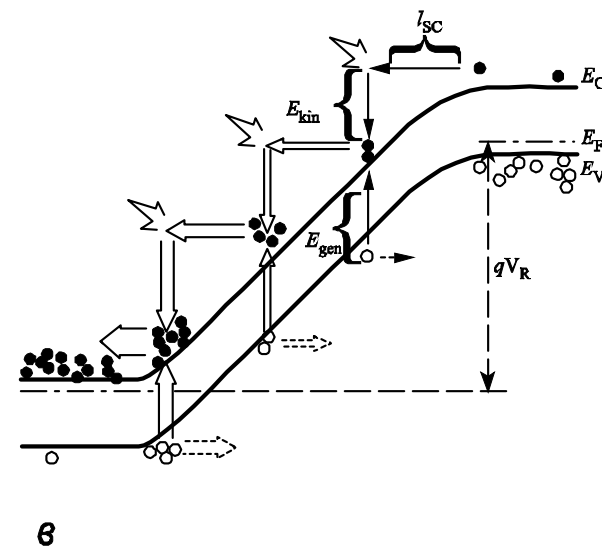
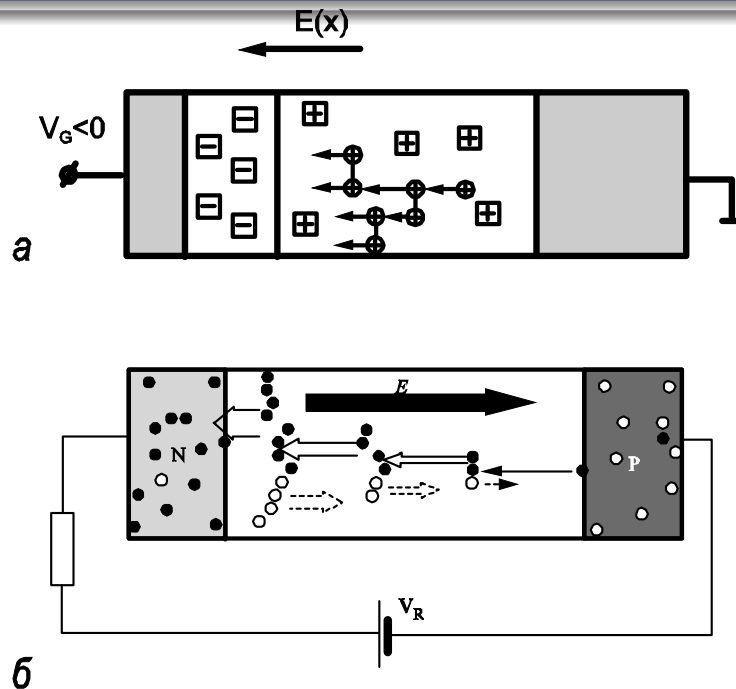
Схематическое изображение туннелирования волнового пакета через потенциальный барьер

Лавинный пробой в полупроводниках

Рассмотрим случай однородного электрического поля в полупроводнике. Если, двигаясь вдоль силовых линий электрического поля электрон на расстоянии, равном **длине свободного пробега λ** , наберет энергию, равную либо большую, чем ширина запрещенной зоны, то, неупруго рассеиваясь, этот электрон может вызвать генерацию еще одной электронно-дырочной пары. *Дополнительно нагенерированные свободные носители также будут участвовать в аналогичном процессе. Это явление лавинного размножения свободных носителей в условиях сильного электрического поля получило название лавинного пробоя.*

Размеры геометрической области **полупроводника W** , в которой происходит лавинное умножение, должны быть существенно больше длины свободного **пробега электрона λ** . Соотношения, определяющие условие лавинного пробоя, будут следующие:

$$q\lambda E_{i\delta} \geq E_g; \quad W \gg \lambda$$



Схема, иллюстрирующая лавинный пробой в однородном полупроводнике

- а) распределение электрического поля, доноров и акцепторов и свободных носителей;
- б) распределение токов;
- в) зонная диаграмма, иллюстрирующая лавинное умножение в ОПЗ

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Как изменение температуры влияет на концентрацию носителей в полупроводнике?
2. Почему с ростом температуры увеличивается ток насыщения?
3. Как изменяется форма ВАХ диода при нагревании?
4. Что такое температурный коэффициент прямого напряжения?
5. Как температура влияет на обратный ток и область пробоя?
6. Объясните причины теплового пробоя и термической нестабильности диодов.
7. Какие меры применяются для термостабилизации характеристик диодов?
8. В каких приборах используется температурная зависимость ВАХ диодов?

Список литературных источников:

9. Соколов В. И. Физика и технология полупроводников. — М.: МИФИ, 2018.
10. Трифонов Е. Н. Электронные процессы в твёрдых телах. — М.: Наука, 2015.
11. Sze, S. M., Ng, K. K. Physics of Semiconductor Devices. — Wiley, 2007.
12. Pierret, R. F. Semiconductor Device Fundamentals. — Addison-Wesley, 1996.
13. Streetman, B. G., Banerjee, S. Solid State Electronic Devices. — Prentice Hall, 2016.
14. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. — Wiley, 2018.
15. Millman, J., Halkias, C. Electronic Devices and Circuits. — McGraw-Hill, 2010.