



Уральский  
федеральный  
университет

# Электроника

Тема лекции: Электронно-дырочный  
переход

§ 3 Неравновесное состояние *p-n* перехода

Лекторы:

**Елфимов Вячеслав Ильич**

к.т.н., профессор каф. РЭИС

**Дурнаков Андрей Адольфович**

ст. преподаватель каф. РЭИС

Разработчики:

Елфимов В.И., Дурнаков А.А.

## Допущения

1. Приложенное к полупроводнику напряжение падает на  $p$ - $n$  переходе.
2.  $U_{\text{пр}} < \phi_{\text{к}}$
3.  $U_{\text{обр}} < U_{\text{пробоя}}$

## § 3.1. Прямосмещенный $p$ - $n$ переход

**Прямое смещение перехода:** к  $p$ -области подключен положительный полюс источника напряжения, а к  $n$ -области – отрицательный.

Ширина прямосмещенного  $p$ - $n$  перехода:

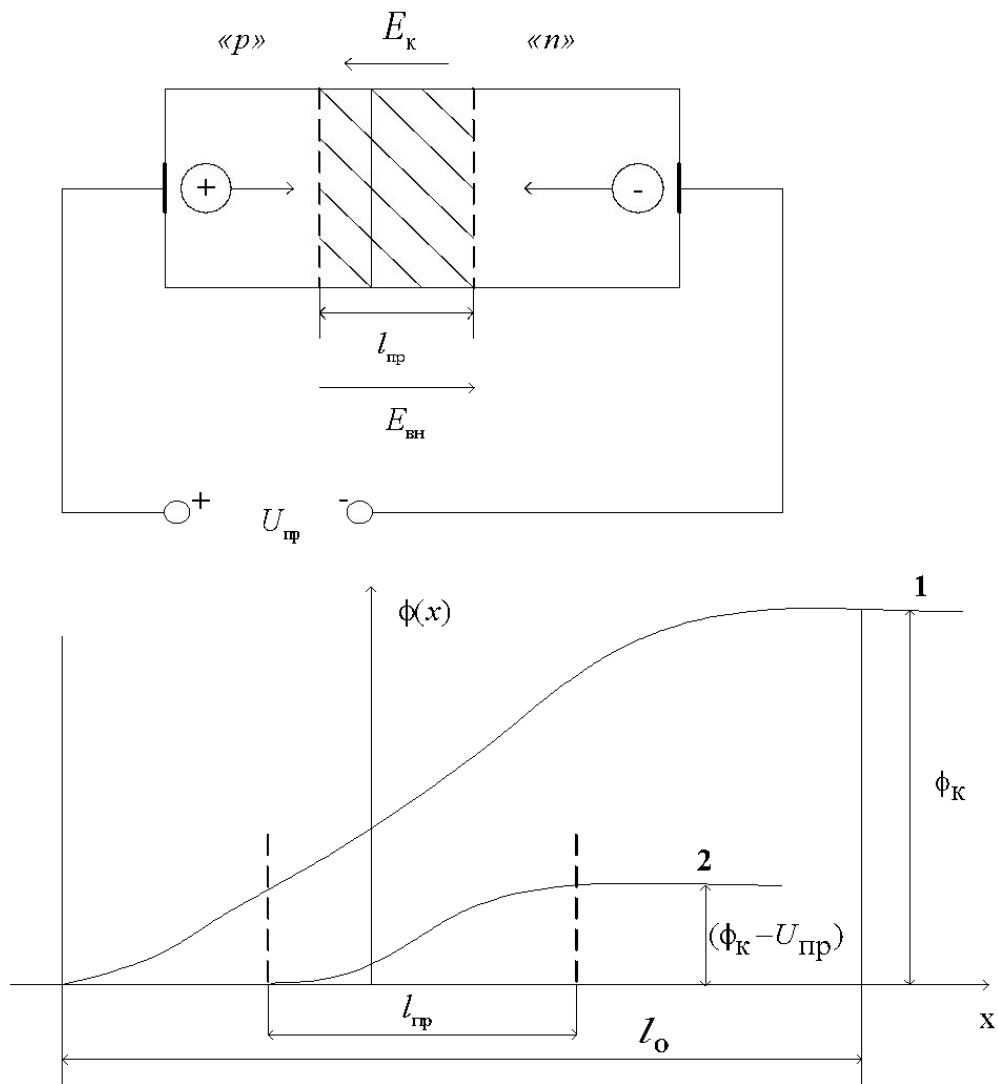
$$l_{\text{пр}} = l_0 \cdot \sqrt{\frac{\phi_{\text{к}} - U_{\text{пр}}}{\phi_{\text{к}}}}$$

Высота потенциального барьера :

$$\phi_{\text{пр}} = \phi_{\text{к}} - U_{\text{пр}}$$

$$i_D \gg i_E$$

$$N_A \gg N_D \Rightarrow i_{D_p} \gg i_{D_n}$$



Прямое смещение  $p$ - $n$  перехода и потенциальный барьер

**Инжекцией** называется процесс нагнетания (введения) носителей заряда через  $p$ - $n$  переход при понижении высоты потенциального барьера в область полупроводника, для которого они являются неосновными носителями заряда.

В несимметричном переходе инжекция имеет односторонний характер.

Область, инжектирующая носители заряда, называется **эмиттером**. Эта область сильно легирована примесями и имеет низкое удельное сопротивление.

Область, в которую инжектируются неосновные для нее носители заряда, называется **базой**. База меньше легирована примесями и имеет большее значение удельного сопротивления.

В результате инжекции в  $p$ - и  $n$ -областях на границах перехода окажутся дополнительные носители заряда, неосновные для данной области.

В каждом из слоев появляются избыточные носители:

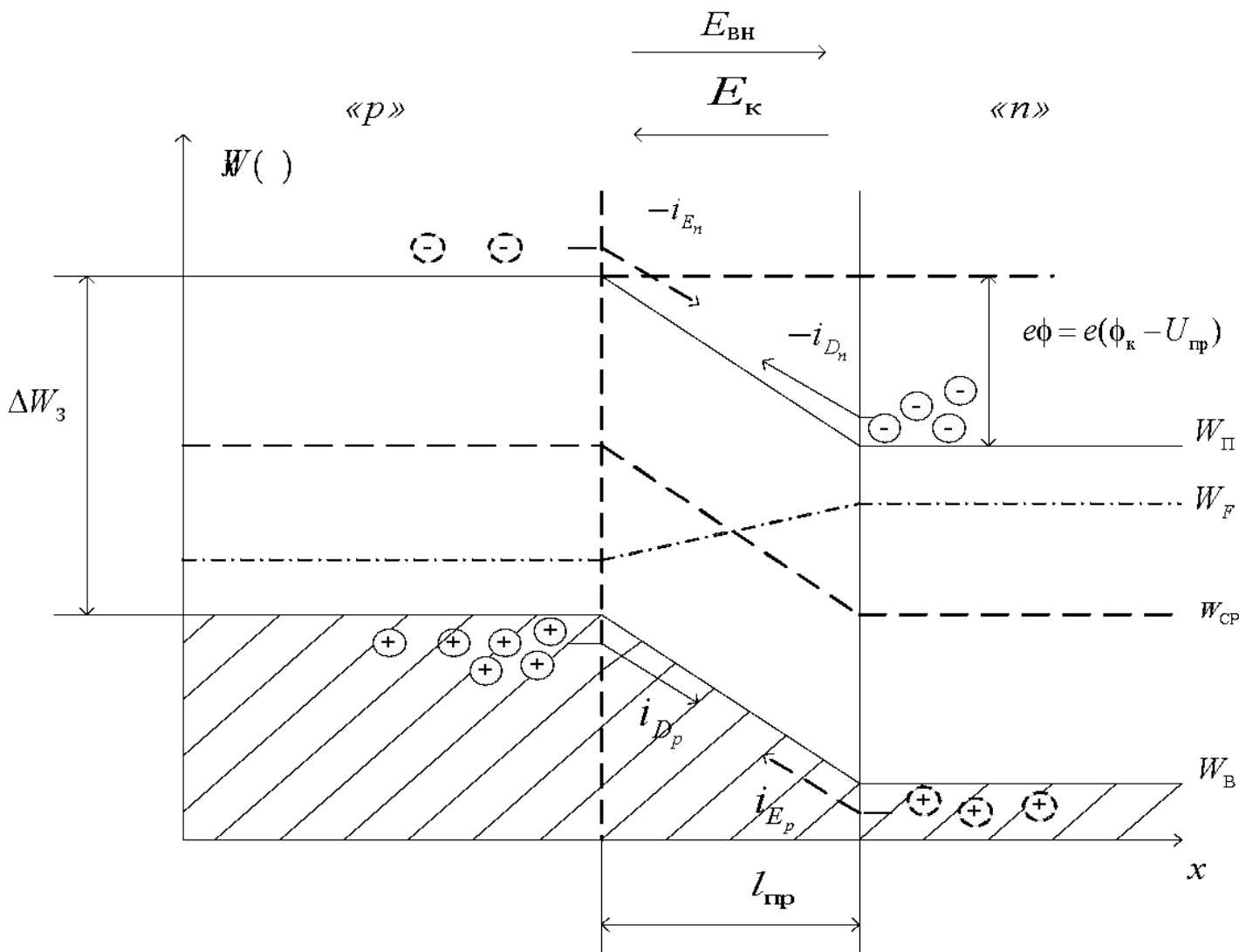
$$\Delta p_n = p_{n0} \left[ \exp(U_{\text{пр}} / \phi_T) - 1 \right]$$

$$\Delta n_p = n_{p0} \left[ \exp(U_{\text{пр}} / \phi_T) - 1 \right]$$

Коэффициент инжекции показывает какую часть полного тока создают основные носители эмиттера

$$\gamma = \frac{i_{D_p}}{(i_{D_p} + i_{D_n})}$$





Энергетическая диаграмма прямого смещенного  $p$ - $n$  перехода

## § 3.2. Обратносмещенный $p$ - $n$ переход

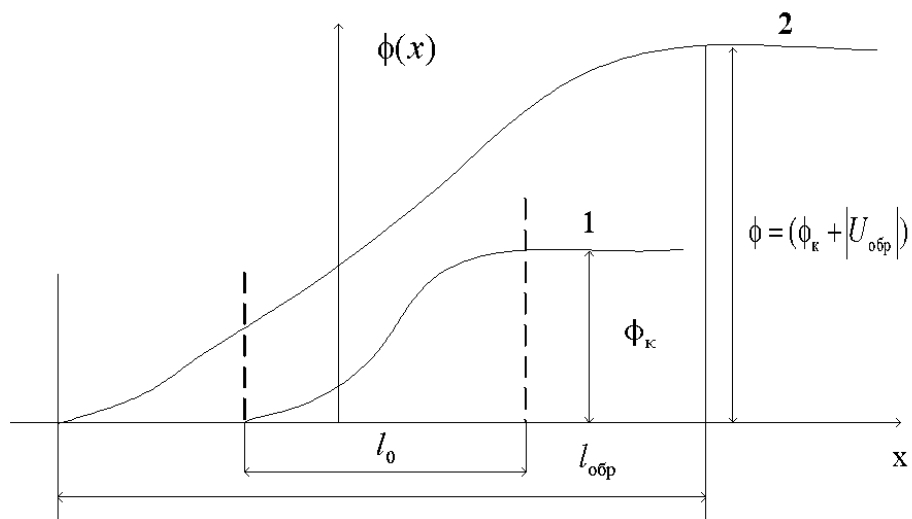
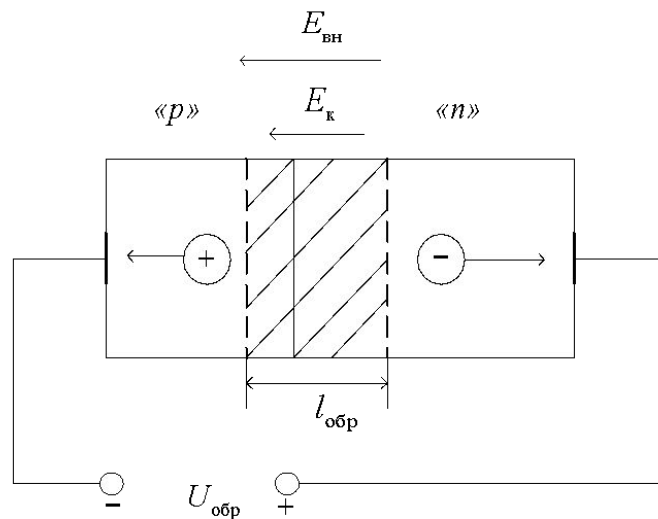
**Обратное смещение  $p$ - $n$  перехода:** К  $p$ -области подключен отрицательный полюс внешнего источника напряжения, а к  $n$ -области – положительный.

Ширина обратносмещенного  $p$ - $n$  перехода:

$$l_{\text{обр}} = l_0 \cdot \sqrt{\frac{\phi_{\text{к}} + |U_{\text{обр}}|}{\phi_{\text{к}}}} \approx l_0 \cdot \sqrt{\frac{|U_{\text{обр}}|}{\phi_{\text{к}}}}$$

Высота потенциального барьера :

$$\phi_{\text{обр}} = \phi_{\text{к}} + U_{\text{обр}}$$

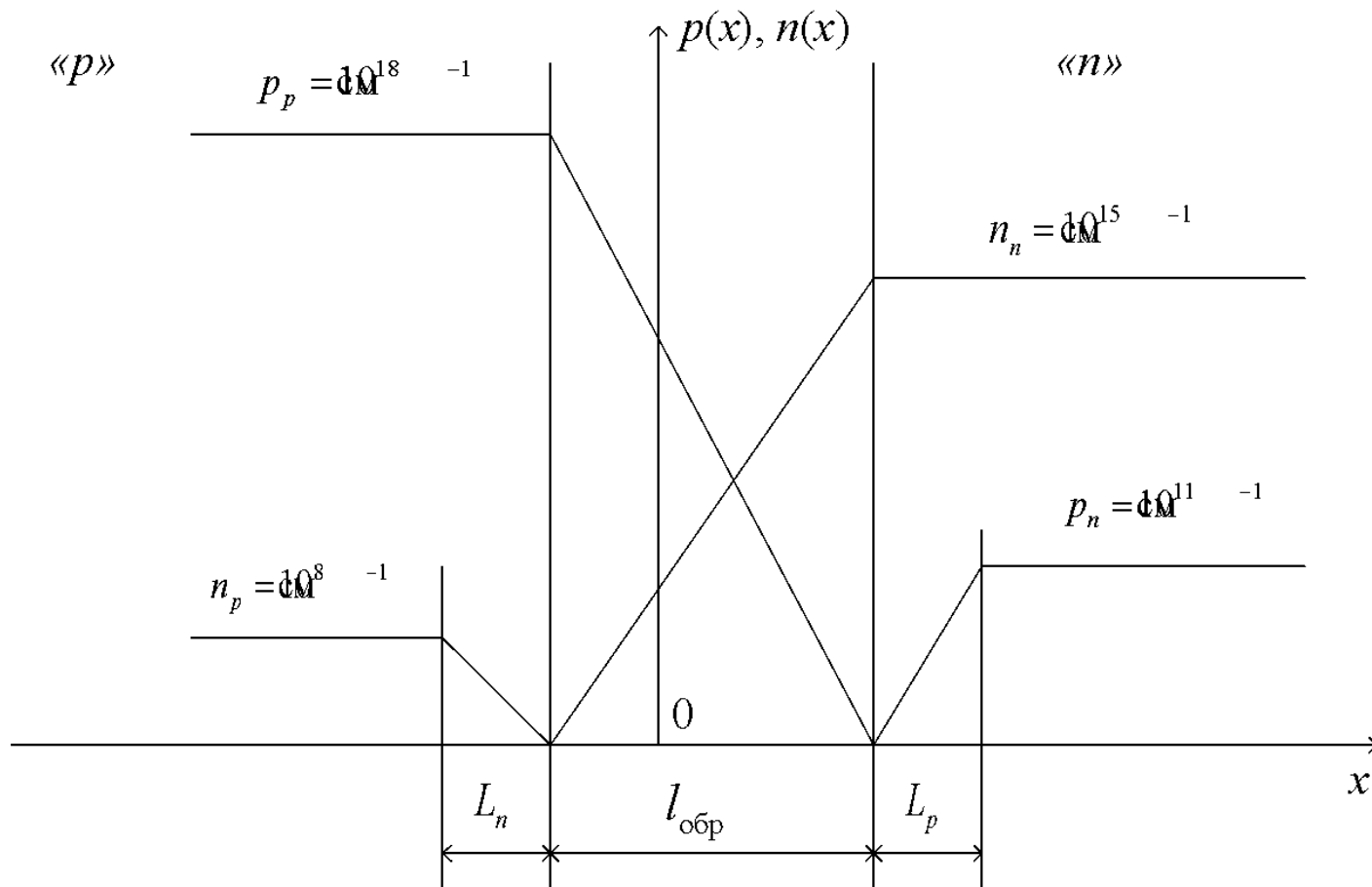


**Экстракцией** называется извлечение неосновных носителей заряда из областей, прилегающих к  $p$ - $n$  переходу на расстоянии диффузионной длины, возникающее при увеличении высоты потенциального барьера.

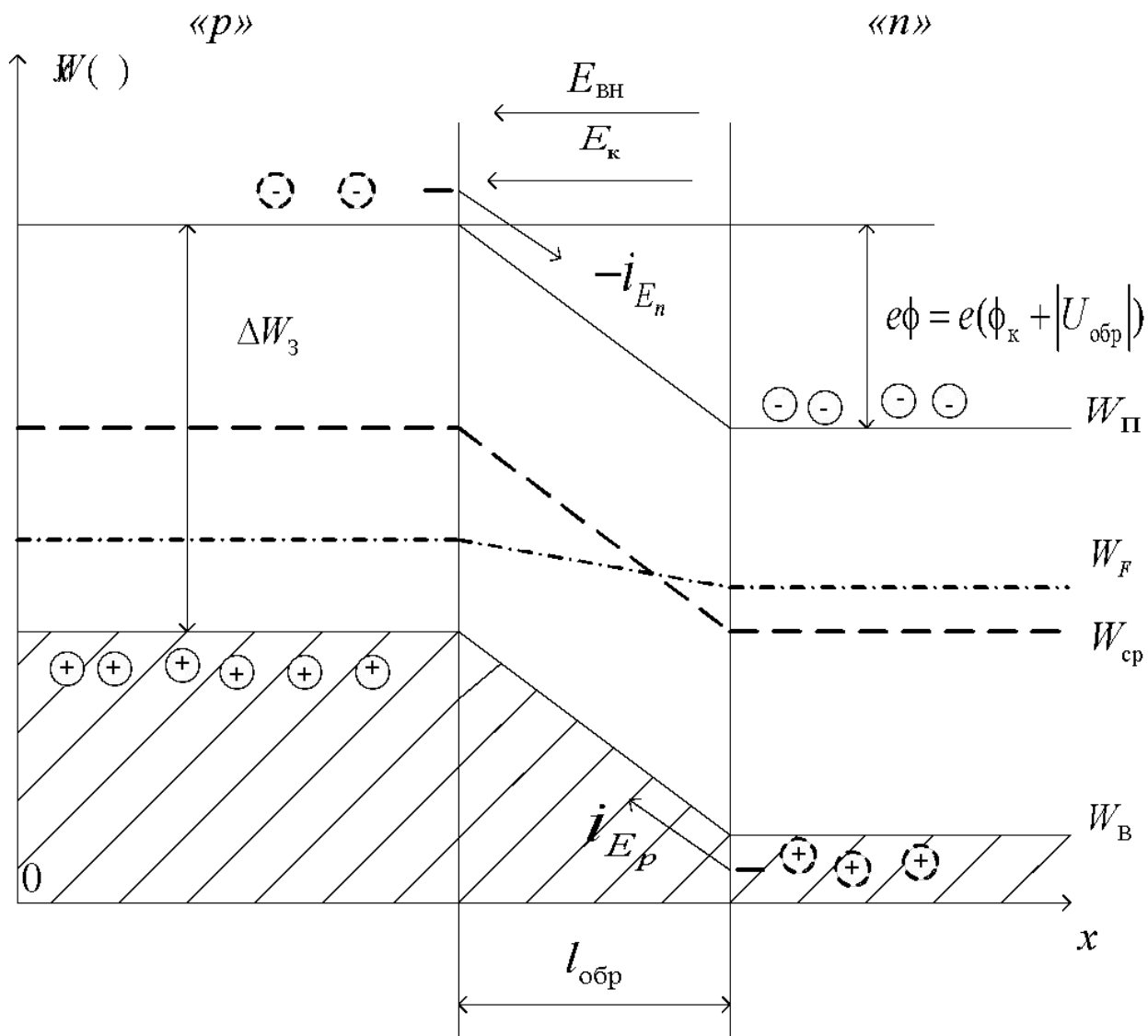
$$i_D = 0; \quad I_{\text{обр}} \approx I_E$$

$$N_A \gg N_D \Rightarrow i_{E_p} \gg i_{E_n}$$

Экстракция происходит из базы в эмиттер.



Распределение концентраций носителей



Энергетическая диаграмма обратносмещенного  $p$ - $n$  перехода

## Выводы

1. Если подключить источник э.д.с.  $U$  между  $p$ - и  $n$ -слоями, то равновесие перехода нарушится и в цепи потечет ток. Поскольку удельное сопротивление обедненного слоя намного выше, чем удельные сопротивления нейтральных слоев, то внешнее напряжение практически полностью падает на переходе и изменяет высоту потенциального барьера.
2. В несимметричном переходе инжекция имеет односторонний характер: из эмиттера в базу нагнетаются неосновные для базы носители заряда.

## Выводы

- Дрейфовый ток несимметричного перехода создается преимущественно неосновными носителями заряда базы, т.е. преобладает экстракция неосновных носителей заряда из базы.