

НИУ МЭИ
Кафедра Полупроводниковой электроники



Дисциплина:
Полупроводниковые СВЧ приборы

Тема 7.
Диоды Ганна

Рис. 40 в

История открытия

(диод с междолинным переходом электронов, МЭП-диод;
TED – Transferred-Electron Device)

Идею получения отрицательной дифференциальной проводимости предложили **Ридли и Уоткинс** в 1961 г.

Генерацию СВЧ колебаний в образце GaAs наблюдал **Ганн** в 1963 г.

Связь наблюдаемого явления с предложенной ранее моделью установил **Кремер** в 1964 г.

После работы Кремера новые приборы начали бурно развиваться

Рис. 40 г

Зонная структура GaAs

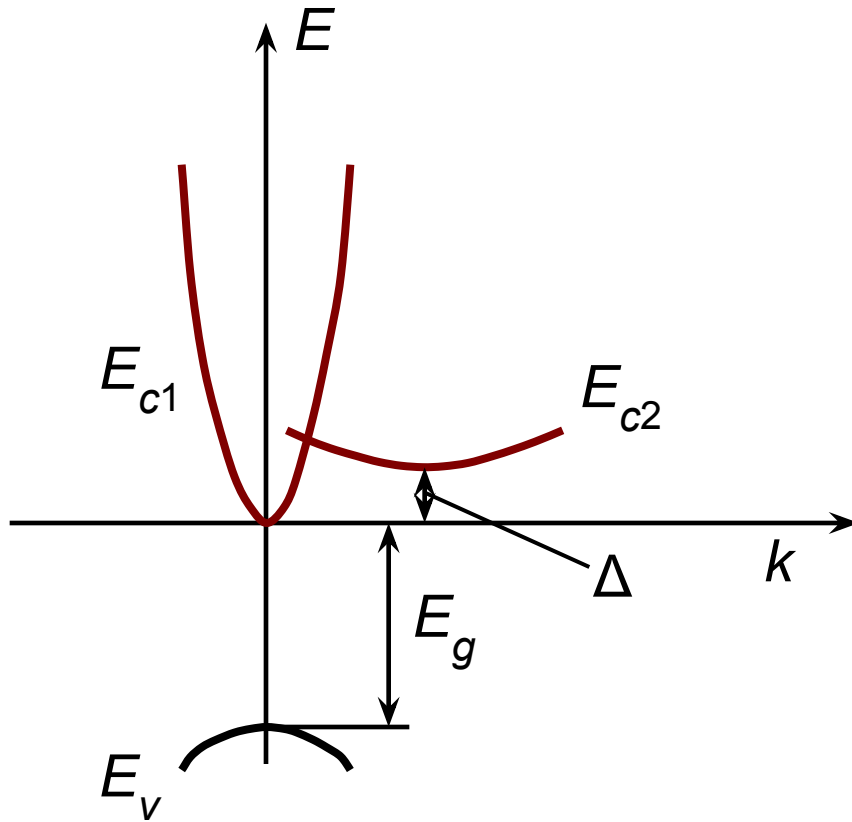


Рис. 41 а

$T = 300 \text{ K}$; Образец n -типа

$$E_g \approx 1,45 \text{ эВ}; \quad \Delta \approx 0,36 \text{ эВ}$$

$$\mu_1 = 8000 \text{ см}^2/(\text{В с}); \quad \mu_2 = 180 \text{ см}^2/(\text{В с})$$

$$m_1^* = 0,07 m_0; \quad m_2^* = 1,2 m_0; \quad N_{c1} \ll N_{c2}$$

$$\sigma = q(n_1 \mu_1 + n_2 \mu_2) = q n_0 \bar{\mu}$$

$$\bar{\mu} = \frac{n_1 \mu_1 + n_2 \mu_2}{n_0}$$

$$n_1 + n_2 = n_0(T) = \text{const}$$

Формирование участка отрицательной диффер. проводимости

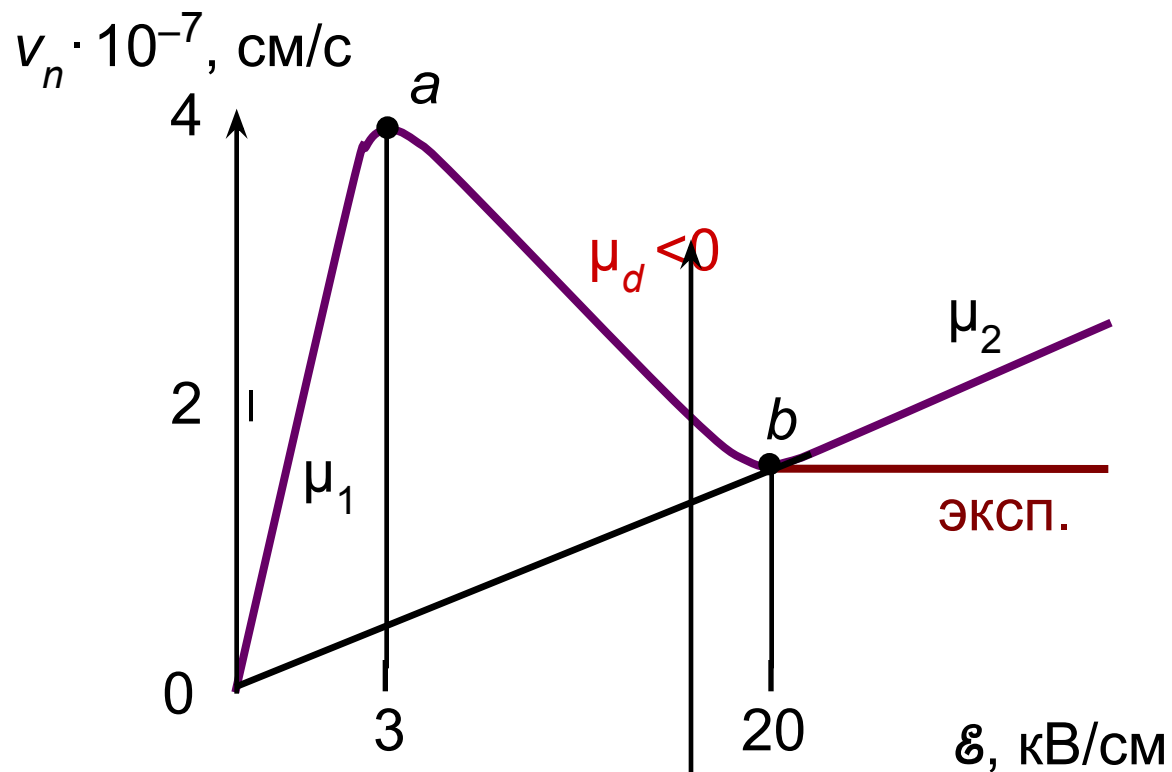


Рис. 416

$$1. E \ll \Delta; n_1 \gg n_2; \bar{\mu} \approx \mu_1$$

$$2. E \gg \Delta; n_2 \gg n_1; \bar{\mu} \approx \mu_2$$

$$3. E \approx \Delta; \mu_d < 0; \sigma_d < 0$$

Для однородного образца

$$I = q n_0 v_n S; U = \mathcal{E} L$$

Кривая отражает ВАХ с участком ОДП

Образование домена сильного поля

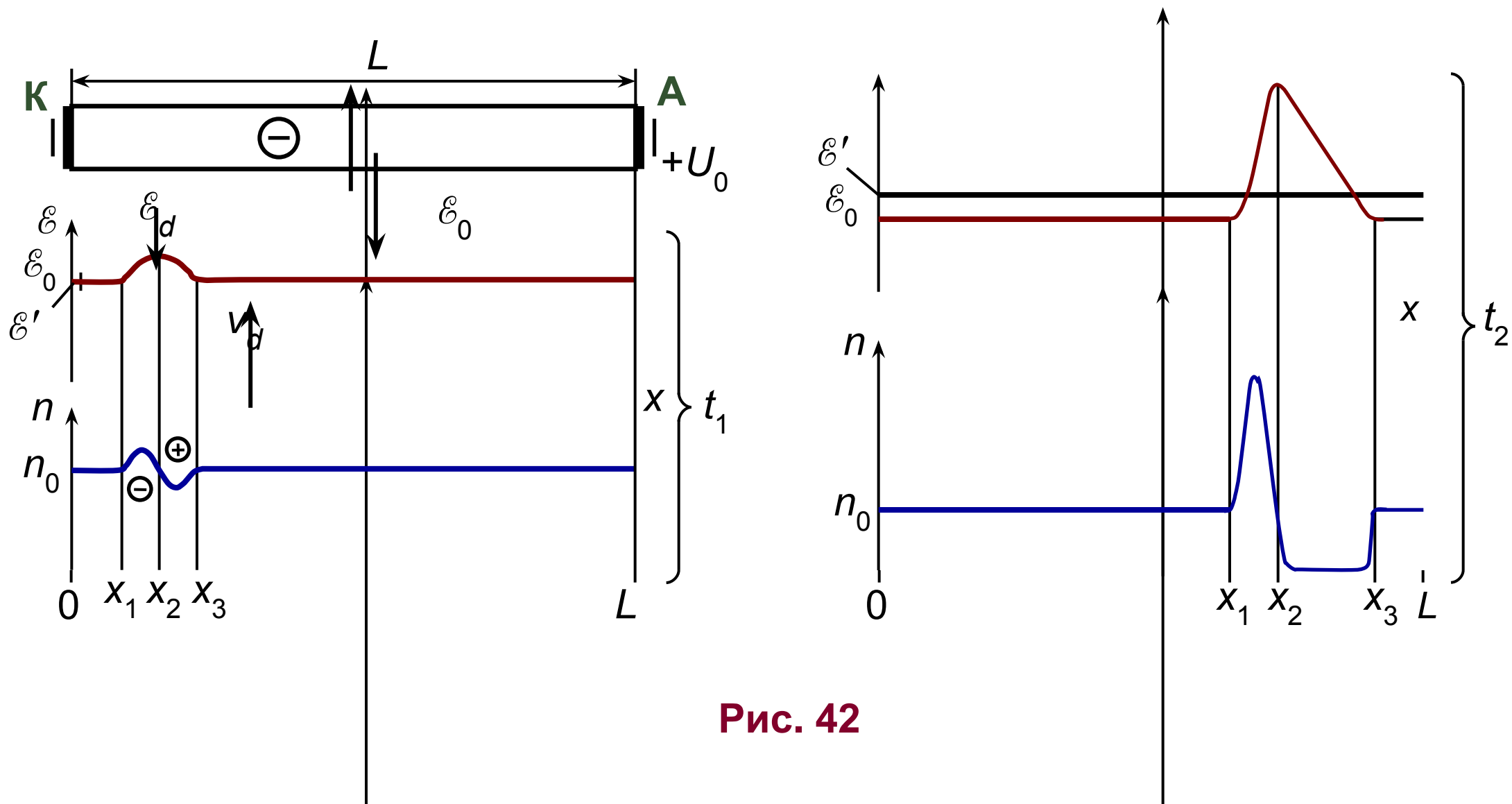
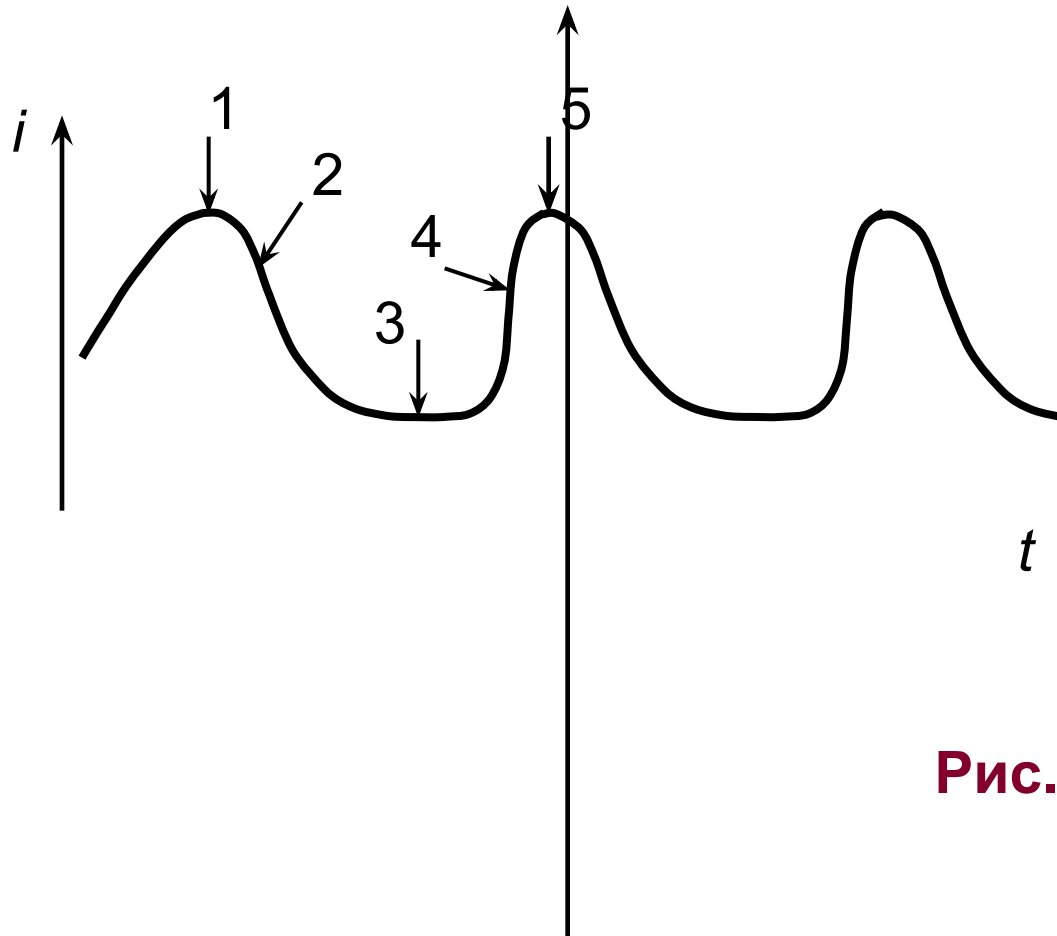


Рис. 42

Флуктуации тока в образце в пролетном режиме

В однородном образце повышаем U_0 до $\mathcal{E}_a \cdot L$ (пунктир)

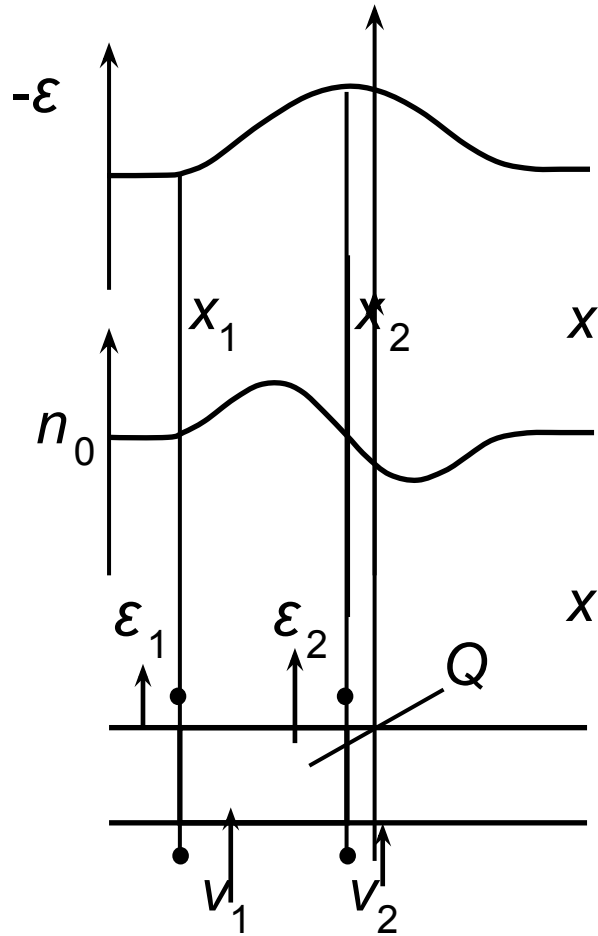


1. Зарождение домена у катода
2. Движение и рост домена
3. Движение стационарн. домена
4. Выход домена в анод
5. Зарождение нового домена

$$T \approx t_{\text{пр}} = \frac{L}{v_d}; \quad f = \frac{v_d}{L}$$

Рис. 43а

Зарождение и рост домена



$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{\rho}{\epsilon \epsilon_0} = -\frac{\rho}{\epsilon_s}$$

$$\epsilon_s \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x_1}^{x_2} = - \int_{x_1}^{x_2} \rho dx$$

$$\epsilon_s (\epsilon_2 - \epsilon_1) = Q'$$

$$\frac{dQ'}{dt} = -qn_0(v_1 - v_2)$$

$$\frac{dQ'}{dt} = -\frac{qn_0}{\epsilon_s} \frac{(v_1 - v_2)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} Q'$$

$$\frac{(v_1 - v_2)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = \mu_d; \quad \frac{qn_0 \mu_d}{\epsilon_s} = \frac{1}{\tau_d}$$

$$\frac{dQ'}{dt} = -\frac{1}{\tau_d} Q'; \quad Q' = Q'(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_d}\right)$$

При $\mu_d < 0$ $\tau_d < 0$

Рис. 436

Характеристика в режиме стационарного домена

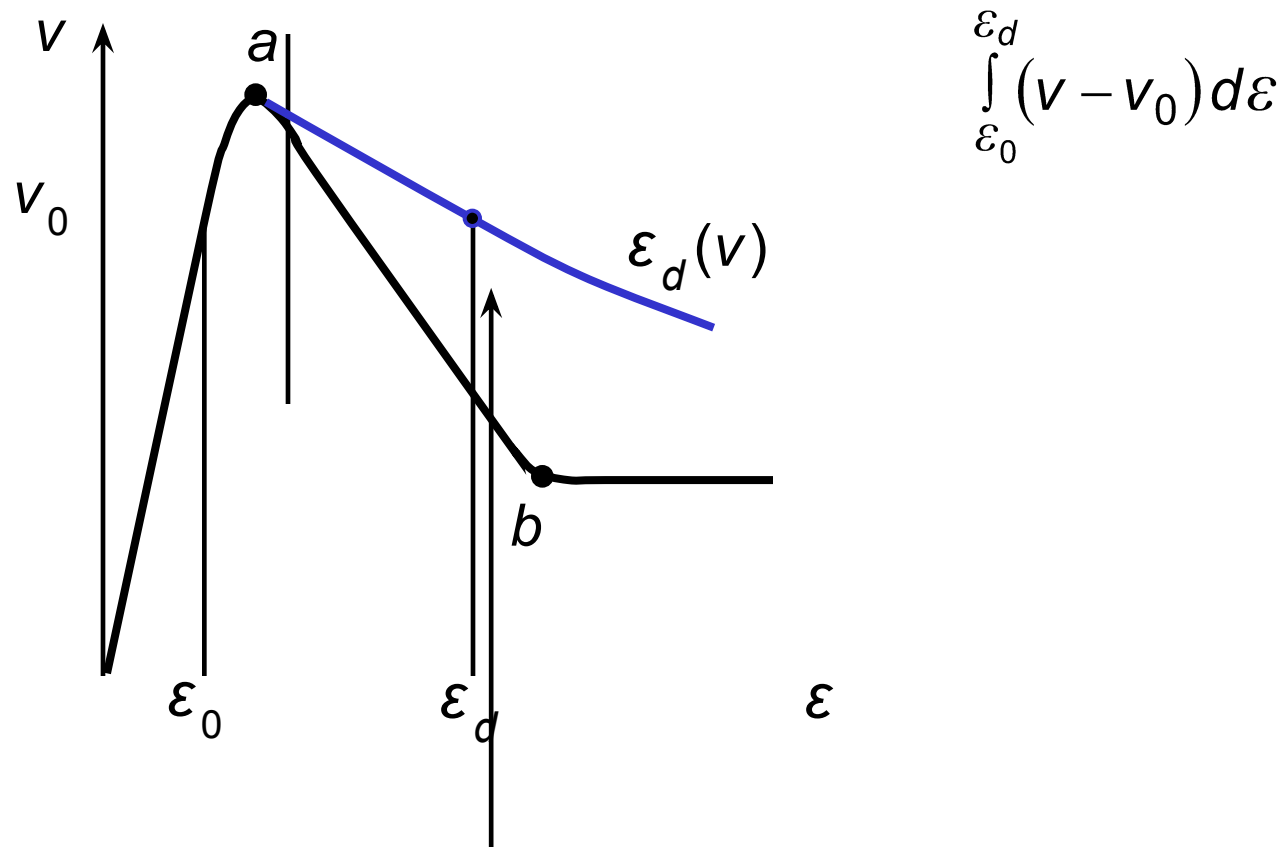


Рис. 44 а

Доменные режимы работы диода Ганна

1. **Пролетный режим.** Изменение U мало; η мал; $\Delta f \approx 0$.
2. **Режим подавления (гашения) домена.** Домен исчезает, не доходя до анода, из-за снижения U . $\eta \leq 15\%$; $\Delta f \approx n\%$.
3. **Режим задержки домена.** Домен исчезает в аноде, но образование следующего задерживается на часть периода. $\eta \leq 30\%$; $\Delta f \approx n\%$.

Для доменных режимов:

$$\tau_d < T; \quad \frac{\varepsilon_s}{qn_0|\mu_d|} < \frac{1}{f}; \quad \frac{n_0}{f} > \frac{\varepsilon_s}{q|\mu_d|} \approx 10^5 \frac{\text{с}}{\text{см}^3} \quad \text{для GaAs – низкоомные образцы}$$

$$\varepsilon_d < \varepsilon_{\text{пр}} \text{ при } \varepsilon_d \gg \varepsilon_0. \quad T \approx t_{\text{пр}} = \frac{L}{v_d} \quad \text{– перестройка } f \text{ незначительна.}$$

Рис. 44б