

# Лекция 4

## Полевые транзисторы FET (field-effect transistor)

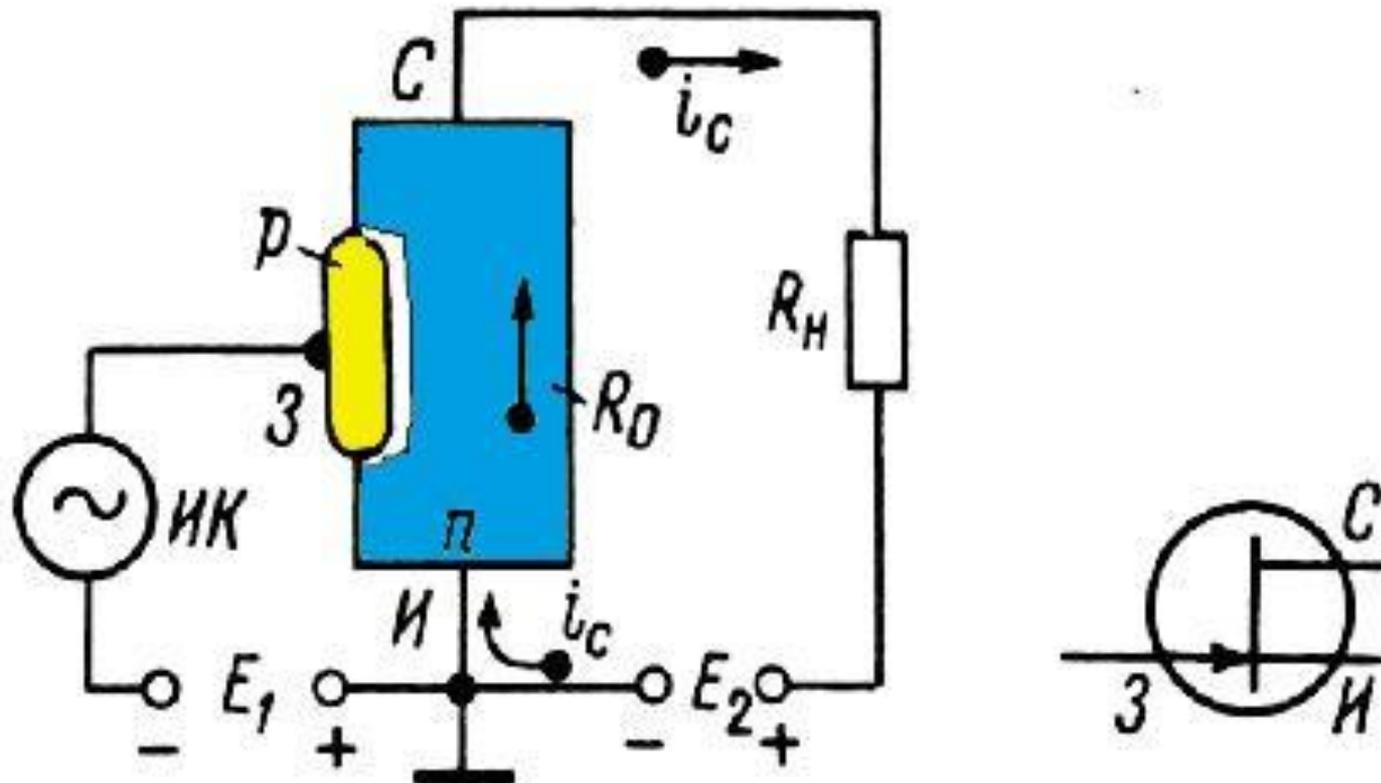
Устройство, принципы работы  
полевых транзисторов  
различных типов

**Чем более мы размышляем, тем более убеждаемся, что  
ничего не знаем.**

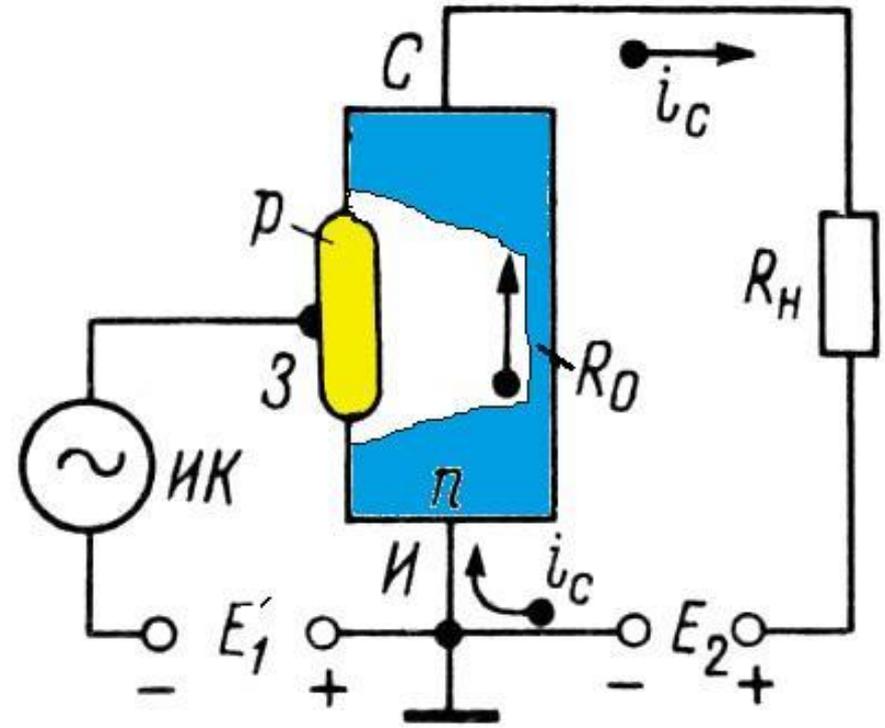
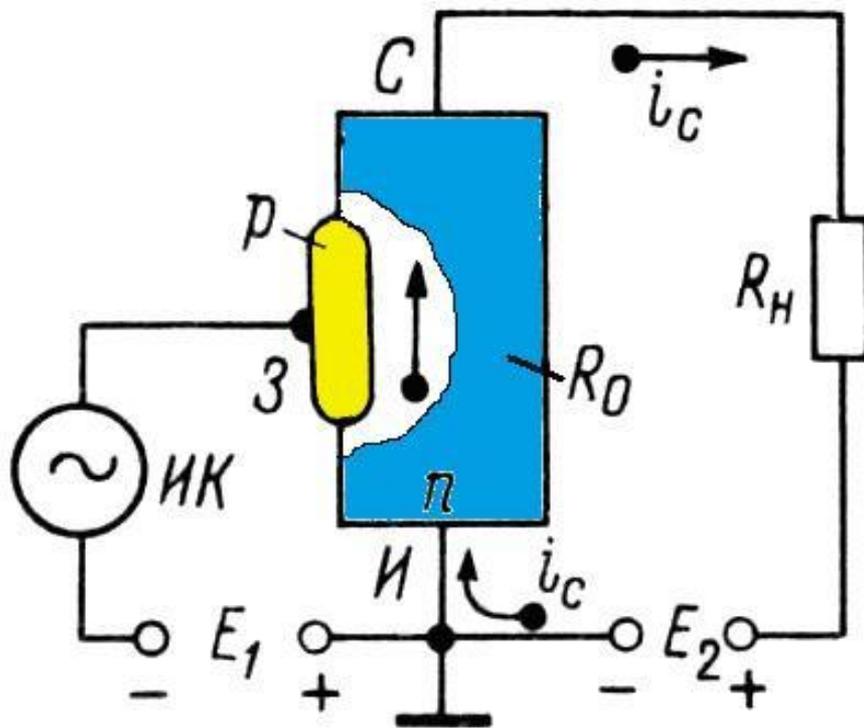
Вольтер



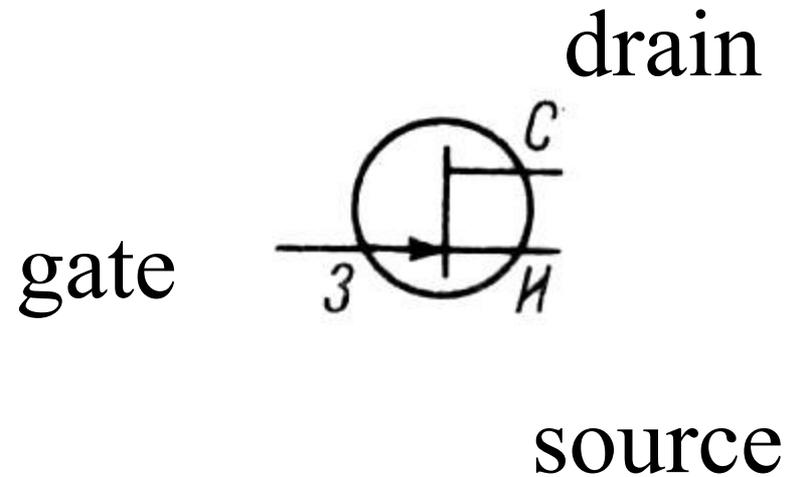
# Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа n-channel junction FET



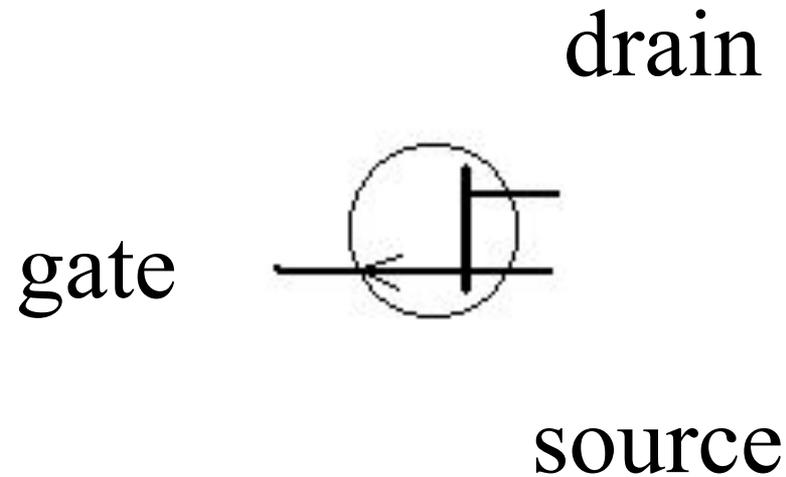
# Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа



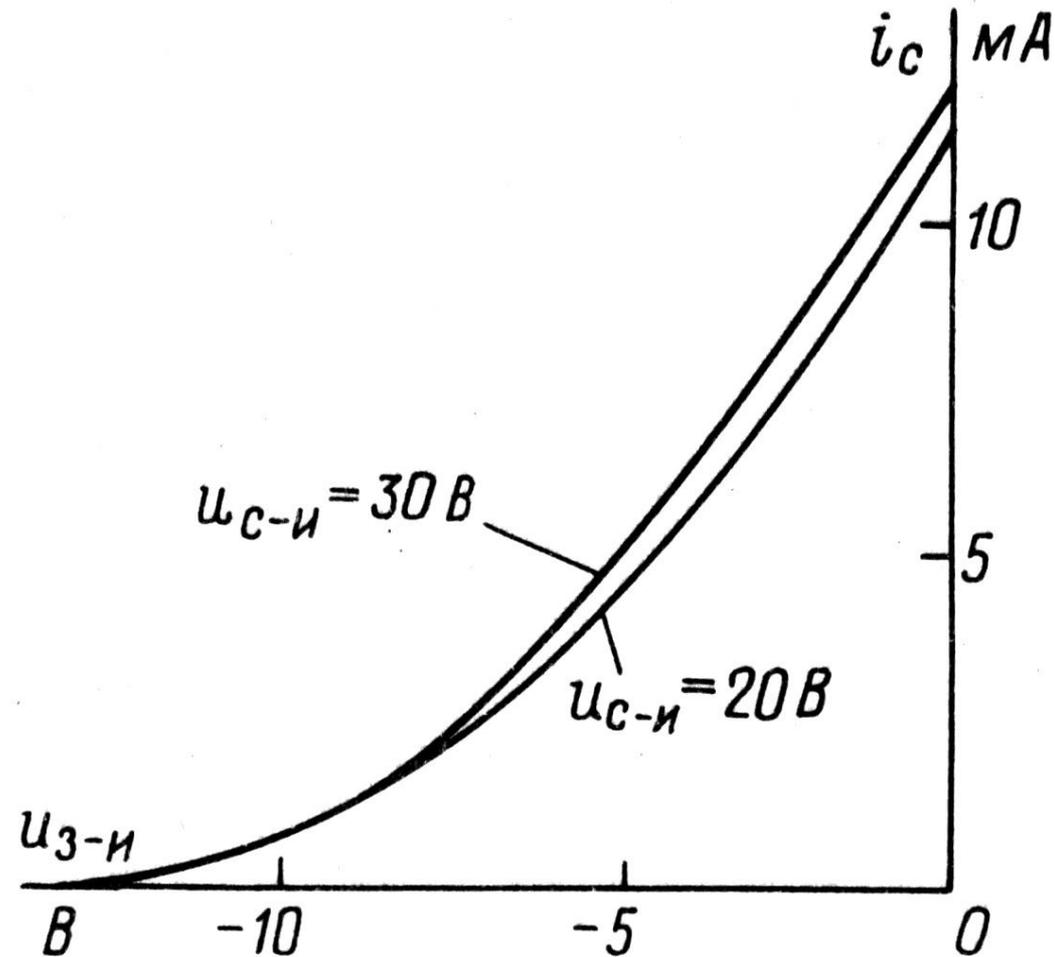
# N-channel FET (electron-conducting )



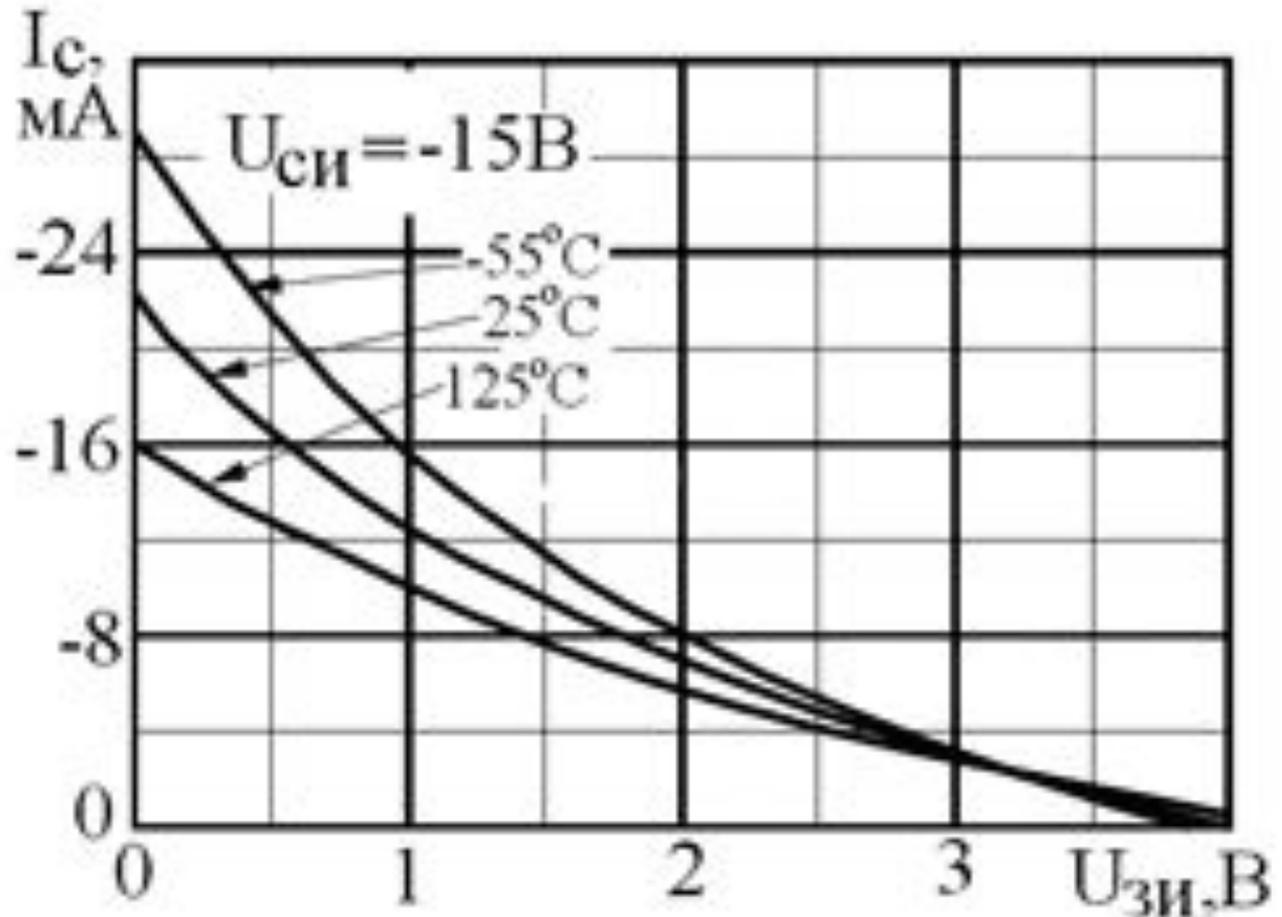
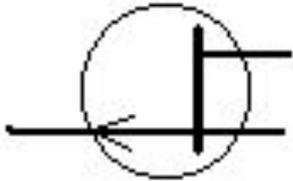
# P-channel FET (hole-conducting FET)



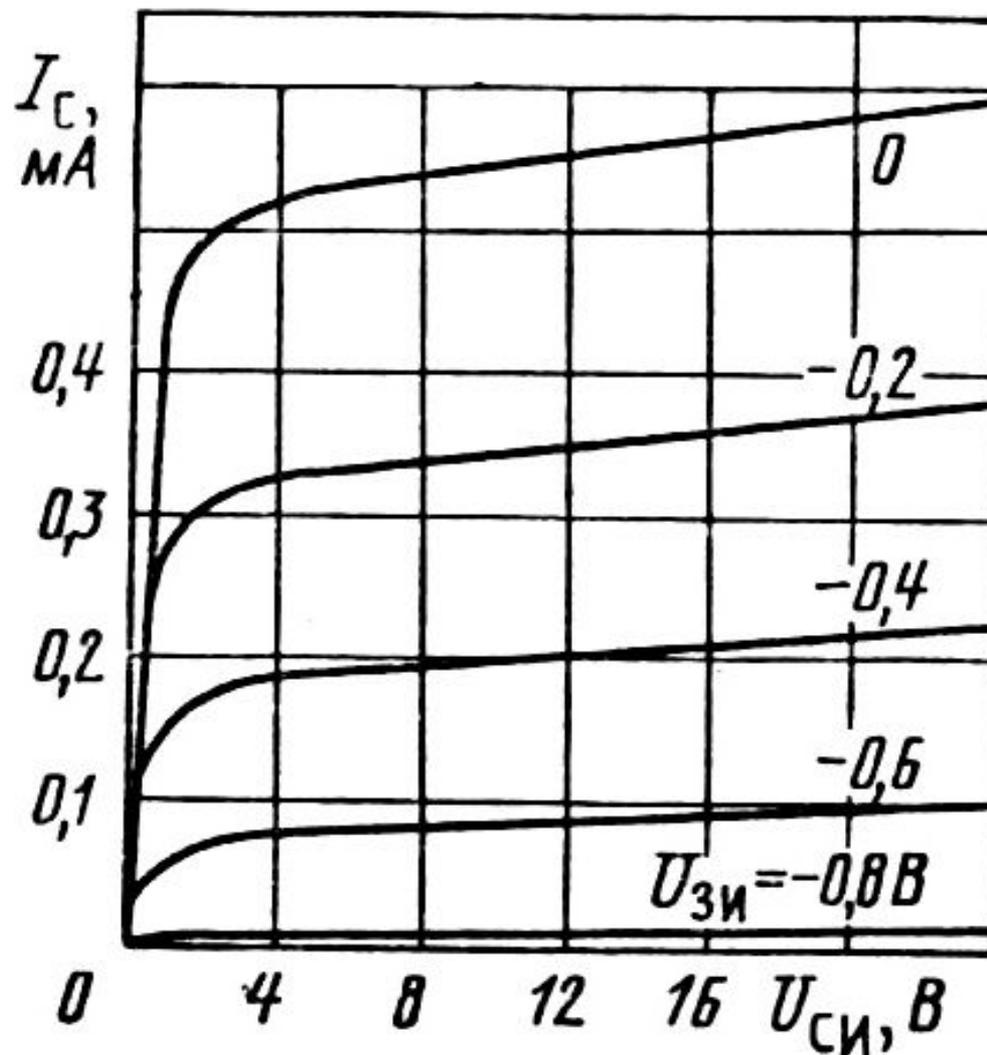
# Управляющие (сток-затворные) характеристики полевого транзистора с каналом n-типа



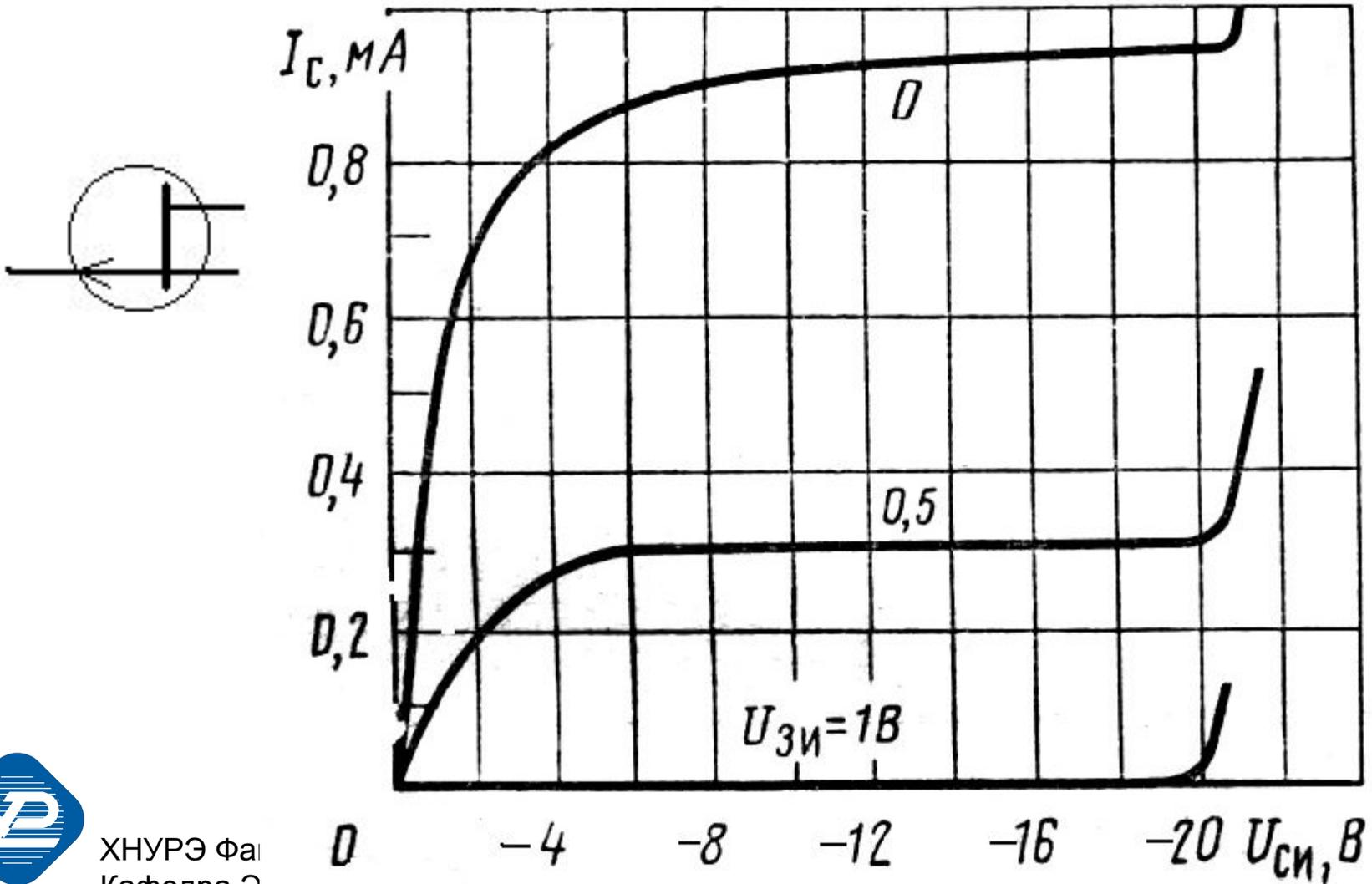
# Управляющие (сток-затворные) характеристики полевого транзистора с каналом р-типа



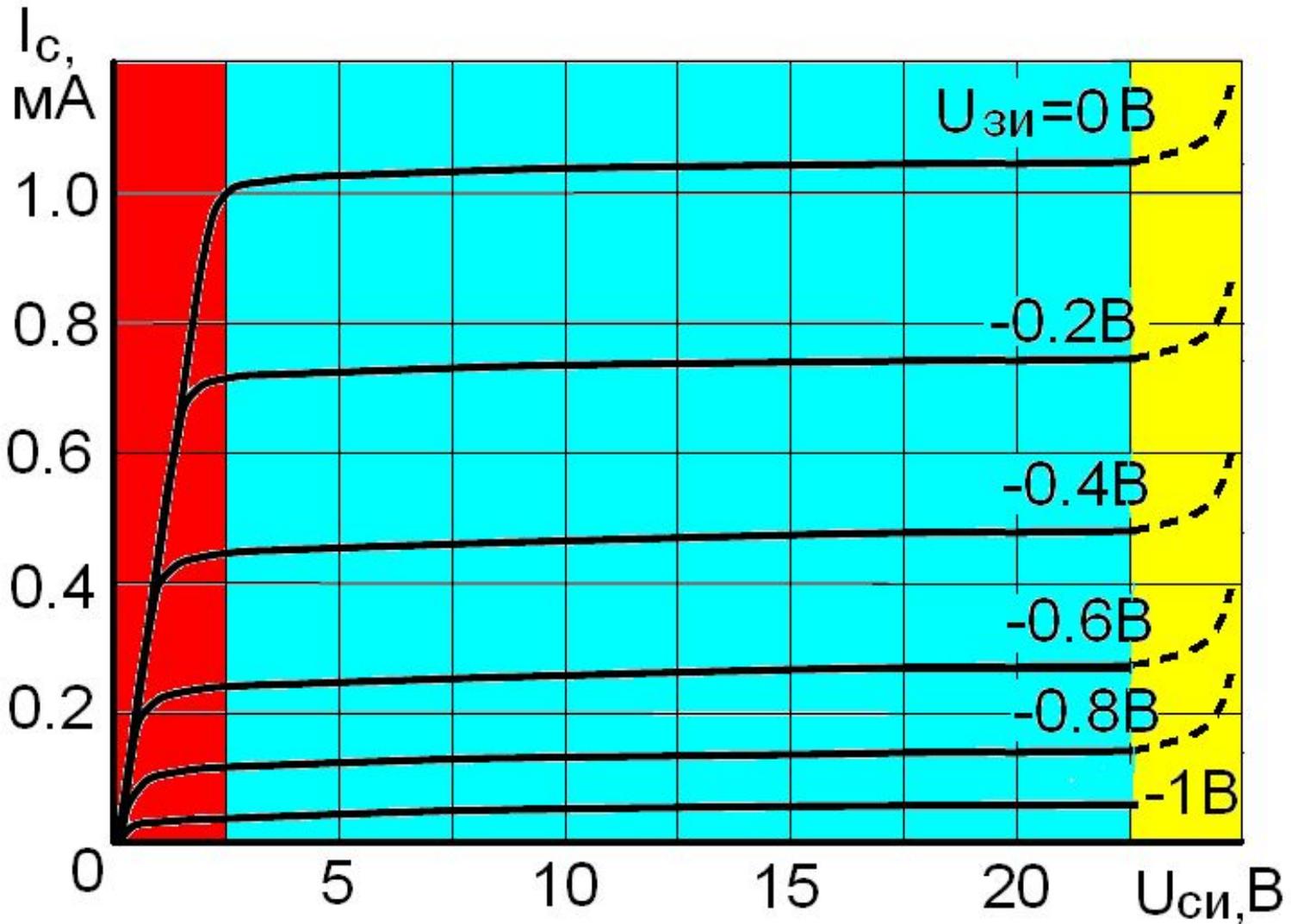
# Выходные (стоковые) характеристики полевого транзистора с каналом n-типа



# Выходные (стоковые) характеристики полевых транзистора с каналом р-типа



## Участки выходной характеристики



Пологая область характеристики

$$I_c = I_{c_{нач}} \left(1 - U_{3И} / U_{3Иотс}\right)^2$$

$$U_{СИнас} = |U_{3Иотс}| - |U_{3И}|$$

$$S = dI_c / dU_{3И} \quad \text{при } U_{СИ} = \text{const}$$

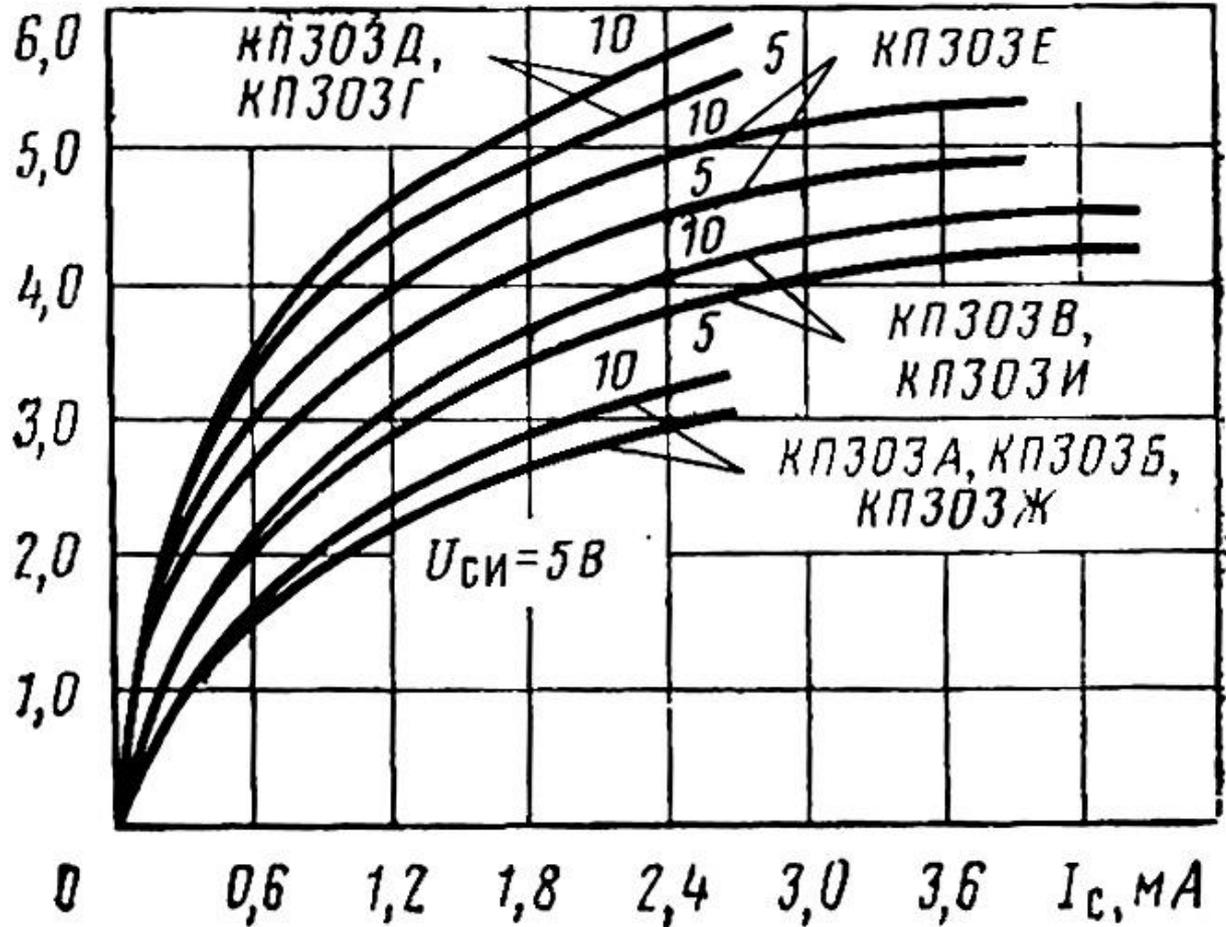
$$S_{нач} = 2I_{c_{нач}} / U_{3Иотс} \quad \text{при } U_{3И} = 0$$

$$S = S_{нач} \left(1 - U_{3И} / U_{3Иотс}\right)$$



# Крутизна характеристики транзистора с каналом n-типа

$S, \text{mA/V}$



# **Полевые транзисторы с изолированным затвором ( insulated-gate FET)**

**МДП-транзисторы**

**(металл-диэлектрик-полупроводник)**

**metal-insulator-semiconductor transistor**

**(MIS insulated-gate transistor)**

**МОП-транзисторы**

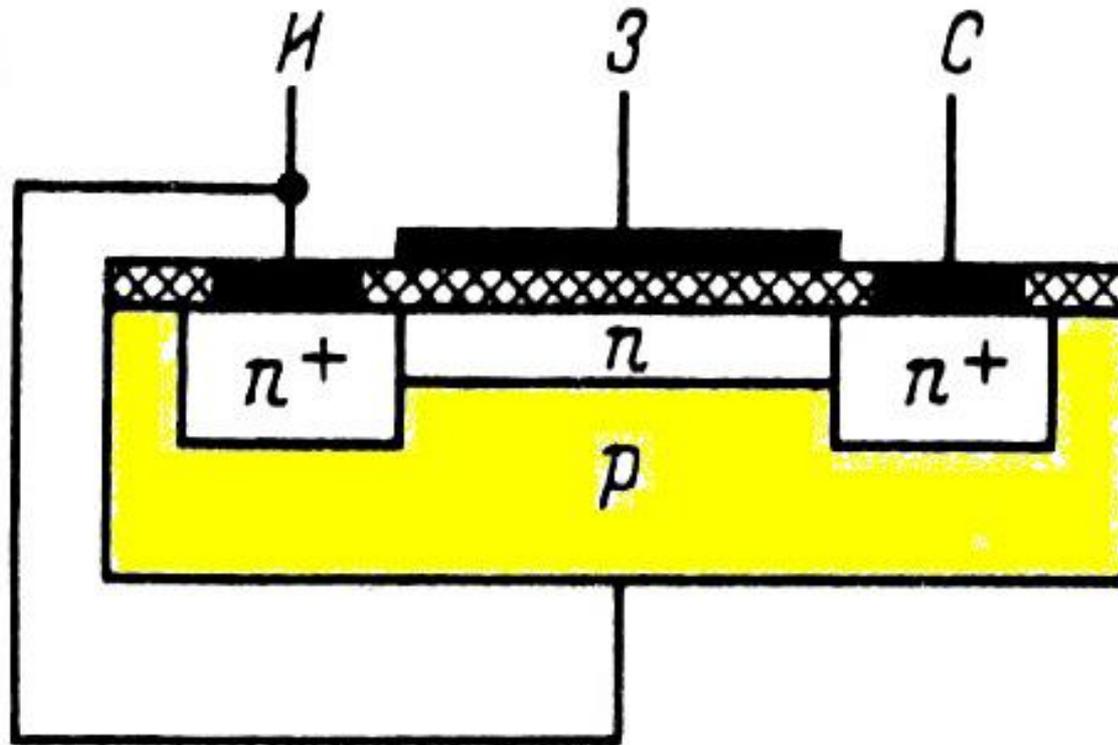
**(металл-оксид-полупроводник)**

**metal-oxide-semiconductor MOS**

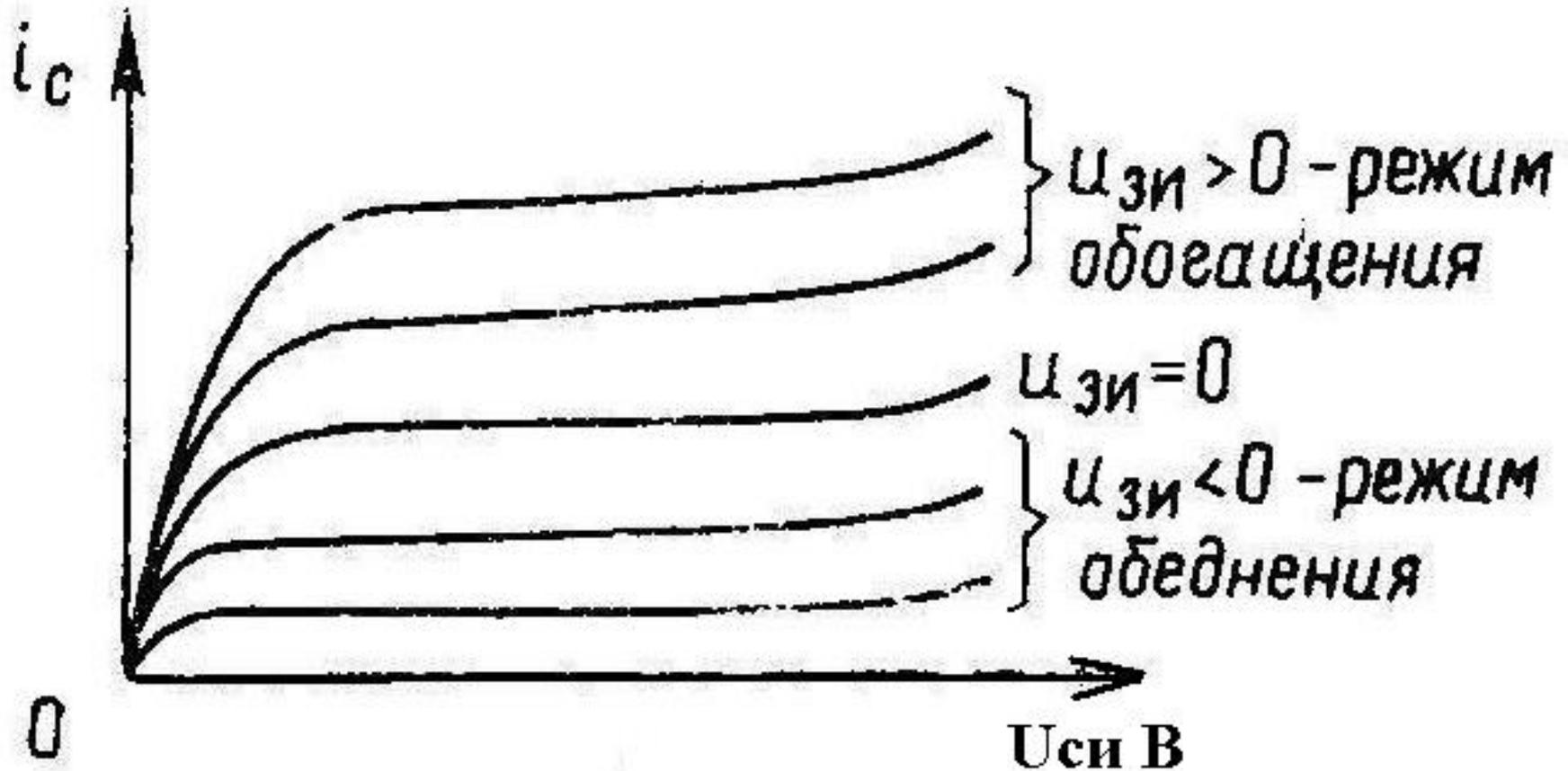
**(MOS insulated transistor)**



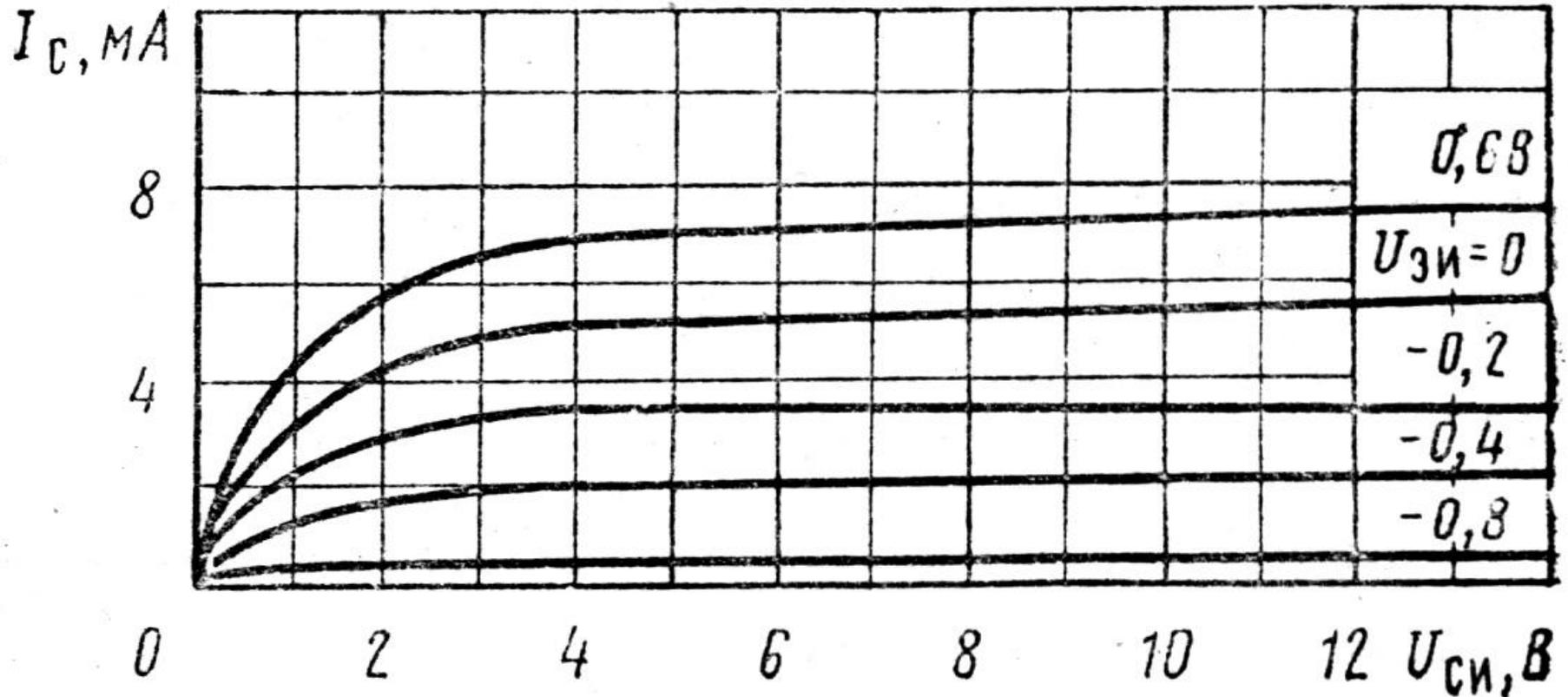
# МДП-транзистор с встроенным каналом n-типа



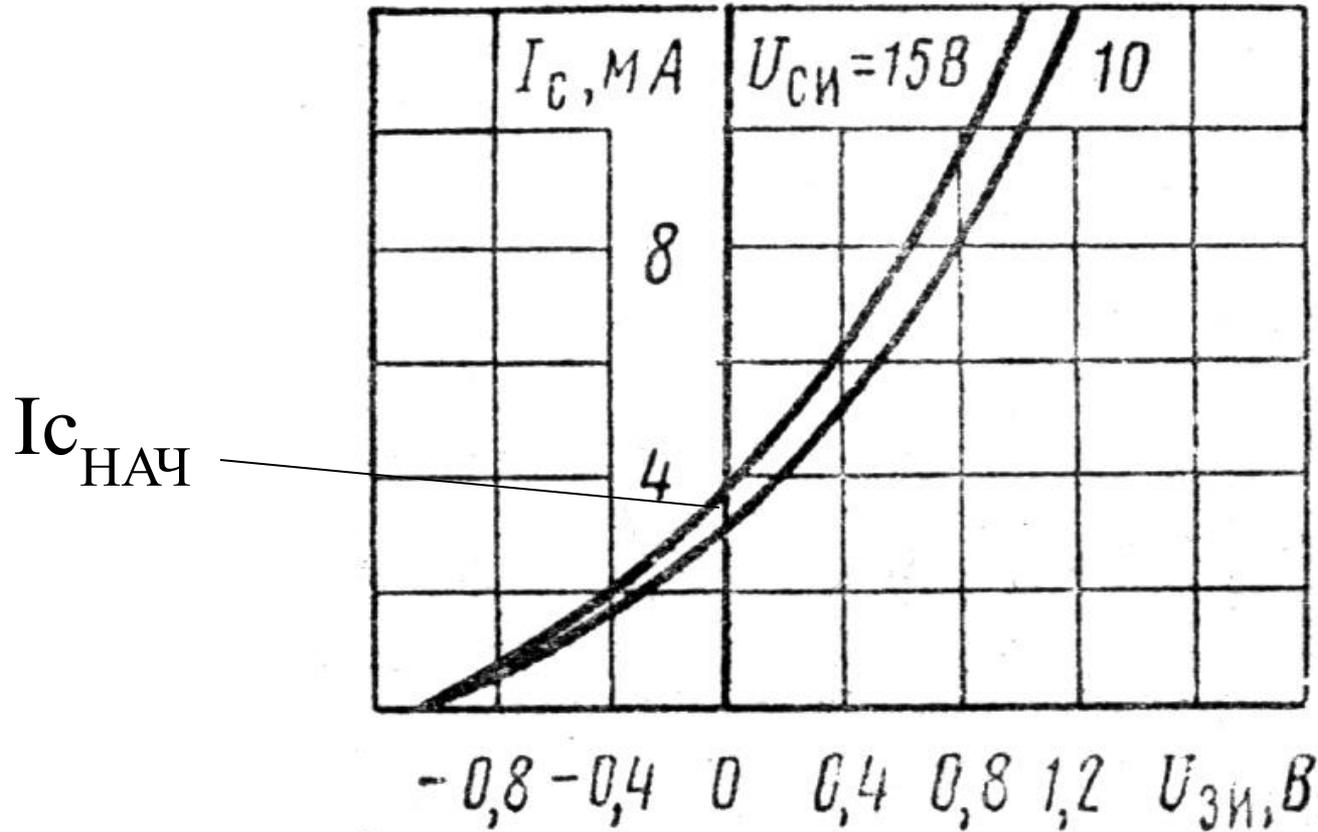
# Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



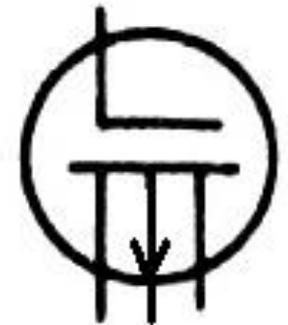
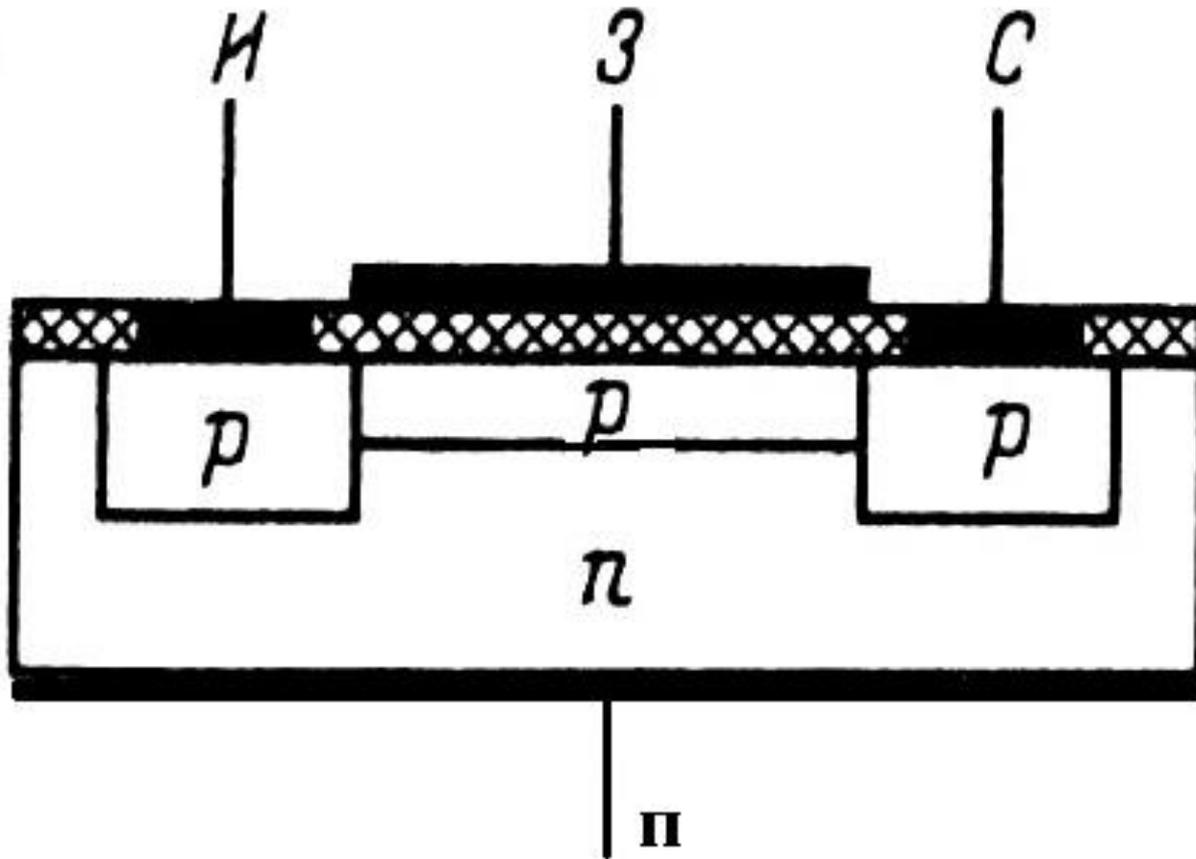
# Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



# Характеристика управления МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



# МДП-транзистор с встроенным каналом р-типа



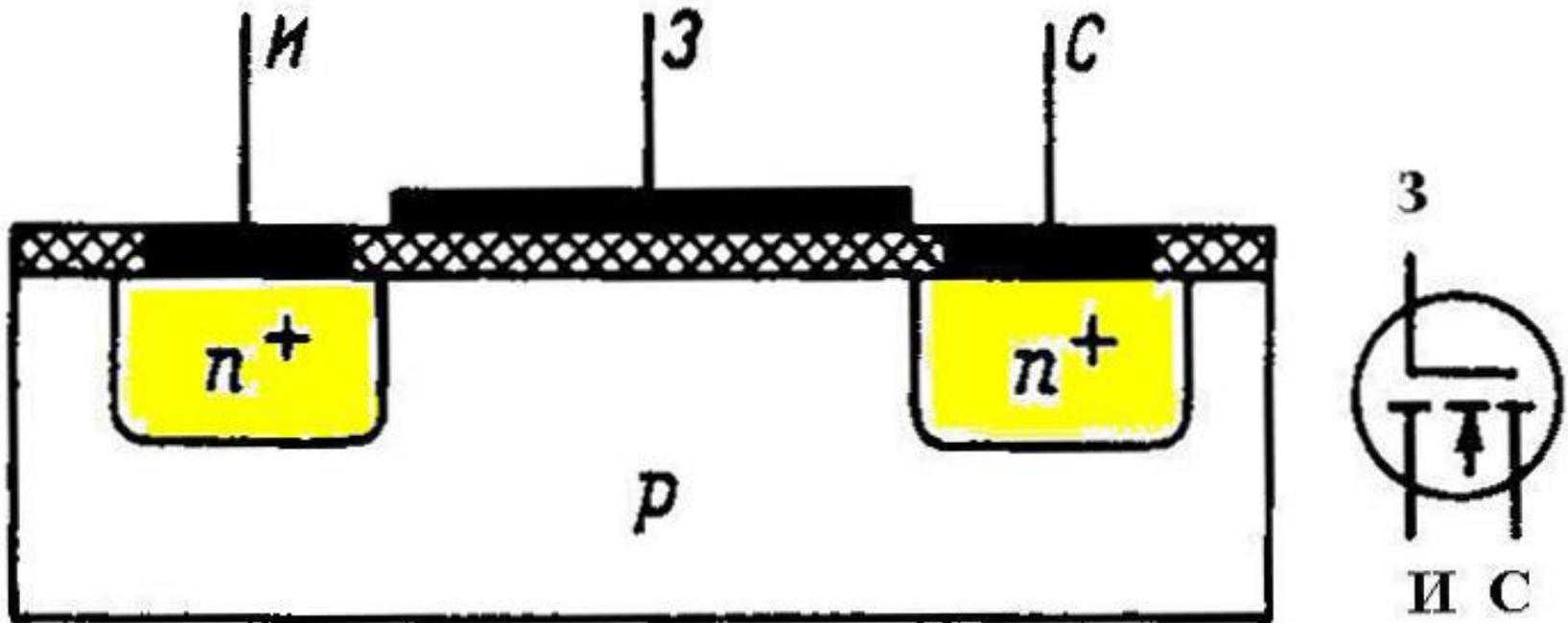
# Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом р-типа



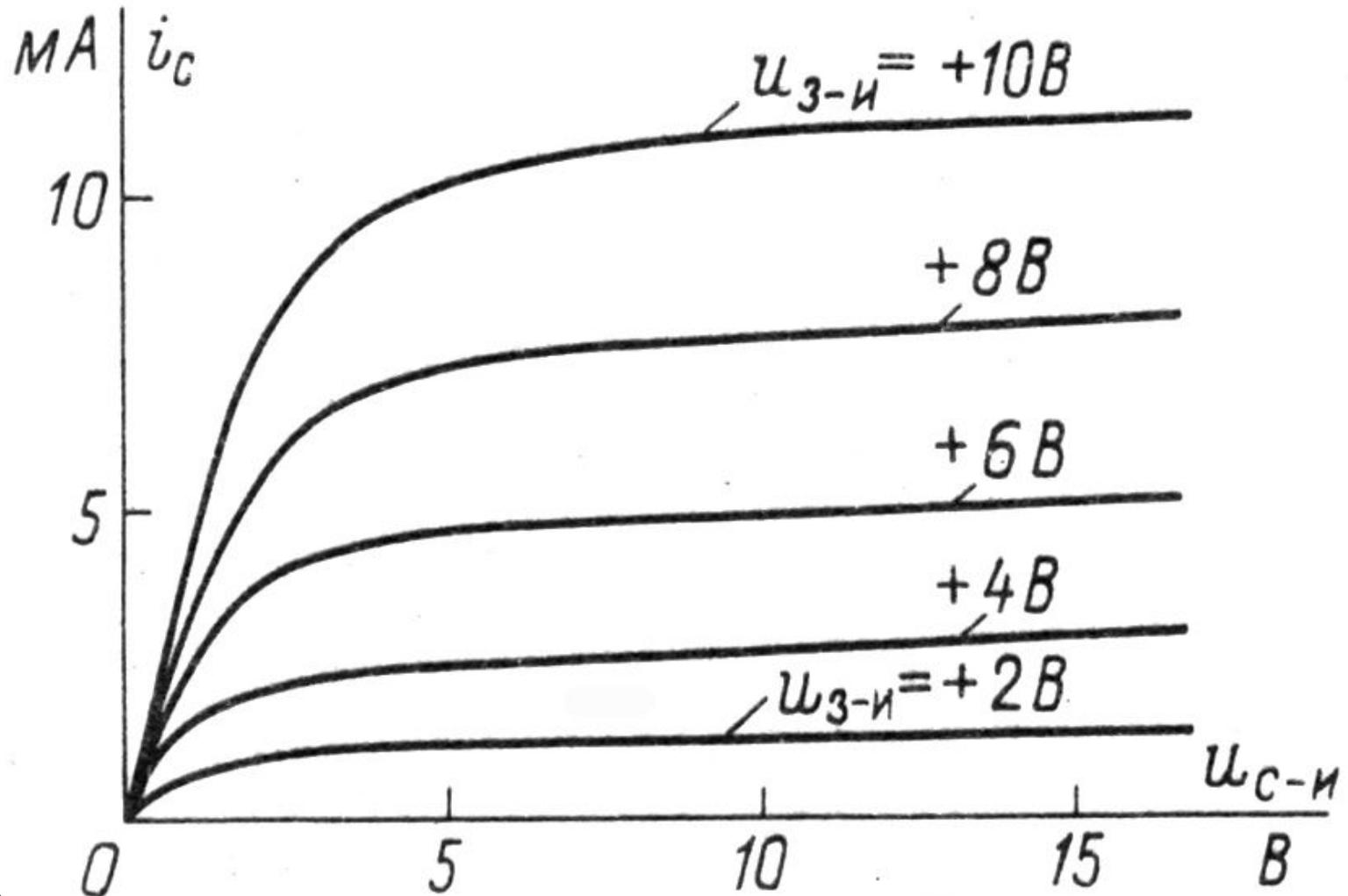
# Характеристика управления МДП-транзистора с встроенным каналом р-типа



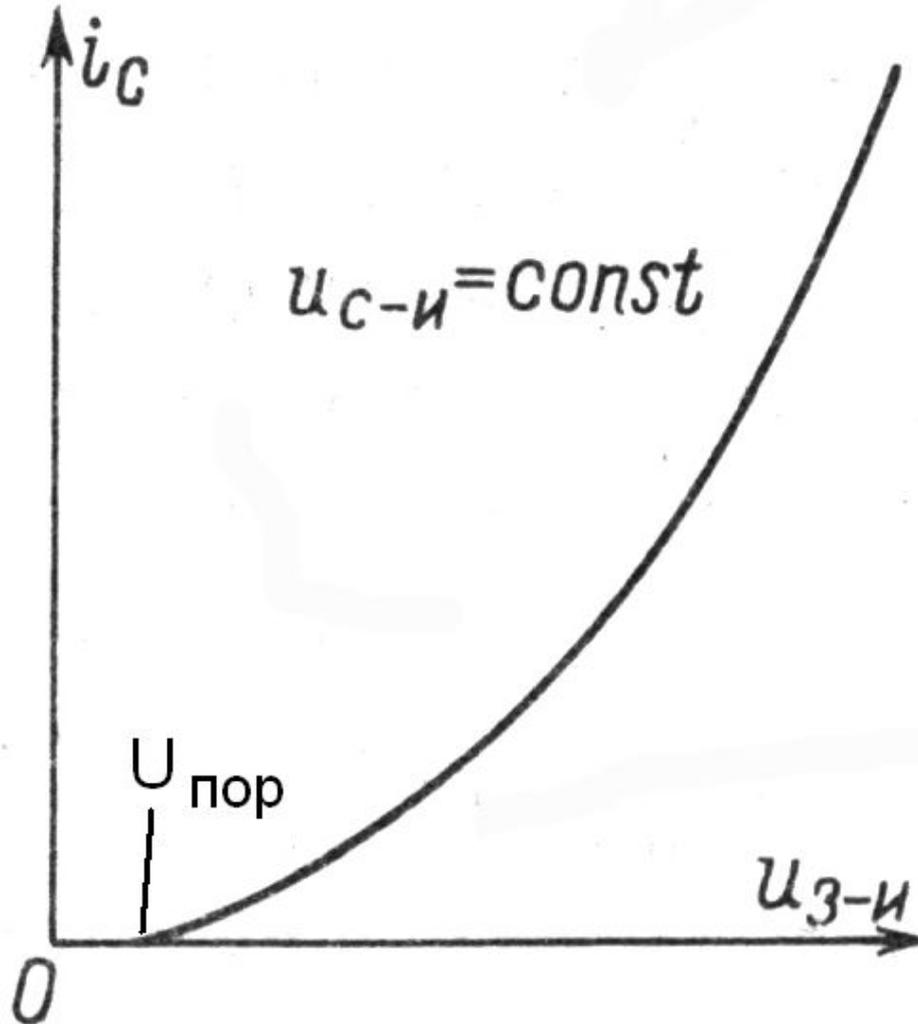
# Полевой транзистор с индуцированным каналом n-типа Induced-channel FET



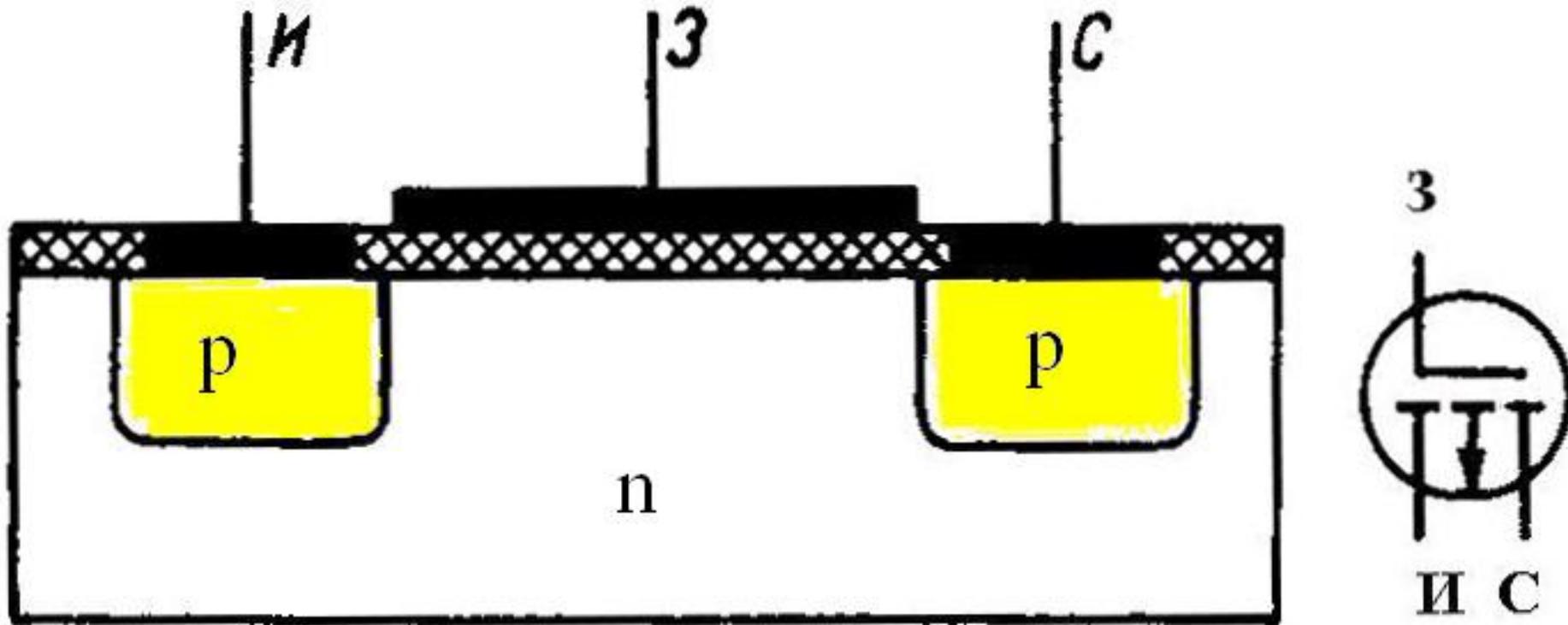
# Выходные характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа



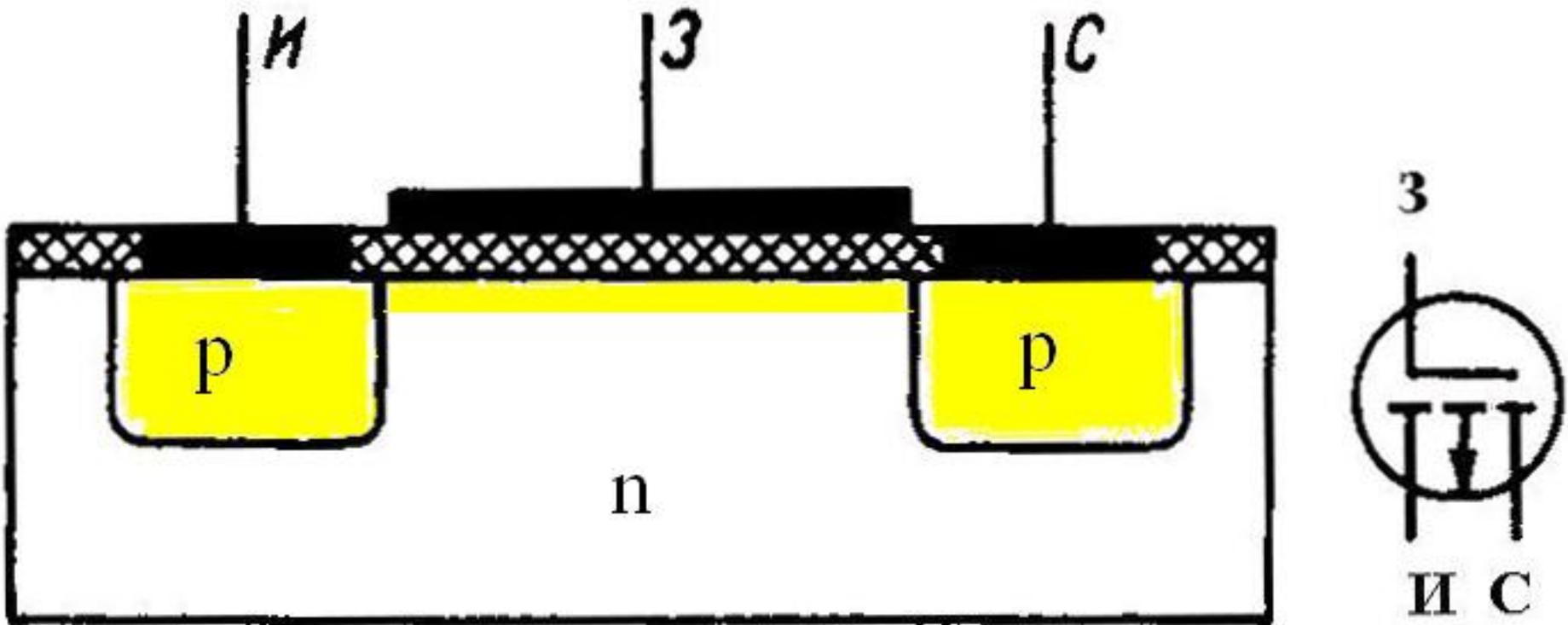
# Характеристика управления МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа



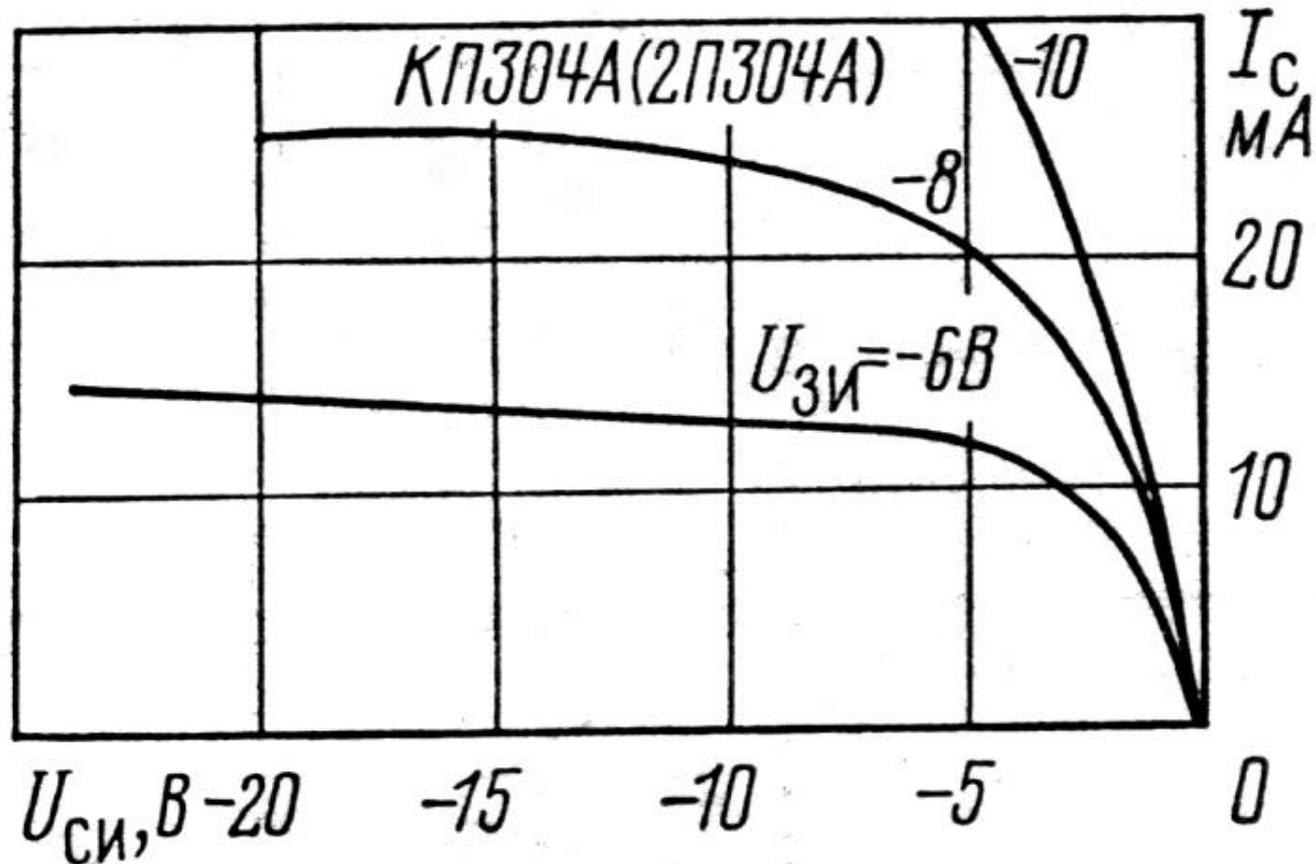
# Полевой транзистор с индуцированным каналом р-типа



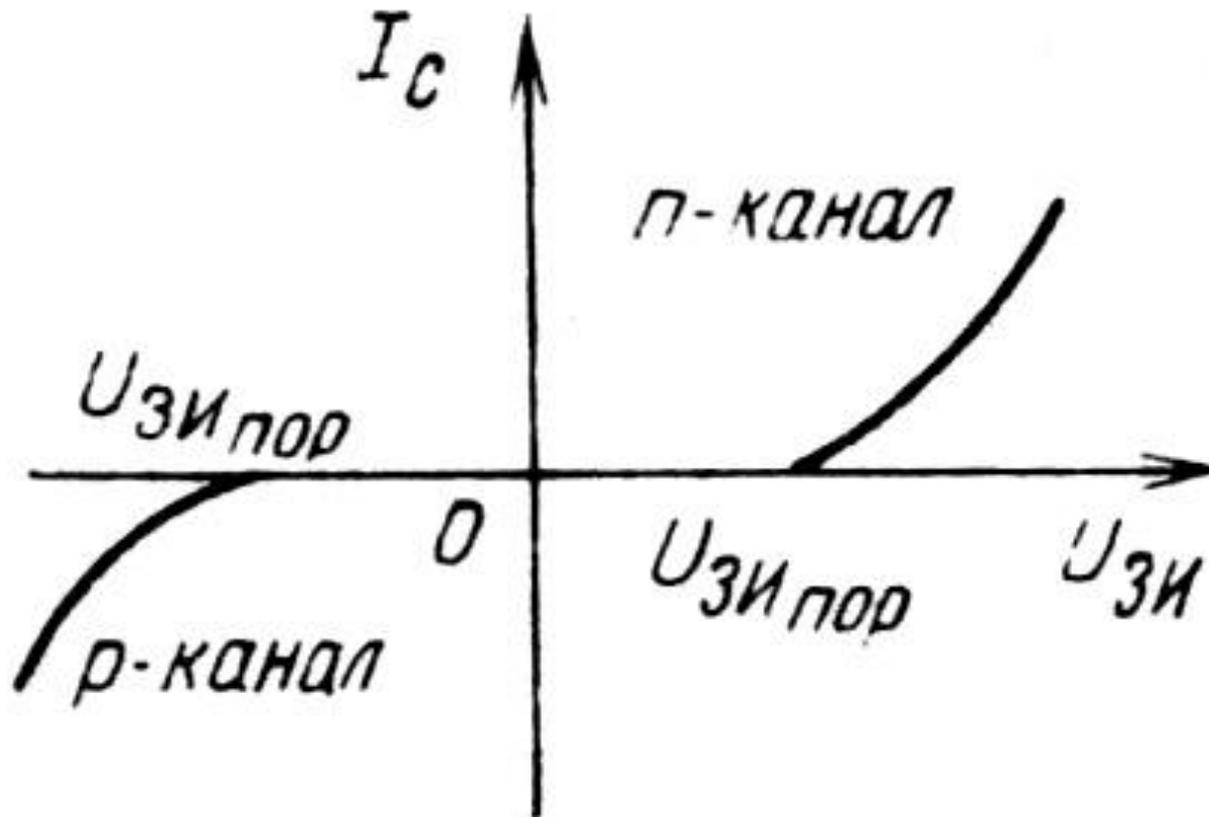
# Полевой транзистор с индуцированным каналом р-типа



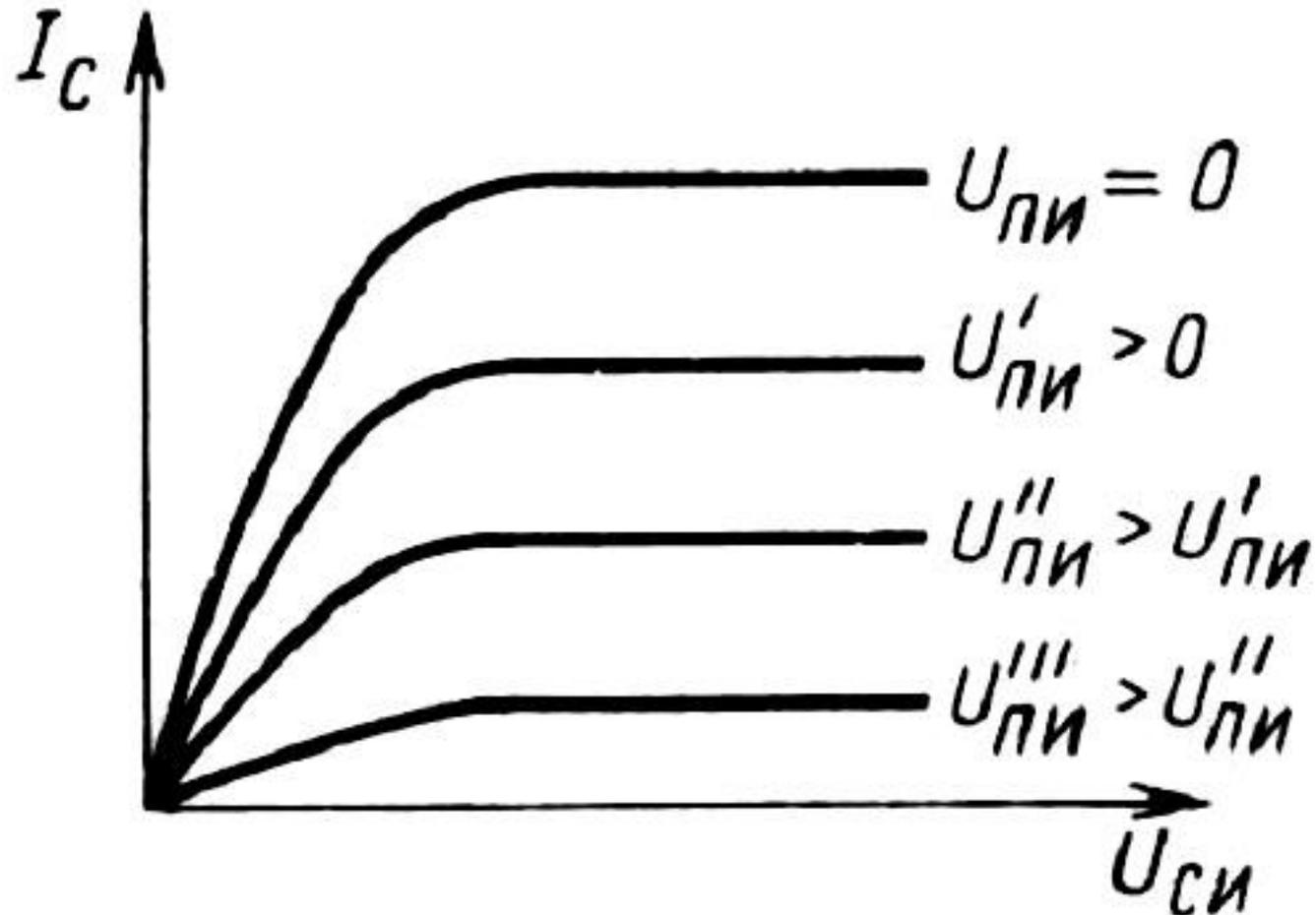
# Выходные характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом р-типа



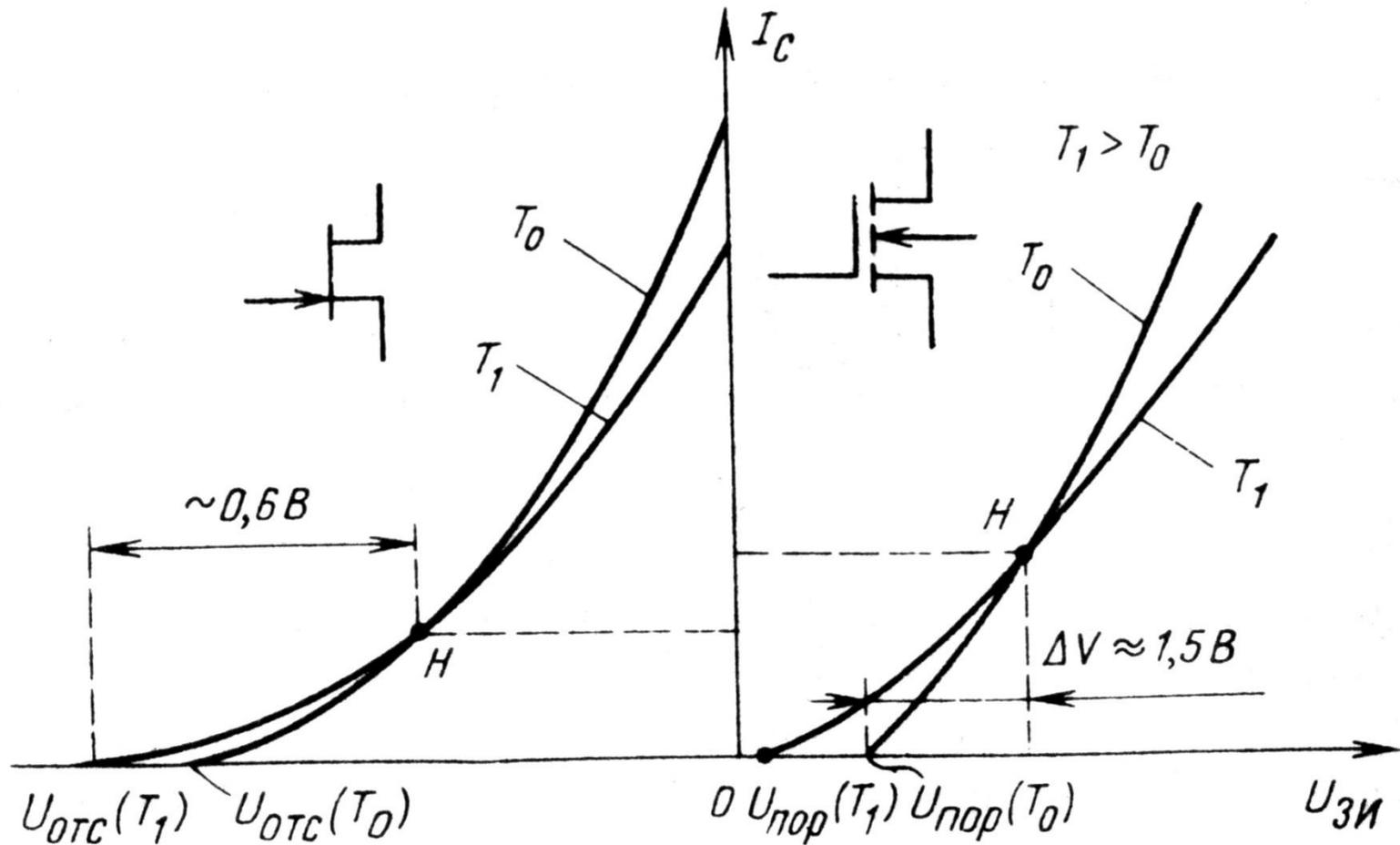
# Характеристики управления МДП-транзистора с индуцированным каналом



# Выходные характеристики МДП-транзистора при различных напряжениях на подложке



## характеристик полевых транзисторов от температуры



# Основные параметры полевых транзисторов

## Крутизна характеристики

$$S = \delta I_C / \delta U_{зи} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$
$$S = 0.1 \div 500 \text{ ma/V}$$

## Крутизна характеристики по подложке

$$S_{\Pi} = \delta I_C / \delta U_{\Pi} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$
$$S_{\Pi} = 0.1 \div 1 \text{ ma/V}$$



# Основные параметры полевых транзисторов

## Дифференциальное выходное (внутреннее $R_i$ ) сопротивление

$$r_{\text{ВЫХ}} = R_i = \delta U_{\text{СИ}} / \delta I_{\text{С}} \text{ при } U_{\text{ЗИ}} = \text{const};$$

## Дифференциальное сопротивление участка затвор-сток

$$R_{\text{ЗС}} = \delta U_{\text{ЗС}} / \delta I_{\text{С}}.$$

## Максимальная рабочая частота $f_{\text{max}}$

## Начальный ток стока $I_{\text{С.нач}}$

## Напряжение отсечки $U_{\text{отс}}$



# Основные параметры полевых транзисторов

Входная емкость  $C_{вх}$

Сопротивление сток-исток в открытом состоянии  $R_{си}$

Ток утечки затвора  $I_{ут}$

Пороговое напряжение  $U_{пор}$



# Предельные эксплуатационные параметры

Напряжение сток-исток  $U_{си}$

Напряжение затвор-исток  $U_{зи}$

Напряжение затвор-сток  $U_{зс}$

Температурный диапазон

Постоянный ток стока  $I_{ст.max}$

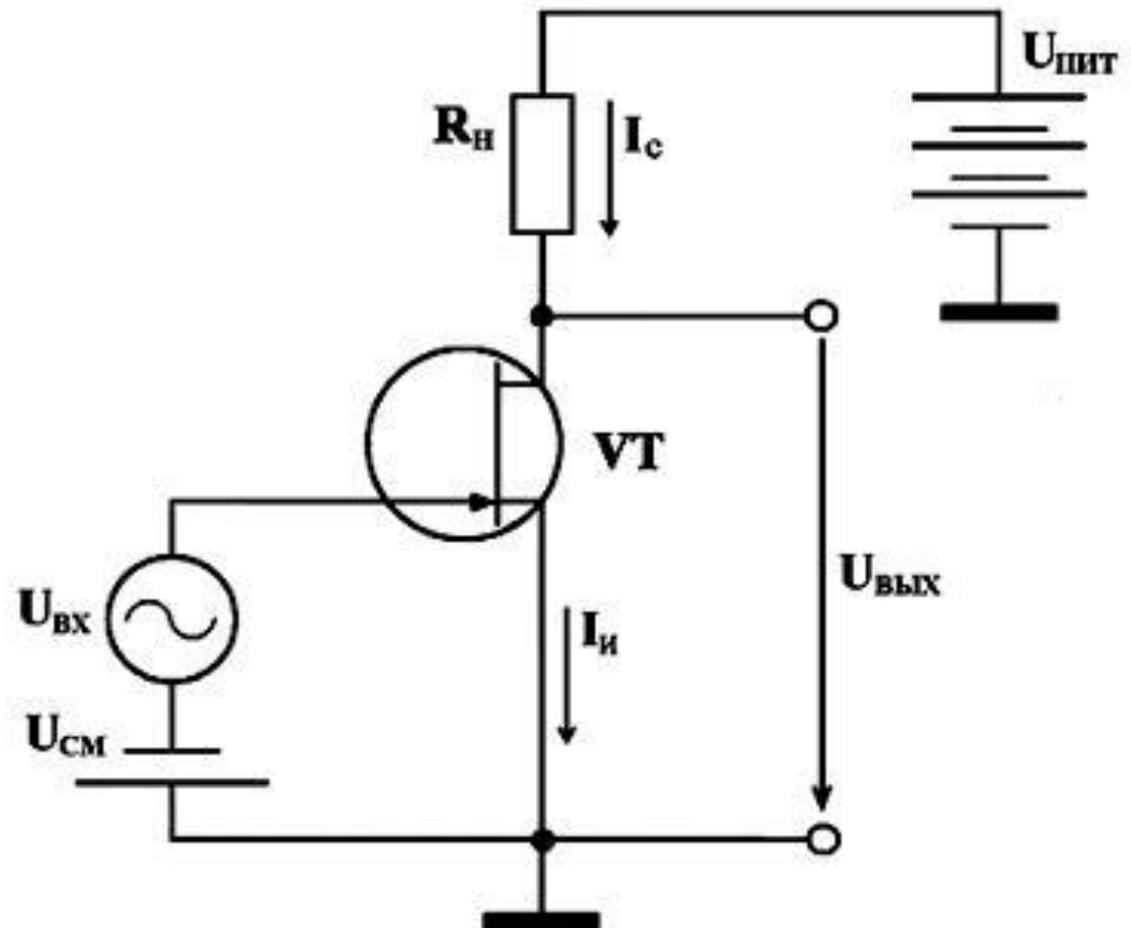


# Схемы включения полевых транзисторов С общим истоком (ОИ)

$$U_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{C}} R_{\text{C}}$$

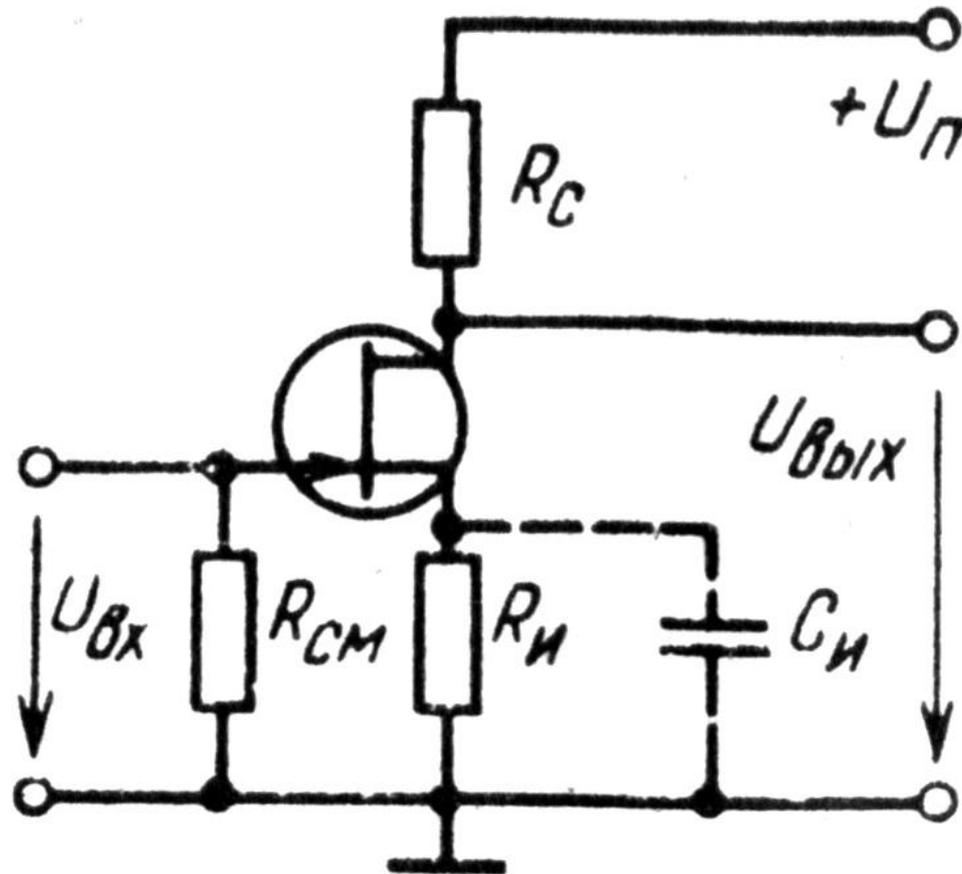
$$K_{\text{U}} = S R_{\text{C}}$$

$$R_{\text{ВЫХ}} \approx R_{\text{C}}$$



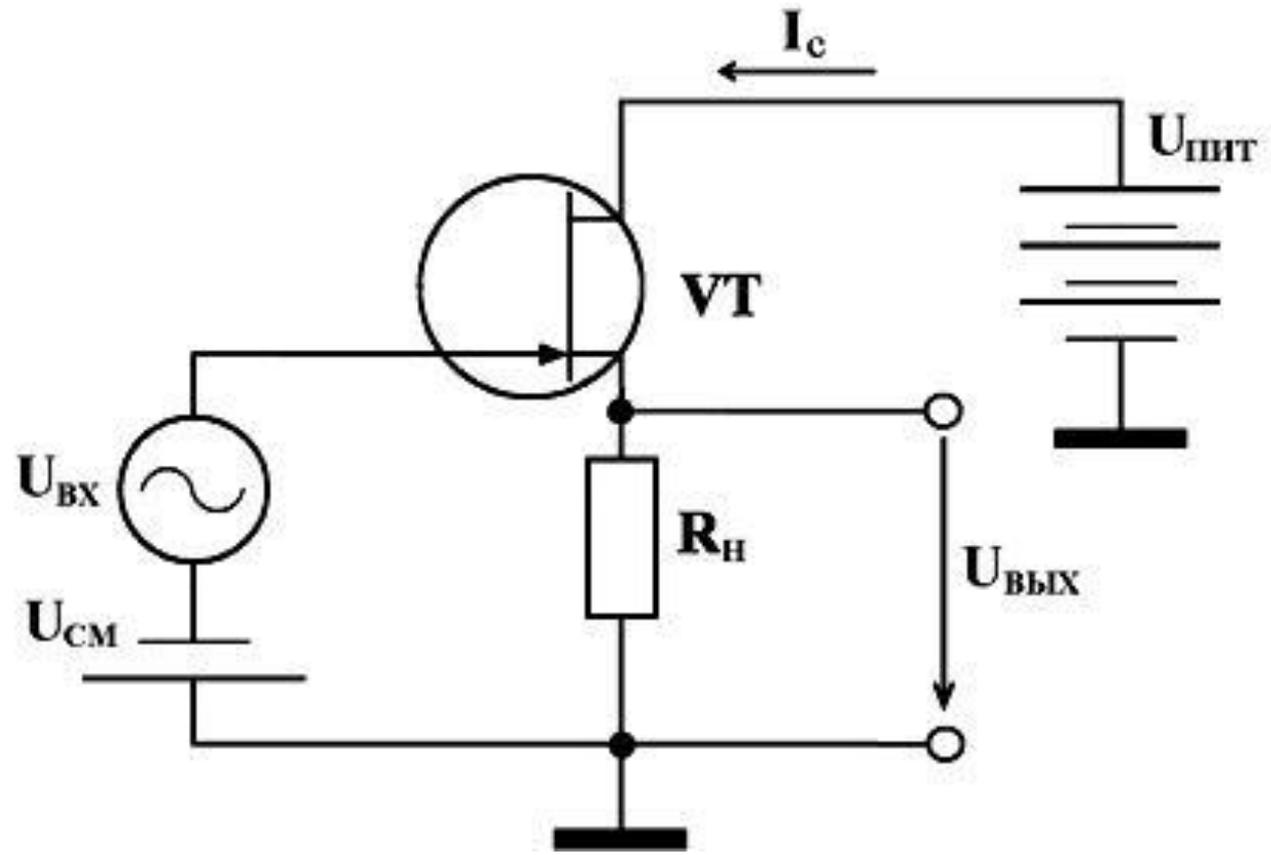
# Схемы включения полевых транзисторов С общим истоком (ОИ)

$$R_{BX} \approx R_{CM}$$



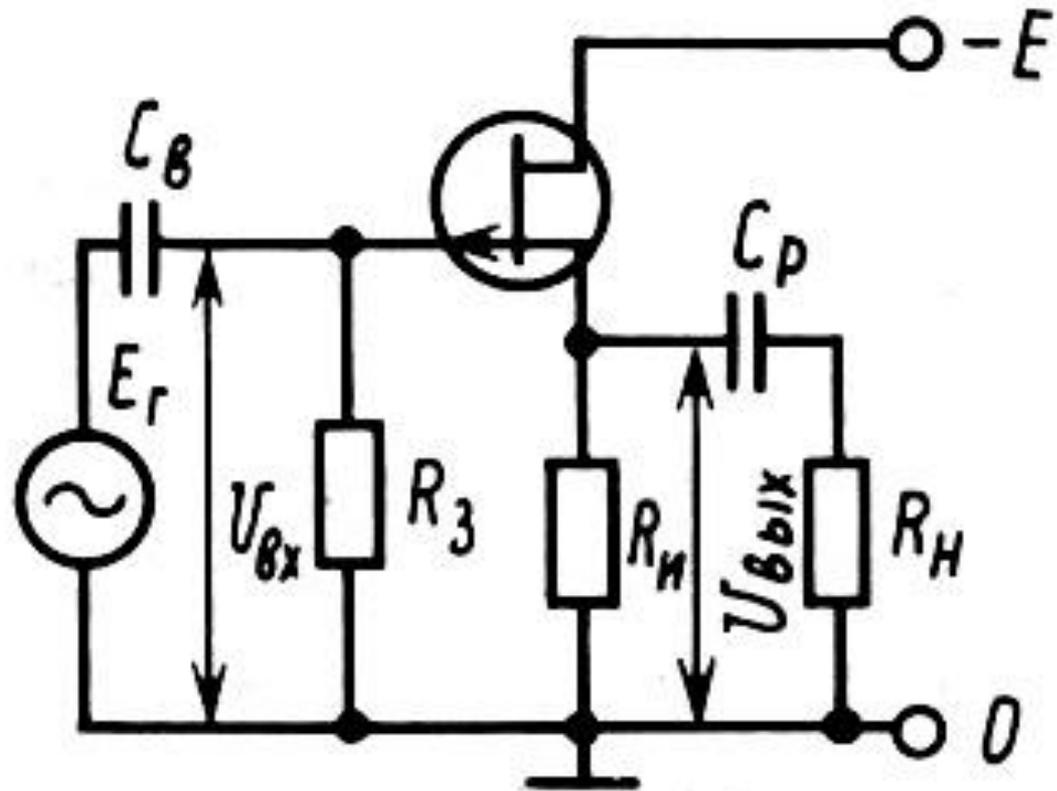
# Схема с общим стоком (ОС)

$$R_{\text{ВЫХ}} \approx 1/S$$
$$K_U \approx SR_{\text{И}} / (S + R_{\text{И}})$$

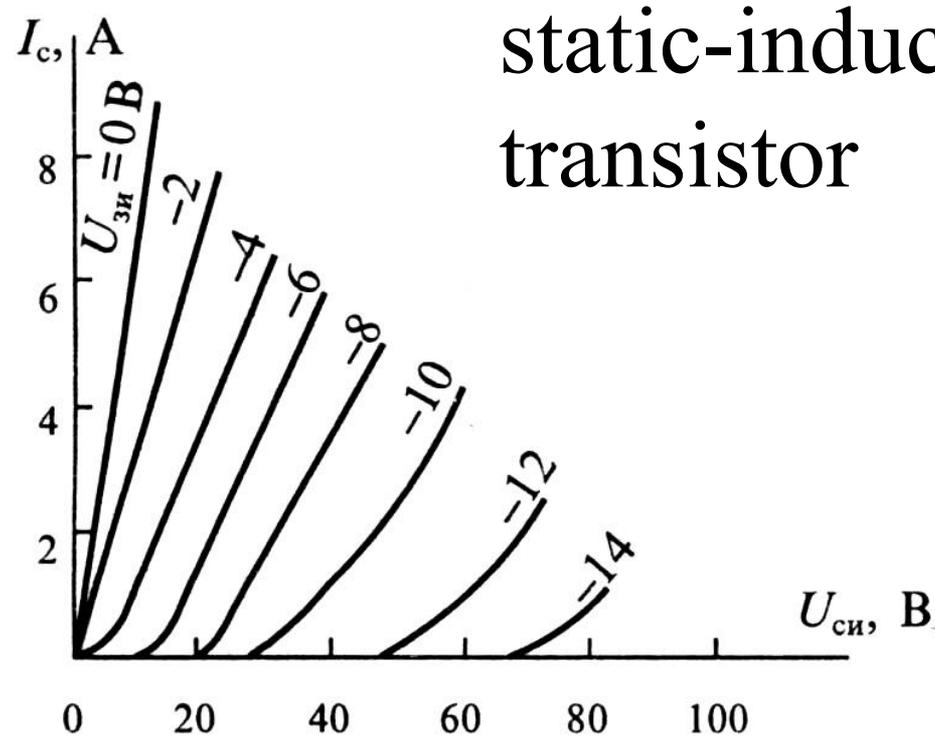
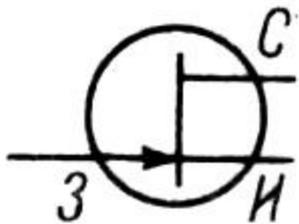


## Схема с общим стоком (ОС)

$$R_{вх} \approx R_3$$

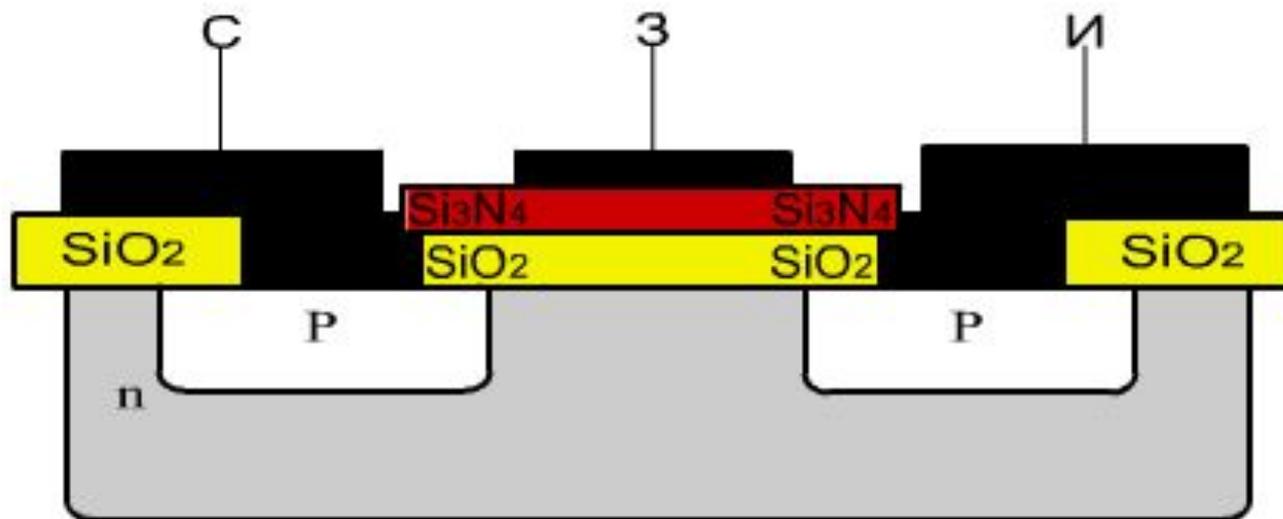


# Статический индукционный транзистор (СИТ)



# Транзистор структуры металл-нитрид-оксид-полупроводник (МНОП)

metal-nitride-oxide-semiconductor transistor (MNOS-transistor)

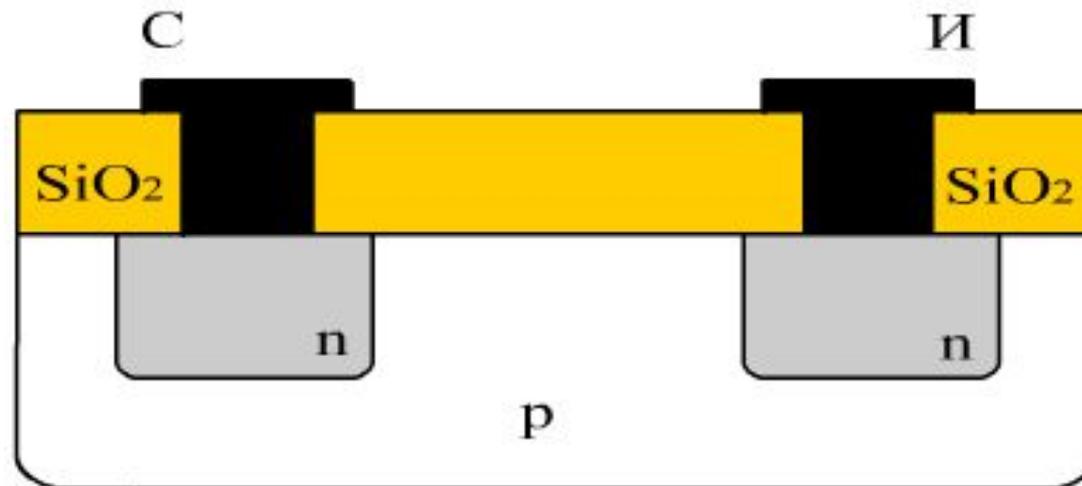


# ЛИЗМОП транзистор

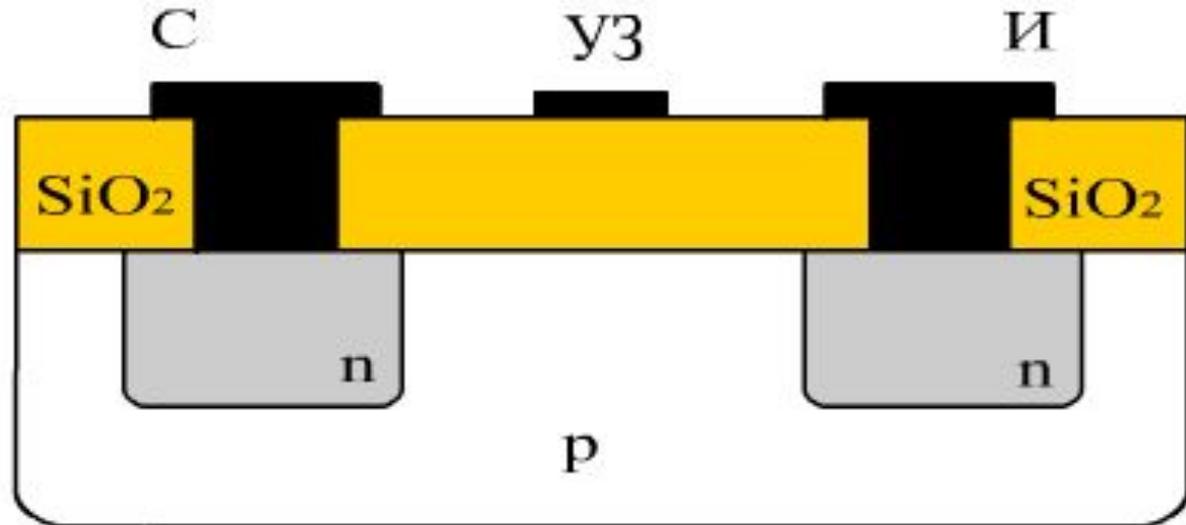
(МОП-транзистор с лавинной  
инжекцией заряда)

floating-gate avalanche-injection

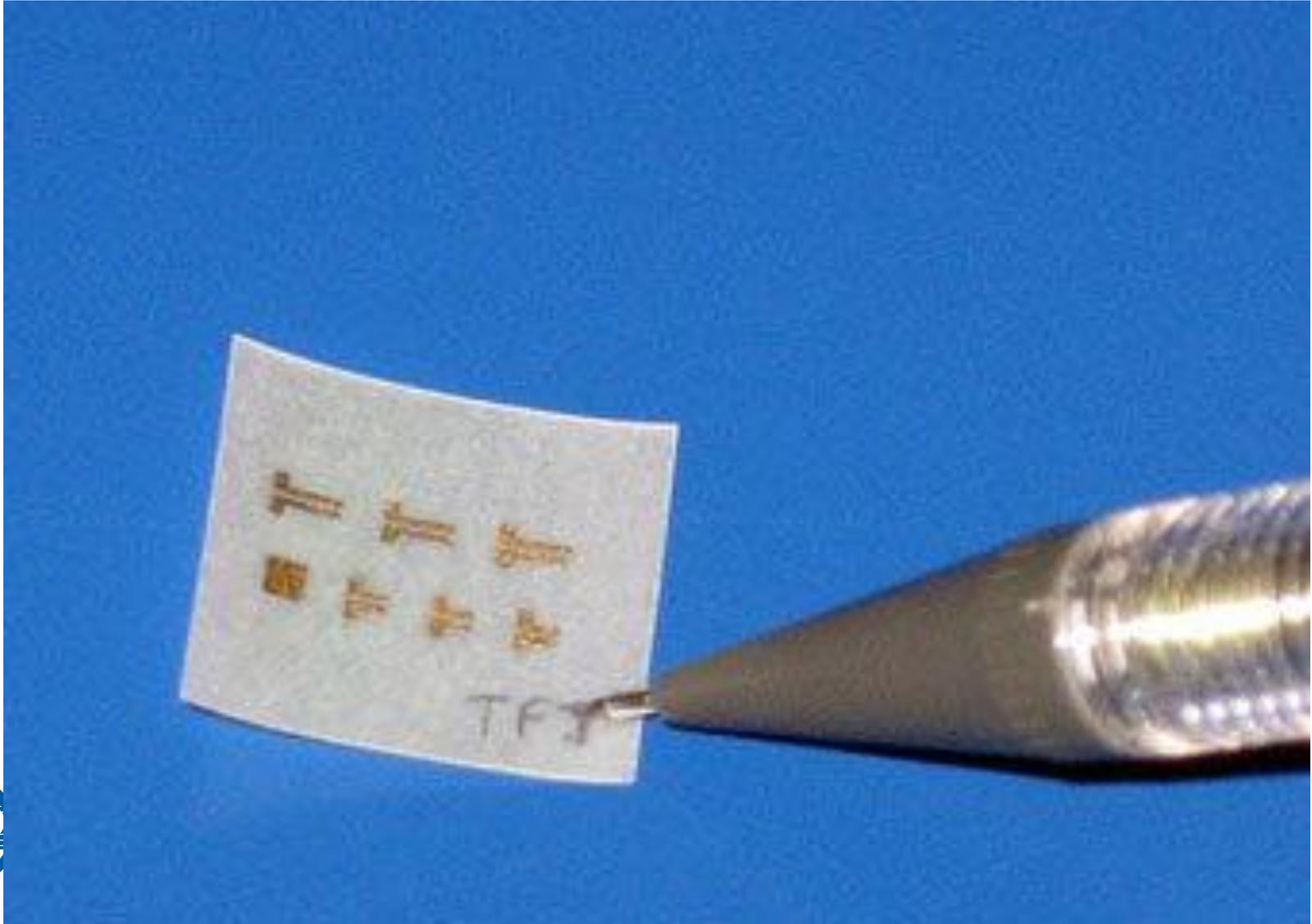
MOS transistor



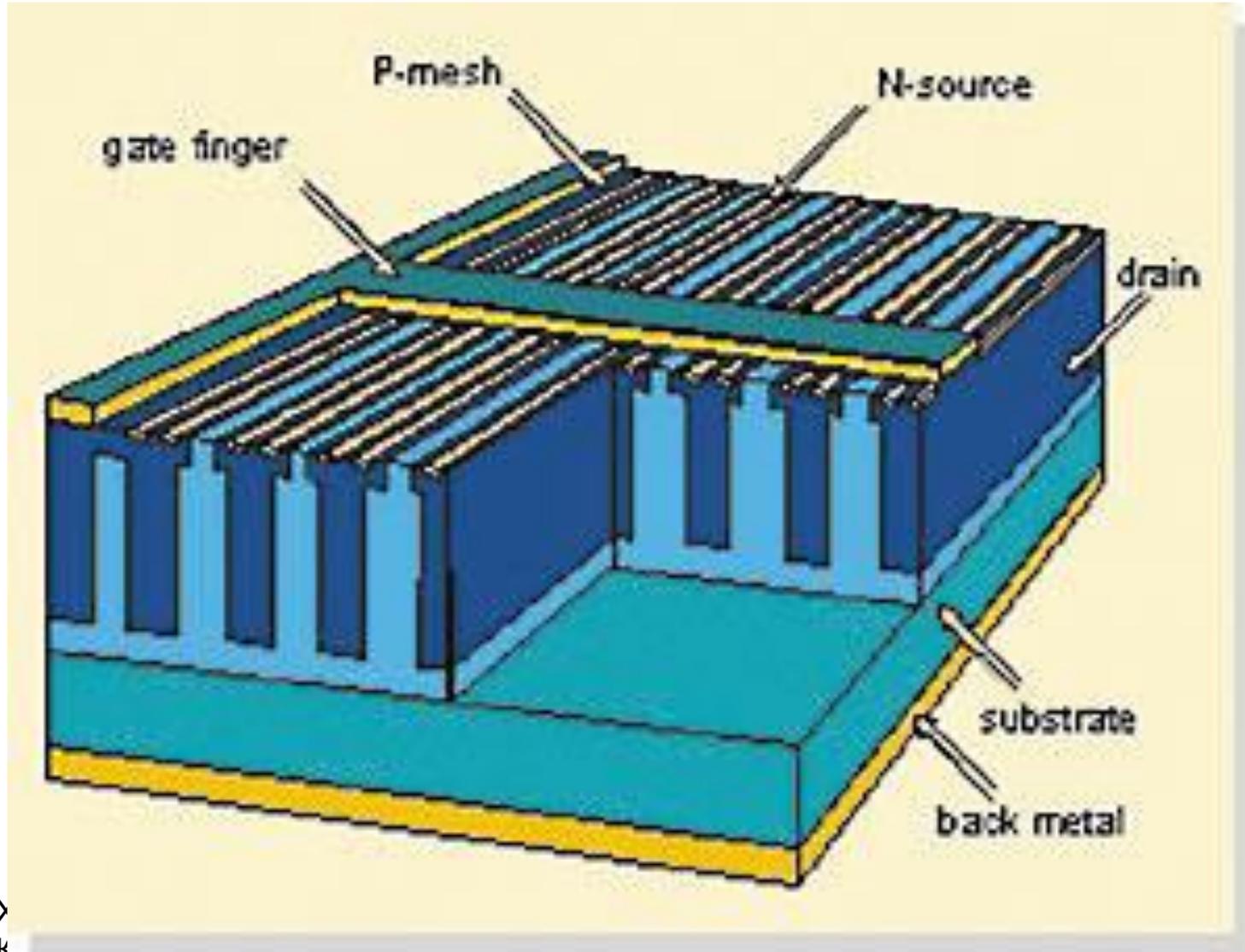
# ЛИЗМОП транзистор с управляющим затвором



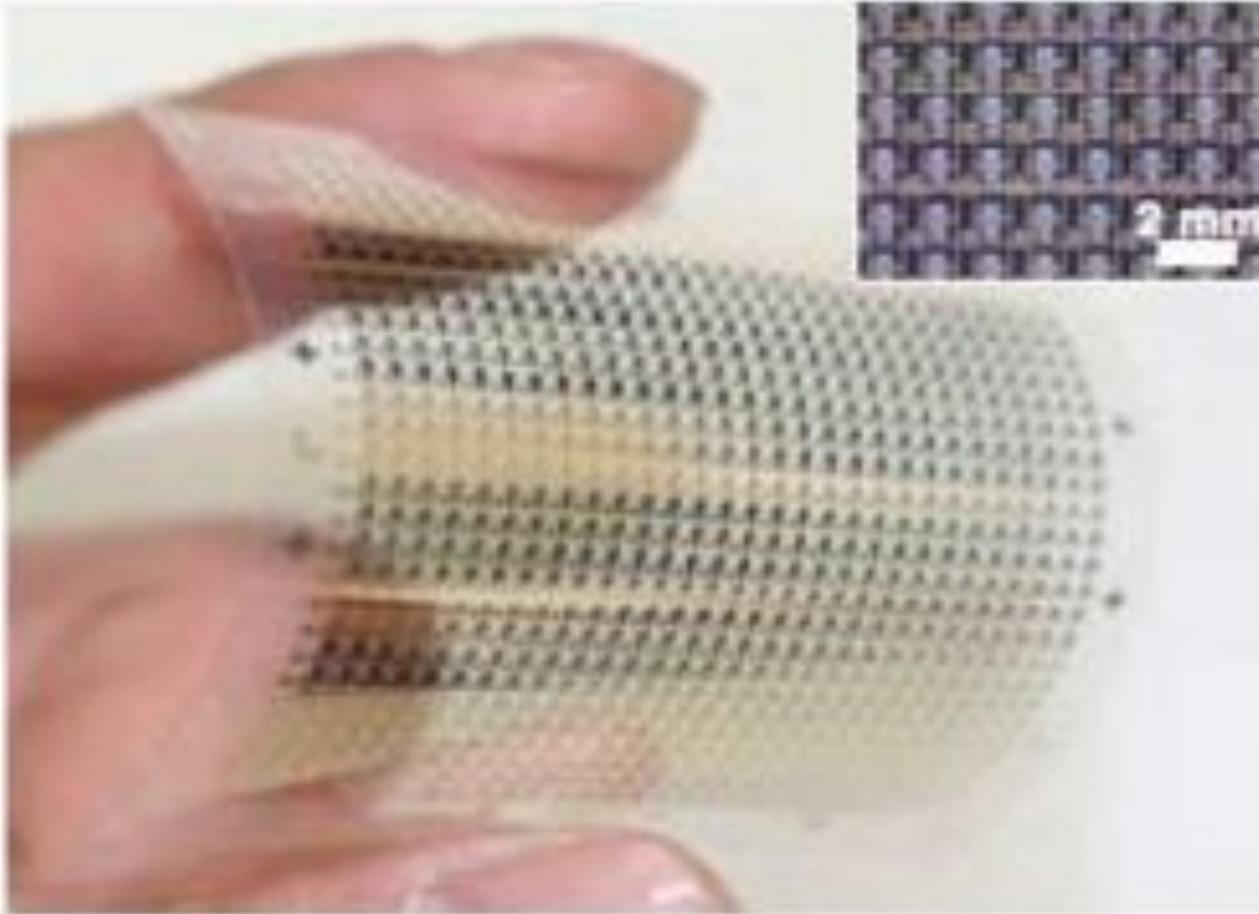
# Полевые транзисторы на основе бумаги



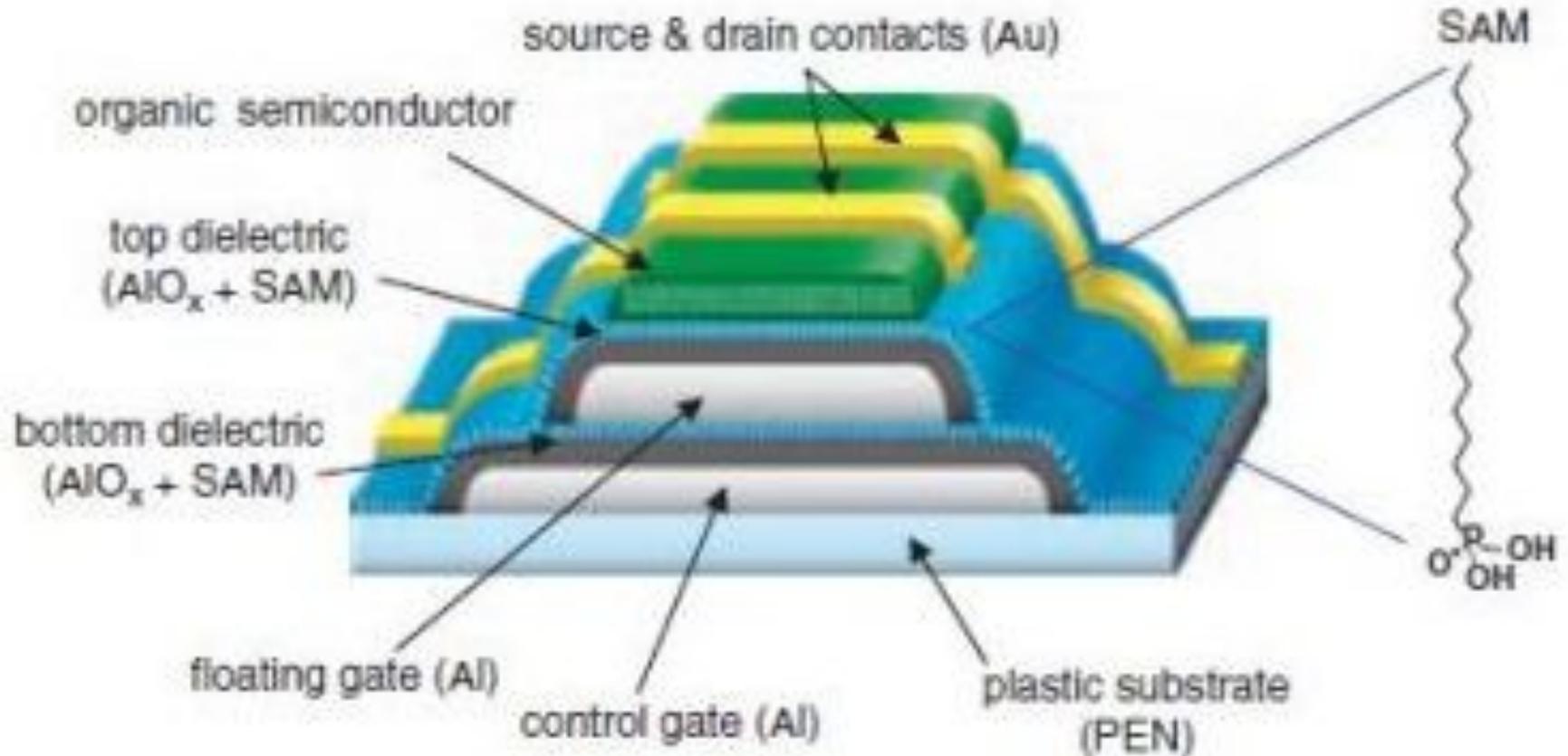
# ТЕХНОЛОГИЯ MDmesh (Multiple Drain mesh)



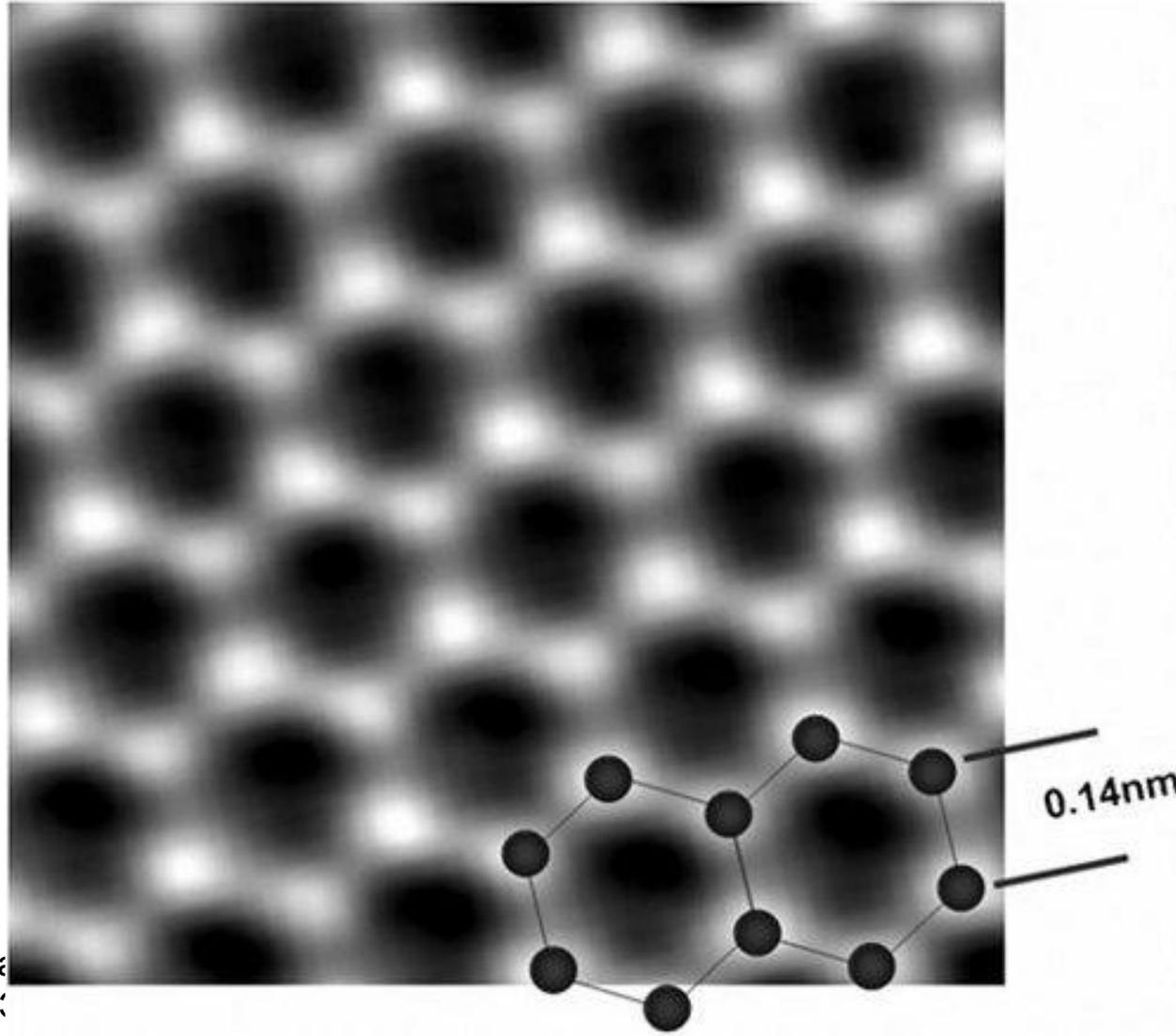
# Гибкие органические транзисторы



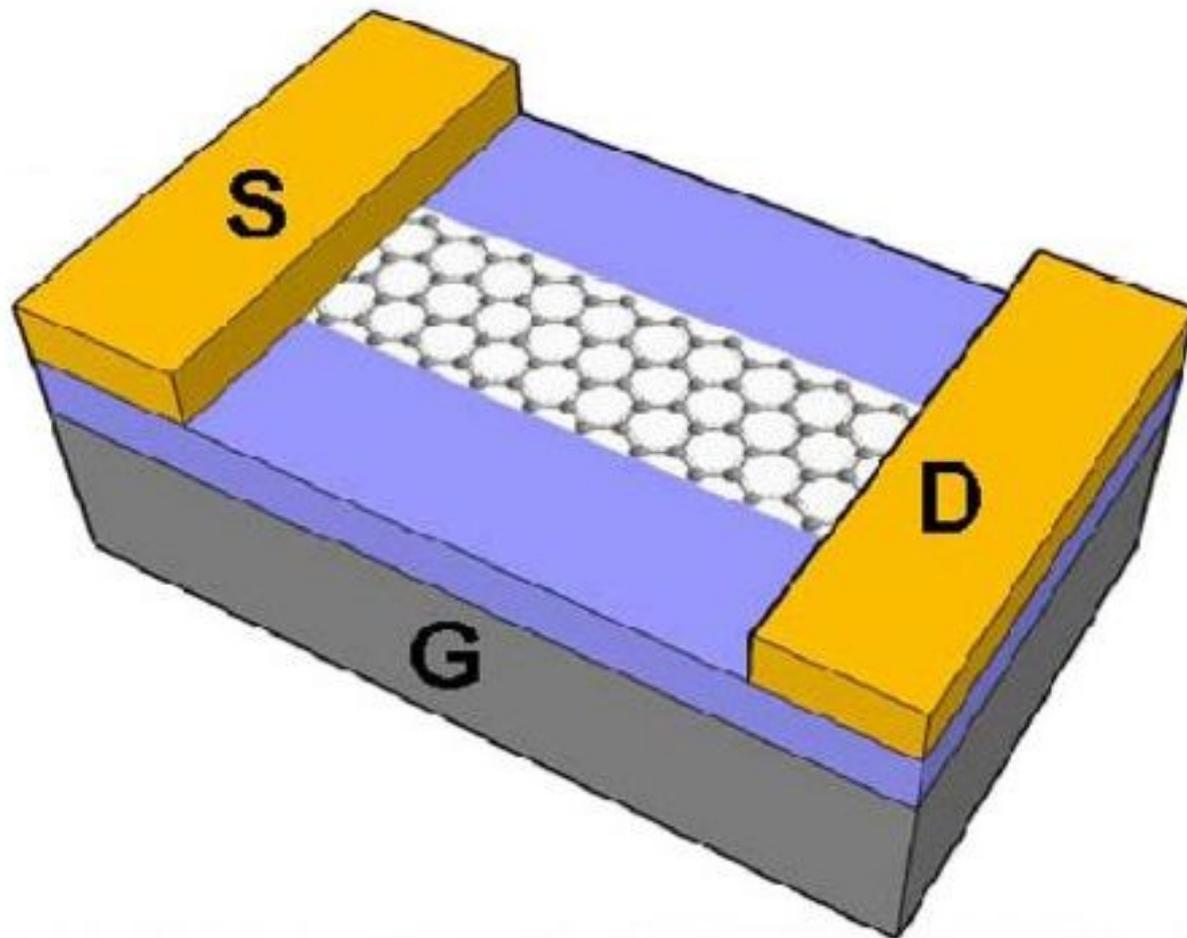
# Гибкие органические транзисторы



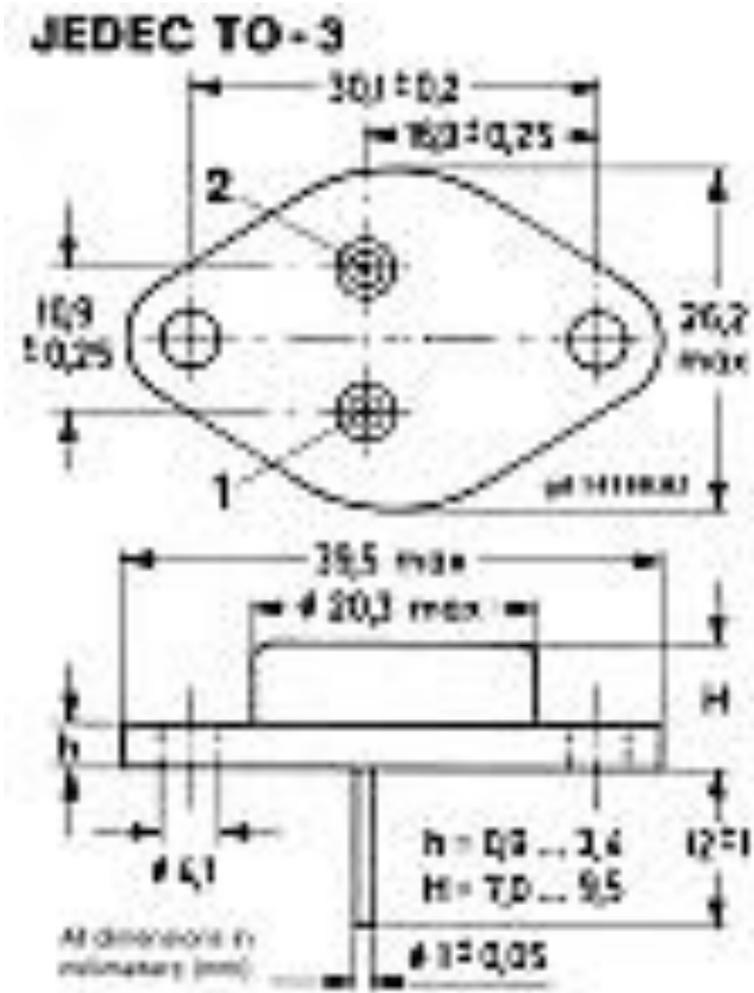
# Полевые транзисторы на основе графена



# Полевые транзисторы на основе графена



# Типы корпусов транзисторов



# Типы корпусов транзисторов

SOT 23



SOT 89



SO 8



DPAK



# Типы корпусов транзисторов

TO 92



SPAK



DIP 4



# Типы корпусов транзисторов

TO 18



TO 126



TO 220FP



TO 220AB



# Типы корпусов транзисторов

TO 220-5



TO 218



TO 247AC



# Типы корпусов транзисторов



**Металлопластмассовый корпус ( прототип корпуса Toshiba)**



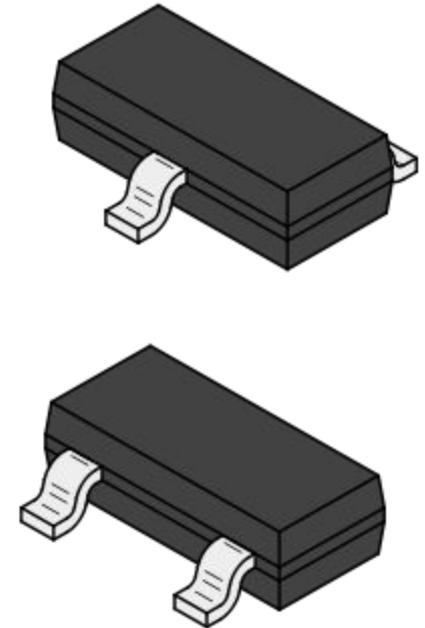
# Типы корпусов транзисторов



**Корпус Semikron**



# Типы корпусов транзисторов



**SOT-23**



# Домашнее задание

- Устройство, принцип работы, основные параметры и характеристики

Биполярных транзисторов с  
изолированным затвором