

# Напівпровідникові мікрохвильові прилади

- Технологічні особливості виготовлення діодів НВЧ діапазону

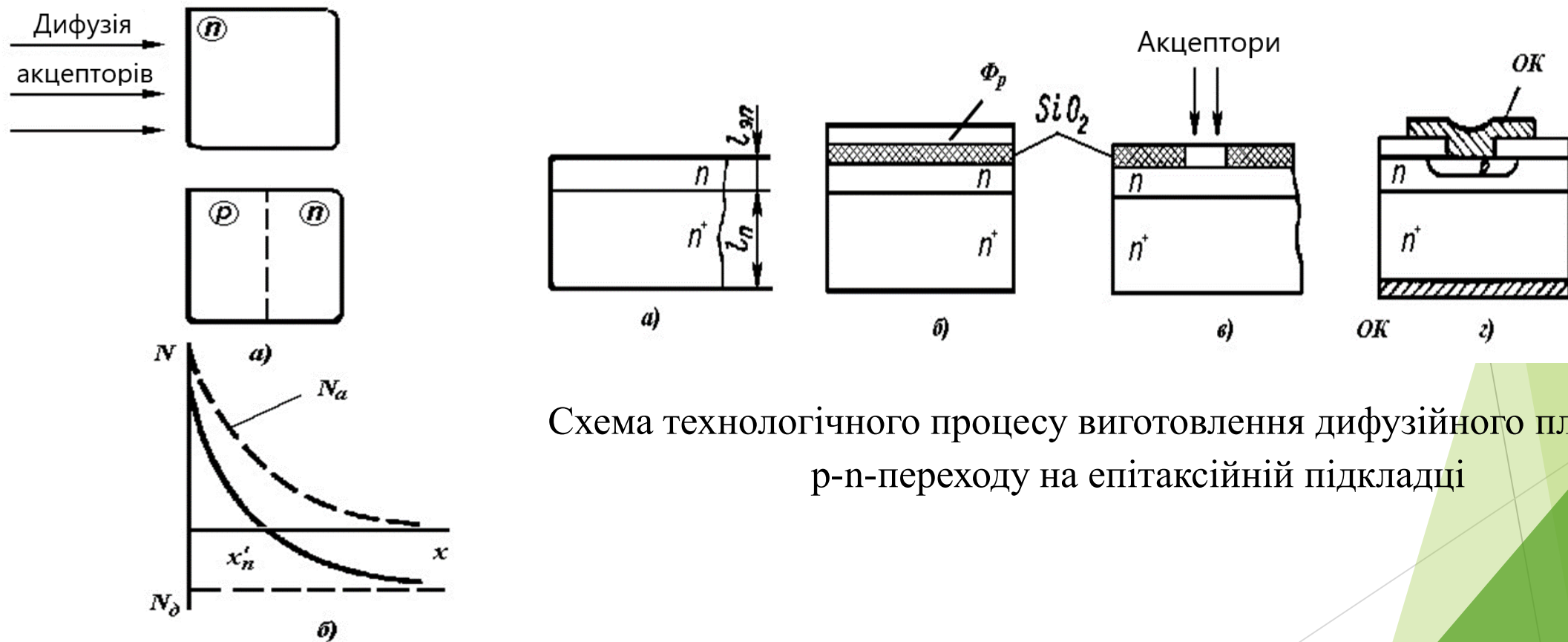
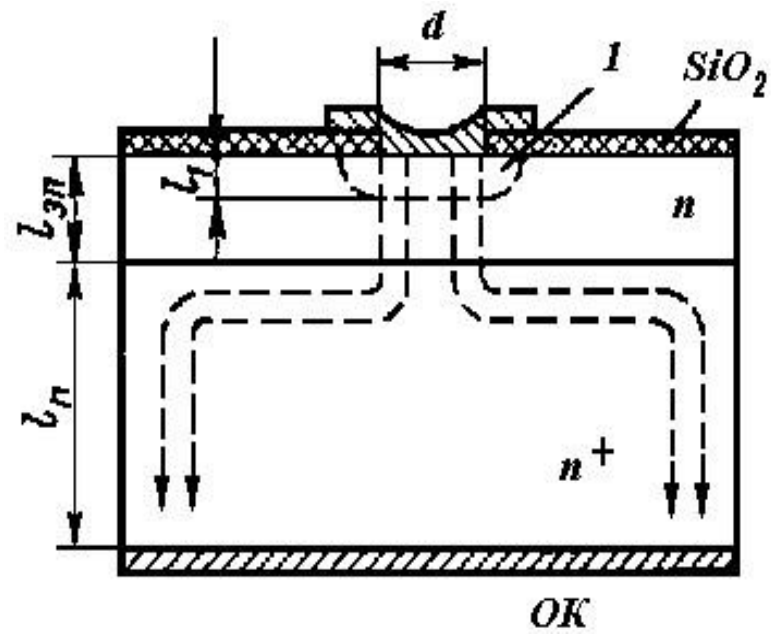
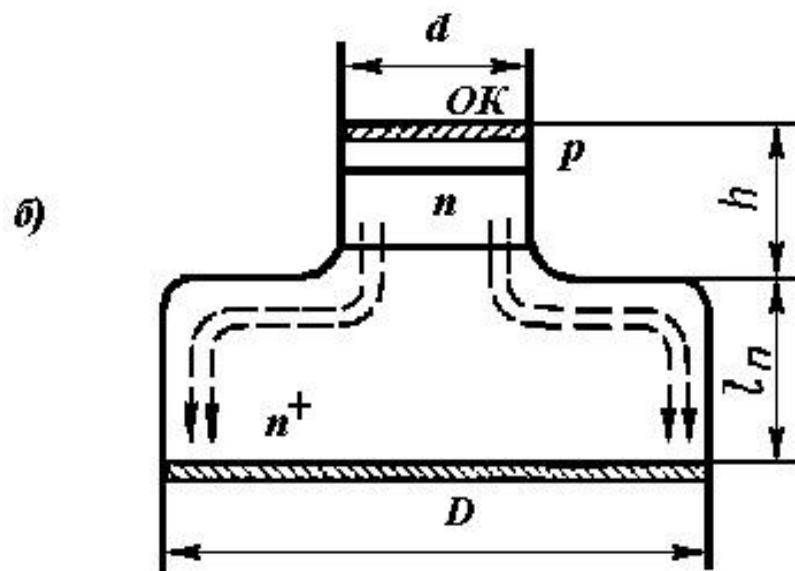


Схема технологічного процесу виготовлення дифузійного планарного р-п-переходу на епітаксійній підкладці

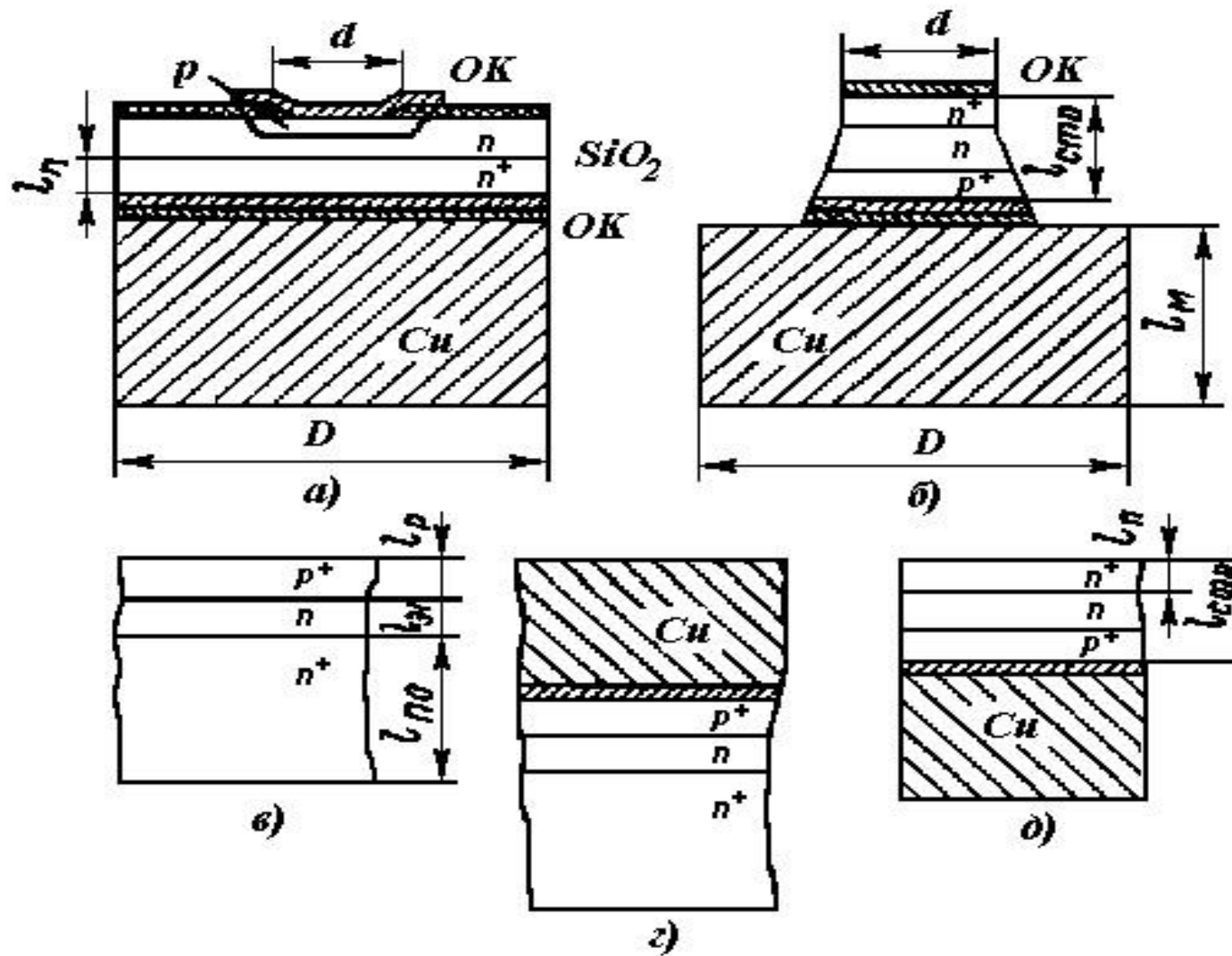
Формування дифузійного р-п-переходу (а) і розподіл домішок в переході (б)



Структура діода з бар'єром Шоткі, виготовленого методами планарної технології

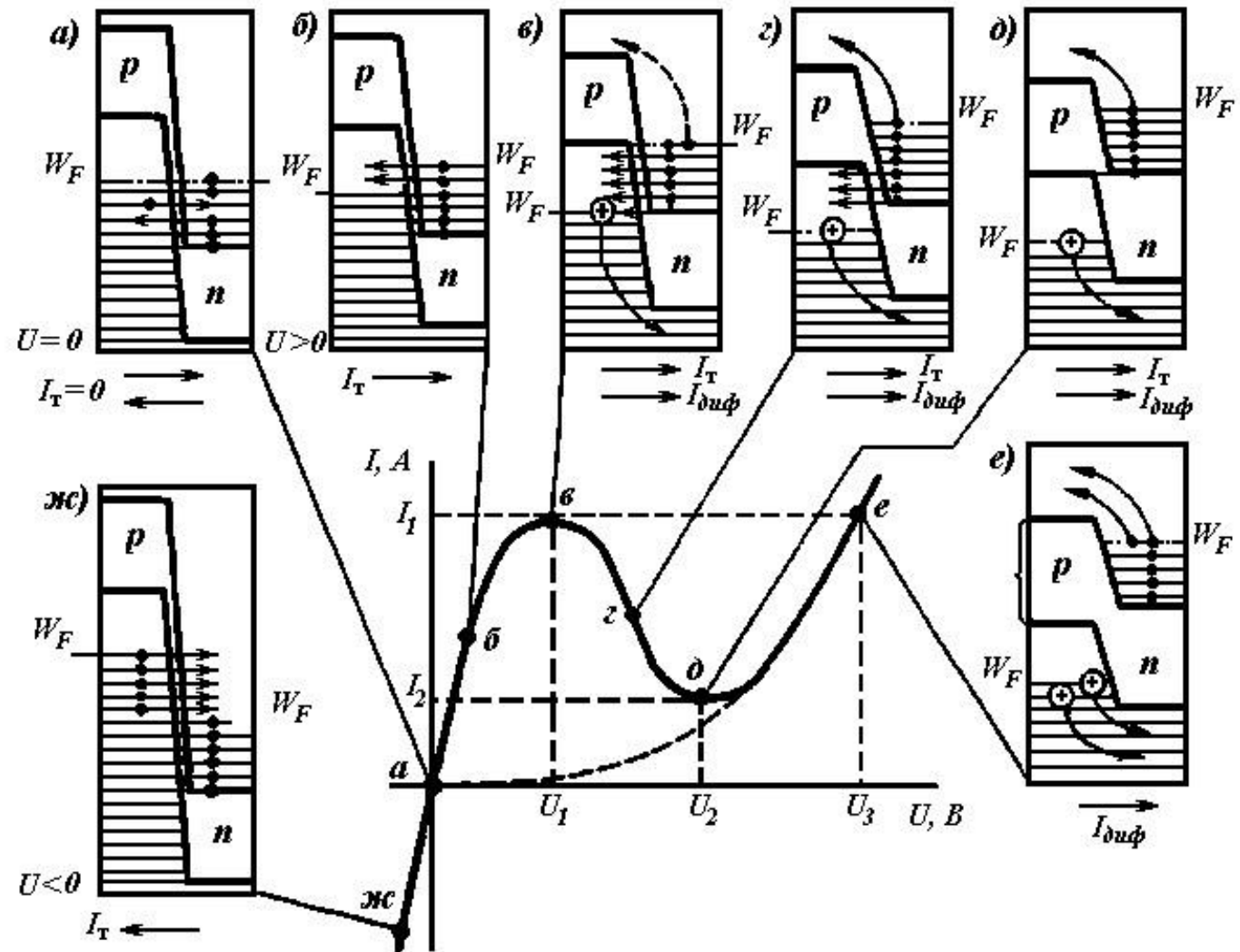
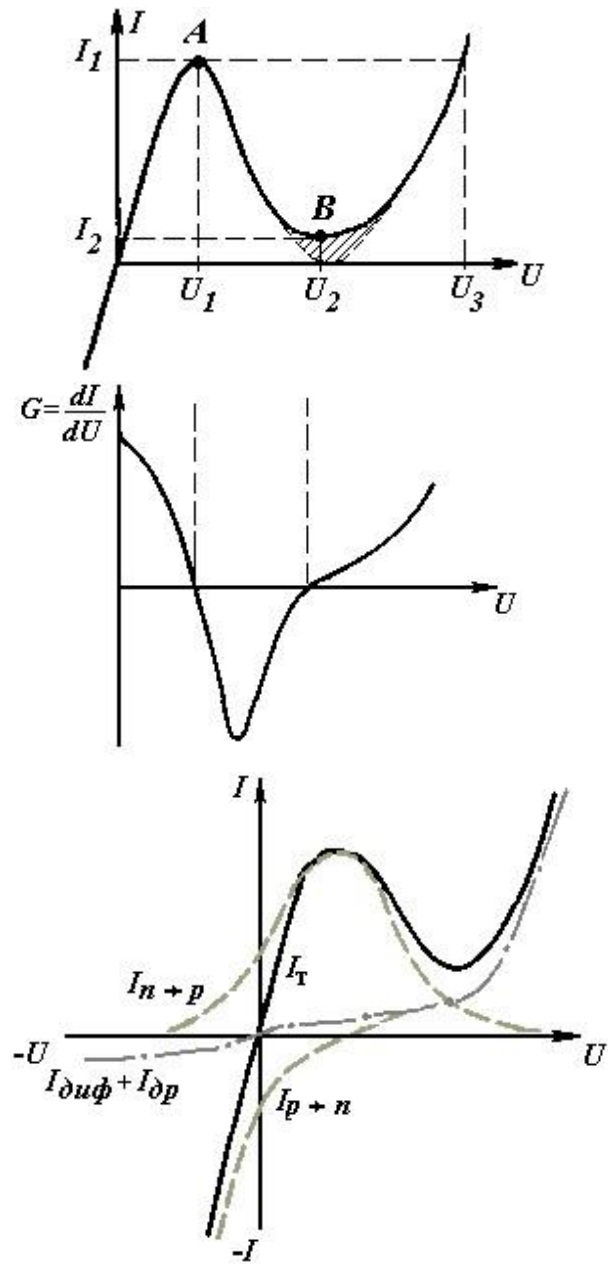
Епітаксійна мезаструктура:

а) вихідна пластина з р-п-переходом і омичними контактами; б) пристрій діода

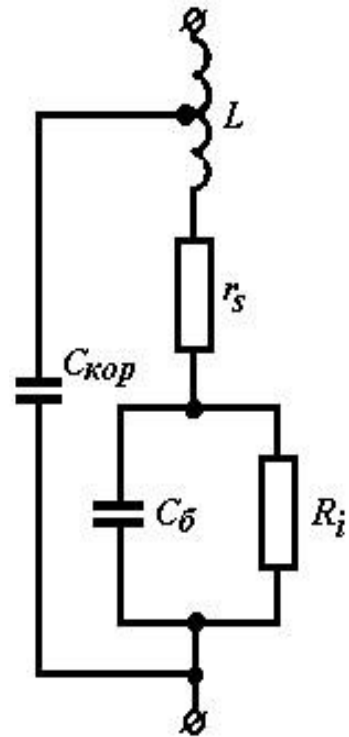


Планарна (а) і мезаструктура (б) з інтегральним тепловідводом;  
 в, г, д - послідовності технологічних операцій при виготовленні структури

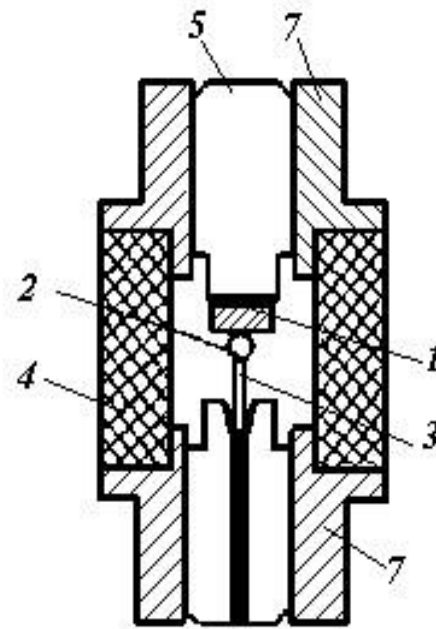
# ТУНЕЛЬНИЙ ДІОД



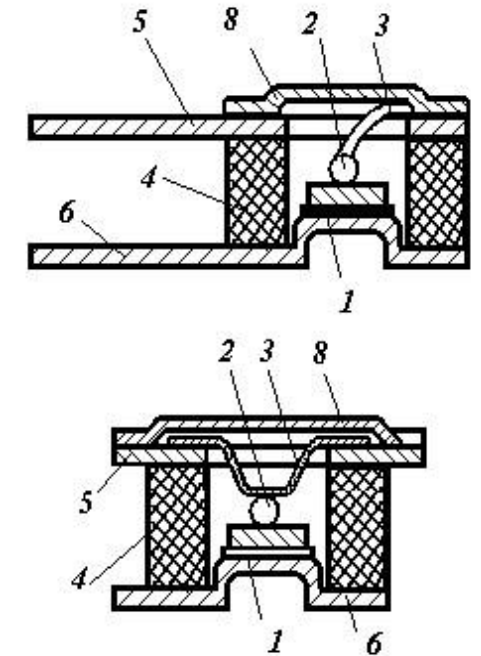
# ТУНЕЛЬНИЙ ДІОД



Еквівалентна схема тунельного діода



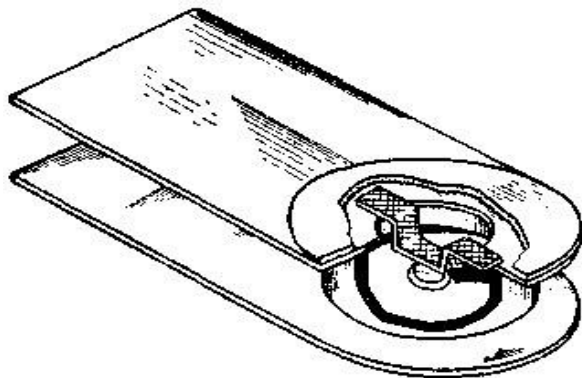
а)



б)

Конструкції тунельних діодів:

- а) патронного типу; б) таблеткового типу; в) зі стрічковими виводами;  
1 напівпровідниковий кристал; 2 - р-п-перехід; 3 - з'єднувальний електрод; 4 корпус; 5, 6-виводи; 7-втулка корпусу; 8 - кришка



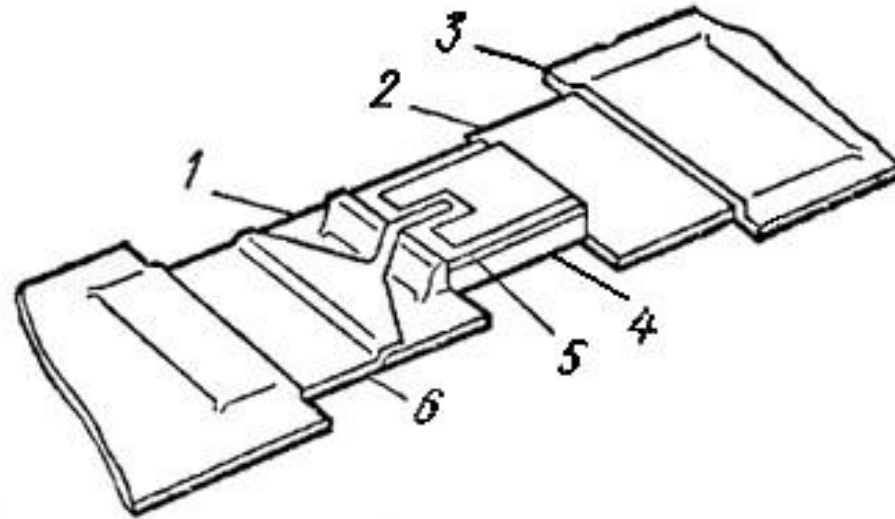
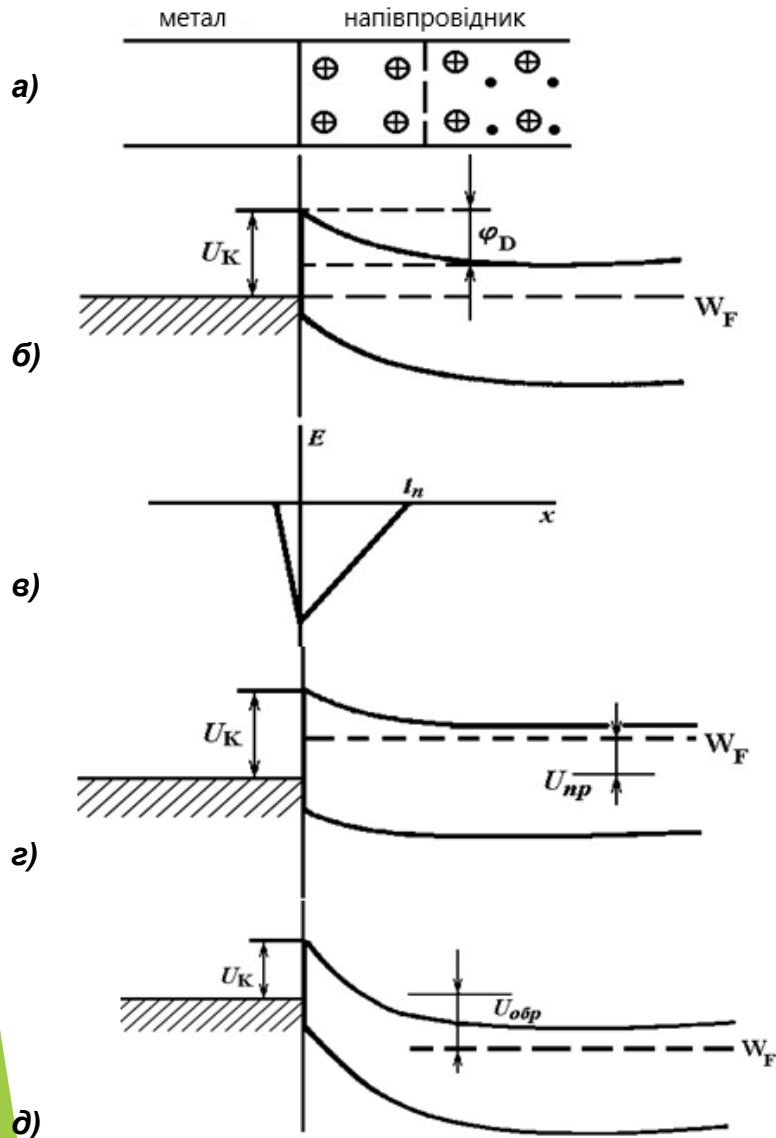
# ТУНЕЛЬНИЙ ДІОД

- ▶ **1И302А** —германієвий діод;
- ▶  $I_1 = 1,7- 2,3$  мА;  $I_1/I_2 = 4,5$ ;  $U_1 = 60$  мВ;  $C = 80$  пФ.
- ▶ **3И301А**— арсенід-галієвий діод;
- ▶  $I_1 = 1,5-2,4$  мА;  $I_1/I_2 = 8$ ;  $U_1 = 180$  мВ;  $U_3 \geq 0,65$  В;  $C = 12$  пФ.

$I_1, \text{мА}$	Застосування тунельного діода
0,03-0,3	Змішувач, відеодетектор (звернений тунельний діод)
0,5-3	Підсилювач, змішувач з посиленням
5-100	Генератор

# ДІОД ШОТКІ

Схема контакту метал - напівпровідник (а) і його енергетична діаграма при нульовому (б), прямому (в) і зворотному (д) зміщенні



НВЧ-діод з переходом Шоткі на арсеніді галію:

1 SiO<sub>2</sub>; 2 -омічний контакт; 3 - смужка з золота;

4 - n + GaAs;

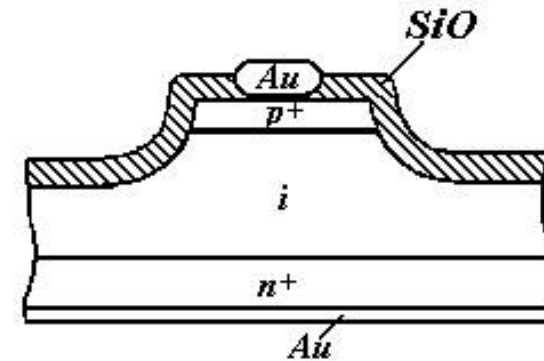
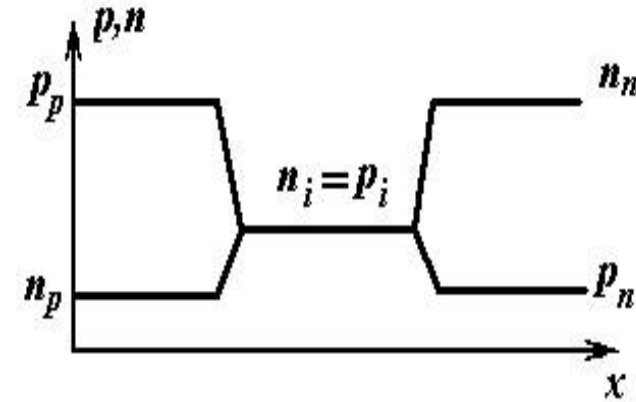
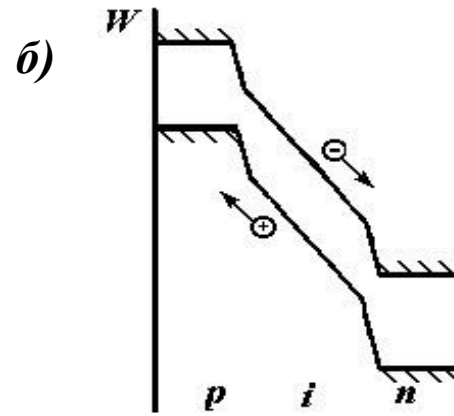
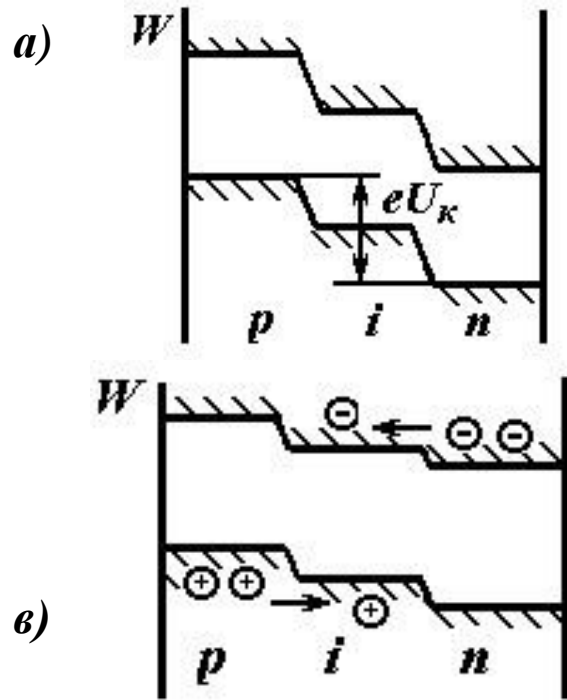
5 - nGaAs; 6 - контакт переходу Шоткі

## Переваги бар'єру Шоткі в порівнянні з р-п переходом:

- ▶ Відносна простота варіювання висоти потенційного бар'єру без зміни властивостей напівпровідника, за рахунок вибору відповідного металу.
- ▶ Висока крутизна вольт-амперної характеристики ( $a \approx 1$ , тоді як для р-п переходів на кремнії типово  $a \approx 1,5$ ), яка обумовлює кращі детектуючі властивості.
- ▶ Мала інерційність, як в детекторному режимі, так і в режимі перемикавання (на 1-2 порядки менше, ніж у самих «швидких» легованих золотом кремнієвих діодів з р-п переходом).
- ▶ Малий рівень шумів (справедливо аж до  $f \approx 10^{12}$  Гц, тоді як у разі р-п переходу частотна залежність дробового шуму визначається механізмом дифузії і рекомбінації неосновних носіїв заряду).
- ▶ Принципова можливість отримання менших (у порівнянні з приладами з р-п переходами) значень послідовного електричного опору і теплового опору, так як металевий шар за цими властивостями перевершує будь-який сильно легований шар напівпровідника.
- ▶ Різка відмінність оптичних властивостей металу і напівпровідника (значно більш різке, ніж в разі напівпровідників n- і р-типів провідності), що дозволяє створювати ряд оригінальних фотоелектричних приладів.
- ▶ Технологічна простота, що поєднується з широтою можливостей (виготовлення в одноступінчатих процесах різних - випрямляють і омичних - контактів).
- ▶ Принципова сумісність методів виготовлення контактів метал - напівпровідник з технологією інтегральних схем.



# P-I-N ДІОД



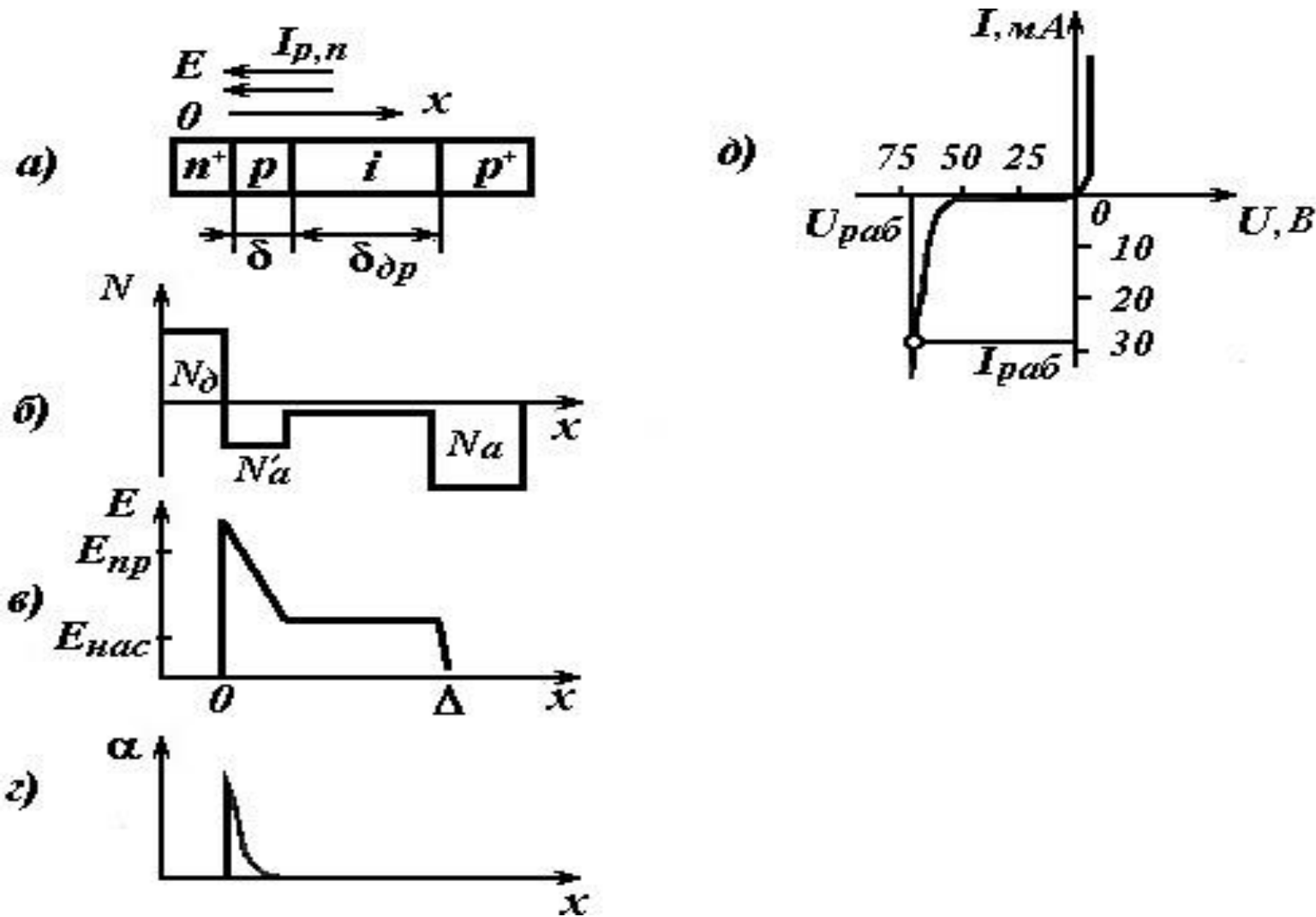
Діаграма енергетичних зон діода типу р-і-п:

а) в стані рівноваги;

б) при зворотній напрузі;

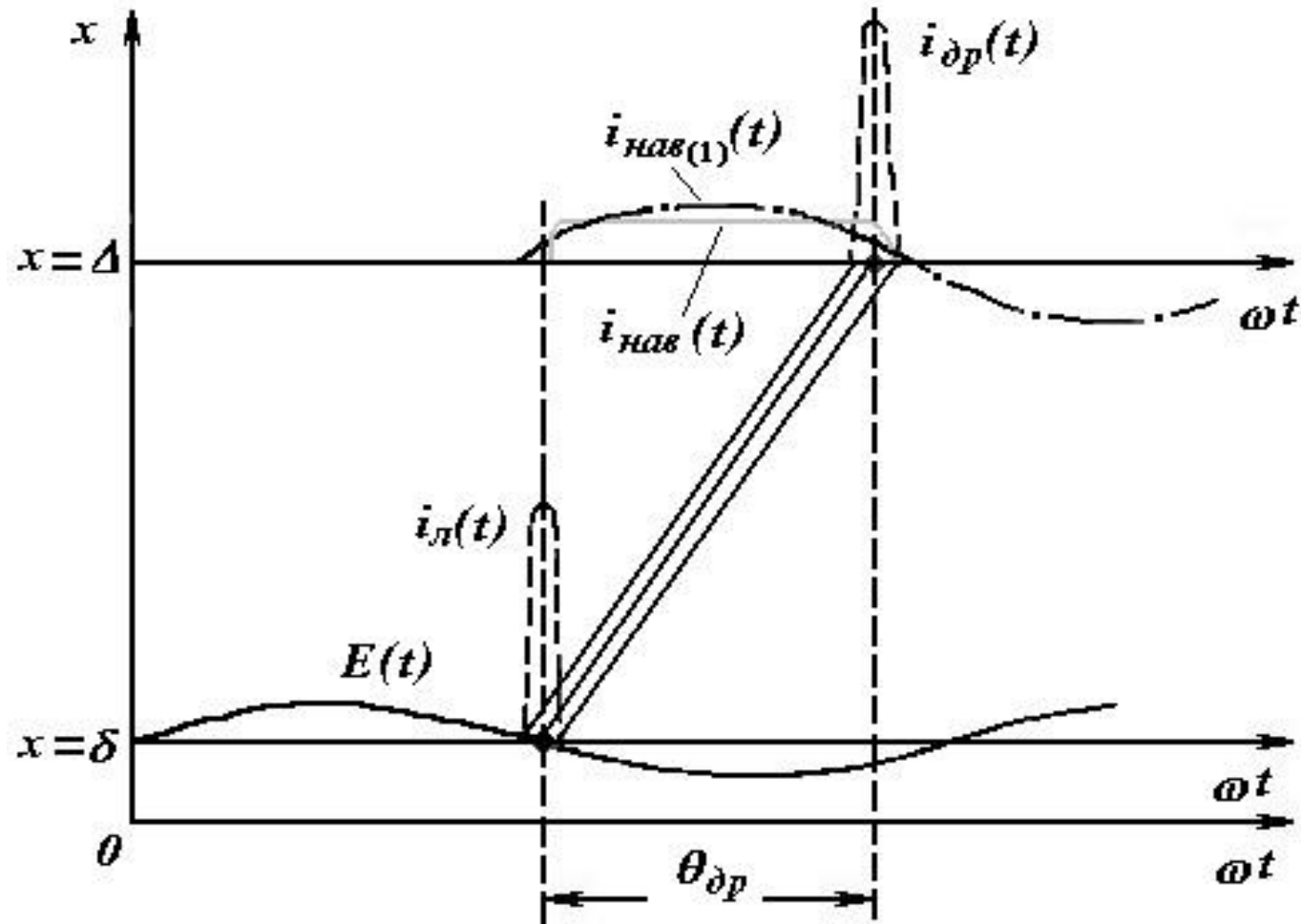
в) при прямій напрузі

# ЛАВИННО-ПРОЛЪОТНІ ДІОДИ



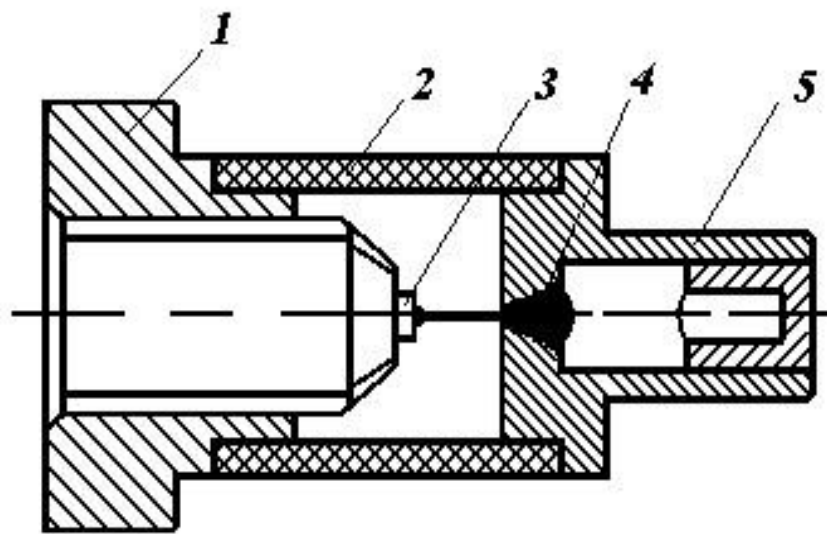
Структура лавинно-пролътного діода (а) і розподіл в ньому концентрації домішки (б), електричного поля (в), коефіцієнта ударної іонізації (г), а також вольт-амперна характеристика ЛПД (д)

# ЛАВИННО-ПРОЛІТНІ ДІОДИ

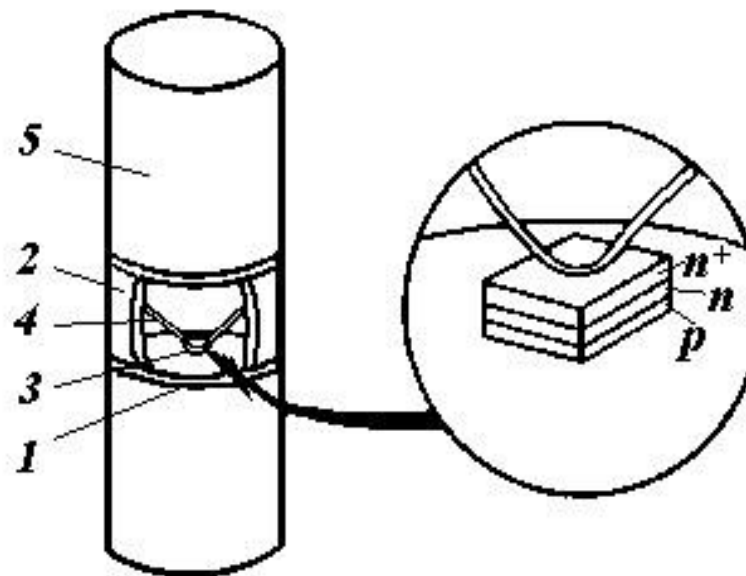


Просторово-часова діаграма

# ЛАВИННО-ПРОЛІТНІ ДІОДИ



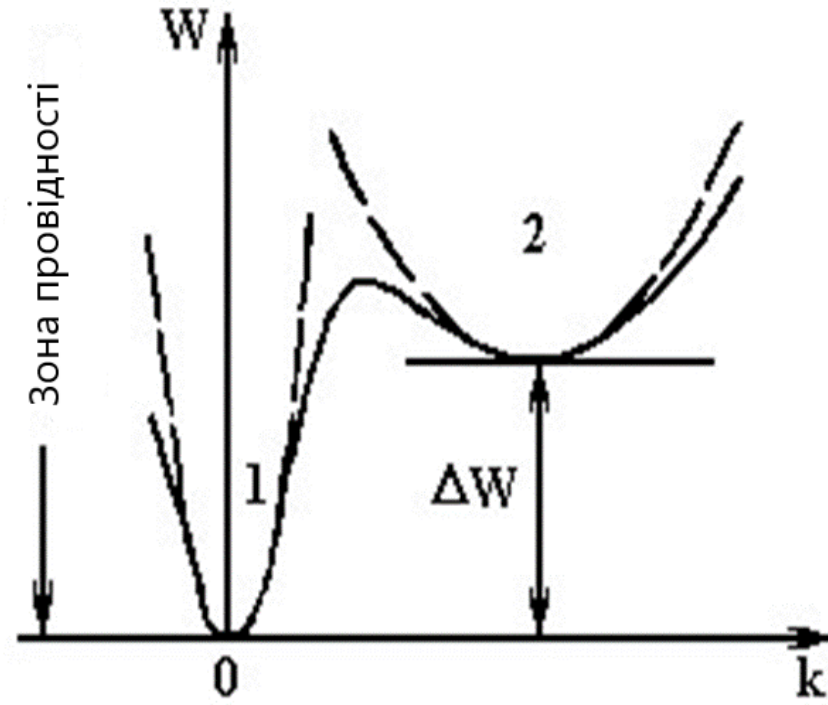
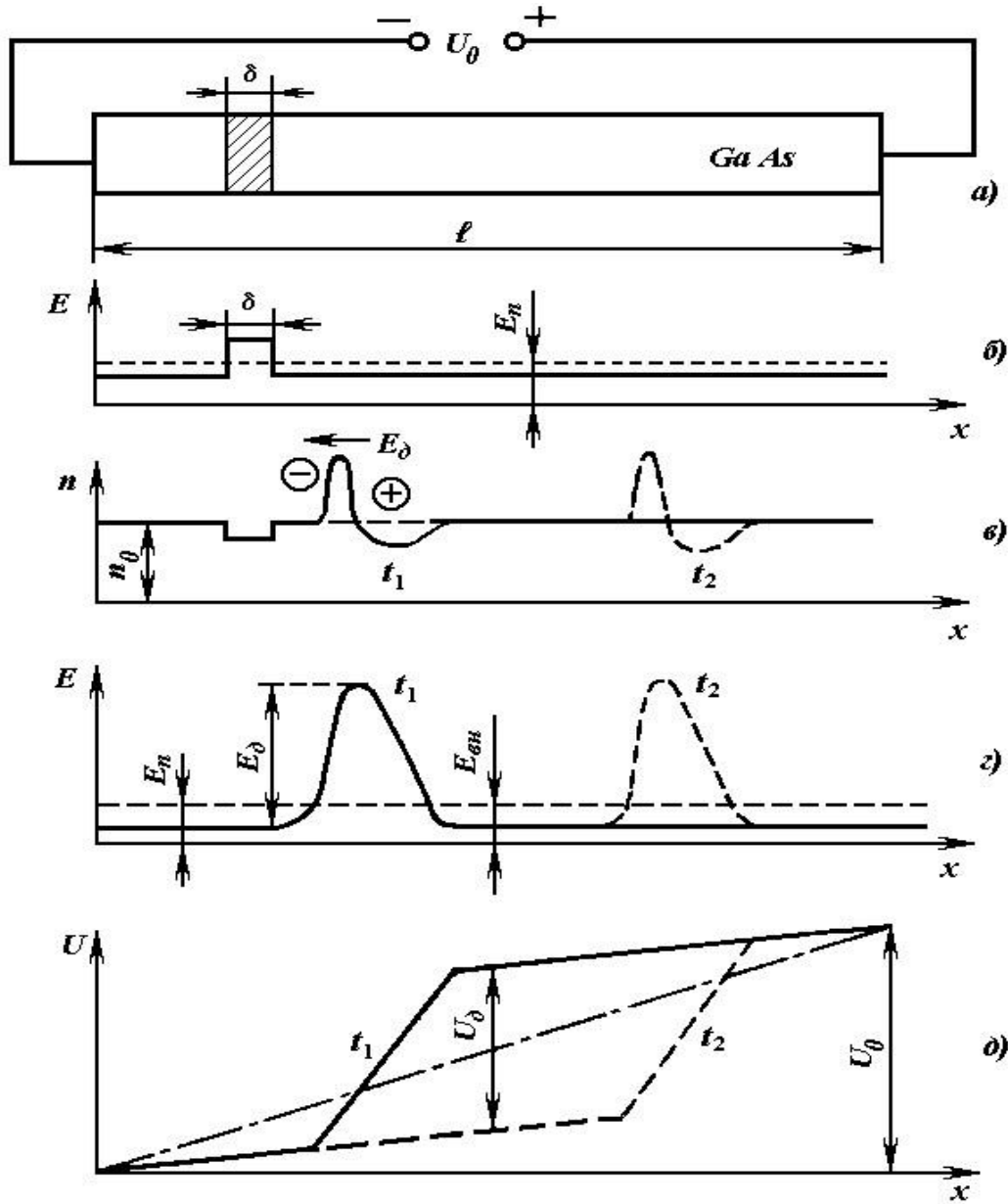
а)



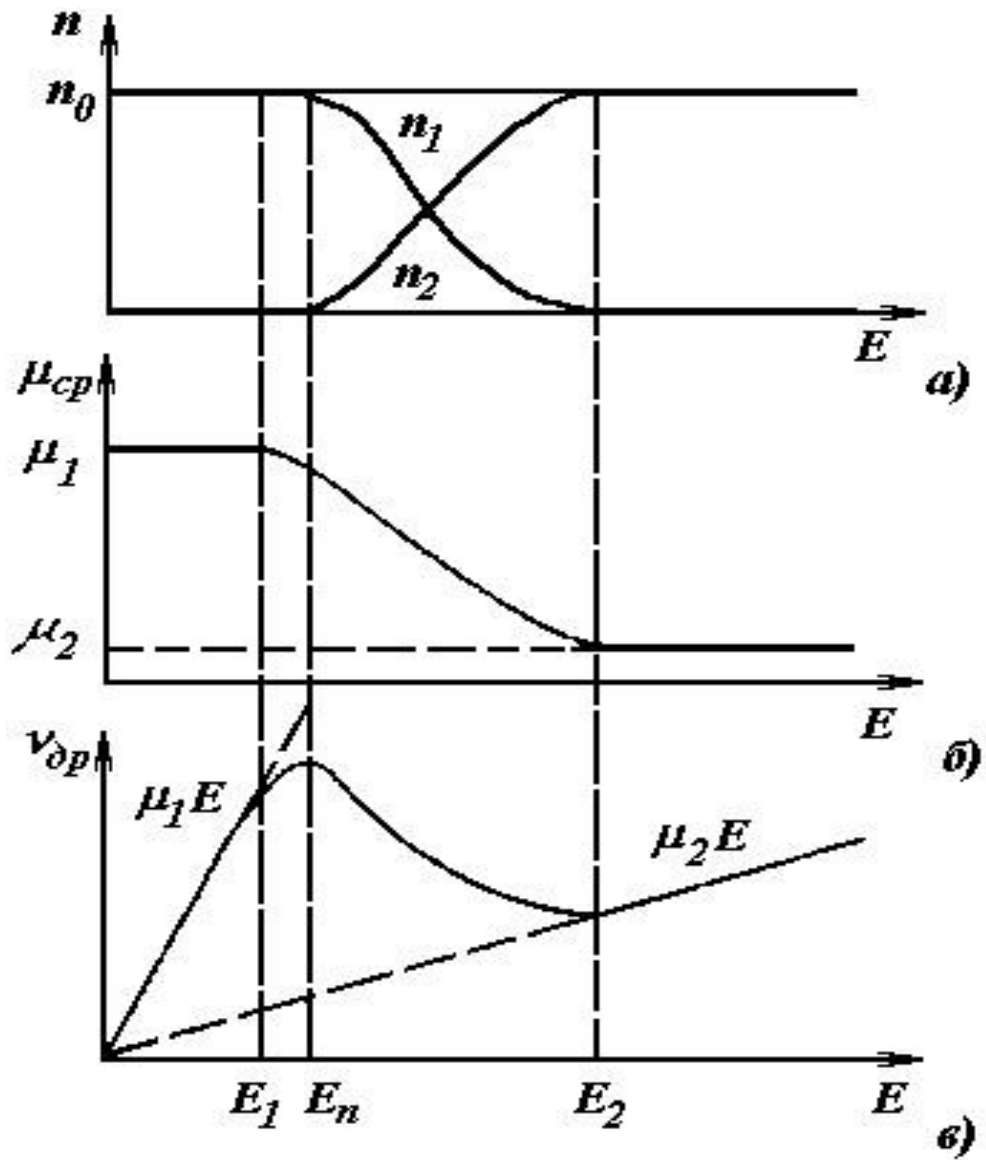
б)

Конструкція ЛПД: а - германієвого; б - кремнієвого; 1 металева основа; 2 - керамічна втулка; 3 кристал; 4 - з'єднувальний електрод; 5 ніпель

# ДІОД ГАННА



# ДІОД ГАННА



Залежність концентрацій електронів у верхній і нижній долинах (а), рухливості електронів (б) і швидкості (в) від напруженості