

**Визначення часу життя нерівноважних носіїв заряду**

**Метод модуляції провідності точкового контакту**

Метод модуляції провідності точкового контакту засновано на зміні розподіленого опору точкового контакту діоду при інжекції носіїв. Носії заряду вводяться в напівпровідник через  $p^+$  контакт в  $n$ -область діоду. Інший контакт повинен бути неіжектуючим, мати лінійну ВАХ та малий опір. Через  $p$ - $n$  перехід діоду в прямому напрямі пропускаються 2 послідовних, рівних по амплітуді імпульсу струму, зрушених друг відносно друга на час затримки  $t_{зат}$ .

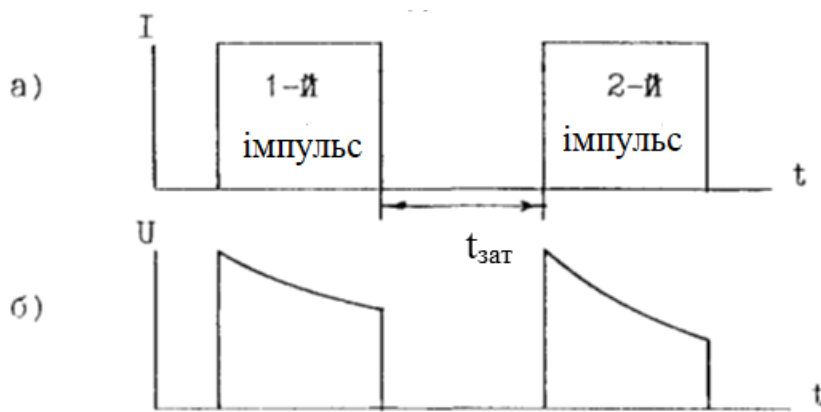


Рисунок 4.1 – Осцилограма імпульсів струму (а) та напруги (б)

За допомогою першого імпульсу в область контакту вводяться нерівноважні неосновні носії, що збільшують провідність напівпровідника поблизу контакту. Зменшення опору зразка під час інжекції призводить до падіння напруги на зразку, т.я. струм через зразок підтримується постійним (режим генератора струму).

По закінченні першого інжектуючого імпульсу струму концентрація нерівноважних носіїв заряду починає зменшуватись за рахунок їх рекомбінації.

Припустимо, що зменшення концентрації носіїв заряду відбувається тільки за рахунок рекомбінації в об'ємі, нехтуючи рекомбінацією на поверхні зразка, а також виходом носіїв за рахунок дифузії. Враховуючи сферичну симетрію розподілу надлишкових носіїв, що вводяться за допомогою точкового контакту та всіх припущення, рівняння неперервності можна записати:

$$\frac{d\Delta p(r, t)}{dt} = - \frac{\Delta p(r, t)}{\tau}$$

Таким чином, в будь-якій точці зразка концентрація з часом зменшується за експоненціальним законом:

$$\Delta p(r, t) = \Delta p(r, 0) \exp(-t/\tau)$$

Зменшення концентрації неосновних носіїв заряду призводить до збільшення опору зразка. Закон зміни опору зразка можна експериментально визначити, визначивши падіння напруги на зразку від другого вимірювального імпульсу в залежності від часу затримки (рис.2, задні фронти вимірювальних імпульсів не показані). Лінія що огинає імпульси являє собою закон відновлення опорів в часі

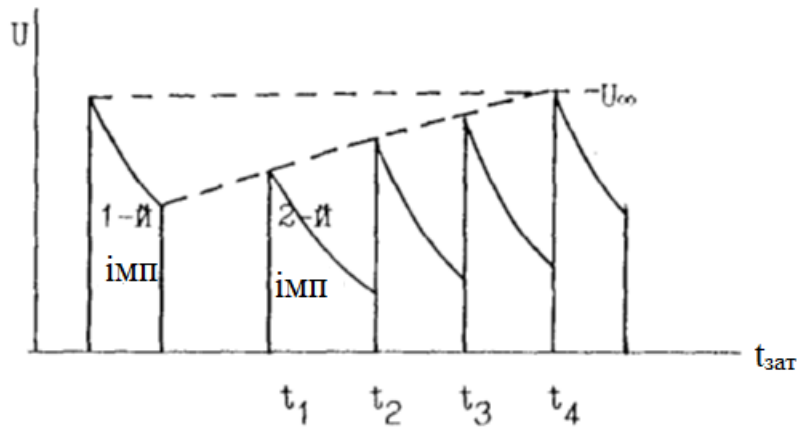


Рисунок 4.2 – Зміни амплітуди вимірювального імпульса в залежності від часу затримки

Знайдемо закон зміни напруги на зразку в часі на основі моделі точкового контакту.

Нехай в напівпровіднику інjektується  $\Delta p$  неосновних носіїв. При цьому концентрація електронів в силу умови електронейтральності також збільшується на величину  $\Delta n = \Delta p$ . Провідність зразка визначається відношенням:

$$\sigma = e\mu_n(n_0 + \Delta n) + e\mu_p(p_0 + \Delta p) = \sigma_0 \left[ 1 + \left( 1 + \frac{1}{b} \right) \frac{\Delta p}{n_0} \right],$$

$$b = \mu_n / \mu_p$$

$\mu_n, \mu_p$  – рухливість електронів та дірок;

$\sigma_0$  – рівноважна провідність зразка

Падіння напруги на точковому контакті, опір якого визначається опором розтікання дорівнює:

$$U = I \int_{r_0}^{\infty} \rho \frac{dr}{2\pi r^2}$$

$I$  – струм через контакт;

$\rho = 1/\sigma$  – питомий опір зразка;

$r_0$  – радіус вістря контакта

Враховуючи все можна перетворити вираз:

$$U = \frac{1}{2\pi} I \rho_0 \int_{r_0}^{\infty} \frac{r^{-2} dr}{1 + \left(\frac{1+b}{b}\right) \frac{\Delta p}{n_0}}$$

В розглянутому випадку реалізується низький рівень інжекції тому останнє співвідношення можна спростити:

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} I \rho_0 \int_{r_0}^{\infty} r^{-2} \left[ 1 - \left(\frac{1+b}{b}\right) \frac{\Delta p}{n_0} \right] dr$$

При вимірюванні зручно проводити розрахунок не напруги а різниці напруги  $U(t)$  та напруги на зразку  $U_{\infty}$  при великому часі затримки, коли зразок вже встигає повернутися в рівноважний стан.

$$\Delta U(t) = U_{\infty} - U(t) = \frac{I \rho_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \int_{r_0}^{\infty} \left(\frac{1+b}{b}\right) \frac{\Delta p(r)}{n} r^{-2} dr = C \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Де  $C$  – константа

Час життя неосновних носіїв заряду легко визначається із нахилу прямої лінії в координатах  $\ln \Delta U(t)$  та  $t$ :

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln[\Delta U(t_1)] - \ln[\Delta U(t_2)]}$$

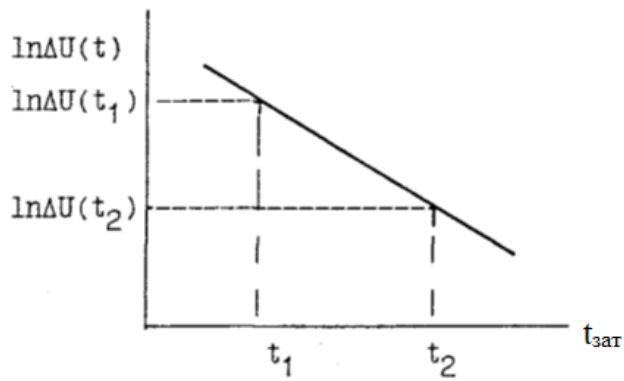
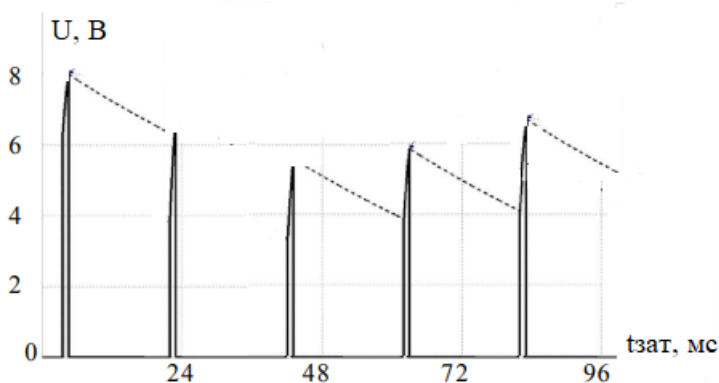


Рисунок 4.3 – Визначення часу життя з нахилу прямої лінії в координатах  $\ln\Delta U(t)$  та  $t_{\text{зад}}$

Рівень інжекції визначається амплітудою та тривалістю першого імпульсу. Величина першого імпульсу не повинна бути дуже малою, так як при цьому збільшується роль поверхневих явищ в процесі рекомбінації. Тривалість першого імпульсу складає зазвичай величину порядку  $1,5 \tau$  т.я. використання більш коротких імпульсів струму посилює вплив поверхневої рекомбінації

### ***Порядок виконання роботи***

1. За залежністю амплітуди вимірювального імпульсу від часу затримки визначити амплітуду 1го та 2го імпульсів та час затримки між імпульсами
2. Побудувати залежність  $\ln\Delta U(t)$  від  $t_{\text{зад}}$  (рис.4.3)
3. Визначити час життя нерівноважних носіїв заряду



### **Контрольні питання**

1. Що описує рівняння неперервності?
2. В чому відмінність рівноважних та нерівноважних носіїв заряду?
3. Що таке інжекція носіїв заряду?
4. Визначення часу життя нерівноважних носіїв заряду
5. Співвідношення Ейнштейна

6. Дрейфовий та дифузійний струми. Чим вони визначаються та яку мають відмінність