

**Національна академія наук України
Міністерство освіти та науки України
Наукова рада з проблеми «Фізика напівпровідників
та напівпровідникові пристрої» при Відділенні фізики і астрономії
Національної академії наук України
Українське фізичне товариство
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
Інститут оптоелектроніки**

**VII УКРАЇНСЬКА НАУКОВА
КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ
НАПІВПРОВІДНИКІВ
УНКФН–7**

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Дніпро, Україна
26 - 30 вересня 2016**

Ультразвукова модифікація стимульованого фононами тунелювання у кремнієвих діодах Шотки

Оліх О.Я.¹, Войтенко К.В.¹, Бурбело Р.М.¹, Оліх Я.М.²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет
Україна, 01601, Київ, вул. Володимирська, 64/13

²Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
Україна, 03028, Київ, пр. Науки 41
olikh@univ.kiev.ua

Багаточисленні експериментальні дослідження показали, що ультразвук (УЗ) може бути ефективним інструментом інженерії дефектів. З іншого боку, переважна більшість механізмів струму витоку в структурах метал-напівпровідник пов'язана з існуванням дефектів на інтерфейсі. Метою даної роботи було експериментальне дослідження змін зворотнього струму кремнієвих діодів Шотки в умовах ультразвукового навантаження (УЗН).

Для досліджень використовувалися структури, які складалися з підкладки $n^+-\text{Si:Sb}$ (КЭС 0.01) товщиною 250 мкм та епітаксійного шару $n\text{-Si:P}$ (концентрація носіїв $7 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$, товщина ~ 0.2 мкм), на поверхні якого створено молибденовий контакт Шотки площею $7 \times 7 \text{ мм}^2$. Проводилися вимірювання зворотних вольт-амперних характеристик (ВАХ) в діапазоні температур 130-320 К. При УЗН у зразках збуджувались повздовжні акустичні коливання частотою f_{US} 4,1 або 8,4 МГц з інтенсивністю W_{US} до 0,8 Вт/см².

Показано, що зворотній струм I_R пов'язаний як з термoeмісійними (ТЕ) процесами, так і зі стимульованим фононами тунелюванням (СФТ) по глибоким рівням, причому останні процеси є переважаючими при низьких температурах. Температурна залежність I_R при постійному зміщенні може бути описана виразом

$$I_R = P_t I_0 T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) + \frac{P_t q^2 F A N_{SS}}{8m^* E_t \left(1 + \frac{\gamma}{\gamma_1}\right)^{-1/2}} \exp\left\{-\frac{4\sqrt{2m^*} E_t^{3/2} (\gamma_1 - \gamma)^2}{3qF\hbar} \left[\gamma_1 + \frac{1}{2}\gamma\right]\right\}, \quad (1)$$

де перший доданок - це ТЕ складова, другий – СФТ компонента, P_t – коефіцієнт, що враховує тунелювання через шар окислу на межі метал-напівпровідник (в роботі розглядався трапеційний бар'єр), F – напруженість електричного поля на інтерфейсі, E_t та N_{SS} – глибина залягання та густина зайнятих рівнів дефектів, які беруть участь у СФТ. Зміст інших позначень детально наведено в [1].

Експериментально отримані (як в умовах УЗН, так і без нього) залежності $I_R(T)$ були апроксимовані відповідно до формули (1) використовуючи метод диференційної еволюції та I_0 , Φ_b , E_t і N_{SS} як фітуючі параметри. Отримані залежності E_t та N_{SS} наведено на Рис.1. Видно, що польова залежність глибини залягання підкоряється закону

Пула-Френкеля

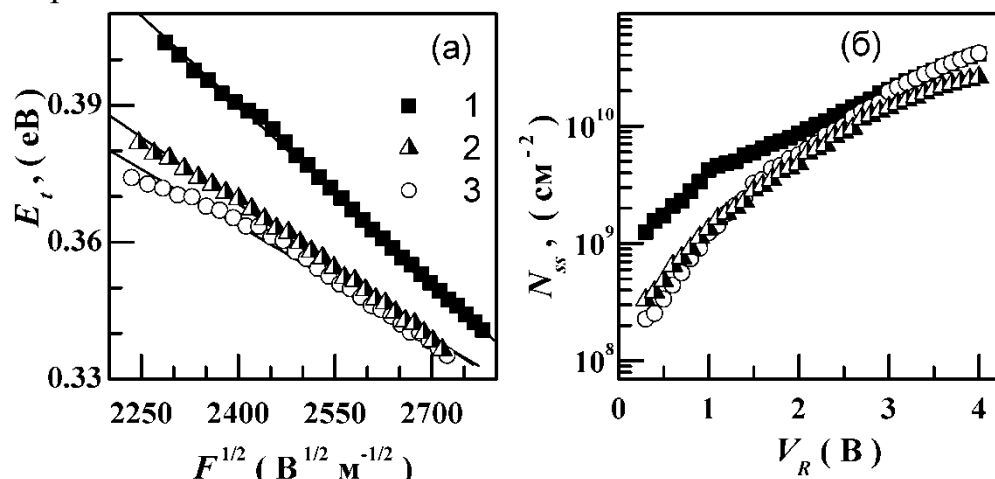


Рис.1. Польові залежності глибини залягання (а) та густини інтерфейсних рівнів (б) в умовах УЗН (2, 3) та без нього (1). W_{US} , Вт/см²: 0 (1), 0,17 (2), 0,65 (3). f_{US} , МГц: 8,4 (2), 4,1 (3).

$$E_t = E_{t0} - \beta F^{1/2}, \quad (2)$$

де E_{t0} – енергія зв'язку електрону на пастці за умови нульового поля. Отримана величина β перевищує теоретично очікуване, що в літературі пояснюється локалізацією пасток в кластері іонів [2].

В умовах УЗН спостерігається а) зменшення E_{t0} , що може бути зв'язано зі зміною заселеності коливних рівнів дефекту чи зміщенням домішки відносно свого оточення в акустичному полі; б) зменшення N_{ss} внаслідок полегшення процесу звільнення носіїв; в) зниження β через підсилення кластеризації точкових дефектів під дією УЗ. Як наслідок, при акустичному навантаженні збільшується СФТ струм, причому величина зміни залежить як від напруги, так і від зміщення. Крім того, змінюються внески ТЕ та СФТ складових у загальний струм – Рис.2.

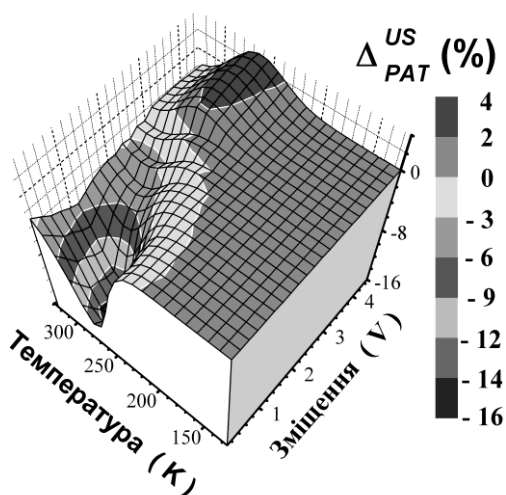


Рис.2. Зміна відносного внеску СФТ струму при УЗН ($W_{US} = 0,65$ Вт/см², $f_{US} = 4,1$ МГц).

Узагальнюючи, зауважимо, що в роботі експериментально виявлено акусто-індуковане оборотне збільшення струму витоку. Зі зростанням зміщення та температури ефективність акустичного впливу знижується. Показано, що УЗН впливає на процеси стимульованого

фононами тунелювання.

1. Pipinys P. and Lapeika V. // J. Appl. Phys. - 2006. – **99**. - 093709.
2. Жданова Н.Г. и др. // Письма в ЖЭТФ. – 1995. – **62**. – С.108.