

УДК 621.315.592, 534.2

РЕЛАКСАЦІЯ АКУСТОПРОВІДНОСТІ ЯК НОВИЙ МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СТАНУ МЕТАСТАБІЛЬНИХ ДЕФЕКТІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛАХ

Д. ф.-м. н. Я. М. Оліх, к. ф.-м. н. М. Д. Тимочко

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Україна, м. Київ
jaroluk3@ukr.net

Показано можливість визначення енергетичних параметрів дефектної структури напівпровідникових кристалів шляхом дослідження температурної залежності амплітудної характеристики акустонаведеної провідності. Результати можуть бути використані для розробки нових акустокерованих напівпровідникових пристроїв.

Ключові слова: кремній, метастабільні дефекти, акустопровідність, акустокеровані пристрої.

Цікавість до метастабільних дефектів з практичної точки зору обумовлена можливістю керування фізичними параметрами напівпровідникових приладів за рахунок зворотньої перебудови подібних комплексів, в тому числі й за допомогою ультразвуку (УЗ). В [1] описано результати дослідження акустонаведених змін провідності σ_{US} в монокристалічному кремнії, отримані вперше при використанні УЗ в формі прямокутних імпульсів. Такий режим дозволяє спостерігати та досліджувати динамічні (*in-situ*) зміни характеристик матеріалу в процесі УЗ-навантаження.

Метою даної роботи було вивчення температурних змін амплітудної характеристики акустонаведеної провідності зразка σ_{US} у температурному діапазоні 90—230 К. Досліджувались γ -опромінені зразки бездислокаційного кремнію, вирощеного методом зонної плавки, *n*-типу провідності *n*-Si-Fz:P. Для дослідження кінетики акустопровідності σ_{US} використовувався імпульсний УЗ-режим ($f_{US}=5\text{—}50$ МГц, тривалість радіоімпульсів $\tau_{US}=10^{-5}\text{—}10^{-3}$ с і амплітуда V_{US} – до 20 В). Вимірювання концентрації n_0 і рухливості μ_0 електронів у зразках кремнію проводились методом акусто-холла. В момент накладання УЗ-імпульсу на фоні постійної компоненти напруги провідності U_{σ}^0 з'являється додатковий імпульс акустопровідності з амплітудою ΔU_{σ}^{\max} , який характеризується фронтами наростання τ_i і спаду τ_d (рис.1, вставка). Фронти ΔU_{σ}^{\max} при фіксованій температурі описуються експоненціальними залежностями. Детальні дослідження ΔU_{σ}^{\max} , проведені при постійній інтенсивності УЗ в

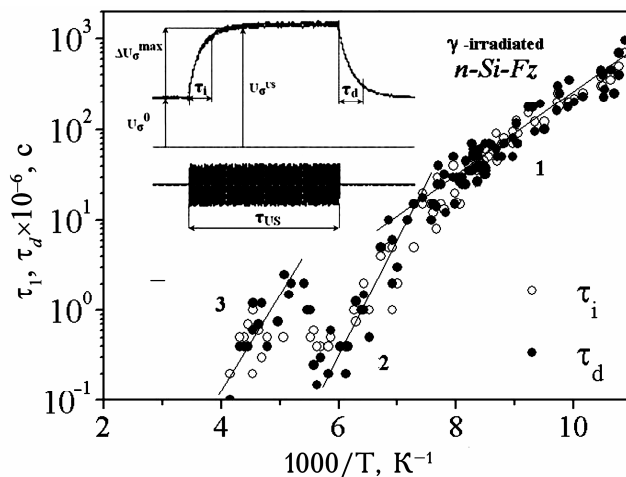


Рис. 1. Температурна залежність часу релаксації акустопровідності при наростанні УЗ-імпульсу (○) та при його спаді (●) (на вставці: зверху — осцилограма імпульсу ΔU_{σ} ; знизу — осцилограма відповідного ВЧ-імпульсу на п'єзоперетворювачі)

імпульси $W_{US} \approx 4 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ в широкому температурному діапазоні (рис. 1), показали, що $\tau_i(T)$ і $\tau_d(T)$ на окремих температурних ділянках (1, 2, 3 на рис. 1) термоактивовані і описуються залежністю: $\tau_{i,d}(T) = \tau_{i,d}^0 \exp(E_{i,d}^m / (kT))$, де $E_{i,d}^m$ – енергії активації окремих ($m=1, 2, 3$) процесів, значення яких можуть суттєво відрізнятися. При цьому температурна залежність амплітуди $\Delta U_\sigma^{\max}(T)$ характеризується окремими піками (рис. 2), положення яких корелює з температурною залежністю DLTS для електронно-опроміненого кремнію [2]. Кожен пік $\Delta U_\sigma^{\max}(T)$ відповідає певному енергетичному рівню в забороненій зоні напівпровідника, а саме: при температурі 120 К – це рівень $E_c-0,23$ еВ (відповідає положенню двохзарядного дивакансійного рівня V_2^{2-}), при 150 К – це $E_c-0,32$ еВ (комплекс VO), при 200 К – це $E_c-0,42$ еВ (однорядний дивакансійний рівень V_2^-). З рис. 2 видно, що смуга 1 акустонаведених змін σ_{US} в діапазоні (90–160) К, отримана при дії імпульсів УЗ на частоті 8 МГц, практично співпадає з температурним піком дивакансій в DLTS-спектрі [2].

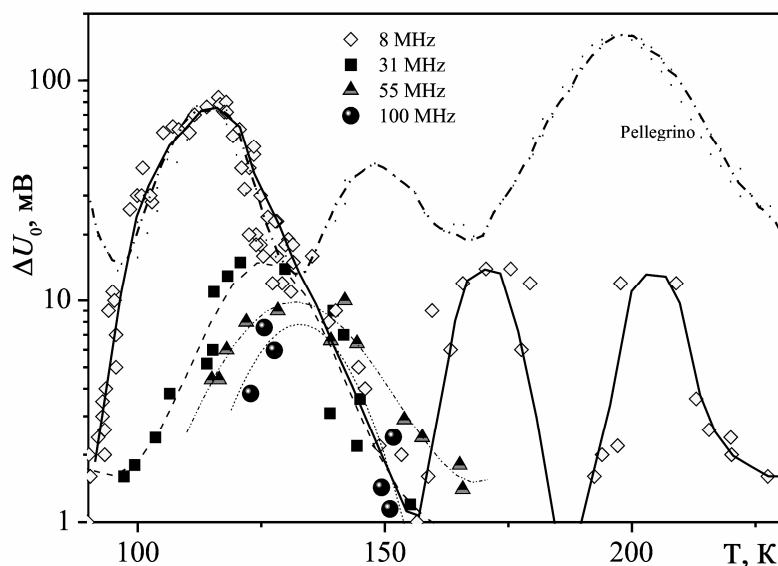


Рис. 2. Температурна залежність амплітуди імпульсу ΔU_σ при дії імпульсів ультразвуку на частотах 8, 31, 55 та 100 МГц (пунктирна крива вгорі – дані DLTS [2])

Отже, вперше виявлений «багатопіковий» характер температурної залежності напруги акустопровідності $\Delta U_\sigma^{\max}(T)$ свідчить про переважний вклад в акустопровідність зразка на окремих температурних ділянках декількох акустоактивних центрів. Механізм ефекту, що спостерігається, інтерпретується як акустоіндукований перехід метастабільного дефекту між його станами.

Основним результатом роботи являється можливість використання методики кінетики акустонаведеної провідності для дослідження багатокомпонентної дефектної структури напівпровідникових кристалів та визначення енергетичних параметрів акусточувливих дефектів. Даний підхід до дослідження (in-situ) процесів акустонаведеного переходу дефектної системи напівпровідникового кристалу в збуджений стан відкриває перспективу для створення нових акусто-керованих пристроїв.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Олих Я.М., Н.Д.Тимочко. Прямое наблюдение релаксации проводимости в гамма-облученном кремнии под влиянием импульсов ультразвука // Письма в Журнал Техн. Физики.– 2011.– Т. 37, вып. 1.– С. 78–84.
2. Pellegrino P., Lévêque, Lalita J., Hallen A., Jagadish C., Svensson B.G. Annealing kinetics of vacancy-related defects in low-dose MeV self-ion-implanted n-type silicon // Phys. Rev. B –2001.– Vol. 64.– P.195211-1 – 195211-10.

Ya. M. Olikh, M. D. Tymochko

Acoustoconductivity relaxation as a new diagnostic method of the state of metastable defects in semiconductor crystals.

The paper shows the possibility to determine power parameters of semiconductor defect structure using the temperature dependence of the conductivity amplitude of acousto-induced signal. These results are promising for perspective development of new acoustic-driven devices.

Keywords: *semiconductors, metastable defects, acoustoconductivity, acoustic-driven devices.*