

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНИХ СТРУМІВ У НАПІВПРОВІДНИКАХ І ДІЕЛЕКТРИКАХ

К.П. Попович

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська, 21, Ужгород, 88017
e-mail: kostyu@gmail.com

Розроблено та виготовлено автоматизовану установку для дослідження термостимульованих струмів (ТСС) в напівпровідникових і діелектричних матеріалах. На відміну від уже існуючих установок для дослідження ТСС, дана установка дає можливість виміряти ТСС у вакуумі в широкому діапазоні швидкостей лінійного нагрівання (0.01 – 10 °C/c) та температур (20 – 400 °C). Сигнал, який реєструється установкою, знаходиться в межах 10^{-12} – 10^{-7} А. Для забезпечення лінійного нагріву створено електронну систему керування. Для збору, обробки і передачі оцифрованих даних у персональний комп'ютер, використано мікроконтролер. Проведено контрольні виміри термостимульованих струмів провідності (ТССП) на монокристалі кварцу.

Авторами [1–3] для вивчення рекомбінаційних процесів у високоомних матеріалах використано комплекс люмінесцентних методик. У результаті цих досліджень були встановлені параметри рівнів прилипання, розглянуто рекомбінаційні процеси, якими супроводжується термостимульована люмінесценція (ТСЛ), рентгенолюмінесценція (РЛ), вивчено вплив рентгеновського опромінення на рекомбінаційні процеси. Однак, із-за існуючих обмежень, притаманних люмінесцентним методикам, проведені дослідження не дають можливості визначити тип носіїв, які відіграють основну роль у рекомбінаційних процесах, деталізувати механізми температурного гасіння люмінесценції, а також виявити вплив анізотропії кристалічної структури на перебіг рекомбінаційних процесів.

Відомо [4, 5], що ефективними методами вивчення параметрів дефектів у високоомних діелектриках є методи термоактиваційної струмової спектроскопії, які поєднують у собі відносну простоту технічної реалізації та достатньо високу

інформативність. Це термостимульований струм провідності (ТССП), термостимульована поляризація (ТСП) і термостимульована деполіаризація (ТСД). Струмові методики є більш чутливими, ніж метод термостимульованої люмінесценції (ТСЛ), а також не потребують такого високого вакууму, як у методі термостимульованої екзоелектронної емісії.

Нами розроблено і створено автоматизовану експериментальну установку для дослідження термостимульованих струмів (ТСС) об'ємних зразків, у якій використано метод лінійного нагрівання з реєстрацією струму за допомогою пікоамперметра. Об'єктами дослідження є напівпровідникові або діелектричні зразки різної товщини з напиленими омичними контактами.

На рис. 1 зображено блок-схему установки, яка складається з вакуумної камери **1**, в якій знаходиться нагрівач **2** (керамічна пластинка, на яку намотана подвійна ніхромово дротина діаметром 0.25 мм і опором 12.5 Ом). Між нагрівачем і підкладкою через тонку слю-

дяну прокладку закріплено хромель-алюмелеву (ХА) термопару **3** (Рис. 2), за допомогою якої здійснюється контроль температури. Для кращої теплопровідності між нагрівачем та підкладкою розміщено шар сіліконового мастила. Е.р.с. термопари підсилюється підсилювачем (AD 595) **4**, з виходу якого сигнал надходить на вхід компаратора (LM 393) **5** та на вхід аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) (ADS 7822) **6**, який зв'язаний з мікроконтролером (МК) (АТmega16) **7**. На інший вхід компаратора подається сигнал з МК за попередньо заданою програмою нагріву. Сигнал з компаратора поступає через оптоізований канал на блок живлення (БЖ) **8**, що має обернений зв'язок по температурі. Більш детально електронна схема установки описана в [6]. Блок живлення містить трансформатор потужністю 200 Вт з вихідною напругою 36 В. Струм випрямляється за допомогою діодного моста і через транзистор IRF 540 (який використовується як ключ між блоком живлення печі і піччю) поступає на обмотки нагрівача. Нагрівач кріпиться на мідну підкладку. Патрубки з вакуумної камери через гумові прокладки виведені назовні і застосовуються для охолодження нагрівача. Зразок **9** кріпиться на поверхню нагрівача за допомогою позолочених притискних контактів **10**. Контакти до підкладки кріпляться через сапфірові ізолятори. Струм провідності вимірюється вольтметром (В7-30) **11**, сигнал з якого поступає на (АЦП) **12**, який зв'язаний з МК. Обмін даними між МК і комп'ютером **13** здійснюється через оптоізований канал (RS-232) **14**. За допомогою блоку живлення (Б5-50) **15** до зразка прикладається електричне поле і в положенні ключа **К1** здійснюються вимірювання ТСД, а в положенні **К2** зразок поляризується (збуджується) і вимірюється ТССП і ТСП. Дослідження проводяться при тиску залишкових газів $6.7 \cdot 10^{-2}$ Па.

При дослідженні ТСС важливо підтримувати сталу величину швидкості нагрівання [7], а також однорідність

прогріву по об'єму досліджуваного зразка [8]. Недотримання цих вимог призводить до суттєвих спотворень кривої ТСС і, як наслідок, необ'єктивної інтерпретації одержаних результатів [9]. Для виконання цієї умови серйозні вимоги ставляться до конструкції нагрівача. Сам нагрівач повинен бути якомога менш інерційним.

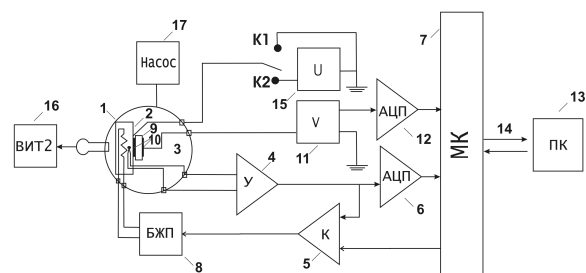


Рис.1. Блок-схема установки для дослідження ТСС:

1 – вакуумна камера; 2 – нагрівач; 3 – термопара; 4 – підсилювач е.р.с. термопари; 5 – компаратор; 6 – АЦП; 7 – мікроконтролер; 8 – блок живлення печі; 9 – досліджуваний зразок; 10 – контакти; 11 – вольтметр; 12 – АЦП; 13 – персональний комп'ютер; 14 – оптоізований канал RS-232; 15 – блок живлення; 16 – вакуумметр ВИТ-2; 17 – насос.

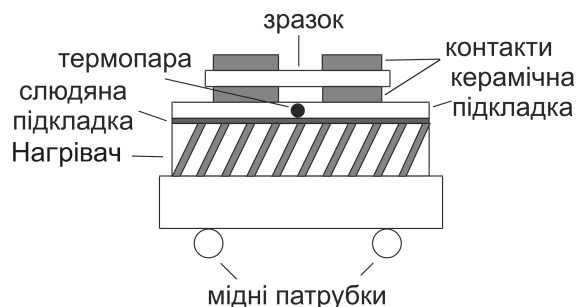


Рис.2. Конструкція нагрівача.

Лінійний нагрів забезпечується за допомогою електронного блоку керування зі зворотнім зв'язком по температурі. До складу цього блоку входять: термопара, підсилювач е.р.с. термопари, компаратор, блок живлення нагрівача. В процесі нагрівання на один із входів компаратора поступає підсилений сигнал з термопари, який порівнюється з лінійно зростаючою напругою на іншому вході, яка поступає з

мікроконтролера і задається програмою нагріву. Якщо в деякий момент часу сигнал з термопари стає меншим за сигнал з мікроконтролера, то компаратор перемикається і ввімкне нагрівач. Температура нагрівача буде зростати, поки підсилений сигнал е.р.с. не стане більшим за сигнал із мікроконтролера. Тоді компаратор перемикається у зворотнє положення і вимкне нагрівач. Завдяки високій швидкодії компаратора і малій інерційності нагрівача нам вдалося досягти близького до лінійного нагрівання зразків. Невелике відхилення від лінійності нагріву пов'язане з незначною нелінійністю залежності термо-е.р.с. від температури для ХА термопари і інерційністю нагрівача [9].

На мові C++ розроблено програму, яка дає можливість реєструвати, зберігати та обробляти отримані експериментальні дані.

Виготовлена установка дозволяє проводити виміри ТСП, ТССП, ТСД у діапазоні температур 20–400 °С та швидкостей нагріву 0.01–10 °С/с і забезпечує вимірювання сигналу в межах 10^{-12} – 10^{-7} А.

Атестацію установки здійснено на об'ємних зразках монокристала кварцу різної товщини з напиленими на них срібними контактами. Опромінення здійснювалось протягом 10 хв за допомогою рентгенівської трубки з мідним антикатодом при робочій напрузі 20 кВ та струмові 20 мА.

Виміри ТССП проведено при швидкості нагріву 0.32 К/с і напрузі 5 В, яку було прикладено до зразків. Експеримен-

тальні криві показані на рис 3. Оскільки у літературі не описано умов експерименту по дослідженню ТССП для монокристала кварца, а приведено лише температурні залежності, нами розраховане енергетичне положення цих максимумів. Енергія активаційних рівнів, за нашими розрахунками, для монокристалів кварцу дорівнює: крива 2 – 0,73 еВ, крива 3 – 0,69 еВ, крива 4 – 0,68 еВ. У межах похибки експерименту ці результати добре узгоджуються з літературними даними [4,10].

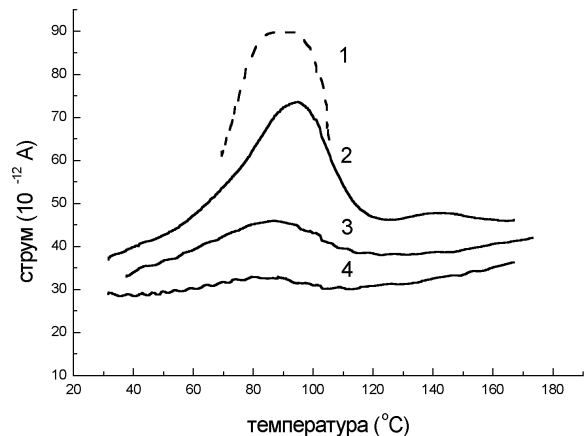


Рис.3. ТССП зразків SiO₂: 1 – літературні дані [4,10]; 2 - $d=0.35$ мм.; 3 - $d=0.5$ мм.; 4 - $d=0.7$ мм.

Автор висловлює щире подяку за допомогу в роботі к.ф.м.н. Соломону А.М., к.ф.м.н. Гунді Б.М., к.ф.м.н. Контрошу Є.Є та інженерам Чичурі І.І., Юрійчуку О.М, Лямаєву В.І.

Література

1. Б.М.Гунда, Доповіді Національної академії наук України 11,88 (1999).
2. Б.М.Гунда, П.П.Пуга, А.М.Соломон, М.І.Головей, УФЖ 45,337 (2000).
3. В.М.Нунда, Т.В.Нунда, Р.Р.Пуга, А.М.Соломон, В.М.Ноловей, Г.Д.Пуга, J. Optoelectron. Adv. Mater. 1, 49 (1999).
4. Ю.А.Гороховатский, Г.А.Бордовский Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. (Наука, Москва 1991).
5. И.А Тале, Изв. АН СССР. Сер. Физ. 45, 245 (1981).
6. V.I.Lyamaev, Meas.Sci.Technol.17, 75 (2006).
7. В.В. Сердюк, Ю.Н. Ваксман, Люминесценция полупроводников (Вища школа, Київ-Одеса, 1988).
8. Б.М. Гунда, Науковий. вісник Ужгородського університету, Сер. Фіз. 5, 198 (1999).

9. В.І.Лямаєв, Науковий вісник Ужгородського університету, Сер. Фіз. 10, 156 (2001).

10. Ю.Б. Беркович, Ю.А. Гороховацкий, Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ. и техн. наук. 2.45.(1971).

EXPERIMENTAL SETUP FOR STUDYING THERMOSTIMULATED CURRENTS IN SEMICONDUCTORS AND DIELECTRICS

K.P. Popovich

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,
Universytetska Str. 21, Uzhhorod, 88017
e-mail: kostyu@gmail.com

An automated setup for studying thermostimulated currents (TSC) in semiconductor and dielectric materials is made. Unlike the existing equipment, it enables TSC to be measured in **vacuum** in a broad range of the linear heating rates (0.01–10 °C/s) and temperatures (20–400 °C). The signal, detected by the setup, varies within 10^{-12} A to 10^{-7} A. An electronic control system was designed to control the heating process. A microcontroller was used for digital data acquisition, processing and transfer to a personal computer. Test measurements of thermostimulated conductivity currents (TSCC) were carried for a quartz single crystal.